

# Merk blatt



**Merkblatt für versickerungsfähige  
Pflasterbefestigungen aus Beton**

---

Grundlagen, Planung, Ausführung, Erhaltung

August 2020

**Inhalt**

**1 Anwendungsbereich** ..... 4

**2 Begriffe** ..... 4

**3 Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen als Element der Regenwasserbewirtschaftung** ..... 5

3.1 Ökologischer Nutzen von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen..... 5

3.2 Ökonomischer Nutzen von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen ..... 6

3.3 Rechtliche Grundlagen ..... 7

3.4 Abflussbeiwerte ..... 8

3.4.1 Allgemeines ..... 8

3.4.2 Abflussbeiwert befestigter Flächen..... 8

3.4.3 Begrünte Pflasterdecken und wassergebundene Decken förderungswürdig?..... 8

**4 Allgemeine Grundlagen**..... 9

4.1 Pflastersysteme für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen ..... 9

4.1.1 Allgemeines ..... 9

4.1.2 Pflasterdecken mit Sickerfugen ..... 9

4.1.3 Pflasterdecken mit Sickerfugen und zusätzlichen Sickeröffnungen ..... 10

4.1.4 Pflasterdecken aus haufwerksporigen Pflastersteinen ..... 10

4.1.5 Pflasterdecken als Niederschlagswasserbehandlungsanlage..... 10

4.2 Industrielle Nebenprodukte und RC-Materialien..... 11

4.3 Hydraulische Grundlagen ..... 11

4.4 Voraussetzungen und Randbedingungen ..... 12

4.5 Untergrund..... 12

4.6 Verkehrsbelastung..... 12

4.7 Wasserwirtschaftliche Aspekte ..... 13

4.8 Wasserschutzgebiete ..... 14

4.9 Grundwasserabstand ..... 14

4.10 Nutzung ..... 14

**5 Planung und Ausführung** ..... 15

5.1 Untergrund und Unterbau..... 15

5.2 Der Oberbau..... 17

5.3 Tragschichten und Frostschutzschichten ..... 18

5.3.1 Allgemeines ..... 18

5.3.2 Tragschichten ohne Bindemittel (ToB)..... 18

5.3.3 Tragschichten mit Bindemittel (TmB) ..... 22

5.4 Randeinfassungen..... 22

5.5 Die versickerungsfähige Pflasterdecke ..... 23

5.5.1 Allgemeines ..... 23

5.5.2 Bettungs- und Fugenmaterial ..... 23

5.5.3 Verlegung, Verfugen, Abrütteln..... 24

**6 Zusätzliche Entwässerungseinrichtungen** ..... 25

6.1 Oberflächenentwässerung..... 25

6.2 Bemessung der zusätzlichen Entwässerungseinrichtung ..... 27

6.3 Zusätzliche Entwässerung des Untergrundes ..... 27

**7 Höher beanspruchte Verkehrsflächen** ..... 30

**8 Besondere Hinweise zur Planung und Ausführung** ..... 31

**9 Erhaltung, Winterdienst**..... 32

9.1 Erhaltung ..... 32

9.2 Winterdienst..... 32

**10 Aufgrabungen** ..... 32

**11 Prüfungen zum Nachweis der Wasserdurchlässigkeit**..... 32

**Anhang A: Schnelltest zur Beurteilung der Versickerungsfähigkeit** ..... 34

**Literaturverzeichnis** ..... 36

**Bildnachweis**..... 38

---

## Vorwort

Eine umweltgerechte und Ressourcen schonende Entwässerung von Verkehrsflächen kann mit Hilfe versickerungsfähiger Pflasterbefestigungen aus Beton erreicht werden. Dadurch können negative Auswirkungen, wie zum Beispiel Hochwässer, Überlastung der Kanalnetze, Gewässerverschmutzung und Senkung des Grundwasserspiegels, deutlich gemindert werden. Der Einsatz geeigneter Betonpflastersysteme ist somit aus wasserwirtschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Gründen besonders sinnvoll.

Das vorliegende Merkblatt wurde vom Arbeitsausschuss Anwendungstechnik des Herausgebers in Zusammenarbeit mit Herrn Dr.-Ing. Mike Wolf, Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, erarbeitet und ist die Fortführung und Aktualisierung der zuletzt im Jahre 2012 erschienenen Fachbroschüre „Versickerungsfähige Pflastersysteme aus Beton – Die fachgerechte Anwendung – Voraussetzungen, Anforderungen, Einsatz“. In das Merkblatt sind neben neuen und weiterführenden Erfahrungen aus Praxis und Forschung vor allem die Inhalte zwischenzeitlich erschienener einschlägiger Technischer Regeln eingeflossen.

Inhalte dieses Merkblattes können für die entsprechenden Befestigungen, zum Beispiel im Rahmen bauvertraglicher Vereinbarungen, herangezogen werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die entsprechen-

den Formulierungen eindeutig, unmissverständlich und erschöpfend sind. Eine bauvertragliche Vereinbarung dieses Merkblattes als Ganzes ist nicht zweckdienlich, weil zur Umsetzung bestimmter Befestigungen oftmals mehrere geeignete Optionen beschrieben werden, die bauvertragliche Vereinbarung jedoch eindeutige Festlegungen fordert.

Die Angaben in diesem Merkblatt wurden nach bestem Wissen zusammengestellt. Inhaltliche Fehler können dennoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine Haftung für etwaige Unrichtigkeiten kann daher nicht übernommen werden. Das vorliegende Merkblatt ersetzt nicht das Studium und die Beachtung der einschlägigen Technischen Regeln für Pflasterbefestigungen und für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen.

Der Herausgeber dankt Herrn Dr.-Ing. Mike Wolf für seine umfangreiche fachliche Mitwirkung an der Entstehung dieses Merkblattes.

Bonn, Juli 2020

© 2020 Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG)

## 1 Anwendungsbereich

Das vorliegende Merkblatt gilt für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus vorgefertigten Betonelementen. Es befasst sich sowohl mit dem Baugrund, als auch mit den Schichten des Oberbaus. Es gibt Hinweise und Empfehlungen zu Planung, Ausführung und Erhaltung sowie darüber hinaus zu Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit und des Infiltrationsbeiwertes.

Das Merkblatt kann unter Beachtung der genannten technischen, rechtlichen und wasserwirtschaftlichen Bedingungen für zahlreiche Arten von befahrbaren und nicht befahrbaren Verkehrsflächen im öffentlichen und privaten Bereich angewendet werden. Beispiele dafür sind:

- Fahrbahnen von Straßen
- Flächen für den ruhenden Verkehr
- Rad- und Fußwege
- Flächen für Industrie- und Gewerbebetriebe
- Aufenthaltsflächen und Wege im Wohn- und Geschäftsumfeld
- Feuerwehrezufahrten und Rettungswege.

Das vorliegende Merkblatt dient als Ergänzung zu bereits bestehenden Technischen Regeln für Pflasterbefestigungen, wie zum Beispiel ATV DIN 18318 und M VV. Es ist aufgrund seines eher lehrbuchhaften Charakters nicht dazu geeignet, für sich genommen in den Bauvertrag übernommen zu werden, im Unterschied zum Beispiel zu den vorgenannten Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV). Sollen einzelne Inhalte aus diesem Merkblatt in den Bauvertrag übernommen werden, so sind diese eindeutig und unmissverständlich zu beschreiben.

## 2 Begriffe

### *Wasserdurchlässigkeit*

Fähigkeit einer Schicht oder eines Bauteils, Wasser durch offene Poren hindurch treten zu lassen.

### *Infiltrationsbeiwert $k_i$*

Der Wert gibt an, mit welcher Geschwindigkeit Wasser senkrecht in eine Schicht eintritt. Er ist somit die maßgebende Kenngröße für die Versickerungsgeschwindigkeit, die ein Bauteil oder ein Baustoff ermöglicht. Der Infiltrationsbeiwert wird mit einem Infiltrationsverfahren auf der Oberfläche einer Schicht bestimmt (siehe TP GesteinstB Teile 8.3.1 bis 8.3.4).

### *Durchlässigkeitsbeiwert $k$*

Der Wert gibt an, mit welcher Geschwindigkeit Wasser bei einem gegebenen hydraulischen Gefälle durch einen definierten Probenquerschnitt eines Bauteils oder eines Baustoffes fließt. Er wird in der Regel im Labor an nahezu vollständig gesättigten Proben bestimmt (siehe DIN EN ISO 17892-11; Ersatz für DIN 18130-1 von 1998).

### Anmerkungen zu den Begriffen Infiltrationsbeiwert und Durchlässigkeitsbeiwert

Mit versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen wird eine möglichst vollständige Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers angestrebt. Dafür maßgebend ist die Wasserdurchlässigkeit der Konstruktionsschichten und des Untergrundes. Zur Beschreibung der Eigenschaft Wasserdurchlässigkeit werden die Kenngrößen Infiltrationsbeiwert  $k_i$  und Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  (letzterer oft auch noch als  $k_f$  bezeichnet) verwendet. Der maßgebende Unterschied zwischen dem Infiltrationsbeiwert  $k_i$  und dem Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ist der Sättigungsgrad, bei dem die Prüfung durchgeführt wird. Bei der Laborprüfung an nahezu vollständig wassergesättigten Proben wird die Wasserströmung nicht durch Luftbläschen behindert. Im Gegensatz dazu wird bei einer Infiltrationsprüfung ein ungesättigter Baustoff von oben nach unten durchströmt, so dass die Wasserströmung durch unbewegliche Lufteinschlüsse behindert wird. Dies ist auch bei der tatsächlichen Versickerung von Niederschlagswasser der Fall. Der an eingebauten Schichten ermittelte Infiltrationsbeiwert  $k_i$  ist daher besser geeignet, um die tatsächliche Versickerungsleistung einer Schicht beurteilen zu können. Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ist in der Regel größer als  $k_i$ . Er wird üblicherweise an Baustoffen oder Böden ermittelt, um vorab Aussagen zur potentiellen Versickerungsleistung treffen zu können.

### *Entsiegelung*

Der Begriff Entsiegelung im Sinne dieses Merkblattes bezeichnet die vollständige Beseitigung einer versiegelten Bebauung oder Befestigung, zum Beispiel einer Asphaltbefestigung, mit dem Ziel, die Bodenfunktionen zu verbessern und die Wasserdurchlässigkeit zu erhöhen.

### *Entwässerungsanlage*

Bauliche Maßnahme aus unterschiedlichen Entwässerungseinrichtungen zum Fernhalten oder Abführen von Wasser, zum Beispiel Niederschlagswasser.

### *Entwässerungseinrichtung*

Oberirdisch oder unterirdisch angeordnete Komponente einer Entwässerungsanlage, zum Beispiel Anlage zur Versickerung oder Rückhaltung, Entwässerungsrinne, Vorfluter.

### *Mittlerer höchster Grundwasserstand (MHGW)*

Mittelwert der Jahreshöchstwerte des beobachteten Grundwasserstandes.

### *Zu erwartender mittlerer höchster Grundwasserstand (zeMHGW)*

Zukünftig zu erwartender MHGW, der sich aus dem Mittelwert der Jahreshöchstwerte einer langjährigen Grundwasserstandsganglinie ergibt, sofern der Grundwasserstand zukünftig nicht durch künstliche Eingriffe, zum Beispiel Einleitungen in das Grundwasser, beeinflusst wird.

### *Sickerfugen*

Fugen in Pflasterdecken (oder Plattenbelägen), die so verfüllt sind, dass sie die Versickerung von Niederschlagswasser ermöglichen. Werden die Fugen breiter ausgeführt, als in ATV DIN 18318 vorgesehen ist, werden sie als aufgeweitete Sickerfugen bezeichnet.

### *Sickeröffnungen*

Öffnungen, zum Beispiel durchgehende Löcher, Kammern und/oder seitliche Aussparungen, in Pflastersteinen (oder Platten), um die Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht zu ermöglichen oder zu erhöhen.

### *Versickerung*

Einleitung von Wasser in durchlässige Schichten oberhalb eines Grundwasserspiegels.

### *Versickerungsfähige Verkehrsflächen*

Verkehrsflächen, deren Befestigung, das heißt deren Oberbau, und gegebenenfalls deren Unterbau/Untergrund, die Versickerung von Niederschlagswasser bei gleichzeitiger Nutzung durch Verkehr ermöglicht.

### *Natürliche Gesteinskörnung*

Gesteinskörnung aus mineralischen Vorkommen, die ausschließlich einer mechanischen Aufbereitung unterzogen worden ist.

Anmerkung: Zu diesen zählen Kies, Sand, gebrochener Kies und gebrochenes Festgestein.

### *Industriell hergestellte Gesteinskörnung*

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs, die industriell unter Einfluss thermischer oder sonstiger Prozesse entstanden ist.

Anmerkung: Industriell hergestellte Gesteinskörnungen sind zum Beispiel Eisenhüttenschlacken, wie Hochofen- und Stahlwerksschlacken, Metallhüttenschlacken, Steinkohlenflugaschen und Gießereirestsande.

### *Rezyklierte Gesteinskörnung*

Gesteinskörnung, die durch Aufbereitung anorganischen oder mineralischen Materials entstanden ist, das zuvor als Baustoff eingesetzt war.

Anmerkung: Rezyklierte Gesteinskörnungen können auch aus Produktionsrückständen oder nicht konformen Produkten hergestellt werden, zum Beispiel aus gebrochenem nicht verwendetem Beton.

## 3 Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen als Element der Regenwasserbewirtschaftung

### 3.1 Ökologischer Nutzen von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen

In den letzten Jahren waren einige Regionen Deutschlands mit ungewöhnlich heftigen Überflutungen infolge von Starkregenereignissen konfrontiert.



Bild 1: Die zunehmende Flächenversiegelung erzeugt Abflussspitzen und begünstigt Hochwasser

Als eine von vielen Ursachen wird zu Recht die zunehmende siedlungsbedingte Versiegelung von Flächen angesehen. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) hat in den Jahren 2012 bis 2015 in Deutschland um durchschnittlich 66 Hektar pro Tag zugenommen und macht derzeit einen Anteil von etwa 14 % der Gesamtfläche Deutschlands aus (siehe Bild 2).

In Ballungsräumen stellt sich noch eine deutlich schärfere Situation dar. So machen zum Beispiel in den Stadtstaaten Hamburg, Berlin und Bremen die Siedlungs- und Verkehrsflächen einen Anteil von 60 % bis 70 % der jeweiligen Gesamtfläche aus. Verkehrsflächen, wie Straßen, Wege und Plätze, machen dabei einen erheblichen Teil dieser Flächen aus, und größtenteils sind sie nach wie vor versiegelt. Diese versiegelten Flächen stehen zum einen nicht mehr für den natürlichen Wasserkreislauf – bestehend aus Versickerung, Verdunstung und Wasserrückhalt – zur Verfügung und zum anderen liefern sie bei Starkregenereignissen erhebliche Abflussmengen in kürzester Zeit.

Wegen der Verdichtung von Siedlungsgebieten oder deren Erweiterung sehen sich viele Gemeinden auch mit dem Problem konfrontiert, dass die bestehenden

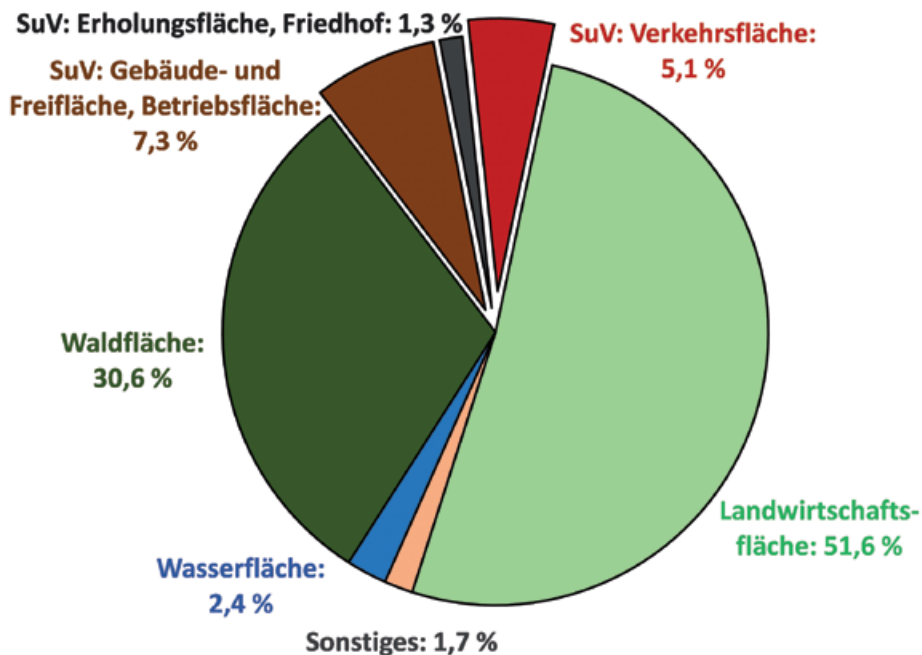


Bild 2: Anteil der Nutzungsarten an der Bodenfläche Deutschlands (nach Zahlen des Statistischen Jahrbuchs 2017, Stand 2015), Angaben ohne Gewähr

Kanalnetze mit den zusätzlich anfallenden Niederschlagswassermengen überfordert sind. Die Kapazitäten der Ableitungssysteme lassen sich im Bestand aber nicht ohne weiteres erhöhen. Im letzten Jahrzehnt hat sich aus den oben genannten Gründen vielerorts die Einsicht in die Notwendigkeit einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung durchgesetzt. Dazu zählen zum Beispiel Maßnahmen der Regenrückhaltung und verzögerten Ableitung. Dem Vorzuziehen ist es aber, wenn Niederschlagswasser gar nicht erst gesammelt und abgeleitet wird, sondern schon am Ort des Entstehens dezentral versickert werden kann. Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen sind dazu in der Lage und stellen somit ein zeitgemäßes, technisch ausgereiftes und wirtschaftliches Element einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten dar.

Überdies können versickerungsfähige Pflasterbefestigungen auch einen Beitrag zum Schutz unserer natürlichen Gewässer leisten. Die meisten Kommunen haben historisch gewachsen eine Mischkanalisation, das heißt, das von Gebäudedächern und Verkehrs- und Freiflächen abfließende Niederschlagswasser wird mit dem in den Haushalten und Betrieben anfallenden Schmutzwasser zusammen in einem Kanalsystem abgeleitet und in der Regel einer zentralen Kläranlage zugeführt. Zur örtlichen Grundwasserneubildung steht das abgeleitete Niederschlagswasser somit nicht mehr zur Verfügung. Gleichzeitig fallen in der Kläranlage nach Starkregenereignissen oftmals derart große Wassermengen an, dass die vorhandenen Kapazitäten weit überschritten werden. Diese liegen häufig nur beim zweifachen des Trockenwetterabflusses. Das Überschusswasser muss dann

zur Entlastung der Kläranlage ungeklärt, zum Beispiel in Flüsse, abgeleitet werden. Dieses ungeklärte Wasser verschmutzt die natürlichen Gewässer.

Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen tragen also nicht nur zur Grundwasserneubildung bei, sondern entlasten zudem die Kläranlagen und damit auch die natürlichen Oberflächengewässer. Im Gegensatz zu konventionell befestigten Flächen, zum Beispiel mit einer dichten Asphalt- oder Ortbetondecke, tragen versickerungsfähige Pflasterdecken darüber hinaus zu einer höheren Verdunstung und damit zu einer Verbesserung des Kleinklimas in Siedlungsräumen bei.

### 3.2 Ökonomischer Nutzen von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen

Über den ökologischen Aspekt hinaus sind versickerungsfähige Pflasterbefestigungen auch ökonomisch sinnvoll. In den letzten Jahren wurden in den meisten Kommunen gesplittete Abwassergebühren eingeführt, das heißt, die Abwassergebühr wurde in einen Schmutzwasseranteil und eine Niederschlagswassergebühr für die versiegelte Fläche aufgeteilt. Damit sind die für die versiegelte Fläche zu entrichtenden Gebühren ein bedeutender Kostenfaktor – ob im kleinen Maßstab beim Einfamilienhaus oder im großen Maßstab bei Parkplätzen, Gewerbeflächen oder Verkehrsflächen der öffentlichen Hand. Hinsichtlich dieser Kosten gibt es erhebliche regionale Unterschiede (siehe Bild 3).

So unterschiedlich wie die Gebührenhöhe ist häufig auch die Bereitschaft der Kommunen oder Entsor-

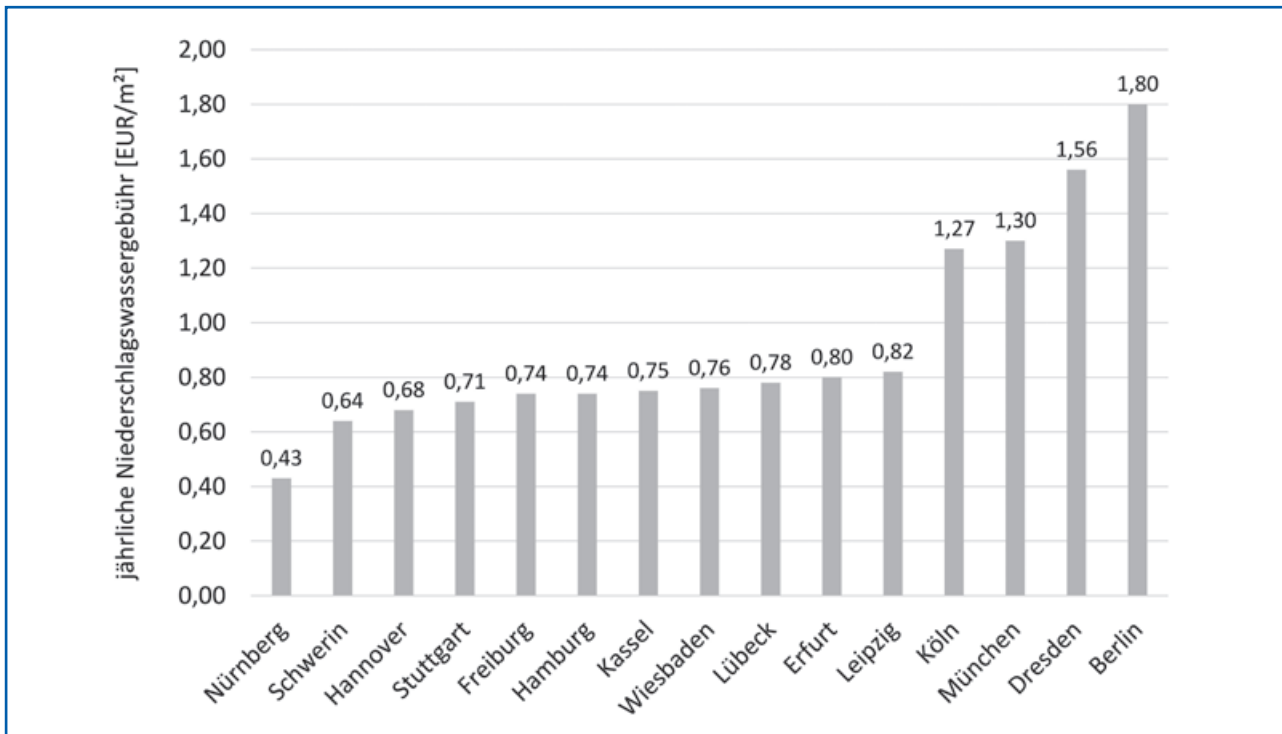


Bild 3: Jährliche Niederschlagswassergebühren ausgewählter Städte in Euro pro m<sup>2</sup> (Quelle: Internetrecherche Januar 2020), Angaben ohne Gewähr

gungsunternehmen, Maßnahmen der Entsiegelung oder der Abflussreduzierung anzuerkennen. Leider hat das gesamtgesellschaftliche Interesse an einer Regenwasserbewirtschaftung noch nicht in allen Entwässerungssatzungen die entsprechende Würdigung erfahren, so dass von Kommune zu Kommune zum Beispiel unterschiedlich geregelt ist, ob versickerungsfähige Pflasterbefestigungen ganz, teilweise oder gar nicht von der Niederschlagswassergebühr befreit sind.

Unterschiede bestehen auch bei der Förderung von versickerungsfähigen Verkehrsflächen durch die Kommunen. In vielen Kommunen werden aber schon heute für die Entsiegelung von privaten, öffentlichen und gewerblichen Flächen finanzielle Zuschüsse gewährt. Bedingung ist in der Regel, dass die Entsiegelungsmaßnahme zu einer vollständigen Entkopplung der Fläche von der Kanalisation führen muss, und dass das auf der entsiegelten Fläche anfallende Niederschlagswasser dezentral vor Ort versickert wird. Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen in Kombination mit einer Mulden- oder Mulden-Rigolen-Versickerung zum Beispiel, erfüllen diese technische Vorgabe.

### 3.3 Rechtliche Grundlagen

Die breitflächige Versickerung am Ort des Entstehens stellt eine Vorzugsmethode zur Beseitigung des Niederschlagswassers im Sinne des § 55 WHG dar. Wenn die Versickerung schadlos stattfindet, also keine Gefährdung des Grundwassers zu erwarten ist, stellt dies auch keine Benutzung des Grundwassers im Sinne von § 9 WHG dar und bedarf deshalb auch keiner Bewilligung oder

Erlaubnis nach § 46 WHG, sofern nicht zum Beispiel Landesregelungen oder Satzungen der Gemeinden etwas anderes festlegen. Auch hier ist allerdings festzustellen, dass die genehmigungsfreie Versickerung von Land zu Land und von Kommune zu Kommune teilweise recht unterschiedlich gehandhabt wird.

Es ist daher unerlässlich, sich sowohl über die Notwendigkeit einer Genehmigung der Niederschlagswasserversickerung, als auch über Art und Höhe einer Gebührensbebefreiung für die verschiedenen Versickerungssysteme vor Ort zu informieren.

Eine fachgerechte und effiziente Methode zur dezentralen Versickerung mittels Verkehrsflächen lässt sich durch Realisierung von Befestigungen erreichen, für die schon im Jahr 1998 das *Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* herausgegeben wurde, welches seit 2013 in einer überarbeiteten und aktualisierten Fassung, dem M VV, vorliegt. Auch die 2013 erstmals erschienenen *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs* (ZTV-Wegebau) beschreiben versickerungsfähige Befestigungen. In diesen Technischen Regeln sind unter anderem versickerungsfähige Pflasterdecken aus vorgefertigten Betonelementen beschrieben. Diese Befestigungen können insbesondere in Kombination mit anderen Versickerungsverfahren, zum Beispiel mit Versickerungsmulden, eine hohe ökologische Effektivität erreichen. Die versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen leisten somit einen bedeutenden Beitrag zum Umwelt-, Gewässer- und Hochwasserschutz.

### 3.4 Abflussbeiwerte

#### 3.4.1 Allgemeines

Der Abflussbeiwert dient vorrangig dazu, für ein Grundstück die Dimensionierung einer zu bauenden Entwässerungseinrichtung oder Versickerungsanlage anhand eines bestimmten Bemessungsregens und somit eines bestimmten Abflusses zu ermöglichen. Der Abflussbeiwert lässt aber auch den Rückschluss darauf zu, welche Regenmenge von einer Fläche oder einem Grundstück nicht abfließt. Somit ist der Abflussbeiwert auch dann eine wichtige Kenngröße, wenn für Grundstücke, die an bereits vorhandene Entwässerungseinrichtungen angeschlossen sind, quantitativ ermittelt werden soll, mit welcher Niederschlagsmenge die Entwässerungseinrichtung nicht in Anspruch genommen wird. Diese Berechnung stellt praktisch die Basis für die Inanspruchnahme etwaig in Aussicht gestellter Reduzierungen bei der Niederschlagswassergebühr dar.

#### 3.4.2 Abflussbeiwert befestigter Flächen

Bei der Festlegung von Abflussbeiwerten für befestigte Verkehrsflächen gibt es oftmals große Unterschiede in den Städten und Gemeinden. Nicht immer erfolgen die Festlegungen auf der Grundlage des aktuellen Standes der Technik oder des Wissens. Der Betonverband SLG hat den aktuellen Stand der einschlägigen Technischen Regeln, zum Beispiel DIN 1986-100, sowie der wissenschaftlichen Arbeiten, zum Beispiel (Illgen 2009), recherchiert.

Die in Tabelle 1 genannten Abflussbeiwerte sind – unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussparameter und langjähriger Erfahrungen – im Allgemeinen zutref-

fende Mittelwerte. Die Anwendung der Werte kann daher für die Ermittlung von Niederschlagswassergebühren empfohlen werden, insbesondere für Grundstücke und Flächen, für die Entwässerungseinrichtungen bereits vorhanden sind. Geringere Abflussbeiwerte können objektbezogen in Ansatz gebracht werden, sofern entsprechende Erfahrungen oder wissenschaftliche Untersuchungen oder unabhängige, gutachterliche Stellungnahmen vorliegen.

Eine differenziertere Betrachtung der verschiedenen Verkehrsflächen und der zugehörigen Abflussbeiwerte wäre zwar möglich, ist aber in Anbetracht der verschiedenen und sehr unterschiedlich einwirkenden Einflüsse, wie beispielsweise Regendauer und -intensität, Oberflächenbeschaffenheit und Neigung der Verkehrsfläche, Liegedauer sowie Grad der Verschmutzung der Sickerfugen und -öffnungen (Kolmation) weder notwendig noch hilfreich. Wenn es hingegen um die Bemessung von noch zu errichtenden Entwässerungseinrichtungen geht, sollte nach den einschlägigen Normen, zum Beispiel DIN 1986-100, vorgegangen werden (siehe auch Abschnitt 6.2).

#### 3.4.3 Begrünte Pflasterdecken und wassergebundene Decken förderungswürdig?

In vielen kommunalen Satzungen werden die Befestigungsvarianten „Begrünte Pflasterdecke“ und „Wassergebundene Decke“ – letztere wird häufig auch als sandgeschlämmte Schotterdecke oder Deckschicht ohne Bindemittel oder Wegedecke bezeichnet – als ökologische Befestigungen geführt, mit der Folge, dass für diese zum Teil erheblich reduzierte Niederschlagswassergebühren anfallen. Auch in der DIN 1986-100 zum Beispiel, werden für die Entwässerung von Grundstücken solche

Tabelle 1: Mittlerer Abflussbeiwert befestigter Flächen als Empfehlung zur Ermittlung von Niederschlagswassergebühren

Art der befestigten Fläche	Abflussbeiwert
fugenlose Decke aus Asphalt oder Ort beton	0,9
Pflasterdecke oder Plattenbelag mit Fugenverguss oder vermörtelten Fugen	0,9
wassergebundene Wegedecken	0,8
Pflasterdecke (auch aus Verbundsteinen) oder Plattenbelag mit ungebundener Fugenausführung und herkömmlichen Fugenbreiten; Ausführung mit Fugenschluss	0,75
Pflasterdecke (auch aus Verbundsteinen) oder Plattenbelag mit ungebundener Fugenausführung und herkömmlichen Fugenbreiten; Ausführung ohne Fugenschluss	0,5
begrünter Belag aus Rasengittersteinen oder aus Pflastersteinen mit aufgeweiteten Fugen (z. B. Rasenfugenpflaster)	0,4
versickerungsfähiger Belag (z. B. Dränpflaster), Pflasterdecke oder Plattenbelag mit aufgeweiteten und mit Splitt verfüllten Sickerfugen, Belag aus Rasengittersteinen mit Splittfüllung	0,25

Anmerkung: Für Großformatbeläge kann aufgrund der stark variierenden Formate und Größen sowie der Unterschiede bei Fugenbreite und Art der Fugenfüllung derzeit kein allgemein zu empfehlender Abflussbeiwert angegeben werden.





Bild 4: Begrünte Pflasterdecken aus Beton für den ruhenden Verkehr



Bild 5: Wassergebundene Wegedecke unter dem Einfluss von Starkregen

Befestigungen gegenwärtig noch „bevorzugt“ behandelt, indem ihnen ein vergleichsweise niedriger Abflussbeiwert zugeordnet wird. Zu begrünten Pflasterdecken – ein Beispiel zeigt Bild 4 – ist festzuhalten, dass diese durchaus einen gewissen Anteil des Niederschlagswassers versickern können. Jedoch ist der Anteil funktionsbedingt deutlich geringer als bei einem versickerungsfähigen System, wie im Abschnitt 4.1 beschrieben. Eine Begrünung erfordert einen gewissen Anteil humoser Stoffe in der Deckschicht, wodurch die Durchlässigkeit erheblich herabgesetzt wird.

Ein Vorteil von begrünten Pflasterdecken besteht aus wasserwirtschaftlicher Sicht darin, dass sie aufgrund ihrer Oberflächentopografie und des Bewuchses nur bei sehr starken Niederschlägen einen Abfluss zulassen und dieser zudem erheblich verzögert abgegeben wird. Dadurch kommt es im Vergleich zu Belägen, deren Fugen mit Splitt gefüllt sind, auch zu einer höheren Verdunstungsrate, die zu einer Verbesserung des Kleinklimas führt, sowie zu einem besseren Schadstoffrückhaltevermögen.

Zu wassergebundenen Decken ist festzuhalten, dass diese Feinanteile im Allgemeinen von 8 Masse-% bis 15 Masse-% enthalten. Dies hat in Verbindung mit einer vergleichsweise hohen Verdichtung dieser Deckschichten zur Folge, dass sie weder eine nennenswerte Versickerungsfähigkeit noch einen wirksamen Rückhalteeffekt für Niederschlagswasserabflüsse aufweisen (siehe auch M VV).

Für begrünbare Pflasterdecken wird auf die *Richtlinien für Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünten Flächenbefestigungen* (FLL-Richtlinien 2018) und für wassergebundene Deckschichten auf den *Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von Wassergebundenen Wegen* (FLL-Fachbericht 2007) verwiesen.

## 4 Allgemeine Grundlagen

### 4.1 Pflastersysteme für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen

#### 4.1.1 Allgemeines

Für die Herstellung von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen kommen grundsätzlich drei verschiedene Systeme von Pflasterdecken aus Beton infrage, die sich insbesondere durch die Art der verwendeten Pflastersteine unterscheiden. Die drei verschiedenen Systeme werden nachfolgend beschrieben.

#### 4.1.2 Pflasterdecken mit Sickerfugen

Bei dieser Variante werden gefügedichtete Pflastersteine verwendet. Die Versickerung des Niederschlagswassers erfolgt ausschließlich durch die Fugen, die als Sickerfugen bezeichnet werden. Die Sickerfugen werden dazu entweder mit der Regelfugenbreite von 4 mm bzw. 6 mm nach ATV DIN 18318 (Sollwerte) oder auch mit größeren Fugenbreiten, zum Beispiel 8 mm oder 10 mm (Sollwerte) ausgeführt und mit einem geeigneten, ausreichend wasserdurchlässigen Fugenmaterial verfüllt. Sickerfugen, deren Breite die Sollwerte nach ATV DIN 18318 überschreiten, werden als aufgeweitete Sickerfugen bezeichnet.

Pflastersteine aus Beton für diese Variante – ein Beispiel zeigt Bild 6 – müssen den TL Pflaster-StB entsprechen.



Bild 6: Versickerungsfähige Pflasterdecke mit aufgeweiteten Sickerfugen



Bild 7: Versickerungsfähiger Plattenbelag mit Sickeröffnungen in Form von durchgehenden Löchern

#### 4.1.3 Pflasterdecken mit Sickerfugen und zusätzlichen Sickeröffnungen

Bei dieser Variante werden gefügedichte Pflastersteine oder Platten mit durchgehenden Löchern, Kammern oder seitlichen Aussparungen verwendet. Diese und die üblicherweise mit herkömmlichen Breiten ausgeführten Sickerfugen werden mit einem geeigneten, wasserdurchlässigen Fugenmaterial verfüllt. Das Niederschlagswasser versickert in der Hauptsache durch die Löcher, Kammern und Aussparungen und zum Teil auch durch die Sickerfugen.

Pflastersteine aus Beton für diese Variante müssen – sofern sie seitliche Aussparungen aufweisen – den TL Pflaster-StB und – sofern sie durchgehende Löcher oder Kammern aufweisen – der BGB-RiNGB entsprechen. Ein Beispiel für Platten aus Beton mit durchgehenden Löchern zeigt Bild 7, ein Beispiel für Pflastersteine aus Beton mit seitlichen Aussparungen zeigt Bild 8.

#### 4.1.4 Pflasterdecken aus haufwerksporigen Pflastersteinen

Bei dieser Variante erfolgt die Versickerung des Niederschlagswassers zu einem Großteil durch die haufwerksporigen Pflastersteine selbst. Diese werden im Betonwerk unter Verwendung einer speziellen Sieblinie (Ausfallkörnung) gefertigt. So entsteht in dem Betonpflasterstein ein Gefüge, bei dem vereinfacht gesagt die Gesteinskörnungen nur punktförmig miteinander „verklebt“ sind (das so genannte Haufwerk) und somit ausreichend große miteinander verbundene Poren entstehen. Die Pflastersteine werden mit der Regelfugenbreite von 4 mm oder 6 mm nach ATV DIN 18318 (Sollwerte) verlegt und mit einem geeigneten ausreichend wasserdurchlässigen Fugenmaterial gefüllt. Ein Teil des Niederschlagswassers versickert somit auch durch die Fugen. Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton – ein Beispiel zeigt Bild 9 – müssen der DIN 18507 entsprechen.



Bild 8: Versickerungsfähige Pflasterdecke mit Sickerfugen und zusätzlichen Sickeröffnungen

#### 4.1.5 Pflasterdecken als Niederschlagswasserbehandlungsanlage

Niederschlagswasserbehandlungsanlagen sind in den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) definiert. Danach handelt es sich um Abwasserbehandlungsanlagen, die das anfallende mineralölhaltige Niederschlagswasser vorwiegend durch physikalisch-/chemische Verfahren so behandeln, dass es anschließend in Boden und Grundwasser versickert werden darf.

Der Teil 1 der Zulassungsgrundsätze (DIBt 2017) beschreibt Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Der für versickerungsfähige Pflasterdecken relevante Teil 2 (DIBt 2012) regelt wasserdurchlässige Beläge für Kfz-Verkehrsflächen für die Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser, so genannte abwasserbehandelnde Flächenbeläge.

Speziell konzipierte versickerungsfähige Betonpflasterbefestigungen können die strengen Anforderungen an Niederschlagswasserbehandlungsanlagen erfüllen. Voraussetzung dafür ist eine so genannte Bauartzulassung nach den bereits



Bild 9: Pflasterstein aus haufwerksporigem Beton

erwähnten Zulassungsgrundsätzen, Teil 2 (DIBt 2012).

Der Einsatzbereich derartiger Systeme liegt zum Beispiel in kommunalen Straßen und Gewerbeflächen, die aufgrund des zu erwartenden vergleichsweise hohen Schadstoffanfalls nicht mehr mit herkömmlichen versickerungsfähigen Pflastersystemen ausgeführt werden sollten (Düring, Richard & Ulonska 2018). Die nach dem M VV geforderte Einzelfallprüfung für die Anwendung von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen in Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk1,0 oder Bk1,8 (siehe Abschnitt 7) kann zum Beispiel mit Hilfe einer Bauartzulassung für eine abwasserbehandelnde Betonpflasterdecke erfolgen.

## 4.2 Industrielle Nebenprodukte und RC-Materialien

Zur Sicherstellung des Grundwasserschutzes und wegen der bautechnischen Eignung sollten für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen grundsätzlich nur Baustoffgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen verwendet werden. Dies gilt für alle Schichten des Oberbaus einschließlich der Bettung und der Fugenfüllung sowie für Materialien, die für etwaig durchzuführende Bodenaustausch- oder Unterbauarbeiten vorgesehen sind. Sollen in Ausnahmefällen Baustoffgemische aus industriell hergestellten oder rezyklierten Gesteinskörnungen zur Anwendung kommen (Begriffe siehe Abschnitt 2), so ist zunächst deren wasserwirtschaftliche und bautechnische Eignung unter Berücksichtigung der einschlägigen Technischen Regeln, zum Beispiel TL Gestein-StB 04, RuA-StB 01, M EHS, M MHS, sowie gegebenenfalls länderspezifischer Vorschriften nachzuweisen.

Aus bautechnischer Sicht als kritisch anzusehen sind zum Beispiel Materialien, die zur Selbsterhärtung oder Selbstverfestigung neigen, wodurch die notwendige Wasserdurchlässigkeit der entsprechenden Schichten

verloren geht. Dies kann sowohl für Baustoffgemische aus industriell hergestellten, als auch für solche aus rezyklierten Gesteinskörnungen zutreffen.

Untersuchungen an Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) aus RC-Baustoffen in langjährig unter Verkehr befindlichen Fahrbahnbefestigungen (Radenberg, Sedaghat, Kollar & Flottmann 2018) haben zum Beispiel gezeigt, dass diese Schichten bei zum Teil sehr hohen Tragfähigkeiten im Hinblick auf die Wasserdurchlässigkeit als praktisch dicht einzuschätzen sind. Insofern sind Baustoffgemische aus rezyklierten Gesteinskörnungen für Pflasterbefestigungen im Allgemeinen und für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen im Speziellen weitgehend ungeeignet.

## 4.3 Hydraulische Grundlagen

Nach dem Arbeitsblatt DWA-A 118 kann für die Bemessung von Entwässerungseinrichtungen ein Bemessungsregenereignis mit bestimmter Häufigkeit und Dauer zugrunde gelegt werden. Für viele Orte in Deutschland sind so genannte Landschaftswerte der Basisregenspende (Regenspende  $r_{15,1}$ ) für ein Regenereignis von 15-minütiger Dauer ( $T = 15$  min), welches statistisch gesehen einmal jährlich auftritt ( $n = 1$ ) bekannt. Diese Werte gehen im Wesentlichen auf Untersuchungen von Reinhold aus den 1940er Jahren zurück (Reinhold 1940). Im Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen M VV wird zur Bemessung die Referenzregenspende  $r_{15,1} = 120$  l/(s × ha) verwendet, welche für viele Regionen Deutschlands Gültigkeit hat. In Norddeutschland fallen die tatsächlich auftretenden Regenspenden etwas geringer, in Süddeutschland zum Teil deutlich höher aus. Die Trennlinie ist in etwa der Main. Gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 138 ist zur Bemessung einer Flächenversickerung ohne oberirdische Speichermöglichkeit eine Regenspende heranzuziehen, die einem Regenereignis von 10-minütiger Dauer ( $T = 10$  min) entspricht, das alle 5 Jahre einmal erreicht oder überschritten wird ( $n = 0,2$ ). Mit dem Zeitbeiwertverfahren (nach Reinhold 1940) kann diese Regenspende  $r_{10,0,2}$  aus der bekannten Regenspende  $r_{15,1}$  errechnet werden. Daraus ergibt sich für Deutschland eine durchschnittliche Regenspende  $r_{10,0,2} = 270$  l/(s × ha), die als Bemessungsregenspende in das M VV aufgenommen wurde.

Um diese Regenspende rückstandsfrei zu versickern, muss der Infiltrationsbeiwert der Verkehrsfläche  $k_i \geq 3 \times 10^{-5}$  m/s betragen. Wird dieser Wert in der Pflasterdecke oder von einer darunterliegenden Schicht unterschritten, so kommt es bei einem Starkregen mit der oben genannten Intensität oder einer höheren rechnerisch zu einem Wasseraufstau auf der Oberfläche und gegebenenfalls zu einem Abfluss von einem Teil des Niederschlagswassers.

Seit einigen Jahren liegen mit dem so genannten KOST-RA-Atlas (Malitz & Ertel 2015) und (Junghänel, Ertel &

Deutschländer 2017) neuere und flächendeckende statistische Starkniederschlagswerte vor, die im Bereich des Straßenbaus gemäß den RAS-Ew und im Bereich von Gebäuden und Grundstücken gemäß der DIN 1986-100 zur Bemessung von Entwässerungseinrichtungen herangezogen werden sollten. Häufig wird die für eine Bemessung heranzuziehende örtliche Regenspende  $r$  auch von der zuständigen Behörde vorgegeben.

#### 4.4 Voraussetzungen und Randbedingungen

Bei der Anwendung versickerungsfähiger Pflasterbefestigungen für eine ordnungsgemäße Versickerung müssen grundsätzlich folgende Voraussetzungen und Randbedingungen gegeben sein:

- Die Befestigung ist bautechnisch möglich, das heißt:
  - der Untergrund ist ausreichend versickerungsfähig,
  - der Untergrund ist ausreichend mächtig und
  - die Verkehrsbelastung ist vergleichsweise gering.
- Die Befestigung ist wasserwirtschaftlich verträglich, das heißt:
  - das versickernde Wasser bleibt weitgehend unverschmutzt,
  - das Bauvorhaben befindet sich nicht in einem Wasserschutzgebiet und
  - der Abstand zwischen Oberkante Grundwasser MHGW, alternativ: zeMHGW und Oberkante Pflasterdecke beträgt mindestens 2 Meter.

#### 4.5 Untergrund

Ziel der versickerungsfähigen Ausführung einer Verkehrsflächenbefestigung ist es, anfallende Niederschläge unmittelbar und möglichst rückstandsfrei am Ort der Entstehung zu versickern. Deshalb sollte die Versickerungsleistung aller Schichten des Oberbaus und die des Untergrundes mindestens adäquat der Bemessungsregenspende sein, das heißt einen Infiltrationsbeiwert von  $k_f \geq 3 \times 10^{-5}$  m/s aufweisen (siehe Abschnitt 4.3).

Die Mächtigkeit des ausreichend durchlässigen Untergrundes sollte mindestens 1 Meter betragen, um einerseits eine angemessene Sickerstrecke für das eingeleitete Niederschlagswasser zum Zweck der Filtration und andererseits eine zügige Abführung des Niederschlagswassers aus dem Oberbau zur Vermeidung von Beeinträchtigungen der Tragfähigkeit sicher zu stellen.

#### 4.6 Verkehrsbelastung

Die Verkehrsbelastung ist wegen ihres Potentials, das Niederschlagswasser zu verunreinigen, sowie wegen der mechanischen Beanspruchung der Konstruktion von Bedeutung. Aus bautechnischer Sicht sind die durch Kraftfahrzeuge hervorgerufenen vertikalen und horizontalen Belastungen durch Bremsen, Anfahren, Beschleunigen oder Kurvenfahrten ebenso zu berücksichtigen, wie

Torsionsbeanspruchungen infolge von Lenkbewegungen, insbesondere des Schwerverkehrs. Da versickerungsfähige Pflasterdecken konstruktionsbedingt diesen mechanischen Beanspruchungen in der Regel einen geringeren Widerstand entgegensetzen als konventionelle Pflasterdecken, sollten versickerungsfähige Pflasterbefestigungen nur bei begrenzter Verkehrsbeanspruchung eingesetzt werden.

Grundsätzlich geeignet sind alle Verkehrsflächen, die der Belastungsklasse Bk0,3 gemäß den RStO zugeordnet werden können, sowie Gehwege, Radwege und sonstige Wegeflächen einschließlich Hofflächen zum Beispiel gemäß den ZTV-Wegebau.

Der Einsatz von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen für Verkehrsflächen, die der Belastungsklasse Bk1,0 oder Bk1,8 gemäß den RStO zugeordnet werden können, ist nach Einzelfallprüfung grundsätzlich möglich. Dabei sollten Pflastersteine oder Verbundpflastersteine mit ausreichender Nenndicke von mindestens 100 mm verwendet werden. Das Pflastersystem und das Fugematerial sind zudem so zu wählen, dass die Sickerfugen neben einer ausreichenden Durchlässigkeit auch eine ausreichende Lastübertragung – vor dem Hintergrund der erwartungsgemäß höheren Beanspruchung – sicherstellen können. Auch die Qualität der Unterlage, zum Beispiel hinsichtlich des Verformungsmoduls und der Schichtdicke, muss der dann zu erwartenden höheren Beanspruchung angepasst werden (siehe Abschnitt 7). Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Anwendungsbereiche für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen sowie Empfehlungen, welche Pflastersysteme für welche Anwendungsbereiche geeignet sind. Die Empfehlungen erfolgen im Wesentlichen aus bautechnischen Belangen. Die Einstufung in die Kategorie „bedingt geeignet“ erfolgte im Hinblick darauf, dass bestimmte, für die Nutzung zu erwartende Randbedingungen sich günstig oder ungünstig auswirken können. Dabei können auch Belange der Ökologie oder der Barrierefreiheit eine Rolle spielen. Günstige Randbedingungen können beispielsweise sein:

- günstige fahrgeometrische Bedingungen (wenig Rangierverkehr, keine engen Kurvenradien, Schrägparkstände),
- positive Beeinflussung der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit, zum Beispiel durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen im ÖPNV.

Ungünstige Randbedingungen können beispielsweise sein:

- Schadstoff- oder Taumiteleintrag,
- Rangierverkehr, enge Kurvenradien, Lenken auf der Stelle.

Unter Umständen kann auch durch Kombination verschiedener Systeme eine Eignung für eine bestimmte Anwendung erreicht werden.

Tabelle 2: Anwendungsbereiche von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen und Empfehlung zur Systemeignung

Verkehrsfläche		Nutzung, Beanspruchung oder Beispiele	Systemeignung		
			1	2	3
nach RStO, 2012	Fahrbahnen Bk0,3	Wohnweg, Wohnstraße	+	+	o
	Fahrbahnen Bk1,0, Bk1,8 <sup>1)</sup>	Wohnstraße, Sammelstraße, Quartiersstraße, Dörfliche Hauptstraße	+	o	o
	Geh- und Radwege	Radfahrer, Fußgänger, gelegentliche Nutzung <sup>2)</sup> durch Wartungs- und Unterhaltungsfahrzeuge, Überfahrten durch Müllfahrzeuge u. ä.	+	o	+
	Abstellflächen Bk0,3	Pkw-Verkehr, Wartungs- und Unterhaltungsfahrzeuge, Überfahrten durch Müllfahrzeuge u. ä.	+	+	o
nach ZTV-Wegebau, 2013	Nutzungskategorie N 1	begehbare, nicht mit Kfz befahrbare Flächenbefestigungen, z. B. Terrassen, Gartenwege, Parkanlagen	+	+	+
	Nutzungskategorie N 2	befahrbare Flächenbefestigungen für Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, z. B. Garagenzufahrten, PKW-Stellplätze	+	+	o
	Nutzungskategorie N 3	wie N 2, jedoch gelegentliche Befahrungen <sup>2)</sup> durch Fahrzeuge bis 20 t zulässiges Gesamtgewicht mit Radlasten ≤ 5 t z. B. Pflege-, Instandhaltungs- und Rettungswege sowie Feuerwehr-, Garagen- und Gebäudezufahrten	+	+	o
industrielle und gewerbliche Flächen		ständig vom Schwerverkehr genutzte Flächen, z. B. Rangierflächen an Verteilerzentren, Bauhöfe) ggf. in Bk1,0 oder Bk1,8 erstellt <sup>1)</sup>	+	o	o
		Flächenbefestigungen für Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, z. B. Parkplätze des Handels	+	+	o
sonstige Wege und Abstellflächen		Feuerwehruzufahrten, Rettungswege, Wartungswege, Aufenthaltsflächen und Wege im Wohn- und Geschäftsumfeld	+	+	o

System 1: Pflasterdecke mit Sickerfugen  
 System 2: Pflasterdecke mit Sickerfugen und Sickeröffnungen  
 System 3: Pflasterdecke aus haufwerksporigen Pflastersteinen  
 + System geeignet  
 o System bedingt geeignet

<sup>1)</sup> Der Einsatz von versickerungsfähigen Befestigungen kann nach Einzelfallprüfung grundsätzlich möglich sein.  
<sup>2)</sup> Als gelegentliche Nutzung oder gelegentliches Befahren kann bezeichnet werden: Rd. 2.000 bis rd. 32.000 Lastwechsel infolge Kfz-Verkehr (Überrollungen durch Radlasten bis maximal 5 t) innerhalb der geplanten oder angestrebten Nutzungsdauer.

#### 4.7 Wasserwirtschaftliche Aspekte

Niederschlagswasser, welches ungefasst und breitflächig unmittelbar am Ort des Entstehens durch die Verkehrsfläche versickert, ist formal nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) kein Abwasser. Jedoch entstehen auf Verkehrsflächen nutzungsbedingt Verunreinigungen, zum Beispiel durch Reifenabrieb, Tropföle, anhaftendes Tausalz, Feinstaub, etc., welche durch die Versickerung ins Grundwasser transportiert werden können. Da die Schadstoffe oftmals partikelgebunden, das heißt, an feinen Partikeln anhaftend, sind, entsteht eine gewisse Reinigungswirkung durch das Abfiltrieren der feinen Partikel in den Schichten des Oberbaus und im Untergrund. Es fehlt aber bei einer Versickerung durch die Verkehrsflächenbefestigung die belebte Bodenzone und somit

ein biologisch aktiver Filter für den Schadstoffabbau – zumindest ist ein solcher deutlich weniger ausgeprägt als zum Beispiel bei Grünflächen oder Versickerungsmulden. Deshalb ist grundsätzlich jede Art von schädlicher Verunreinigung in die versickerungsfähige Verkehrsflächenbefestigung zu vermeiden. Der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen sowie deren Lagerung ist auf versickerungsfähig ausgebildeten Flächen generell untersagt.

Der Einsatz von Auftaumitteln im Zuge des Winterdienstes sollte vermieden werden.

Mit zunehmender Verkehrsbelastung nimmt in der Regel auch die Verunreinigung des auf der entsprechenden Verkehrsfläche anfallenden Niederschlagswassers zu.

Die Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit der Verkehrsfläche sollte daher nicht allein anhand der nach den RStO zugeordneten Belastungsklasse, sondern anhand des gesamten zu erwartenden Verkehrsaufkommens eingeschätzt werden. Die Einschätzung aufgrund der Belastungsklasse würde nämlich – gemäß der Philosophie der RStO – nur den Schwerverkehr, nicht jedoch den für das Verunreinigungspotenzial ebenso relevanten Pkw-Verkehr erfassen.

Einen Richtwert liefern die RAS-Ew. Danach weist das Oberflächenwasser von Straßen mit weniger als 2.000 Kfz/24 h in der Regel keine nennenswerten Verunreinigungen auf.

Bei der Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit von versickerungsfähigen Befestigungen auf ehemaligen Altlastenstandorten sind zusätzliche Untersuchungen anzustellen, inwieweit nach erfolgter Sanierung solcher Standorte noch Gefahren für eine Schadstoffmobilisierung durch eine Versickerung im Untergrund bestehen.

Aus wasserwirtschaftlicher und bodenschutzrechtlicher Sicht sind gemäß dem M VV versickerungsfähige Pflasterbefestigungen für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk0,3 nach den RStO sowie für Gehwege, Radwege, sonstige Wege und Hofflächen geeignet (siehe Tabelle 2). Darüber hinaus kann der Einsatz für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk1,0 oder Bk1,8 nach den RStO möglich und sinnvoll sein, wenn der Schmutzeintrag sowie der Schadstoffeintrag gering sind (siehe Abschnitt 7).

#### 4.8 Wasserschutzgebiete

In Wasserschutzgebieten ist gemäß den RiStWag die Anwendung von versickerungsfähigen Verkehrsflächenbefestigungen nicht zulässig (siehe auch M VV). Ob in besonderen Fällen oder unter bestimmten Bedingungen Ausnahmen davon möglich sind, ist in jedem Einzelfall unter Einbeziehung der zuständigen Behörden zu prüfen.

#### 4.9 Grundwasserabstand

Bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand (MHGW) – alternativ: höchsten zu erwartender Grundwasserstand (zeMHGW) – sollte der Abstand der Oberkante der versickerungsfähigen Pflasterdecke mindestens zwei Meter betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für das eingeleitete Niederschlagswasser zum Zwecke der Filtration zu gewährleisten (siehe Bild 10). Dabei gilt der Grundsatz: je durchlässiger der Boden ist, umso länger sollte die Filterstrecke bis zum Grundwasser sein. Gegebenenfalls können sehr durchlässigen Böden, zum Beispiel Kiesen, auch feinkörnigere Materialien zugegeben werden, um die Filtrationsleistung des Bodens zu verbessern. Dabei ist jedoch immer auf eine ausreichende Durchlässigkeit des Untergrundes zu achten.

#### 4.10 Nutzung

Bei der Entscheidung, welches der im Abschnitt 4.1 beschriebenen versickerungsfähigen Pflastersysteme zur Anwendung kommt, ist die beabsichtigte Nutzung der entsprechenden Verkehrsfläche zu berücksichtigen. So bietet beispielsweise eine Pflasterdecke mit aufgeweiteten Sickerfugen oder Sickeröffnungen für Rad- und Gehwege einen geringeren Nutzungskomfort als eine Pflasterdecke mit haufwerksporigen Betonsteinen. Bei Wegen und anderen Flächen, die durch landwirtschaftliche Fahrzeuge, Forstfahrzeuge oder ähnliche Fahrzeuge genutzt werden, ist mit erhöhtem Schmutzeintrag zu rechnen, zum Beispiel durch Schlamm und Ackerboden, welcher die Versickerungsleistung der Pflasterdecke erheblich herabsetzen kann. Hier kann eine Pflasterdecke mit aufgeweiteten Sickerfugen oder Sickeröffnungen vorteilhafter sein als eine mit haufwerksporigen Steinen. Die Kombination von konventionell gepflasterten Fahrspuren – so genannten Spurwegen – mit einer versickerungsfähigen Pflasterdecke außerhalb oder zwischen den Fahrspuren kann in solchen Einsatzgebieten besonders zweckmäßig sein.

Beim Bau von versickerungsfähigen Verkehrsflächen gilt es, eine Vernässung von benachbarten Grundstücken oder Bauwerken durch einsickerndes Niederschlagswasser zu vermeiden. Nach der Umwandlung ehemals „dichter“ Flächen in versickerungsfähige Flächen (Entsiegelung) ist zu berücksichtigen, dass das in der Konstruktion nun vermehrt anfallende Niederschlagswasser unter Umständen auch nicht abgedichtete Bauwerke oder Bauwerksteile, zum Beispiel Keller und Fundamen-

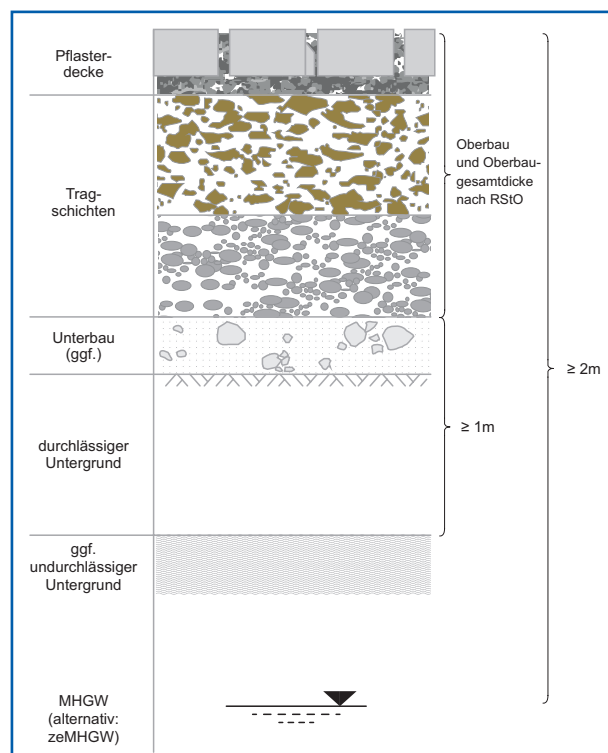


Bild 10: Schematischer Aufbau einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung

te, erreichen kann. Auf einen ausreichenden Abstand der versickerungsfähigen Fläche zu entsprechend gefährdeten Bauwerken ist daher immer zu achten.

Anders als bei konventionellen Flächenbefestigungen mit geschlossenen Deckschichten wird bei einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung das Niederschlagswasser gezielt in den Oberbau und den Untergrund geleitet. Ein oberflächlicher Abfluss ist nicht erwünscht. Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen können daher gegenüber konventionellen Pflasterbefestigungen eine geringere Oberflächenneigung aufweisen. Diese sollte jedoch wegen der Erforderlichkeit einer Notentwässerung 1 % nicht unterschreiten (siehe Abschnitt 6). Bei versickerungsfähigen Verkehrsflächen mit einer Oberflächenneigung von mehr als 5 % ist mit einem erhöhten Anteil abfließenden Niederschlagswassers, insbesondere bei Starkregen, zu rechnen.

## 5 Planung und Ausführung

### 5.1 Untergrund und Unterbau

Im konventionellen Straßenbau wird durch verschiedene Maßnahmen, zum Beispiel durch geschlossene Deckschichten, Neigung der Oberfläche und gegebenenfalls Verbesserung oder Abdichtung des Untergrundes, angestrebt, Wasser gar nicht erst in den Oberbau oder den Untergrund gelangen zu lassen, sondern möglichst zügig auf der Oberfläche abzuleiten. Die Gründe für dieses Bestreben liegen unter anderem darin, dass

ein Wasserüberschuss im Oberbau oder im Untergrund zu einer Herabsetzung des Verformungswiderstandes der Baustoffe und des Bodens führen kann. Im Zusammenhang mit Frosteinwirkung können Hebungen durch gefrierendes Wasser auftreten.

Bei versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen wird ein gegenteiliger Ansatz verfolgt. Hier soll ein oberflächlicher Abfluss möglichst verhindert werden; eine Ableitung des Wassers in den Oberbau und den Untergrund wird hingegen angestrebt. Besonderes Augenmerk ist deshalb darauf zu richten, dass ein Wasserüberschuss im Einflussbereich des Frostes und der Verkehrsbelastung nicht entsteht. Dies kann nur durch eine ungehinderte Ableitung des Wassers an jeder Stelle im Oberbau sowie im Erdplanum erreicht werden.

Für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen ergibt sich daraus, dass der Untergrund in der Lage sein muss, einerseits das aus dem Oberbau kommende Niederschlagswasser aufzunehmen und rückstandsfrei zu versickern und andererseits die aus der Verkehrsbelastung resultierenden Spannungen schadlos, also ohne bleibende Verformungen, aufnehmen zu können. Für letzteres muss der Untergrund die Anforderungen an den Verdichtungsgrad und den Verformungsmodul nach den ZTV E-StB 17 erfüllen (siehe Tabelle 3). Die Einschätzung der Eignung eines Bodens als Untergrund oder Unterbau unter einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung lässt sich nach Tabelle 3 treffen.

Tabelle 3: Eignung von Böden als Untergrund oder Unterbau für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen einschließlich Anforderungen an Verdichtungsgrad und Verformungsmodul

	Bodengruppe nach DIN 18196	Eignung als Untergrund/ Unterbau für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen	Anforderungen an den Untergrund/Unterbau		
			Verdichtungsgrad	Verformungsmodul	Wasserdurchlässigkeit
1	GW, GI, GE, SE, SI, SE (grobkörnige Böden)	in der Regel wasserdurchlässig/nicht frostempfindlich (Klasse F1)	$D_{pr} \geq 100 \% \text{ } ^{1)2)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa} \text{ } ^{2)}$	im verdichteten Zustand: $k \geq 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ bzw. $k_f \geq 3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (s. M VV); sind diese Anforderungen nicht zu erreichen, siehe Abschnitt 6.3
2	GU, GT, SU, ST (gemischtkörnige Böden mit 5 % bis 15 % Feinanteil < 0,063 mm)	bedingt wasserdurchlässig/nicht frostempfindlich (Klasse F1) bzw. gering bis mittel frostempfindlich (Klasse F2) <sup>3)</sup>	$D_{pr} \geq 100 \% \text{ } ^{4)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}$	
3	GU*, GT*, SU*, ST* (gemischtkörnige Böden mit 15 % bis 40 % Feinanteil < 0,063 mm)	in der Regel nicht ausreichend wasserdurchlässig/sehr frostempfindlich (Klasse F3) - für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen bedingt geeignet (siehe Abschnitt 6.3)	$D_{pr} \geq 97 \% \text{ } ^{4)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}$	
4	U, T, O (feinkörnige Böden mit > 40 % Feinanteil < 0,063 mm und organogene Böden)				

<sup>1)</sup> Gilt für die oberen 50 cm des anstehenden Untergrundes. Bei Auffüllungen (Damm, Unterbau) gilt die Anforderung für die oberen 100 cm, für den darunter liegenden Auffüllbereich gilt  $D_{pr} \geq 98 \%$ .

<sup>2)</sup> Gilt, wenn eine Tragschicht nach den RStO angeordnet wird (Regelfall). Wenn der Untergrund/Unterbau ausnahmsweise die Anforderungen an eine Tragschicht erfüllen kann, gelten die Anforderungen nach Tabelle 6, Zeilen 5 und 6. Eine Tragschicht kann dann entfallen.

<sup>3)</sup> Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit hängen vom Porenanteil ab. Dieser sinkt mit steigender Ungleichförmigkeitszahl  $C_u$ . Eine genaue Einordnung in eine Frostempfindlichkeitsklasse erfolgt nach den ZTV E-StB 17. Die Wasserdurchlässigkeit des verdichteten Untergrundes sollte möglichst früh in der Planungsphase geprüft werden (siehe auch Abschnitt 11).

<sup>4)</sup> Gilt für die oberen 50 cm. Bei Auffüllungen (Damm, Unterbau) gilt für den darunter liegenden Auffüllbereich  $D_{pr} \geq 97 \%$  bzw.  $D_{pr} \geq 95 \%$  (siehe auch ZTV E-StB 17).

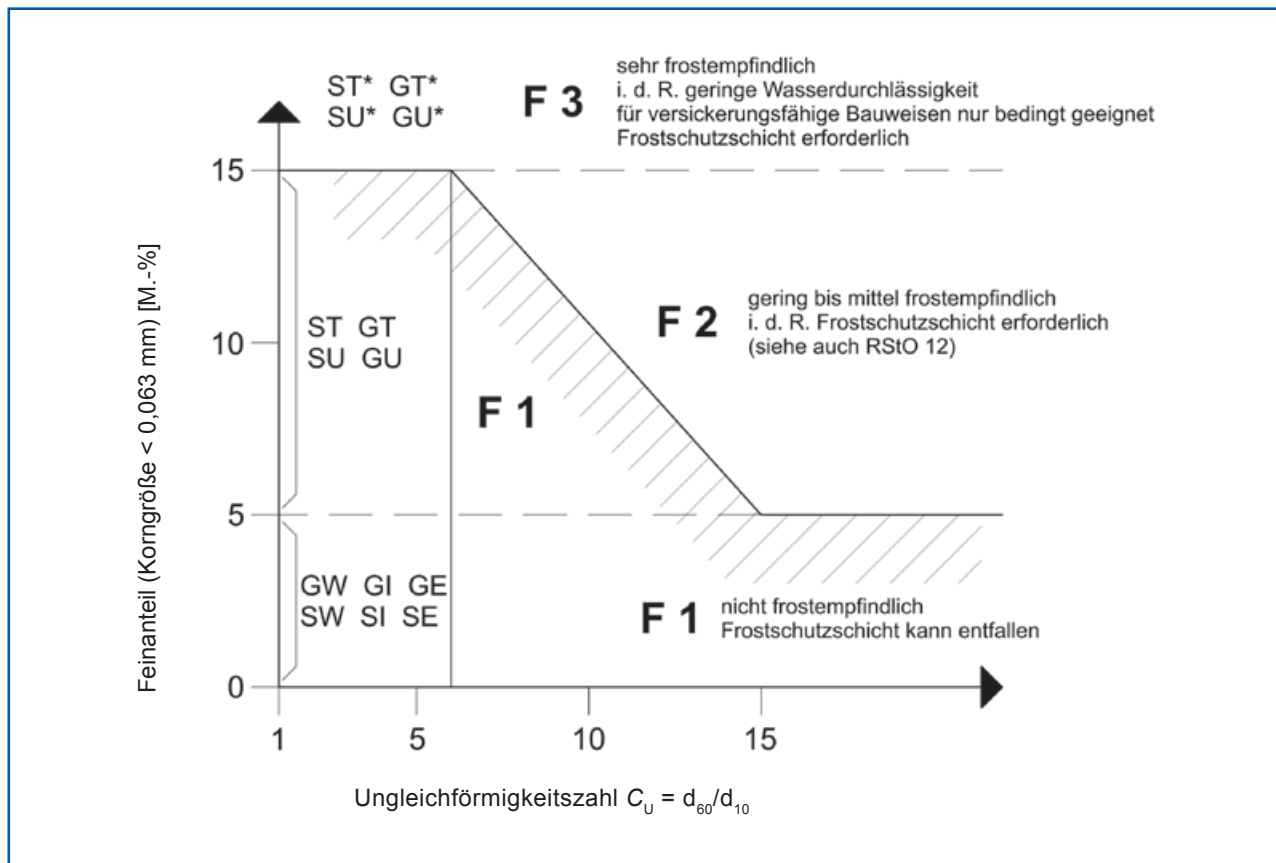


Bild 11: Frostempfindlichkeit von Böden nach den ZTV E-StB (Grafik: SLG in Anlehnung an ZTV E-StB)

Für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen sind in der Regel grobkörnige Böden nach Tabelle 3, Zeile 1, also Sande und Kiese, geeignet. Dagegen sind gemischtkörnige Böden nach Tabelle 3, Zeilen 3 und 4, in der Regel nur bedingt geeignet. Wenn Böden der Zeile 2 anstehen, sind weitergehende Überlegungen und gegebenenfalls Untersuchungen anzustellen. Zunächst ist anhand des Feinanteils und der Ungleichförmigkeitszahl  $C_u$  (zur Berechnung siehe Abschnitt 5.3.2) zu ermitteln, ob der betreffende Boden der Frostempfindlichkeitsklasse F1 oder F2 zuzuordnen ist (siehe Bild 11).

Ist der Boden als gering bis mittel frostempfindlich einzustufen (so genannter F2-Boden), ist in der Regel unter der Tragschicht der Einbau einer Frostschutzschicht erforderlich.

In einer möglichst frühen Phase der Planung ist die Wasserdurchlässigkeit des verdichteten Untergrundes zu prüfen (siehe auch Abschnitt 11). In Abhängigkeit vom Ergebnis ist dann zu entscheiden, ob eine versickerungsfähige Pflasterbefestigung technisch möglich ist, oder ob gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zur Entwässerung des Untergrundes nach Abschnitt 6.3 zu ergreifen sind.

Erfahrungsgemäß erreichen Böden nach Tabelle 3, Zeilen 3 und 4, die Anforderungen an den Infiltrations-

beiwert nach Abschnitt 4.3 im verdichteten Zustand nicht. Der Bau einer versickerungsfähigen Befestigung ist dann dennoch möglich, wenn auf dem Erdplanum zusätzliche entwässerungstechnische Maßnahmen nach Abschnitt 6.3 ergriffen werden. Es wird dadurch gegenüber konventionell entwässerten Oberflächen ein zeitlich und mengenmäßig reduzierter Niederschlagswasserabfluss erreicht. Ob versickerungsfähige Befestigungen unter diesen Umständen noch sinnvoll sind, ist im Einzelfall, nicht zuletzt auch aus ökonomischer Sicht, zu entscheiden.



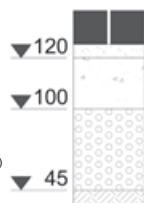
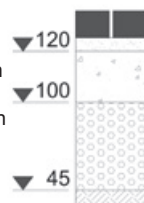
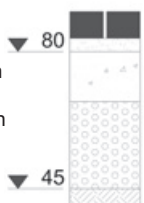



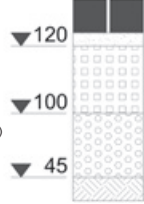
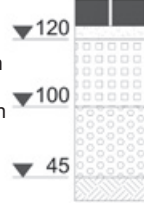




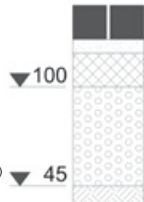
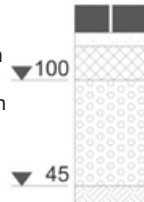


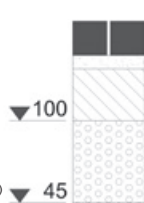
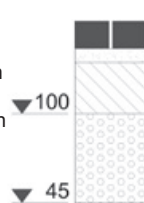


## 5.2 Der Oberbau

Der Oberbau besteht aus der Tragschicht, gegebenenfalls einer zusätzlichen Frostschutzschicht und der Pflasterdecke. Die Dicke des Oberbaus ist so festzulegen, dass während der geplanten Nutzungsdauer sowohl eine ausreichende Tragfähigkeit als auch eine ausreichende Frostsicherheit gewährleistet sind. Sofern der Untergrund oder Unterbau aus nicht frostempfindlichem Boden besteht (so genannter F1-Boden), ist eine

ausreichende Frostsicherheit gegeben. Die Oberbaudicke ist dann nur für eine ausreichende Tragfähigkeit auszurichten.

Besteht der Untergrund oder Unterbau aus einem frostempfindlichen Boden (so genannter F2- oder F3-Boden), so ist die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus nach den RStO festzulegen. Empfehlungen für die Gestaltung des Oberbaus enthält die Tabelle 4.

Tabelle 4: Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton auf F2- oder F3-Untergrund/Unterbau für Verkehrsflächen der Belastungsklasse bis Bk0,3 (in Anlehnung an M VV)

	Für Verkehrsflächen, wie		Für sonstige Verkehrsflächen, wie			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnstraßen, Wohnwege, Fußgängerzonen (ohne Bus- und Lieferverkehr mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs) nach Tabelle 2 der RStO 2012</li> <li>Verkehrsflächen in Neben- und Rastanlagen für Pkw-Verkehr einschließlich geringem Schwerverkehrsanteil nach Tabelle 4 der RStO 2012</li> <li>Abstellflächen für Pkw-Verkehr (Befahren durch Fahrzeuge des Unterhaltungsdienstes möglich) nach Tabelle 5 der RStO 2012</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Rad- und Gehwege, Hof-, Park- und Abstellflächen für Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht &lt; 3,5 t</li> </ul>			
	Beanspruchung B [Mio.] > 0,1 ≤ 0,3	Beanspruchung B [Mio.] ≤ 0,1	Bei Befahren durch Fahrzeuge > 3,5 t zul. Gesamtgewicht, z. B. des Wartungs- oder Unterhaltungsdienstes, muss auf der oberen ToB ein Verformungsmodul $E_{v2} > 100$ MPa erzielt werden.			
Dickenangaben in cm; $\nabla E_{v2}$ -Mindestwert in MPa						
Pflasterdecke auf Schottertragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	10 4 15 29	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 15 27	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 15 27
	Schottertragschicht 		Schottertragschicht 		Schottertragschicht 	
Pflasterdecke auf Kiestragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	10 4 20 34	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 20 32	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 15 27
	Kiestragschicht 		Kiestragschicht 		Kiestragschicht 	
Pflasterdecke auf wasserdurchlässiger Asphalttragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	10 4 10 24	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 10 22		
	Geotextil <sup>2)</sup> PA 16 T WDA <sup>3)</sup> 		Geotextil <sup>2)</sup> PA 16 T WDA <sup>3)</sup> 			
Pflasterdecke auf Dränbetontragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	10 4 15 29	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	8 4 15 27		
	Geotextil <sup>2)</sup> DBT C12/15 		Geotextil <sup>2)</sup> DBT C12/15 			

<sup>1)</sup> Die erforderliche Dicke der Frostschutzschicht ist gemäß den RStO so festzulegen, dass ein ausreichendes Tragverhalten und eine ausreichende Frostsicherheit gewährleistet sind. Es sind außerdem die Mindesteinbaudicken nach Tabelle 5 einzuhalten.

<sup>2)</sup> Gegebenenfalls Geotextil nach Abschnitt 2.2 des M VV.

<sup>3)</sup> Alternativ PA 22 T WDA gemäß Tabelle 4 des M VV.

## 5.3 Tragschichten und Frostschutzschichten

### 5.3.1 Allgemeines

Wie bei konventionellen Verkehrsflächenbefestigungen sind auch bei versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen in der Regel Tragschichten erforderlich. Hierbei ist der Widerstand gegen vertikale Verformungen der Pflasterdecke in besonderem Maße von der Tragfähigkeit und der Standfestigkeit der Unterlage, also von der Qualität der Tragschichten abhängig. Die lastverteilende Wirkung der Pflasterdecke hingegen ist vergleichsweise gering. Neben ausreichender Tragfähigkeit und Standfestigkeit müssen die Tragschichten auch eine für die Niederschlagswasserversickerung ausreichend hohe Wasserdurchlässigkeit aufweisen (siehe Abschnitt 4.3).

Für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen sind folgende Tragschichtarten geeignet:

- Tragschichten ohne Bindemittel (ToB), das sind
  - Frostschutzschichten (FSS)
  - Schottertragschichten (STS) und
  - Kiestragschichten (KTS)
- Tragschichten mit Bindemittel (TmB), das sind
  - wasserdurchlässige Asphalttragschichten (PA T WDA) und
  - Dränbetontragschichten (DBT).

Mögliche Kombinationen verschiedener Tragschichtarten sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen mit Tragschichten ohne Bindemittel stellen in der Regel die preiswerteste und unkomplizierteste Befestigung dar. Darum werden diese Tragschichtarten für diesen Einsatzzweck am häufigsten verwendet. Auf diese Befestigungen wird deshalb im Folgenden ausführlicher eingegangen.

### 5.3.2 Tragschichten ohne Bindemittel (ToB)

Zur Herstellung der Tragschichten ohne Bindemittel sollten stets Baustoffgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen gemäß den TL SoB-StB verwendet werden. Als unmittelbare Unterlage unter der Bettung der Pflasterdecke sollte daher im Regelfall eine Kies- oder Schottertragschicht nach den ZTV SoB-StB zur Anwendung kommen (siehe auch Tabelle 4).

Zur Erzielung einer ausreichend frostsicheren Oberbaudicke kann darunter der Einbau einer Frostschutzschicht notwendig werden. Für alle Tragschichten ohne Bindemittel ist die vom Größtkorn abhängige konstruktive Mindestbaudicke nach Tabelle 5 zu beachten.

Oft sind zum Erreichen der frostsicheren Oberbaudicke geringere Schichtdicken für die Frostschutzschicht erforderlich als die in Tabelle 5 aufgeführten Mindestbaudicken. So ist beispielsweise gemäß den RStO auf einem

Tabelle 5: Mindestbaudicke für Baustoffgemische für Trag- und Frostschutzschichten gemäß den ZTV SoB-StB

Größtkorn	Mindestbaudicke (verdichteter Zustand)
≤ 32 mm	12 cm
≤ 45 mm	15 cm
≤ 56 mm	18 cm
≤ 63 mm	20 cm

F2-Boden in der Belastungsklasse Bk0,3 eine Oberbaudicke von 40 cm erforderlich. Nach Tabelle 4 sind für die Befestigungsart „Pflasterdecke auf Kiestragschicht“ bei einer Beanspruchung B bis 0,3 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge die Pflasterdecke und die Kiestragschicht zusammen 34 cm dick auszuführen, so dass nur noch 6 cm Frostschutzschicht erforderlich wären, um insgesamt 40 cm Oberbaudicke zu realisieren. Da die Mindestdicke nach Tabelle 5 mit den verbleibenden 6 cm deutlich unterschritten wäre, sollte in einem solchen Fall die Frostschutzschicht durch das Material der darüber liegenden Schotter- oder Kiestragschicht ersetzt werden, das heißt, die Tragschicht wäre dann entsprechend dicker auszuführen.

Es hat sich im Hinblick auf die erforderliche Wasserdurchlässigkeit der Tragschichten als vorteilhaft erwiesen, wenn die Baustoffgemische einen geringen Sandanteil aufweisen, das heißt, die Korngrößenverteilung im Bereich bis 2 mm Korndurchmesser sollte sich an der unteren zulässigen Grenze der TL SoB-StB orientieren. Das Bild 12 und das Bild 13 geben am Beispiel von Baustoffgemischen 0/45 Orientierungshilfen für die Zusammensetzung von Gemischen, mit denen sich im Allgemeinen eine hohe Durchlässigkeit bei gleichzeitig ausreichender Tragfähigkeit erreichen lässt. Für Baustoffgemische 0/32 und 0/56 nach den TL SoB-StB ist sinngemäß vorzugehen.

Für eine hohe Wasserdurchlässigkeit ist es außerdem von Vorteil, wenn der Feinanteil im Baustoffgemisch – das ist der Kornanteil < 0,063 mm – möglichst gering ist. Üblicherweise darf der Feinanteil in Baustoffgemischen für Frostschutzschichten, Kies- und Schottertragschichten für konventionelle Pflasterbefestigungen gemäß den TL SoB-StB maximal 5 Masse-% betragen (Lieferzustand); das entspricht der Kategorie  $UF_5$ . Für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen ist es jedoch empfehlenswert, den Feinanteil auf maximal 3 Masse-% im Lieferzustand zu begrenzen. Derartige Baustoffgemische werden inzwischen in vielen Lieferwerken für bestimmte Anwendungsfälle hergestellt. Sie entsprechen der Kategorie  $UF_3$ .

Die Baustoffgemische sind mit einem geeigneten Wassergehalt, das heißt mit 80 % bis 90 % des optimalen Wassergehalts  $W_{opt}$  einzubauen. Der optimale Wassergehalt wird mittels Proctorversuch ermittelt, siehe auch

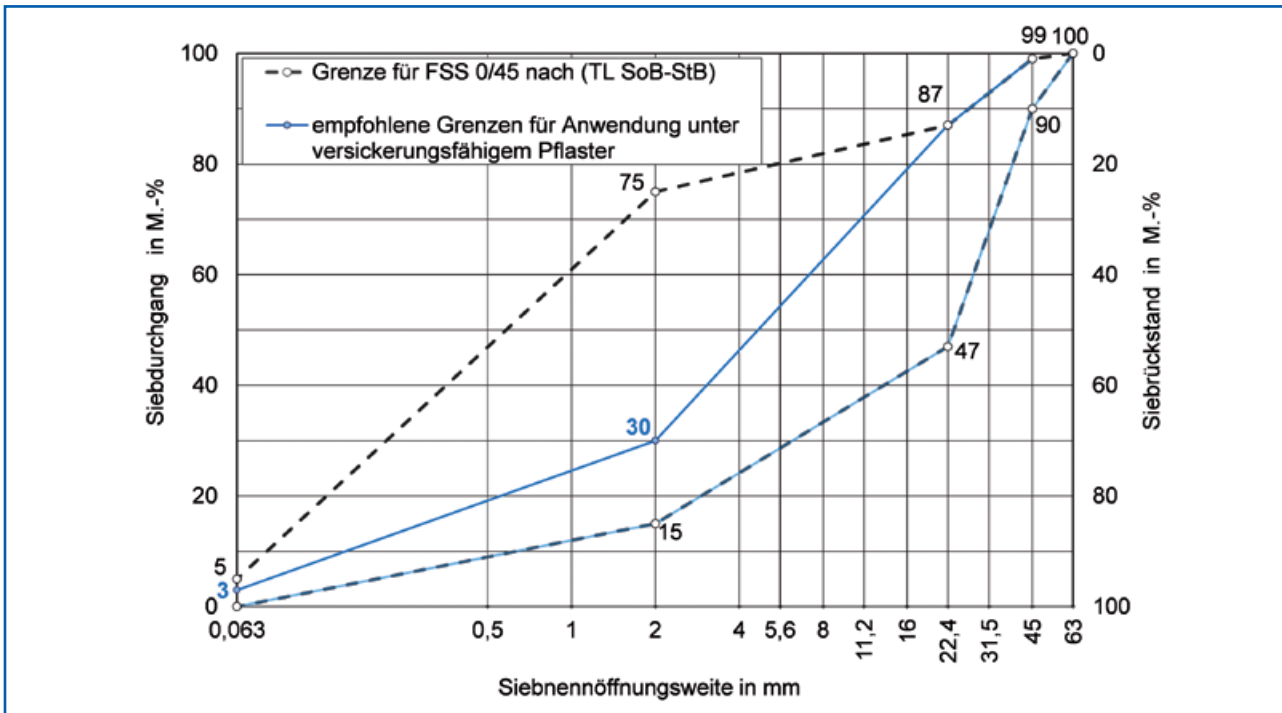


Bild 12: Orientierungshilfe für die Zusammensetzung von Baustoffgemischen 0/45 für Frostschutzschichten

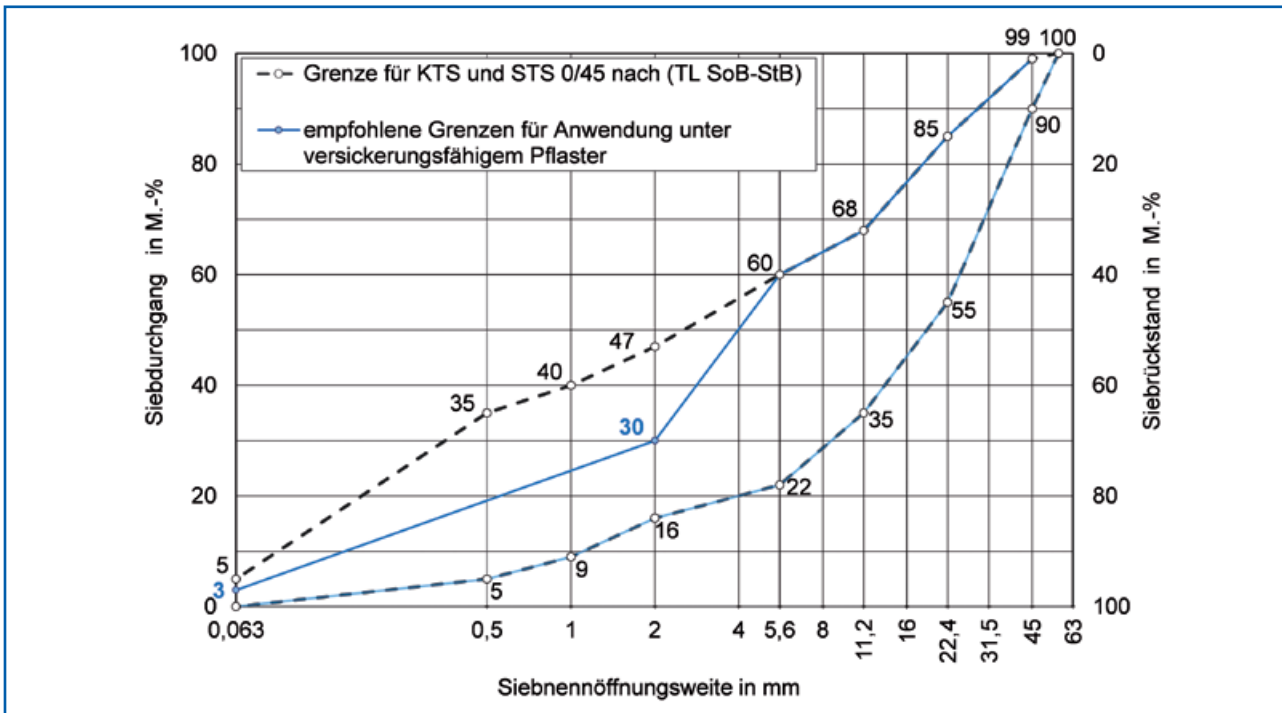


Bild 13: Orientierungshilfe für die Zusammensetzung von Baustoffgemischen 0/45 für Kies- und Schottertragschichten

TL SoB-StB. Beim Einbau dürfen keine wesentlichen Entmischungen auftreten. Da sich mit zunehmender Dichte der Tragschicht deren Durchlässigkeit verringert, sollte die Verdichtung über das notwendige Maß nicht hinausgehen.

Im eingebauten Zustand sollte der Feinanteil 5 Masse-% nicht überschreiten. Um beim Verdichten der Tragschichtgemische Kornzertrümmerungen in schädlichem Ausmaß zu vermeiden, sollten für Tragschichten ohne Bindemittel Baustoffgemische aus ausreichend festen Gesteinen ver-

wendet werden. Dies ist in der Regel gegeben, wenn für die Gesteine der gesteinspezifische Widerstand gegen Zertrümmerung gemäß den TL Gestein-StB 04 nachgewiesen und die Empfehlung nach Tabelle 6 eingehalten wurde.

Weitere Empfehlungen für die zu vereinbarenden baustoffspezifischen und einbauspezifischen Anforderungen an Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Empfehlungen für die zu vereinbarenden baustoffspezifischen und einbauspezifischen Anforderungen an Tragschichten ohne Bindemittel für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen der Belastungsklasse Bk0,3 und geringer

	Eigenschaft	Anforderungen	
		Frostschuttschicht	Kies- oder Schottertragschicht
<b>Baustoffgemisch <sup>1)</sup> nach TL SoB-StB</b>			
1	Widerstand gegen Frostbeanspruchung <sup>2)</sup>	Kategorie $F_4$ nach TL Gestein-StB 04	
2	Widerstand gegen Zertrümmerung <sup>2)</sup>	Schlagzertrümmerungswert $SZ \leq 26$ (Kategorie $SZ_{26}$ ) bzw. Los-Angeles-Koeffizient $LA \leq 30$ (Kategorie $LA_{30}$ )	
3	Korngrößenverteilung	Gemische $\geq 0/32$ <sup>3)</sup>	
		nach TL SoB-StB, Anhang B	nach TL SoB-StB, Anhang C
4	Wasserdurchlässigkeit	Infiltrationsbeiwert $k_i \geq 3 \times 10^{-5}$ m/s (Laborprüfung gemäß TP Gestein-StB Teil 8.3.1) bzw. Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 5 \times 10^{-5}$ m/s (Laborprüfung)	
<b>eingebaute Schicht nach ZTV SoB-StB</b>			
5	Verdichtungsgrad $D_{Pr}$	100 %	103 %
6	Verformungsmodul $E_{v2}$	Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk0,3 (siehe Tabelle 4)	
		$\geq 100$ MPa	$\geq 120$ MPa
		sonstige Verkehrsflächen (siehe Tabelle 4)	
		–	$\geq 80$ MPa bzw. $\geq 100$ MPa
7	Verhältnis $E_{v2}/E_{v1}$	$\leq 2,5$	$\leq 2,2$
8	Wasserdurchlässigkeit	Infiltrationsbeiwert $k_i \geq 3 \times 10^{-5}$ m/s	
9	Korngrößenverteilung	Gemische $\geq 0/32$ <sup>4)</sup>	
		ZTV SoB-StB, Anhang A	ZTV SoB-StB, Anhang B
10	Neigung	entsprechend der geplanten Neigung der Oberfläche der Pflasterdecke	
11	profilgerechte Lage	Abweichungen von der Sollhöhe höchstens $\pm 2,0$ cm	
12	Schichtdicke	zul. Unterschreitung der Solldicke: Mittelwert max. 10 % Einzelwert max. 3,5 cm (jedoch nicht kleiner als Wert in Tabelle 5)	
13	Ebenheit	Abweichung max. 1 cm <sup>5)</sup> unter der 4-m-Messlatte	

<sup>1)</sup> Die hier aufgeführten Empfehlungen gelten für Baustoffgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen. Sollten in Ausnahmefällen Baustoffgemische aus industriell hergestellten Gesteinskörnungen oder RC-Baustoffen zum Einsatz kommen, sind die Anforderungen der TL Gestein-StB 04, der RuA-StB 01 sowie ggf. länderspezifische Vorschriften zu erfüllen.

<sup>2)</sup> Kategorien siehe auch TL Gestein-StB 04.

<sup>3)</sup> Um eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit zu erreichen, sollten erhöhte Anforderungen gestellt werden. Eine Orientierungshilfe geben das Bild 12 und das Bild 13. Der Feinanteil sollte im Anlieferungszustand 3 M.-% nicht überschreiten.

<sup>4)</sup> Um eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit sicherzustellen, sollten erhöhte Anforderungen gestellt werden. Eine Orientierungshilfe geben das Bild 12 und das Bild 13. Der Feinanteil sollte im eingebauten Zustand 5 M.-% nicht überschreiten.

<sup>5)</sup> Um eine gleichmäßige Dicke der Pflasterbettung zu erreichen, wird empfohlen, eine erhöhte Anforderung gegenüber der ZTV SoB-StB zu stellen, in welcher eine zulässige Abweichung von 2 cm beschrieben ist.

Da in versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen das einsickernde Wasser mehrere Schichtgrenzen durchströmt, ist der Filterstabilität zwischen den verschiedenen Baustoffgemischen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Baustoffgemische für Frostschuttschichten sowie für Kies- und Schottertragschichten sind untereinander normalerweise filterstabil, wenn deren Korngrößenverteilung in den zulässigen Sieblinienbereichen nach den TL SoB-StB bzw. nach den ZTV SoB-StB liegen.

Die Schichtgrenze zwischen der unteren Tragschicht und dem Untergrund/Unterbau kann filtertechnisch kritisch

sein, wenn feinkörnige Böden anstehen oder Grundwasser bis in die Höhe des Planums aufsteigen kann. Beim Vorliegen solcher Randbedingungen ist auf den Bau von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen aber ohnehin zu verzichten. Bestehen dennoch Zweifel an der Filterstabilität zwischen Boden und unterer Tragschicht, beispielsweise weil die Tragschicht sehr eng gestuft ist oder der Untergrund feinkörnig ist und über eine Planumsentwässerung entwässert werden soll (siehe Abschnitt 6.3), so kann der Nachweis der Filterstabilität für diese Schichtgrenze nach den RAS-Ew geführt werden.

Die dort aufgeführten Filterregeln gehen vom hydraulisch ungünstigen Fall aus, dass ein feinkörniger Boden durch ein Filtermaterial entwässert wird. Im Falle der versickerungsfähigen Befestigung liegen günstigere Verhältnisse vor, weil das Wasser aus der Frostschuttschicht, das heißt in der Regel aus der grobkörnigeren Schicht, in den üblicherweise feinkörnigeren Boden sickert. Dennoch lässt sich das in den RAS-Ew erläuterte Filterkriterium nach CISTIN/ZIEMS für versickerungsfähige Befestigungen hilfsweise anwenden.

Im folgenden Beispiel wird die Überprüfung der Filterstabilität zwischen Untergrund (Tertiärsand, Kurzzeichen SU) und einer Frostschuttschicht (FSS 0/45) demonstriert. Zunächst ist in Bild 14 das Filterkriterium nach CISTIN/ZIEMS für den für Tragschichten relevanten Bereich dargestellt nach RAS-Ew. Das Bild 15 enthält die Korngrößenverteilungen der beiden beteiligten Materialien sowie zur Orientierung die empfohlenen Korngrößenbereiche für Frostschuttschichten (siehe auch Bild 12).

Aus den Sieblinien werden zunächst die relevanten Korndurchmesser abgeleitet:

Untergrund	Frostschuttschicht
$d_{60} = 1,1 \text{ mm}$	$D_{60} = 16 \text{ mm}$
$d_{50} = 0,85 \text{ mm}$	$D_{50} = 13 \text{ mm}$
$d_{10} = 0,074 \text{ mm}$	$D_{10} = 1 \text{ mm}$

Damit können nun die Ungleichförmigkeitszahlen ( $C_U$ ) und das Abstandsverhältnis ( $A_{50}$ ) ermittelt werden:

Untergrund	Frostschuttschicht
$C_{Ud} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,1}{0,074} = 14,9$	$C_{UD} = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{16}{1} = 16$

$$A_{50 \text{ vorh.}} = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{13}{0,85} = 15,3$$

Mit den Ungleichförmigkeitszahlen wird aus Bild 14 ein zulässiges Abstandsverhältnis für die hier untersuchte Kombination Boden/Frostschuttschicht von  $A_{50 \text{ zul.}} = 30$  ermittelt. Das Filterkriterium nach CISTIN/ZIEMS  $A_{50 \text{ vorh.}} < A_{50 \text{ zul.}}$  wird somit erfüllt. Von ausreichender Filterstabilität kann also ausgegangen werden.

Die Darstellung des Abstandsverhältnisses in Bild 15 veranschaulicht, dass dieses umso größer wird, je weiter die Sieblinien von Tragschicht und Boden voneinander entfernt sind. Aus Bild 14 ist wiederum abzuleiten, dass mit steigender Ungleichförmigkeitszahl des Tragschichtmaterials das zulässige Abstandsverhältnis ansteigt. Allerdings wirkt sich eine große Ungleichförmigkeit des Tragschichtgemisches nachteilig auf dessen Wasserdurchlässigkeit aus.

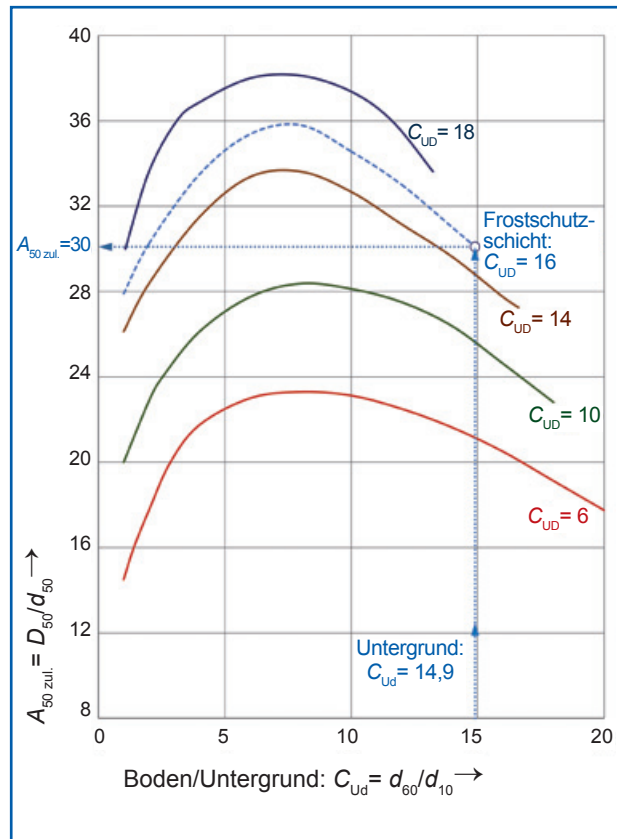


Bild 14: Filterkriterium  $A_{50 \text{ vorh.}} < A_{50 \text{ zul.}}$  nach CISTIN/ZIEMS nach den RAS-Ew mit eingetragenem Beispiel für die Sieblinien aus dem Bild 15

Aus diesen Zusammenhängen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Filterstabilität ist umso schwerer sicherzustellen, je feinkörniger der Boden ist; allerdings sind feinkörnige Böden ohnehin für die Versickerung nur eingeschränkt geeignet.
- Die Filterstabilität kann realisiert werden, indem ein für den Boden passendes Baustoffgemisch für die untere Tragschicht verwendet wird, das heißt, der Abstand zwischen  $D_{50}$  und  $d_{50}$  soll möglichst klein sein.
- Alternativ kann die Filterstabilität auch durch eine zwischen Tragschicht und Boden angeordnete Filterschicht bewerkstelligt werden, deren Sieblinie zwischen der des Bodens und der Tragschicht liegen sollte.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Geotextil als Trennschicht zwischen dem Erdplanum und der unteren Tragschicht anzuordnen. Gegebenenfalls sind dafür Geotextilien einer Robustheitsklasse  $\geq$  GRK 3 nach dem M Geok E zu verwenden. Für die Auswahl des Geotextils ist zudem die charakteristische Öffnungsweite  $O_{90}$  zur Charakterisierung des Bodenrückhaltevermögens und die Wasserdurchlässigkeit  $k_v$  maßgebend.

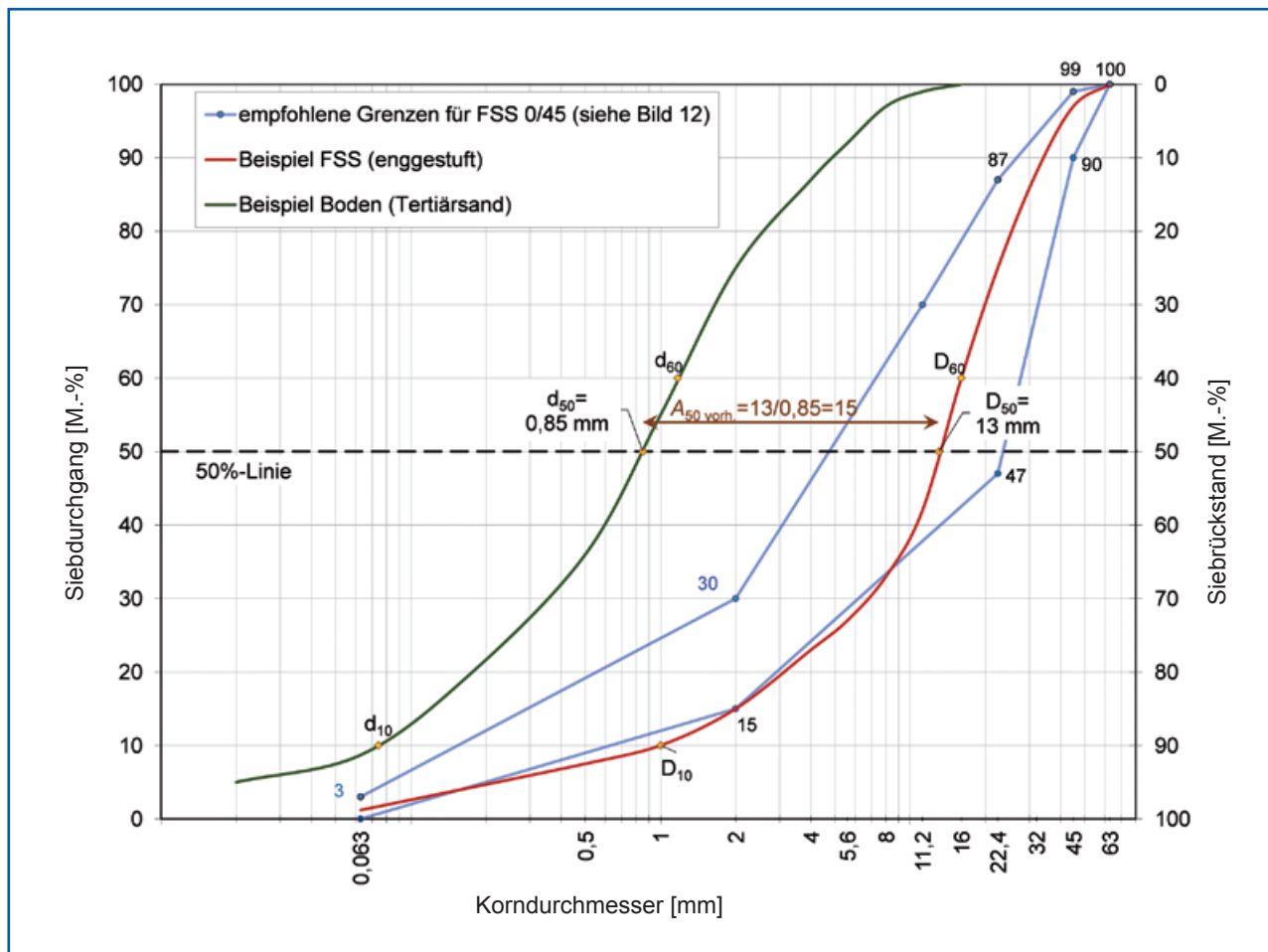


Bild 15: Beispiel für die Beurteilung der Filterstabilität zwischen Untergrund und unterer Tragschicht (FSS)

Die Tabelle 7 gibt Anhaltswerte für die Wahl der Öffnungsweite  $O_{90}$  in Abhängigkeit vom Untergrund (Boden) nach dem M Geok E. Diese Anhaltswerte gelten für den „hydraulischen Normalfall“, das heißt, wenn Wasser von oben nach unten durch die Befestigung sickert. Sie gelten nicht für den Fall, dass Grundwasser bis in den Bereich des Planums aufsteigen kann. Die vertikale Wasserdurchlässigkeit  $k_v$  des Geotextils sollte unabhängig vom Untergrund  $\geq 10^{-3}$  m/s betragen.

Tabelle 7: Anhaltswerte für die Wahl der Öffnungsweite von Geotextilien zur Sicherung der mechanischen Filterwirksamkeit in Abhängigkeit vom Untergrund (Boden) nach dem M Geok E

Untergrund (Boden)	$O_{90}$ des Geotextils
kohäsive Böden <sup>1)</sup>	0,06 - 0,20 mm
Grobschluff <sup>1)</sup> bis Feinsand	0,06 - 0,11 mm
Feinsand	0,06 - 0,13 mm
Mittelsand	0,08 - 0,30 mm
Grobsand <sup>2)</sup>	0,12 - 0,60 mm

<sup>1)</sup> In der Regel nur eingeschränkt für die Versickerung geeignet.  
<sup>2)</sup> In der Regel zur Frostschuttschicht filtertechnisch unproblematisch.

### 5.3.3 Tragschichten mit Bindemittel (TmB)

Wasserdurchlässige Tragschichten mit Bindemittel können aufgrund ihrer hohen Steifigkeit vor allem dann zweckmäßig sein, wenn die versickerungsfähige Pflasterbefestigung einer höheren Belastung als Bk0,3 gemäß den RStO ausgesetzt ist.

Wasserdurchlässige Asphalttragschichten für versickerungsfähige Pflasterbefestigung können als PA 22 T WDA und PA 16 T WDA nach dem M VV zur Anwendung kommen.

Dränbetontragschichten für versickerungsfähige Pflasterbauweisen aus Beton können als DBT 22 und DBT 32 nach dem M VV zur Anwendung kommen. Weitere Hinweise sind dem M VV zu entnehmen.

### 5.4 Randeinfassungen

Versickerungsfähige Pflasterdecken sind immer mit Randeinfassungen zu versehen, um horizontale Verschiebungen der Pflasterdecke zu vermeiden. Detaillierte Hinweise zur Planung und Ausführung von Randeinfassungen sind dem Merkblatt M FP sowie der Fachbrochüre *Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflaster-*

steinen (Wellner, Köhler & Ulonska 2014) zu entnehmen. Bei versickerungsfähigen Pflasterdecken mit zusätzlicher Entwässerung (siehe Abschnitt 6) ist die Randeinfassung gegebenenfalls so auszubilden, dass ein seitliches Abfließen des Niederschlagswassers gewährleistet wird. Die Randeinfassung kann dann zum Beispiel mit auf Lücke gesetzten Tiefbordsteinen hergestellt werden (siehe Bild 16 und Bild 17).



Bild 16: Versickerungsfähige Pflasterdecke mit Randeinfassung aus auf Lücke gesetzten Tiefbordsteinen

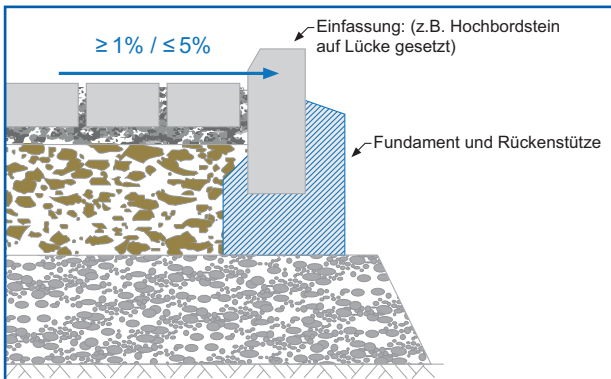


Bild 17: Beispiel für eine Randeinfassung für eine versickerungsfähige Pflasterdecke (schematisch)

## 5.5 Die versickerungsfähige Pflasterdecke

### 5.5.1 Allgemeines

Die versickerungsfähige Pflasterdecke besteht aus den Pflastersteinen oder dem Pflastersystem, der Fugen- und gegebenenfalls Kammerfüllung sowie der Bettung. Sie muss sowohl die Funktionen einer herkömmlichen Pflasterdecke, zum Beispiel hinsichtlich Gestaltung und verkehrlicher Nutzbarkeit, als auch die Funktion einer Entwässerungseinrichtung – als Teil einer Entwässerungsanlage – erfüllen. Hinweise zur Auswahl der Pflastersteine oder des Pflastersystems enthalten die Abschnitte 4.6 und 4.10.

### 5.5.2 Bettungs- und Fugenmaterial

Gesteinskörnungen und Gesteinskörnungsgemische für Bettungs- und Fugenmaterialien müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

- geeignete Kornzusammensetzung im Hinblick auf die erforderliche Wasserdurchlässigkeit; bei Fugenmaterialien zudem auf die vorgesehene Fugenbreite und gegebenenfalls das vorgesehene Pflastersystem abgestimmt,
- ausreichende Kornfestigkeit in Abhängigkeit von der zu erwartenden Verkehrsbelastung.

Für die Fugenfüllung ist nach Möglichkeit das gleiche Material zu verwenden wie für die Bettung. Anderenfalls muss die Filterstabilität zwischen Bettungs- und Fugenmaterial nachgewiesen werden. Für versickerungsfähige Pflasterdecken grundsätzlich geeignete Körnungen und Korngruppen für Bettungs- und Fugenmaterialien enthält die Tabelle 8.

Tabelle 8: Geeignete Körnungen und Kombinationen von Körnungen für Bettungs- und Fugenmaterialien

Fuge / Bettung	0/2 <sup>1)</sup>	1/3	2/4	2/5	2/8	4/8	5/8
1/3	+	+					
2/4		+	+				
2/5		+	+	+			
2/8		+	+	+	+		
4/8			-	+	+	+	
5/8			-	-	+	+	+

<sup>1)</sup> Es sollte ausschließlich gewaschenes Material verwendet werden.  
 + Geeignet und filterstabil, wenn Lieferkörnungen nach den TL Gestein-StB 04 verwendet werden.  
 - Nicht geeignet oder nicht zu empfehlen.

Eine Zusammenstellung der Empfehlungen hinsichtlich der zu vereinbarenden Anforderungen an Bettungs- und Fugenmaterialien enthält die Tabelle 9.

Bei versickerungsfähigen Pflasterdecken mit gefüglichten Betonsteinen, Sickerfugen und/oder zusätzlichen Sickeröffnungen erfolgt die Versickerung des Niederschlagswassers ausschließlich über die Fugen und Sickeröffnungen. Diese müssen daher umso durchlässiger ausgebildet werden, je geringer ihr Anteil an der Gesamtfläche ist. Für derartige Systeme ergibt sich die erforderliche Durchlässigkeit  $k$  des Fugenmaterials grundsätzlich aus Bild 18. Die Durchlässigkeit des Fugen- und Bettungsmaterials sollte durch Laborprüfungen im verdichteten Zustand ermittelt werden (siehe auch Abschnitt 11). Aus Bild 18 kann auch ausgehend von der Durchlässigkeit des Fugenmaterials der erforderliche Anteil an Sickerfugen und Sickeröffnungen abgeleitet werden.

Tabelle 9: Empfehlungen für die zu vereinbarenden baustoffspezifischen und einbauspezifischen Anforderungen an Bettungs- und Fugenmaterialien sowie an die versickerungsfähige Pflasterdecke

	Eigenschaft	Anforderungen
	Bettungs- und Fugenmaterial <sup>1)</sup>	
1	Korngruppe / Körnung	siehe Tabelle 8
2	Gehalt an Feinanteilen <sup>2)</sup>	≤ 1 M.-% (Kategorie $f_1$ )
3	Widerstand gegen Zertrümmerung <sup>2)</sup>	Schlagzertrümmerungswert $SZ \leq 22$ (Kategorie $SZ_{22}$ ) bzw. Los-Angeles-Koeffizient $LA \leq 25$ (Kategorie $LA_{25}$ )
4	Widerstand gegen Frostbeanspruchung <sup>2)</sup>	Verlust ≤ 4 M.-% (Kategorie $F_4$ )
5	Anteil gebrochener Oberflächen <sup>2)</sup>	für befahrbare Flächen: Kategorie $C_{90/3}$ für sonstige Flächen: Kategorie $C_{NR}$
6	Wasserdurchlässigkeit	Fugenmaterial: siehe Bild 18 Bettungsmaterial: $k_{\text{Bettung}} \geq k_{\text{Fugenmaterial}}$
<b>versickerungsfähige Pflasterdecke (fertiggestellt) <sup>3)</sup></b>		
7	Infiltrationsbeiwert	$k_i \geq 3 \times 10^{-5}$ m/s
8	Bettungsdicke	4 cm ± 1 cm <sup>4)</sup>
9	Fugenfüllung	vollständig gefüllt; bei gefasteten Steinen bis Unterkante Fase
10	Neigung $p$ <sup>5)</sup>	$5 \% \geq p \geq 1 \%$ (für zusätzliche Entwässerungseinrichtungen s. Abschnitt 6) Abweichungen von der planmäßigen Neigung max. 0,4 % (absolut); die Mindestneigung von 1 % darf jedoch nicht unterschritten werden
11	profilgerechte Lage	Abweichungen von der Sollhöhe höchstens ± 2,0 cm
12	Ebenheit	Abweichung max. 10 mm unter der 4-m-Messlatte

<sup>1)</sup> Die hier aufgeführten Empfehlungen gelten für natürliche Gesteinskörnungen. Sollten in Ausnahmefällen Baustoffgemische aus industriell hergestellten Gesteinskörnungen oder RC-Baustoffen zum Einsatz kommen, sind die Anforderungen der TL Gestein-StB 04, der RuA-StB 01 sowie ggf. länderspezifische Vorschriften zu erfüllen.

<sup>2)</sup> Kategorien siehe auch TL Gestein-StB 04.

<sup>3)</sup> Die Empfehlungen gelten für das „System Pflasterdecke“ (Steine, Fugenfüllung und Bettung) im verlegten und verdichteten Zustand.

<sup>4)</sup> Aufgrund nicht zu vermeidender Arbeitstoleranzen darf die Dicke der Bettung den unteren Wert unterschreiten, jedoch an keiner Stelle dünner als 2 cm sein.

<sup>5)</sup> Bei einer Neigung > 5 % ist mit erhöhtem Oberflächenabfluss zu rechnen (siehe Abschnitt 4.10).

Zu berücksichtigen ist dabei, dass eine Mindestfugenbreite notwendig ist, um ausreichend sickerfähiges Fugenmaterial sicher und vollständig in die Fuge einbringen zu können. Erfahrungsgemäß sind dafür Sickerfugenbreiten von mindestens 5 mm für ein Fugenmaterial 1/3 und Sickerfugenbreiten von mindestens 8 mm für ein Fugenmaterial 2/4 oder 2/5 erforderlich.

Bei Pflasterdecken mit haufwerksporigen Betonsteinen weisen die Fugen in der Regel eine Sollbreite von 4 mm oder 6 mm auf, so dass hierfür als Fugenmaterial die Körnungen 0/2 oder 1/3 nach Tabelle 8 in Frage kommen. Dabei ist zu beachten, dass sich beim Einkehren feine Partikel des Fugenmaterials in den oberflächennahen Haufwerksporen der Betonsteine festsetzen und diese verstopfen können. Sofern kein bestimmtes, auf den jeweiligen Pflasterstein abgestimmtes Fugenmaterial empfohlen wird, zum Beispiel durch den Steinhersteller,

sollte die Eignung durch probeweises Einkehren von Fugenmaterial ermittelt werden.

### 5.5.3 Verlegung, Verfugen, Abrütteln

Die Pflastersteine sind immer zwischen Randeinfassungen nach Abschnitt 5.4 auf die vorbereitete, abgezogene Bettung in einem geeigneten Verband zu verlegen. Dabei sind die vorgesehenen bzw. vorgegebenen Fugenbreiten einzuhalten.

Die Fugen und die gegebenenfalls vorhandenen Sickeröffnungen müssen vollständig und kontinuierlich mit dem Fortschreiten der Verlegearbeiten verfüllt werden. Dazu wird das Fugenmaterial auf das Pflaster aufgebracht und in die Fugen und gegebenenfalls Sickeröffnungen eingekehrt. Überschüssiges Fugenmaterial ist vollständig zu beseitigen. Anschließend ist die Pflasterdecke bei tro-



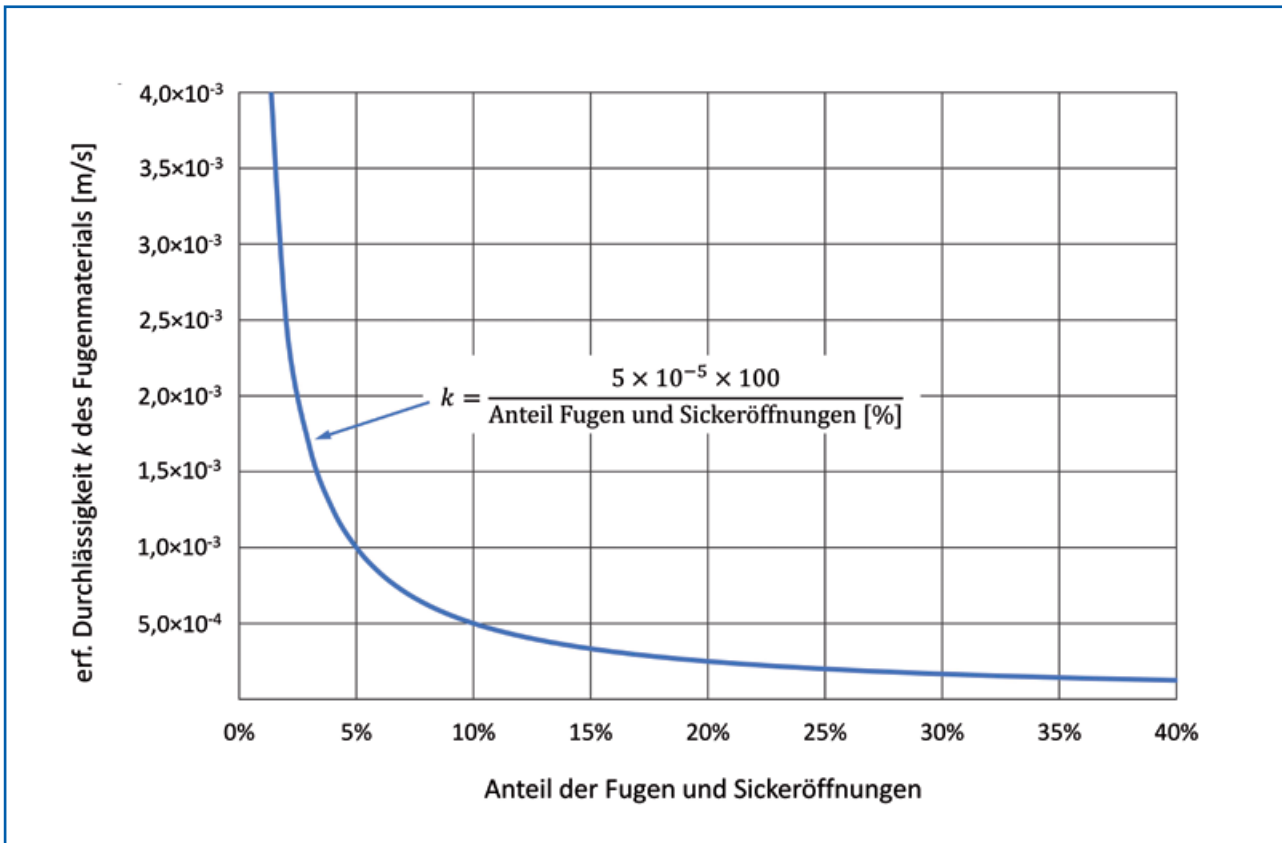


Bild 18: Erforderliche Durchlässigkeit  $k$  des Fugenmaterials in Abhängigkeit vom Anteil der Fugen- und Sickeröffnungen

ckener Oberfläche von den Rändern beginnend zur Mitte hin abzurütteln. Dabei darf der Verlauf der Fugen nicht beeinträchtigt werden. Flächen mit unverfüllten Fugen dürfen nicht abgerüttelt werden.

Anschließend sind die Fugen und gegebenenfalls Sickeröffnungen bei Bedarf erneut aufzufüllen und die Pflasterdecke durch Abrütteln bis zur Standfestigkeit zu verdichten. Beim Abrütteln der versickerungsfähigen Pflasterdecke ist sicherzustellen, dass die Oberfläche frei von Fugenmaterial und sonstigen Stoffen ist, da diese durch die Vibrationsplatte zerkleinert werden und die Versickerungsleistung der Pflasterdecke beeinträchtigen können. Für das Abrütteln von versickerungsfähigen Pflasterdecken sollte immer eine Vibrationsplatte mit Kunststoffmatte verwendet werden, um Beschädigungen an der Oberfläche der Pflastersteine zu vermeiden. Auf ein Einschlämmen des Fugenmaterials sollte verzichtet werden, um die Durchlässigkeit der Pflasterdecke nicht zu beeinträchtigen. Keinesfalls sollte ein Fugenschlussmaterial eingeschlämmt werden, wie dies häufig bei konventionellen Pflasterdecken empfohlen wird, da der hohe Feinanteil dieses Materials die Versickerungsfähigkeit der Pflasterdecke erheblich beeinträchtigen würde.

## 6 Zusätzliche Entwässerungseinrichtungen

### 6.1 Oberflächenentwässerung

Im Laufe des Nutzungszeitraumes kann der Eintrag von Staub und organischen Partikeln oder eine Vermoosung zu einer Abnahme der Versickerungsfähigkeit der Pflasterdecke führen. Dies kann bei Starkregenereignissen einen Oberflächenabfluss hervorrufen. Um einen geordneten Abfluss sicherzustellen, sollte die Oberfläche der Pflasterdecke eine Neigung von mindestens 1 % aufweisen (siehe auch Abschnitt 4.10). Das abfließende Niederschlagswasser muss durch eine zusätzliche Entwässerungseinrichtung aufgenommen werden. Vorzugsweise erfolgt dies mittels Versickerungsmulden (siehe schematische Darstellung in Bild 19 und Beispiel in Bild 20). Als Alternative kann auch ein Mulden-Rigolen-System als zusätzliche Entwässerungseinrichtung dienen (Beispiel siehe Bild 21). Nur wenn die beiden beschriebenen Varianten aus Platzgründen nicht möglich sind, sollte ein Anschluss an eine Vorflut, zum Beispiel an das Kanalnetz, erfolgen.

Niederschlagswasser wird formal erst dann zum Abwasser, wenn es gesammelt und zum Abfluss gebracht wird (§ 54 WHG). Demnach handelt es sich bei dem abfließenden Überschusswasser rechtlich gesehen um Abwasser, dessen Versickerung in der Regel einer Genehmigung bedarf.

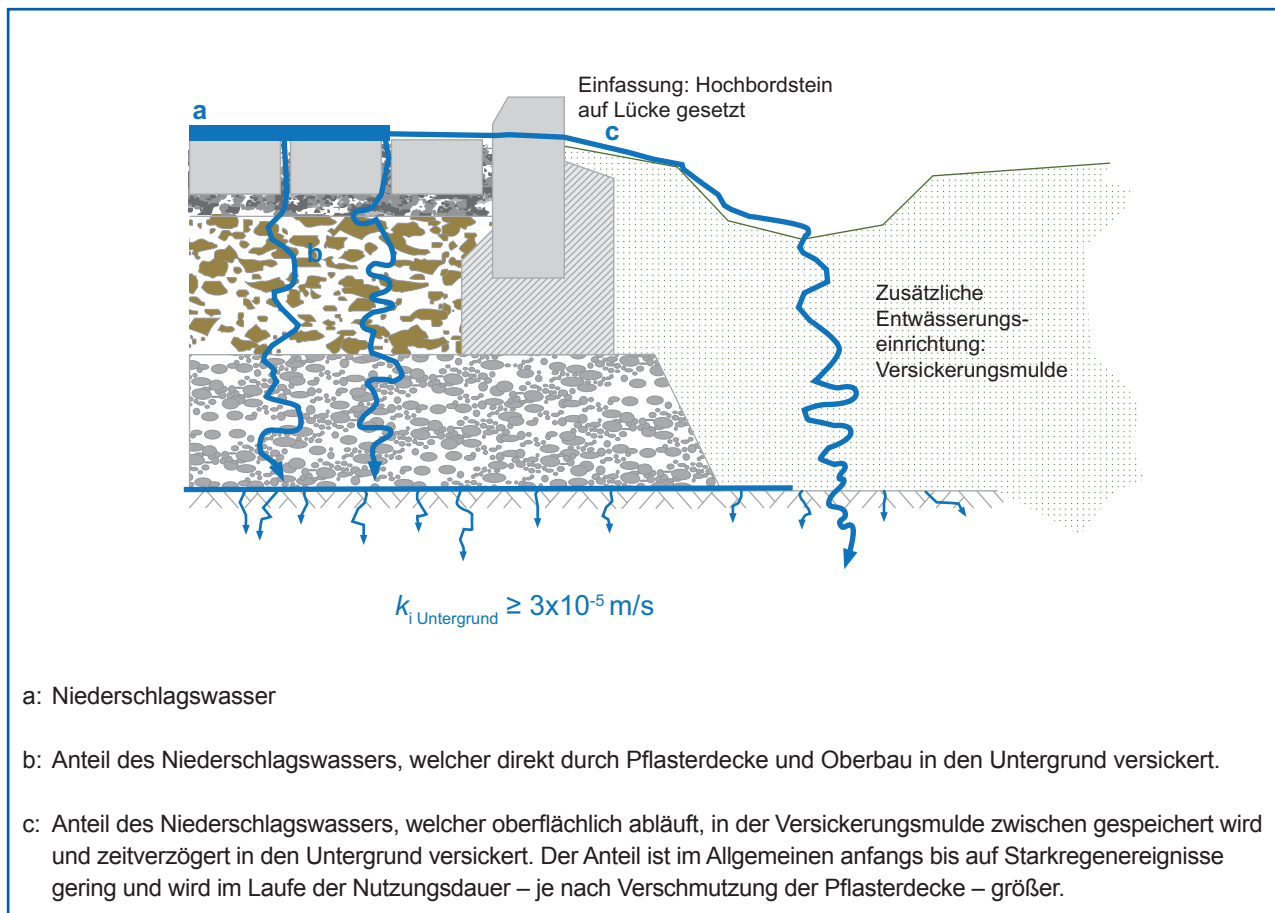


Bild 19: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei ausreichend durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form einer Versickerungsmulde (schematisch)



Bild 20: Beispiel für eine versickerungsfähige Pflasterdecke mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form einer Versickerungsmulde



Bild 21: Beispiel für eine versickerungsfähige Pflasterdecke mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems

## 6.2 Bemessung der zusätzlichen Entwässerungseinrichtung

Für die Bemessung einer zusätzlichen Entwässerungseinrichtung ist die abzuführende Niederschlagswassermenge maßgebend. Vereinfacht dargestellt, wird diese aus einem Bemessungsregenereignis und der Größe der angeschlossenen Fläche ermittelt. Dabei wird die tatsächlich abfließende Wassermenge mit einem oberflächenspezifischen Abflussbeiwert  $C$  bzw.  $\psi$  multipliziert. Dieser berücksichtigt, dass auf unterschiedlich befestigten Flächen mit unterschiedlichen Oberflächentopografien unterschiedlich viel Wasser abfließt. Grundsätzlich wird zur Bemessung von Rohrleitungen ein Spitzenabflussbeiwert  $C_s$  bzw.  $\psi_s$  und zur Bemessung von Rückhalteräumen und Versickerungsanlagen ein mittlerer Abflussbeiwert  $C_m$  bzw.  $\psi_m$  angesetzt.

Auf konventionellen Asphaltbefestigungen zum Beispiel, ist mit einem Abfluss von 90 % bis 100 % des Bemessungsniederschlags zu rechnen, was einem Spitzenabflussbeiwert von 1,0 und einem mittleren Abflussbeiwert von 0,9 entspricht. Für versickerungsfähige Pflasterdecken kann mit einem deutlich geringeren Abfluss gerechnet werden. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit auch im verschmutzten Zustand ein Teil des Niederschlagswassers in den Fugen und/oder Sickeröffnungen zurückgehalten wird und versickert und andererseits aufgrund der geringen Neigung der Oberfläche der Abfluss langsamer stattfindet. Die in den für die Bemessung von Entwässerungseinrichtungen relevanten Technischen Regeln angegebenen Abflussbeiwerte für versickerungsfähige Pflasterdecken zeigt Tabelle 10.

Dabei ist zu beachten:

- Die Norm DIN 1986-100 wird für Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken angewendet,
- das Arbeitsblatt DWA-A 138 wird zur Bemessung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser angewendet und

– das M VV gibt Empfehlungen für Verkehrsflächen.

Demnach wäre bei der Anwendung des DWA-A 138 eine Versickerungsmulde für eine versickerungsfähige Pflasterdecke lediglich für 25 % der Bemessungsregenspende auszulegen. Im Vergleich zu „dichten“ Flächenbefestigungen, zum Beispiel aus Asphalt oder Ort beton, wäre der Platzbedarf für diese zusätzliche Entwässerungseinrichtung deutlich geringer.

Erfolgt die zusätzliche Entwässerung in ein öffentliches Kanalnetz, so kann der dafür erforderliche Anschluss entsprechend geringer dimensioniert werden. Vielerorts wird dieser geringere Niederschlagswasserabfluss bei der Bemessung der Niederschlagswassergebühr berücksichtigt, indem diese bezogen auf die betreffende Fläche beispielsweise nur zu 50 % oder geringer angesetzt wird (zu Abflussbeiwerten siehe auch Abschnitt 3.4.2).

## 6.3 Zusätzliche Entwässerung des Untergrundes

Wenn der Untergrund die Anforderungen an die Durchlässigkeit nicht erfüllt, das heißt, ein Infiltrationsbeiwert von  $k_1 \geq 3 \times 10^{-5}$  m/s oder eine Wasserdurchlässigkeit von  $k \geq 5 \times 10^{-5}$  m/s nicht gegeben ist, sind zusätzliche bautechnische Maßnahmen erforderlich, um Staunässe im Oberbau zu vermeiden. Dabei sind die nachfolgenden zwei Fälle zu unterscheiden.

### Fall 1: Die Durchlässigkeit des Untergrundes ist gering

Mit „geringer Durchlässigkeit“ soll hier gemeint sein, dass ein Infiltrationsbeiwert  $k_1$  zwischen etwa  $3 \times 10^{-5}$  m/s und etwa  $3 \times 10^{-6}$  m/s bzw. ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  zwischen etwa  $5 \times 10^{-5}$  m/s und etwa  $5 \times 10^{-6}$  m/s vorliegt.

#### Maßnahmen:

Die Dicke der Frostschuttschicht oder der Schicht aus frostunempfindlichem Material sollte um 10 cm bis 20 cm dicker ausgeführt werden, als dies nach den RStO erforderlich wäre (siehe auch Tabelle 4). Alternativ kann ein Bodenaustausch mit ausreichend durchlässigem

Tabelle 10: Abflussbeiwerte von versickerungsfähigen Pflasterdecken zur Bemessung von Entwässerungseinrichtungen

Regelwerk	mittlerer Abflussbeiwert <sup>1)</sup>	Spitzenabflussbeiwert <sup>2)</sup>
DIN 1986-100	$C_m = 0,25$	$C_s = 0,4$
DWA-A 138	$\psi_m = 0,25$	-
M VV	$\psi = 0,3$ bis $0,5$	

<sup>1)</sup> Zur Bemessung von Versickerungsmulden, Mulden-Rigolen-Systemen u. ä. Anlagen, mit denen Überschusswasser zurückgehalten und versickert werden kann, siehe z. B. Bild 22.

<sup>2)</sup> Zur Bemessung von Grundleitungen, mit denen das Überschusswasser in das Kanalnetz eingeleitet wird, siehe z. B. Bild 23

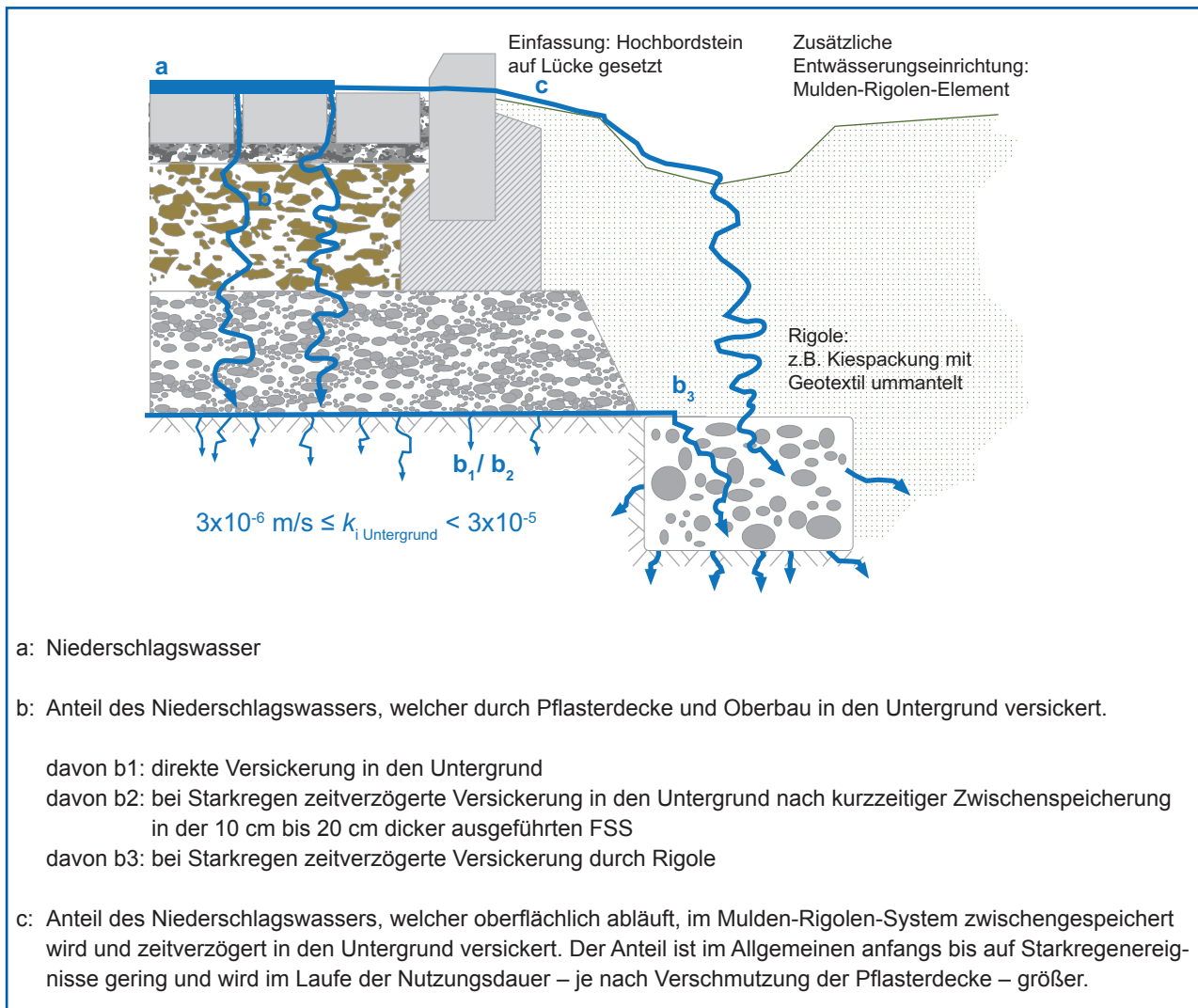


Bild 22: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems (schematisch)

Material in dieser Dicke vorgenommen werden. Dies trägt einerseits dazu bei, die verkehrsbedingten Spannungen auf ein für den wasserempfindlichen Untergrund unschädliches Maß zu reduzieren. Andererseits dienen die Hohlräume der zusätzlichen Schichtdicke gleichzeitig als Zwischenspeicher für das verzögert in den Untergrund einsickernde Niederschlagswasser. Rechnerisch ist beispielsweise eine 10 cm dicke Schicht mit einem Porenanteil von 18 Volumen-% in der Lage, die Niederschlagsmenge des Bemessungsregens vollständig aufzunehmen und zwischenzuspeichern. Diese Maßnahme kann auch zweckmäßig sein, wenn die Anforderungen an den Verformungsmodul auf dem Erdplanum nicht erreicht werden können, zum Beispiel auf einem gleichkörnigen Sand.

Das Erdplanum sollte mit einer entwässerungswirksamen Neigung von 2 % bis 4 % ausgebildet werden, so dass der Anteil Sickerwasser, der nicht durch das Erdplanum versickern kann, seitlich abgeführt und zum Beispiel in einer Rigole versickert wird (Beispiel siehe Bild 22).

## Fall 2: Die Durchlässigkeit des Untergrundes ist sehr gering

Mit „sehr geringer Durchlässigkeit“ soll hier gemeint sein, dass ein Infiltrationsbeiwert  $k_i$  von weniger als etwa  $3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  oder ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  von weniger als etwa  $5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  vorliegt.

### Maßnahmen:

Die Dicke der Frostschutzschicht oder der Schicht aus frostunempfindlichem Material sollte um 10 cm bis 20 cm dicker ausgeführt werden, als dies nach den RStO erforderlich wäre. Alternativ kann ein Bodenaustausch mit ausreichend durchlässigem Material in dieser Dicke vorgenommen werden (wie im Fall 1).

Das Erdplanum sollte wie im konventionellen Straßenbau zur Wasserableitung mit einer entwässerungswirksamen Neigung von mindestens 4 % ausgebildet werden. Das seitlich austretende Wasser ist in einer Dränage zu fassen und konventionell in eine Vorflut

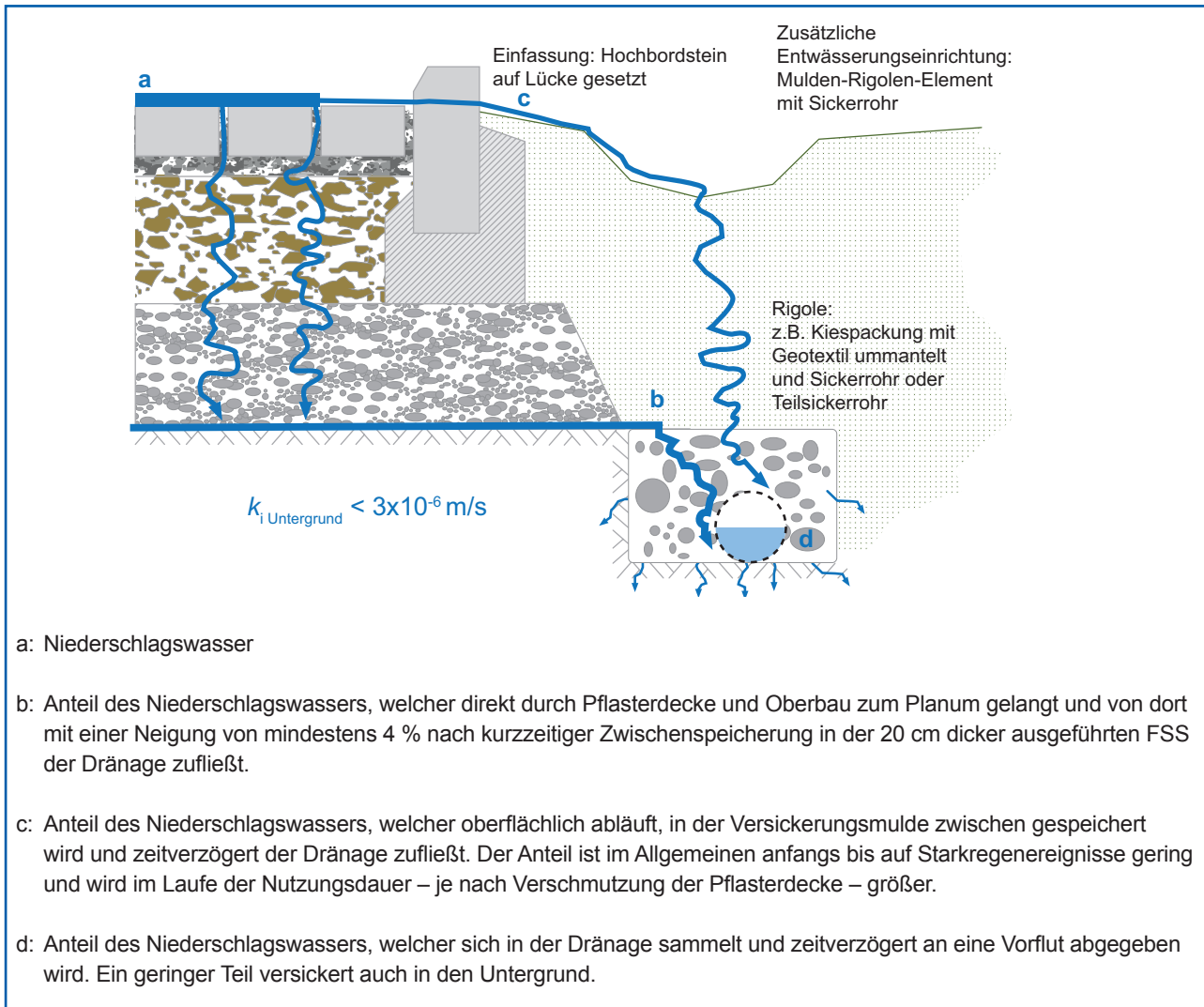


Bild 23: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei sehr gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems und Sickerleitung (schematisch)

abzuleiten. Sofern der Untergrund und die örtlichen Platzverhältnisse dies zulassen, kann auch über eine entsprechend bemessene Rigole eine Versickerung in den Untergrund erfolgen (Beispiel siehe Bild 23). Diese Bauweise wird zum Beispiel angewendet, um auch bei einem gering durchlässigen Untergrund die Vorteile der versickerungsfähigen Befestigung zu nutzen, die sich in der zeitlich verzögerten Ableitung des Niederschlagswassers zur Vermeidung von Abflussspitzen zeigen.

## 7. Höher beanspruchte Verkehrsflächen

Für Verkehrsflächen, die höher beansprucht werden, als dies für eine Belastungsklasse Bk0,3 nach den RStO gilt, ist die Anwendung von versickerungsfähigen Pflastersystemen aus Beton grundsätzlich möglich.

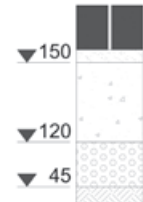
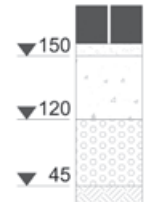

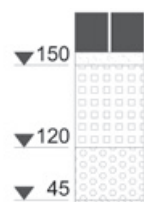
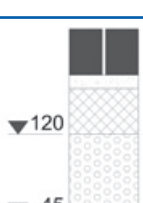
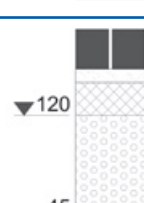
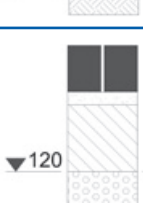
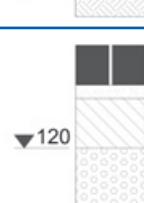
In jedem Einzelfall sind jedoch Prüfungen im Vorfeld erforderlich. Zu berücksichtigen sind dabei einerseits die höheren Beanspruchungen, denen durch entsprechende bautechnische Maßnahmen Rechnung zu tragen ist (siehe Abschnitt 4.6). Andererseits ist ein eventuell höheres Schmutz- und Schadstoffeintragspotenzial hinsichtlich

einer möglichen Grundwassergefährdung zu bewerten (siehe Abschnitt 4.7).

In der Tabelle 11 sind mögliche Varianten für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen in den Belastungsklassen Bk1,0 und Bk1,8 dargestellt. Es werden außerdem in Frage kommende Anwendungsbereiche für solche Verkehrsflächen aufgezeigt.

Es ist zweckmäßig, für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen in den Belastungsklassen Bk1,0 und Bk1,8 Pflastersteine oder Verbundpflastersteine mit einer Nennstärke von mindestens 100 mm zu verwenden.

Tabelle 11: Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton auf F2- oder F3-Untergrund/Unterbau für Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk1,0 und Bk1,8 (in Anlehnung an M VV)

		In Sonderfällen und nach Einzelfallprüfung für Verkehrsflächen, wie	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• dörfliche Hauptstraßen, Quartiersstraßen, Sammelstraßen, Wohnstraßen nach Tabelle 2 der RStO</li> <li>• Verkehrsflächen in Neben- und Rastanlagen für Pkw-Verkehr einschließlich geringem Schwerverkehrsanteil nach Tabelle 4 der RStO</li> <li>• nicht ständig von Schwerverkehr genutzte Abstellflächen nach Tabelle 5 der RStO</li> </ul>	
		Bk1,8	Bk1,0
		Dickenangaben in cm; $\nabla E_{v2}$ -Mindestwert in MPa	
Pflasterdecke auf Schottertragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen (Verbundsteine)		
	Schottertragschicht	25	20
	Frostschuttschicht <sup>1)</sup>	43	36
Pflasterdecke auf Kiestragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen (Verbundsteine)		
	Kiestragschicht	25	25
	Frostschuttschicht <sup>1)</sup>	41	41
Pflasterdecke auf wasserdurchlässiger Asphalttragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen (Verbundsteine)		
	Geotextil <sup>2)</sup>	14	12
	PA 22 T WDA	32	28
	Frostschuttschicht <sup>1)</sup>	45	45
Pflasterdecke auf Dränbetontragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen (Verbundsteine)		
	Geotextil <sup>2)</sup>	20	15
	DBT C25/30	38	31
	Frostschuttschicht <sup>1)</sup>	45	45

<sup>1)</sup> Die erforderliche Dicke der Frostschuttschicht ist gemäß den RStO so festzulegen, dass ein ausreichendes Tragverhalten und eine ausreichende Frostsicherheit gewährleistet sind. Es sind außerdem die Mindesteinbaudicken nach Tabelle 5 einzuhalten.

<sup>2)</sup> Gegebenenfalls Geotextil, siehe auch M VV.

<sup>3)</sup> Alternativ PA 22 T WDA, siehe auch M VV.

Die Pflasterdecke sollte Fugenbreiten von höchstens 8 mm (Sollmaß) aufweisen. Die Tragschichten sollten höhere Tragfähigkeiten aufweisen als bei den in Tabelle 4 dargestellten Befestigungen, was im Allgemeinen größere Schichtdicken erforderlich macht. Auch sollten

die Baustoffgemische für solche Tragschichten höhere Anforderungen an die Gesteinsfestigkeit erfüllen (siehe Tabelle 12). Auch der Einsatz von wasserdurchlässigen Tragschichten mit Bindemittel (PA T WDA oder DBT, siehe Abschnitt 5.3.3) kann in diesen Fällen zweckmäßig sein.

Tabelle 12: Empfehlungen für die zu vereinbarenden baustoffspezifischen und einbauspezifischen Anforderungen an Tragschichten ohne Bindemittel für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen für die Belastungsklassen Bk1,0 und Bk1,8

	Eigenschaft	Anforderungen	
		FSS	KTS oder STS
<b>Baustoffgemisch <sup>1)</sup> nach TL SoB-StB</b>			
1	Widerstand gegen Frost	siehe Tabelle 6	
2	Widerstand gegen Zertrümmerung <sup>2)</sup>	Schlagzertrümmerungswert $SZ \leq 22$ (Kategorie $SZ_{22}$ ) bzw. Los-Angeles-Koeffizient $LA \leq 25$ (Kategorie $LA_{25}$ )	
3	Korngrößenverteilung	siehe Tabelle 6	
4	Wasserdurchlässigkeit		
<b>eingebaute Tragschicht nach ZTV SoB-StB</b>			
5	Verdichtungsgrad $D_{Pr}$	siehe Tabelle 6	
6	Verformungsmodul $E_{v2}$	siehe Tabelle 11	
		$\geq 120$ MPa	$\geq 150$ MPa
7	Verhältnis $E_{v2}/E_{v1}$	siehe Tabelle 6	
8	Wasserdurchlässigkeit		
9	Korngrößenverteilung		
10	Neigung		
11	profilgerechte Lage		
12	Schichtdicke		
13	Ebenheit		

<sup>1)</sup> Die hier aufgeführten Anforderungen gelten für Baustoffgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen. Sollten in Ausnahmefällen Baustoffgemische aus industriell hergestellten Gesteinskörnungen oder RC-Baustoffen zum Einsatz kommen, sind die Anforderungen der TL Gestein-StB 04, der RuA-StB 01 sowie ggf. länderspezifische Vorschriften zu erfüllen.

<sup>2)</sup> Kategorien siehe auch TL Gestein-StB 04.

## 8. Besondere Hinweise zur Planung und Ausführung

Bei der Herstellung von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen ist besonders darauf zu achten, dass in keiner Bauphase die Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes oder der bereits fertiggestellten Schichten des Oberbaus beeinträchtigt wird. Das erfordert bereits im Vorfeld Überlegungen zur Baustelleneinrichtung, zu Bauverfahren und zum Maschineneinsatz. Diese sind darauf auszurichten, Verschmutzungen und Abdichtungen von den Schichtoberflächen fern zu halten. Verschmutzungen können zum Beispiel durch Zwischenlagerung von Baustoffen entstehen. Eine Abdichtung der Schichtoberfläche kann durch übermäßige Kornverfeinerung entstehen, die ihrerseits auf intensiven Baustellenverkehr oder das Befahren von nicht ausreichend verdichteten Tragschichten zurückzuführen sein kann.

Bei der Erschließung von Wohngebieten ist zu berücksich-

tigen, dass Erdarbeiten oder ähnliche Maßnahmen im Umfeld zur Verschmutzung der versickerungsfähigen Pflasterbefestigung führen können. Hier sind gegebenenfalls Zwischenausbaustufen oder Baustraßen bereits in der Planung vorzusehen. Dabei kann es zweckmäßig sein, zunächst die Tragschicht dicker als erforderlich einzubauen und als Baustraße zu verwenden. Nach Fertigstellung der gesamten Wohnbebauung wird die Tragschicht bis auf die erforderliche Dicke abgeschoben, profiliert und nachverdichtet und mit der versickerungsfähigen Pflasterdecke überbaut. Die Versickerungsfähigkeit der Tragschicht sollte vor dem Einbau der Pflasterdecke nochmals überprüft werden (siehe auch Abschnitt 11).

Bei Pflasterdecken mit Sickerfugen und aufgeweiteten Sickerfugen ist während der Bauausführung insbesondere darauf zu achten, dass die für das Pflastersystem vorgesehene Fugenbreite eingehalten wird, da ansonsten der vorgesehene Fugenanteil und damit die angestrebte Versickerungsleistung nicht erreicht werden.

Finden in unmittelbarer Nähe zu versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen Garten- und Landschaftsbauarbeiten statt, sind die entsprechenden Pflasterflächen gegebenenfalls vor Verschmutzungen zu schützen, zum Beispiel durch Abdecken.

## 9. Erhaltung, Winterdienst

### 9.1 Erhaltung

Die Versickerungsleistung von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen kann im Laufe der Nutzung durch Verunreinigungen, insbesondere den Eintrag organischer und mineralischer Feinanteile, zurückgehen. Eine regelmäßige und sorgfältige Reinigung derartiger Flächen ist deshalb besonders wichtig. Insbesondere Laub, Moos, Schmutz von Baufahrzeugen und ähnliche Verunreinigungen, die zu einer Verstopfung des Porensystems der Betonpflastersteine, Sickerfugen oder Sickeröffnungen führen können, sind möglichst zeitnah zu entfernen. Kraftfahrzeugverkehr mit hohem Schmutzeintrag, zum Beispiel landwirtschaftliche Fahrzeuge, sollte möglichst von versickerungsfähigen Pflasterdecken ferngehalten werden. Ist derartige Verkehr temporär nicht zu vermeiden, sollten analog zu Abschnitt 8 geeignete Maßnahmen zum Schutz der versickerungsfähigen Pflasterdecke getroffen werden.

Bei versickerungsfähigen Pflasterdecken sollte im Rahmen der regelmäßigen Straßenreinigung auf den Einsatz von ausschließlich vertikal saugenden Kehr- und Saugmaschinen verzichtet werden, da diese häufig das Fugenmaterial oder einen wesentlichen Teil davon aufnehmen. Horizontal saugende Maschinen sind weniger kritisch einzustufen. Etwaig ausgeprägtes Fugenmaterial – sei es durch die Maßnahmen der Straßenreinigung oder durch den Fahrzeugverkehr – sollte unverzüglich ersetzt werden. Auf das M BEP wird verwiesen.

Für die Wiederherstellung einer etwaig zurückgegangenen Versickerungsleistung gibt es verschiedene Ansätze. Für versickerungsfähige Pflasterdecken aus haufwerksporigen Betonpflastersteinen haben sich Hochdruck-Vakuum-Reinigungsgeräte bewährt. Die mittels maschinellen Spül-Saug-Verfahren entfernten und aufgenommenen Verunreinigungen können Schadstoffe enthalten; daher ist das Reinigungsgut gemäß den gesetzlichen Bestimmungen zu entsorgen.

Für versickerungsfähige Pflasterdecken mit Sickerfugen oder Sickeröffnungen kann ein Austausch des Fugenmaterials im oberen Bereich der Fugen zweckmäßig sein. Hierzu wird das verschmutzte Fugenmaterial mit entsprechenden Werkzeugen, zum Beispiel Fugenkratzer, mechanisch aufgelockert und anschließend mittels Kehr- und Saugmaschine ausgesaugt.

Anschließend muss – unabhängig vom durchgeführten Reinigungsverfahren – das entfernte Fugenmaterial durch

neues Fugenmaterial nach Abschnitt 5.5.2 ersetzt werden.

### 9.2 Winterdienst

Im Rahmen des Winterdienstes sollten auf versickerungsfähigen Pflasterdecken keine Auftaumittel, sondern ausschließlich abstumpfende Streumittel verwendet werden. Diese sollten nicht zu feinkörnig sein, da ansonsten die Poren des Pflastersystems verstopfen können und die Versickerungsleistung der Pflasterdecke beeinträchtigt werden kann. Eine solche Beeinträchtigung kann auch eintreten, wenn Streustoffe länger als notwendig auf der Pflasterdecke verbleiben und, zum Beispiel durch den Fahrzeugverkehr, zerkleinert und in die Oberfläche eingedrückt werden.

Beim Räumen von Schnee mittels Schild ist darauf zu achten, dass weder die Pflastersteine selbst noch der Verband der Pflasterdecke beschädigt werden. Das Schneeräumen mit Kehrbesen oder Schneefräsen ist bei versickerungsfähigen Pflasterdecken zumeist vorteilhafter als das klassische Räumen mittels Schild.

Über die bei versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen zu beachtenden Besonderheiten des Winterdienstes sollten sich Eigentümer, Anlieger und Hausmeisterdienste unbedingt informieren.

## 10. Aufgrabungen

Aufgrabungen und daran anschließende bauliche Maßnahmen, zum Beispiel Aushubarbeiten, Bauverkehr und Materiallagerung, sind so zu planen und zu organisieren, dass es dadurch nicht zur Verschmutzung der versickerungsfähigen Pflasterdecke kommt. Das erfordert von allen Beteiligten besondere fachtechnische Kenntnisse. Die Eigenschaften Wasserdurchlässigkeit, Tragfähigkeit und Filterstabilität müssen nach Abschluss der Arbeiten für den gesamten Oberbau wieder im erforderlichen Maß hergestellt werden.

## 11. Prüfungen zum Nachweis der Wasserdurchlässigkeit

Neben den im Straßenbau üblichen Prüfungen zum Nachweis des erreichten Verdichtungsgrades und einer ausreichenden Tragfähigkeit auf dem Untergrund/Unterbau und der Tragschicht ohne Bindemittel, zum Beispiel mittels Plattendruckversuch nach DIN 18134 kommt der Prüfung der Wasserdurchlässigkeit bei versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen eine besondere Bedeutung zu. Dabei werden Laborprüfungen zur Bestimmung der Durchlässigkeit der Baustoffe einerseits und in situ-Prüfungen zur Bestimmung der Infiltrationsleistung der fertiggestellten Schichten andererseits unterschieden (siehe auch Anmerkung zu den Begriffen „Infiltrationsbeiwert“ und „Durchlässigkeitsbeiwert“ im Abschnitt 2).

Mittels Laborprüfungen wird anhand von Proben die Eig-



nung der zur Verwendung vorgesehenen Baustoffe hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit untersucht. Anhand von Bodenproben kann zum Beispiel auch die Eignung eines anstehenden Untergrundes für die Versickerung untersucht werden, indem der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ermittelt wird. Als Messverfahren sind hier zu nennen:

- die Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes nach DIN EN ISO 17892-11 sowie
- die Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Standrohr-Infiltrrometer nach TP Gestein-StB Teil 8.3.1.

Mittels in situ-Prüfungen – auch Feldprüfungen genannt – wird die Infiltrationsleistung fertiggestellter Schichten, zum Beispiel der Tragschicht und der versickerungsfähigen Pflasterdecke, untersucht, indem der Infiltrationsbeiwert  $k_i$  ermittelt wird. Es stehen dafür die folgenden Messverfahren zur Verfügung:

- Doppelring-Infiltrrometer nach DIN 19682-7
- Modifizierter Standrohr-Infiltrrometer nach TP Gestein Teil 8.3.2 (siehe Bild 24)
- Tropf-Infiltrrometer nach TP Gestein-StB Teil 8.3.3 und
- Doppelring-Infiltrrometer nach TP Gestein Teil 8.3.4 (siehe Bild 25).

Ein weiteres in situ-Messverfahren ist der so genannte Schnelltest nach dem M VV. Der Test dient jedoch nur zur groben, in vielen Fällen aber ausreichenden Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit einer fertiggestellten Schicht. Zur Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes  $k_i$  kann der Schnelltest nicht herangezogen werden.

Es wird empfohlen, den Infiltrationsbeiwert im Rahmen von Eignungsprüfungen rechtzeitig zu untersuchen, um gegebenenfalls Einfluss auf die Baustoffe und das Bauverfahren nehmen zu können. Dazu kann im Falle des anstehenden Bodens zum Beispiel das jeweils erste Teilstück des freigelegten und verdichteten Untergrundes untersucht werden. Im Falle der Tragschicht kann das Anlegen und Untersuchen eines Probefeldes Aufschluss über die Eignung der vorgesehenen Baustoffe und des Bauverfahrens geben.

Wie umfangreiche Untersuchungen an Tragschichten ohne Bindemittel (Wellner & Wolf 2013) und (Spanier & Wolf 2019) unter anderem gezeigt haben, weisen festgestellte Infiltrationsbeiwerte eine große Spanne auf, die auf Inhomogenitäten der Schichten hinsichtlich der Kornverteilung und der Lagerungsdichte beruhen.

Da diese Inhomogenitäten über ein Bauvorhaben oder auch über ein Baulos nicht zu vermeiden sind, wird zusätzlich empfohlen, die Infiltrationsleistung der tatsächlich im Bauvorhaben realisierten Schichten im Rahmen einer Kon-

trollprüfung zu untersuchen und anhand der Vorgaben des Bauvertrags oder der Technischen Regeln zu bewerten.

Wie die Untersuchungen (Spanier & Wolf 2019) weiterhin ergeben haben, sind die Messverfahren mit den Geräten Doppelring-Infiltrrometer nach TP Gestein Teil 8.3.4, Tropf-Infiltrrometer nach TP Gestein-StB Teil 8.3.3, Standrohr-Infiltrrometer Baustellengerät nach TP Gestein Teil 8.3.2 und Standrohr-Infiltrrometer Laborgerät nach TP Gestein Teil 8.3.1 nicht als gleichwertig zu betrachten.

Daher wird außerdem empfohlen, die Festlegung von verbindlichen Anforderungswerten – zum Beispiel im Sinne von Abnahmekriterien – an ein bestimmtes Messverfahren zu koppeln und sowohl die Eignungsprüfungen, als auch die Kontrollprüfungen mit diesem bestimmten Prüfverfahren durchzuführen.

Um sowohl bei einer Eignungsprüfung, als auch bei der Prüfung einer fertigen Schicht möglichst zeitnah zu Ergebnissen zu kommen, bietet sich zunächst die Durchführung des Schnelltests nach dem M VV an. Dabei wird die Abflusszeit einer bestimmten Wassermenge unter be-



Bild 24: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes auf einer Tragschicht ohne Bindemittel (in situ) mit dem modifizierten Standrohr-Infiltrrometer nach den TP Gestein-StB Teil 8.3.2

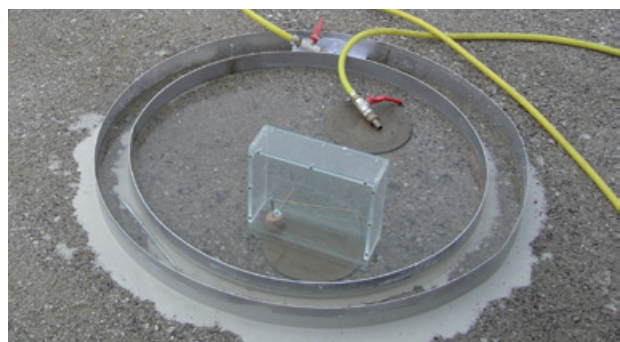


Bild 25: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes auf einer Tragschicht ohne Bindemittel (in situ) mit dem Doppelring-Infiltrrometer nach den TP Gestein-StB Teil 8.3.4

Tabelle 13: Bestimmung und Bewertung des Durchlässigkeits- bzw. Infiltrationsbeiwertes für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton

Schicht (Baustoff)	Laborprüfung		
	Messverfahren	Ergebnis	Anforderung
Untergrund/Unterbau (Boden)	DIN EN ISO 17892-11 <sup>1), 2)</sup> bzw. TP Gestein-StB Teil 8.3.1 <sup>1)</sup>	Durchlässigkeitsbeiwert $k$ [m/s] bzw. Infiltrationsbeiwert $k_i$ [m/s]	siehe Tabelle 3
Tragschicht ohne Bindemittel (Baustoffgemisch)	TP Gestein-StB Teil 8.3.1 <sup>1)</sup>	Infiltrationsbeiwert $k_i$ [m/s]	siehe Tabelle 6
Bettung/Fugenfüllung (Bettungs- und Fugenmaterial)	DIN EN ISO 17892-11 <sup>1)</sup>	Durchlässigkeitsbeiwert $k$ [m/s]	siehe Tabelle 9
(haufwerksporige Pflastersteine)	DIN 18507, Anhang B	Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ [m/s]	siehe DIN 18507
Schicht (Baustoff)	in situ-Prüfung		
	Messverfahren	Ergebnis	Anforderung
Untergrund/Unterbau (Boden)	Schnelltest <sup>4)</sup>	Abflusszeit [s]	siehe Tabelle 15
	ggf. Infiltrometer-Verfahren nach TP Gestein-StB Teil 8.3.2, TP Gestein-StB Teil 8.3.3 oder TP Gestein-StB Teil 8.3.4	Infiltrationsbeiwert $k_i$ [m/s]	siehe Tabelle 3
Tragschicht ohne Bindemittel (Baustoffgemisch)	Schnelltest <sup>4)</sup>	Abflusszeit [s]	siehe Tabelle 15
	ggf. Infiltrometer-Verfahren nach TP Gestein-StB Teil 8.3.2, TP Gestein-StB Teil 8.3.3 oder TP Gestein-StB Teil 8.3.4	Infiltrationsbeiwert $k_i$ [m/s]	siehe Tabelle 6
Pflasterdecke <sup>3)</sup>	Schnelltest <sup>4)</sup>	Abflusszeit [s]	siehe Tabelle 15
	ggf. Infiltrometer-Verfahren nach TP Gestein-StB Teil 8.3.3 oder TP Gestein-StB Teil 8.3.4	Infiltrationsbeiwert $k_i$ [m/s]	siehe Tabelle 9

<sup>1)</sup> Der geforderte Verdichtungsgrad und der Einbauwassergehalt sind bei der Probekörperherstellung zu beachten.  
<sup>2)</sup> Auswahl des Verfahrens in Abhängigkeit vom Größtkorn.  
<sup>3)</sup> Es wird das „Gesamtsystem Pflasterdecke“, bestehend aus Pflastersteinen, Bettung und Fugenfüllung, geprüft und bewertet.  
<sup>4)</sup> Nach dem M VV.

stimmten Voraussetzungen gemessen und gemittelt (siehe auch Anhang A). Liegen Messergebnisse des Schnelltests im Grenzbereich und ist darüber eine hinreichende Einschätzung der Wasserdurchlässigkeit nicht möglich, sollte eines der vorgenannten Infiltrometer-Verfahren angewendet und der Infiltrationsbeiwert  $k_i$  bestimmt werden.

Die Anzahl der Prüfungen an einer fertigen Schicht hängt von Art und Beschaffenheit der Baumaßnahme und des Einbauverfahrens ab. Bei Annahme von annähernd homogenen Verhältnissen ist das arithmetische Mittel aus drei Prüfungen je angefangener 1.000 m<sup>2</sup> zu bilden. Ansonsten sollte die Anzahl der Messungen einvernehmlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer so festgelegt werden, dass eine qualitative Beurteilung der Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten bzw. des fertigen Bauwerks zuverlässig möglich ist.

Wie weiter vorn schon ausgeführt, stehen sowohl für die Laborprüfung als auch für die in situ-Prüfung verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Auswahl des jeweils für den

Baustoff oder die eingebaute Schicht heranzuziehenden Verfahrens kann nach Tabelle 13 erfolgen. Die Tabelle enthält außerdem Verweise auf die für die Bewertung jeweils maßgebenden Anforderungswerte.

### Anhang A: Schnelltest zur Beurteilung der Versickerungsfähigkeit

Zur qualitativen Abschätzung der Versickerungsfähigkeit bzw. der Wasserdurchlässigkeit kann ein Schnelltest gemäß dem M VV angewendet werden. Der Schnelltest dient der groben Einschätzung der Durchlässigkeit von versickerungsfähigen Schichten. Zur Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes  $k_i$  kann der Schnelltest nicht herangezogen werden. Hierfür sollte eines der Messverfahren nach Abschnitt 8.1 des M VV verwendet werden (siehe auch Abschnitt 11 und Tabelle 13).

Die nachstehende Tabelle 14 beschreibt und veranschaulicht in den Arbeitsschritten 1 bis 4 beispielhaft die im M VV beschriebene Durchführung des Schnelltests

auf einer Tragschicht ohne Bindemittel (ToB).

Für Messungen auf einer Tragschicht mit Bindemittel (TmB) oder der Pflasterdecke sollte zur Abdichtung statt

der bei einer ToB verwendeten Gipsschlempe eine plastische Dichtungsmasse, zum Beispiel Fensterkitt, verwendet werden, da diese dafür besser geeignet ist (siehe Arbeitsschritte 5 und 6 in Tabelle 14).

Tabelle 14: Beispielhafte Beschreibung und Veranschaulichung des Schnelltests nach dem M VV







Arbeitsschritt und Beschreibung	Veranschaulichung
<p>1 Das Rohrstück mit einem Innendurchmesser von 300 mm zur Abgrenzung der Messfläche auf die Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) aufstellen.</p> <p>Gewaschenen Sand zum Ausgleich von Unebenheiten von innen gegen den Spalt zwischen Rohrstück und Messfläche mit einer Kelle anschütten. Der gewaschene Sand verhindert zudem, dass die außen angebrachte Gipsschlempe unter dem Rohrstück hindurch auf die Messfläche läuft.</p>	
<p>2 Eine mit leichtem Wasserüberschuss angerührte Schlempe aus schnellerhärtendem Gips und Wasser wird von außen ringsherum an das Rohrstück gegeben. Ein senkrechtes, 2 bis 3 cm tiefes Eindringen der Gipsschlempe in die Tragschicht ist dabei durchaus erwünscht, um während des Versuches ein seitliches Abfließen des Wassers zu verhindern. Die nun zunehmend steifer werdende Gipsschlempe wird in zwei bis drei weiteren Umläufen angegossen, so dass der Spalt zwischen Rohrstück und Messfläche abdichtet ist und das Rohrstück fest sitzt. Als zweckmäßig hat sich erwiesen, die Gipsschlempe aus einer Kelle an der Rohrwand herablaufen zu lassen.</p>	
<p>3 In das Rohrstück wird ein Geotextil eingelegt. Dies verhindert, dass beim Einfüllen des Wassers die Oberfläche der Messfläche, das heißt der ToB, erodiert oder Feinanteile aufgewirbelt werden.</p> <p>Für den Versuch sind 2 Liter Wasser vorzuhalten.</p>	
<p>4 Nachdem die Abdichtung aus Gips ausreichend erhärtet ist, werden die 2 Liter Wasser zügig auf die mit dem Geotextil geschützte Messfläche innerhalb des Rohrstücks eingefüllt.</p> <p>Es wird die Zeit gemessen, bis das Wasser vertikal abgeflossen ist, das heißt, der Zeitraum vom Beginn des Einfüllens bis zum augenscheinlichen Verschwinden des Wassers. Die Messung ist dreimal durchzuführen. Das Prüfergebnis des Schnelltests ist der Mittelwert der letzten beiden Messergebnisse.</p> <p>Die Bewertung der Versickerungsfähigkeit erfolgt gemäß der Tabelle 15.</p>	
<p>5 Auf einer Tragschicht mit Bindemittel (TmB) ① oder der Pflasterdecke genügt es in der Regel, den Ring mit einer plastischen Dichtungsmasse, zum Beispiel Fensterkitt ②, zu befestigen.</p>	
<p>6 Die Durchführung des Versuches auf einer TmB oder der Pflasterdecke erfolgt wie in den Arbeitsschritten 1 bis 4 beschrieben.</p> <p>Die Bewertung der Versickerungsfähigkeit erfolgt gemäß der Tabelle 15.</p>	

Tabelle 15: Auswertung des Schnelltests nach dem M VV und dessen Bewertung

Abflusszeit	Bewertung/Maßnahme
bis 6 Minuten	Die Versickerungsfähigkeit der geprüften Schicht kann als ausreichend betrachtet werden. Der Infiltrationsbeiwert $k_i$ ist sehr wahrscheinlich $\geq 3 \times 10^{-5}$ m/s.
über 6 Minuten bis 10 Minuten	Die Versickerungsfähigkeit der geprüften Schicht liegt im Grenzbereich. Der Infiltrationsbeiwert $k_i$ sollte fachkundig untersucht werden, zum Beispiel mit einem Infiltrometer-Verfahren nach TP Gestein-StB Teil 8.3.2, TP Gestein-StB Teil 8.3.3 oder TP Gestein-StB Teil 8.3.4, siehe auch Abschnitt 11.
über 10 Minuten	Die Versickerungsfähigkeit der geprüften Schicht kann als nicht ausreichend betrachtet werden.

Anmerkung: Für einen Innendurchmesser des Messrings von 300 mm (siehe Tabelle 14) entspricht eine Abflusszeit von 10 Minuten etwa einer Abflussgeschwindigkeit von  $5 \times 10^{-5}$  m/s. Wegen der im Schnelltest angewendeten vereinfachten Versuchsbedingungen, wodurch zum Beispiel Wasser seitlich in der Schicht oder zur Oberfläche hin abfließen kann, darf das Messergebnis nicht mit dem Infiltrationsbeiwert  $k_i$  gleichgesetzt werden.

## Literaturverzeichnis

- ATV DIN 18318. (September 2019). Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- BGB-RiNGB. (Oktober 2016). Bund Güteschutz-Richtlinie Nicht genormte Betonprodukte – Anforderungen und Prüfungen. (Bund Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile, Hrsg.) Ostfildern.
- DIBt. (2012). Zulassungsgrundsätze Niederschlagswasserbehandlungsanlagen Teil 2 - Wasserdurchlässige Beläge für Kfz-Verkehrsflächen für die Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser (Abwasserbehandelnde Flächenbeläge). Zulassungsgrundsätze, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin.
- DIBt. (2017). Zulassungsgrundsätze Niederschlagswasserbehandlungsanlagen Teil 1: Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Zulassungsgrundsätze, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin.
- DIN 18134. (April 2012). Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 18196. (Mai 2011). Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 18507. (August 2012). Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Überwachung. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 19682-7. (August 2015). Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelring-Infiltrometer. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 1986-100. (Dezember 2016). Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 17892-11. (Mai 2019). Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.
- Düring, I., Richard, J., & Ulonska, D. (Januar 2018). Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung - Betonpflasterbauweisen. (Kirschbaum Verlag, Hrsg.) Straßenverkehrstechnik.
- DWA-A 118. (März 2006). Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- DWA-A 138. (2005). Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Arbeitsblatt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- FLL 2018. (Juli 2018). Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- FLL Fachbericht. (2007). Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von Wassergebunden Wegen. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

- Illgen, M. (2009). Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen, Kaiserslautern.
- Junghänel, T., Ertel, H., & Deuschländer, T. (2017). KOSTRA-DWD-2010R Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main.
- M BEP. (September 2016). Merkblatt für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken oder Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie von Einfassungen. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) FGSV Verlag.
- M EHS. (März 2014). Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttenschlacken im Straßenbau, Ausgabe 2013. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- M FP. (April 2015). Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- M Geok E. (März 2016). Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- M MHS. (Juni 2016). Merkblatt über die Verwendung von Metallhüttenschlacken im Straßenbau. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- M VV. (Juli 2013). Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- Malitz, G., & Ertel, H. (2015). KOSTRA-DWD-2010 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Bezugszeitraum 1951 bis 2010). Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main.
- Radenberg, M., Sedaghat, N., Kollar, J., & Flottmann, N. (2018). Evaluation Ressourcen schonender Trag-schichten. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). Bremen: Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG.
- RAS-Ew. (November 2005). Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- Reinhold, F. (1940). Regenspenden in Deutschland - Grundwerte für die Entwässerungstechnik. Berlin: Reichsverband der Deutschen Wasserwirtschaft.
- RiStWag. (Juni 2016). Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- RStO. (Dezember 2012). Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- RuA-StB 01. (September 2001). Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- Spanier, T., & Wolf, M. (2019). Schaffung eines Bewertungshintergrundes für die Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Standrohr-Infiltrometer im Labor. Kurzbericht zum Forschungsauftrag FE 06.0112/2015/FGB, Technische Universität Dresden, Fakultät für Bauingenieurwesen Professur für Straßenbau, Dresden.
- TL Gestein-StB 04. (Juli 2018). Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (Ausg. 2004, Fassg. 2018). (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- TL Pflaster-StB. (Dezember 2015). Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen (Ausg. 2006, Fassg. 2015). (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- TL SoB-StB. (November 2007). Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (Ausg. 2004, Fassg. 2007). (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.
- TP Gestein-StB Teil 8.3.1. (2012). Technische Prüfverfahren für Gesteinskörnungen im Straßenbau Teil 8.3.1: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Standrohr-Infiltrometer – Laborverfahren. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

TP Gestein-StB Teil 8.3.2. (2012). Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau Teil 8.3.2: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Modifizierten Standrohr-Infiltrometer – in situ-Verfahren. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

TP Gestein-StB Teil 8.3.3. (2015). Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau Teil 8.3.3: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Tropf-Infiltrometer – in situ-Verfahren. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

TP Gestein-StB Teil 8.3.4. (2015). Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau Teil 8.3.4: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Doppelring-Infiltrometer – in situ-Verfahren. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

Wellner, F., & Wolf, M. (2013). Einfluss der Tragfähigkeit auf die Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel. FGSV/BMV-Forschungsbericht Heft 1081, Technische Universität Dresden, Dresden.

Wellner, F., Köhler, M., & Ulonska, D. (Juni 2014). Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen - Richtig planen und ausführen (4., fachl. u. red. überarb. Aufl.). (Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V., Hrsg.) Bonn.

WHG. (Dezember 2018). Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz -WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254).

ZTV E-StB 17. (September 2017). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV SoB-StB. (November 2007). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (Ausz. 2004, Fassg. 2007). (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV-Wegebau. (August 2013). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

## Bildnachweis

**Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.:**  
Bild 3, Bild 8 und Bild 18.

**Mitgliedsunternehmen des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e. V.:**  
Titelbild rechter Kasten, Bild 4, Bild 5, Bild 6, Bild 7 und Bild 9.

**Dr.-Ing. Mike Wolf:**  
Bild 1, Bild 2, Bild 10, Bild 12, Bild 13, Bild 14, Bild 15, Bild 16, Bild 17, Bild 19, Bild 20, Bild 21, Bild 22, Bild 23, Bild 24, Bild 25 sowie Bilder im Anhang A.

---

## Impressum

Herausgeber:

**SLG** Betonverband  
Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG)  
Schlossallee 10, 53179 Bonn  
Telefon: 0228 95456-0, Telefax: 0228 95456-90  
slg@betoninfo.de  
www.betonstein.org

Fachliche Mitwirkung:

Dr.-Ing. Mike Wolf  
Technische Universität Dresden  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

