

Versickerungsfähige Verkehrsflächen

Teil 2: Untersuchungsergebnisse, Bewertung und Umsetzung^{*)}

SÖNKE BORGWARDT

3. Ergebnisse von eigenen Infiltrationsmessungen

Um die Versickerungsfähigkeit realitätsnah an ungestörten Standorten unter Einbezug der örtlichen Gegebenheiten wie Alterung und Belastung durchführen zu können, wird für die Infiltrationsmessungen ein für diesen Einsatz konstruiertes Infiltrationsgerät eingesetzt. So ist es möglich, Verkehrsflächen verschiedener Ausführung und Nutzung in jedem Alterszustand zu untersuchen. Diese Methode kann also für die Eigenüberwachung von Baustoffen für Deckschichten und Mineralstoffen für Tragschichten wie auch für die Kontrollprüfung auf der Baustelle im eingebauten und anforderungsgerecht verdichteten Probemaßstab oder an der fertigen Fläche jederzeit durchgeführt werden (Abbildung 5). Bei der mehrjährigen Beobachtung von versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen erhält man somit zuverlässige Daten über das langfristige Verhalten im Gebrauchszustand und wertvolle Hinweise zu der Abhängigkeit der Versickerungsleistung zu Kriterien, wie Baustoffverwendung und Ausführung. Schließlich können aus der Bewertung dieser Ergebnisse Empfehlungen für die zukünftige Ausführung derartiger Flächen gegeben werden.

Das eingesetzte Infiltrationsgerät dient der Ermittlung der Infiltrationsrate im Feldversuch in Anlehnung an DIN 19682 Blatt 7 für die Überprüfung der Versickerungsfähigkeit in Eigen- und Fremdüberwachung nach dem FGSV-Merkblatt. Es entspricht den Anforderungen des genannten Merkblattes und den Anforderungen an Prüfgeräte nach DIN 45011 für die Güteüberwachung und Zertifizierung von versickerungsfähigen Flächenbefestigungen im Straßenbau.



Abbildung 5:
Infiltrationsgerät.

Bei diesem Versuchsaufbau wird eine abgedichtete Untersuchungsfläche von ca. $0,25 \text{ m}^2$ gleichmäßig mit einem Modellregen konstanter Intensität beregnet. Die Intensität der Beregnung ist so gewählt, dass gerade kein Oberflächenabfluss entsteht, um einen in der Natur nicht auftretenden vertikalen Wasserdruck zu vermeiden. Dies wird dadurch erreicht, dass der Zulauf über einen Schwimmschalter in der Untersuchungsfläche auf einen Aufstau von wenigen Millimetern begrenzt wird. Eine laterale Bewegung des infiltrierten Wassers wird durch die zusätzliche Beregnung außerhalb der Untersuchungsfläche verhindert (Prinzip des Doppelringinfiltrometers). Die Versickerungsintensität wird vollautomatisch über die Wasserzulaufmenge mittels eines Durchflussmessers registriert, von einem Mikrocontroller in Echtzeit erfasst und in einem Speichermedium aufgezeichnet. So kann zu jedem Zeitpunkt die aktuelle Versickerungsleistung abgelesen werden. Die Auswertung erfolgt später in einem Rechner bequem über Tabellenkalkulationsprogramme. Die

Infiltrationsrate als versickerte Menge pro Zeit ergibt sich aus der Regelung des Zuflusses in Abhängigkeit zur Veränderung der Wasserfilmdicke auf der Untersuchungsfläche. Das Gerät kann im Akku- oder Strombetrieb entweder mit Frischwasseranschluss oder unabhängig von einem lokalen Wasseranschluss im Pumpenbetrieb betrieben werden. Der Messbereich reicht hierbei von 0 bis ca. $6000 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ bzw. mit einem entsprechenden Erweiterungsgesetz bis über $10\,000 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$.

Die Ganglinien der Infiltration werden bei einer maximal einstündigen Beregnung als Regressionskurven der gemittelten Infiltrationswerte aus mindestens drei Einzelmessungen in (mm/min) und als aufnehmbare Regenspende in $(\text{l/[s} \cdot \text{ha]})$ dargestellt. Sie zeigen in ihrem charakteristischen Verlauf einen hohen Anfangswert, der mit zunehmender Sättigung nach 10 bis 30 Minuten abfällt und sich schließlich asymptotisch einem konstanten Endwert nähert. Die Untersuchungsergebnisse werden anhand der Ganglinie der Infiltration und den Kennwerten $i_{(10)}$ und $i_{(60)}$ inter-

^{*)} Fortsetzung des in STADT UND GRÜN 49 (2000) Heft 9, Seite 602–609, in seinem ersten Teil veröffentlichten Beitrages.

pretiert. Der Wert der Infiltrationsrate $i_{(10)}$ nach 10-minütiger Beregnung wird als versickerbare Regenmenge mit der Regenspenden $r_{(10)}$ in (l/[s·ha]) gleichgesetzt. Der Endwert $i_{(60)}$ nach 60 Minuten Messung entspricht der Versickerungsintensität im wassergesättigten Zustand und kann daher als Durchlässigkeitsbeiwert k_f in (m/s) der Gesamtfläche interpretiert werden. Für die Ermittlung des k_f -Wertes des Verfüllmaterials muss der Fugenanteil bekannt sein. Wird keine weitere Abnahme der Infiltration festgestellt, kann die Messung bereits zu einem früheren Zeitpunkt beendet werden.

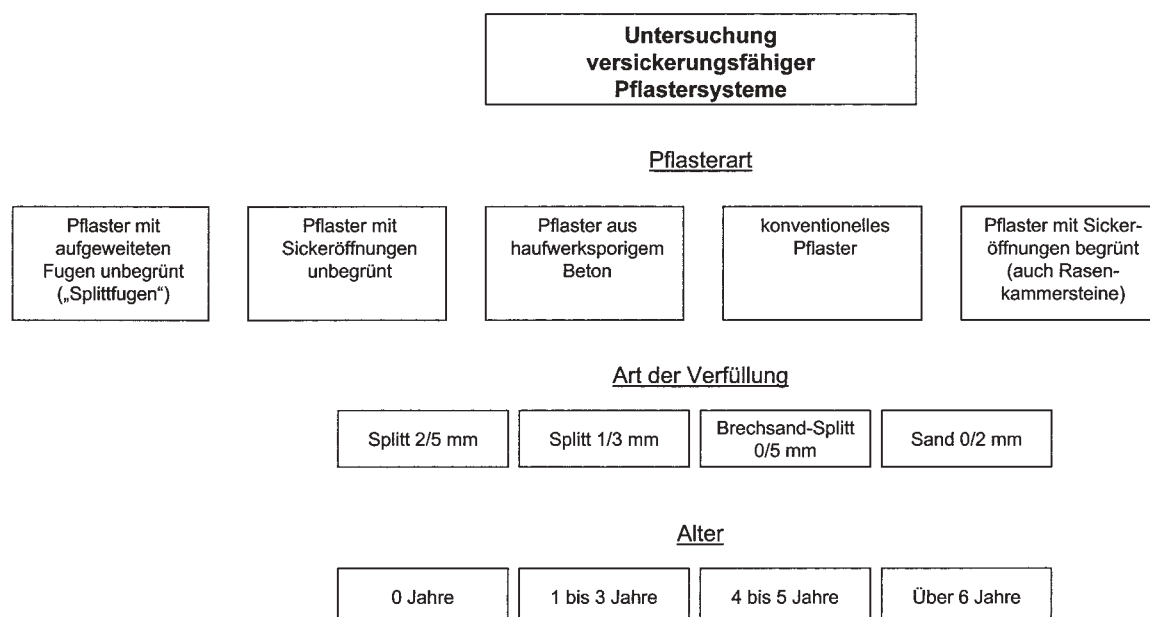
Im Folgenden kann nun aufgrund langjähriger Infiltrationsversuche mit dem Infiltrationsgerät an zahlreichen ausgeführten Verkehrsflächen für versickerungsfähige Pflastersysteme praxisnah festgestellt werden, inwieweit das Infiltrationsvermögen in Abhängigkeit zur Verfüllung der Poren, Fugen und Sickeröffnungen und zur Abnahme der Versickerungsfähigkeit im Laufe der Gebrauchsdauer über Leistungsfähigkeit und Einsatzgebiet entscheidet und welche Bedingungen für Baustoffproduzenten, Ausschreibende und Auftragnehmer bei Auswahl der Baustoffe und Herstellung der Flächen zu beachten sind. Die hier aufgeführten Untersuchungen sind als Fortschreibung der bei BORGWARDT (1995) und (1998) veröffentlichten Ergebnisse zu verstehen und können deshalb auf-

grund weiter entwickelter Erkenntnisse hiervon abweichen.

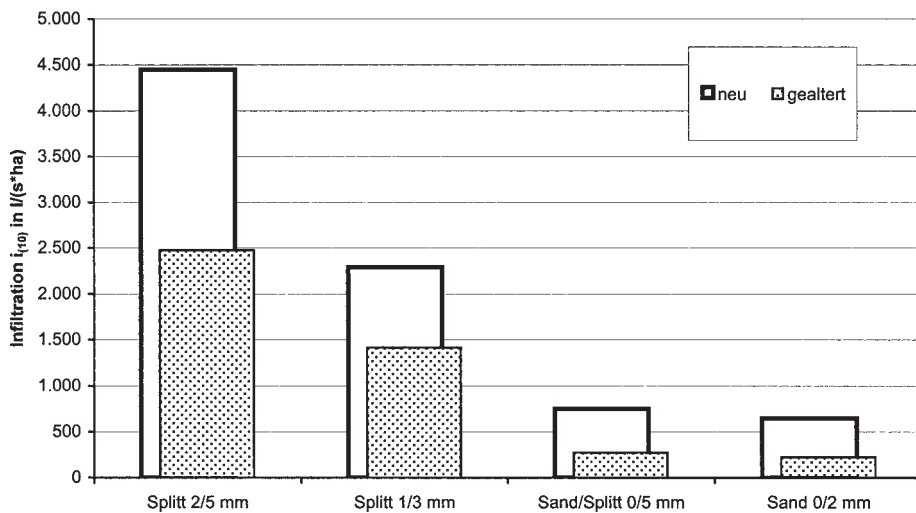
Bei den durchgeführten Infiltrationsmessungen an versickerungsfähigen Pflastersystemen werden verschiedene Verkehrsflächen aus Pflaster mit aufgeweiteten Fugen („Splittfuge“), Pflaster mit Sickeröffnungen, Pflaster aus haufwerksporigem Beton und im Vergleich dazu konventionelle Pflasterflächen untersucht. Weiter werden auch begrünte Pflasterbeläge untersucht, und zwar Pflaster mit aufgeweiteter „Rasenfuge“ sowie begrünten Sickeröffnungen (hierunter fallen auch Rasenkammersteine). Hierbei wird bei der Fülle der unterschiedlichen Produkte eine weitere Gruppierung nach vergleichbarer Verfüllung der Öffnungen und verschiedenen Altersstufen – soweit nicht das tatsächliche Einbaualter analysiert wird – vorgenommen (Darstellung 5). Eine Betrachtung der Versickerungsleistung im Zusammenhang mit dem Öffnungsanteil wird nach den oben aufgeführten Erkenntnissen nur generell im Neuzustand vorgenommen. Aufgrund der Beobachtung, dass im gealterten Zustand der Anteil der durchlässigen Fläche relativ unabhängig von der Versickerungsleistung der Pflasterfläche ist, können somit auch verschiedene Produkte mit verschiedenen Formaten und Öffnungsanteilen miteinander verglichen werden. Da nach den vorliegenden Forschungsergebnissen auch eine Beziehung

zur Verkehrsbelastung signifikant nicht herstellbar ist, wird diese außer Acht gelassen. Beispielhafte Einzelbetrachtungen ausgewählter Produkte ergänzen die Untersuchung.

Wie oben bereits dargelegt wurde, ist der wesentliche Einfluss auf die Versickerungsleistung eines bestimmten Objekts in der Auswahl der Baustoffe und der Güte der Bauausführung zu sehen. Da es sich bei den Untersuchungsflächen fast ausschließlich um ausgeführte Flächen im Verkehrsraum handelt, weichen somit auch die einzelnen Bedingungen im Einzelfall voneinander ab. Darum muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass trotz der großen Zahl an untersuchten Flächen aufgrund der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Pflastersysteme und der relativ kleinen Stichproben in einzelnen Gruppen die vorgestellten Ergebnisse lediglich einen Trend hinsichtlich der Versickerungsleistungen und deren Abhängigkeit zu verschiedenen Parametern darstellen können. Aufgrund der Streuung der Ergebnisse werden aus den zahlreichen untersuchten Standorten jeweils die Versuchsflächen herausgesucht, die aus der Gesamtheit der Standorte am nächsten am arithmetischen Mittel liegen, um einen relativ repräsentativen Durchschnitt zu erhalten. Entscheidend ist bei jeder Baumaßnahme immer die begleitende Überwachung von Baustoffen und Baustelle.



Darstellung 5: Gruppierung der untersuchten Verkehrsflächen nach verschiedenen Merkmalen.



Darstellung 6: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Verfüllmaterial bei Pflaster mit Sickeröffnungen und aufgeweiteten Splittfugen.

Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Verfüllmaterial

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Versickerungsleistung von der Durchlässigkeit des für die Verfüllung verwendeten Mineralstoffgemisches werden die Ergebnisse von Infiltrationsmessungen für Pflasterbeläge mit Sickeröffnungen und Pflaster mit aufgeweiteter Splittfuge zusammen ausgewertet. Der Stichprobenumfang besteht hierbei aus 50 Untersuchungsflächen. Es wird bei dieser Analyse deutlich, dass die Körnung und damit die Durchlässigkeit der Verfüllung in direktem Zusammenhang mit der Versickerungsleistung der Pflasterfläche steht.

Betrachtet man Mineralstoffgemische mit relativ ähnlicher Sieblinie, erkennt man zunächst einmal, dass grobkörnigere Baustoffe – unter der Voraussetzung, dass sie den Anforderungen der TL Min-StB vor allem im Hinblick auf den zulässigen Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen entsprechen – eine weitaus höhere Infiltrationsleistung aufweisen. Bei den untersuchten Pflasterflächen kann bei der Verfüllung der Fugen und Sickeröffnungen mit Splitt der Körnung 2/5 mm im Neuzustand wie im gealterten Zustand die höchste Versickerung erzielt werden (Dar-

stellung 6). Es folgen Splitte der Körnung 1/3 mm, Brechsand-Splitt-Gemische 0/5 mm und letztendlich Sande 0/2 mm.

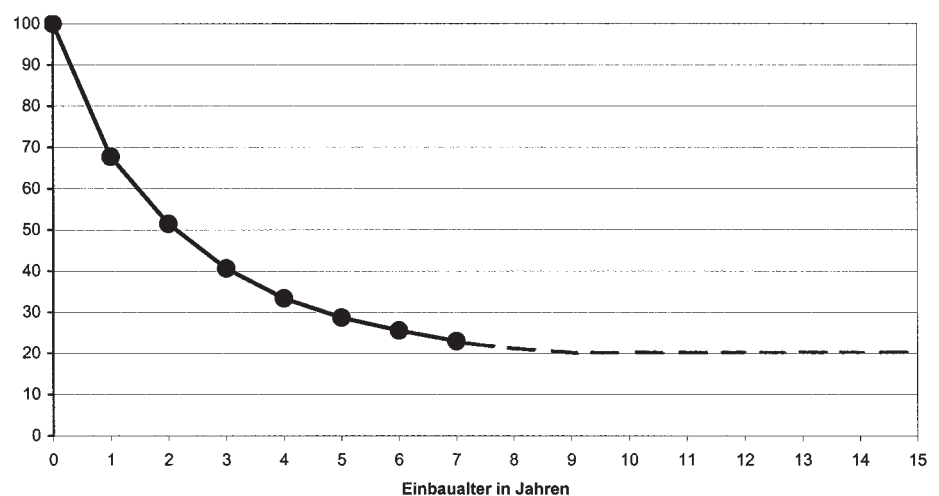
Betrachtet man die absoluten Werte für die versickerbare Regenspende, kann bei einem durchschnittlichen Öffnungsanteil der untersuchten Pflasterbeläge von 12 % zumindest mit den verwendeten Splitten 2/5 und 1/3 mm eine Versickerungsleistung erzielt werden, die weit über den Bemessungskriterien des *Merkeblattes für wasser-*

durchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen (FGSV, 1998) liegt. Im gealterten Zustand wird offensichtlich, dass Brechsand-Splitt-Gemische 0/5 und Sande 0/2 mm aufgrund der feinen Bestandteile häufig nicht für den Einsatz bei versickerungsfähigen Pflaster- und Plattenbelägen geeignet sind.

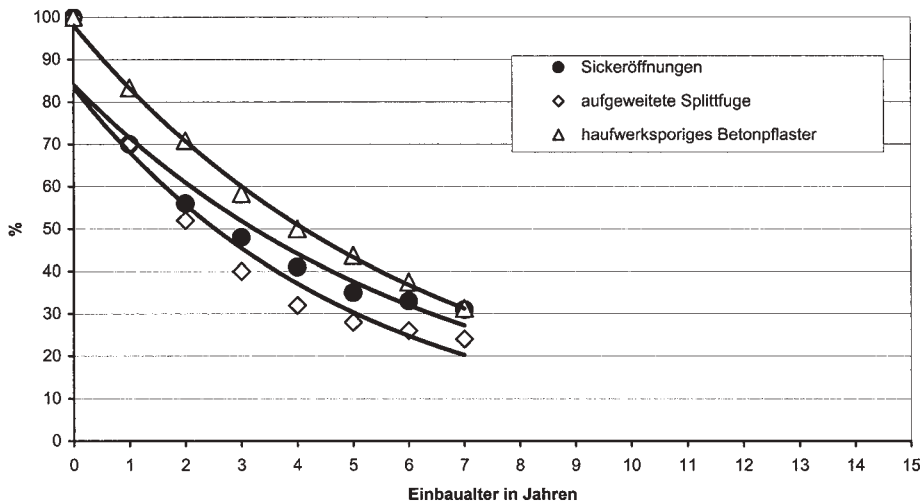
Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbualter

Bei der Betrachtung der Infiltrationsleistung versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen in Abhängigkeit zum Einbualter bestätigt sich die Abnahme der Versickerungsfähigkeit aufgrund des Eintrages von mineralischen und organischen Feinteilen. Diese Abnahme erfolgt bei einem Stichprobenumfang von 80 untersuchten Flächen vom Einbaustand bis zu einer Gebrauchsdauer von sieben Jahren auf ungefähr 20 % der Ausgangsleistung (Darstellung 7). Es ist hierbei nicht zu erwarten, dass es im Zuge der weiteren Alterung zu einer weiteren Abnahme in größerem Maße kommt.

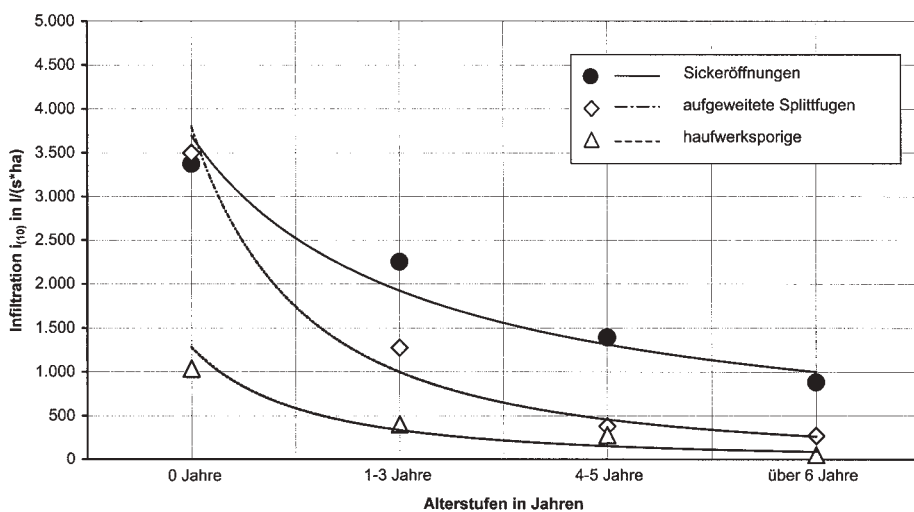
Diese Entwicklung ist für die verschiedenen Pflastersysteme – Pflaster mit Sickeröffnungen, mit aufgeweiteten Splittfugen und solche aus haufwerksporigem Beton – im Wesentlichen gleich (Darstel-



Darstellung 7: Mittelwerte der prozentualen Abnahme des Infiltrationsvermögens versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen im Laufe der Betriebsdauer.



Darstellung 8: Prozentuale Abnahme der Versickerungsleistung im Laufe der Betriebsdauer bei verschiedenen Pflastersystemen.



Darstellung 9: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zu verschiedenen Altersstufen nach Pflasterarten.

lung 8). Gemessen an verschiedenen Altersstufen liegen die absoluten Werte für die versickerbare Regenspende gegenüber früheren Ergebnissen (BORGWARDT, 1998) auf weit höherem Niveau. Der Verlauf der Abnahme wird aber anhand einer potentiellen Regression mit einer höheren statistischen Sicherheit aufgrund der besseren Datenbasis grundsätzlich bestätigt

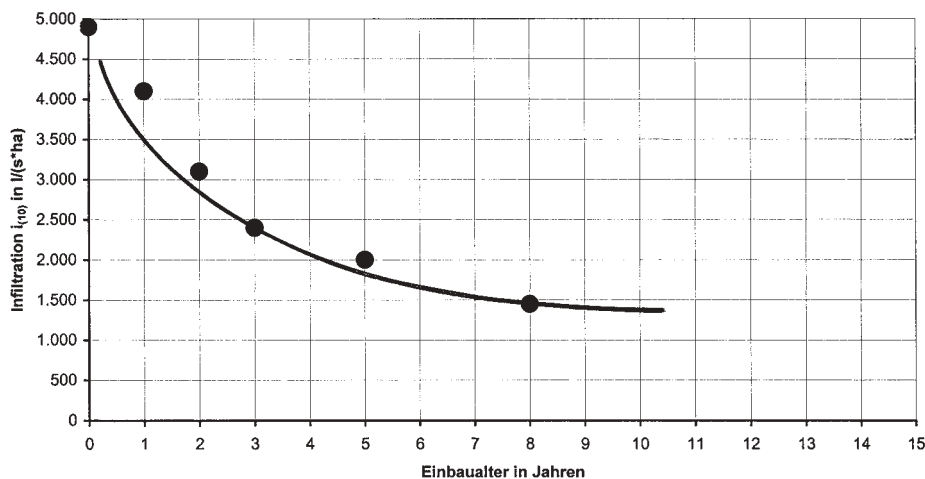
(Darstellung 9). Pflaster mit Sickeröffnungen und mit aufgeweiteten Splittfugen verzeichnen hiernach eine hohe Ausgangsleistung. Die Versickerungsleistung nimmt danach bei Pflaster mit Sickeröffnungen langsamer ab, scheint sich aber aufgrund der Schiefe der Regressionskurve im Laufe der weiteren Nutzungsdauer weiter zu reduzieren. Hier ist bei Pflastersystemen mit aufgeweiteten Splittfugen eher eine Konsolidierung zu erwarten, so dass das Endniveau in ähnlicher Höhe angenommen

werden kann. Pflaster aus haufwerksporigem Beton zeigt von vornherein eine geringere Infiltration im Neuzustand und die Abnahme zeigt einen eher stetigen Verlauf auf niedrigerem Niveau.

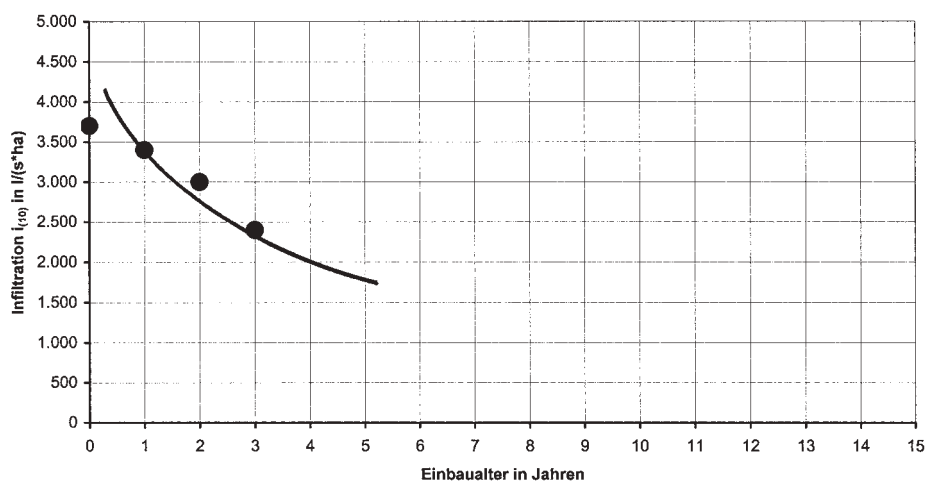
Vergleicht man in weiterführenden Einzeluntersuchungen typische Vertreter der einzelnen Pflastersysteme mit ähnlichem Öffnungsanteil und von der Körnung her gleicher Verfüllung der Sickeröffnungen und/oder Fugen, zeigt sich im Folgenden an ausgewählten Beispielen nochmals deutlich der charakteristische Alterungsverlauf und die Abhängigkeit der absoluten Versickerungswerte von der Durchlässigkeit der zur Verfüllung verwendeten Mineralstoffe. Bei Pflaster mit Sickeröffnungen bei einem durchschnittlichen Öffnungsanteil von 11,9 % und einer Verfüllung mit Splitt 2/5 mm liegt die versickerbare Regenspende im Neuzustand bei etwa 5000 l/(s·ha). Sie nimmt bei einem Betrachtungszeitraum von ungefähr 10 Jahren auf Werte im Bereich 1300 bis 1400 l/(s·ha) ab (Darstellung 10).

hnlich verhält es sich bei Pflaster mit aufgeweiteten Splittfugen. Bei einem höheren durchschnittlichen Öffnungsanteil von 14,7 % ist bei der Verlegung mit Splitt 2/5 mm ein Verlauf der Versickerungsleistung wie beim Pflaster mit Sickeröffnungen zu verzeichnen (Darstellung 11). Bei einer Verfüllung der aufgeweiteten Fugen mit Splitt 1/3 mm werden erwartungsgemäß geringere Werte erreicht. Die Ausgangsleistung im Neuzustand beträgt ca. 2500 l/(s·ha) und es verbleiben nach sechs Jahren noch etwa 600 l/(s·ha). Auch hier zeigt sich wieder eindeutig der Einfluss der Durchlässigkeit des Mineralstoffgemisches auf die Versickerungsleistung der Fläche.

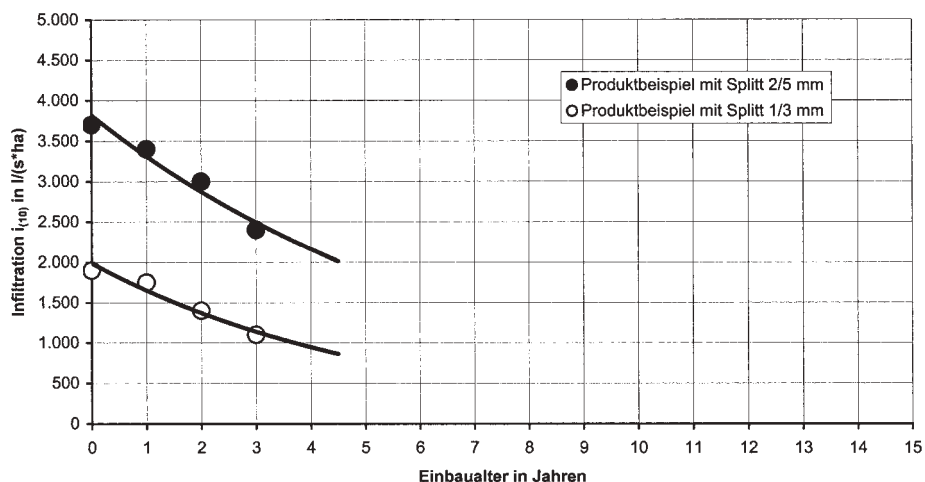
Dies wird auch beispielhaft durch ein ausgewähltes Referenzprodukt bestätigt. Bei dieser Beobachtung eines Einzelproduktes kann von gleichen Bedingungen bezüglich Baustoffeinsatz, Ausführung und Umweltbedingungen ausgegangen werden. Die jährlich wiederholten Infiltrationsmessungen werden auf einer gelegentlich mit Pkw-Verkehr frequentierten Parkfläche an Pflaster mit aufgeweiteten Splittfugen bei einem Öffnungsanteil von 10 % durchgeführt (Abbildung 6). Der Oberbau ist ordnungsgemäß dimensioniert und ausgeführt und die Fugen mit Splitt der Körnung 2/5 mm bzw. 1/3 mm ver-



Darstellung 10: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter bei Pflaster mit Sickeröffnungen und Verfüllung mit Splitt 2/5 mm.



Darstellung 11: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter bei Pflaster mit aufgeweiteten Splittfugen und Verfüllung mit Splitt 2/5 mm.



füllt. Die anhand der Sieblinie festgestellte Durchlässigkeit beträgt 3×10^2 m/s bzw. 4×10^3 m/s.

Theoretisch könnte also bei einem Öffnungsanteil von 10 % eine Durchlässigkeit der Gesamtfläche von 3×10^3 bzw. 4×10^4 m/s erreicht werden. Dies entspricht nach der Bedingung $k_u = k_f/2$ im ungesättigten Bodenbereich (FGSV, 1998) einer potentiell versickerbaren Regenspende von 15 000 bzw. 2000 l/(s*ha) auf der Pflasterfläche. Im eingebauten Zustand beträgt die tatsächliche Durchlässigkeit anhand der erzielten Werte $i_{(60)}$ in der Infiltrationsmessung 7×10^5 m/s für den Splitt 2/5 mm und 3×10^5 m/s für den Splitt 1/3 mm. Aufgrund der Infiltrationsmessungen werden – gemessen am Bemessungswert $i_{(10)}$ – aufnehmbare Regenspenden von 3700 bzw. 1900 l/(s*ha) erzielt (Darstellung 12). Im dritten Jahr der Nutzung werden noch 2400 bzw. 1100 l/(s*ha) erreicht. Also auch hier die Bestätigung dreier Erkenntnisse:

1. die Abhängigkeit der Versickerungsleistung von der Art der Verfüllung,
2. die Abnahme der Versickerungsleistung im Laufe des Betriebes und

Darstellung 12: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter am Beispiel eines Referenzproduktes (Pflaster mit aufgeweiteten Splittfugen bei einem Öffnungsanteil von 10 %).



Abbildung 6: Parkfläche aus Pflaster mit aufgeweiteten Splittfugen als Referenzobjekt.

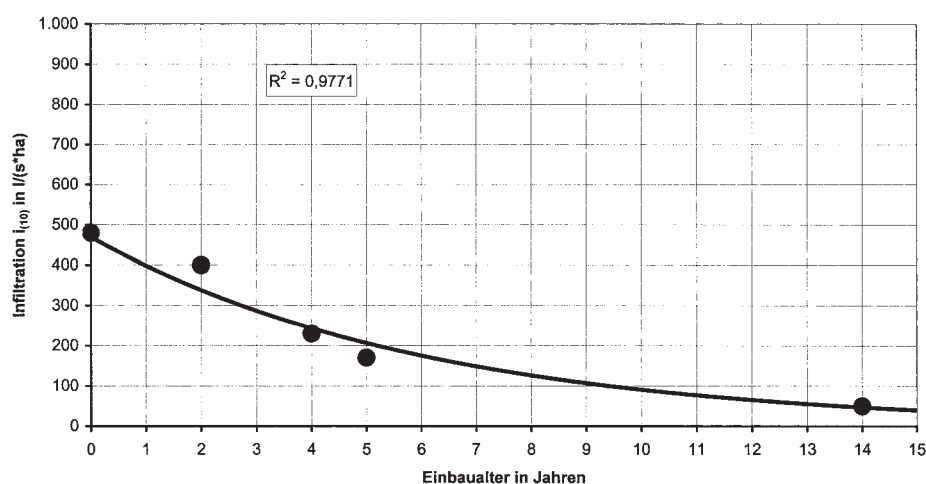
3. schließlich die starke Differenz zwischen Durchlässigkeitswerten, die theoretisch errechnet werden und denjenigen, die im eingebauten Zustand festgestellt werden.

Vertreter der haufwerksporigen Betonsteine versickern das auftreffende Niederschlagswasser vor allem über die zur Verfügung stehenden Poren der Pflastersteine. Trotzdem ist die Art des Verfüllmaterials zu beachten, da auch hier ein hoher Feinanteil zur Verstopfung der Poren und damit zur Verringerung der Wasserdurchlässigkeit führen kann. Mit einer Verfüllung der Fugen mit Sand 0/2 mm erreicht dieses System hier anfangs eine Infiltrationsrate von etwa 500 l/(s·ha) bei einer Abnahme auf ca. 50 l/(s·ha) innerhalb von knapp 15 Jahren (Darstellung 13). Im Einzelfall ist die Leistungsfähigkeit haufwerksporiger Betonsteine neben der – auf die Porengrößen abzustimmenden – Verfüllung auch von seiner Ausbildung und der resultierenden Durchlässigkeit des Steines selbst abhängig.

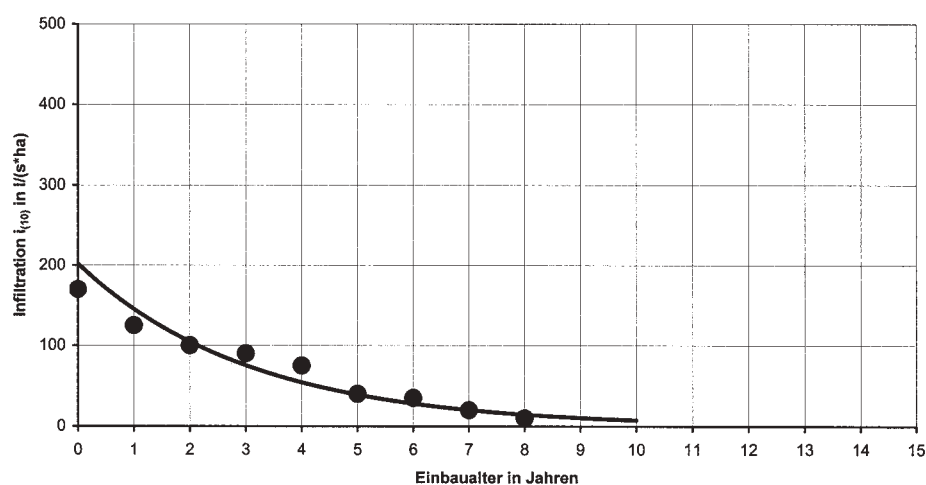
Zum Vergleich werden schließlich konventionelle und begrünbare Pflasterbeläge untersucht. Ein konventionelles Pflaster mit einem üblichen Öffnungsanteil von ca. 3 % und verfüllt mit Sand 0/2 mm kann im Neuzustand durchaus eine Regenspende von ungefähr 200 l/(s·ha) aufnehmen (Darstellung 14). Durch die hier gezeigte charakteristische Abnahme der Versickerungsfähigkeit können nach mehreren Jahren aber nur noch geringe Regenmengen versickert werden.

Bei begrünten Pflasterbelägen, also Pflaster mit aufgeweiteter Rasenfuge oder mit begrünten Sickeröffnungen, ist die Versickerungsleistung aufgrund der Verfüllung mit feinanteilreichen Substraten von vornherein als gering einzuschätzen. Obwohl die Substrate hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit optimiert werden können, liegt die ökologische Bedeutung der Entsiegelung hier eher in der starken tem-

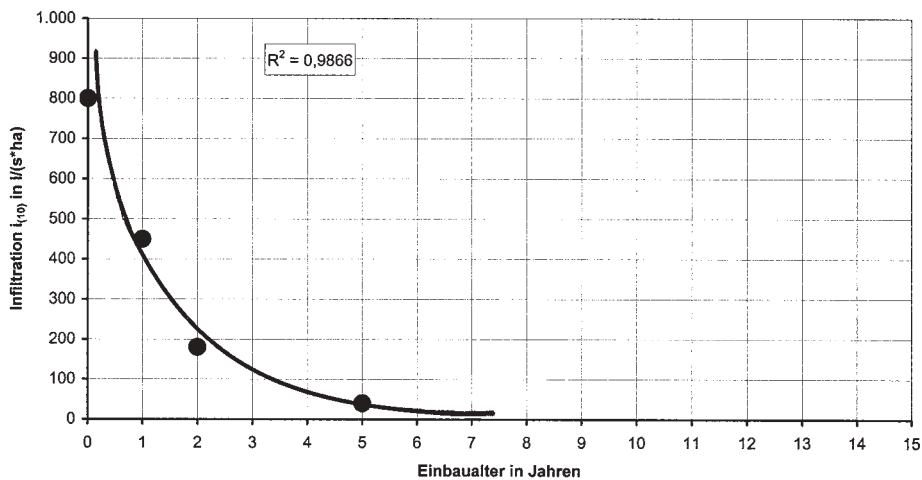
porären Rückhaltung der Niederschläge (BORGWARDT, 1996). Dies wird auch aufgrund der Infiltrationsmessungen deutlich. Werden anfangs noch hohe Regenspenden im Bereich von 800 l/(s·ha) aufgenommen, geht diese Infiltrationsleistung im Laufe der weiteren Nutzungsjahre stark zurück (Darstellung 15). Die Endinfiltration liegt dann etwa in der Größenordnung von konventionellem Pflaster – allerdings



Darstellung 13: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter bei Pflaster aus haufwerksporigem Beton und Verfüllung mit Sand 0/2 mm.



Darstellung 14: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter bei konventionellem Pflaster und Verfüllung mit Sand 0/2 mm.



Darstellung 15: Versickerungsleistung in Abhängigkeit zum Einbaualter bei begrünten Pflasterbelägen.

bei weit höherer Rückhaltung, weshalb auch diesen Belägen im FGSV-Merkblatt ein Abflussbeiwert von $\Psi = 0,5$ zugebilligt wird.

Am Schluss dieser Einzelbetrachtungen muss erneut der Hinweis stehen, dass hiermit nur Tendenzen zu Höhe und Verlauf der Versickerungsleistung im Laufe der Nutzung einer Verkehrsfläche aufgezeigt werden können. Die für einzelne Produkte und Flächen erzielbaren Infiltrationsraten und das Verhalten bei zunehmender Alterung können aufgrund der tatsächlich verwendeten Baustoffe und der Art der Ausführung abweichen. In diesem Sinne wird nochmals eindringlich auf die Notwendigkeit einer laufenden Produkt- und Baustellenüberwachung nach den Anforderungen des *Merkblattes für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* verwiesen.

4. Bewertung der Ergebnisse

Durch die Auswertung der Infiltrationsmessungen können vor allem auch im Zusammenhang mit der Vielzahl anderer Untersuchungen folgende Aussagen getroffen werden:

- Versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen können im Neuzustand sowie zum Teil auch im gealterten Zustand Regenmengen aufnehmen, die weit über die üblicherweise zur Bemessung her-

angezogenen Regenspenden hinausgehen. Ob dies für den gesamten Nutzungszeitraum einer Verkehrsfläche gilt, ist noch nicht abschließend geklärt.

- Die Versickerungsleistung ist von der Durchlässigkeit der für die Verfüllung der Öffnungen verwendeten Mineralstoffgemische abhängig. Ein Zusammenhang mit dem Öffnungsanteil kann nur bedingt hergestellt werden. Die mathematische Ableitung der Infiltrationsleistung einer versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsfläche aufgrund des Öffnungsanteils und der theoretisch oder experimentell ermittelten Durchlässigkeit eines Mineralstoffes ist nicht zulässig.
- Die Versickerungsleistung nimmt aufgrund des Eintrages von mineralischen und organischen Feinteilen im Laufe der Gebrauchsdauer ab. Das Ausmaß der Abnahme ist unabhängig von Lage und Ausführung und kann für jede Verkehrsfläche sehr unterschiedlich sein. Die Abnahme wird im Bereich von 25 bis 10 % der Ausgangsleistung im Neuzustand angenommen.
- Die starke Streuung der Ergebnisse insgesamt legt den Schluss nahe, dass die Versickerungsleistung in erster Linie von der Qualität der Baustoffe und auch der Qualität der Ausführung abhängt.

Bei vielen untersuchten Flächen hat sich herausgestellt, dass selbst bei einer Abnahme der Versickerungsleistung auf 10 % der Ausgangsleistung die Bemessungsregenspende noch vollständig aufgenommen werden kann. Aus diesem Grund erscheint

ein derart hoher Abflussbeiwert von $\Psi = 0,5$, wie er im *Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* empfohlen wird, zunächst nicht gerechtfertigt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei ordnungsgemäßen Einbau und der Verfüllung der Sickeröffnungen und Fugen mit einem von vornherein stark durchlässigen Mineralstoffgemisch die gesamte Bemessungsregenspende im Neuzustand und häufig auch im gealterten Zustand aufgenommen werden kann. Viele umgesetzte Beispiele bestätigen dies auch. Da aber sämtliche vorliegenden Forschungsergebnisse nicht den Untersuchungszeitraum abdecken, der der üblichen Gebrauchsdauer einer Verkehrsfläche entspricht, kann hier zunächst keine abschließende Bewertung vorgenommen werden.

Darüber hinaus ist auch zu bedenken, dass die vorgesehene Bemessungsregenspende zwar aufgenommen werden kann und hier zumindest zu einem Rückhalt der Niederschläge entscheidend beiträgt (BEIER, 1996), aber die weitaus meisten anzutreffenden Untergründe diese Regenmengen nicht vollständig an das Grundwasser weiterleiten können. Hieraus folgt, dass eine zusätzliche Entwässerung für das Planum unumgänglich ist, um Schäden von verkehrsbelasteten Flächen abzuwenden. Auch hier bewahrheitet sich wieder der Grundsatz, die versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche eher als Baustein zur Verringerung und zur temporären Rückhaltung des Abflusses einzusetzen, denn als eigentliche Versickerungsanlage. Ob der Oberbau von verkehrsbelasteten Flächen als Speicherkörper benutzt werden kann, wie lange welche Regenmengen hier verweilen können, ohne Schäden an Planum und Konstruktion hervorzurufen und ob der Speicherraum generell für eine ordnungsgemäße Entwässerung ausreicht, ist derzeit nicht abschließend geklärt. Hierzu gibt es inzwischen trotz vorliegender Arbeiten (HANSES et al., 1997; BEIER, 1996) weiteren Forschungsbedarf.

Zusammenfassend muss aus folgenden Gründen der Anschluss an eine Entwässerungsanlage befürwortet werden:

- Es liegen noch keine abschließenden Erkenntnisse über den Verlauf der Versickerungsleistung über den gesamten Nutzungszeitraum einer Verkehrsfläche vor.

- Aufgrund der Veränderung der Versickerungsleistung, die in Höhe und Zeitraum keiner bekannten Gesetzmäßigkeit unterliegt, ist eine Bemessung als Entwässerungsanlage mit großer Unsicherheit behaftet.
- Wird die versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche zumindest als Teil einer Entwässerungsanlage aufgefasst, muss – wie bei allen Wasserbauwerken – eine Entlastungsmöglichkeit für den Versagensfall geschaffen werden.
- Für Regenereignisse, die über der Bemessungsregenspende liegen, muss eine ordnungsgemäße und verkehrssichere Entwässerung gewährleistet sein.
- Bei nicht ausreichend durchlässigen Untergründen müssen zur Vermeidung von Schäden an der Verkehrsfläche das Plenum entwässert und die Abflüsse einer Entwässerungsanlage zugeführt werden.
- Schließlich ist nicht außer Acht zu lassen, dass derzeit die Anforderungen, die an Planung, Baustoffverwendung und Ausführung von versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen hinsichtlich der entwässerungstechnischen Optimierung zu stellen wären, nur ungenügend bei Auftraggebern, Planern, Baustofflieferanten und Auftragnehmern bekannt sind.

Hierbei erscheint die Bemessung der Entwässerungsanlage, die an die versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche (als vorgeschaltetes abflussminderndes Element einer Gesamtentwässerung) angeschlossen wird, mit dem im FGSV-Merkblatt genannten Abflussbeiwert von $\Psi = 0,5$ als zu pessimistisch. Nach BORGWARDT (1994) kann hier ein Abflussbeiwert von $\Psi = 0,3$ befürwortet werden. Die Anrechnung einer dauerhaften Versickerung der Bemessungsregenspende über die Verkehrsflächen – also eines Abflussbeiwertes von $\Psi = 0,0$ – und damit ein Verzicht auf eine zusätzliche Entwässerungsanlage kann nur unter Abwägung der betreffenden Einflussfaktoren als Einzelfallentscheidung mit der Prüfung durch Fachleute und zuständige Behörden unter folgenden Voraussetzungen befürwortet werden:

- Der anstehende Untergrund wird mit geeigneten Methoden untersucht und weist eine Durchlässigkeit auf, bei der die maßgebliche örtliche Bemessungs-

regenspende vollständig und dauerhaft aufgenommen werden kann.

- Die Anforderungen und Überprüfungen des Merkblattes für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen müssen uneingeschränkt eingehalten werden.
- Im Versagensfall oder bei Regenereignissen, die über der Bemessungsregenspende liegen, muss ein eventuell entstehender Oberflächenabfluss schadlos für die anliegenden Flächen und Nutzungen flächenhaft in der Umgebung versickert und rückgehalten werden können.

5. Erfolgreiche Umsetzung

Die Anforderungen, die an eine versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche zu stellen sind, betreffen vor allem das Einsatzgebiet, die Dimensionierung des Oberbaues, die Auswahl der Mineralstoffe und die ordnungsgemäße Entwässerung und sind in Abschnitt 1 genannt worden. Weitere Anforderungen ergeben sich aus den beobachteten Bedingungen, die die Versickerungsleistung derartiger Flächen beeinflussen. Sie sind anhand von Infiltrationsmessungen dargelegt und in Abschnitt 2 beschrieben worden. Um alle diese Anforderungen erfolgreich in die Praxis umsetzen und um Ausschreibenden und Ausführenden entsprechende Hinweise geben zu können, werden im Folgenden einige Aspekte näher beleuchtet.

Hinsichtlich der Höhe der Versickerungsleistung und des Aufrechterhaltens über einen möglichst langen Betriebszeitraum hängt die erfolgreiche Umsetzung vor allem von folgenden Bedingungen ab:

- hochwertige Qualität der verwendeten Baustoffe,
- fachgerechte Ausführung der Bauarbeiten,
- baubegleitende Überwachung von Baustoffen und Ausführung und
- praxisgerechte Durchführung von Unterhaltungsmaßnahmen.

5.1 Baustoffe und Anwendungskriterien

Die oben dargelegte Abnahme der Versickerungsleistung im Laufe der Nutzung ist schon bei der Planung zu berücksichtigen. Um von vornherein auf der Verkehrsfläche eine möglichst hohe Regenspende aufnehmen zu können, sind nur

Baustoffe einzusetzen, die hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit optimiert sind. Dies betrifft bei Pflaster und Plattenbelägen in erster Linie die Mineralstoffe zur Verfüllung der Öffnungen. Hierbei genügt es in der Regel nicht, nur das gewünschte Mineralstoffgemisch mit einer bestimmten Körnung auszuschreiben. Die Güte und damit der entscheidende Anteil an abschlämmbaren Körnungen ist regional sehr schwankend (Abbildungen 7 und 8). Dies zeigen auch die in Tabelle 5 gezeigten Spannen in der Durchlässigkeit der bei den Infiltrationsmessungen untersuchten Mineralstoffe. Von daher ist in der Ausschreibung die entsprechende Anforderung an die Durchlässigkeit zu benennen und durch eine Eignungsprüfung dokumentieren zu lassen. Hierbei ist für die Aufnahme der Bemessungsregenspende der Öffnungsanteil und gegebenenfalls auch die beobachtete Abnahme der Versickerungsleistung zu berücksichtigen.

So könnte die Anforderung hinsichtlich der Baustoffoptimierung zum Beispiel wie



Abbildung 7: Verfüllung von Sickeröffnungen mit wasserdurchlässigem Splitt.



Abbildung 8: Verfüllung von Sickeröffnungen mit wenig wasserdurchlässigem Splitt 2/5 mm (hoher Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen).

Mineralstoff	Neuzustand			Gealterter Zustand		
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum
Split 2/5 mm	3,0E-03	8,6E-03	1,6E-04	8,5E-04	8,6E-03	2,6E-05
Split 1/3 mm	1,3E-03	3,3E-03	2,3E-04	8,4E-04	2,5E-03	3,0E-04
Brechsand-Split-Gemisch 0/5 mm	6,5E-04	–	–	6,8E-04	6,8E-04	6,8E-04
Sand 0/2 mm	1,2E-04	2,0E-04	1,7E-06	1,3E-04	7,5E-04	3,2E-06
Oberboden-gemisch	2,1E-04	6,5E-04	4,3E-07	5,2E-05	1,1E-04	6,0E-06

Tabelle 5: Durchlässigkeit der untersuchten Mineralstoffe bei Infiltrationsmessungen.

folgt lauten: Bei einer Bemessungsregenspende von 270 l/(s·ha) und einem Öffnungsanteil des zu verwendenden Pflasters von 12 % muss das für die Verfüllung der Öffnungen einzusetzende Mineralstoffgemisch eine Durchlässigkeit von $(5,4 \times 10^5 \times 100)/12 \% = 4,5 \times 10^4 \text{ m/s}$ aufweisen. Soll nun eine zu erwartende Abnahme der Leistungsfähigkeit auf 10 % der Ausgangsleistung berücksichtigt werden, muss eine Durchlässigkeit von $(4,5 \times 10^4 \times 100)/10 \% = 4,5 \times 10^3 \text{ m/s}$ gefordert werden. Es sei aber nochmals betont, dass hierdurch zwar die Versickerungsleistung optimiert werden kann, aber aus den oben genannten Grün-

den auf eine zusätzliche Entwässerung in der Regel nicht verzichtet werden sollte.

Die Art der einzusetzenden Deckschicht hängt weniger von der Versickerungsleistung als von der zu erwartenden Verkehrsbelastung ab. Dränasphalt und Dränbeton sind innerhalb der Einsatzgrenzen für versickerungsfähige Verkehrsflächen grundsätzlich überall dort einsetzbar, wo auch sonst mit Asphalt und Beton befestigt wird und bewähren sich vor allem bei hochbelasteten Flächen. Wo es aber vor allem auch auf gestalterische Wirkung ankommt, sollten Pflaster und Plattenbeläge eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Systeme und ihre Eignung für verschiedene Verkehrsflächen lässt sich wie folgt charakterisieren (Tabelle 6):

- Bei hohen Verkehrsbelastungszahlen, hohen Achslasten oder erhöhter Horizontalbeanspruchung sind Pflaster mit

Sickeröffnungen oder aufgeweiteten Fugen und zusätzlicher Verbundwirkung einzusetzen.

- Bei niedrigen Verkehrsbelastungszahlen oder geringer sonstiger Beanspruchung, aber durchaus bei hohen statischen Lasten, können einfache Pflaster mit Sickeröffnungen oder aufgeweiteten Fugen verwendet werden.
- Haufwerksporige Betonsteine sind grundsätzlich nur bei niedriger Belastung einsetzbar und bewähren sich vor allem dort, wo eine gute Begehrbarkeit gefordert ist.
- Versickerungsfähige Pflaster und Plattenbeläge sollten unter Beachtung der oben genannten Lastsituationen überall dort begrünt werden, wo in ökologischer oder gestalterischer Hinsicht eine vorteilhafte Wirkung erzielt werden kann.

5.2 Überwachung und Unterhaltung

Da die dauerhafte Funktionsfähigkeit einer versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsfläche in erster Linie von der Qualität von Baustoff und Ausführung abhängt, kommt der baubegleitenden Überprüfung der Versickerungsleistung und Überwachung des Einbaues eine entscheidende Bedeutung zu (BORGWARDT, 1999) Das *Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* empfiehlt die Überprüfung der Anforderungen als Eignungsprüfung an den Baustoffen und als Kontrollprüfung an den fertig eingebauten Schichten des Oberbaues.

Die technischen Eigenschaften von Baustoffen werden nach den jeweiligen Anforderungen in den betreffenden Regelwerken in Eigen- und Fremdüberwachung kontrolliert und dokumentiert. Hinsichtlich der Anforderungen, die an die Baustoffe für die Verwendung in versickerungsfähigen Verkehrsflächen zu stellen sind, ist folgendes maßgeblich: Die Mineralstoffe, die für die jeweiligen Schichten des Oberbaues einzusetzen sind, müssen – neben den weiteren straßenbaulichen Anforderungen gemäß den einschlägigen Regelwerken – eine Durchlässigkeit aufweisen, die es erlaubt, eine örtliche Regenspende von $r_{10(0,2)}$ vollständig zu versickern. Das FGSV-Merkblatt nennt hier den pauschalen Wert von $5,4 \times 10^5 \text{ m/s}$. Die Prüfung erfolgt nach Vorliegen des Ausschreibungs-

Tabelle 6: Geeignete Pflastersysteme für verschiedene Verkehrsflächen.

Art der Verkehrsfläche	Geeignete Pflastersysteme
Straßenflächen nach RStO (Bauklasse V)	Mit Sickeröffnungen und Verbundwirkung
Straßenflächen nach RStO (Bauklasse VI)	Mit Sickeröffnungen Mit aufgeweiteten Fugen Haufwerksporige Betonsteine
Parkflächen nach RStO (geringer Bus- und Lkw-Verkehr)	Mit Sickeröffnungen und Verbundwirkung
Parkflächen nach RStO (Pkw-Verkehr, Stellflächen)	Haufwerksporige Betonsteine Begrünbare Pflaster/Platten
Industrielle und gewerbliche Verkehrsflächen (Umschlagsflächen und Ladeverkehr)	Mit Sickeröffnungen und Verbundwirkung
Industrielle und gewerbliche Verkehrsflächen (Abstellplätze)	Mit Sickeröffnungen Mit aufgeweiteten Fugen
Besondere Verkehrsflächen (zum Beispiel Gleis- und Schienenbereiche des ÖPNV, Ufer- und Böschungsbefestigungen)	Mit Sickeröffnungen Mit aufgeweiteten Fugen Begrünbare Pflaster/Platten
Untergeordnete Verkehrsflächen (zum Beispiel Wirtschaftswege, Nafahrbereiche)	Mit Sickeröffnungen Mit aufgeweiteten Fugen Begrünbare Pflaster/Platten
Wohnumfeld (zum Beispiel Bewegungs- und Platzflächen, Grundstückszufahrten, Gartenanlagen, Rad- und Gehwege*)	Mit Sickeröffnungen Mit aufgeweiteten Fugen Haufwerksporige Betonsteine Begrünbare Pflaster/Platten

*) Versickerungsfähige Pflaster und Plattenbeläge sind hier unter Umständen aufgrund der schlechten Begehr- oder Befahrbarkeit in einigen Einsatzbereichen nicht geeignet.



Abbildung 9: Versuchsanordnung nach dem Open-End-Test. (Fotos: Verfasser)

ergebnisses und Bekanntgabe des voraussichtlich liefernden Werkes anhand der ausgeschrieben und zu liefernden Mineralstoffgemische. Die Eignungsprüfung sollte für jedes Mineralstoffgemisch im Labor mit der Versuchsanordnung nach DIN 18130 (DIN 1989) durchgeführt werden.

Auf der Baustelle muss im Zuge der allgemeinen Baugrunderkundung zunächst die Durchlässigkeit des anstehenden Untergrundes ermittelt werden, um die Bemessung des Oberbaues, die Art der Entwässerung, die Dimensionierung weiterer Entwässerungslagen, die Dimensionierung des Oberbaues und die Art der Entwässerung bestimmen zu können. Dies stellt in der Regel auch die Grundlage für den Genehmigungsbescheid der zuständigen Behörde dar. Zunächst kann der maßgebliche Durchlässigkeitsbeiwert annäherungsweise anhand der Bodenart nach DIN 18196 im Zusammenhang mit einfachen Verfahren zum Benennen und Beschreiben von Böden nach DIN 4022 Teil 1 oder aufgrund einer Sieblinienauswertung bestimmt werden. Darüber hinaus wird aber empfohlen, die Prüfung der Durchlässigkeit im Feldversuch mit dem Open-End-Test und den im FGSV-Merkblatt aufgeführten Ver-

suchsbedingungen durchzuführen (Abbildung 9).

Zur Überwachung der Anforderungen an die Durchlässigkeit im eingebauten Zustand sollten Kontrollprüfungen ausgeschrieben werden. Dies umfasst die einzelnen Tragschichten und die fertig eingebaute Deckschicht. Hierbei wird im Gegensatz zu den Eignungsprüfungen die Infiltrationsrate gemessen. Nach dem FGSV-Merkblatt erfolgt dies mit dem Infiltrationsgerät an maßstabsgerechten und anforderungsgerecht verdichteten Prüfflächen. Werden die Anforderungen nicht erreicht, können den Mineralstoffgemischen und den fertigen Schichten nicht die zugesicherten Eigenschaften nachgewiesen werden; sie sind somit nicht abnahmefähig. Die in der Prüfung beanstandeten Mineralstoffgemische sind vom Unternehmer gegen geeignete Baustoffe auszutauschen und erneut zu prüfen. Diese Kontrollprüfungen sind vom Bauunternehmer zu beauftragen und von unabhängigen Prüfinstituten oder Baustofflabors durchzuführen.

Ist die versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche nach den genannten Anforderungen geplant, ausgeführt und überwacht worden, ist es wie bei jedem Bauwerk in der Folge dennoch unerlässlich, eine regelmäßige Kontrolle der ordnungsgemäßen Funktion durchzuführen. Während der Nutzungsdauer ist eine regelmäßig wiederholte Überwachung des Zustandes und der ordnungsgemäßen Funktion der Verkehrsfläche erforderlich. Wesentliches Augenmerk ist dabei auf den Zustand der Fugen und der Fugenfüllung zu legen. Nur die ordnungsgemäße Beschaffenheit und die vollständige Füllung der Fugen gewährleisten neben der dauerhaften Versickerungsleistung die Standfestigkeit der Verkehrsfläche. Sind die Fugen nicht mehr vollständig gefüllt, muss unverzüglich nachgesandt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass der Pflasterbelag Horizontalkräfte nicht mehr ordnungsgemäß übertragen kann. Verschiebungen und Verkantungen von Pflastersteinen wären die Folge. Weitreichende Schäden an der Fläche wären vorprogrammiert.

Bei der Reinigung von Verkehrsflächen ist grundsätzlich zu beachten, dass eine maschinelle Reinigung bei Pflasterflächen frühestens nach sechsmonatiger, besser einjähriger Liegezeit durchgeführt werden

sollte, da es ansonsten aufgrund des Austrages von Fugenmaterial zu Schäden an der Verkehrsfläche kommen kann. Bei Unterhaltungsarbeiten an versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen ist aufgrund der zu verwendenden feinkornarmen Mineralstoffgemische für die Verfüllung der Fugen und Sickeröffnungen eine saugende Reinigung zu vermeiden oder das entfernte Fugenmaterial sofort zu ersetzen. Dies gilt auch bei Reinigungsverfahren durch Spülen mit Hochdruckwasserstrahl.

Aus Gründen des Grundwasserschutzes ist auf den Einsatz von Streusalzen im Winterdienst zu verzichten, da bei zu hohen Salzkonzentrationen mit der Mobilisierung von Schwermetallen im Boden zu rechnen ist. Somit ist im Winter auf versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen mit einer Beeinträchtigung des Benutzungscomforts zu rechnen und der Verkehrssicherungspflicht besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Da es sich hierbei aber in der Regel um Flächen für den ruhenden Verkehr oder Straßenflächen mit geringer Verkehrsfrequenz und niedriger Fahrgeschwindigkeit handelt, kann auch unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit der Winterdienst mit abstumpfenden Mitteln, wie zum Beispiel Splitt, befürwortet werden.

Zeitgemäße Freiraumgestaltung

Absperrpoller · Bänke
Geländeranlagen
Fahrradstandanlagen
Fahrradüberdachungen
Buswartehallen
Info-Kästen · Schilderanlagen
Versorgungspoller · Abfallbehälter

Thieme 
Metallbau

Fuggerstraße 18 · 48165 Münster
Tel. 02501/6000 · Fax 02501/3193
E-Mail: info@thieme-gmbh.de
Internet: www.thieme-gmbh.de