

Versickerungsfähige Verkehrsflächen

Teil 1: Anforderungen und Leistungsfähigkeit*)

SÖNKE BORGWARDT

1. Anforderungen an versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen

1.1 Die Vorgaben des Merkblattes für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen

Mit Herausgabe des *Merkblattes für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen im September 1998 (FGSV, 1998a) sind für Verkehrsflächen, die unter Verwendung von versickerungsfähigen Deckschichten ausgeführt werden, erstmals die Anforderungen an Planung, Bau und Betrieb beschrieben worden. Damit wird nach langjährigem praktischem Einsatz und wissenschaftlicher Forschungsbegleitung, vor allem versickerungsfähiger Pflastersysteme, der Erfordernis nach einem Regelwerk und der Dokumentation eines Standes der Bautechnik Rechnung getragen. Im FGSV-Merkblatt werden vor allem folgende Inhalte behandelt:

- die Einsatzgrenzen hinsichtlich der Verkehrsbelastung und des Schutzes von Boden und Grundwasser,
- die bautechnischen Anforderungen an Untergrund und Unterbau, an die Ausführung der Tragschichten und an die Entwässerungsmaßnahmen,
- die Anwendungskriterien für versickerungsfähig ausgebildete Deckschichten,
- die Durchführung von Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen und
- die Unterhaltung derartiger Verkehrsflächen im Laufe des Betriebes.

Die Einsatzgrenzen bei der Versickerung von Niederschlägen über wasserdurchlässig ausgebildete Verkehrsflächen ergeben sich aus der grundsätzlichen Forderung des Schutzes von Boden und Grundwasser. Da im Gegensatz zu anderen Versickerungsanlagen wie Gräben, Mulden oder Becken

Art der Verkehrsfläche	Art der Nutzung
Straßenflächen nach RStO	Wohn- und Anliegerverkehr (Bauklasse V)
	Wohn- und Anliegerverkehr (Bauklasse VI)
Parkflächen nach RStO	Geringer Bus- und Lkw-Verkehr
	Pkw-Verkehr
Industrielle und gewerbliche Verkehrsflächen	Umschlagsflächen industrieller und gewerblicher Nutzer
	Plätze mit schwerem Ladeverkehr
	Abstellplätze (zum Beispiel Container)
Besondere Verkehrsflächen	Gleis- und Schienenbereiche des ÖPNV
	Ufer- und Böschungsbefestigungen
Untergeordnete Verkehrsflächen	Bahnsteige
	Wirtschaftswege (Land- und Forstwirtschaft)
	Notfahrbereiche (zum Beispiel Feuerwehr)
Wohnumfeld	Bewegungs- und Platzflächen, Grundstückszufahrten, Gartenanlagen
	Rad- und Gehwege

Tabelle 1: Einsatzbereiche von versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen.

die für die Reinigung der Abwässer biologisch belebte Oberbodenschicht in der Sickerpassage fehlt, muss der Eintrag von Schadstoffen weiter minimiert werden. Dies erfolgt hier über die Begrenzung der Verkehrsbelastung auf die Bauklassen V, VI und sonstige klassifizierte Verkehrsflächen gemäß den *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen* – RStO (FGSV, 1989) und entsprechende private Verkehrsflächen. Für den öffentlichen Bereich werden hierunter Wohn- und Anliegerstraßen, Parkflächen für Pkw- und geringen Lkw- und Busverkehr sowie Rad- und Gehwege erfasst. Im privaten Bereich können dies aber auch industriell und gewerblich genutzte Flächen mit zwar hohen Achslasten, aber nur geringer Verkehrsfrequenz sein, solange nicht mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird. Daraus ergibt sich der Einsatzbereich für versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen nach Tabelle 1.

Über die Eingrenzung der Verkehrsbelastung und weitere Beschränkungen aus Gründen des Grundwasserschutzes hinaus wie die Festlegung eines einzuhaltenen Grundwasserabstandes und des Einsatzes in Wasserschutzgebieten ergibt sich

der Anwendungsbereich vor allem aufgrund der zu fordernden Durchlässigkeit für den Untergrund. Die Anwendung von wasserdurchlässigen Befestigungen von Verkehrsflächen aus der Sicht des FGSV-Merkblattes wird in Tabelle 2 gezeigt.

Die Eignung des Untergrundes für den Einsatz versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen misst sich an dem Regenerereignis, das versickert werden soll. Hierbei wird von einer definierten Regenspende ausgegangen, die vollständig und dauerhaft von der Verkehrsfläche aufgenommen, im Oberbau weitergeleitet und an den Untergrund oder eine Planumsentwässerung abgegeben werden muss. Diese Bemessungsregenspende ist nach dem FGSV-Merkblatt als $r_{10(0,2)}$ festzulegen. Diese wird hier pauschal mit 270 l/(s·ha) angegeben, sollte aber aufgrund von Auswertungen örtlicher Regenreihen ermittelt werden.

Die Versickerung der Niederschläge bei versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen erfolgt im nicht wassergesättigten Bodenbereich, so dass hier die wirksame Durchlässigkeit mit $k_u \approx k_f/2$ angesetzt werden muss (ATV, 1999). Die Anforderung an die Durchlässigkeit des Untergrundes muss also hinsichtlich der Versickerungsfähigkeit verdoppelt werden. Ausgehend von einer maßgeblichen Regenspende von $r_{10(0,2)} = 270 \text{ l/(s·ha)}$ (entspricht rechnerisch

*) Teil 2 erscheint in STADT UND GRÜN 49 (2000) Heft 10.

$2,7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) muss also ein Durchlässigkeitsbeiwert von mindestens $k_f = 2 \times (2,7 \times 10^{-5}) = 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ vorausgesetzt werden.

Im Mittelpunkt des FGSV-Merkblattes stehen die bautechnischen Anforderungen an Oberbau und Entwässerung. Aufgrund der Forderung nach vollständiger Aufnahme der Bemessungsregenspende $r_{(10)0,2} \geq 270 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ muss der Oberbau eine Durchlässigkeit von $k_f \geq 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ aufweisen. Dies gilt für die Tragschichten sowie für die Deckschichten, die als versickerungsfähige Pflaster und Plattenbeläge, wasserdurchlässiger Asphalt oder wasserdurchlässiger Beton ausgebildet sein können. Beim Einsatz von Pflaster und Plattenbelägen muss darüber hinaus die Durchlässigkeit des Baustoffs für die Fugen und Sickeröffnungen auf den Öffnungsanteil des jeweils verwendeten Systems bezogen werden:

$$k_f = \frac{k_u \times 100}{\text{Öffnungsanteil in \%}} \quad [\text{m/s}]$$

Die genannten Forderungen an die Durchlässigkeit des Oberbaues sind bei gleichzeitig einzuhaltenden Werten an die

Tabelle 2: Anwendung von wasserdurchlässigen Befestigungen von Verkehrsflächen (FGSV, 1998a).

Anwendung von wasserdurchlässigen Befestigungen für Verkehrsflächen		Pflaster und Plattenbeläge			Asphalt	Beton
		Sickeröffnungen	Dränbeton	begrünt		
Wasserschutzzone I/II		--	--	--	--	--
Wasserschutzzone III	Bauklasse VI	--	--	-	--	--
	Rad- und Gehwege	+	+	-	+	+
Durchlässigkeit	$\geq 5,4 \times 10^{-5}$	++	++	++	++	++
Untergrund [m/s]	$< 5,4 \times 10^{-5}$	•	•	•	•	•
Flurabstand Grundwasser	$\geq 2 \text{ m}$	++	++	++	++	++
	$< 2 \text{ m}$	--	--	--	--	--
Mächtigkeit des durchlässigen Untergrundes	$\geq 1 \text{ m}$	++	++	++	++	++
	$< 1 \text{ m}$	--	--	--	--	--
Durchlässigkeit Tragschichten [m/s]	$\geq 5,4 \times 10^{-5}$	++	++	++	++	++
	$< 5,4 \times 10^{-5}$	--	--	--	--	--
Durchlässigkeit Deckschicht [m/s]	$\geq 5,4 \times 10^{-5}$	++	++	++	++	++
	$< 5,4 \times 10^{-5}$	--	--	--	--	--
Gefälle	$\leq 5 \%$	++	++	++	++	++
	$> 5 \%$	-	-	-	-	-
Bauklasse SV, I-IV		--	--	--	--	--
Bauklasse V		++	+	--	+	+
Bauklasse VI		++	++	+	+	+
Rad- und Gehwege		++	++	-	+	+

Tragfähigkeit nach den *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau* – ZTVT-StB (FGSV, 1998b) bei jeweiliger Verkehrsbelastung zu erreichen und nachzuweisen.

Untersuchungen an versickerungsfähig ausgebildeten Pflasterflächen zeigen, dass im Neuzustand, nach einer Gebrauchsdauer von bis zu fünf Jahren (und größtenteils auch darüber hinaus) auch Regenspenden von weit über $270 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ vollständig versickern können (BORGWARDT, 1998; siehe auch unten). Ob diese Versickerungsleistung innerhalb der gesamten Gebrauchsdauer einer Verkehrsfläche erbracht wird, kann bisher allerdings nicht abschließend beurteilt werden. Der Rückgang der Versickerungsfähigkeit aufgrund des Eintrages von mineralischen und organischen Feinstoffen erfolgt unabhängig von örtlicher Lage der Verkehrsfläche oder von der Art der jeweils eingesetzten Deckschicht. Hierbei sind die umwelt- und nutzungsbedingten Einflüsse auf die Durchlässigkeit der Deckschicht derart vielfältig, dass eine generelle Aussage über die dauerhafte Leistungsfähigkeit derzeit nicht getätigt werden kann.

Aus diesem Grunde wird die versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsfläche nicht als eigentliche Entwässerungsanlage

betrachtet, sondern als ein vorgeschalteter Baustein innerhalb des gesamten Entwässerungskonzeptes zur Reduzierung des Oberflächenabflusses. Somit wird der Verkehrsfläche ein Abflussbeiwert zugeordnet, der bei der Bemessung der eigentlichen Entwässerungsanlage berücksichtigt wird.

Bei der Ermittlung der Größe des Abflussbeiwertes für versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen geht das FGSV-Merkblatt aufgrund der oben genannten Abnahme der dauerhaften Versickerungsleistung von einem Abflusswert von $\psi = 0,5$ aus. Dies bedeutet, dass auch einer derartig ausgebildeten Verkehrsfläche immer eine Entwässerungsanlage – zum Beispiel eine seitliche Versickerungsanlage – zuzuordnen ist. Diese kann aber entsprechend dem anrechenbaren Abflussbeiwert kleiner dimensioniert werden. Die Bemessung erfolgt also nach:

$$Q = A \times \psi \times r_{(T)n} / 10\,000 = A \times 0,5 \times 270 / 10\,000$$

mit: Q = Abfluss in l/s

A = angeschlossene befestigte Verkehrsfläche in m^2

ψ = Abflussbeiwert

$r_{(T)n}$ = Bemessungsregenspende in $\text{l/(s} \cdot \text{ha)}$.

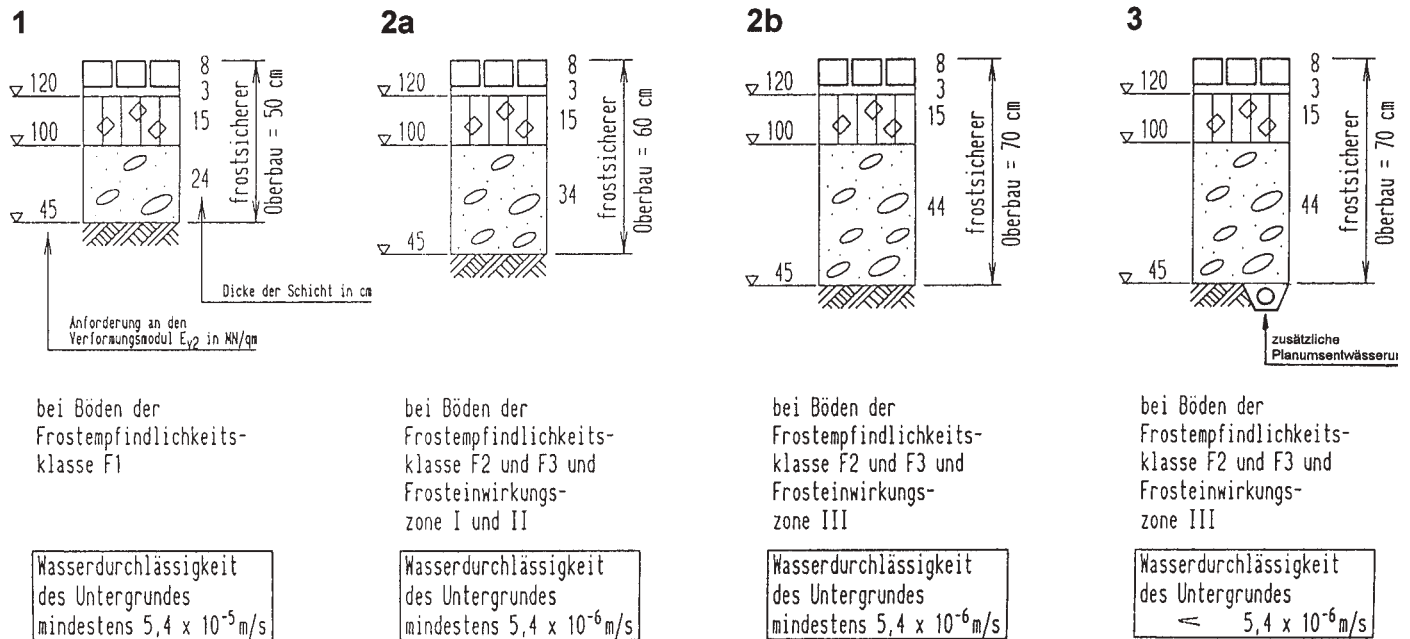
Die Bedeutung einer versickerungsfähig befestigten Verkehrsfläche liegt also nicht darin, eine herkömmliche Entwässerungsanlage zu ersetzen, sondern den Flächenverbrauch und damit die Kosten einer Entwässerung zu optimieren und damit zu einer wirtschaftlichen und umweltgerechten Bewirtschaftung von Regenwasser beizutragen.

1.2 Weitere Anforderungen aus der Ausführungspraxis

Durch die zunehmende Erfahrung mit umgesetzten Objekten und laufend neue wissenschaftliche Erkenntnisse hinsichtlich Einsatzbedingungen, Baustoffanforderungen und Bemessungsregeln können die Empfehlungen des FGSV-Merkblattes weiter erläutert, präzisiert und ergänzt werden.

Folgt man konsequent dem Prinzip des Einsatzes wasserdurchlässiger Befestigungen zur Reduzierung des Abflussbeiwertes, ist es durchaus sinnvoll und auch technisch möglich, die Verkehrsfläche auch bei

Ausführung mit Schottertragschicht auf Frostschutzschicht (Tafel 3, Zeile 5)



Darstellung 1: Bauweisen für versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen.

weniger durchlässigen Untergründen versickerungsfähig auszubilden. Hierbei sind aber verstärkt die Wasserverhältnisse in und auf der Verkehrsfläche zu beachten und der Tragfähigkeit der Befestigung absolute Priorität einzuräumen. Hierbei ist es – unter Beachtung der Vorgaben an Verdichtung und Verformungswiderstand von Untergrund und Tragschichten nach den *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau* – ZTVE-StB (FGSV, 1997) und ZTVT-StB – außerordentlich wichtig, Maßnahmen zu ergreifen, um das eindringende Niederschlagswasser aus dem Oberbau und vom Planum abzuleiten. Nur so kann dauerhaft vermieden werden, dass das Planum durch nicht schnell genug abfließendes Sickerwasser aufweicht und die Standfestigkeit der Verkehrsfläche beeinträchtigt wird. Die sich hieraus ergebenden Bemessungsregeln werden unten erläutert.

Die genannten Anforderungen an die Baustoffe für den Oberbau versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen müssen bezüglich der Verfügbarkeit, der Güteüberwachung und des Einsatzes praxisgerecht angewendet werden. Hierbei hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass es für die erfolgreiche Umsetzung der Anforderung an die Durchlässigkeit unerlässlich ist, diese Anforderung qualifiziert auszusprechen, die ausgeschriebenen Baustoffe entsprechend überwachen zu lassen und den fachgerechten Einbau auf der Baustelle zu kontrollieren.

Die Durchlässigkeit eines Baustoffes ist abhängig vom Anteil der abschlämmbaren Kornfraktionen. Dieser Ton- und Schluffanteil darf nach ZTVT-StB höchstens 7 Massen-% betragen. Dies ist für die Entwässerung des Oberbaues herkömmlicher Verkehrsflächenbefestigungen ausreichend. Für versickerungsfähig ausgebildete Befestigungen muss allerdings der Ton- und Schluffanteil erfahrungsgemäß auf maximal 3 Massen-% begrenzt werden, um die von der Bemessungsregenspende abhängige benötigte Durchlässigkeit erzielen zu können. Hierbei sollte man sich aber trotzdem innerhalb der in Abschnitt 2.2.4 der ZTVT-StB aufgeführten Sieblinienbereiche bewegen, um das erforderliche Verformungsmodul zu erreichen. Herkunft und Verfügbarkeit von Mineralstoffgemischen sind hierbei regional derart unterschiedlich, dass es sich empfiehlt, in der Ausschreibung die entsprechende Anforderung an die Durchlässigkeit – nach dem FGSV-Merkblatt $\geq 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ – explizit zu nennen und eine Güteüberwachung als Eignungsprüfung an den Baustoffen und als Kontrollprüfung im eingebauten

Zustand zu fordern. Die hierfür geeigneten Prüfmethode werden in Abschnitt 3 (Teil 2) ausführlich beschrieben.

Die Bemessung des Oberbaues kann in Abhängigkeit zur Durchlässigkeit des Untergrundes erfolgen. Hierbei wird nach der Vorgehensweise der RStO, der Ermittlung der Dicke des frostsicheren Oberbaues in Abhängigkeit zum Trag- und Verformungsverhalten, zur Frostempfindlichkeit des Untergrundes und zu den örtlich angetroffenen Verhältnissen bezüglich Frosteinwirkung und Wasserverhältnissen, vorgegangen.

Hierbei ergeben sich folgende Bemessungsregeln für versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen:

- Bei frostunempfindlichen Untergründen der Frostempfindlichkeitsklasse F1 gemäß ZTVE-StB und gleichzeitiger Durchlässigkeit von $\geq 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ sind in der Regel keine Frostschutzmaßnahmen zu ergreifen und die Dicke des Oberbaues ist nach der entsprechenden Tafel der RStO zu ermitteln.
- Bei frostempfindlichen Untergründen der Frostempfindlichkeitsklassen F2 und F3 gemäß ZTVE-StB und gleichzeitiger Durchlässigkeit zwischen $< 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ und $\geq 5,4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ sind aufgrund der zu erwartenden geringen Tragfähigkeit

Tabelle 3: Dicken des frostsicheren Oberbaues bei versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen.

Untergrund Frostempfindlichkeitsklasse	Frosteinwirkungszone	Erforderliche Dicke bei Bauklasse V und VI	Rad - und Gehwege
F1	–	50 cm	30 cm
F2 oder F3	I und II	60 cm	40 cm
	III	70 cm	50 cm

- des Untergrundes und zur Vergrößerung der temporären Speicherfähigkeit des Oberbaues regelmäßig Mehrdicken aufgrund der Frosteinwirkungszone und aufgrund ungünstiger Wasserverhältnisse gemäß ZTVE-StB zu berücksichtigen. Dies ergibt eine Mehrdicke von +10 cm in der Frosteinwirkungszone II und von +20 cm in der Frosteinwirkungszone III. Die Anrechnung von Minderdicken nach Tabelle 7 der RStO ist auszuschließen.
- Bei frostempfindlichen Untergründen der Frostempfindlichkeitsklassen F2 und F3 gemäß ZTVE-StB und gleichzeitiger Durchlässigkeit von $< 5,4 \times 10^{-6}$ m/s ist neben der Anrechnung von Mehrdicken die Entwässerung des Planums mit Maßnahmen nach Abschnitt 4.3 der *Richtlinien für die Anlage von Straßen (Teil Entwässerung)* – RAS-Ew (FGSV, 1987) zu ergreifen, um Beeinträchtigungen der Standfestigkeit des Planums zu vermeiden.

Die sich aus diesen Bemessungsregeln ergebenden Dicken des Oberbaues für versickerungsfähig ausgebildete Verkehrsflächen sind in Tabelle 3 und beispielhaft in Darstellung 1 aufgeführt.

Das von der Oberfläche abfließende sowie – bei weniger durchlässigen Untergründen – das im Oberbau und auf dem Planum vorhandene Wasser ist entsprechend ausgebildeten und bemessenen Entwässerungseinrichtungen zuzuführen und in die nächstgelegene Vorflut abzuleiten. Die RAS-Ew gehen hierbei in ihren Planungsgrundsätzen bei ausreichender Bodendurchlässigkeit und ökologischer Unbedenklichkeit vom Regelfall der flächenhaften Versickerung des Straßenoberflächenwassers über Böschungen oder Rasenmulden aus. Nur wenn geologische, bodenkundliche, hydrologische, ökologische oder konstruktive Gründe dies nicht zulassen, sind zentrale Versickerungseinrichtungen, wie zum Beispiel Versickerungsbecken, zur Entwässerung vorzusehen. Erst wenn auch dies nicht möglich ist, ist als letzter Schritt eine Ableitung über Regenwasserkanäle in die Vorflut vorzusehen. Es ist also eine seitliche Entwässerung über dezentrale Versickerungsanlagen wie die Versickerung über Böschungen, in Gräben, Mulden anzustreben. Zu bevorzugen sind hierbei Anlagen, bei denen der Oberflächen-

Abbildung 1: An eine Versickerungsmulde angeschlossene Verkehrsfläche aus Pflaster mit Rasenfugen.



abfluss durch die oberflächige Versickerung über begrünzte und biologisch belebte Oberbodenschichten eine ausreichende Reinigung erfährt. Die möglichen Anlagenformen und deren Kombination sind in den RAS-Ew und im *ATV-Arbeitsblatt A 138* dargestellt. Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen entsprechende Beispiele.

Die Bemessung dieser Anlagen erfolgt bei Anschluss an einer versickerungsfähig

ausgebildeten Verkehrsfläche nach dem FGSV-Merkblatt unter Anrechnung eines Abflussbeiwertes von $\psi = 0,5$. In der Praxis zeigt sich hierbei, dass bei vielen Flächen auch nach langjähriger Nutzung sämtliche Niederschläge auch über die versickerungsfähige Verkehrsfläche versickert werden können und die Entwässerungseinrichtungen in den ersten Betriebsjahren überhaupt nicht und später auch nur bei Starkregeneignissen in Anspruch genommen werden.

Es kann sicherlich aus der Erfahrung mit vielen umgesetzten Objekten auch ein Ab-

Abbildung 2: An eine Versickerungsmulde angeschlossene Verkehrsfläche aus Pflaster mit Sickeröffnungen.





Abbildung 3: An ein Mulden-Rigolen-Element angeschlossene Verkehrsfläche aus Pflaster mit Sickeröffnungen.

flussbeiwert von $\psi = 0,3$ befürwortet werden. Ein genereller Verzicht auf eine Entwässerungsanlage beschränkt sich allerdings auf die wenigen Objekte, wo ein sehr durchlässiger Untergrund angetroffen wird und ein eventuell entstehender Oberflächenabfluss schadlos für die Anlieger flächenhaft in der Umgebung versickert werden kann. Ansonsten ist der Anschluss an eine zusätzliche Entlastung zur Aufnahme von eventuell anfallenden Oberflächenabflüssen und/oder Abflüssen vom Planum bei weniger durchlässigen Untergründen vor allem aus folgenden Gründen immer anzuraten:

- Entwässerung der aufgrund zu erwartender Verschmutzung der Sickeröffnungen und Fugen verbleibenden Oberflächenabflüsse bei zunehmender Betriebsdauer,
- ordnungsgemäße und verkehrssichere Entwässerung von Oberflächenabflüssen bei Regenereignissen, die über der Bemessungsregenspende liegen und
- Entwässerung des Planums bei nicht ausreichend durchlässigen Untergründen.

Die ganzheitliche Betrachtung der Kosten sparenden und umweltgerechten Bewirtschaftung von Regenwasser sieht immer eine objektbezogene Kombination aus verschiedenen Verfahren und Anlagen der

Entwässerung vor. Je nach Planungsziel, örtlichen Verhältnissen und Durchlässigkeit des Untergrundes liegt hierbei der Schwerpunkt bei der Versickerung, der Rückhaltung oder der gedrosselten Einleitung des Oberflächenabflusses. Die Ausbildung einer versickerungsfähigen Verkehrsfläche kann hierbei in jedem Falle ordnungsgemäß und dauerhaft realisiert werden. Je nach Beschaffenheit des Untergrundes verschiebt sich dieser Schwerpunkt, führt aber auch bei undurchlässigeren Untergründen häufig zu wirtschaftlicheren und umweltgerechteren Lösungen als bei der Ableitung in Kanalisationssysteme.

Tabelle 4: Vergleich von theoretisch errechneter und im eingebauten Zustand gemessener Durchlässigkeit von Mineralstoffgemischen zur Verfüllung von Fugen und Sickeröffnungen im Neuzustand.

Mineralstoffgemisch	Theoretische Durchlässigkeit k_f anhand der idealen Sieblinie nach BEYER (in m/s)	Mittlere Durchlässigkeit $i_{(60)}$ der untersuchten Mineralstoffgemische nach Infiltrationsmessung (in m/s)
Splitt 2/5 mm	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-4}$
Splitt 1/3 mm	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4}$
Brechsand-Splitt-Gemisch 0/5 mm	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	–
Sand 0/4 mm	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	–
Sand 0/2 mm	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$
Oberbodengemisch	–	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-7}$

2. Untersuchte Leistungsfähigkeit

Die Versickerungsleistung von versickerungsfähigen Verkehrsflächen ist in zahlreichen Untersuchungen aufgrund von Labor- und Feldversuchen charakterisiert worden. Neben der jeweiligen produkt- oder objektspezifischen Leistungsfähigkeit einzelner Baustoffe oder Untersuchungsflächen ist im Zusammenhang mit der anforderungsgerechten Planung, der bautechnischen Beurteilung und der rationalen Unterhaltung solcher Flächen vor allem die Abhängigkeit der versickerbaren Regenspende von verschiedenen Faktoren aufschlussreich.

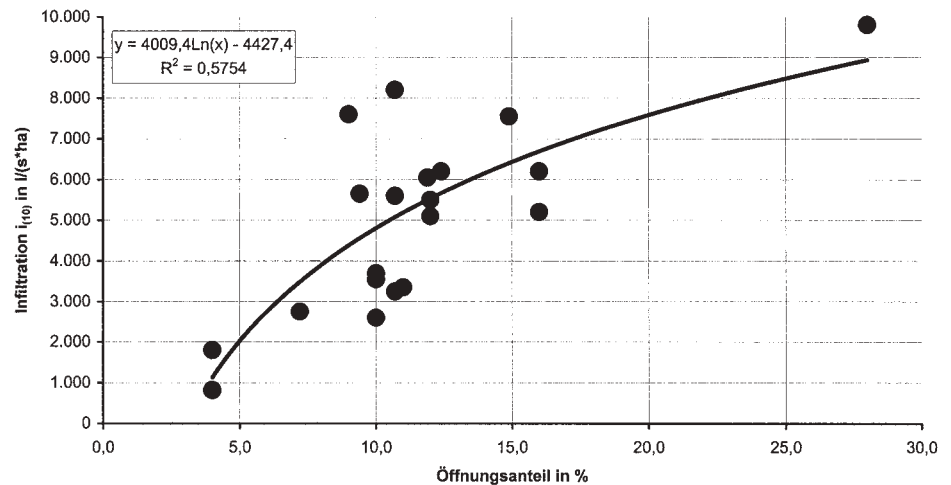
Es zeigt sich, dass das Infiltrationsvermögen versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen im Wesentlichen von der Versickerungsleistung der Oberfläche abhängt. Diese ist wiederum abhängig von der Art der Deckschicht – nämlich vom Öffnungsanteil, der über Poren, Fugen und Sickeröffnungen bereitgestellt wird. Bei Pflaster und Plattenbelägen besteht zusätzlich ein Einfluss der Durchlässigkeit des für die Verfüllung von Fugen und Sickeröffnungen verwendeten Mineralstoffgemisches. Schließlich besteht bei allen versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsflächen eine Beziehung zwischen der Infiltration und dem Einbualter, das heißt eine Abhängigkeit vom Ausmaß des Eintrages von mineralischen und organischen Feinanteilen. Ein Einfluss der unter der Deckschicht liegenden konstruktiven Schichten auf die Versickerungsleistung kann nach BORGWARDT (1995) und BREUSTE et al. (1996) nicht festgestellt werden. Dieser könnte nur vorliegen, wenn es während des Regenereignisses zu einer Sättigung kommen würde. Dies kommt bei anforderungsgerecht ausgebildeten Tragschichten unter Praxisbedingungen

nicht vor (BERNER und FLOSS, 1991; HANSES et al., 1997).

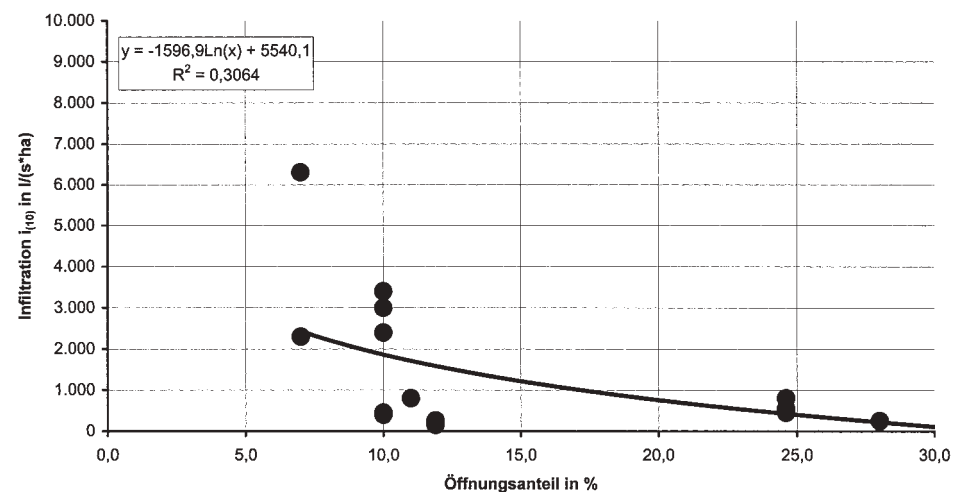
Häufig wird die Leistungsfähigkeit verschiedener Produkte zur Befestigung versickerungsfähig ausgebildeter Verkehrsflächen am Öffnungsanteil, das heißt am Anteil der durchlässigen Fläche, gemessen. Hierbei wird ein theoretisch-mathematischer Rückschluss zwischen der zu erwartenden Durchlässigkeit des einzusetzenden Mineralstoffgemisches für die Verfüllung der Öffnungen und dem Öffnungsanteil gezogen. So müsste zum Beispiel eine Pflasterfläche mit einem gesamten Öffnungsanteil von 12 % bei Verfüllung mit einem Splitt der Körnung 2/5 mm und einer theoretischen Durchlässigkeit von 5×10^{-3} m/s eine Regenspende von 6000 l/(s·ha) versickern können ($[5 \times 10^{-3}/100] \times 12 = 6,0 \times 10^{-4}$ m/s oder 6000 l/(s·ha)).

Diese theoretischen Werte haben in der Praxis wenig Aussagekraft. Die Durchlässigkeit von Mineralstoffgemischen ist trotz relativ eindeutiger Anforderungen in den *Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau – TL Min-StB* (FGSV, 1994) regional äußerst unterschiedlich. Darüber hinaus wirken bei Lieferung und Einbau vielfältige und komplexe Einflussfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit, so dass zwischen theoretischen Richtwerten und auch im Labor durchgeführten Eignungsuntersuchungen auf der einen Seite und Felduntersuchungen im eingebauten Zustand auf der anderen Seite stark unterschiedliche Ergebnisse auftreten können. Als typisches Beispiel wurde bei der Untersuchung eines Pflasterproduktes Folgendes festgestellt: Dieses Produkt mit einem Öffnungsanteil von 16 % müsste theoretisch bei einer Verfüllung mit Splitt 2/5 mm – dessen Durchlässigkeit anhand einer idealen Körnungslinie bei Auswertung nach BEYER immer im Bereich zwischen 1×10^{-2} und 1×10^{-3} m/s liegt – eine Versickerungsleistung zwischen 16 000 und 1600 l/(s·ha) aufweisen. Laboruntersuchungen an den eingesetzten Mineralstoffgemischen zeigten eine Versickerungsleistung von knapp 13 000 l/(s·ha). Die Kontrollprüfung im eingebauten Zustand schließlich ergab eine versickerbare Regenspende von lediglich 6200 l/(s·ha).

Anhand der indirekt aus den Infiltrationsmessungen ermittelten durchschnittlichen Durchlässigkeit bestimmter Mine-



Darstellung 2: Versickerungsleistung in Abhängigkeit vom Öffnungsanteil bei Verfüllung mit Splitt 2/5 mm im Neuzustand.



Darstellung 3: Versickerungsleistung in Abhängigkeit vom Öffnungsanteil bei Verfüllung mit Splitt 2/5 mm im gealterten Zustand.

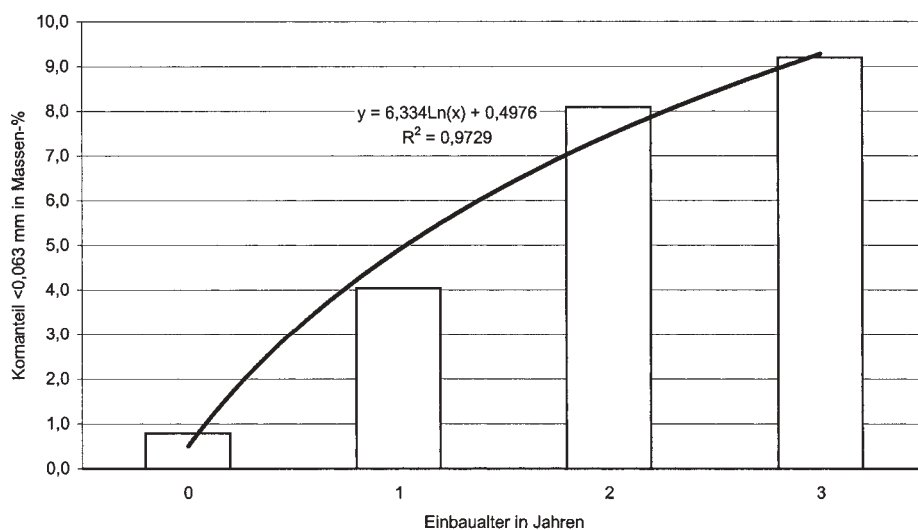
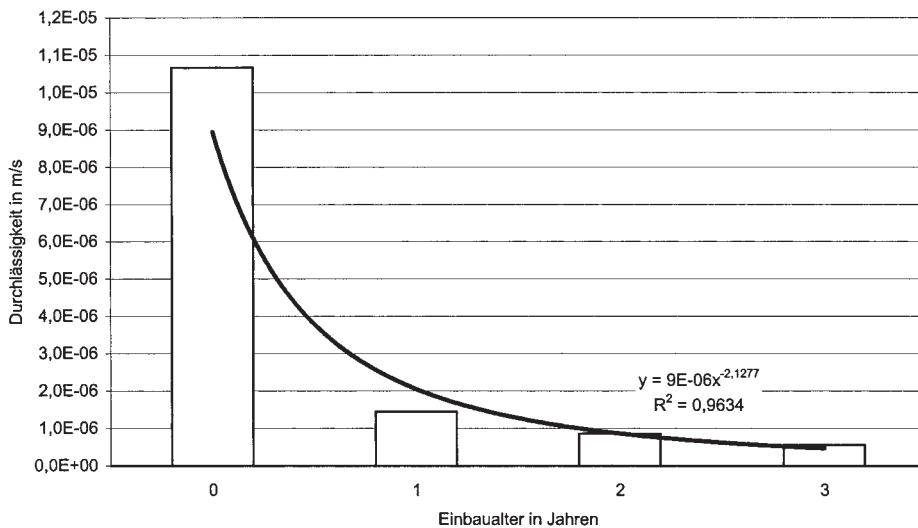
ralstoffe ergeben sich im eingebauten Zustand generell geringere Werte (Tabelle 4).

Während sich im Neuzustand bei bekannter Durchlässigkeit der zur Verfüllung eingesetzten Baustoffe noch ein gewisser Zusammenhang herstellen lässt, bestätigen weitere Untersuchungen die von BORGWARDT (1995) und BREUSTE et al. (1996) getroffene Feststellung, dass im gealterten Zustand der Zusammenhang zwischen Öffnungsanteil und Versickerungsleistung nicht mehr besteht. Ein hoher Öffnungsanteil kann sich hiernach nur positiv auf die Versickerungsleistung auswirken, wenn gleichzeitig der Anteil an Feinteilen im Mineralstoffgemisch gering ist. Liegt ein höherer Feinanteil vor – was im Laufe der Gebrauchsdauer in zunehmendem Maße regelmäßig der Fall ist, ist die Durchlässigkeit der Öffnungen gering und damit auch die Versickerungsfähigkeit

der gesamten Fläche, unabhängig vom Öffnungsanteil. Darstellung 2 zeigt, dass bei Infiltrationsmessungen im Neuzustand Infiltrationsleistung und Durchlässigkeit mit steigendem Öffnungsanteil zunehmen. Im gealterten Zustand ist der Zusammenhang zwischen Infiltrationsleistung und Öffnungsanteil nicht mehr eindeutig herstellbar (Darstellung 3).

Im Neuzustand ist die Versickerungsleistung natürlich zunächst einmal abhängig von der Durchlässigkeit der zur Verfüllung der Fugen und Öffnungen verwendeten Mineralstoffgemische (SHACKEL, 1998; BORGWARDT, 1998). Diese Durchlässigkeit hängt vom Anteil abschlämmbarer Bestandteile im Ausgangsmaterial ab (BORGWARDT, 1995). Dieser darf nach TL Min-StB je nach Körnung nicht mehr als 3 bzw. 4 Massen-% betragen. In der Praxis zeigt sich allerdings, dass dieser Anteil häufig überschritten wird.

Die Qualität dieses Ausgangsmaterials entscheidet aber über die Höhe der im Neuzustand versickerbaren Regenspende und



Darstellung 4: Abnahme der Durchlässigkeit von Mineralstoffen zur Verfüllung von Pflasterfugen in Abhängigkeit vom Einbaualter (oben) und gleichzeitige Zunahme des Kornanteiles < 0,063 mm (unten).

– eine empirische Gesetzmäßigkeit der Abnahme der Versickerungsfähigkeit nach den oben genannten Kriterien vorausgesetzt – auch über die Entwässerungsleistung der befestigten Fläche über den gesamten Ge-

brauchszustand hinweg. Anders ausgedrückt: Um die vom FGSV-Merkblatt geforderte Bemessungsregenspende $r_{(10)0,2}$ über den gesamten Nutzungszeitraum einer Verkehrsfläche aufnehmen zu können, muss das einzusetzende Mineralstoffgemisch zur Verfüllung der Fugen und Öffnungen, genauso wie die Poren bei haufwerksporigen Betonsteinen, Dränasphalt oder Dränbeton, von vornherein eine entsprechend hohe Durchlässigkeit aufwei-

sen. Damit hat man zumindest für optimale Einbaubedingungen gesorgt. Da aber die Durchlässigkeit dieser Mineralstoffgemische durch Umwelt- und Nutzungseinflüsse zeitlich einer Veränderung unterliegt und diese Einflüsse sehr diffus und komplex sein können, kann die zukünftige Entwicklung der Versickerungsleistung einer Verkehrsfläche derzeit nur prognostiziert werden. Daher scheint die Forderung nach einer ordnungsgemäßen Entwässerung für dauerhaft eventuell auftretende Oberflächenabflüsse nach jetzigem Kenntnisstand gerechtfertigt.

Der Einfluss der Alterung ist hierbei eindeutig. Durch den umwelt- und nutzungsbedingten Eintrag von mineralischen und organischen Feinteilen in Poren und in die für die Fugen und Sickeröffnungen eingesetzten Mineralstoffgemische kommt es im Laufe der Gebrauchsdauer einer Verkehrsfläche unabhängig von Lage und Ausbildung des Objekts zu einer signifikanten Abnahme der Versickerungsleistung (Abbildung 4). Hierbei kann nach Untersuchungen verschiedener Autoren von einer Abnahme der Wasserdurchlässigkeit auf 25 bis 10 % der Ausgangsleistung im Neuzustand in den ersten Betriebsjahren ausgegangen werden. Dieser Prozess ist bei Pflasterflächen mit konventionellen Fugenbreiten bereits nach einem Einbaualter von etwa zwei bis drei Jahren erreicht (BORGWARDT, 1995; SUDA et al., 1988). Er verzögert sich beim Einsatz grobkörniger Mineralstoffe (zum Beispiel Splitt 2/5 mm) und gleichzeitig größerem Öffnungsanteil, wobei aber auch hier die Endleistung im Wesentlichen nach drei bis fünf Jahren erreicht ist (BORGWARDT, 1995). In der Darstellung 4 wird an einem repräsentativen Beispiel der Zusammenhang zwischen der Anreicherung vom Kornanteil < 0,063 mm und der Abnahme der Durchlässigkeit von Mineralstoffen zur Verfüllung der Fugen eines konventionellen Pflasterbelages deutlich.

Somit liegen bodenphysikalische Mechanismen vor, die im Laufe der Standzeit zu einer irreversiblen Verringerung der Durchlässigkeiten von Pflasterfugen unabhängig von der standörtlichen Lage, der Verkehrsbelastung und des Öffnungsanteiles führen. Zu diesen Ergebnissen kommen auch BORGWARDT (1995), BREUSTE et al. (1996) bei konventionel-



Abbildung 4: Anreicherung von mineralischen und organischen Feinteilen in Pflasterfugen im Laufe der Betriebsdauer. (Fotos: Verfasser).

len Pflasterflächen, FIELD, MASTERS und SINGER (1992), HADE und SMITH (1988), SUDA et al. (1988) bei Rasengittersteinen, SPRINGBORN (1993) bei Dränasphalt und DELLWIG (1988), MICHALSKI (1992), WICHTER (1997), BORGBWARDT (1998) bei versickerungsfähig ausgebildeten Pflasterflächen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die entscheidende Größe zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer versickerungsfähig ausgebildeten Verkehrsfläche die im Nutzungszeitraum abnehmende Durchlässigkeit der Oberfläche ist. Diese ist unabhängig von Lage, Nutzung und Ausführung der Verkehrsfläche. Bei der dauerhaften Durchlässigkeit handelt es sich nicht um eine Konstante – im Gegensatz beispielsweise zum Verformungswiderstand einer Tragschicht oder zur Druckfestigkeit eines Pflastersteines – und ein zuverlässiger Wert hinsichtlich der aufnehmbaren Regenspende kann nicht gegeben werden. Daher ist die Berücksichtigung der versickerungsfähigen Verkehrsfläche als Abfluss minderndes Element eher gerechtfertigt denn als eigentliche Entwässerungsanlage.

Obwohl es in der Praxis auch langjährig bewährte Objekte ohne erkennbaren Oberflächenabfluss gibt, kann derzeit nicht ausgeschlossen werden, dass irgendwann im Laufe der Nutzungsdauer ein solcher Abfluss entsteht. Zumal, wie bereits dargelegt, wenn die Versickerungsleistung nicht von der Art der Deckschicht, sondern von der Qualität des verwendeten Baustoffes und der Qualität der Ausführung abhängt. Dass einige Flächen (noch) auch ohne angeschlossene Entwässerung funktionieren, liegt eher an dem seltenen Fall eines sehr durchlässigen Untergrundes, dem diffusen oder nicht erkennbaren Abfluss in benachbarte Flächen ohne deren Beeinträchtigung oder an doch vorhandenen, aber nicht so deklarierten Notüberläufen – und das alles bei hervorragender Ausführung der Flächen. Leider zeigt die Praxis aber auch, dass versickerungsfähig ausgebildete Flächen existieren, die ohne zusätzliche Entwässerung nicht funktionieren oder funktionieren würden. Im Lichte einer ordnungsgemäßen Entwässerung zum Schutz der Verkehrsfläche selbst und von anliegenden Gebäuden oder Nutzungen muss darauf hingewiesen werden, dass nur die Anlage einer zusätzlichen

Entwässerungseinrichtung, die diesen eventuell anfallenden Oberflächenabfluss aufnimmt, dem Stand der Technik und auch der gegenwärtigen Rechtsprechung entspricht (NISPEANU, 1993). Auch wenn es hier immer wieder andere Äußerungen gibt, muss man in der Praxis schon aus Genehmigungs- und Haftungsgründen feststellen, dass kaum Objekte realisiert werden, bei denen es keinen Notüberlauf gibt (ob in einen angeschlossenen Kanal, in eine Versickerungsanlage oder ob flächig in hierfür bereitgestellte Bereiche, wie zum Beispiel ein Trockental oder Ähnlichem).

Es stellt sich aber trotzdem die Frage, wie leistungsfähig versickerungsfähige Verkehrsflächen sind, wenn sie nach den Anforderungen des FGSV-Merkblattes ausgebildet werden, welche absoluten Werte können für die aufnehmbare Regenspende im Neuzustand und im gealterten Zustand erreicht werden und inwieweit der hier geforderte Abflussbeiwert von $\psi = 0,5$ gerechtfertigt ist? Die neuesten Ergebnisse zur Beantwortung dieser Fragen werden aufgrund eigener Untersuchungen im folgenden Abschnitt (Teil 2) dargelegt.

Literatur

- Abwassertechnische Vereinigung – ATV (Hrsg.): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Arbeitsblatt A 138 – Entwurf November 1999, St. Augustin 1999.
- BEIER, H.-E.: Entsiegelungswirkung verschiedener Oberbauarten, modellhaft an einem Parkplatz in Abhängigkeit von Witterungsverlauf und Nutzung. In: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. – FLL (Hrsg.): Entsiegelung und Oberflächenwasserversickerung mit durchlässigen Platten- und Pflasterbelägen, S. 66–78. Troisdorf 1996.
- BERNER, U., und R. FLOSS: Anforderungen an die Durchlässigkeit von ungebundenen Tragschichten. Heft 619 der Schriftenreihe „Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“. Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau. Bonn 1991.
- BORGBWARDT, S.: Der Abflussbeiwert – Kritische Anmerkungen zur DIN 1886, Teil 2. Das Gartenamt 43 (1994), Heft 11, S. 756–760.
- BORGBWARDT, S.: Die Versickerung auf Pflasterflächen als Methode der Entwässerung von minderbelasteten Verkehrsflächen. Heft 41 der Schriftenreihe „Beiträge zur räumlichen Planung“, hrsg. vom Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der Universität Hannover. Hannover 1995.
- BORGBWARDT, S.: Hinweise für die Planung, Ausführung und Pflege von begrünbaren Pflasterbelägen. Stadt und Grün 45 (1996), Heft 12, S. 860–864.
- BORGBWARDT, S.: Naturnahe Bewirtschaftung von Niederschlagswasser mit versickerungsfähigen Pflastersystemen aus Beton. Beton + Fertigteil-Jahrbuch, 1998, S. 313–328. 46. Ausgabe. Bauverlag, Wiesbaden 1998.
- BORGBWARDT, S.: Kontrollierter Einbau von wasserdurchlässigen Belägen. Beton + Fertigteil-Jahrbuch 1999, S. 95–102. 47. Ausgabe. Bauverlag, Wiesbaden 1999.

BREUSTE, J., T. KEIDEL, G. MEINEL, B. MÜNCHOW, M. NETZBAND und M. SCHRAMM: Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben. Hrsg. vom Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH – UFZ Nr. 12 (1996).

DELLWIG, M.: Untersuchungen an wasserdurchlässigen Belägen für Fahrflächen. Neue Landschaft 33 (1988), Teil 1: Heft 7, S. 457–461; Teil 2: Heft 8, S. 518–520.

Deutsches Institut für Normung e. V. – DIN (Hrsg.): DIN 18130 – Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Teil 1: Laborversuche. Ausgabe November 1989.

FIELD, R., H. MASTERS und M. SINGER: Porous pavement: research; development; and demonstration. Transportation Engineering Journal of ASCE, New York 108 (1982), Heft 3, S. 244–258.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung – RAS-Ew. Köln 1987.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen – RStO 86, ergänzte Fassung 1989. Köln 1989.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau – TL Min-StB 94. Köln 1994.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau – ZTVE-StB 94. Fassung 1997. Köln 1997.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. Ausgabe 1998; Köln 1998a.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau – ZTVT-StB 95, Fassung 1998. Köln 1998b.

HADE, J. D., und D. R. SMITH: Permeability of concrete block pavements. In: Concrete Block Paving. Tagung vom 17.–19. 5. 1988 in Rom, S. 217–223.

HANSES, U., T. HOFMANN und G. WOLF: Versuche an einer Testfläche mit wasserdurchlässigem Pflasterbelag. Bericht über das Forschungs- und Entwicklungsprojekt, Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Coburg, Bayerische Forschungsförderung 1997.

MICHALSKI: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Einkorn-Betonsteinen. Gutachten im Auftrag des Tiefbauamtes Hamburg, Hamburg 1992 (unveröffentlicht).

NISPEANU, P.: Die wasserrechtliche Beurteilung der Versickerung von Niederschlagswasser aus durchlässigen Verkehrsflächen. Natur und Recht 15 (1993), Heft 9, S. 407–419.

SHACKEL, B.: Wasserdurchlässigkeit und Bewertung der Tragfähigkeit sickerfähiger Öko-Pflaster. Beton + Fertigteil-Jahrbuch 1998, S. 329–337. 46. Ausgabe. Bauverlag, Wiesbaden 1998.

SPRINGBORN, M.: Langzeiterfahrungen mit zwei Dränasphaltversuchsstrecken im Zuge der BAB A 103 in Berlin. Straße und Autobahn 44 (1993) Heft 4, S. 202–212.

SUDA, S., S. YAMANAKA, O. KODAMA, M. HATA und T. KUNIMURA: Development and application of permeable paving concrete block. In: Concrete Block Paving. Tagung vom 17.–19. 5. 1988 in Rom, S. 130–136.

WICHTER, L.: Anforderungen an Wasserdurchlässigkeit und die erforderliche unterirdische Entwässerung mit wasserdurchlässigen Pflaster- und Plattenbelägen. Abschlussbericht zum Forschungsauftrag FE-Nr. 06. 059 G91D der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Cottbus 1997 (unveröffentlicht).