GUTACHTEN

über das Infiltrationsvermögen des ANGERDRAIN® - Öko-Verbundpflasters im eingebauten Zustand in Abhängigkeit von Alter und Verwendung verschiedener Mineralstoffe für die Fugenverfüllung (Auszug)

Dr. Sönke Borgwardt • Beratender Ingenieur • Landschaftsarchitekt BDLA Fehmarnstr. 37 • 22846 Norderstedt • (040) 5 22 56 75 • Fax (040) 5 22 56 75 • Mobil (0173) 3 49 89 45

GUTACHTEN

Die von der Fa. Angermüller Bau GmbH Betonwerk in 98673 Crock seit 1996 beauftragte in-situ-Prüfung der Versickerungsfähigkeit von Pflastersteinen aus Beton ergibt für das Produkt ANGERDRAIN®-Öko-Verbundpflaster 16/16/8 cm folgendes Ergebnis:



5. Zusammenfassung

Die Feldversuche mit dem Infiltrationsgerät zum Versickerungsvermögen von Pflasterflächen ergeben für das Produkt ANGERDRAIN®-Öko-Verbundpflaster 16/16/8 cm, dass im neuen Zustand bei der Verwendung von Splitten 1/3 und 2/5 mm Regenspenden von weit über für die Bemessung relevanten 270 l/s x ha versickert werden können. Nach fünf Jahren Liegedauer ist erwartungsgemäß eine Abnahme der Versickerungsleistung zu verzeichnen. Die erreichten Werte liegen aber weiterhin über den maßgeblichen Bemessungsregenspenden. Es werden damit auch im gealterten Zustand die geforderten Versickerungswerte für eine abflusslose befestige Fläche in Anlehnung an das Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen und an das ATV-Arbeitsblatt A 138 bei weitem erreicht.

Norderstedt, den 14. September 2001

(Dr. Sönke Borgwardt)



Dr. Sönke Borgwardt • Landschaftsarchitekt • öbv Sachverständiger IHK Lübeck

Fehmarnstr. 37 • 22846 Norderstedt • Tel.: (040) 5 22 56 75 • Fax: (040) 53 53 06 07 • Mobil: (0171) 3 49 89 45

GUTACHTEN zur Versickerungsleistung von ANGERDRAIN Öko-Verbundpflaster

Auftraggeber:
Angermüller Bau GmbH Betonwerk
In der Hammerstatt
98673 Crock



Dr. Sönke Borgwardt • Landschaftsarchitekt BDLA • Berater für Umweltplanungen

Fehmarnstr. 37 • 22846 Norderstedt • Tel.: (040) 5 22 56 75 • Fax: (040) 53 53 06 07 • Mobil: (0171) 3 49 89 45

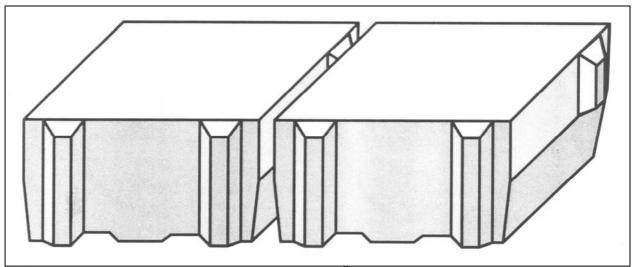
GUTACHTEN

Die von der Fa. Angermüller Bau GmbH Betonwerk in 98673 Crock seit 1996 beauftragte in-situ-Prüfung der Versickerungsfähigkeit von Pflastersteinen aus Beton ergibt für das Produkt ANGERDRAIN Öko-Verbundpflaster 16/16/8 folgendes Ergebnis:



1 Untersuchungsgegenstand

Bei den untersuchten Pflastersteinen handelt es sich um Systeme aus Beton, die, in der Fläche verlegt, aufgrund von aufgeweiteten Fugen eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit aufweisen (Darstellung 1). Das Produkt ANGERDRAIN Öko-Verbundpflaster 16/16/8 ist ein quadratischer Pflasterstein aus gefügedichtem Beton. Die Maße des Pflastersteines sind L $16.0 \times B 16.0 \times H 8.0$ cm. Die angeformten Abstandshalter erlauben eine dauerhaft ausgebildete Fuge von 0.8 cm. Die Fuge ist nach unten hin aufgeweitet. Es ergibt sich eine durchlässige Sickerfläche von $0.098 \text{ m}^2/\text{m}^2$ Pflasterfläche (ca. 10 % durchlässiger Anteil).



Darstellung 1: Pflastersystem ANGERDRAIN Öko-Verbundpflaster.

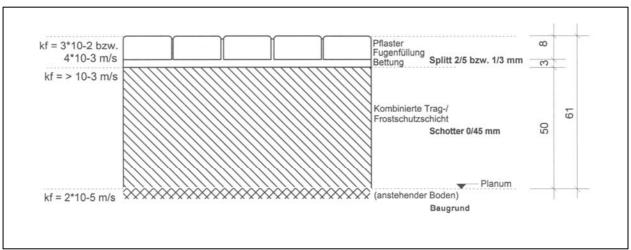
Aufgabenstellung ist es, bei den oben genannten Pflastersteinen das Infiltrationsvermögen im eingebauten Zustand in Abhängigkeit von Alter und Verwendung verschiedener Mineralstoffe für die Fugenverfüllung zu ermitteln. Durch mehrjährig wiederholte Messungen werden Aussagen über die Versickerungsfähigkeit, deren dauerhafte Aufrecht-

erhaltung und Hinweise für den Einsatz geeigneter Mineralstoffgemische erwartet. Folgende Pflasterflächen werden untersucht:

Nr.	Fläche	Jahr	Alter	Fugenausbildung
1a		1996	0 Jahre	
1b		1997	1 Jahr	
1c	Parkfläche	1998	2 Jahre	Splitt 2/5 mm
1d		1999	3 Jahre	
1e		2000	4 Jahre	
1f		2001	5 Jahre	
2a	Parkfläche	1996	0 Jahre	Splitt 1/3 mm
2b		1997	1 Jahr	
2c		1998	2 Jahre	
2d		1999	3 Jahre	
2e		2000	4 Jahre	
2f		2001	5 Jahre	

Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten Flächen.

Als Probeflächen steht für die Untersuchung eine neu gebaute Parkfläche mit ordnungsgemäß ausgeführtem Oberbau zur Verfügung (Bild 1). Der anstehende Baugrund weist auf dem Planum eine Durchlässigkeit von etwa 2×10^{-5} m/s auf. Der Oberbau besteht in Anlehnung an Tafel 3, Zeile 7 der RStO 86/89 für Bauklasse V aus 50 cm kombinierter Trag-/Frostschutzschicht aus Kalkstein-Brechkorn 0/45 mm, 3 cm Pflasterbettung aus Edelsplitt 1/3 bzw. 2/5 mm und 8 cm Deckschicht aus Betonpflaster (Darstellung 2). Die aus der Korngrößenverteilung ermittelte Durchlässigkeit nach BEYER ergibt für die einzelnen Schichten k_f -Werte nach Tabelle 2.



Darstellung 2: Aufbau der Versuchsflächen.



Schicht	Mineralstoffgemisch	Dicke	Durchlässigkeit k _f
Planum	-	-	2×10 ⁻⁵ m/s
Trag-/Frostschutzschicht	Schotter 0/45 mm	50 cm	> 10 ⁻³ m/s
Bettung/Fuge (Var. 1)	Splitt 2/5 mm	3 cm	3×10 ⁻² m/s
Bettung/Fuge (Var. 2)	Splitt 1/3 mm	3 cm	4×10 ⁻³ m/s

Tabelle 2: Durchlässigkeit der Schichten.

2 Versuchsaufbau

Die Versickerungsfähigkeit wird vor Ort durch die Bestimmung der Infiltrationsrate gemessen. Um dies realitätsnah an ungestörten Standorten unter Einbezug der örtlichen Gegebenheiten wie Alterung und Belastung durchführen zu können, werden - je nach Durchflußmenge – speziell für diesen Einsatz konstruierte Infiltrationsgeräte eingesetzt (Bild 2). Es wird eine abgedichtete Untersuchungsfläche von ca. 0,25 m² 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 Näherungssensor oder 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 über die Änderung des Zuflusses am Zulauf mittels eines Durchflußmessers registriert. Die Infiltrationsrate als versickerte Menge pro Zeit ergibt sich aus der Regelung des Zuflusses in Abhängigkeit zur Veränderung der Wasserfilmdicke auf der Untersuchungsfläche.

Die Ganglinien der Infiltration, werden als Regressionskurven der gemittelten Infiltrationswerte in [mm/min] und als aufnehmbare Regenspende in [l/(s×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. Der Endwert $i_{(60)}$ nach 60 Minuten Messung entspricht der Versickerungsintensität im wassergesättigten Zustand und kann daher als Durchlässigkeitsbeiwert k_f in [m/s] interpretiert werden. Der Wert der Infiltrationsrate $i_{(10)}$ nach 10-minütiger Beregnung wird analog als potentiell aufnehmbare Regenspende $r_{(10)}$ in [l/(s×ha)] ausgelegt.

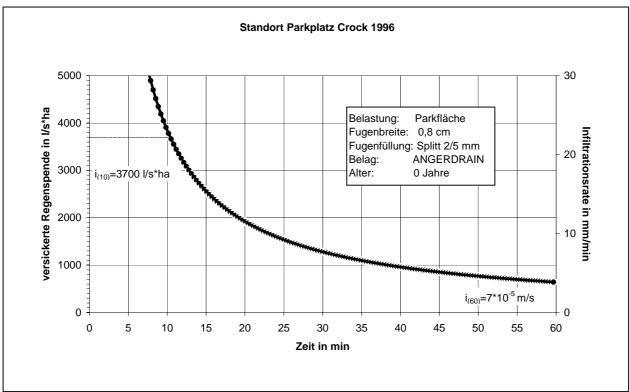


3 Ergebnisse

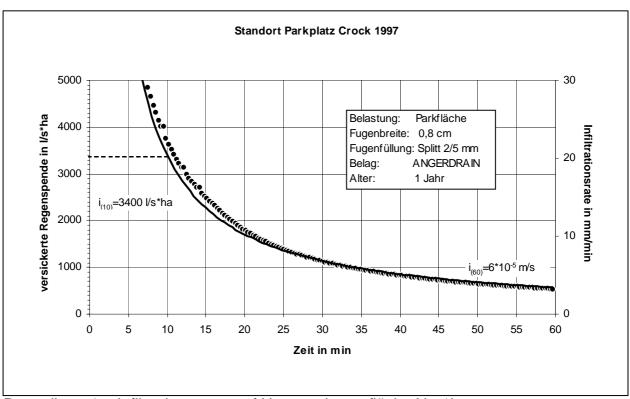
Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Versickerungsfähigkeit von den für die Verfugung eingesetzten Mineralstoffgemischen läßt sich generell aussagen, daß auf beiden Untersuchungsflächen sehr hohe Versickerungsleistungen im Neuzustand, aber auch noch nach fünf Jahren Liegedauer zu verzeichnen sind. Mit zunehmendem Alter nimmt die Versickerungsfähigkeit erwartungsgemäß aufgrund des Eintrages von mineralischen und organischen Feinanteilen leicht ab. Die etwas stärkere Abnahme im dritten und vierten Standjahr ist auf die nur sehr geringe Nutzung der Parkfläche zurückzuführen. Aus diesem Grunde haben sich in einigen Bereichen vereinzelte Kräuter und Gräser angesiedelt. Dies führt mit der Ausbreitung von Wurzeln in den betreffenden Bereichen zu einer verstärkten Ansammlung von Feinanteilen in den Fugen. In der Folge werden sehr uneinheitliche Ergebnisse in den Einzelmessungen mit niedrigen Werten in wenig frequentierten Bereichen und mit deutlich höheren Werten in den befahrenen Flächen erzielt. Hier wurde versucht, in der statistischen Auswertung eine realitätsnahe Mittelwerts- und Regressionsbildung vorzunehmen. Hierbei wurde berücksichtigt, daß im Normalfall von einer stärkeren Benutzung einer Parkfläche auszugehen ist. Dies bestätigte sich auch im fünften Jahr, wo nach nunmehr stärkerer Frequentierung wieder höhere Infiltrationsleistungen verzeichnet wurden. Es ergibt sich für die Einzelflächen folgendes:

Bei den mit Splitt 2/5 mm verfugten Flächen Nr. 1a bis f (Bild 3 bis 8) wird im neu verlegten Zustand eine versickerbare Regenspende $r_{(10)}$ von 3.700 l/(s×ha) erreicht (Darstellung 3). Nach 60 Minuten Beregnung zeigt sich die Wasserdurchlässigkeit k_f (i_{60}) mit 7×10^{-5} m/s. Nach einem Jahr Liegedauer nimmt die Versickerungsfähigkeit auf eine versickerbare Regenspende $r_{(10)}$ von 3.400 l/(s×ha) ab (Darstellung 4). Nach zwei Jahren Liegedauer liegt die Infiltrationsleistung bei 3.000 l/(s×ha) (Darstellung 5), nach drei Jahren bei 2.400 l/(s×ha) (Darstellung 6), nach vier Jahren bei 1.200 l/(s×ha) (Darstellung 7) und nun, nach fünf Jahre – aufgrund stärkerer Nutzung der Parkfläche und daher abnehmender Ansiedelung vereinzelte Kräuter und Gräser – in höheren Bereichen bei 2.100 l/(s×ha) (Darstellung 8). Die Wasserdurchlässigkeit k_f erreicht jetzt einen Wert von 8×10⁻⁵ m/s.



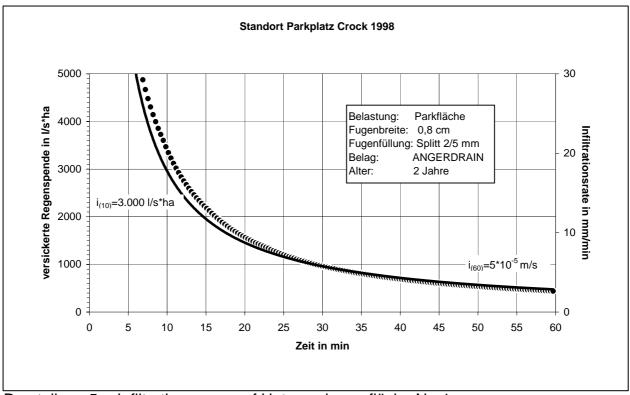


Darstellung 3: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1a.

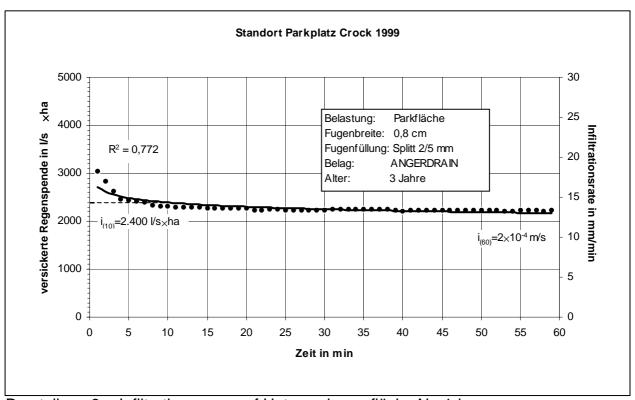


Darstellung 4: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1b.



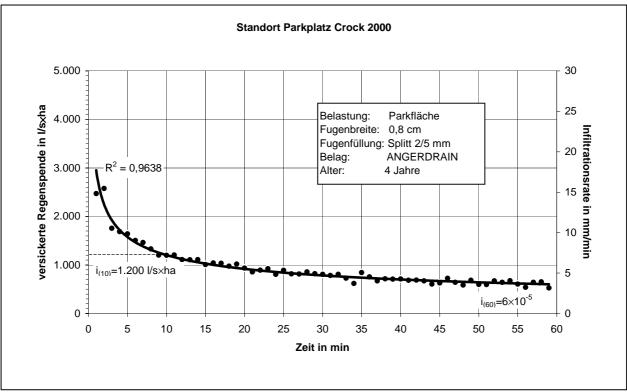


Darstellung 5: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1c.

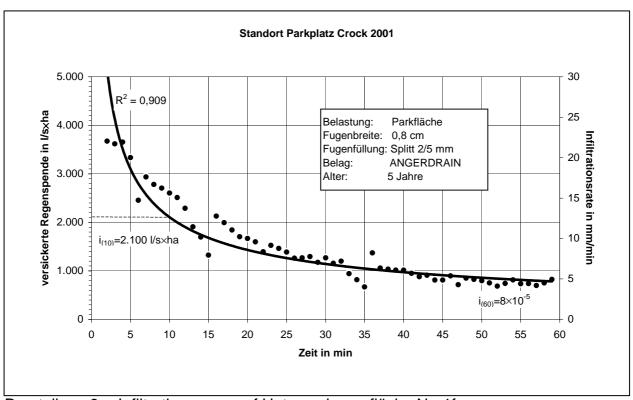


Darstellung 6: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1d.





Darstellung 7: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1e.

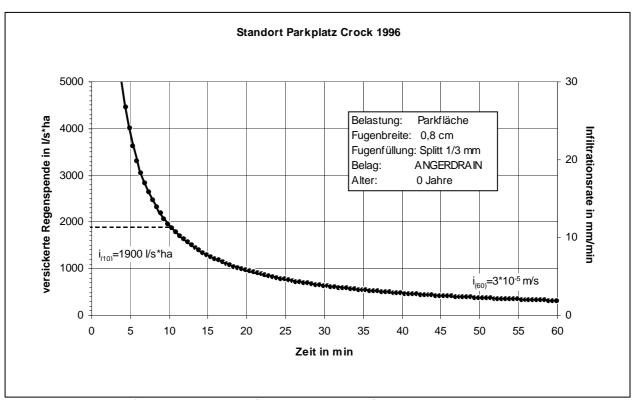


Darstellung 8: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 1f.



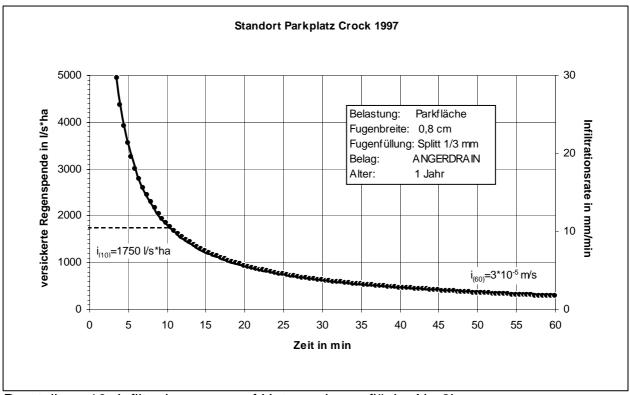
Die mit Splitt 1/3 mm verfugten Flächen Nr. 2a bis f (Bild 9 bis 14) erreichen im Neuzustand eine versickerbare Regenspende $r_{(10)}$ von 1.900 l/(s×ha) (Darstellung 9). Die Wasserdurchlässigkeit entspricht einem k_f -Wert von etwa 3×10^{-5} m/s. Nach einem Jahr Liegedauer nimmt die Versickerungsfähigkeit auf eine versickerbare Regenspende $r_{(10)}$ von 1.750 l/(s×ha) ab (Darstellung 10). Nach zwei Jahren Liegedauer liegt die Infiltrationsleistung bei 1.400 l/(s×ha) (Darstellung 11), nach drei Jahren bei 1.100 l/(s×ha) (Darstellung 12) nach vier Jahren bei 600 l/(s×ha) (Darstellung 13) und nun, nach fünf Jahren, wieder bei 1.150 l/(s×ha) (Darstellung 14). Die Wasserdurchlässigkeit k_f erreicht jetzt einen Wert von 5×10^{-5} m/s.

Beim Vergleich der eingesetzten Mineralstoffgemische zeigt sich in der Gesamtbetrachtung, daß die in der Korngrößenanalyse festgestellten Durchlässigkeiten (Darstellung 15) der für die Fugenverfüllung verwendeten Splitte 2/5 und 1/3 mm im verlegten Zustand und in bezug auf den Fugenanteil nicht erreicht werden.

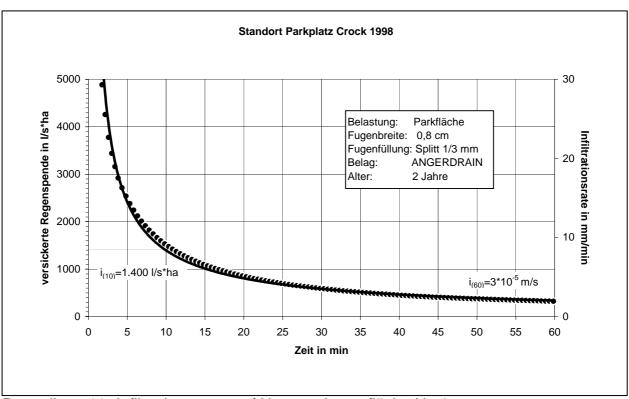


Darstellung 9: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2a.



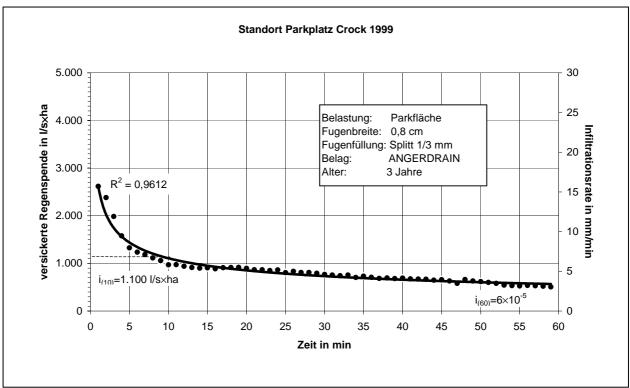


Darstellung 10: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2b.

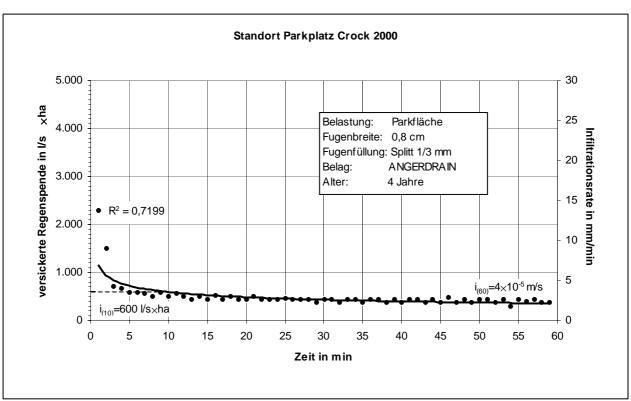


Darstellung 11: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2c.



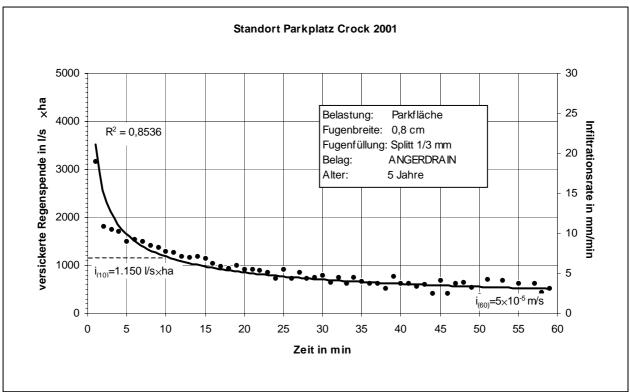


Darstellung 12: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2d.

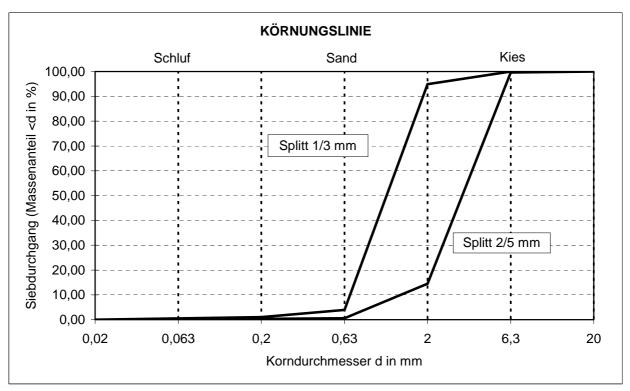


Darstellung 13: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2e.



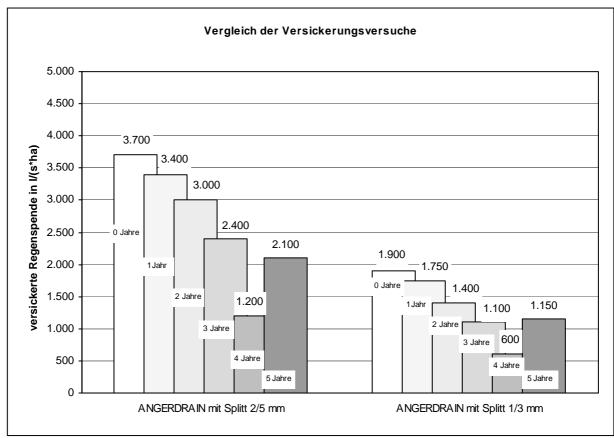


Darstellung 14: Infiltrationsgang auf Untersuchungsfläche Nr. 2f.

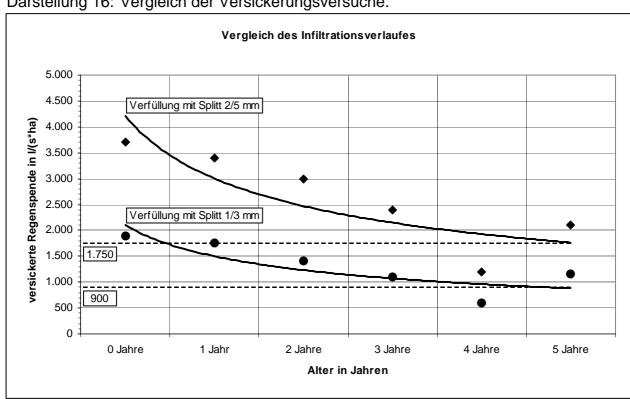


Darstellung 15: Sieblinien der eingesetzten Mineralstoffgemische im Neuzustand.





Darstellung 16: Vergleich der Versickerungsversuche.



Darstellung 17: Langfristig zu erwartende Entwicklung der Versickerungsleistung.



In der Übersicht zeigen die Ergebnisse, daß die geforderten Versickerungswerte für eine abflußlose befestigte Fläche (Verzicht auf Kanalanschluß) in Anlehnung an das *Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* und an das *ATV-Arbeitsblatt A 138* (270 l/(s×ha)) auch noch im sechsten Jahr der Nutzung erreicht werden. Weiter wird auch deutlich, daß grobe Mineralstoffgemische aufgrund der Begrenzung der Feinanteile sehr gut für eine versickerungsfähig ausgebildete Pflasterfläche geeignet sind. Hierbei kann dem Splitt 2/5 mm – insbesondere aufgrund der im Laufe der weiteren Alterung zu erwartenden Abnahme der Durchlässigkeit – eine bessere Versickerungseignung als dem Splitt 1/3 mm zugemessen werden (Darstellung 16).

Im Vergleich der erzielten Ergebnisse zeigt sich über die Nutzungsjahre eine stetige Abnahme der Versickerungsleistung. In der potentielle Regression der Abnahme wird aber als Trend deutlich, daß auch langfristig eine vollständige Versickerung der Bemessungsregenspende zu erwarten ist (Darstellung 17). Hier zeigt sich, daß die mit Splitt 2/5 mm verfüllte Fläche derzeit eine dauerhafte Versickerungsleistung von 1.750 l/(s×ha) und die mit Splitt 1/3 mm verfüllte Fläche von 900 l/(s×ha) erzielen kann. Die Sicherheit dieser statistischen Werte wird durch weitere jährlich durchzuführende Versuche weiter verifiziert werden. Das hierfür maßgebende Bestimmtheitsmaß R² liegt derzeit bei etwa 0,6.

4 Empfehlungen

Zur dauerhaften Aufnahme einer Bemessungsregenspende von 270 l/(s×ha) ist nach der empirischen Bedingung $k_u = k_f/2$ beim Einsatz versickerungsfähiger Pflastersysteme für Pflasterbett und Fugen eine Durchlässigkeit des Mineralstoffgemisches von mindestens $5,4\times10^{-5}$ m/s zu fordern. Aufgrund der zu erwartenden Verschmutzung der Fugen ist für die dauerhafte Versickerungsleistung eine noch höhere Versickerungsleistung im Neuzustand vorteilhaft. Die genannten theoretischen Richtwerte für die Materialeigenschaften sind in jedem Falle durch eine Infiltrationsmessung im eingebauten Zustand (Probeeinbau) zu bestätigen, da die vielfältigen und komplexen Einflußfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit bei Einbau und Lieferung der Mineralstoffgemische für Fuge und Bettung hierbei nicht berücksichtigt werden können. Eine mathematische Ableitung der Durchlässigkeit über die Beiwerte der Mineralstoffgemische und des durchlässigen Anteiles einer Pflasterfläche ist in der Regel nicht möglich.

Aufgrund der genannten Forderungen wird bei der Verwendung versickerungsfähiger Pflaster der Einsatz von Splitten mit den Körnungen 1/3 und 2/5 mm nach DIN 18 318



und TL Min-StB 2000 empfohlen, da diese in der Regel eine ausreichende Durchlässigkeit aufweisen. Beim Einsatz anderer Körnungen, wie z.B. ungewaschene Sand 0/2 bis 0/5 mm ist eine ausreichende Versickerungsfähigkeit in der Regel nicht gegeben. Hier muß die Mindestdurchlässigkeit von 5,4×10⁻⁵ m/s über die Sieblinie bei Lieferung nachgewiesen und im eingebauten Zustand überprüft werden.

Beim Einsatz von oberbodenhaltigen Gemischen zur Begrünung der Fugen ist die Versickerungsfähigkeit durch die vorhandenen mineralischen und organischen Feinanteile eingeschränkt.

5 Zusammenfassung

Die Feldversuche mit dem Infiltrationsgerät zum Versickerungsvermögen von Pflasterflächen ergeben für das Produkt ANGERDRAIN Öko-Verbundpflaster 16/16/8, daß im
neuen Zustand bei der Verwendung von Splitten 1/3 und 2/5 mm Regenspenden von
weit über für die Bemessung relevanten 270 l/(s×ha) versickert werden können. Nach
fünf Jahren Liegedauer ist erwartungsgemäß eine Abnahme der Versickerungsleistung
zu verzeichnen. Die erreichten Werte liegen aber weiterhin über den maßgeblichen
Bemessungsregenspenden. Es werden damit auch im gealterten Zustand die geforderten Versickerungswerte für eine abflußlose befestigte Fläche in Anlehnung an das
Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen und an das ATVArbeitsblatt A 138 bei weitem erreicht.

Norderstedt, den 15. Juli 2005

(Dr. Sönke Borgwardt)



Anlagen



Bild 1: Untersuchungsstandort.



Bild 2: Infiltrationsgerät im Einsatz.





Bild 3: Untersuchungsfläche Nr. 1a.

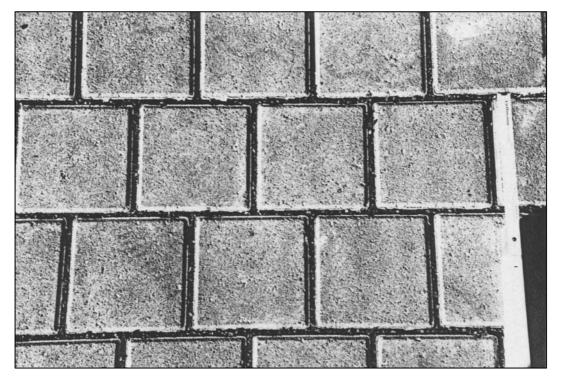


Bild 4: Untersuchungsfläche Nr. 1b.





Bild 5: Untersuchungsfläche Nr. 1c.



Bild 6: Untersuchungsfläche Nr. 1d.





Bild 7: Untersuchungsfläche Nr. 1e.



Bild 8: Untersuchungsfläche Nr. 1f.



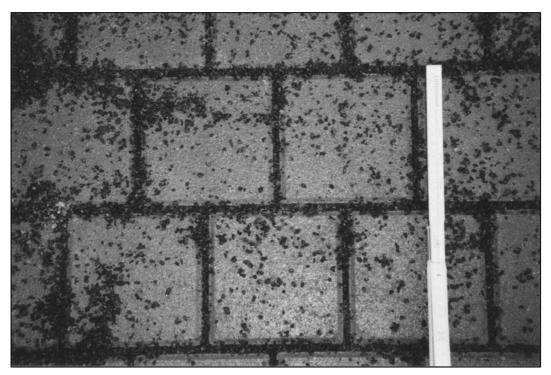


Bild 9: Untersuchungsfläche Nr. 2a.



Bild 10: Untersuchungsfläche Nr. 2b.





Bild 11: Untersuchungsfläche Nr. 2c.



Bild 12: Untersuchungsfläche Nr. 2d.





Bild 13: Untersuchungsfläche Nr. 2e.



Bild 14: Untersuchungsfläche Nr. 2f.



