

**Bescheinigung über sickerfähige Bauweisen**

Der Einsatz all unserer Pflastersysteme

**geoSTON  
mit geprüfter filterstabiler Vorsatzschicht**

zur Errichtung einer sickerfähigen Verkehrsfläche entspricht den im ATV-Arbeitsblatt A 138 für Flächenversickerungen gestellten Anforderungen.

Nach beigefügtem Gutachten der UNI/GH-Essen verfügt das System über einen 5-fachen Sicherheitsabstand.

Coesfeld,

i. A.

.....  
Dipl.-Ing. Bernd Kiffmeyer

**Abflußverhalten poröser Flächenbeläge -  
Untersuchung zur Infiltrationsleistung von Betonpflaster  
des Typs GeoSTON**

Zwischenbericht  
Auftrag der Firma Klostermann Betonsysteme  
vom 17.10.1995

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. W.F. Geiger  
Fachbereich 10, Siedlungswasserwirtschaft  
Universität -GH- Essen

Projektbearbeiter: Dipl.-Phys. U.Zimmer

Essen, September 1995

## 1. Problematik und Untersuchungsziele

Zur Reduzierung von Spitzenabflüssen bei Starkregenereignissen gewinnt die Versickerung immer mehr an Bedeutung. In Nordrhein Westfalen hat die Versickerung von Regenwasser Vorrang vor der Ableitung (LWG NRW, §51). Für die Versickerung von Regenwasser müssen neben den rechtlichen auch die hydrogeologischen Voraussetzungen geprüft werden.

Auf wenig belasteten Verkehrsflächen wie z.B. Fußgängerzonen, Parkplätzen und Wohnstraßen bietet die Flächenversickerung mit Hilfe poröser Betonpflaster eine Möglichkeit, Regenwasser dem Grundwasser zuzuführen (GEIGER und DREISEITL, 1995). Dadurch werden Kanalisationen und Gewässer entlastet. Gemäß ATV Arbeitsblatt A 138 (1990) ist für die Flächenversickerung ein  $k_f$ -Wert des anstehenden Bodens von mindestens  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s erforderlich, damit Regenspanden von 200 l/(s ha), welche häufig der Bemessung zugrundegelegt werden müssen, verzögerungsfrei abgeleitet werden können. Die DIN 1986 sieht sogar einen Wert von 400 l/(s ha) für die minimale Sickergeschwindigkeit des Bodens vor. Eine Zwischenspeicherung von Regenwasser wird bei der Bemessung nicht berücksichtigt.

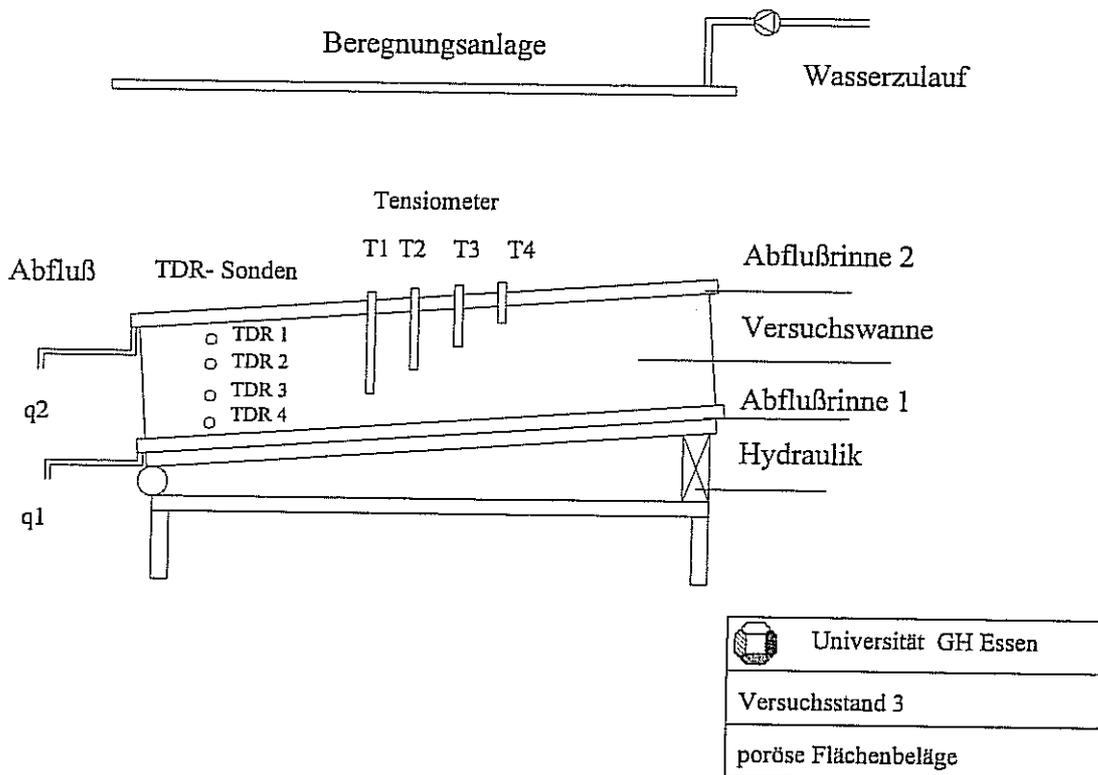


Abb. 1: Versuchsstand zur Untersuchung poröser Flächenbeläge

## 2. Auftrag

Mit Schreiben vom 17.10.1994 erteilte die Firma Klostermann Betonsysteme GmbH aus Coesfeld dem Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität -GH- Essen den Auftrag, das Abflußverhalten von sickerfähigen Betonpflasterbelägen zu untersuchen. Ziel war es, die

maximale Versickerungsleistung zu bestimmen. Insbesondere sollte der Einfluß des Bettungsmaterials und der Tragschicht mit untersucht werden.

### 3. Untersuchungskonzept

Der zu untersuchende Belag wurde zusammen mit dem Bettungsmaterial und der Tragschicht in eine Stahlwanne eingebaut, die eine Grundfläche von  $4,5 \text{ m}^2$  hat (Abb.1). Die Tiefe der Wanne beträgt  $0,60 \text{ m}$ , so daß Deck- und Tragschichten zusammen untersucht werden können. Die Wanne kann stufenlos zwischen  $0 \%$  und  $10 \%$  geneigt werden, so daß auch der Einfluß der Neigung auf das Abflußverhalten untersucht werden kann. Mit Hilfe der Messungen sollte auch die hydraulische Leistungsfähigkeit der Tragschicht bestimmt werden. Durch eine flächenhafte Drainage wurde sichergestellt, daß das Wasser annähernd ungehindert aus der Tragschicht abfließen kann. Oberhalb der Wanne befindet sich eine Beregnungsanlage, mit der Intensitäten bis zu  $1200 \text{ l/(s ha)}$  erzeugt werden können.

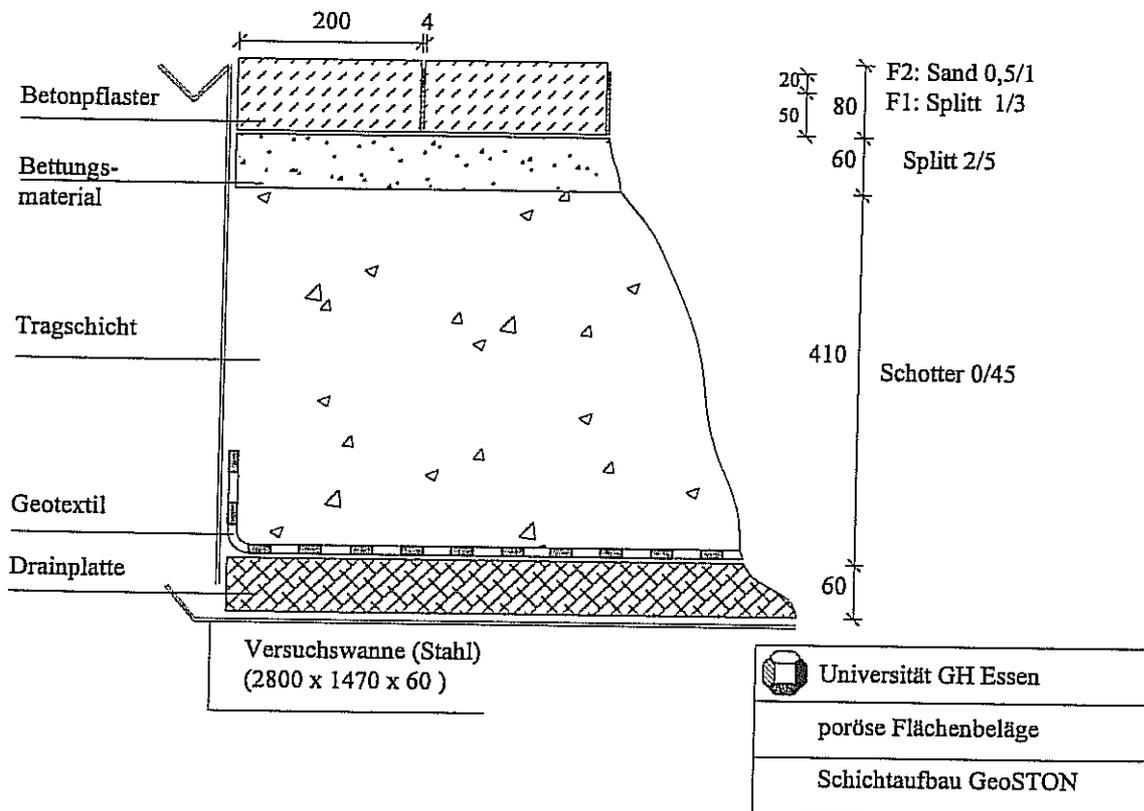


Abb.2: Untersuchter Schichtaufbau für GeoSTON Pflasterbelag.

#### 3.1 Schichtaufbau

Der untersuchte Schichtaufbau entspricht gemäß RSTO 86 (1986) einer Straße der Bauklasse IV. Als unterste Schicht wurde eine Drainplatte aus Polystyrol eingebaut. Darauf wurde der zu untersuchende Straßeneinbau aufgebracht. Zum Schutz vor Verschlammung wurde ein Geotextil zwischen Straßeneinbau und Drainplatte eingebaut (Abb. 2). Als Tragschicht wurde ein Schotter der Kornabstufung 0/45 aus gebrochenem Kalkstein verwendet. Die Korngrößenverteilung liegt im unteren Abschnitt des nach RSTO 86 zulässigen Sieblinienbereichs, d.h. das

verwendete Material hat nur einen geringen Schluff- und Tonanteil (Abb.3). Dadurch soll Suf-fusionsprozessen vorgebeugt und eine hohe Durchlässigkeit gewährleistet werden. Das Mate-rial wurde lagenweise eingebaut und von Hand verdichtet. Die Trockendichte der Tragschicht erreichte mit  $2,21 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  99,3 Prozent der Proctordichte.

Durch die Verwendung eines 2/5-er Splitts als Bettungsmaterial soll unterhalb des Belages ein Retentionsraum zur Verfügung gestellt werden, der sich während der Regenphase schnell auf-füllt und das Wasser verlangsamt an die Tragschicht ableitet.

Tab.1: Schüttdichte und Porosität der verwendeten Materialien

	Schüttdichte [gr/cm <sup>3</sup> ]	Porosität Vol_%	Anfangswassergehalt bei Anlieferung [Gew_%]
Tragschicht (Schotter 0/ 45)	1,99	18,3	4,5
Bettungsmaterial (Splitt 2/ 5)	1,53	43,5	1,9
Fugenmaterial (Splitt 1/ 3)	1,62	37,9	2,3
Fugensand 0,5/ 1	1,58	35,2	1,0

Die Pflastersteine wurden mit einer 4 mm breiten Fuge verlegt, die mit einem Splittmaterial der Kornabstufung 1/3 verfüllt wurden. So soll sichergestellt werden, daß das Niederschlags-wasser leicht durch die Fugen versickern kann. Zum Schutz vor dem Eintrag feiner Partikel wurden die Fugen mit einem Feinsand der Kornabstufung 0,5/1 abgedeckt.

### 3.2 Versuchsdurchführung

Der Belag wurde künstlich mit Beregnungsintensitäten zwischen 80 und 1000 l/(s ha) bereg-net. Die Beregnungsdauer lag in der Regel bei 15 Minuten, da dieser Zeitraum für die Kana-lisationsbemessung relevant ist. Teilweise wurden auch längere Beregnungen durchgeführt, bei denen die Beregnungsintensität solange aufrecht erhalten wurde, bis sich ein Gleichge-wicht zwischen Beregnungsintensität und Drainageabfluß eingestellt hatte. Beregnungen mit Intensitäten über 400 l/(s ha) wurden durchgeführt, um sicherzustellen, daß das Pflaster eine ausreichende Reserve bietet, wenn die Infiltrationsleistung aufgrund des Partikeleintrages abnimmt.

Die Neigung der Versuchswanne wurde zwischen 0 % und 7,5 % variiert. Gemessen wurde der Oberflächenabfluß sowie der Drainageabfluß. Mit Hilfe von Tensiometern wurde die Saugspannung im Boden gemessen. Die Tensiometerdaten erlauben Rückschlüsse auf die Kapillarkräfte im Boden.

### 4. Versuchsergebnisse

Der Pflasterbelag vom Typ GeoSTON war in der Lage, Beregnungsintensitäten von 1000 l/(s ha) aufzunehmen, ohne daß ein signifikanter Oberflächenabfluß zu beobachten war (Abb. 4). Dieser Wert liegt deutlich über dem von der ATV A 138 geforderten Wert von 200 l/(s ha). Die Neigung zeigte im Bereich von 0 % bis 7,5 % keinen signifikanten Einfluß auf das Ab-flußverhalten. Bei hohen Intensitäten wurde der Feinsand aus den Fugen gespült.

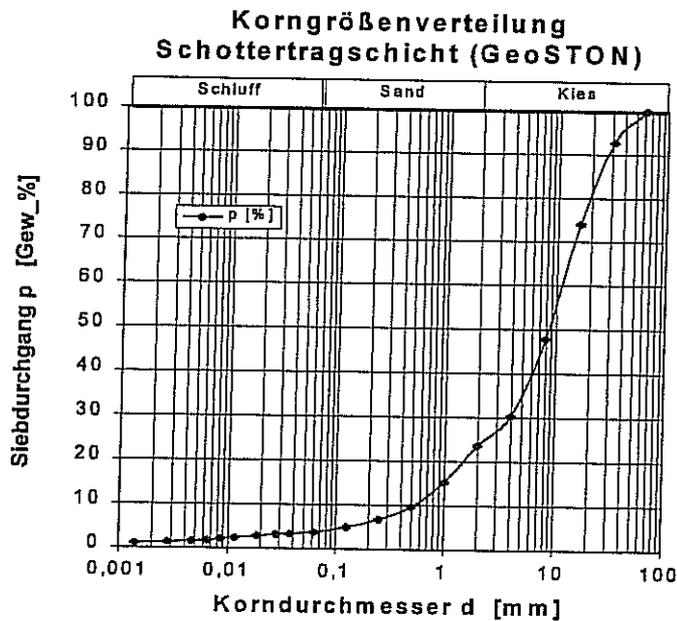


Abb.3: Sieblinie Tragschicht (Schotter 0/45)

Wegen der Gefahr von Frostschäden und mechanischer Fließprozesse ist ein Dauereinstau in der Tragschicht zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde neben dem Oberflächenabfluß auch der Drainageabfluß aus der Tragschicht gemessen. Dieser entspricht der maximalen Wassermenge, die bei vollständig undurchlässigem Untergrund mit Drainagen verzögert abgeleitet werden müßte.

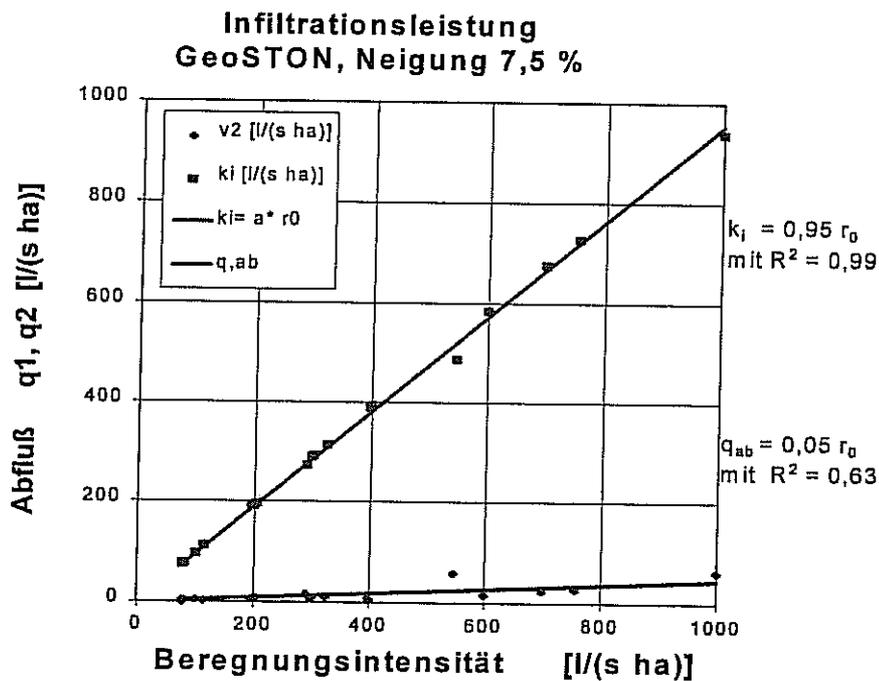


Abb.4: Infiltrationsleistung in Abhängigkeit von der Regenspende

Ist der unterhalb der Tragschicht anstehende Boden durchlässig genug, den gemessenen Spitzenabfluß abzuleiten, kann das gesamte Wasser in Richtung Grundwasser versickert werden. Ansonsten kommt es zu einem Rückstau an der Grenzfläche zwischen Tragschicht und anstehendem Boden. Dieses Wasser kann je nach Leitfähigkeit des Bodens verzögert weiterversickern oder muß mittels einer Drainage aus dem Straßenaufbau abgeleitet werden. Wieviel Wasser wirklich versickern kann und wieviel Wasser letztendlich abgeleitet werden muß, hängt jedoch im Einzelfall von den hydraulischen Randbedingungen an der Grenzfläche ab. Die hydraulischen Randbedingungen wiederum sind abhängig von der hydraulischen Leitfähigkeit und vom Sättigungsgrad des anstehenden Bodens sowie von der Höhe des Grundwasserspiegels.

Selbst bei vollständiger Ableitung des Drainagewassers kommt es durch die Retentionswirkung bei der Bodenpassage es zu einer deutlichen Abflachung der Abflußwelle. Die Reduzierung des Abflußscheitels ist abhängig von der Beregnungsdauer und der Beregnungsintensität.

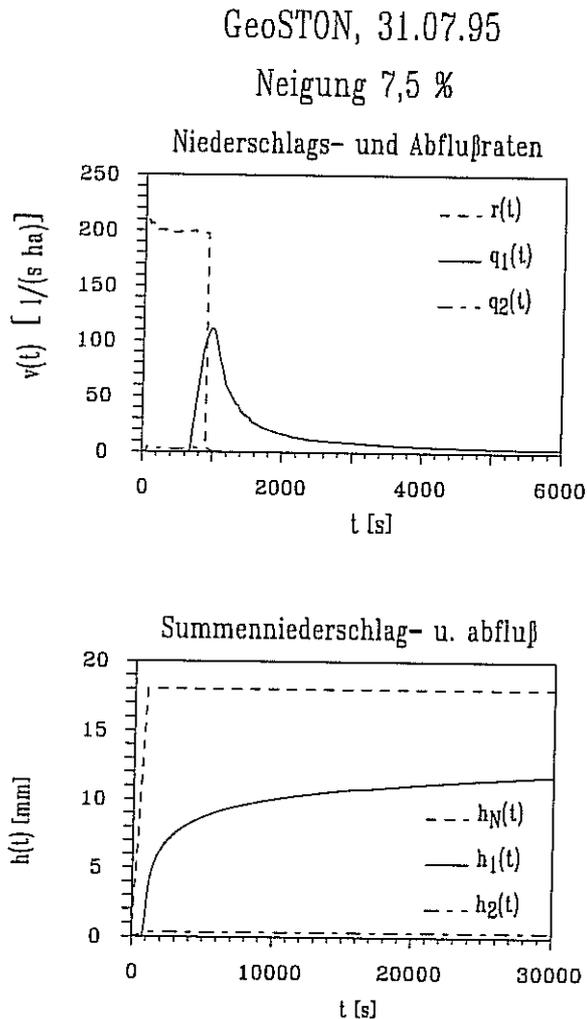


Abb.5: Gemessener Drainageabfluß aus der Tragschicht

Abbildung (5) zeigt den Drainageabfluß für einen 15- minütigen Regen der Intensität  $r_{15,7}=200 \text{ l/(s ha)}$ . Es war kein signifikanter Oberflächenabfluß zu beobachten. Teilweise gelangte Spritzwasser in die obere Abflußrinne. Der Wert von  $3 \text{ l/(s ha)}$  ist jedoch vernachlässigbar. Der Abfluß aus der Drainage setzt erst 11 Minuten nach Beregnungsbeginn ein und erreicht sein Maximum von  $110 \text{ l/(s ha)}$  ca. 1 Minuten nach Beregnungsende. Dies entspricht einer Reduktion des Spitzenabflusses um 45 %. Danach nimmt der Abfluß langsam ab, bis er nach einigen Stunden zum Erliegen kommt. Nach 3,5 Minuten ist der Abfluß auf 50 % des Abflußscheitels zurück gegangen und nach 3,5 Stunden auf unter 1% des Maximalwertes. Während der Beregnung sind 18 mm Niederschlag in 15 Minuten auf die Fläche geregnet. Davon sind nur 0,3 mm als Spritzwasser oberflächlich abgeflossen. Während der Beregnung sind nur 1,5 mm Wassersäule aus der Drainage abgeflossen. Der Rest fließt zeitlich verzögert ab. Nach 11 Stunden sind 11,9 mm Niederschlag aus der Drainage abgeflossen. Die restlichen 6,1 mm sind in den Feinporen der Tragschicht festgehalten worden, von wo sie wieder in die Atmosphäre verdunsten.

Für lange Beregnungsdauern strebt der Drainageabfluß asymptotisch gegen die Beregnungsintensität. Bei der Beregnung des Versuchsstands mit einer Intensität von  $1000 \text{ l/(s ha)}$  war nach 17 Minuten eine Sickergeschwindigkeit von  $10^{-4} \text{ m/s}$  für den Drainageabfluß zu beobachten. Da die Tensiometer zu diesem Zeitpunkt noch negative Saugspannungen von  $-10 \text{ hPa}$  anzeigten, ist davon auszugehen, daß die Tragschicht noch nicht vollständig gesättigt war. Der  $k_f$  Wert des verwendeten Schottermaterials liegt also über dem beobachtetem Wert.

Vereinfacht läßt sich der Drainageabfluß des Versuchsstands für einen Blockregen nach einem modifizierten Speicheransatz berechnen (DYCK und PESCHKE, 1983). Bei diesem hydrologischen Ansatz wird jede Schicht des Straßenaufbaus als fiktives Speicherelement angesehen, dessen Abfluß proportional zum Speicherinhalt ist. Der Abfluß setzt ein, sobald das kapillare Rückhaltevermögen des Bodenmaterials ausgeschöpft ist:

$$r(t) = \begin{cases} r_0 & \text{für } 0 < t \leq D \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (1)$$

$$q_{ab}(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } 0 < t \leq B \\ r_0 \cdot (1 - e^{-K(t-B)}) & \text{für } B < t \leq D \\ q_{ab}(D) \cdot e^{-K(t-D)} & \text{für } t > D \end{cases} \quad (2)$$

Dabei ist:

- $r_0$  die Amplitude des Blockregens,
- $q_{ab}$  der Drainageabfluß,
- $B$  der Zeitpunkt, zu dem der Drainageabfluß einsetzt,
- $D$  die Dauer des Regenereignisses,
- $r(t)$  ist die Beregnungsintensität in Abhängigkeit von der Zeit und
- $K$  der Speicherkoeffizient des betrachteten Systems.

$K$  ist abhängig vom  $k_f$ - Wert und der Dicke der Tragschicht. Eine exponentielle Regression an den abfallenden Ast der Abflußkurve ergab für den Kehrwert des Speicherkoeffizienten einen Wert von  $1/K = 600 \text{ s}$ . Der Abfluß komplizierter Systeme läßt sich durch die Parallel- bzw.

Reihenschaltung einzelner Speicherelemente beschreiben. Die dabei auftretenden Differentialgleichungen können numerisch gelöst werden (GEIGER und ZIMMER, 1994).

Die Bewegung der Wasserfront im Boden kann mit Hilfe der Richards-Gleichung berechnet werden. Durch die Koppelung mit den Saint-Venant-Gleichungen für den Oberflächenabfluß ist die Berechnung des Abflußverhaltens auch bei unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen im Boden möglich (AKAN und YEN, 1981).

## 5. Zusammenfassung

Die Messungen zeigen, daß für die Bemessung von Flächenversickerung unterschieden werden muß zwischen Infiltrationsleistung des Belages, Speichervermögen des Bettungsmaterials und Leitfähigkeit von Tragschicht und anstehendem Boden.

Durch die Verwendung eines 2/5-er Splitts als Bettungsmaterial steht mit über 40 % Porenvolumen unterhalb des Belages genügend Raum zur Verfügung, in dem das Regenwasser kurzfristig zwischengespeichert werden kann (vgl. Tab.1). Bei geeigneter Wahl des Tragschichtmaterials kann das Wasser weiter in den Untergrund infiltriert werden. Je nach Vorsättigung des Bodens wird dabei ein Teil des Wassers in den Feinporen gespeichert. Ist der Untergrund nicht durchlässig genug, um das gesamte Wasser aufzunehmen, kann ein Teil des Wassers mit Hilfe von Drainagen abgeleitet werden. Durch die Retentionswirkung des Bodens wird die Abflußwelle dabei gedämpft und zeitlich gestreckt. Selbst bei der vollständigen Ableitung des Drainagewassers war der Abflußscheitel für einen 15-minütigen Bemessungsregen mit Wiederkehrintervall von 7 Jahren noch um 45 % niedriger als die Berechnungsintensität.

Beim Betonpflaster des Typs GeoSTON konnten Niederschläge der Intensität 1000 l/(s ha) ohne Oberflächenabfluß in den Untergrund infiltriert werden. Höhere Intensitäten wurden nicht untersucht. Bei dem gefundenen Wert handelt es sich um den Neuzustand des Pflasters. Erfahrungsgemäß nimmt die Infiltrationsleistung durch den Eintrag von Schmutz- und Staubpartikeln mit der Zeit ab. Der gefundene Wert liegt jedoch deutlich über dem von der ATV A 138 geforderten Wert von 200 l/(s ha) bzw. dem nach DIN 1986 geforderten Wert von 400 l/(s ha). Deshalb bietet der Belag noch ausreichend Reserve, selbst wenn die Durchlässigkeit abnimmt.

Da die Infiltrationsleistung des untersuchten Betonpflasters höher als die hydraulische Leitfähigkeit vieler anstehender Böden liegt, ist zu überlegen, inwieweit eine Zwischenspeicherung von Niederschlagswasser im Bettungsmaterial bei der Bemessung von Anlagen zur Flächenversickerung mit berücksichtigt werden sollte. Selbst eine vollständige Ableitung des Drainagewassers zeigt noch deutliche Retentionseffekte für die Abflußwelle. Deshalb sollte mit Hilfe von in-situ Messungen auf Parkflächen o.ä. untersucht werden, ob es lohnenswert ist, poröse Betonpflaster mit entsprechend gewählten Tragschichten als Retentionsbauwerke einzusetzen, auch wenn der Untergrund keine vollständige Versickerung erlaubt.

Vereinfacht kann der Abfluß poröser Flächenbeläge nach einem modifizierten Speicheransatz berechnet werden. Die Wasserbewegung im Boden bzw. der Oberflächenabfluß bei unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen im Boden können mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FE) bzw. Finiten-Differenzen-Methode (FD) berechnet werden.

## Literatur

- Akan, A.O.**  
**Yen, B., C.** Mathematical Model of Shallow Water over Poreous Media,  
Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 107, 1981
- ATV A138** Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung  
von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser,  
Abwassertechnische Vereinigung, St. Augustin, 1990.
- Dyck, S.**  
**Peschke, G.** Grundlagen der Hydrologie, Ernsz und Sohn, Verlag für  
Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1983.
- Geiger, W.F.**  
**Dreiseitl, H.** Neue Wege für das Regenwasser- Handbuch zum Rückhalt und  
zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten,  
Herausgeber: Emschergenossenschaft und IBA Emscher Park  
GmbH, R. Oldenbourgh Verlag, 1995
- Geiger, W.F.**  
**Zimmer, U.** Voruntersuchungen zum Abflußverhalten poröser Flächenbeläge-  
Schlußbericht zum Forschungspool der Universität Essen,  
Fachbereich 10, Siedlungswasserwirtschaft, 1994  
(unveröffentlicht)
- RSTO 86** Richtlinie zur Standardisierung des Oberbaus von  
Verkehrsflächen, Forschungsgesellschaft für Straßenbau und  
Verkehrswesen, Köln, 1986