

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Roßberg, K.**

## **Wasserdurchlässige Straßenbefestigungen - Entlastung von Kanalnetzen?**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104157>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Roßberg, K. (1995): Wasserdurchlässige Straßenbefestigungen - Entlastung von Kanalnetzen?. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Hydromechanische Beiträge zum Betrieb von Kanalnetzen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 7. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 113-122.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Wasserdurchlässige Straßenbefestigungen - Entlastung von Kanalnetzen?

K. Roßberg

### 1. Einführung

In der öffentlichen Umweltdiskussion spielt Das Problem der Bodenversiegelung eine große Rolle und dabei werden Straßen oft als Hauptverursacher für eine unzureichende Versickerung von Niederschlägen in den Vordergrund gerückt. Unbestritten ist, daß eine Versiegelung - sei es in Form von Wohn- oder Fabrikanlagen, von Freizeit- oder Verkehrsflächen - ihre Auswirkung auf die natürliche Umwelt und auf die technische Infrastruktur der Siedlungen hat: Kleinklima und natürlicher Wasserhaushalt werden verändert, Biotope beeinträchtigt und Abwassernetze und Kläranlagen zusätzlich belastet.

Welche Lösungen kann nun der Straßenbau anbieten, um dieser zunehmenden Störung des natürlichen Gleichgewichtes entgegenzuwirken? Eine Möglichkeit dafür bietet der Bau von wasserdurchlässigen Straßen- und Platzbefestigungen, die eine Versickerung des Niederschlagswassers gestatten. Dafür gibt es bereits zahlreiche Einzelbeispiele. Welche Flächen könnten hierfür insgesamt in Betracht kommen?

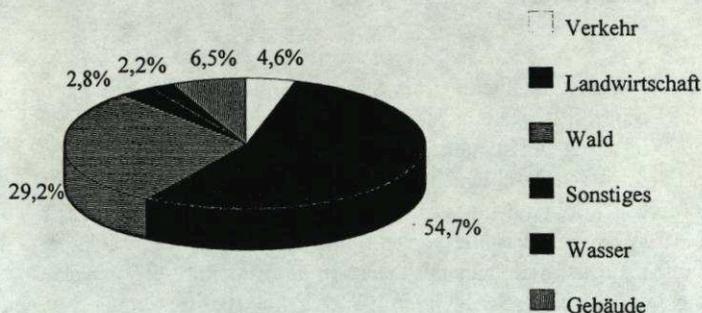


Bild 1: Bodenflächen in Deutschland nach Nutzungsarten  
[nach 1]

Im Bild 1 sind die Bodenflächen von Deutschland nach Nutzungsarten dargestellt [1]. Unter dem Anteil von 4,6 % für den Verkehr sind Flächen für Straßen, Bahnen, Flugplätze, Märkte und Veranstaltungen ausgewiesen. Die ca. 620.100 km klassifizierten Straßen haben jedoch nur einen Anteil an der Gesamtfläche

---

des Landes von 1,3 %. Nun ist es aber auch nicht so, daß von diesen Flächen das Niederschlagswasser generell in Kanalnetze abgeleitet wird; dies geschieht lediglich in Stadtstraßen. Auf Landstraßen dagegen und z. T. auch auf Gemeindestraßen wird das Niederschlagswasser in der Regel über seitliche Bankette und Böschungen in Gräben oder Mulden geleitet und versickert oder verdunstet schon auf diesen Flächen. Nur selten - z. B. bei Gewitterregen - ist in diesen Gräben oder Mulden ein Abfluß in die Vorflut zu beobachten. Ein solcher Oberflächenabfluß bei Starkregen erfolgt aber oft auch von unbefestigten Flächen, z. B. von Feldern oder Wiesen. Darüberhinaus gibt es auch bei Landstraßen, besonders bei Autobahnen, zahlreiche Beispiele, wie der Oberflächenabfluß zum Vorfluter auch bei Starkregen durch zielgerichtet angelegte Versickerungsgräben oder Versickerungsbecken reduziert oder ganz vermieden werden kann.

In den weiteren Ausführungen soll jedoch vordergründig auf die Regenwasserversickerung auf Verkehrsflächen mit offenporigen, wasserdurchlässigen Befestigungen eingegangen werden. Dabei wird angestrebt, die Niederschläge, welche in Siedlungsgebieten von Nebenstraßen oder Parkflächen normalerweise in die Kanalisation eingeleitet werden, vollkommen zur Versickerung zu bringen. Welche Bauweisen stehen hierzu zur Verfügung? Welche hydraulischen Eigenschaften muß eine solche Befestigung haben? Wie ist die Befestigung in Hinblick auf die Versickerung zu bemessen? Welche konstruktiven Probleme ergeben sich daraus?

Darauf soll im folgenden kurz eingegangen werden.

## 2. Bauweisen

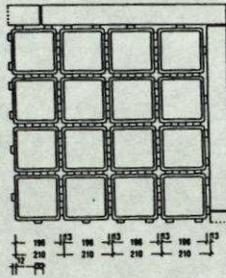
Für bestimmte Konstruktionsschichten des Straßenoberbaus sind Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit nicht neu, nur liegt diesen Anforderungen bisher nicht das Ziel einer vollständigen Versickerung des Niederschlagswassers zugrunde. Für Frostschutzschichten werden in der ZTVT [2] Mineralstoffgemische gefordert, "...die auch im verdichteten Zustand ausreichend wasserdurchlässig sind". Was man darunter versteht und wie die Wasserdurchlässigkeit geprüft werden soll, ist nicht näher erläutert. In der Literatur wird verschiedentlich für ungebundene Tragschichten ein  $k$ -Wert von  $\geq 10^{-5}$  m/s als notwendig erachtet. Diese Durchlässigkeit wurde für Schotter und Kiessand in entsprechenden Versuchen nachgewiesen [3,4].

Auch wasserdurchlässige Deckschichten können mit allen im Straßenbau üblichen Materialien - Asphalt, Beton, Pflaster - hergestellt werden. Für den Bau offenporiger (wasserdurchlässiger) Asphaltdeckschichten, auch Dränasphalt genannt, gibt es bereits Merkblätter der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [5,6]. Diese Schichten weisen einen Hohlraumgehalt von über

15 % auf, der einen seitlichen Abfluß des Niederschlagswassers in diesen Schichten gewährleisten soll. Angewendet werden diese Schichten als lärm-mindernde Beläge, denn sie sind in der Lage, Rollgeräusche zu dämpfen. Durch das gute Drainagevermögen bildet sich bei Regen an der Oberfläche solcher Deckschichten kein Wasserfilm. Dadurch bleibt eine hohe Griffigkeit erhalten. Diese Eigenschaft wird besonders im Flugplatzbau genutzt [6]. Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Dränasphalt sind größer als  $10^{-4}$  m/s und liegen damit deutlich über den Werten ungebundener Tragschichten:

Wasserdurchlässiger Beton (Dränbeton) wurde im Straßenbau zuerst als Tragschichtmaterial verwendet [7]. Darüberhinaus gibt es Straßen, bei denen Dränbeton gleichermaßen wie Dränasphalt als lärm-mindernder Straßenbelag eingesetzt wurde. Auch Dränbeton hat bei einem Hohlraumgehalt von mehr als 15 % eine Wasserdurchlässigkeit, die einem k-Wert von weit mehr als  $10^{-4}$  m/s entspricht [7].

Dränfuge Kreuzverband

Steinbedarf:  
22,8 Steine/m<sup>2</sup>

Rasenfuge

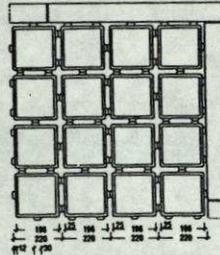
Steinbedarf:  
20,4 Steine/m<sup>2</sup>

Bild 2: Beispiele für Betonpflastersteine mit Abstandshaltern (Prospekt System Rima)

In der Literatur und in Prospekten wird oft für versickerungsfähige Flächenbefestigungen als besonders geeignete Bauweise das Pflaster und hier wieder das Betonsteinpflaster herausgestellt [8,9]. Die Versickerung soll dabei durch die Fugen erfolgen. Es werden aber auch schon Pflastersteine aus Dränbeton angeboten. Zur Versickerung über die Fugen müssen diese breiter als üblich ausgeführt werden. Dazu werden spezielle Abstandshalter verwendet oder Pflastersteine mit angeformten Abstandshaltern angeboten. Damit sind Fugenbreiten bis über 20 mm zu garantieren (Bild 2). Diese Fugen werden mit Splitt und Sand verfüllt oder es wird Rasen eingesät. Als Pflasterbett, das in der Regel aus Sand besteht, wird Feinsplitt empfohlen. Für den Fugensand wurde im Labor ein k-Wert größer  $10^{-4}$  m/s ermittelt. Dieser k-Wert ist ebenfalls größer als derjenige von abgestuften Tragschichtmaterialien. Hierbei ist aber zu berücksichtigen

sichtigen, daß zur Versickerung nicht die gesamte Befestigung, sondern nur die Fugenfläche zur Verfügung steht.

Neben diesen Standardbauweisen des Straßenbaus werden für Versickerungsfähige Flächenbefestigungen auch noch andere Materialien angeboten, wie z. B. Gitterelemente aus Beton oder neuerdings auch aus Kunststoff, in deren Öffnungen Rasen eingesät wird. Diese Bauweisen dürften jedoch auf Sonderfälle (mit geringster Verkehrsbeanspruchung) beschränkt sein und sollen deshalb hier nicht weiter betrachtet werden.

### 3. Bemessung

Die Bemessung der aus konstruktiver Sicht erforderlichen Dicke der Straßenbefestigung soll nach der RStO [10] erfolgen. Daß dabei die wasserdurchlässigen Deckschichten nicht in jedem Falle den sonst verwendeten, weitestgehend dichten Schichten äquivalent sind, sei vorerst außer Betracht gelassen; eventuell müßte die Dicke einzelner Schichten etwas erhöht werden, was jedoch aus entwässerungstechnischer Sicht - wie später zu sehen ist - nur von Vorteil wäre.

Durchlässigkeit Boden	K - Wert [ m/s ]	Versickerung mm/s $\hat{=}$ l/s · m <sup>2</sup>	Regenspende l/s · ha
Kies	$10^{-3}$	$10^0$	1000
Sand	$10^{-4}$	$10^{-1}$	200
l. bind. Sand	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-2}$	100
Schluff	$10^{-6}$	$10^{-3}$	10
Lehm	$10^{-7}$	$10^{-4}$	1
Ton	$10^{-8}$		

Tabelle 1:  
Schematischer Zusammenhang zwischen Bodendurchlässigkeit, Versickerung und Regenspende

Für die Bemessung aus entwässerungstechnischer Sicht ist als erster Schritt der Wasseranfall zu bestimmen. Für die Bemessung von Entwässerungsanlagen gilt im Straßenbau die RAS-Ew [11]. Danach ist für die Dimensionierung der

Rohrleitungen ein einmal im Jahr auftretender 15minütiger Regen entsprechend den Regenreihen von REINHOLD anzusetzen. Für Sachsen waren das bisher 106 l/s x ha, der Höchstwert in Deutschland lag in Südwestdeutschland bei 119 l/s x ha. Welche Durchlässigkeit muß der Straßenoberbau haben, damit eine solche Regenspende versickert?

In Tabelle 1 ist schematisch der Zusammenhang zwischen Regenspende, Versickerung und k-Wert dargestellt. Demnach ist für die Versickerung des "Berechnungsregens" eine Durchlässigkeit mit einem k-Wert  $\geq 10^{-5}$  m/s erforderlich. Dieser k-Wert kann für die Befestigungsschichten garantiert werden. Für ungebundene Schichten (Schotter, Kiessand) ist er ohnedies vorgeschrieben. Für Dränasphalt oder Dränbeton sind k-Werte  $> 10^{-4}$  m/s vom Material her gegeben. Und auch für Pflaster läßt sich bei Anordnung breiter Fugen die notwendige Durchlässigkeit erreichen. Kriterium für eine Versickerung wird demnach der Untergrund sein. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, tritt ein k-Wert von  $> 10^{-5}$  m/s bei nichtbindigen bis leichtbindigen Böden auf; Böden, die im Norden Deutschlands in größeren Gebieten zu finden sind, in der Mitte und im Süden jedoch seltener vorkommen.

Ein k-Wert  $< 10^{-5}$  m/s im Untergrund muß jedoch die Anwendung versickerungsfähiger Befestigungen noch nicht ausschließen. Voraussetzung für die Durchlässigkeit der Befestigungsschichten ist ein hohlraumreiches Material. Diese Hohlräume können wiederum als Speicher für das Niederschlagswasser genutzt werden. Welche Speicherkapazität vorhanden ist und bei welcher Bodendurchlässigkeit dann eine vollständige Versickerung noch möglich ist, soll an einem Beispiel gezeigt werden.

Dränasphalt  
 $k_f > 10^{-4}$

Schotter-Tragschicht  
 $k_f > 10^{-5}$

Untergrund  
 $k_{ferf.} = ?$



12 cm Bild 3: Beispiel für eine Parkplatzbefestigung mit Dränasphalt

38 cm

Für einen Parkplatz wird eine Asphaltbefestigung auf einer Schottertragschicht entsprechend Bauklasse V nach RStO vorgesehen (Bild 3). Der Asphaltbelag wird als Dränasphalt mit einem Porenvolumen von 20 % ausgeführt. (Ein großer Parkplatz am Flughafen Dresden wurde 1993 auf diese Weise befestigt). Als Speichervolumen kann jedoch nicht der gesamte Hohlraum im Dränasphalt an-

gesetzt werden, da sich neben eingeschlossenen Poren bereits Wasser im Asphalt befinden kann und nicht alle Luft einschlüsse vom Wasser verdrängt werden. Deshalb sei mit einem als Speicher wirksamen Porenvolumen von nur 10 % gerechnet. Dies ergibt bei einer Dicke der Schicht von 12 cm eine Speicherkapazität von 12 l/m<sup>2</sup>. Der oben angegebene Berechnungsregen  $r_{15} = 106$  l/s-ha entspricht aber nur 9,54 l/m<sup>2</sup>. Diese Wassermenge könnte also vollständig bereits in der Asphalttschicht gespeichert werden (s. Tab. 2). Darüberhinaus sind auch in einer Schottertragschicht nach ZTVT [2] oder in einer Frostschuttschicht bei einer Durchlässigkeit von  $k \geq 10^{-5}$  m/s Hohlräume in einer Größenordnung von ca. 20 % enthalten, die jedoch ebenfalls nicht voll als Speicher-raum genutzt werden können. Infolge der Saugspannung wird selbst in Trockenperioden in diesen ungebundenen Schichten noch Wasser zwischen 10 und 50 % des Porenvolumens gehalten. Nimmt man auch hier einen Restwasser-gehalt von 50 % an, dann steht als Speicher ein Porenvolumen von 10 % der Schichtdicke zur Verfügung, das sind für die Befestigung lt. Bild drei 38 l/m<sup>2</sup>. Dies ergibt für die Gesamtbefestigung ein nutzbares Speichervolumen von ins-gesamt 50 l/m<sup>2</sup>. Damit wäre ein 15minütiger Regen von über 500 l/s-ha auf-nehmbar, eine Regenspende, die praktisch nicht auftritt.

Die zu versickernde Niederschlagsmenge ist jedoch auch eine Funktion der Zeit. Deshalb ist zu untersuchen, ob und wie auch längerdauernde Regenfälle gespeichert bzw. versickert werden können. Dazu wurde auf der Grundlage der Reinholdschen Regenberechnungen die Niederschlagsmenge bei Regenereig-nissen ermittelt, die ein, zwei oder drei Tage dauern (s. Tabelle 2).

Bemessungsregen		Speichervermögen des Straßenoberbaus nach Bild 3	erforderliche Untergrundversickerung		erforderlicher $k_f$ -Wert des Untergrundes
Std.	l/m <sup>2</sup>		Menge l/m <sup>2</sup>	Zeit sec.	
$r_{0,25}$	9,54	50	0		
$r_{24}$	97,7	50	47,7	86400	$5,5 \cdot 10^{-7}$
$r_{48}$	124,5	50	74,5	172800	$4,3 \cdot 10^{-7}$
$r_{72}$	140,2	50	90,2	259200	$3,5 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 2: Ermittlung des erforderlichen  $k_f$ -Wertes für den Untergrund des Straßenoberbaus nach Bild 3

Bei einem 24-Stunden-Regen ist danach mit einem Wasseranfall von  $97,9 \text{ l/m}^2$  zu rechnen. Davon könnten nach vorstehenden Betrachtungen in der Asphalt-schicht und in der ungebundenen Schicht  $50 \text{ l/m}^2$  gespeichert werden. Die Restmenge von  $47,7 \text{ l/m}^2$  müßte in der Zeit, in der es regnet, versickert werden, damit es nicht zu einem Aufstau kommt. Das bedeutet, für eine Niederschlags-höhe von  $NH = 47,5 \text{ mm}$  steht eine Versickerungszeit  $V_t = 86.400$  Sekunden (24 h) zur Verfügung. Daraus läßt sich der erforderliche k-Wert für den Untergrund berechnen:

$$k_{\text{erf.}} = \frac{NH}{V_t} = \frac{47,7}{86400} = 0,00055 \text{ mm/s} \hat{=} 5,5 \times 10^{-7} \text{ m/s} \hat{=} 5,5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

Die in Tabelle 2 dargestellten Berechnungsergebnisse weisen aus, daß bei dem im Beispiel gewählten Befestigungsaufbau ein k-Wert des Untergrundes von  $>5,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$  eine volle Versickerung auch bei länger andauernden Regenfällen ohne Aufstau ermöglicht. Allgemein läßt sich daraus schlußfolgern, daß für die Bemessung der Wasserdurchlässigkeit der Befestigung in der Regel nicht die kurzzeitigen Regenfälle, sondern länger andauernde Niederschläge maßgebend sind. Unter Berücksichtigung der Speicherkapazität der Konstruktions-schichten ist die Anwendung versickerungsfähiger Befestigungen danach auch in vielen Gebieten Mittel- und Süddeutschlands möglich.

Die Anwendung versickerungsfähiger Straßenoberbauten ließe sich bei be-grenzter Durchlässigkeit des Untergrundes durch flankierende Maßnahmen noch erweitern. Dazu gehören u. a. die Erhöhung der Schichtdicken der Stra-ßenbefestigung und damit Vergrößerung des Speicherraumes für das Nieder-schlagswasser oder die Nutzung von Seiten- und Trennflächen als zusätzlichen Versickerungsraum, wie z. B. in Bild 4 gezeigt. Auf diese Lösungen soll an die-ser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden.

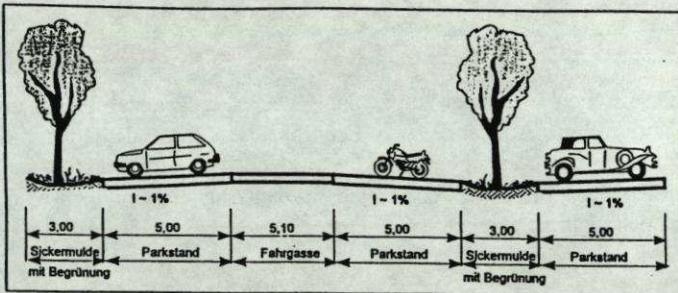


Bild 4: Vorschlag für eine Parkplatzgestaltung mit wasserdurchlässigem Oberbau und zusätzlichen Versickerungsmethoden [8]

#### 4. Schlußfolgerungen

Die vorstehenden Berechnungen sollen den grundsätzlichen Weg zur Bemessung eines versickerungsfähigen Straßenoberbaus aus entwässerungstechnischer Sicht aufzeigen. Daß es dabei besonders bei der Ermittlung von Berechnungswerten noch einige offene Fragen gibt, ist bekannt. Wenig Erfahrungen gibt es auch zum Langzeitverhalten der vorgestellten Bauweisen. Beispielsweise wird das Tragverhalten des Straßenoberbaus auch von der Tragfähigkeit des Untergrundes beeinflußt. Die Tragfähigkeit eines bindigen Untergrundes wiederum ist eine Funktion des Wassergehaltes. Wenn nun das Niederschlagswasser zielgerichtet in diesen Untergrund abgeleitet wird, dann wird damit eine Tragfähigkeitsminderung verursacht.

Auch die Wasserdurchlässigkeit des Oberbaus wird im Laufe der Nutzung beeinträchtigt. Durch Sand, Staub, Reifenabrieb, Blätter u. a. kommt es zu einem teilweisen Zusetzen der Poren und damit zu einer Verminderung der Versickerungsfähigkeit. Zur Säuberung von Dränasphalt und Dränbeton wurden Reinigungsgeräte entwickelt, die nach dem Prinzip eines Naßstaubsaugers arbeiten. Eine vollständige Reinigung, besonders tiefer liegender Schichten, ist damit nicht zu gewährleisten.

Die vorgenannten und weitere noch nicht gelöste Fragen führen zu dem Schluß, wasserdurchlässige Straßenbefestigungen vorerst nur auf Flächen mit geringen bzw. leichtem Verkehr anzuwenden. Dazu gehören Parkplätze, Anliegerstraßen, Grundstückszufahrten, Hof- und Betriebsflächen, soweit auf diesen Flächen kein schwerer Verkehr zu erwarten ist. Aus dieser Einschränkung läßt sich ableiten, daß versickerungsfähige Straßenbefestigungen keine generelle Entlastung der Kanalisation erbringen. Lokal gesehen jedoch können solche Befestigungen in kleineren Siedlungsgebieten oder auf ausgewählten Flächen durchaus eine Entlastung der Abwassernetze bedeuten und zu Einsparungen führen. Auf dem bereits erwähnten Parkplatz am Flughafen Dresden beispielsweise wurden außer der versickerungsfähigen Befestigung keinerlei Entwässerungsanlagen gebaut.

Neben bautechnischen Lösungen zur Senkung des Oberflächenabflusses muß der dafür notwendige Aufwand auch honoriert werden, indem für diese befestigten und trotzdem entsiegelten Flächen keine Abwassergebühren mehr verlangt werden. Es gibt Hinweise, daß dies in den Abgabeordnungen einiger Kommunen noch nicht so geregelt ist.

**Literaturverzeichnis**

- [1] Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung  
Arbeitspapier 11/94  
Die Flächenerhebung 1994
- [2] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für  
Tragschichten im Straßenbau (ZTVT-StB 86/90)  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln
- [3] Schoßig, Falk  
Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne  
Bindemittel  
Diplomarbeit an der TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen,  
Lehrstuhl Straßenbau, 1995
- [4] Nkwonkam, Eric  
Untersuchungen zum Entwässerungsverhalten offenporiger  
Parkplatzbefestigungen  
Diplomarbeit an der TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen,  
Lehrstuhl Straßenbau, 1994
- [5] Merkblatt für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln, 1991
- [6] Richtlinien für Dränasphaltschichten auf Flugplätzen  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln, 1983
- [7] Roßberg, K.; Hübner, H.-U.  
Untersuchungen zum Entwässerungsverhalten von Dränbeton als  
Tragschicht unter Betondecken  
Betonstraßentagung 1991, Schriftenreihe der AG "Betonstraßen" der  
FGSV, Heft 20, S. 31 bis 33
- [8] Muth, W.  
Regenwasserversickerung von Verkehrsflächen  
Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, Heft 5/1994, S. 28 bis 44
- [9] Sönke, Gerlach, Köhler  
Versickerung auf befestigten Verkehrsflächen  
Broschüre, herausgegeben von der SF-Kooperation GmbH,  
Betonkonzepte, Bremen, 1994

- 
- [10] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln,  
1986/89
- [11] Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew)  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln, 1987

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing.habil. K. Roßberg  
Technische Universität Dresden  
Institut Stadtbauwesen und Straßenbau  
01062 Dresden