

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Peterseim, Svenja; Schlenkhoff, Andreas

Straßeneinläufe – physikalische und numerische Modellierung

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/20.500.11970/103450>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Peterseim, Svenja; Schlenkhoff, Andreas (2014): Straßeneinläufe – physikalische und numerische Modellierung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 50. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 295-302.

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.



Straßeneinläufe – physikalische und numerische Modellierung

Svenja Peterseim
Andreas Schlenkhoff

Starkregenereignisse werden nach aktuellem Forschungsstand zukünftig vermehrt auftreten. Diese Ereignisse, die überall auftreten können, sind charakterisiert durch eine hohe Intensität mit einer Dauer von nur wenigen Minuten bis wenige Stunden. Bei solch heftigen Regenereignissen ist die Aufnahmefähigkeit des Bodens schnell erschöpft, die Kanalisation überlastet oder die hydraulische Leistungsfähigkeit der Straßeneinläufe nicht ausreichend, so dass nur der oberflächige Abfluss des Wassers über die Straße bleibt. Beobachtungen haben gezeigt, dass das auf der Straße ablaufende Wasser nicht unmittelbar von den Straßeneinläufen aufgenommen werden wird, sondern an diesen vorbei fließt oder über die Einläufe hinwegschießt. Bei einer Überschreitung der Leistungsfähigkeit der Straßenrinne kann das Niederschlagswasser unkontrolliert in angrenzende Gebiete und Gebäude übertreten und dort zu großem Schaden führen, was vergangene Ereignisse gezeigt haben. Bisher wurden die in Deutschland gültigen Bemessungsregeln für Straßeneinläufe (RAS-Ew) im Hinblick auf vermehrt auftretende Starkregenereignisse nicht angepasst. Mithilfe physikalischer und numerischer Modellläufe wird am Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau der Bergischen Universität Wuppertal die hydraulische Leistungsfähigkeit (Effizienz) der Aufsätze von Straßeneinläufen untersucht. Im Rahmen dieses Berichtes soll insbesondere auf die Erstellung des numerischen Modell und der dabei auftretenden Unsicherheiten eingegangen werden.

Stichworte: Straßeneinläufe, hydraulische Leistungsfähigkeit, Starkregen

1 Einleitung

Vorhersagen zur Klimaänderung (*IPCC*, 2008) prognostizieren eine Zunahme von starken Regenereignissen in den nächsten Jahren. Aber auch in der Vergangenheit führten zahlreiche Starkregenereignisse zu Überflutungen im urbanen Raum. Bei einer Überlastung der Kanalisation bzw. dem Erreichen der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Straßeneinläufe kommt es zum oberflächigen Abfluss des Niederschlagswassers über die Straße (siehe Abbildung 1).

Grundlage für die Bemessungsregeln der Straßeneinläufe in der Straßenbaupraxis in Deutschland bildet die Richtlinie für die Anlage von Straßen – Teil Ent-

wässerung (RAS-Ew) (FGSV, 2005). Diese Richtlinie basiert im Wesentlichen auf Forschungsarbeiten aus dem Jahre 1983 (Thiele, 1983). Die zugrundeliegenden Berechnungsannahmen für Straßenrinnen und Straßeneinläufe wurden trotz mehrmaliger Aktualisierung nicht an die vermehrt auftretenden Starkregenereignisse angepasst.

Aus Laborversuchen an der Colorado State University, USA zur Ermittlung der hydraulischen Effizienz verschiedener Straßeneinlauftypen (Kombination von Seiteneinläufen und Pultaufsätzen) entwickelten *Comport & Thornton* (2012) Gleichungen zur Bestimmung der Effizienz der Straßeneinläufe in Abhängigkeit der Längs- und Querneigung der Straße, der Fließgeschwindigkeit und -tiefe, der Geometrie der Einläufe und der Abflussbreite des Wassers auf der Straße. Die Laborergebnisse wurden zuvor mit Werten, die auf Grundlage der lokal gültigen Bemessungsregeln für Straßeneinläufe (HEC 22 – Hydraulic Engineering Circular No. 22 – Urban Drainage Design Manual) berechnet wurden, verglichen, woraus sich Unsicherheiten in den Gleichungen der Bemessungsrichtlinie ergaben.



Abbildung 1: Überströmter Straßeneinlauf (Feldversuch)

Guo et al. (2009) untersuchte an der University of Colorado Denver, USA ebenfalls die Leistungsfähigkeit von in Colorado verwendeten Straßeneinläufen (Kombi-Einläufe). Die Autoren unterscheiden dabei zwischen zwei Zuständen wie das Wasser von den Einläufen aufgenommen wird: (1) Wehrüberfall (kleine Wasserstände) und (2) Ausflusströmung (große Wasserstände). *Guo et al.* (2009) entwickelten ebenfalls auf Grundlage der Richtlinie HEC 22 Gleichungen zur Berechnung des Abflusses, der vom Einlauf aufgenommen wird.

Im Rahmen dieses Berichtes werden physikalische und numerische Versuchsergebnisse zur Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit üblicher Straßeneinläufe vorgestellt. Weitere Untersuchungen sind notwendig um z.B. Gleichungen zu entwickeln, die die Hydraulik der in Deutschland eingesetzten Straßeneinläufe beschreiben.

2 Modelle

2.1 Physikalisches Modell

Die Versuchsrinne im Wasserbaulabor der Bergischen Universität Wuppertal mit $L \times B = 3,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$ aus Acrylglas kann in ihrer Längs- und Querneigung variiert werden. In eine Aussparung können zwei verschiedene Einlauftypen eingebracht werden, ein Standardeinlauf nach DIN 19571 (2012) mit $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ oder ein sogenannter Bergeinlauf für steile Straßenabschnitte mit $500 \text{ mm} \times 780 \text{ mm}$ (siehe Abbildung 2). Die Einlaufelemente sind aus Plexiglas im Maßstab 1:1,2 gefertigt.

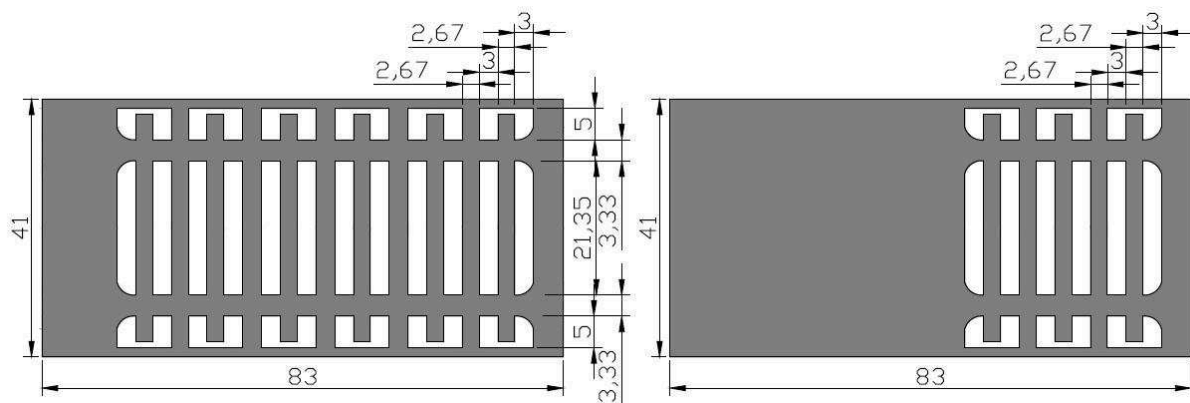
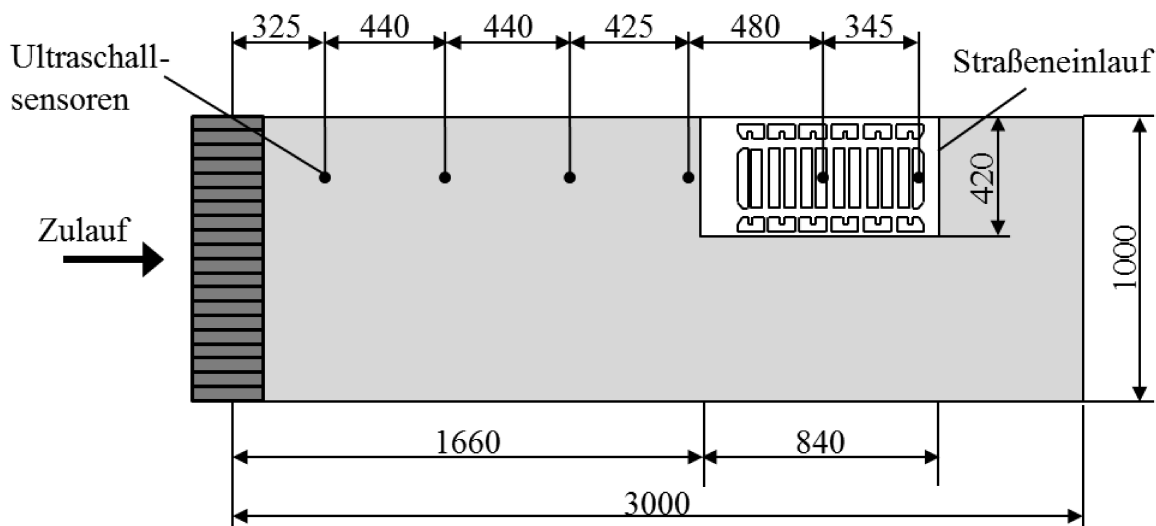


Abbildung 2: Skizze Straßeneinläufe: Bergeinlauf (links), Standardeinlauf (rechts)
 (Angaben in cm)

Die Rinnenoberfläche ist mit einer Rauheit von $k \approx 1,5 \text{ mm}$ versehen (Dachpappe). Mit Ultraschallsensoren wird der Wasserstand in der Rinne am linken Rand an sechs Stellen gemessen (vgl. Abbildung 3 und 4). Zur Ermittlung der Effizienz E der Einläufe wird neben der zufließenden Wassermenge Q_M das durch den Einlauf abfließendes Wasser Q_I messtechnisch erfasst. Die durchgeführten Parametervariationen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Versuchsprogramm Physikalisches Modell

Variation des Längsgefälles S_L	1 % bis 12 %
Variation des Quergefälles S_T	1,5 % bis 5 %
Variation des Zuflusses Q_M	3 l/s bis 15 l/s
Variation des Einlauftyps	Standardeinlauf / Bergeinlauf

**Abbildung 3:** Versuchsaufbau (schematisch, Angaben in mm)

2.2 Numerisches Modell

Für das numerische Modell wird der CFD Code FLOW-3D v.10.1 (Flow Science) verwendet. Die geometrischen Abmessungen entsprechen exakt denen des physikalischen Modells, sodass keine Skalierungseffekte z.B. in Bezug auf die Viskosität entstehen. Der obere Modellrand wird als Zulauf mit einer *volume flow rate* definiert, der untere Modellrand wird als *outflow* definiert. Im Rahmen der hier vorgestellten numerischen Modellversuche wird die Längsneigung zu $S_L = 3 \%$ und die Querneigung zu $S_T = 2,5 \%$ festgesetzt. In Tabelle 2 sind die betrachteten Varianten des numerischen Modells angegeben.

Tabelle 2 Variation der Auflösung des numerischen Modells

	Auflösung	Aktive Zellen
Numerik (1)	0,01 m (gesamtes Netz)	878.133
Numerik (2)	0,005 m (Einlauf); sonst 0,01 m	1.470.230
Numerik (3)	0,005 m (gesamtes Netz)	5.216.707
Numerik (4)	0,01 m (Ebene (x-y)); 0,002 m (Höhe (z))	1.483.573

Die Turbulenzmodellierung wird mit dem $k-\varepsilon$ -Turbulenzmodell und dem RNG Modell durchgeführt, wobei beide Modelle nahezu identische Ergebnisse liefern.

Die simulierte Dauer beträgt 15 Sekunden, das Ausgabeintervall 0,5 Sekunden. Die Berechnungen wurden mit einem Windows 8 / 64-Bit Betriebssystem mit einem Intel Core i7 3,40 GHz Prozessor, 32 GB RAM (parallele Berechnung) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der physikalischen Modellierung dargestellt und ausgewertet. Die Effizienz E der Straßeneinläufe ist dabei definiert als das Verhältnis von durch den Einlauf abfließendem Wasser Q_I zu zufließendem

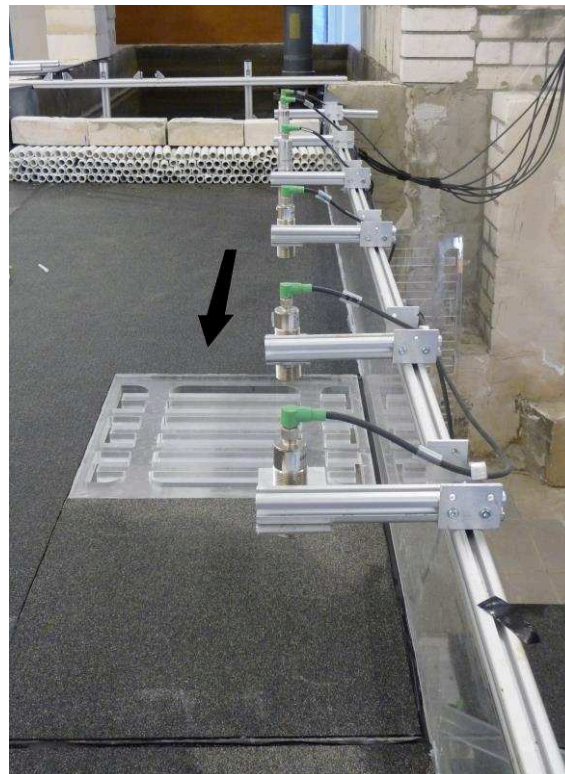


Abbildung 4: Versuchsaufbau Physikalisches Modell (Standardeinlauf)

Wasser Q_M ($E = Q_I / Q_M$). Untersucht wird der Einfluss der Längsneigung S_L sowie der Querneigung S_T auf die Effizienz der Einläufe. In Abbildung 5 ist für variierende Längsneigungen mit einer Querneigung von $S_T = 2,5 \%$ die Effizienz der Straßeneinläufe für die untersuchten Durchflüsse dargestellt. Abbildung 6 zeigt den Einfluss der Querneigung bei einer Längsneigung von $S_L = 3 \%$ und variierenden Durchflüssen.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmendem Durchfluss und damit größer werdenden Wassertiefen die Effizienz der Einläufe verringert wird. Zum einen wird mit zunehmendem Durchfluss die Abflussbreite B auf der Straße

größer, so dass ein großer Teil des Wassers an den Einläufen vorbei fließt. Mit zunehmenden Querneigungen kann die Abflussbreite minimiert werden und somit auch die Effizienz wieder gesteigert werden. Je größer die Längsneigung ist, umso mehr schießt das Wasser auf Grund hoher Fließgeschwindigkeiten über die Einläufe hinweg anstatt von diesen aufgenommen zu werden. Die physikalischen Modellversuche bestätigen die Annahme, dass die Einläufe nicht das gesamte dem Einlauf zufließende Wasser aufnehmen können.

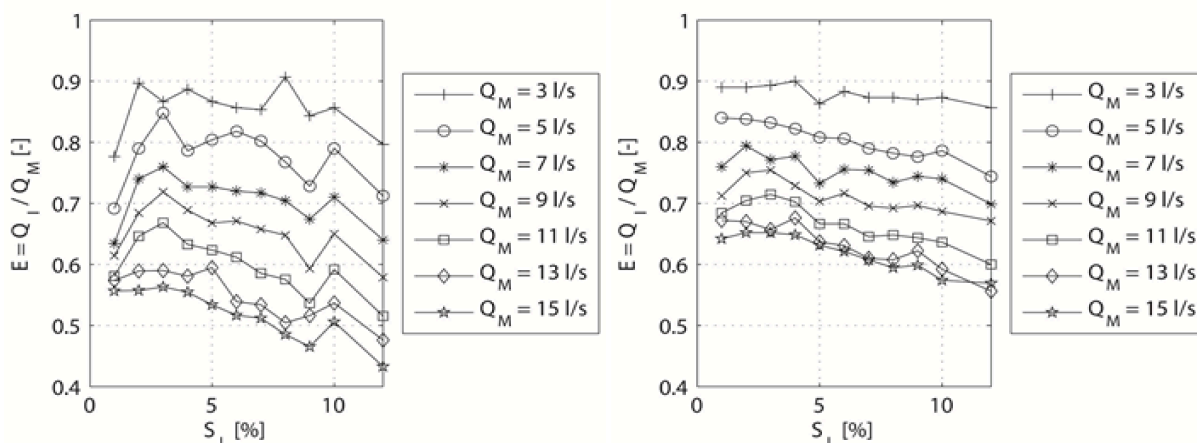


Abbildung 5: Effizienz E in Abhängigkeit der Längsneigung S_L [%] für $S_T = 2,5$ %: Standardeinlauf (links), Bergeinlauf (rechts) (Hett (2012), verändert)

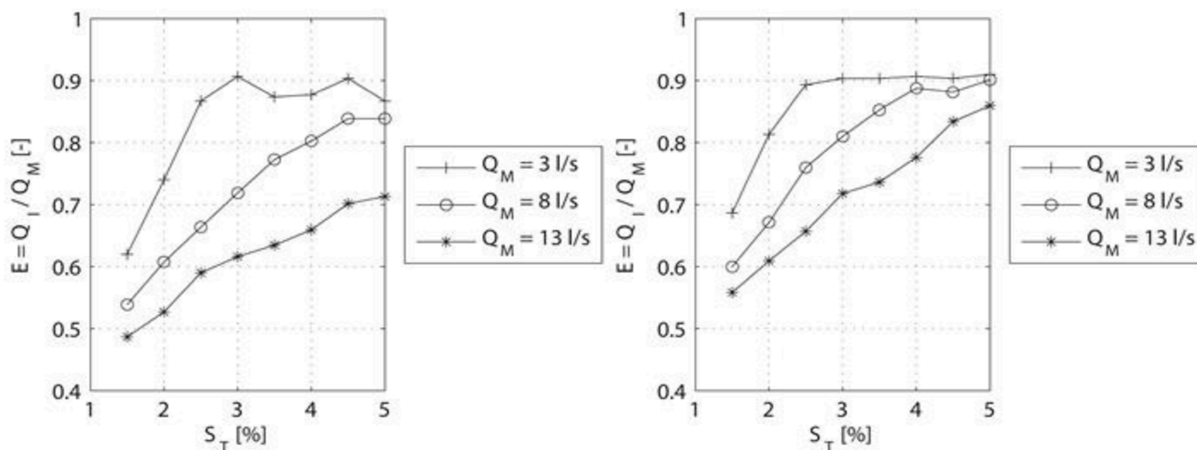


Abbildung 6: Effizienz E in Abhängigkeit der Querneigung S_T [%] für $S_L = 3$ %: Standardeinlauf (links), Bergeinlauf (rechts) (Hett (2012), verändert)

Mit Hilfe der physikalischen Modellversuche soll das numerische Modell kalibriert und validiert werden. Eine vollständige Gegenüberstellung ist noch nicht durchgeführt, so dass in diesem Bericht erste vergleichende Modelläufe wiedergegeben werden. Zunächst werden die ermittelten Wassertiefen aus Labor und numerischem Modell miteinander verglichen. Abbildung 7 zeigt exemplarisch die gemessenen und berechneten Wassertiefen an den sechs Messstellen der Ult-

raschallsensoren für eine Längsneigung von $S_L = 3 \%$, eine Querneigung von $Q_T = 2,5 \%$ und für Durchflüsse $Q_M = 3 \text{ l/s}$ und $Q_M = 13 \text{ l/s}$. Die berechneten Ergebnisse aus dem numerischen Modell zeigen insgesamt schon eine sehr gute Übereinstimmung mit den physikalischen Modellergebnissen. Am Beginn des Einlaufs (grau gestrichelte Linie) liefert die Messtechnik im Labor keine belastbaren Ergebnisse, so dass hier keine Übereinstimmung aus Labor und Numerik zu erwarten ist. Des Weiteren ist erkennbar, dass der Einfluss der Zellgröße auf die berechneten Wassertiefen vernachlässigbar klein ist.

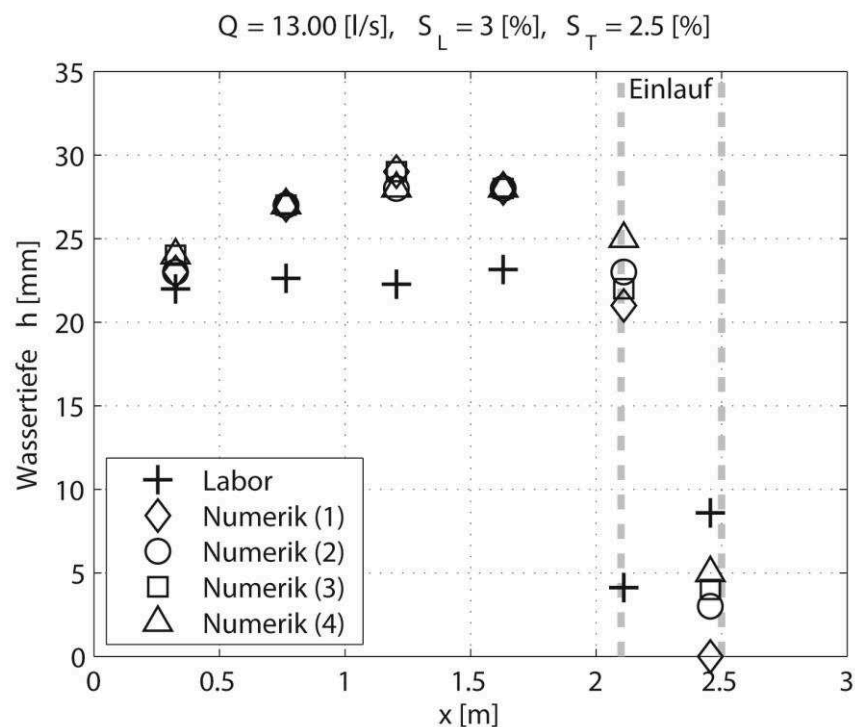


Abbildung 7: Vergleich der Wasserstände aus Labor und Numerik (Standardeinlauf), Straßeneinlauf: $2.1 < x < 2.5$

Beim Vergleich der berechneten Effizienz E für die verschiedenen Modelle (physikalisch und numerisch) stellt sich heraus, dass die numerischen Modelle (2) und (3) mit jeweils einer Netzauflösung von 5 mm (gesamtes Netz bzw. nur im Bereich des Einlaufs) keine brauchbaren Ergebnisse liefern (der Einlauf nimmt zu viel Wasser auf). Die Modelle (1) und (4) hingegen liefern im Vergleich zum physikalischen Modell recht gute Ergebnisse, wobei durch die feinere Auflösung in z -Richtung (2 mm) eine deutliche Verbesserung erzielt werden kann.

4 Zusammenfassung

Beobachtungen während Starkregenereignissen haben gezeigt, dass das abfließende Niederschlagswasser auf der Straße nicht vollständig von den Straßeneinläufen aufgenommen wird. Die Laborversuche sowie die numerischen Modellversuche bestätigen diese Beobachtungen. In Abhängigkeit der Längs- und Querneigung sowie der dem Einlauf zufließenden Menge variiert die Effizienz der Einläufe zwischen etwa 50 % und 90 %. Weitere Versuche, physikalische sowie numerische, sind notwendig, um eine detaillierte Aussage zur Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen machen zu können.

5 Literatur

- Comport, B.C.; Thornton, C.I. (2012): Hydraulic Efficiency of Grate and Curb Inlets for Urban Storm Drainage. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(10), 878-884.
- FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- Guo, J.C.Y.; MacKenzie, K.A.; Mommandi, A.(2009): Design of Street Sump Inlet. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(11),1000-1004.
- Hett, U. (2012): Physikalische und Numerische Modellversuche zu Straßenabläufen, Diplomarbeit, Bergische Universität Wuppertal, unveröffentlicht.
- IPCC (2008): Klimaänderung 2007: Synthesebericht. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC), Berlin, 2008.
- Thiele, F. (1983): Fahrbahnlängsentwässerung im Straßengerinne mit kontinuierlichen oder diskreten partiellen Entnahmen und ein Entwurf für zukünftige Richtlinien zur Bemessung. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.

Autoren:

M.Sc. Svenja Peterseim

LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau
Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstr. 7
42285 Wuppertal

Tel.: +49 202 439 4133
Fax: +49 202 439 4196
E-Mail: s.peterseim@uni-wuppertal.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff

LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau
Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstr. 7
42285 Wuppertal

Tel.: +49 202 439 4234
Fax: +49 202 439 4196
E-Mail: schlenkh@uni-wuppertal.de