

Förderprogramm Ressourceneffiziente

Abwasserbeseitigung NRW

Förderbereich 6: Forschungs- und Entwicklungsprojekt
zur Abwasserbeseitigung (ResA-6)

Kurzbericht

**Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen
im urbanen Raum:**

Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen

Gefördert durch:

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff
Projektleitung

Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen
LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau
www.hydro.uni-wuppertal.de

Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal
Fon: +49 (202) 439 – 4234
Fax: +49 (202) 439 – 4196
E-Mailadresse: schlenkhoff@uni-wuppertal.de

Bearbeitung:
Svenja Kemper, M.Sc.
Andrea Mayer, M.Sc.

Projektpartner:
Technische Betriebe Solingen



1 Einleitung

Nach dem aktuellen Synthesebericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung IPCC werden Starkniederschläge zukünftig in ihrer Intensität und Anzahl aufgrund des Klimawandels zunehmen (IPCC 2014). Daraus ergibt sich ein akuter Handlungsbedarf im Umgang mit extremen Niederschlagsereignissen und daraus resultierenden Sturzfluten im urbanen Raum, wie vergangene Ereignisse bereits deutlich gezeigt haben.

Beobachtungen haben gezeigt, dass nicht nur bei Starkniederschlägen sondern auch bei ungünstigen Kombinationen von intensiven Niederschlägen und Abflusseinschränkungen oder räumlichen Besonderheiten erhebliche Wassermengen über die Straße ablaufen, obwohl das Kanalnetz lokal keinesfalls voll ausgelastet bzw. überlastet ist. Weiterhin wurde beobachtet, dass Wasser insbesondere bei steilen Straßen über die Straßenabläufe oder an diesen vorbei läuft und nicht unmittelbar in das Kanalnetz gelangt (mündlich Auskunft der Technischen Betriebe Solingen).

Die klassische Stadtentwässerung in Deutschland erfolgt üblicherweise über eine unterirdisch verlaufende Kanalisation, in die der Regenabfluss über Straßenabläufe einfließen kann. Nach DIN EN 752 (2008) und DWA-A 118 (2006) werden die Entwässerungssysteme für Regenereignisse mit Wiederkehrzeiten von $T = 1a$ bis $T = 10a$ dimensioniert. In Zukunft müssen Stadtentwässerungssysteme in der Lage sein, den Regenabfluss auch im Überschreitungsfall nicht nur unterirdisch aufzunehmen, sondern auch gezielt an der Oberfläche zu sammeln und einem Vorfluter zuzuführen. Im gemeinsamen „Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge“ von DWA und BWK wird empfohlen, „auf kommunaler Ebene ein ganzheitlich ausgerichtetes „Risikomanagement Sturzfluten“ zu erarbeiten“ (BWK 2013). Mithilfe sogenannter bidirektional gekoppelter Modelle kann die Interaktion zwischen dem Abfluss im Kanal (1D-Modell) und dem Oberflächenabfluss (2D-Modell) abgebildet werden und dient somit als Planungselement für neue Entwässerungsstrukturen. Verbindungselement zwischen Oberfläche und Kanalisation sind dabei die Straßenabläufe und Schachtdeckel. An diesen Kopplungspunkten kann das Wasser von der Oberfläche in die Kanalisation gelangen oder auch aus überlasteten Kanälen wieder an die Oberfläche austreten. Nach DWA (2013) müssen die hydraulischen Kenndaten der Öffnungen bekannt sein, um die Austauschvorgänge realitätsnah beschreiben zu können.

Über die Leistungsfähigkeit bzw. Effizienz von Straßenabläufen liegt im deutschsprachigen Raum praktisch nur eine einzige Veröffentlichung vor (Thiele, 1983), die auch Grundlage für die spätere Richtlinie RAS-Ew (Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil Entwässerung) (FGSV, 2005) wurde. Dabei lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Leistungsfähigkeit der Straßenrinne als hydraulisches Bauwerk und nicht explizit auf der Leistungsfähigkeit der Straßenabläufe.

Die Straßenabläufe, auch als Straßeneinläufe bezeichnet, nehmen das über Straßenrinnen oder -mulden zufließende Oberflächenwasser auf und leiten es über Anschluss- oder Sammelleitungen weiter. Für die Ermittlung des Abstandes der Straßenabläufe wird bei Stadtstraßen eine angeschlossene Fläche von 400 m² angesetzt (FGSV, 2005). Die Leistungsfähigkeit der Straßenabläufe hängt neben der Einlaufgeometrie von der Längs (S_L) - und Querneigung (S_T) der Straße sowie dem Regenabfluss auf der Straße Q ab. In Abhängigkeit davon ergeben sich die Wasserspiegelbreite, die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit. Vier verschiedenen Ablaufstrukturen werden nach FGSV (2005) unterschieden: Pult- und Rinnenaufsätze, in die das Wasser von oben hineinfließt, Seitenabläufe, in die die Wasser seitlich einfließt und Kombi- aufsätze, in die das Wasser von oben und seitlich fließt (Abbildung 1).

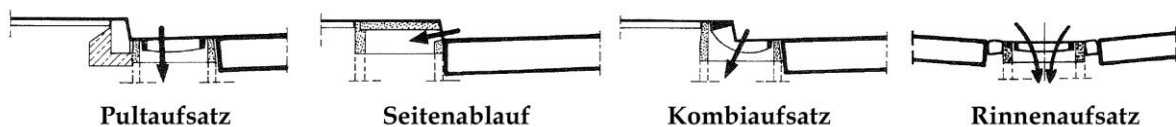


Abbildung 1: Straßenabläufe (verändert nach FGSV (2005))

Die am häufigsten eingesetzten Ablaufstrukturen sind die Pultaufsätze. In den Bemessungstabellen der RAS-Ew sind dafür drei verschiedene Aufsätze hinterlegt. Im Rahmen des Projekts werden Pultaufsätze mit den Abmessungen $B_S \times L_S = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ sowie $500 \text{ mm} \times 780 \text{ mm}$ untersucht.

2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die hydraulische Leistungsfähigkeit von in Deutschland eingesetzten Straßenablauf-Aufsätzen in einem Untersuchungsprogramm systematisch abzu- arbeiten und den Status Quo zu dokumentieren. Mithilfe der gewonnenen Ergebnisse können die in Abschnitt 1 genannten bidirektional gekoppelten Modelle realistischer gestaltet werden und führen damit zu einem verbesserten Planungselement für dringend notwendige Überflutungsvorsorgemaßnahmen für Starkregenereignisse in Stadtgebieten. Auf Grundlage der Ergebnisse kann ermittelt werden, wieviel Wasser an der Oberfläche verbleibt, so dass geeignete Maßnahmen zum Überflutungsschutz von Gebäuden und Infrastrukturen umgesetzt werden können. Solange die unterirdischen Entwässerungssysteme noch nicht vollständig gefüllt sind, können leistungsfähige Straßenabläufe zu einer Reduzierung des auf der Oberfläche abfließenden Wassers führen. Ziel der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens ist es, Strukturen zu finden, die das Schluckvermögen erhöhen und kostengünstig in der Praxis eingesetzt werden können. Zahlreiche Hersteller von Straßenablauf-Aufsätzen im deutschsprachigen Raum wurden hierzu angefragt, ihre Produkte zur Verfügung zu stellen und bei der Entwicklung neuer Strukturen mitzuarbeiten.

3 Physikalische Modellversuche – handelsübliche Aufsätze

3.1 *Physikalisches Modell*

Im Wasserbaulabor der Bergischen Universität Wuppertal wurden zur Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Straßenablauf-Aufsätzen physikalische Modellversuche durchgeführt. Das Modell besteht aus einer rechteckigen Rinne aus Acrylglas mit den Abmessungen $B_R \times L_R \times H_R = 1,50 \text{ m} \times 10,00 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$ (Abbildung 2). In eine Aussparung am linken Rand des Rinnenbodens können im Maßstab 1:1 handelsübliche Aufsätze mit Abmessungen bis zu $B_S \times L_S = 500 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ eingebaut werden. Die Längsneigung S_L sowie die Querneigung S_T können variabel eingestellt werden. Die Oberfläche des Rinnenbodens ist mit Dachpappe beklebt, wodurch die Straßenoberfläche mit einer Rauheit von etwa $k \approx 1,5 \text{ mm}$ nachgebildet wird. Die Zuflussregulierung erfolgt stufenlos mithilfe von zwei Drosseln und einem magnetisch-induktiven Durchflussmessgerät.

Oberhalb des Straßenablaufs werden die Wassertiefen mit Ultraschallsensoren aufgezeichnet. Mit Hilfe eines Radarmessgerätes werden die Oberflächengeschwindigkeiten im Oberwasser des Einlaufs gemessen. Über eine kontinuierliche Gewichtsmessung mit Plattform-Wägezellen werden jeweils drei Volumenströme messtechnisch erfasst: (1) das vom Straßenablauf aufgenommene Wasser Q_I , (2) das am Aufsatz vorbeifließende Wasser Q_S und (3) das über den Aufsatz hinwegfließende Wasser Q_O (Abbildung 2). Es gilt:

$$Q = Q_I + Q_S + Q_O \quad (1)$$

In allen Versuchsläufen liegt schießender Abfluss vor, so dass vom unteren Modellrand her keine Randeinflüsse vorhanden sind. Nach einer Zulaufstrecke von etwa 6 m stellen sich auf der Rinne gleichförmige Abflussbedingungen ein, so dass im Bereich des Straßenablaufs nach 8,5 m Zulaufstrecke kein Einfluss durch den oberen Modellrand besteht.

3.1.1 **Versuchsprogramm**

Die Querneigung der Rinne wird auf $S_T = 2,5 \%$ festgesetzt, was einer typischen Straßenquerneigung entspricht. Vier verschiedene Längsneigungen S_L werden untersucht: 2,5 %, 5,0 %, 7,5 % und 10,0 %.

Bei einer angeschlossenen Fläche von 400 m^2 je Straßenablauf, die nach FGSV 2005 empfohlen wird, ergeben sich auf der Grundlage von Niederschlagsspenden beispielhaft für eine Stadt in Nordrhein-Westfalen (Wuppertal) nach KOSTRA-DWD 2000 (2000) die in Tabelle 1 aufgeführten Zuflüsse zu einem Straßenablauf (ohne Abflussbeiwert, Zeitspanne Januar bis Dezember). Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass das von oberhalb liegenden Straßenabläufen nicht aufgenommene Oberflächenwasser zusätzlich den unterhalb liegenden Abläufen zufließt.

Um auch extreme Niederschlagsereignisse mit Jährlichkeiten bis zu $T = 100 \text{ a}$ zu berücksichtigen, werden Zuflüsse in Stufen von $\Delta Q = 3 \text{ l/s}$ zwischen $Q = 3 \text{ l/s}$ und $Q = 21 \text{ l/s}$ ausgewertet.



Abbildung 2: Physikalisches Modell im Wasserbaulabor der Uni Wuppertal

Fünf handelsübliche Pultaufsätze werden untersucht (Abbildung 3). Vier Aufsätze mit den Abmessungen $B_S \times L_S = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ und ein sogenannter Bergeinlauf mit den Abmessungen $B_S \times L_S = 500 \text{ mm} \times 780 \text{ mm}$.

Tabelle 1: Zufluss je Straßenablauf nach FGSV (2005) / KOSTRA-DWD 2000 (2000) (Wuppertal)

T [a]	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0	50,0	100,0
D [min]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]
5	4,30	6,80	9,29	12,59	15,08	17,58	20,88	23,37
10	3,84	5,46	7,07	9,21	10,82	12,44	14,58	16,20
15	3,30	4,56	5,81	7,47	8,72	9,98	11,64	12,89

Folgende Pultaufsätze wurden untersucht, wobei A_O die Öffnungsfläche und B_S die Schlitzweite ist (von links nach rechts in Abbildung 3):

- **Standardaufsatz nach DIN 19583:** $A_O = 980 \text{ cm}^2$, $B_S = 36 \text{ mm}$, 200 – 270 € / Stk.
- **Multitop** (Fa. ACO): $A_O = 1.040 \text{ cm}^2$, $B_S = 24 \text{ mm}$, ca. 270 € / Stk.
- **Budatop** (Fa. MeierGuss): $A_O = 1.160 \text{ cm}^2$, $B_S = 25 \text{ mm}$, ca. 160 € / Stk.
- **Norguss GD** (Fa. EJ): $A_O = 970 \text{ cm}^2$, $B_S = 26 \text{ mm}$, ca. 200 € / Stk.
- **Bergeinlauf:** $A_O = 1.567 \text{ cm}^2$, $B_S = 34,5 \text{ mm}$, 360 – 400 € / Stk.

Die angegebenen Preise gelten inkl. Rahmen und sind den Produktkatalogen der jeweiligen Hersteller entnommen (Stand: August 2016).

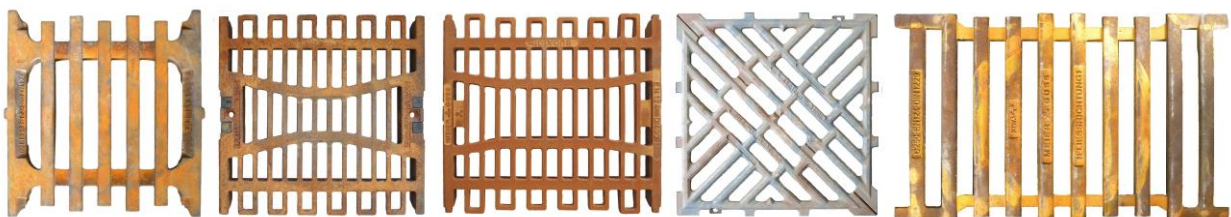


Abbildung 3: Untersuchte Pultaufsätze, Fließrichtung von links nach rechts

3.2 Ergebnisse

Der Regenabfluss auf der Straße wird von Straßenrinnen, die entlang oder zwischen Verkehrsflächen angelegt sind, aufgenommen und zu den Straßenabläufen weitergeleitet. Die Straßenrinne im physikalischen Modell ist als Bordrinne ausgeführt. Bordrinnen werden aus einem Bordstein und einem Streifen der Fahrbahnbefestigung gebildet, welcher zur Fahrbahn gehört und die gleiche Längs- und Querneigung wie die anschließende Verkehrsfläche hat.

Der Abflussquerschnitt des auf der Straße abfließenden Wassers bei Bordrinnen entspricht einem Dreiecksquerschnitt. Zur Beschreibung der Abflussbedingungen auf der Straße wurden Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen oberhalb der Straßenabläufe gemessen. An der Messstelle liegen nahezu stationär gleichförmige Abflussbedingungen vor.

Die Wassertiefen am Bordstein liegen zwischen 10 und 35 mm bei Fließgeschwindigkeiten zwischen 1-2 m/s. Es liegen in allen Versuchsläufen schießende Abflusszustände vor.

Die Leistungsfähigkeit von Pultaufätzen wird definiert als die vom Aufsatz aufgenommene Wassermenge Q_I [l/s]. Die Effizienz der Pultaufsätze wird definiert als das Verhältnis von aufgenommenem Wasser zu zufließendem Wasser:

$$E = \frac{Q_I}{Q} [-] \quad (2)$$

In Abbildung 4 ist die Effizienz in Abhängigkeit des gesamten Zuflusses sowie der Längsneigung für alle untersuchten Aufsatztypen zusammengefasst und vergleichend dargestellt.

Mit größer werdendem Längsgefälle nimmt die Geschwindigkeit zu und damit verringert sich bei gleichem Abfluss die Abflussbreite auf der Straße. Dadurch wird der Anteil, der an dem Straßenablauf vorbeifließt geringer. Aufgrund der zunehmenden Anströmgeschwindigkeiten nimmt der Anteil des über den Aufsatz hinwegfließenden Wassers jedoch zu. Diese beiden Effekte heben sich nahezu gegenseitig auf, sodass der Einfluss der Längsneigung in der Gesamtbeurteilung nur sehr gering ist. Die Effizienz nimmt mit größer werdendem Zufluss ab und liegt beim Standardaufsatz zwischen $E \approx 70\%$ ($Q = 21\text{ l/s}$) und $E \approx 99\%$ ($Q = 3\text{ l/s}$).

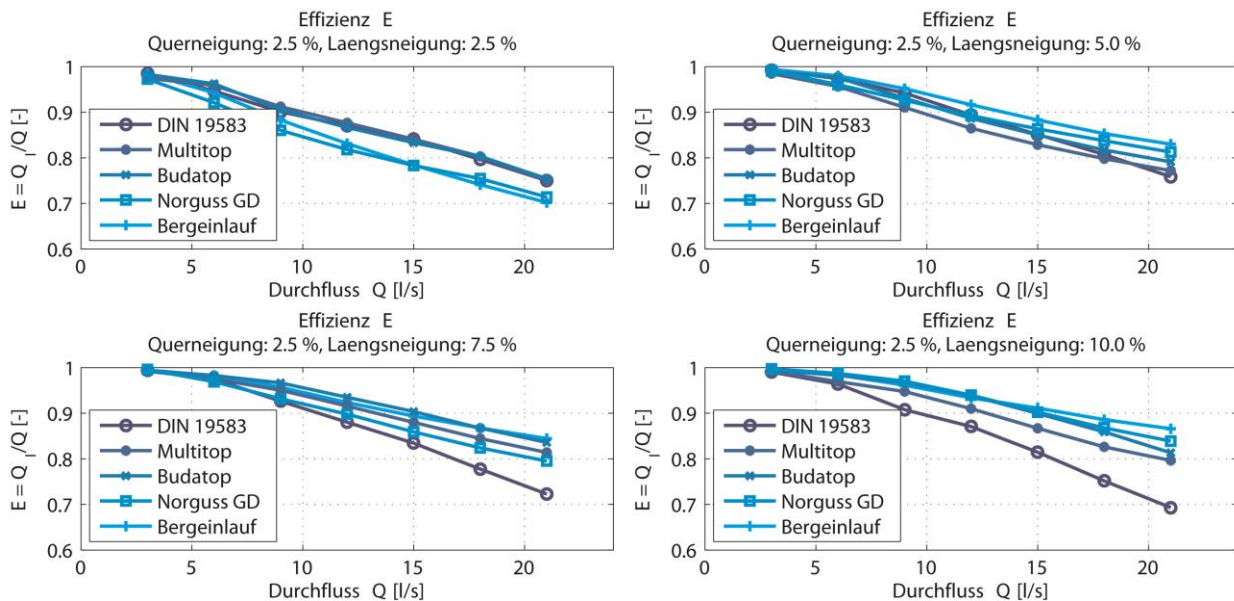


Abbildung 4: Effizienz in Abhängigkeit des gesamten Zuflusses (physikalische Modellversuche)

Der Anteil des am Aufsatz vorbeifließenden Wassers ist nur abhängig von der Breite des Aufsatzes und der Straßengeometrie sowie des Zuflusses, aber unabhängig von der Form des Aufsatzes. Daher ergeben sich für alle untersuchten Aufsätze unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit im Labor sowie eines sehr geringen Anteils, der noch auf der Länge des Aufsatzes in den Straßenablauf abfließt, die gleichen Ergebnisse für das Verhältnis des seitlich vorbeifließenden Wassers zum Gesamtzufluss. Der Anteil des seitlich am Aufsatz vorbeifließenden Wassers nimmt mit größer werdendem Zufluss zu und liegt bei maximal $E_s \approx 25 - 30\%$ ($Q = 21\text{ l/s}$, $S_L = 2,5\%$).

Der Aufsatz Multitop und ebenso der Aufsatz Budatop haben im Vergleich zum Standardaufsatz nach DIN 19583 schmale Längs- und auch Querstreben. Die Öffnungsfläche ist insgesamt größer als die des Standardaufsatzes, die Schlitzweite jedoch geringer. Die Effizienz liegt bei beiden Aufsätzen zwischen $E \approx 75\%$ ($Q = 21\text{ l/s}$) und $E \approx 99\%$ ($Q = 3\text{ l/s}$). Aufgrund der relativ schmalen Streben fließt weniger Wasser auf den Längsstreben über den Aufsatz hinweg als beim Standardaufsatz. Die Krümmung der inneren Längsstreben führt außerdem dazu, dass

das Wasser abgelenkt wird und somit in den Aufsatz fließt, anstatt über den Aufsatz hinweg zu fließen.

Der Aufsatz Norguss GD weist im Gegensatz zu den bisher genannten Pultaufsätzen mit Streben quer zur Fließrichtung ausschließlich diagonal zur Fließrichtung verlaufende Streben auf, die ähnlich breit sind wie die der Aufsätze Multitop und Budatop, die Schlitzweite ist ebenfalls vergleichbar groß. Die Öffnungsfläche ist etwa gleich groß wie die des Standardaufsatzes. Der Anteil des über den Aufsatz hinwegfließenden Wassers ist im Vergleich zu den bisher beschriebenen Aufsätzen mit vorwiegend querverlaufenden Streben geringer. Jedoch fließt geringfügig mehr Wasser am Aufsatz vorbei, da die Öffnungsfläche an der dem Bordstein abgewandten Seite kleiner ist und auf der Länge des Aufsatzes weniger dem Straßenablauf zufließt. Die Effizienz liegt beim Aufsatz Norguss GD zwischen $E \approx 70 \%$ ($Q = 21 \text{ l/s}$) und $E \approx 99 \%$ ($Q = 3 \text{ l/s}$).

Beim Bergeinlauf ist zu erkennen, dass auch bei hohen Längsneigungen von $S_L = 10 \%$ und großen Zuflüssen nahezu das gesamte, auf den Aufsatz zufließende Wasser aufgenommen wird. In diesem Fall hat nur noch die vorbeifließende Wassermenge eine abmindernde Wirkung auf die Effizienz, wodurch sich die verhältnismäßig geringe Effizienz bei einem geringen Längsgefälle von $S_L = 2,5 \%$ erklären lässt.

Die Effizienz liegt beim Bergeinlauf zwischen $E \approx 70 \%$ ($Q = 21 \text{ l/s}$) und $E \approx 100 \%$ ($Q = 3 \text{ l/s}$). Insgesamt ist der Bergeinlauf bei hohen Längsneigungen leistungstärker als die bisher beschriebenen Aufsätze. Zum einen hat die größere Öffnungsfläche einen positiven Effekt auf die Effizienz, zum anderen ist die Form der Querstreben hydraulisch günstig ausgebildet.

In den Laborversuchen konnte beobachtet werden, dass bei den Aufsätzen 500×500 hauptsächlich die vordere Hälfte des Aufsatzes und die dem Bordstein zugewandte Hälfte des Aufsatzes abflusswirksam sind. Die untere, der Straße zugewandte Ecke ist für das Schluckvermögen unwirksam.

Zur Beschreiben der typspezifischen Effizienz der Aufsätze wird nicht der gesamte zufließende Abfluss Q angesetzt, sondern nur der Anteil des Zuflusses, der auf der Breite B_S dem Aufsatz zufließt (frontaler Zufluss Q_{Zu}). Die typspezifische Effizienz ergibt sich zu:

$$E^* = \frac{Q_I}{Q_{Zu}} [-] \quad (3)$$

Bei dieser Betrachtungsweise wird der am Aufsatz vorbeifließende Anteil vernachlässigt, da dieser unabhängig vom Aufsatztyp ist und nur durch die Querneigung der Straße beeinflusst wird. Auf die typspezifische Effizienz hat die Längsneigung einen deutlichen Einfluss. In Abbildung 5 ist die typspezifische Effizienz in Abhängigkeit des frontalen Zuflusses für alle untersuchten Längsneigungen gegeben. Bei geringen Längsneigungen von $S_L \leq 5,0 \%$ sind kaum Unterschiede zu erkennen, nahezu 100% des frontal zufließenden Wassers wird von allen Aufsätzen aufgenommen. Zu erkennen ist, dass insbesondere für große Längsneigungen von $S_L \geq 7,5 \%$ Unterschiede in der typspezifischen Effizienz auftreten. Die Differenz der typspezifischen Effizienz zwischen Bergeinlauf und Standardaufsatz nach DIN 19583 liegt bei bis zu

$\Delta E^* = 15\%$ ($Q = 21$ l/s). Dabei spielt, wie bereits beschrieben, die größere Öffnungsfläche, aber auch die Anordnung der Streben eine Rolle. Die weiteren Aufsätze 500 x 500 mit vom Standardaufsatz abweichenden Geometrien mit schmalen Quer- und Längsstreben sowie diagonalen Streben liefern typspezifische Effizienzen gleicher Größenordnung, die über der Effizienz des Standardaufsatzes aber unter der Effizienz des Bergeinlaufs liegen.

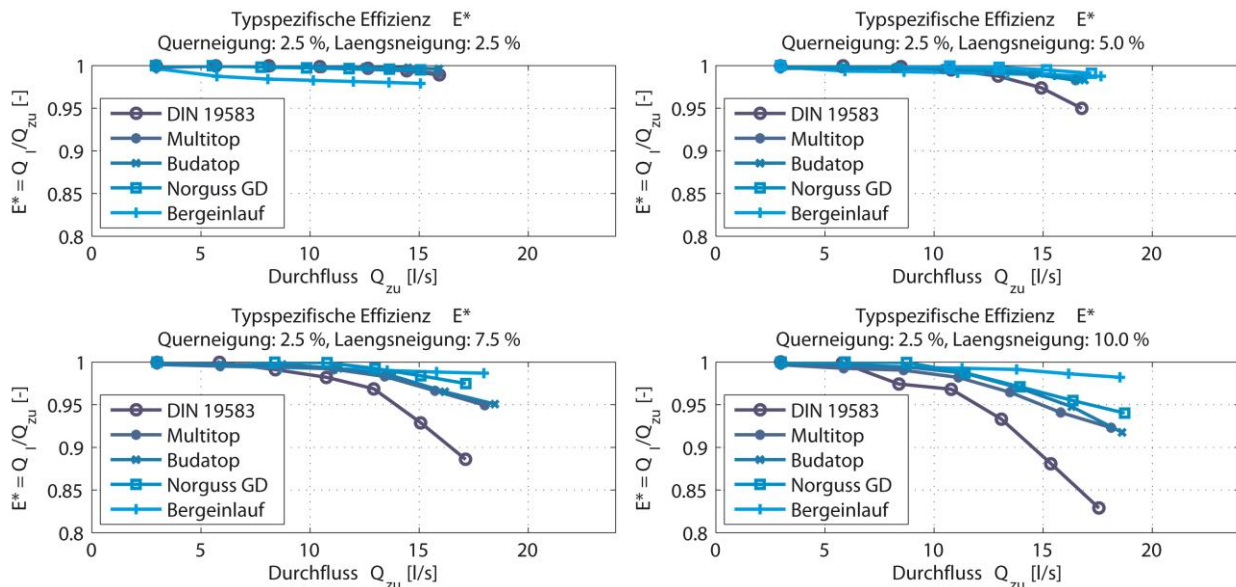


Abbildung 5: Typspezifische Effizienz in Abhängigkeit des frontalen Zuflusses (physikalische Modellversuche)

4 Steigerung der (typspezifischen) Effizienz

Zur Steigerung der gesamten Effizienz bzw. der typspezifischen Effizienz der Aufsätze bei hohen Längsneigungen wurden zwei Strategien verfolgt. Zum einen wurde untersucht, ob die Reduzierung der Fließgeschwindigkeit vor dem Aufsatz zu einer Steigerung der gesamten Effizienz führt. Außerdem wurde in Zusammenarbeit mit der Firma MeierGuss auf Basis der bereits gewonnenen Erkenntnisse eine neue Aufsatzgeometrie entwickelt, um die typspezifische Effizienz zu steigern.

Zur Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten vor dem Aufsatz wurden vier verschiedene Makrorauheiten auf einer Fläche von 500 mm x 500 mm vor dem Aufsatz aufgebracht. Die Untersuchungen wurden für den Standardaufsatz nach DIN 19583 mit einer Längsneigung von 7,5 % durchgeführt.

In Abbildung 6 ist die gesamte Effizienz E in Abhängigkeit des Durchflusses Q der physikalischen Modellversuche gegeben. Mit der Ausführungsvariante 4 mit einer diagonal ausgerichteten Riffelung konnte die Effizienz insgesamt gesteigert werden. Bei einem Zufluss von $Q = 21$ l/s wird der absolute Wert der Effizienz E um fast 10 % erhöht, von $E \approx 70\%$ auf $E \approx 80\%$. Bei einer Makrorauheit der Variante 4 fließt deutlich weniger Wasser an dem Straßenablauf vorbei, die Fließbreite wird durch die diagonale Riffelung in Richtung Bordstein reduziert. Dadurch erhöht sich der frontale Zufluss und der Anteil des über den Straßenablauf hin-

wegströmenden Wassers ist größer. In diesem Fall ist der Effekt der Reduzierung der Abflussbreite stärker als die Auswirkungen der Erhöhung des frontal zufließenden Wassers, sodass in der Gesamtbetrachtung der Effizienz der Makrorauheit 4 die größte Steigerung aufweist.

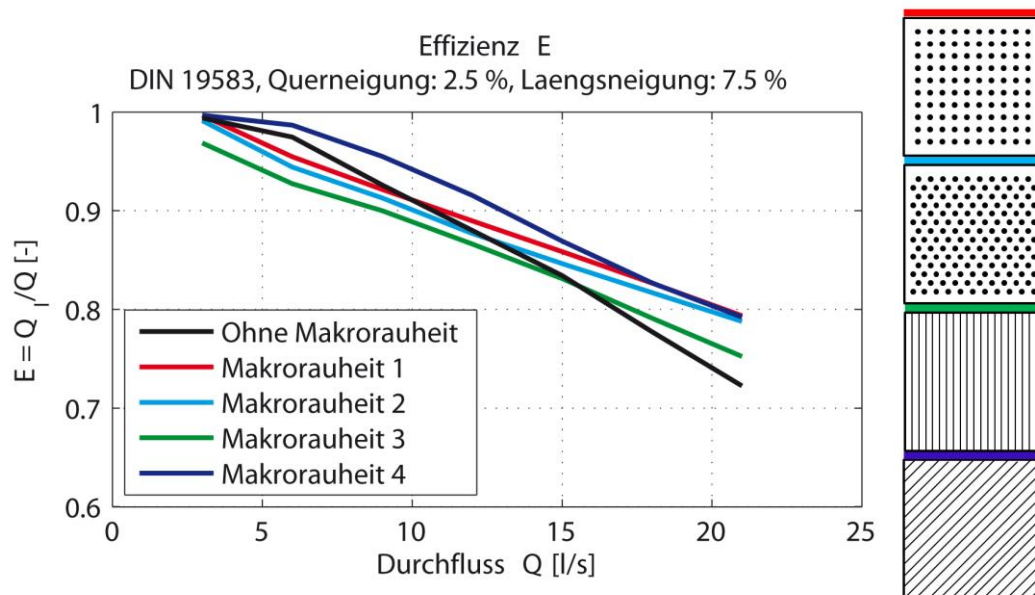


Abbildung 6: Variantenbetrachtung (physikalische Modellversuche, $S_L = 7,5 \%$, Effizienz E , Fließrichtung von links nach rechts)

In Zusammenarbeit mit der Firma MeierGuss wurde basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen der in Kapitel 3 beschriebenen physikalischen Modellversuche der Aufsatz MEIDRAIN® weiterentwickelt, um die typspezifische Effizienz zu erhöhen, also den Anteil des über den Aufsatz hinweg fließenden Wassers zu minimieren.

- Aufsatz Klasse D400, 500x500 Pultform
- Schlitzweite: 31 mm
- Schlitzlänge: ca. 165 mm
- Einlaufquerschnitt: 955 cm²
- Preis/Stk. (inkl. Rahmen): ca. 280 € (Herstellerangaben, Stand: 2016)

Die Schlitzweite der Öffnungen sowie die Länge der Öffnungen liegen innerhalb der nach DIN EN 124 geforderten Grenzen.

Im Vergleich zu den in Kapitel 3 beschriebenen Aufsatzgeometrien besitzt der MEIDRAIN® (Abbildung 8, rechts) hauptsächlich Längsstreben. Diese sind jeweils zur mittleren Längsstrebe (Rippe) hin geneigt, so dass das Wasser nicht, wie beim Standardaufsatz nach DIN 19583 beobachtet, über die Längsstreben hinwegfließen kann, sondern in den Ablauf abgelenkt wird. Die querverlaufende mittlere Rippe ist gerade, jedoch vertieft angeordnet. Die Querstreben am Rand des Aufsatzes sind nach innen gewölbt, so dass ein vergrößerter Einlaufquerschnitt am oberen Aufsatzrand entsteht. Aus diesem Grund sind auch die mittleren drei Längsstreben gekürzt worden. Die vergrößerte Öffnungsfläche führt zu einem verbesserten Schluckvermögen.

Da die typspezifische Effizienz bei geringen Längsneigungen ($S_L \leq 5 \%$) bei allen Aufsätzen bereits bei nahezu 100 % liegt, ist eine Steigerung der typspezifischen Effizienz für diese Randbedingungen nicht mehr möglich und notwendig.

Der Aufsatz MEIDRAIN[®] weist jedoch bei hohen Längsneigungen und hohen Abflüssen eine verbesserte Effizienz auf, die in etwa der des Bergeinlaufs entspricht (mit Ausnahme $S_L = 10 \%$, $Q \geq 18$ l/s). In diesem Fall konnte die typspezifische Effizienz im Vergleich zum Standardaufsatz von $E^* \approx 83 \%$ auf $E^* \approx 96 \%$ gesteigert werden.

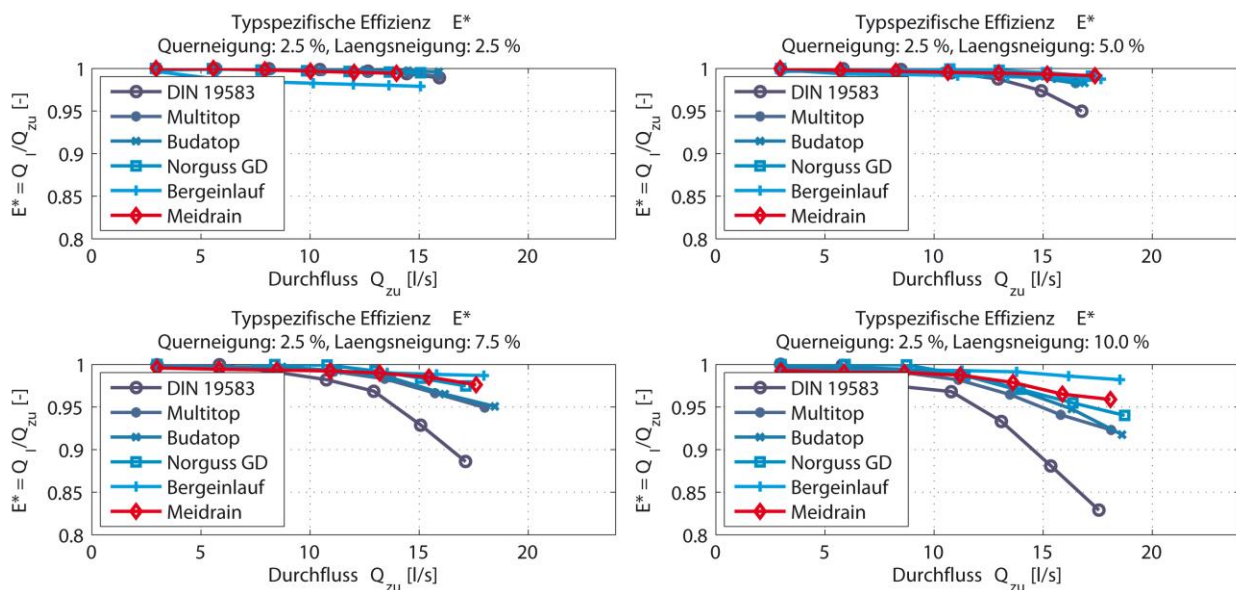


Abbildung 7: Typspezifische Effizienz MEIDRAIN[®] (physikalische Modellversuche, $S_L = 2,5 \%$)

In Abbildung 8 ist das Einströmverhalten des Standardaufsatzes nach DIN 19583 und des Aufsatzes MEIDRAIN[®] bei einer hohen Längsneigung von 10 % und einem mittleren Durchfluss von 12 l/s dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Wasserstrahl im Falle des MEIDRAIN[®] besser nach unten abgelenkt wird und nicht wie beim Standardaufsatz auf eine Querstrebe trifft und nach oben und unten abprallt. Es ist weniger spritzendes Wasser zu beobachten.



Abbildung 8: Physikalisches Modell, $S_L = 100 \%$, $Q = 12$ l/s, links: Standardaufsatz nach DIN 19583, rechts: MEIDRAIN[®]

5 Feldversuche

Zur Validierung der physikalischen Modellversuche wurden in Zusammenarbeit mit den Technischen Betrieben Solingen (TBS) Feldversuche in der Wittekindstraße in Solingen unter „realen“ Abflussbedingungen durchgeführt. Die Straße weist eine Längsneigung von etwa 6 % und eine Querneigung von etwa 2,5 % auf. Untersucht wurde ein Standardaufsatz nach DIN 19583 mit den Abmessungen $B_S \times L_S = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$. Mithilfe von zwei Hydranten wurde eine definierte Wassermenge (Frischwasser) etwa 35 m oberhalb des Straßenablaufs auf der Straße zum Abfluss gebracht. Vor dem Ablauf konnte sich bereits ein stationär gleichförmiger Abfluss einstellen. Die durch den Ablauf abfließende Wassermenge wurde aufgefangen und per Volumenmessung bestimmt.

Die Ergebnisse der Feldversuche im Vergleich zu den Laborversuchen sind in Tabelle 2 dargestellt (ohne Makrorauheit beide für $S_L = 6 \%$). Bei den Feldversuchen konnte ein ähnliches Einströmverhalten am Straßenablauf wie im Labor beobachtet werden (Abbildung 9). Unter Berücksichtigung der Messungenauigkeiten insbesondere im Feld können die Laborversuche durch die Feldversuche bestätigt werden.

Neben dem IST-Zustand wurde ebenfalls in den Feldversuchen eine Variante zur Steigerung der Effizienz untersucht. Beispielhaft wurde die Makrorauheit 4 (Platte mit diagonaler Riffelung) zur Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten vor dem Straßenablauf eingesetzt. Da die Laborversuche nur für eine Längsneigung von $S_L = 7,5 \%$ durchgeführt wurden, die Straße aber eine Längsneigung von $S_L = 6 \%$ aufweist, kann der Vergleich zu den Laborversuchen nur näherungsweise erfolgen. Im Vergleich zur Untersuchung ohne „Makrorauheit“ vor dem Aufsatz konnte auch in den Feldversuchen eine leichte Steigerung der Effizienz mit „Makrorauheit“ beobachtet werden.



Abbildung 9: DIN 19583, $Q = 9 \text{ l/s}$ (links: Labor ($S_L = 5 \%$), rechts: Feld ($S_L = 6 \%$))

Tabelle 2: Effizienz E : Feldversuche vs. Laborversuche (Aufsatz nach DIN 19583)

Q [l/s]	3	6	9	12	13,8	15	18	21
E [-] Labor	0,99	0,97	0,93	0,88	0,86	0,84	0,79	0,74
E [-] Feld	0,97	0,98	0,95	0,93	0,93	-	-	-
	Mit Makrorauheit 4							
E [-] Labor*	0,99	0,98	0,95	0,91	-	0,89	0,82	0,79
E [-] Feld	0,97	0,96	0,94	0,89	0,89	-	-	-

* $S_L = 7,5\%$

6 Numerische Modellversuche

Die dreidimensionalen numerischen Modellversuche, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, wurden mit der CFD Software FLOW-3D (Fa. Flow Science) durchgeführt. Die Geometrie der Aufsätze wird als STL-Datei (STL = Stereolithography) eingeladen (Abbildung 10). Aufgrund der sehr feingliedrigen Struktur der Aufsätze werden Zellgrößen mit maximal 4 mm Kantenlänge im Bereich des Aufsatzes gewählt, um die korrekte Abbildung der Geometrie zu gewährleisten. Zwei verschiedene Aufsätze werden untersucht, der Aufsatz nach DIN 19583 sowie der Aufsatz Multitop. Die STL-Dateien wurden von der Firma ACO Tiefbau zur Verfügung gestellt. Die geometrischen Abmessungen des numerischen Modells entsprechen exakt denen des physikalischen Modells (Maßstab 1:1).

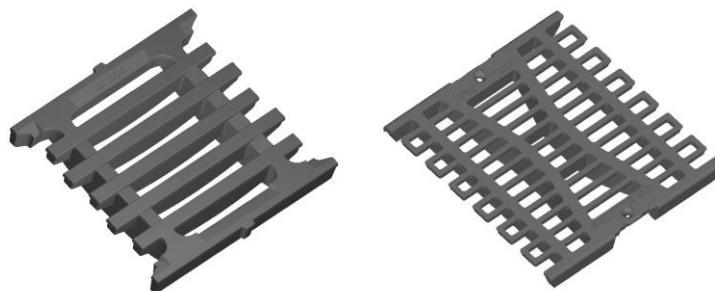


Abbildung 10: Aufsätze als STL-Datei (links: Aufsatz nach DIN 19583, rechts: ACO Multitop)

Die Zuflussrandbedingung ist als *Volume Flow Rate* definiert, die Unterwasserrandbedingung als *Outflow*, ebenso die Randbedingung für den Ausfluss aus dem Straßenablauf an der Unterseite der Modellgeometrie. Die Oberflächenrauheit der Modellrinne ist zu $k = 1,5$ mm gewählt, die Rauheit des Aufsatzes zu $k_f = 0,3$ mm. Im Rahmen einer Parameterstudie wurde der Einfluss verschiedener Netzauflösungen (für Mesh Block (MB) 1 und 2) zum Nachweis der Netzunabhängigkeit sowie drei verschiedene Turbulenzmodelle (k - ϵ -Turbulenzmodell, RNG Turbulenzmodell, k - ω -Turbulenzmodell) untersucht.

Die Strömungsverhältnisse im Oberwasser des Aufsatzes, die charakterisiert sind durch hohe Fließgeschwindigkeiten mit geringen Wassertiefen und ausschließlich schießendem Abfluss können mit dem numerischen Modell abgebildet werden. Die Abweichungen zu den Laborversuchen betragen maximal 10 % für die Wassertiefen und 15 % für die Fließgeschwindigkeiten (siehe Abbildung 12, links: Wassertiefen, rechts: Fließgeschwindigkeiten). Die in Abbildung 12 dargestellten Ergebnisse wurden für Zellgrößen von $dx = dy = 8 - 12$ mm, $dz = 3$ mm (MB1) und $dx = dy = 4$ mm, $dz = 3$ mm (MB2) mit dem RNG Turbulenzmodell (*Renormalized group*, basierend auf k - ϵ -Turbulenzmodell) berechnet. Die Gesamtanzahl der Berechnungszellen beträgt ca. 26 Mio. Zellen.

PC Eigenschaften: Intel® Core™ i7-4770 CPU 3,40 GHz, 32 GB RAM

Simulationszeit: 15 Sekunden (erreichen eines stationären Zustands) je Modelllauf

Rechenzeit: ca. 50 - 100 Stunden je Modelllauf

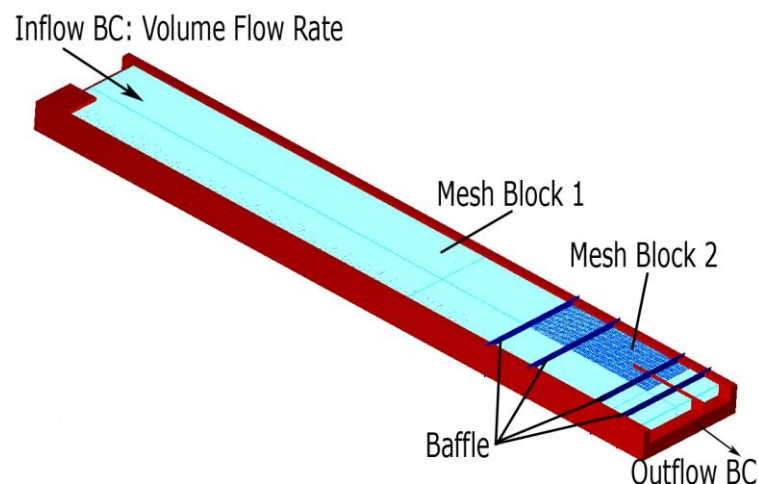


Abbildung 11: Numerisches Modell

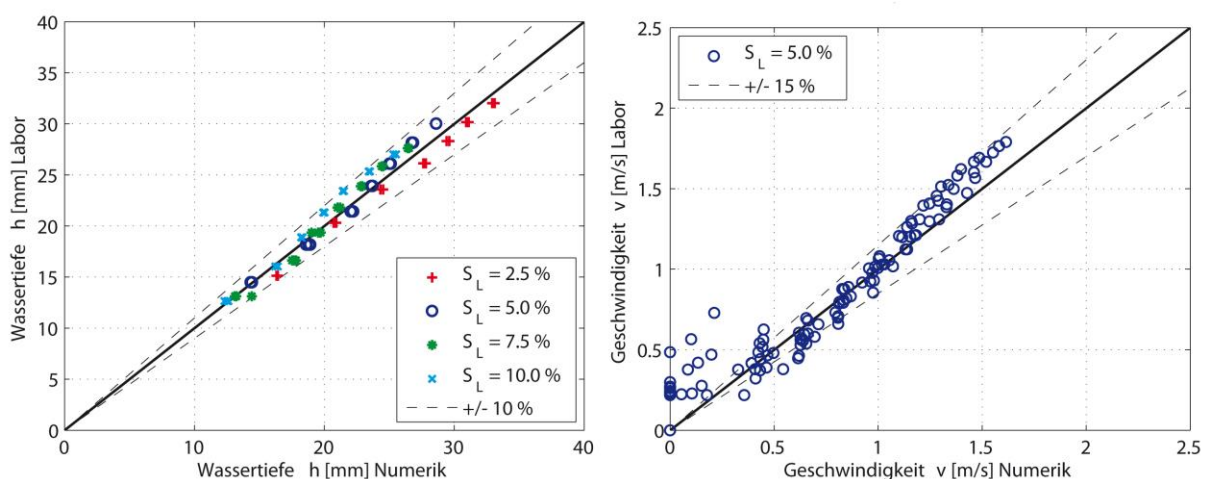


Abbildung 12: Labor vs. Numerik (links: Wassertiefen, rechts: Fließgeschwindigkeiten)

Aufgrund der sehr hohen Rechenzeiten waren weitere Modellversuche im Rahmen des Projektes z. B. mit noch feiner aufgelösten Rechenetzen mit Zellgrößen $dz \leq 1$ mm, die durch die

sehr geringen Fließtiefen und hohen Geschwindigkeiten auf dem Aufsatz möglicherweise notwendig werden, nicht möglich. Die orientierenden numerischen Modellversuche liefern prinzipiell gute Ergebnisse bezüglich des Einströmverhaltens am Aufsatz. Die Abflussbreite und damit auch die am Aufsatz vorbeifließende Wassermenge kann mit dem numerischen Modell berechnet werden. Allerdings ist die Größenordnung der durch den Aufsatz abfließenden Wassermenge und der über den Aufsatz fließenden Wassermenge noch nicht zufriedenstellen, so dass hier für die praktische Anwendbarkeit weitere Untersuchungen notwendig werden.

7 Bewertung der Ergebnisse und Ausblick

Vor dem Hintergrund vermehrt auftretender Starkregenereignisse, die überall auftreten können und nahezu jeder davon betroffen sein kann, wird der Umgang mit Starkregen im urbanen Raum immer wichtiger und es besteht akuter Handlungsbedarf. Mit den beschriebenen Untersuchungen konnte die Effizienz von handelsüblich eingesetzten Straßenablauf-Aufsätzen quantifiziert werden. Mit den gewonnenen Ergebnissen wurde eine weitere Wissenslücke im Umgang mit Starkregen im urbanen Raum wissenschaftlich untersucht. Hiermit kann in Zukunft eine fundierte Auswahl der Straßenabläufe für ein ganzheitlich ausgerichtetes „Risikomanagement Sturzfluten“ erfolgen, wie im Praxisleitfaden „Starkregen und urbane Sturzfluten“ von BWK und DWA (BWK 2013) gefordert. Die Ergebnisse dienen weiterhin als Teil der Eingangsdaten für zukünftige Entwässerungsplanungen. Diese Planungen können z.B. mithilfe bidirektional gekoppelter Modelle, mit denen die Ausbreitung sowie die Strömungsverhältnisse des an der Oberfläche abfließenden Regenabflusses beschrieben werden können, durchgeführt werden.

Hybride Simulationen vereinen die Vorteile von physikalischen und numerischen Modellversuchen. Die physikalischen Modellversuche zur Ermittlung der Effizienz von Straßenablauf-Aufsätzen weisen eine hohe Anschaulichkeit auf und liefern vergleichsweise schnell Ergebnisse bei bestehendem Versuchsaufbau. Abhängig von der verfügbaren Messtechnik ist die Auswertung verschiedener Größen jedoch eingeschränkt, mit numerischen Modellen ist hingegen die Auswertung beliebiger Größen an allen Orten möglich. Außerdem können im numerischen Modell veränderte geometrische Randbedingungen wie angepasste Aufsätze, Längs- und Querneigungen, etc. vergleichsweise schnell umgesetzt werden, im physikalischen Modell ist dies nur begrenzt möglich. Die orientierenden numerischen Modellversuche haben prinzipiell die Anwendbarkeit numerischer dreidimensionaler Modelle für die Simulation der Strömungsvorgänge an Straßenabläufen aufgezeigt, auch wenn weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich des Einströmverhaltens am Aufsatz besteht.

Die physikalischen Modellversuche haben gezeigt, dass die Effizienz neuartiger Aufsätze im Vergleich zu dem häufig verbauten Standardaufsatz 500 x 500 nach DIN 19583 teilweise deutlich höher ist. Im Rahmen von Neubau- oder auch Sanierungsmaßnahmen erscheint es hier empfehlenswert, Alternativen zum Standardaufsatz einzubauen. Die Anschaffungskosten liegen in vergleichbarer Größenordnung wie der Standardaufsatz. Der Einlaufquerschnitt spielt hier eine maßgebende Rolle, aber auch die Anordnung der Streben hat einen maßgeblichen

Einfluss, wie die Ergebnisse des angepassten Aufsatzes MEIDRAIN® gezeigt haben. Für Straßen mit hohem Längsgefälle oder dort wo relativ gesehen erhöhte Ansprüche an die Ableitung von Oberflächenwasser in das Kanalsystem gestellt werden, ist ein Aufsatz mit hoher Schluckfähigkeit und guter Effizienz, wie es zum Beispiel beim Bergeinlauf aufgrund der größeren Öffnungsfläche und der geneigten Querstreben gegeben ist, zu empfehlen.

Zu beachten ist, dass durch die begrenzte Breite der Aufsätze von maximal 500 mm insbesondere bei Straßen mit geringem Längsgefälle nahezu immer ein gewisser Anteil unabhängig vom Aufsatztyp am Straßenablauf vorbei fließt, eine Ausnahme bilden hier Straßenabläufe in Senkenlage (hier nicht näher betrachtet).

Die Feldversuche haben gezeigt, dass die im Labor gemachten Beobachtungen auch unter nahezu realen Bedingungen auf der Straße (z.B. keine Verschmutzung des Aufsatzes) beobachtet werden können.

Die Ergebnisse des FuE-Projektes sind ein wichtiger Baustein in der Gesamtbetrachtung „Umgang mit Starkregen im urbanen Raum“. Ein vollständiger Schutz durch eine veränderte Anordnung von Aufsätzen oder einer optimierten Aufsatzgeometrie vor Überschwemmungen aus Starkregen kann nicht erzielt werden. Allerdings haben die Ergebnisse gezeigt, dass insbesondere bei Regenereignissen im Bereich des Bemessungsfalls das auf der Straße abfließende Wasser durch effiziente Aufsätze verringert werden kann und so auch das Gesamtvolumen des Kanals vollständig genutzt wird.

Nichts desto trotz tauchen innerhalb der Fachwelt regelmäßig zwei weitere zentrale Fragen auf. Zum einen ist der Schlammeimer sehr häufig und insbesondere im Herbst gefüllt, so dass zu untersuchen ist, ob hierdurch eine Abflussbegrenzung durch das ableitende System auftritt. Zum anderen legt sich Laub und Schmutz auf dem Aufsatz ab. Zu untersuchen ist, wie sich die Verringerung des Einlaufquerschnitts auf die Leistungsfähigkeit auswirkt. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

8 Literaturverzeichnis

BWK (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, BWK-Fachinformation 1/2013.

DIN 19583 (2012): Aufsätze 500 x 500 für Straßenabläufe, Klasse C 250 und Klasse D 400, Teil 1: Zusammenstellung, Teil 2: Einzelteile, Oktober 2012, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.

DIN EN 752 (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, April 2008. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.

DWA (2013): Methoden der Überflutungsberechnung: Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 „Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation“, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2013(60), Nr. 6, 506-511.

DWA-A 118 (2006): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt DWA-A 118, DWA-Regelwerk, März 2006. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, e.V., Köln.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds)]. IPCC, Genf, Schweiz.

KOSTRA-DWD-2000 (2000): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000). Deutscher Wetterdienst, Offenbach.

Thiele, F. (1983): Fahrbahnlängsentwässerung im Straßengerinne mit kontinuierlichen oder diskreten partiellen Entnahmen und ein Entwurf für zukünftige Richtlinien zur Bemessung, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.