

# **Ein Ansatz zur theoretischen Abschätzung des Feststoffeintrags in Niederschlagsabflüsse**

Martina Dierschke

Frankfurt University of Applied Sciences, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik, Frankfurt am Main

## **Kurzfassung**

Die Begrenzung des Stoffaustrags durch Niederschlagswassereinleitungen sowohl bei Trenn- als auch bei Mischwassereinleitungen wird in Deutschland zukünftig auf der Grundlage des Parameters „AFS<sub>fein</sub>“ bzw. „AFS63“ bewertet werden. Bisher gibt es jedoch noch wenige Messdaten über den AFS63-Gehalt in Niederschlagsabflüssen. Das Messen in Niederschlagsabflüssen ist kostenaufwendig, schwierig und mit einer Vielzahl von möglichen Fehlerquellen behaftet. Der vorliegende Beitrag stellt ergänzend zu Messungen oder als Alternative einen entwickelten Ansatz zur theoretischen Ermittlung des Feststoffgehalts in Verkehrsflächenabflüssen in Abhängigkeit von den vorliegenden Randbedingungen vor.

## **1 Einleitung**

Die Begrenzung des Stoffaustrags durch Niederschlagswassereinleitungen sowohl bei Trenn- als auch bei Mischwassereinleitungen wird in Deutschland zukünftig auf der Grundlage des Parameters „AFS<sub>fein</sub>“ bzw. „AFS63“ erfolgen [Schmitt, 2012], [Schmitt, 2014]. Das neue, derzeit noch nicht veröffentlichte, DWA Arbeitsblatt A 102 „Anforderungen an Niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse“ nimmt diesen Parameter auf [Schmitt, 2012]. Andere Regelwerke, wie ein in Diskussion stehender möglicher Anhang Niederschlagswasser zur Abwasserverordnung [BLAG, 2008], werden dem vermutlich folgen. Der Grund für die Einigung auf diesen Parameter ist, dass feine Feststoffe mit einer Korngröße zwischen  $> 0,45 \mu\text{m}$  und  $\leq 63 \mu\text{m}$  (AFS63) abhängig von der Herkunftsfläche überproportional mit Schadstoffen belastet sein können und ein Rückhalt mittels Sedimentation in Behandlungsanlagen, die den anerkannten Regeln der Technik entsprechen, erreicht werden kann. Gelöste Stoffe (z.B. gelöste Schwermetalle, gelöste sauerstoffzehrende Stoffe und gelöste Nährstof-

fe) werden naturgemäß nicht durch die abfiltrierbaren Feststoffe erfasst und sind situationsbedingt gesondert zu bewerten.

Um den erforderlichen Feststoffrückhalt für Behandlungsanlagen von Niederschlagsabflüssen belasteter Gebiete zu definieren, sollte die für eine Einleitung tolerierbare Fracht an AFS63 in  $[\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})]$  aus einem durch die Beschreibung der Nutzung definierten nicht behandlungsbedürftigen Gebiet bekannt sein. Hier sind jedoch Wissenslücken vorhanden, da zum einen selten in wenig belasteten Abflüssen gemessen wird. Zum anderen ist das Messen in Niederschlagsabflüssen im Vergleich zu z.B. kontinuierlich mit geringen Mengenschwankungen fließenden Schmutzwasserzu- oder -abläufen ungleich schwieriger. Für die Angabe des Jahresmittelwertes sollten möglichst viele Niederschlagsereignisse eines Jahres verteilt auf alle Jahreszeiten erfasst werden. Oft werden jedoch nur fünf bis zehn% aller Niederschlagsereignisse beprobt, in sehr ausführlichen Messprogrammen mit Hilfe von sogenannten Feststoffsammlern 60% bis maximal 80% [Grotehusmann et al., 2013]. Auch werden Probennahme, Probenaufbereitung, Analytik und Datenauswertung nicht immer gleich durchgeführt. Die Interpretation der Ergebnisse von Messkampagnen liefert daher nur eingeschränkt verlässliche Informationen.

Die Idee der hier vorgestellten Arbeit war, anhand von Kenntnissen zum Aufkommen und Verbleib partikulärer Stoffe in Niederschlagsabflüssen aus Literaturstudien und eigenen Messprogrammen einen Ansatz zur theoretischen Abschätzung des Feststoffeintrags in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche (Dach, Verkehrsfläche oder Trenngebiet) in Niederschlagsabflüsse zu entwickeln [Dierschke, 2014a]. Die theoretische Abschätzung kann dazu dienen, Ergebnisse aus Messprogrammen zu plausibilisieren oder maßgebliche Einflussfaktoren auf den potenziellen AFS-Gehalt aufzuzeigen. Exemplarisch wird im Folgenden die Herangehensweise zur Abschätzung des Feststoffaufkommens in Verkehrsflächenabflüssen vorgestellt.

## **2 Aufkommen und Verbleib von Feststoffen in Verkehrsflächenabflüssen**

Der Feststoffgehalt in Verkehrsflächenabflüssen stammt - einzugsgebietsabhängig in unterschiedlichen Anteilen - aus dem Staubniederschlag, von Abriebprodukten und Verbrennungsrückständen aus dem Verkehr sowie von Einträgen aus der Bodenerosion unbefestigter Flächen, Bautätigkeiten und aus landwirtschaftlichen Aktivitäten.

Der Fahrbahnabrieb kann im Winter durch Frosteinwirkung und Streusalzung verstärkt werden [Dierschke, 2014b].

Nicht alle Feststoffe, die sich als Staub auf Verkehrsflächen sammeln, gelangen unweigerlich in den Abfluss. Feine Anteile können durch Wind oder Verkehrsturbulenzen aufgewirbelt werden, finden sich im Feinstaub der Luft wieder und werden in die Umgebungsluft transportiert [ASTRA, 2009], [Fuchs et al., 2010a]. Auf nassen Fahrbahnen wird zusätzlich ein hoher Anteil des Niederschlages und der enthaltenen Schmutzfracht ins Umland verfrachtet [Boller et al., 2005], [Kaufmann, 2008a]. Lärmschutzwände und in geringerem Maß Randsteine vermindern diesen Effekt [Kaufmann, 2008b]. Durch Straßenreinigungen können vor allem die groben Anteile des Straßenstaubs entfernt werden; feine Anteile werden dadurch kaum reduziert [Vaze, Chiew, 2002]. In den Niederschlagsabfluss schließlich gelangen abhängig von der Niederschlagsintensität insbesondere die feineren Anteile des Straßenstaubs.

Neben den oben beschriebenen Prozessen findet ein Rückhalt vor allem der größeren Feststoffe in Straßeneinläufen oder im Kanalsystem statt [Fuchs et al., 2010b], [Stein, 2008]. Diese Effekte sind abhängig vom Straßeneinlaufsystem, von der Topografie und von der Wartung im Kanalsystem. Feine Feststoffe werden, ähnlich wie suspendierte Stoffe, überwiegend weiter bis zum Trenngebietsauslass transportiert.

### **3 Vorgehensweise der Abschätzung**

Die Schwierigkeit einer Quantifizierung von Feststoffen in Niederschlagsabflüssen ist in Abb. 1 am Beispiel eines Verkehrsflächenabflusses dargestellt. Ihr Eintrag ist abhängig vom Standort, der maßgeblich charakterisiert wird durch die Belastungssituation, die Topografie und bauliche Randbedingungen. Zusätzlich beeinflussen die aktuell herrschenden Randbedingungen wie Regenintensität, Trockenperioden, Wind, Verkehrssituation etc. die Feststofffracht und deren Korngrößenverteilung. Allgemeingültige Einzeldaten sind kaum vorhanden und nicht immer übertragbar, da

- die vorhandenen Studien unterschiedliche Medien (Luft, Staubniederschlag, Gesamtabrieb, Straßenstaub, Niederschlagsabflüsse) betrachten,
- nicht alle Anteile detailliert gemessen wurden,
- Angaben über Korngrößen kaum verfügbar sind,

- abhängig von den Randbedingungen feine Anteile des Straßenstaubs in die Luft gelangen und somit wiederum den Feinstaubgehalt und in der Folge den Staubbiederschlag beeinflussen,
- abhängig von den Randbedingungen überwiegend gröbere Anteile nicht in den Straßenabfluss gelangen, sondern liegen bleiben und/oder entfernt werden.

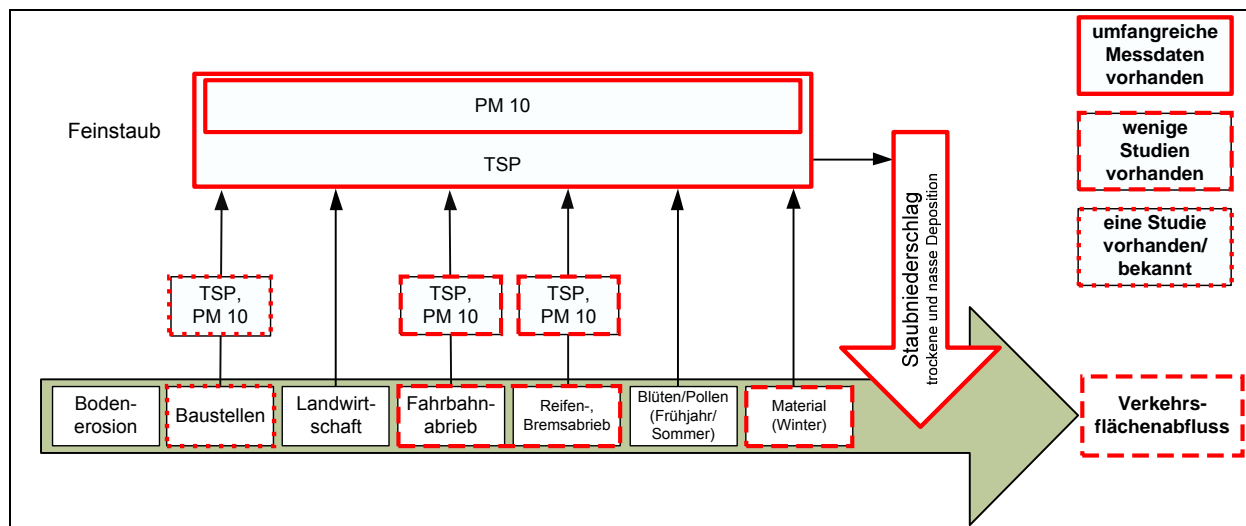


Abb. 1: Vorhandene Studien/Messdaten von Feststoffanteilen im Verkehrsflächenabfluss (PM10: Feinstaubpartikel in der Luft mit Korngrößen  $< 10 \mu\text{m}$ ; TSP: gesamter Feinstaub in der Luft mit Korngrößen  $< 200 \mu\text{m}$ )

Umfangreiche Messdaten liegen lediglich über den Feinstaubgehalt in der Luft, z.B. [UBA, 2015] und den Staubbiederschlag, z.B. [LANUV, 2012a], [HLUG, 2014], vor.

Es gibt einige Messreihen in Verkehrsflächenabflüssen, die jedoch abhängig von den Zielsetzungen ganz unterschiedlich durchgeführt wurden. Studien, die neben dem gesamten AFS den AFS63 im Fokus hatten, sind weiterhin selten. Die Auswertung von Studien, in denen die Korngrößenverteilung der Niederschlagsabflüsse ermittelt wurde, ergab eine Spannweite von 25 bis 90% AFS63-Anteil [Dierschke, Welker, 2015], so dass eine allgemeingültige Aussage über die Verteilung grober und feiner Feststoffe in Niederschlagsabflüssen kaum möglich ist.

Vereinzelte Studien beschäftigten sich mit dem Eintrag von Feinstaub durch verkehrsbedingten Abrieb [Nielsen et al. 2003] unterteilt in den Feinstaubanteil PM10 (Korngröße  $< 10 \mu\text{m}$ ) und den Gesamtfeinstaubgehalt TSP ( $< 200 \mu\text{m}$ ) oder aus Baustellentätigkeiten in die Luft [Stadt Herne, 2009]. Hierbei ist zu beachten, dass Feinstaub durch Wind weit transportiert werden kann und erst nach einer Agglome-

ration zu größeren Bestandteilen als Staubniederschlag zu Boden sinkt. Staubniederschlag in  $[g/(m^2 \cdot d)]$  enthält durch die Erfassung der trockenen und nassen Deposition auch die gelösten Stoffe im Niederschlag. Eine Studie befasste sich mit dem Eintrag von Feststoffen aus Bautätigkeiten in Niederschlagsabflüsse [Owens et al., 2000]. Andere wenige Studien schlossen auf einen zusätzlichen Eintrag von Feststoffen in Niederschlagsabflüsse nach der Winterperiode, z.B. [Nadler und Meißner, 2008], [Lambert, 2011]. Es existieren Hochrechnungen zum jährlichen Gesamtabrieb von Straßen, Reifen oder Bremsen z.B. [EEA, 2003], [Hillenbrand et al., 2005] - hier fehlen wiederum Angaben zur Korngrößenverteilung und zum Eintrag der Abriebsprodukte in die Niederschlagsabflüsse.

Nicht vorhanden bzw. bekannt sind Studien über den Feststoffeintrag von Wind- oder Wassererosion in Niederschlagsabflüsse, über den Eintrag von Verschmutzungen durch die Landwirtschaft und die Auswirkung vegetationsbedingter Einträge wie Pollen auf den Feststoffgehalt in Niederschlagsabflüsse.

Die Vorgehensweise einer Quantifizierung der einzelnen Feststoffanteile sowie Abminderungs- und Erhöhungsfaktoren im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde daher unterschiedlich in Abhängigkeit vom Vorliegen der vorhandenen Daten durchgeführt und soll anhand zweier Beispiele erläutert werden:

#### 1. Verkehrsbedingter Abrieb

Aus den Angaben zu

- einem Gesamtverlust an Abriebs-, Reifen-, und Bremsverlust in t/a,
- der Korngrößenverteilung dieser Verluste,
- Betrachtungen zum Verwehen feiner Anteile auf der einen Seite und nicht in den Abfluss gelangen der sehr groben Anteile auf der anderen Seite
- Anteilen an Abriebs-, Reifen- und Bremsverlust im Staubniederschlag in  $[g/(m^2 \cdot d)]$  jeweils für PKW und Schwerlastverkehrfahrzeuge,

wurde ein Wert in  $[kg/(ha \cdot a \cdot Fahrzeug)]$  vorgeschlagen, der durch Faktoren die Randbedingungen kennzeichnend abgemindert oder erhöht werden kann.

#### 2. Einfluss der Vegetationszeit auf den Staubniederschlag

Aus der

- Auswertung von monatlich vorliegenden Staubniederschlagsdaten von mehr als 100 Standorten in Deutschland und Österreich, vgl. Abb. 2 und
- eigenen Messungen an einem pollenbelasteten Dach [Kreiling, 2012]



Faktoren Randbedingung: für Jahreszeit, Vegetationsanteil, Verkehrsart, Anzahl Fahrspuren

Faktoren Reduktion: für Straßenkehrung und Randbebauung

Bei der Umrechnung des Feststoffabtrags in  $[\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})]$  auf eine Konzentrationen im Niederschlagsabfluss in  $[\text{mg}/\text{l}]$  - oder umgekehrt - spielen sowohl die jährliche Niederschlagsmenge als auch Verluste eine Rolle – die anders als bei mengenmäßigen Betrachtungen nur mit den Anteilen Anfangs-, Mulden- und Verdunstungsverlust angesetzt werden. Diese wurden mit 0,8 für Verkehrsflächen vorgeschlagen.

#### 4.2 Bedeutsame Einflussfaktoren

Aus Sensitivitätsanalysen kristallisierten sich je nach Belastungssituation unterschiedliche Einflussfaktoren für die Herkunftsflächen als bedeutsam heraus, vgl. Tab. 1.

*Tab. 1: Bedeutende Einflussfaktoren auf den Feststoffgehalt in Niederschlagsabflüssen abhängig von der Flächenart*

Flächenart	hohe Staubbelastung	Bodenerosion Bautätigkeit, Landwirtschaft	Art der Randbebauung	Verkehrsart (ruhig oder gestört)
Dach	X			
Verkehrsfläche mit geringer DTV	X	X		
Verkehrsfläche mit hoher DTV			X	X
Trenngebiet (Einfluss in geringerem Maß)	X	X		

Dachabflüsse werden tatsächlich durch hohen Staubbiederschlag in Emissionsnähe maßgeblich im Feststoffgehalt beeinflusst. Dies gilt auch für Verkehrsflächen mit geringer Verkehrsbelastung (bis etwa 10.000 DTV). Hier führen unter normalen Randbedingungen (geringe Staubbelastung, keine Lärmschutzwände, keine Ampelkreuzung) außergewöhnliche Verschmutzungen durch Bautätigkeit, Landwirtschaft oder Bodenerosion von Verkehrsflächen stärker zu einer Erhöhung insbesondere des

AFS63-Gehaltes als der verkehrsbedingte Abrieb. Bei Verkehrsflächen mit hoher DTV (ab etwa 10.000 DTV) wird der theoretisch ermittelte Feststoffgehalt der Niederschlagsabflüsse überprägt durch den verkehrsbedingten Abrieb. Bei stark mit Verkehr belasteten Flächen (hier: 50.000 DTV) beeinflussen die Verkehrsart (ruhig oder gestört durch Stausituation oder Ampelkreuzung) und die Randbebauung (Lärmschutzwände z.B.) das dem Niederschlagsabfluss zur Verfügung stehende Feststoffaufkommen - und noch deutlicher den Feinanteil davon - signifikant.

### 4.3 Verifizierung

Die Verifizierung schließlich wurde mit Hilfe von gut beschriebenen Messprogrammen durchgeführt. Falls Daten und Angaben fehlten, wurden diese im mittleren oder normalen Bereich angenommen, vgl. Abb. 3.

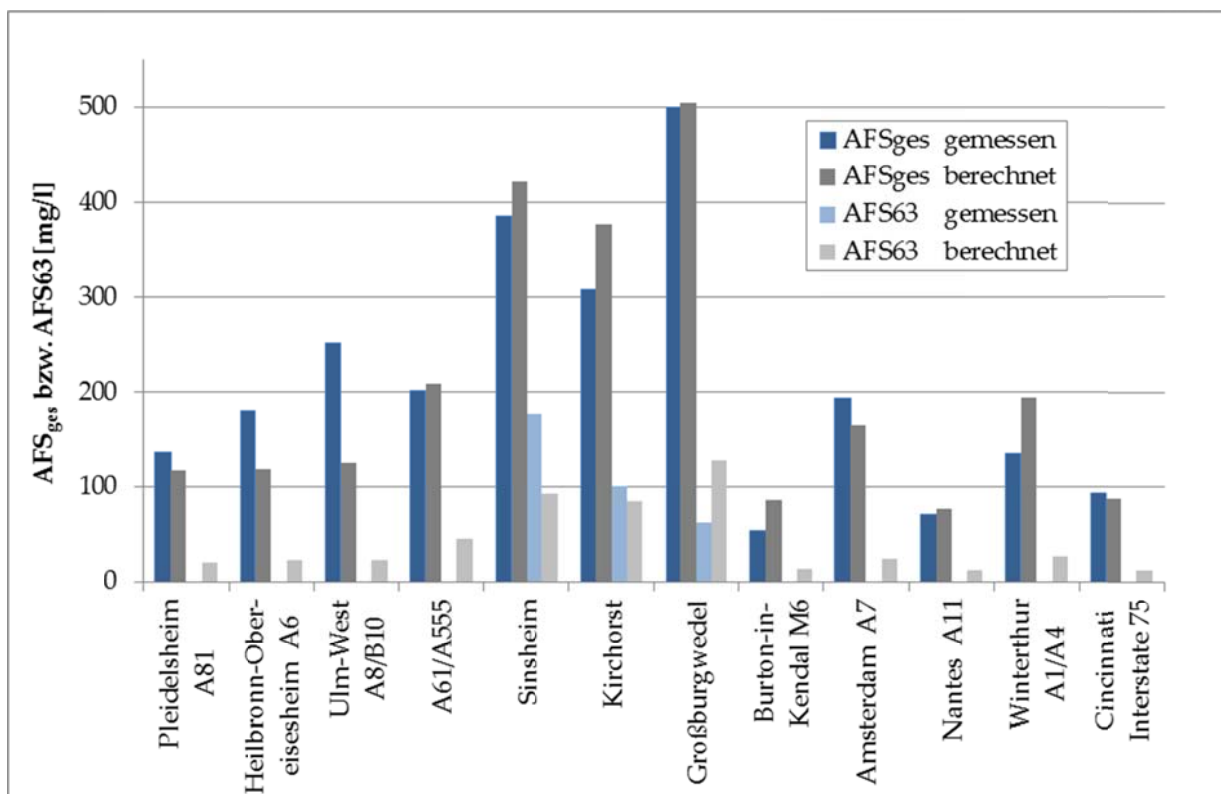


Abb. 3: Vergleich der berechneten und gemessenen Feststoffkonzentrationen in Autobahnabflüssen [Dierschke, 2014a]

Die Verifizierung zur Berechnung des AFS<sub>ges</sub>-Gehaltes war insgesamt zufriedenstellend. Große Unterschiede konnten teilweise erklärt werden: In den Autobahnabflüssen in Heilbronn und Ulm-West z.B. waren unbefestigte Flächen mit angeschlossen,



die zu einem höheren Feststoffeintrag führten. Weitere Unsicherheiten bestanden in den Fällen, in denen zu wenig Messdaten oder zu geringe Kenntnis der Randbedingungen vorhanden waren.

Zwischen den theoretisch abgeschätzten und gemessenen AFS<sub>63</sub>-Gehalten ergaben sich in den drei Studie in Autobahnabflüssen große Unterschiede, die theoretische Abschätzung des AFS<sub>63</sub>-Gehaltes konnte somit mangels Studien nicht abschließend verifiziert werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Eine theoretische Abschätzung des zu erwartenden Gesamtfeststoffgehaltes in Niederschlagsabflüssen im Vorfeld oder ergänzend zu Messprogrammen ist mit gutem Ergebnis möglich. Das Beobachten und Dokumentieren der Randbedingungen im Einzugsgebiet ist dabei jedoch unabdingbar und sollte sorgfältig durchgeführt werden. Gleiches gilt allerdings auch für das Durchführen von Messprogrammen: Außergewöhnliche Befunde können in den meisten Fällen mit den Randbedingungen und besonderen Belastungen im Einzugsgebiet erklärt werden.

Die theoretische Abschätzung des AFS<sub>63</sub>- Gehaltes konnte mangels zur Verfügung stehender Studien nicht abschließend und befriedigend verifiziert werden. Einige Fragen werden trotz weiterer zukünftiger Messprogramme zu diskutieren sein und/oder auch offen bleiben:

- *Ist der Parameter AFS<sub>63</sub> als Jahresmittelwert überhaupt messbar (Proben-dichte, Probennahme, Probenaufteilung, Probenvorbereitung, Analytik, ...)?* Zur Probenaufteilung und Analytik liegen bereits neuere Untersuchungen vor [Dierschke, Welker, 2015]. Studien, die den Parameter AFS<sub>63</sub> in Regenklärbecken im Fokus haben und sicherlich interessante neue Erkenntnisse ergeben, werden derzeit in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg durchgeführt [Eyckmanns-Wolters, 2013].
- *Lassen sich alle Einflussfaktoren wirklichkeitsnah beschreiben, so dass eine theoretische Abschätzung möglich ist (Aufkommen, Einfluss der Vegetation, Wind, Windrichtung, Turbulenzen, hydrologische Randbedingungen, Retention, ...)?* Hier ist die Frage, ob ein Verneinen der Frage nicht gleichermaßen für Messergebnisse in Niederschlagsabflüssen gilt und durch

Messen gewonnene Ergebnisse die gleichen, möglicherweise zufälligen Effekte beinhalten.

Das Einordnen des Verschmutzungspotenzials von Flächen in Herkunftskategorien erscheint auf jeden Fall sinnvoll. Hier sollten eventuell weitere bzw. andere Bewertungsparameter, die einfach nachprüfbar sind, eingeführt werden:

Bei der Beurteilung, ob Dach- und Verkehrsflächen aller **Gewerbe- und Industriegebiete** grundsätzlich behandelt werden müssen, sollte der Parameter: „**Staubniederschlag**“ neben der „**DTV**“ Grundlage der Beurteilung sein. Gemäß Tabelle 1 beeinflusst der (einfach zu messende) Staubniederschlag den Feststoffgehalt in Dach- und Verkehrsflächenabflüssen mit geringer DTV und in Trenngebietsabflüssen maßgeblich. Sollten sich staubemittierende Gewerbebetriebe ansiedeln, liegt es auf jeden Fall näher und ist kostengünstiger die Ursache der Belastung zu reduzieren (Feinstaubfilter, Überdachung von Umschlagplätzen etc.) als eine flächendeckende Niederschlagswasserbehandlung umzusetzen.

Bei durch **Verkehr stärker belasteten Straßen** sind neben der DTV die Verkehrssituation (**Ampel, Kreuzung, Staustrecken**) und die Randbebauung (**Lärmschutzwände, sonstige Barrieren**) für die Belastung der Niederschlagsabflüsse maßgeblich. Diese Randbedingungen sollten Eingang in die Beurteilung der Belastung dieser Flächen finden und – wie es heute auch schon teilweise praktiziert wird – zu punktuellen, dezentralen Behandlungsansätzen führen. Die alleinige Angabe der Verkehrsbelastung (DTV) erscheint nicht ausreichend, die Behandlungsbedürftigkeit einer Verkehrsfläche zu beurteilen. Diese wird gemäß der theoretischen Abschätzung unter normalen sonstigen Bedingungen (Staubbelastung, keine Lärmschutzwände, keine Ampelkreuzung, keine sonstigen Verschmutzungen aus Bautätigkeiten oder Bodenerosion etc.) erst ab einer höheren Verkehrsbelastung als 2.000 DTV erreicht. Um dies abschließend zu klären, wären gezielte weitere Messungen in Straßenabflüssen in dem Bereich von etwa 1.000 DTV bis 10.000 DTV erforderlich.

## Literatur

- ASTRA - Bundesamt für Straßen, Schweiz (2009): PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Straßenverkehrs (APART). Bern, 2009. Forschungsauftrag ASTRA 2005/007
- BLAG (Bund-Länder-Arbeitsgruppe) (2008): „Entwürfe für einen „Anhang Niederschlagswasser“ zur Abwasserverordnung“ vom 04.06.2008, 21.02.2008, 19.09.2007, 21.08.2005
- Boller, M.; Kaufmann, P.; Ochsenbein, U. (2005): Bankette bestehender Straßen. Untersuchung der Versickerung von Straßenabwasser über Straßenrandstreifen an einer bestehenden Straße. Schlussbericht Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit eawag, Dübendorf, FH Bern, GSA, Bern, ASTRA, Bern, BUWAL, Bern, 2005
- Dierschke, M. (2014a): Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM63) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche. Dissertation im Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, Mai 2014. <https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/index/index/docId/3808>
- Dierschke, M. (2014b): Aufkommen und Verbleib von feinen Feststoffen in Verkehrsflächenabflüssen. WASSER UND ABFALL. 9/2014. S. 24 - 29
- Dierschke, M.; Welker, A. (2013): Feine Feststoffe (PM63) in Dachabflüssen. gwf Wasser Abwasser (154), Nr. 11, S. 1242-1249
- Dierschke, M.; Welker, A. (2015): Bestimmung von Feststoffen in Niederschlagsabflüssen. gwf Wasser Abwasser (156), Nr. 4, S. 440 - 446
- EEA (European Environment Agency, EU) (2003): Emission Inventory Guidebook, SNAP Code 070700, August 2003
- Eyckmanns-Wolters, R.; Fuchs, S.; Maus, C.; Sommer, M.; Voßwinkel, N.; Mohn, R.; Uhl, M.; Schmitt, T.G.; Berger, C. (2013): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen. Phase 1. Projektbericht im Auftrag des MKULNV NRW, Oktober 2013
- Fuchs, S.; Lambert, B.; Grotehusmann, D. (2010a): Eigenschaften und Behandlung von Regenabflüssen aus Trennsystemen; zentrale Behandlung. Hauraton Seminar „Dezentrale Behandlung von schadstoffbelastetem Niederschlagswasser auf Verkehrsflächen“ am 6.10.2010 in Frankfurt
- Fuchs, S.; Lambert, B.; Grotehusmann, D. (2010b): Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen. Springer-Verlag online, Heidelberg. Umweltwiss Schadst Forsch (2010) 22, 661-667,
- Grotehusmann, D., Lambert, B., Fuchs, S., Graf, J. (2013): Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss. Schlussbericht zum BAST Forschungsvorhaben FE-Nr. 05.152/2008/GRB, Hannover, 2013
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2014): Depositionen von Staubbiederschlag, letzte Änderung am 21.01.2014. <http://www.hlug.de/start/nachhaltigkeit-indikatoren/indikatoren/umweltindikatoren-hessen/depositionen-von-staubniederschlag.html>
- Hillenbrand, T., Touissant, D., Böhm, E., Fuchs, S., Scherer, U., Rudolphi, A., Hoffmann, M., Kreißig, J., Kotz, Ch. (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. UBA-Texte 19/05, Umweltbundesamt

- Kaufmann, P. (2008a): Abwasser von Hochleistungsstraßen. Berner Strategie für Reinigung. gwa - Fachzeitschrift des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW und des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, 7/2008, S. 509 – 515
- Kaufmann, P. (2008b): Straßenabwasser – Filterschacht. Schlussbericht des Forschungsauftrags ASTRA 2005/202 der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Biel und Burgdorf, 2008.
- Kreiling, J. (2012): Belastung von Abfiltrierbaren Stoffen (PM63) in Niederschlagswasserabflüssen und Verifizierung einer Berechnungsmatrix anhand von Messdaten. Masterarbeit im Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik. Studiengang Infrastrukturmanagement der Fachhochschule Frankfurt am Main und der Technischen Hochschule Mittelhessen, Frankfurt, 2012
- Lambert, B. (2011): Prüfung von dezentralen Straßenabflussbehandlungsverfahren im Feld. Vortrag am Seminar „Dezentrale Behandlung von Niederschlagsabflüssen“ am 12. Mai 2011 an der FH Frankfurt
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW) (2012): Messergebnisse der Staubbiederschlagsmessungen. Jahresmittel und Monatswerte 2010 und 2011.  
Aus:<http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/staub/messergeb.htm>
- Nadler, A.; Meißner, E. (2008): Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen des Entwicklungsvorhabens „Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen“. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hrsg., Augsburg, 2008
- Nielsen, M.; Winther, M.; Illerup J.B.; Mikkelsen, M. H (2003): Danish emission inventory for particulate matter (PM). Research Notes from NERI (National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment, Denmark) No. 189, Copenhagen, 2003
- Owens, D.W.; Jopke, P. Hall, D.W.; Balousek, J.; Roa A. (2000): Soil Erosion from Two Small Construction Sites, Dane County, Wisconsin. USGS Fact Sheet FS 109-00, August 2000
- Schmitt, T.G. (2012): Weiterentwicklung des DWA-Regelwerks für Regenwetterabflüsse – ein Werkstattbericht. KA – Abwasser, Abfall (59) Nr. 3, 192-199
- Schmitt, T.G. (2014): Weiterentwicklung des Regelwerks zur Einleitung von Regenwetterabflüssen in Gewässer. Vortrag auf dem 17. Symposium Flussgebietsmanagement beim Wupperverband. Gebietsforum „Wupper“ der Bezirksregierung Düsseldorf am 21./22. Mai 2014
- Stadt Herne (2009): Merkblatt zur Bekämpfung von Staubemissionen durch Baustellen, Stand September 2009
- Stein, R. (2008): Auswirkungen optimierter Straßenabläufe auf Feststoffeinträge in Kanalisationen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008
- UBA (Umweltbundesamt) (2015): Themen - Luft -: Luftschadstoffe im Überblick - Feinstaub.  
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub>. Zuletzt gesehen am 15.05.2015
- Vaze, J.; Chiew, F.H.S. (2002): Experimental Study of Pollutant Accumulation on an Urban Road Surface. Urban Water 4 (2002) S. 379 – 389

Anschrift der Verfasserin:

Dr.-Ing. Martina Dierschke  
Frankfurt University of Applied Sciences  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik  
Nibelungenplatz 1  
D-60318 Frankfurt am Main  
martina.dierschke@fb1.fra-uas.de