

Feststoffaufkommen und Schadstoffbeladung von Partikeln im Regenabfluss eines Gewerbegebiets in Freiburg (Süddeutschland)

Philipp Baum und Ulrich Dittmer

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
Universität Stuttgart

Kurzfassung: Um die Datenbasis zum Aufkommen von feinen Feststoffen (AFS63, Partikel $< 63 \mu\text{m}$) und deren tatsächlicher Beladung mit Spurenstoffen und Metallen zu erweitern, wird der Oberflächenabfluss in einem, im Trennsystem entwässerten, Gewerbegebiet volumenproportional beprobt. Im Zeitraum von November 2015 bis November 2016 wurden hier 23 Regenereignisse beprobt und das Feststoffaufkommen (AFS) in drei Größenklassen ($< 63 \mu\text{m}$, $63 - 2000 \mu\text{m}$, $> 2000 \mu\text{m}$) untersucht. Seit Februar 2017 werden am gleichen Standort Probenahmen durchgeführt und die Feststoffe in 4 unterschiedlichen Größenfraktionen ($< 63 \mu\text{m}$, $63 - 125 \mu\text{m}$, $125 - 250 \mu\text{m}$, $250 - 2000 \mu\text{m}$) neben Standardparametern auf 41 Spurenstoffe und 22 Metalle untersucht. Entgegen der Annahme, dass die kleinsten Partikel am stärksten mit Schadstoffen beladen sind, zeigen erste Auswertungen von 3 Regenereignissen, dass die Beladung der Feststoffe mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in den kleinsten drei Größenfraktionen annähernd identisch ist.

Key-Words: Feststoffaufkommen, AFS63, Spurenstoffe, Trennsystem, Oberflächenabfluss, Regenwasser

1 Einleitung

Urbane Niederschlagsabflüsse sind teilweise stark mit Schadstoffen belastet und können, bei Einleitung in Gewässer, einen erheblichen negativen Einfluss auf deren Qualität haben. Um den, durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie geforderten, guten ökologischen und guten chemischen Zustand der Gewässer wieder herzustellen und/oder aufrecht zu erhalten, müssen daher Niederschlagsabflüsse vor der Einleitung ins

Grundwasser oder ein Oberflächengewässer gegebenenfalls behandelt werden.

In Deutschland wird auf Bundesebene durch die technischen Verbände BWK und DWA ein einheitliches technisches Regelwerk für die Behandlung von Regen- und Mischwasser erarbeitet. Im derzeit vorliegenden Entwurf wird als Bewertungskriterium für niederschlagsbedingte Emissionen der Parameter AFS63 eingeführt (DWA, 2016). Er bezeichnet die Feststofffraktion mit einem Partikeldurchmesser $< 63 \mu\text{m}$ (Feinfraktion). Die im Niederschlagsabfluss vorkommenden Schadstoffe wie auch Schwermetalle sind größtenteils partikulär gebunden (Gromaire et al., 1999; Huber et al., 2015). Die Eingrenzung auf die Feinfraktion (AFS63) begründet sich dadurch, dass die feineren Partikel überproportional stark mit Schadstoffen beladen sind (Xanthopoulos und Hahn, 1992; Welker, 2005). Im neuen Arbeitsblatt wird die Belastung des Abflusses über eine Kategorisierung der zu entwässernden Flächen anhand ihres Herkunftsbereiches ermittelt. Die Flächen werden abhängig ihrer Belastung in drei Belastungskategorien (gering – mäßig –stark) eingeteilt, welchen jeweils ein spezifischer Stoffabtrag für AFS63 zugewiesen wird. Bei gering belasteten Abflüssen bedarf es keiner Behandlung. Der flächenspezifische Frachtaustrag dieser Belastungskategorie ($280 \text{ kg/ha}\cdot\text{a}$) wird als zulässiger Frachtaustrag zur Einleitung in Oberflächengewässer definiert (DWA, 2016).

Die Belastung von urbanen Niederschlagsabflüssen variiert sehr stark, abhängig vom Standort, der Flächennutzung sowie der Art der Befestigung. Bislang gibt es noch recht wenig Daten zum Aufkommen von AFS63 sowie zur tatsächlichen Beladung mit Schadstoffen (Dierschke, 2014; Schmitt, 2015). Um die Datenbasis zu erweitern, sollen in diesem Beitrag die Ergebnisse einer Messkampagne zum Feststoffrückhalt einer Regenwasserbehandlungsanlage (RFM) in einem Gewerbegebiet in Freiburg vorgestellt werden. Dabei wird insbesondere auf das Aufkommen der Feinfraktion sowie das Verhältnis zur Grobfraktion eingegangen. Darüber hinaus soll die Schadstoffbelastung in unterschiedlichen Größenfraktionen der Partikel aufgezeigt werden.

2 Material und Methoden

2.1 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet (siehe Abbildung 1) umfasst das Gewerbegebiet Freiburg Haid mit einer Fläche von 110,3 ha. Das Gebiet wird im Süden von der Matsyamaallee (B3) und im Norden von der Kreisstraße K985 (Opfinger Straße) begrenzt. Im Westen stellt die Besançonallee die Begrenzung dar, während die ostwärts gelegene Siedlungsgrenze durch Wald und landwirtschaftliche Flächen gebildet wird. Die Bebauung wird geprägt durch industriell und kleingewerblich genutzte Gebäude, die überwiegend mit flachen Dächern ausgestattet sind. Es existieren Grünflächen zwischen asphaltierten Straßen und den bebauten Grundstücken. Das Einzugsgebiet liegt mit geringer Neigung (NG 1) am Rande des Mooswaldes. Das Gewerbegebiet besitzt eine befestigte Fläche von 76,5 ha und weist somit einen Versiegelungsgrad von 70 % auf (Stadt Freiburg, 2011).

Das gesamte Einzugsgebiet wird im Trennsystem entwässert. Am Ende des RW-Kanalnetzes in der BötzingerstraÙe hat der Kanal einen Durchmesser von DN 2000 und ist Teil der dortigen Behandlungsanlage. Der Kanal wird nach der Behandlungsanlage in Richtung Gewässer fortgeführt und endet schließlich in einem offenen Grabenprofil. Über diesen Graben werden die Abflüsse in einen naturnah gestalteten Regenrückhalteraum abgeleitet, bevor sie in den Schelmengraben (sehr geringe Wasserführung) eingeleitet werden. Das von der Behandlungsanlage zurückgehaltene Volumen wird am Ende des Reinigungszyklus in den SW-Kanal geleitet.

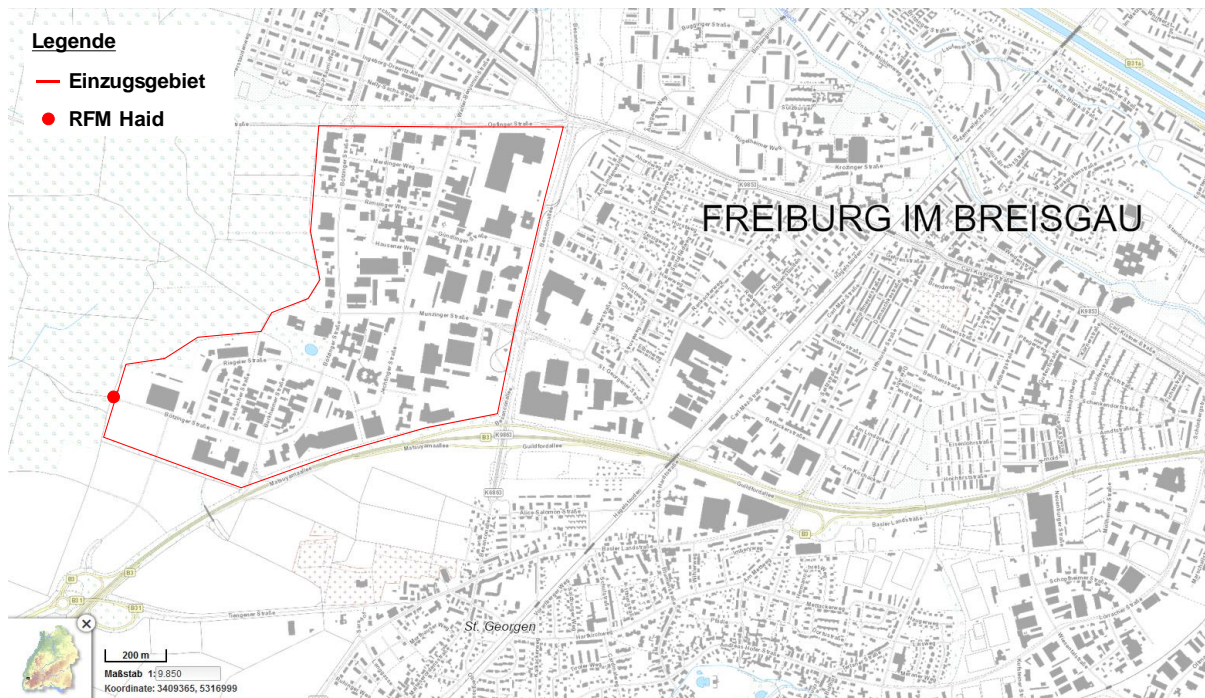


Abbildung 1: Einzugsgebiet RFM Haid (Kartengrundlage: LUBW, 2016)

2.2 Regenwasserbehandlungsanlage

Bei der Regenwasserbehandlungsanlage (RFM Haid) handelt es sich um eine Pilotanlage dieses Typs (Regenwasserklärung Freiburger Modell, RFM). Die Anlage ähnelt einem Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung. Somit nutzt das RFM im Gegensatz zu einem Regenklärbecken das vorhandene Volumen im Regenwasserkanal. Im Bauwerk ist eine Wehrschwelle ($h = 2,2 \text{ m}$) eingebaut, die über ein Absenkschütz ($h = 1 \text{ m}$) verfügt. Dieses ermöglicht nach dem Einstau und einer gewissen Sedimentationszeit (während der Untersuchung auf 6 h eingestellt) das Weiterleiten von gereinigtem Wasser in Richtung Gewässer. Im Bauwerk wird bei Trockenwetter das anfallende Fremdwasser über einen Bypass mit integriertem Leichtstoffabscheider geleitet und dort mittels Sonde kontinuierlich auf Ölverunreinigungen kontrolliert (Sonde momentan deaktiviert). Im Bypass wird ebenfalls der pH-Wert kontinuierlich erfasst und überwacht. Ca. 400 m oberhalb des Bauwerks befindet sich ein Schacht mit Spüleinrichtung. Hier wird zu Beginn eines Regenereignisses zunächst ein Stauschild ($h = 0,78 \text{ m}$) geschlossen, damit sich ein Spülwasservolumen von ca. 85 m^3 anstauen kann. Nach einem Regenereignis und der

vollständigen Entleerung des Regenwasserkanals zwischen beiden Bauwerken öffnet sich das Stauschild und das angestaute Spülwasser reinigt den Kanal und wird dann ebenfalls dem Schmutzwasserkanal zugeführt. Vor dem Spülschild befindet sich eine weitere pH-Sonde. Sollte der pH-Wert an einer der beiden Messstellen den unteren Grenzwert von 6,6 unterschreiten, bzw. den oberen Grenzwert von 8,6 überschreiten, wird eine Havariemeldung ausgelöst. Dasselbe gilt wenn Ölverunreinigungen detektiert werden. Im Falle einer Havarie wird der Bypass zum Gewässer umgehend geschlossen und das eingestaute Havarienvolumen wird dem Schmutzwasserkanal zugeführt. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Behandlungsanlage mit den in der Messkampagne beprobten Stellen.

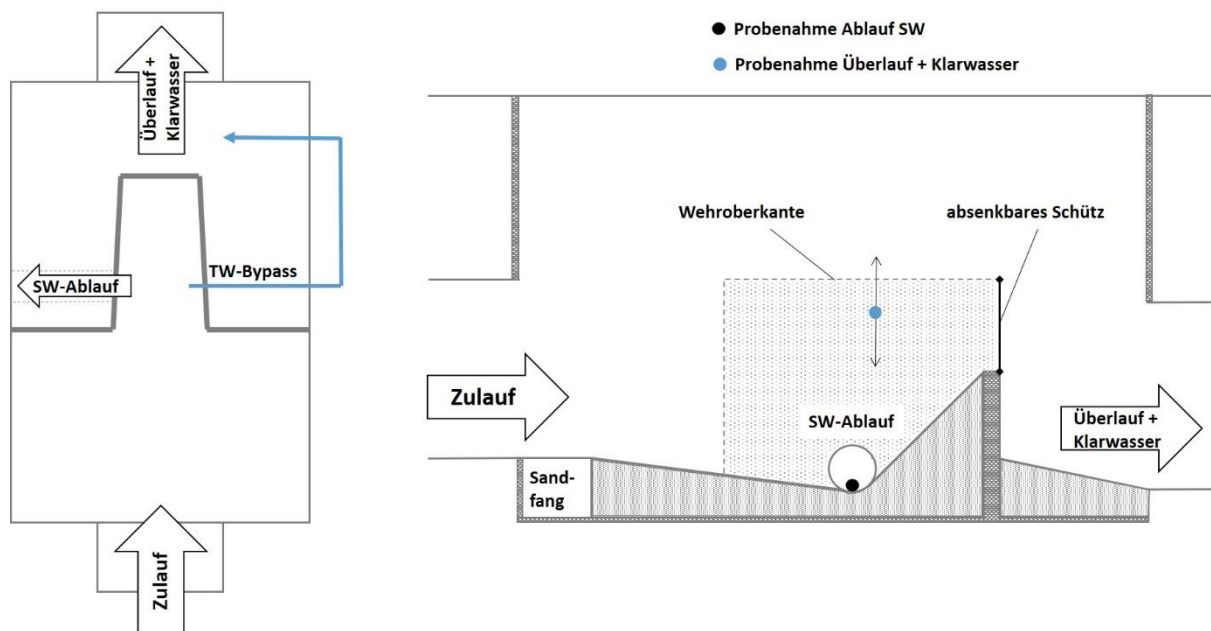


Abbildung 2: Regenwasserbehandlung nach Freiburger Model (RFM); links: Ansicht von oben, recht: Querschnitt mit Probenahmestellen

2.3 Probenahme

In der Regenwasserbehandlungsanlage wurde eine Probenahmestelle mit zwei Tauchpumpen eingerichtet. Eine der Pumpen ist kurz vor der Wehrschwelle schwimmend aufgehängt um den Überlauf (Bauwerk komplett eingestaut und Regenabfluss hält an) sowie den Klarwasserabzug (öffnen des Schützes nach Sedimentationsphase) möglichst präzise zu beproben.

Die andere Pumpe ist auf der Sohle vor dem Ablauf zum SW-Kanal angebracht (siehe Abbildung 2). Im weiterführenden Regenwasserkanal ist eine Durchflussmessung eingebaut (OCM Pro der Firma NIVUS), um eine volumenproportionale Beprobung zu ermöglichen. Die volumenproportionale Beprobung des Ablaufs ist über eine Höhenstand-Volumen-Beziehung der Anlage verwirklicht.

Die Beprobung erfolgt in sogenannten Feststoffsammlern (FSS). Dies sind großvolumige Behälter mit einem Fassungsvermögen von ca. 1000 L. Nach einem Beprobungsereignis und einer Sedimentationszeit von 1-3 Tagen werden die Feststoffe aus den FSS gewonnen. Hierbei wird zuerst Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit sowie der Füllstand in den Behältern festgehalten. Im nächsten Schritt wird vorsichtig das Überstandswasser aus den FSS abgelassen bis nur noch ein Restvolumen von ca. 10 L verbleiben. Von dem abgelassenen Überstandswasser wird dabei eine repräsentative Teilprobe genommen, um den ggf. darin enthaltenen Anteil an nicht absetzbaren Feststoffen ebenfalls zu erfassen. Im Restvolumen werden die abgesetzten Feststoffe gründlich remobilisiert und mit sorgfältiger Spülung des Behälters in einem Probenahmeimer aufgefangen. Diese Feststoffproben werden dann im Labor des ISWA weiter untersucht.

2.4 Laboranalytik

Es gibt bislang keine genormte Vorgehensweise bei der Bestimmung des Parameters AFS63. Die in dieser Messkampagne eingesetzten Verfahren zur Probenaufbereitung und Konzentrationsbestimmung sind abgeleitet von Fuchs et al. (2013) und Dierschke und Welker (2015).

Die gewonnenen Feststoffproben werden im Labor zunächst über Nasssiebung fraktioniert. Zur Nasssiebung (Spülung und Rückspülung) wird Überstandswasser aus den FSS verwendet. Wenn dies nicht ausreichen sollte wird Trinkwasser zur Spülung herangezogen.

Im Zeitraum Nov. '15 – Nov. '16 wurden folgende Größenfraktionen untersucht: $< 63 \mu\text{m}$ (AFS63), $63 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$ (AFSgrob) und $> 2 \text{ mm}$. Seit Februar 2017 wurde die grobe Fraktion noch weiter untergliedert: $63 - 125 \mu\text{m}$, $125 - 250 \mu\text{m}$ und $250 - 2000 \mu\text{m}$.

Der Siebrückstand auf dem 2 mm Sieb wird nach gründlicher Spülung bei 105 °C getrocknet und ausgewogen. Die anderen Feststofffraktionen werden jeweils in Eimern aufgefangen und anschließend weiter untersucht. Hierzu werden sie in einem Rührkessel (max. Volumen: 25 L) dispergiert, homogenisiert und aufgeteilt. Es werden jeweils fünf homogene Teilproben zur Bestimmung von AFS und Glühverlust genutzt (Zeitraum: Nov. '15 – Nov. '16). Seit Februar 2017 werden in jeder Fraktion (bis auf > 2000 µm) weitere Teilproben zusätzlich auf Spurenstoffe und Metalle (41 Spurenstoffe und 22 Metalle) sowie auf die Standardparameter pH - Wert, elektrische Leitfähigkeit, TOC, DOC (alle Fraktionen) und CSB (nur Fraktion <63 µm) untersucht (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Untersuchte Größenfraktionen und Parameter seit Februar 2017

< 63 µm	63 – 125 µm	125 – 250 µm	250 – 2000 µm	> 2000 µm
AFS, pH, elekt. Leitfähigkeit, CSB (nur < 63 µm), TOC, DOC, Metalle, Spurenstoffe				Trocken- rückstand

Um die nicht absetzbare Feststofffracht in den Probenahmebehältern zu erfassen, wird die Probe des Überstandswassers ebenfalls filtriert (siehe Abbildung 3, Ast Überstand).

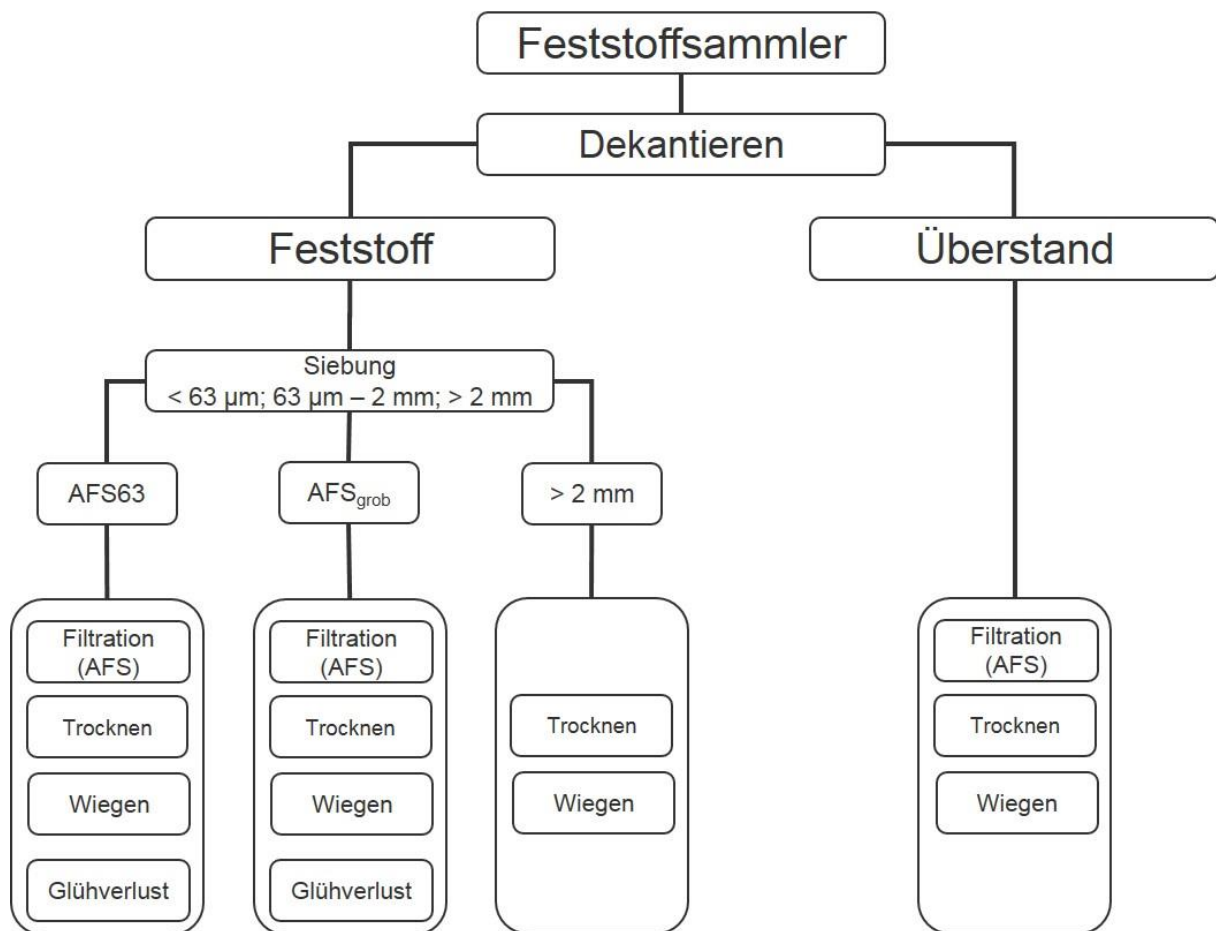


Abbildung 3: Analysenschema (Messkampagne Nov.2015-Nov.2016)

3 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend werden die Ergebnisse zum Feststoffaufkommen der Messkampagne von Nov. 2015 – Nov. 2016 aufgeführt. Anschließend werden erste Ergebnisse zur Schadstoffbelastung der Partikel aus einer laufenden Untersuchung aufgeführt.

3.1 Feststoffaufkommen

Im Zeitraum der Messkampagne flossen 360.590 m³ Regenwasser aus dem Einzugsgebiet ab. Hiervon wurden 23 Regenereignisse mit einem gesamten Volumen von 54.677 m³ mittels 14 Probenahmen beprobt. Die im Mittel zugeflossene Konzentration an Feststoffen wurde über die Fracht

der 23 Regenereignisse und das jeweilige Volumen (Zulauf, Überlauf, Ablauf) ermittelt. Die mittlere Konzentration im Zulauf betrug 55,4 mg/l. Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer früheren Untersuchung im selben Gebiet (Dittmer und Gutjahr, 2010). Die im Zeitraum Nov.2015 – Nov.2016 ermittelten Konzentrationen können Tabelle 2 entnommen werden. In Abbildung 4 ist die jeweilige Verteilung der Größenfraktionen dargestellt.

Tabelle 2: Mittlere Konzentrationen der beprobten Ereignisse (Frachtgewichtet gemittelt über Beprobungsereignisse)

Konzentrationen [mg/l]				
	AFSges	AFS>2,0mm	AFSgrob	AFS63
Zulauf (c _{Zu})	55,4	7,1	27,7	20,6
Überlauf (c _Ü)	23,2	0,3	6,6	16,2
Klarwasser (c _Ü)	21,6	0,4	6,0	15,3
Ablauf SW (c _{Ab})	268,7	51,0	166,1	51,6

In den Proben von Überlauf + Klarwasser wurde ein höherer Anteil an Feinpartikeln gefunden (70 % AFS63, 28 % AFSgrob, 2 % AFS>2,0 mm). Umgekehrt waren im Ablauf mehr grobe und besser absetzbare Partikel vorhanden (62 % AFSgrob, 19 % AFS > 2,0 mm, 19 % AFS63). Der Zulauf zur Anlage enthielt 50 % grobe (AFSgrob) und 37 % feine (AFS63) Feststoffe. Bei ähnlichen Untersuchungen in anderen Gebieten wurde im Zulauf ein weitaus höherer Feinanteil festgestellt (Fuchs et al., 2013). Dies wird von den Autoren darauf zurückgeführt, dass sich teilweise die größeren Partikel bereits im Kanalnetz ablagern und daher vermehrt feine Partikel in der Behandlungsanlage ankommen. Es ist denkbar, dass durch die Spülvorrichtung am RFM Haid, dieser Klassierungseffekt verringert wird.

Die Feststofffraktion größer 2,0 mm ist im Zulauf nahezu vernachlässigbar und besteht zum großen Teil aus Blattresten (Im Ablauf zeigt die erhöhte Konzentration die Funktionalität der vor der Wehrschwelle installierten schwimmenden Tauchwand auf). Größere mineralische Partikel wurden in den Proben nicht gefunden. Dies weist auf eine gute Wirksamkeit des im Zulauf installierten Sand- und Geröllfangs hin.

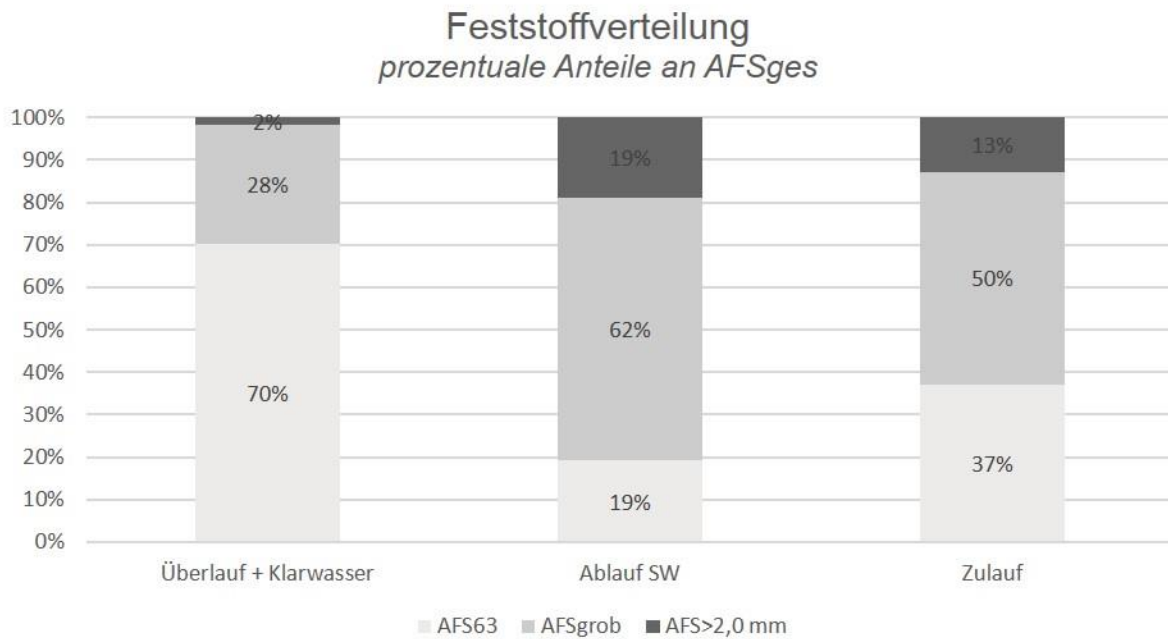


Abbildung 4: Feststoffverteilung der Größenfraktionen während Messkampagne
Nov. 2015 – Nov. 2016

Zur Einschätzung der Verschmutzung des Gewerbegebiets Haid nach DWA A-102 standen Daten der Flächeneinteilung des Einzugsgebietes zur qualitativen Bewertung nach DWA M-153 zur Verfügung. Diese Daten sind allerdings als veraltet anzusehen, da dort die genaueren Flächendaten der gesplitteten Abwassergebühr noch nicht mit eingegangen sind. Bei der Betrachtung nach dem neuen Arbeitsblatt (siehe Tabelle 3) ergibt sich ein spezifischer Austrag von 656 kg AFS63/(ha·a).

Tabelle 3: Flächenspezifischer Stoffabtrag des Gewerbegebiets Haid nach DWA A-102

Flächeneinteilung nach A-102

5 % Kategorie I → 280 kg/(ha·a)

35 % Kategorie II → 530 kg/(ha·a)

40 % Kategorie III → 760 kg/(ha·a)

10 % Kategorie III → 760 kg/(ha·a)

10 % Kategorie III → 760 kg/(ha·a)

Flächengemittelte spezifische Fracht: 656 kg/(ha·a)

Bei Berechnung der spezifischen Jahresfracht an AFS63 mit der erhobenen mittleren Konzentration von 20,6 mg/l und einem abgeflossenen Volumen von 360.590 m³ ergibt sich jedoch ein deutlich niedrigerer Wert von ca. 100 kg AFS63/(ha·a). Dieser liegt unterhalb des Grenzwertes von 280 kg AFS63/(ha·a). Eine Behandlung wäre demnach nicht erforderlich. Die Ergebnisse der Messung stehen somit im Widerspruch zu den theoretisch begründeten Anforderungen an die Behandlung der Abflüsse. Ein solcher messtechnischer Nachweis ist bislang im Regelwerk jedoch nicht vorgesehen.

3.2 Schadstoffbeladung

Seit Februar 2017 werden die Feststoffproben in vier Partikelgrößenfraktionen auf Schadstoffe und Metalle untersucht (siehe Tabelle 1). Bis dato wurden 6 Regenereignisse beprobt. Aufgrund des großen Analysenspektrums (mehr als 60 Parameter in jeweils 4 Größenfraktionen) konnten bislang nur Daten von 3 Regenereignissen ausgewertet werden.

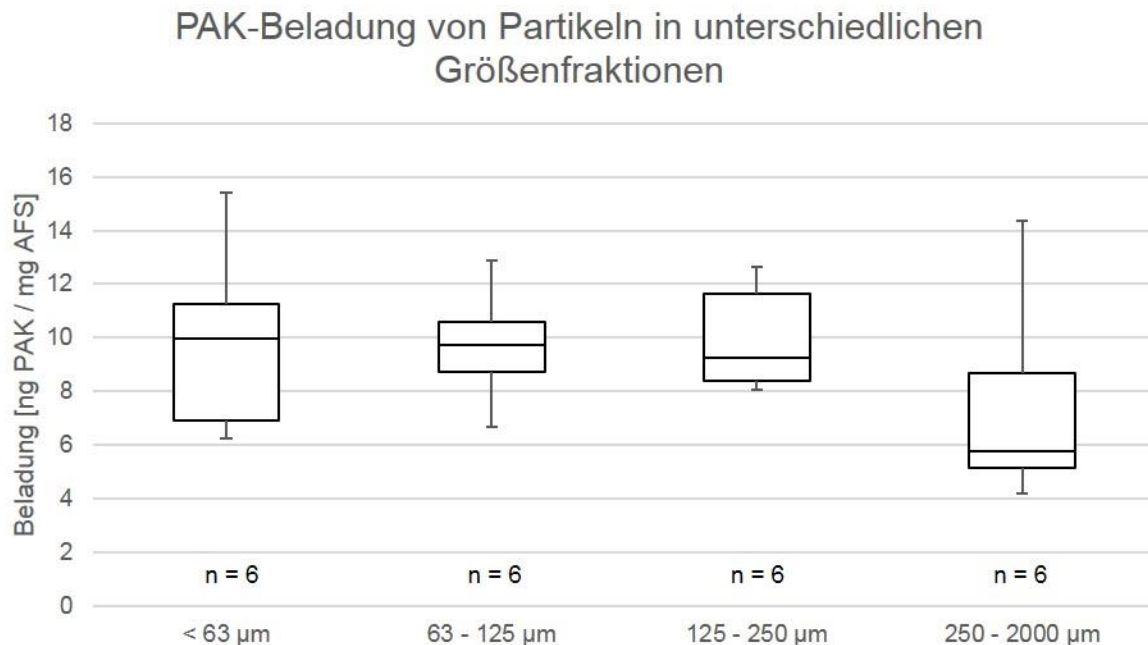


Abbildung 5: PAK-Beladung in unterschiedlichen Feststofffraktionen. Datengrundlage: Beprobung von 3 Regenereignissen.

In Abbildung 5 ist die ermittelte Beladung der Partikel mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in unterschiedlichen Größenfraktionen aufgezeigt. Entgegen der Annahme, dass die kleinsten Partikel am stärksten mit Schadstoffen beladen sind, zeigt sich hier, dass die Beladung in den ersten drei Größenfraktionen annähernd identisch ist. In der größten Fraktion 250 – 2000 μm ist die mittlere Beladung etwas niedriger. Dies könnte durch die vergleichsweise große Bandbreite dieser Fraktion erklärt werden.

Die relativ starke Streuung der Beladung ist auf unterschiedliche Effekte zurückzuführen. Zum einen kommt die Variation zwischen unterschiedlichen Regenereignissen zum Tragen. Bei einem der beprobten Ereignisse wurde eine starke Verschmutzung des Abflusses mit Heiz- und Schmieröl nachgewiesen. Die Wertmaxima stammen von diesem Ereignis. Ein weiterer Grund für die Streuung ist, dass hier innerhalb der Größenklassen die Proben der unterschiedlichen Frachtströme (Überlauf und Ablauf) zusammengefasst wurden.

In Abbildung 6 ist die Partikelbeladung mit PAK sowohl nach Partikelgrößen, als auch nach beprobten Frachtströmen aufgetragen. Im Mittel ist die

Beladung der Partikel mit einem Partikeldurchmesser kleiner als $63\ \mu\text{m}$ im Überlauf höher als im Ablauf. In den anderen Größenfraktionen verhält es sich gerade andersherum. Da die feinen Partikel den größten Anteil der Feststoffe im Überlauf ausmachen, ist dies ein äußerst interessanter Sachverhalt, den es bei den zukünftigen Probenahmen weiter zu untersuchen gilt. Bisher ist die Datenbasis jedoch zu gering um aussagekräftige Schlussfolgerungen zu ziehen.

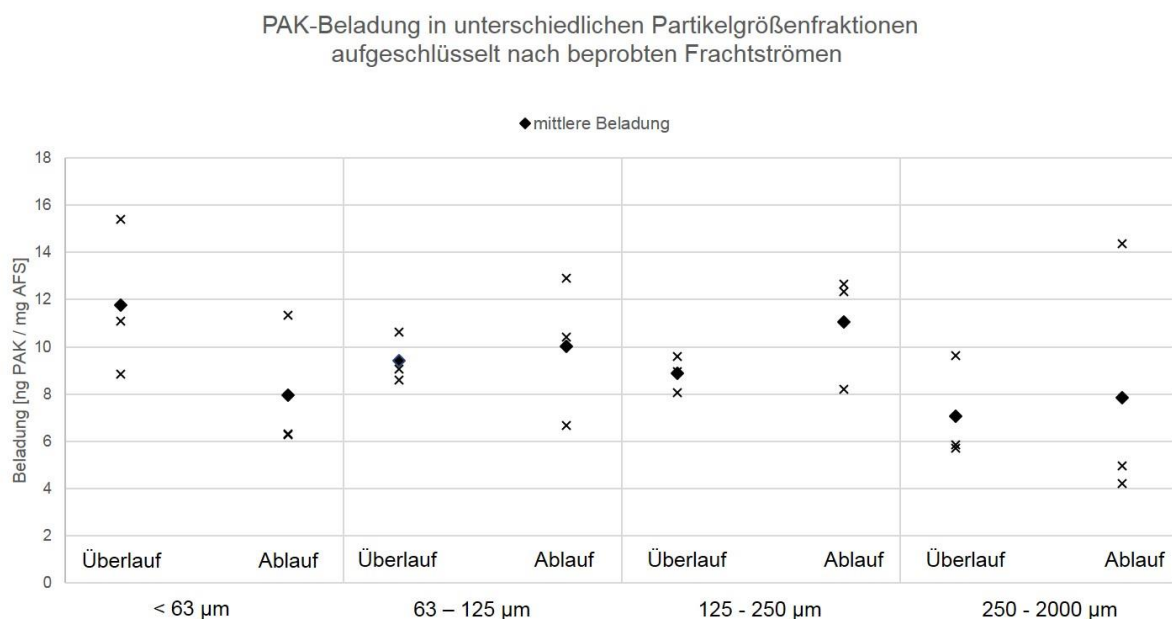


Abbildung 6: PAK-Beladung in unterschiedlichen Feststofffraktionen getrennt nach Größenklassen und beprobten Frachtströmen.

4 Fazit und Ausblick

Der im Gewerbegebiet Freiburg Haid gemessene flächenspezifische Frachtaustrag für AFS63 beträgt lediglich 33 % des Wertes, der im neuen Arbeitsblatt A - 102 für die untere Belastungskategorie festgelegt wurde. Ähnlich geringe, aber auch deutlich höhere Werte, wurden in Berliner Einzugsgebieten gefunden (Fuchs et al., 2010). Die Variation zwischen Einzugsgebieten ist sehr groß. Aufgrund dessen kann der bisher vorgesehene pauschale Ansatz im A-102 in einzelnen Fällen zu unsachgemäßen Entscheidungen führen. Die Ursachen für diese großen Unterschiede in der Flächenbelastung sind noch nicht genauer untersucht. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Aufgrund der großen Datenmenge konnten von der aktuellen Messkampagne bislang nur die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ausgewertet werden. Es ist ersichtlich, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Aufkommen von PAK und den im Oberflächenabfluss enthaltenen Feststoffen gibt. Es werden erste Hinweise auf eine gleichmäßige Schadstoffbeladung der Partikel unterschiedlicher Größe gegeben. Jedoch reicht die Datengrundlage noch nicht aus um belastbare Aussagen zu tätigen.

Bislang konnten nur 3 Regenereignisse ausgewertet werden. Es ist zu überprüfen, ob sich das hier aufgezeigte Verhalten auch bei zukünftigen Regenereignissen darstellen lässt. Darüber hinaus wird es äußerst interessant zu sehen, ob sich die gleichmäßige Beladung der Partikel auch bei anderen Substanzen und Schwermetallen zeigt oder ob sich dort ein gänzlich anderes Verhalten einstellt.

Die angestrebten Untersuchungen sollen dazu beitragen, die Schadstoffbelastung des Oberflächenabflusses besser zu verstehen um Behandlungsmaßnahmen gegebenenfalls entsprechend anpassen zu können. Für das untersuchte Gebiet wird sich zeigen, ob bei dem relativ geringen Feststoffaufkommen die Schadstoffbelastung ebenfalls gering ist oder ob die Feststoffpartikel eventuell verhältnismäßig stark mit Schadstoffen beladen sind.

5 Literatur

- Dierschke M. (2014). Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM₆₃) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche. Dissertation. TU Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- Dierschke M. und Welker A. (2015). Bestimmung von Feststoffen in Niederschlagsabflüssen. In: gwf Wasser - Abwasser, S. 440–446, zuletzt geprüft am 05.09.2016.
- Dittmer U. und Gutjahr N. (2010). Beschreibung des Transportes von Spurenstoffen anhand indirekter Messung. In: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft (Hg.): Regenwasserbehandlung in Abwasseranlagen - Prozesse und Lösungsansätze. 85. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium. Stuttgart, 14.10.2010 (204), S. 91–113.

- DWA (2016). Arbeitsblatt DWA-A 102. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Entwurf Oktober 2016. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, A 102).
- Fuchs S., Lambert B. und Grotehusmann D. (2010). Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen. In: Umweltwiss Schadst Forsch 22 (6), S. 661–667. DOI: 10.1007/s12302-010-0161-2.
- Fuchs S., Eyckmanns-Wolters R., Maus C., Sommer M., Voßwinkel N. und Mohn R. (2013). Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagseinleitungen - Abschlussbericht der Phase 1. beauftragt vom MKULNV NRW. Hg. v. DWA. Hennef, zuletzt geprüft am 02.02.2017.
- Gromaire M.C., Garnaud S., Gonzalez A. und Chebbo G. (1999). Characterisation of urban runoff pollution in Paris. In: Water Sci Technol 39 (2), S. 1–8, zuletzt geprüft am 20.12.2016.
- Huber M., Welker A. und Helmreich B. (2015). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. In: The Science of the Total Environment 541, S. 895–919. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.033.
- Schmitt T.G. (2015). Stoffliche Belastung und Behandlung von Regenwasserabflüssen. In: 48. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen, 15.-17.04.2015 (236), S. 21.
- Stadt Freiburg (2011). Erteilung des wasserrechtlichen Benehmens und naturschutzrechtliche Zulassung für die Errichtung und Betrieb einer Regenwasserbehandlungsanlage (RFM) im Gewerbegebiet Haid / Stadtwald Distrikt XII Mooswald Süd in Freiburg, Flurst.Nr. 26933, 26933/1 (in Höhe Bötzingen Str. 74), zuletzt geprüft am 26.04.2017.
- Welker A. (2005). Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitation. TU Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- Xanthopoulos C. und Hahn H.H. (1992). Anthropogene Schadstoffe auf Straßenoberflächen und ihr Transport mit dem Niederschlagsabfluss. Hg. v. Universität Karlsruhe. Institut für Siedlungswasserwirtschaft.

Korrespondenz an:

Philipp Baum
Universität Stuttgart
Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
Tel.: +49-711-685-63895
Fax: +49-711-685-63729
Email: philipp.baum@iswa.uni-stuttgart.de