



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz



U



Frachtemission Regenwasser

Ergebnisse eines Langzeitmessprogramms



Diese Schrift wird vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt kostenlos herausgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung.

Impressum

Frachtemission Regenwasser Sachsen-Anhalt

Ergebnisse eines Langzeitmessprogramms zur Gewässerbelastung durch Niederschlagswassereinleitungen – Abschlussbericht

Herausgeber

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Reideburger Str. 47 • 06116 Halle (Saale)

Tel.: 0345 5704-0

Fax: 0345 5704-605

E-Mail: poststelle@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
www.lau.sachsen-anhalt.de

Erarbeitung

Abteilung 2, Dezernat 21

Inhalt

1.	Einleitung.....	4
2.	Erläuterungen zum Sonderuntersuchungsprogramm.....	6
2.1	Messstelle.....	6
2.2	Untersuchungsmethodik	6
2.2.1	Durchflussmessung	7
2.2.2	Probenahme	7
2.2.3	Analytik.....	8
3.	Untersuchungsergebnisse	10
3.1	Abflussgeschehen und hydraulische Gewässerbelastung.....	10
3.2	Frachtemission und stoffliche Gewässerbelastung	13
4.	Ableitung von Schmutzfrachtpotentialen befestigter Flächen	32
5.	Bewertung der Niederschlagswassereinleitung nach DWA-A 102-2	33
6.	Zusammenfassung	36
7.	Literaturverzeichnis.....	40
	Anhang.....	43

1. Einleitung

Die Wasserrahmenrichtlinie fordert im Sinne des kombinierten Ansatzes (Emissions- und Immissionsprinzip) die Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustandes der oberirdischen Gewässer. Neben Kläranlagen- und Mischwassereinleitungen als punktuelle Quellen, tragen auch Niederschlagswasserabflüsse aus Stadt- und Straßenentwässerung zur hydraulischen und stofflichen Belastung der Gewässer bei. Niederschlagswassereinleitungen sind stoßartige Belastungen, die sowohl akute, verzögerte als auch langfristige Auswirkungen auf die Morphologie, die Gewässergüte und die Biozönose des aufnehmenden Gewässers haben können (Abb.1). Besonders bedeutsam sind in kurzer Zeit eingeleitete Abflussspitzen und über lange Zeit eingeleitete Frachten (UHL).

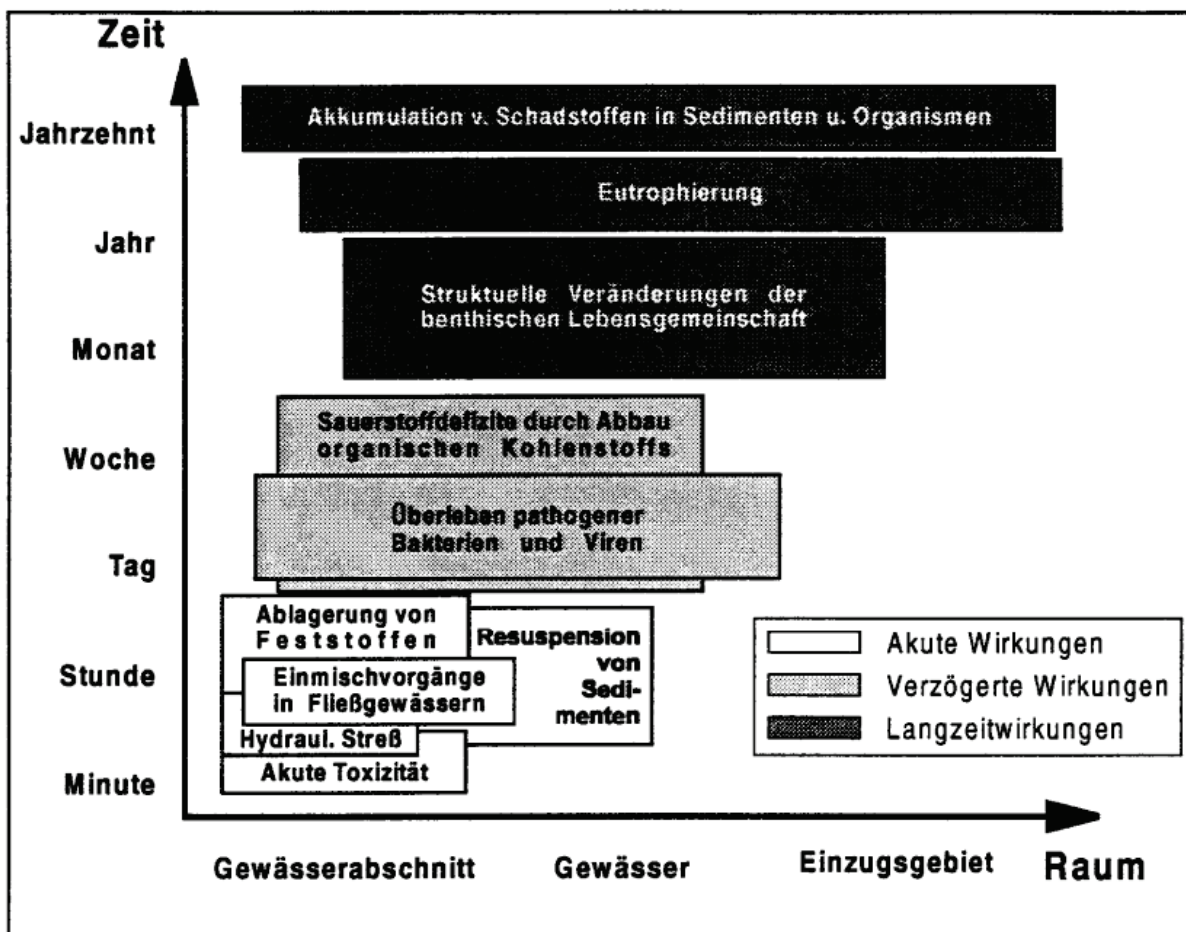


Abbildung 1: Auswirkungen von Niederschlagsabflüssen aus Siedlungsgebieten (UHL)

Die stoffliche Belastung des Niederschlagswasserabflusses befestigter Flächen ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Neben Flächenart und -nutzung (Parkplatz, Straße, Dach etc.) spielt auch das Niederschlagsabflussgeschehen im Einzugsgebiet sowie die Vegetationsperiode und die Reinigung der Flächen (Straßenreinigung) eine bedeutende Rolle.

Auf der Oberfläche abgelagerte Stoffe werden mit dem Niederschlagswasserabfluss abtransportiert. Neben Feststoffen (AFS) ist der Niederschlagswasserabfluss z.B. auch mit Schwermetallen aus Brems-, Reifen- und Fahrbahnabrieb sowie mit Tausalzen (wie Chlorid) belastet.

tet. Der Niederschlagswasserabfluss ist zwar wesentlich geringer mit Nährstoffen wie Stickstoff (N) und Phosphor (P) belastet als Schmutz- oder Mischwasserabflüsse, der Anteil an dem gesamten modellierten P- und N- Eintrag in die Oberflächengewässer Sachsen-Anhalts beträgt jedoch 12 % bzw. 4 % (Forschungszentrum Jülich, 2022).

Um Emissionen aus Niederschlagswasserabflüssen quantifizieren zu können, werden meist Schätzverfahren angewendet, da auf Grund des diskontinuierlichen Anfalls und der enormen Schwankungsbreite des Niederschlagswasserabflusses Konzentrationsbestimmungen nicht zweckmäßig sind. Messungen finden – wenn überhaupt – meist nur über relativ kurze Zeiträume statt. Im Rahmen der Sonderuntersuchung „Frachtemission Regenwasser Sachsen-Anhalt“ (FeReSA) wurde über einen mehrjährigen Zeitraum (Januar 2015 – September 2021) kontinuierlich die hydraulische und stoffliche Belastung ermittelt, die sich aus einer Niederschlagswassereinleitung (Regenwasserkanal) im Einzugsgebiet von Wernigerode ergibt. In Auswertung der kontinuierlichen Messungen (Durchflussmesswerte und Analyseergebnisse) wurden Schmutzfrachtpotentiale befestigter Flächen (SFP_{bf}) für die Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Gesamt gebundener Stickstoff (TN_b), Phosphor (P_{ges}) und der Feinanteil der abfiltrierbaren Stoffe (AFS63) abgeleitet, mit denen realitätsnahe Frachtemissionen durch Einleitungen aus Regenwasserkanälen für vergleichbare Einzugsgebiete landesweit abgeschätzt werden können.

Das SFP_{bf} ist eine wesentliche Eingangsgröße für den Schmutzfrachtnachweis von Mischsystemen. Als gängiges Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von Emissionsanforderungen an Mischsysteme gilt seit vielen Jahren die Langzeitsimulation. Prüfmodell der Wasserbehörden in Sachsen-Anhalt ist das kontinuierliche Langzeitsimulationsmodell KOSIM des Instituts für technisch-wissenschaftliche Hydrologie in Hannover (itwh). Im Rahmen der Sonderuntersuchung „Frachtemission Mischwasser Sachsen-Anhalt“ (FeMiSA), welche von 2010 bis 2015 an zwei Mischwasserentlastungsbauwerken im Einzugsgebiet von Halberstadt stattgefunden hat, wurden SFP_{bf} für die Parameter CSB, TN_b und P_{ges} abgeleitet, mit denen nach Kalibrierung des KOSIM-Modellprojektes eine realitätsnahe Abschätzung von Emissionen aus Mischwasserentlastungen möglich ist.

Durch Vergleich der aus dem Niederschlagswasserabfluss (Regenwasserkanal Wernigerode) ermittelten SFP_{bf} mit den SFP_{bf} des Sonderuntersuchungsprogramms FeMiSA Halberstadt konnte bestimmt werden, in welchem Maße die erhöhten FeMiSA- Schmutzfrachtpotentiale durch Frachten, die auf die Remobilisierung von Kanalablagerungen zurückzuführen sind, beeinflusst sind. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die hinreichende Ähnlichkeit der Einzugsgebiete in Bezug auf Flächenart, Flächennutzung und Niederschlagsgeschehen, weshalb ein Regenwasserkanal in Wernigerode für die Sonderuntersuchung FeReSA geeignet erschien. Die in Halberstadt anzutreffenden örtlichen Verhältnisse, wie Topographie, mittlere Jahresniederschlagshöhe, einwohnerspezifischer Abwasseranfall, Mischsystem im Ortskern und Trennsysteme in neueren Erschließungsgebieten, sind für Ortschaften in Sachsen-Anhalt typisch. Von daher ist die Nutzung der Ergebnisse der Sonderuntersuchungen für viele mittelgroße Städte in Sachsen-Anhalt möglich.

2. Erläuterungen zum Sonderuntersuchungsprogramm

2.1 Messstelle

Der Regenwasserkanal (DN 1.400) befindet sich im nördlichen Stadtgebiet von Wernigerode. Das Niederschlagswasser der Altstadt und eines Wohngebietes werden hier direkt in die Holtemme eingeleitet (Abb. 2). Die Holtemme ist neben dem Zillierbach der wichtigste Vorfluter der Stadt. Die an den Regenwasserkanal angeschlossene befestigte Fläche stellt eine Mischfläche (vorwiegend Wohngebiet, Teilflächen Gewerbegebiet, Straßen) dar.



Abbildung 2: Regenwasserkanal und Messcontainer in der Schmatzfelder Straße (Foto: LAU)

2.2 Untersuchungsmethodik

Mit Beginn der Sonderuntersuchungen im Jahr 2011 waren zunächst zahlreiche Vorarbeiten zu leisten. Zur Unterbringung der Messtechnik diente ein ehemaliger Messcontainer des Luftüberwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA). Am Aufstellort wurde ein entsprechendes Fundament errichtet und um den Messcontainer vor Vandalismus zu schützen und für ein positives Wahrnehmungsbild zu sorgen, wurde der Container mit ortsspezifischen Motiven gestaltet. Die Stromversorgung im Messcontainer wurde über das benachbarte Autohaus sichergestellt.

Das Sonderuntersuchungsprogramm wurde im März 2012 mit der Installation einer Durchflussmesseinrichtung im Regenwasserkanal gestartet. Seit Januar 2015 waren zusätzlich zwei automatische Probenahmegeräte im Einsatz.

2.2.1 Durchflussmessung

Für die Durchflussmessung kam ein kombiniertes Verfahren zum Einsatz. Dabei wurde der Wasserstand im Regenwasserkanal sowohl mit einer Drucksonde als auch einer Ultraschallsonde kontinuierlich gemessen (Abb. 3). Zusätzlich wurde mit Ultraschall die Fließgeschwindigkeit gemessen (Ultraschall-Puls-Doppler-Verfahren). Unter Verwendung der gemessenen Höhenstände, der Fließgeschwindigkeit und der Nennweite des Regenwasserkanals berechnete die Durchflussmesseinrichtung kontinuierlich den aktuellen Durchfluss. Die Messwerte wurden mit einem Datenlogger zu 2-Minuten-Werten aggregiert (Gleitender Mittelwert) und vor Ort gespeichert. Zusätzlich wurden die Messwerte automatisch auf einem Online-Datenportal eingestellt.



Abbildung 3: Ultraschall- und Drucksonde im Regenwasserkanal (Foto: LAU)

2.2.2 Probenahme

Um eine mengenproportionale Beprobung über den gesamten Bereich des enorm schwankenden Abflusses durchführen zu können, wurden zwei Probenahmegeräte installiert, die in Abhängigkeit vom aktuell gemessenen Durchfluss wechselseitig von der Durchflussmesseinrichtung angesteuert wurden. Bis zu einem Durchfluss in Höhe von 29,9 l/s entnahm das erste Probenahmegerät (PN 1) in variablen, von der Durchflussmenge abhängigen Zeitabständen (alle 16 m³) gleich große Proben (volumenproportionale Probenahme). Ab einem Durchfluss von 30 l/s setzte das zweite Probenahmegerät (PN 2) ein (Abb. 4). Die Proben wurden dann in einem festen Intervall von 2 Minuten dem momentanen Durchfluss entsprechend mit variablen Probemengen (30 – 300 ml) aus dem Regenwasserkanal entnommen

(durchflussproportionale Probenahme). Eine zeitproportionale Probenahme wurde durchgeführt, sobald ein Durchfluss von 600 l/s im Regenwasserkanal überschritten wurde.



Abbildung 4: Probenahmegeräte mit sofortiger Tiefkühlung im Messcontainer (Foto: LAU)

2.2.3 Analytik

Die Proben wurden sofort nach der Entnahme im Probenahmegerät tiefgefroren. Der Wasser- und Abwasserverband Holtemme-Bode (WAHB) entnahm und beschriftete die Proben und bewahrte sie in einer Tiefkühltruhe bis zur Abholung durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) auf. Im Labor des LHW wurden die Proben bei Umgebungstemperatur aufgetaut und homogenisiert, sodass eine mengenproportionale Monatsmischprobe je Probenahmegerät zur Analyse vorlag (Abb. 5).

Die Proben wurden auf folgende Parameter analysiert:

- Abfiltrierbare Stoffe (AFS, AFS₆₃)
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- Stickstoff (TN_b) und Phosphor (P_{ges})
- Chlorid (Cl⁻) und Sulfat (SO₄²⁻)
- Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg)
- ausgewählte Pflanzenschutzmittel (u.a. Diuron, Mecoprop, Glyphosat)



Abbildung 5: Analyse der Proben im Labor des LHW (Foto: LAU)

3. Untersuchungsergebnisse

In der folgenden Auswertung sind die Ergebnisse des Untersuchungszeitraumes Januar 2015 bis September 2021 dargestellt.

3.1 Abflussgeschehen und hydraulische Gewässerbelastung

Der Durchfluss im Regenwasserkanal schwankt in Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen in einem sehr weiten Bereich. Abbildung 6 zeigt beispielhaft den Verlauf des Durchflusses (l/s) im August 2021. Bei der überwiegenden Anzahl der gemessenen Abflüsse (2-Minuten-Messwerte) handelt es sich um Abflüsse < 100 l/s.

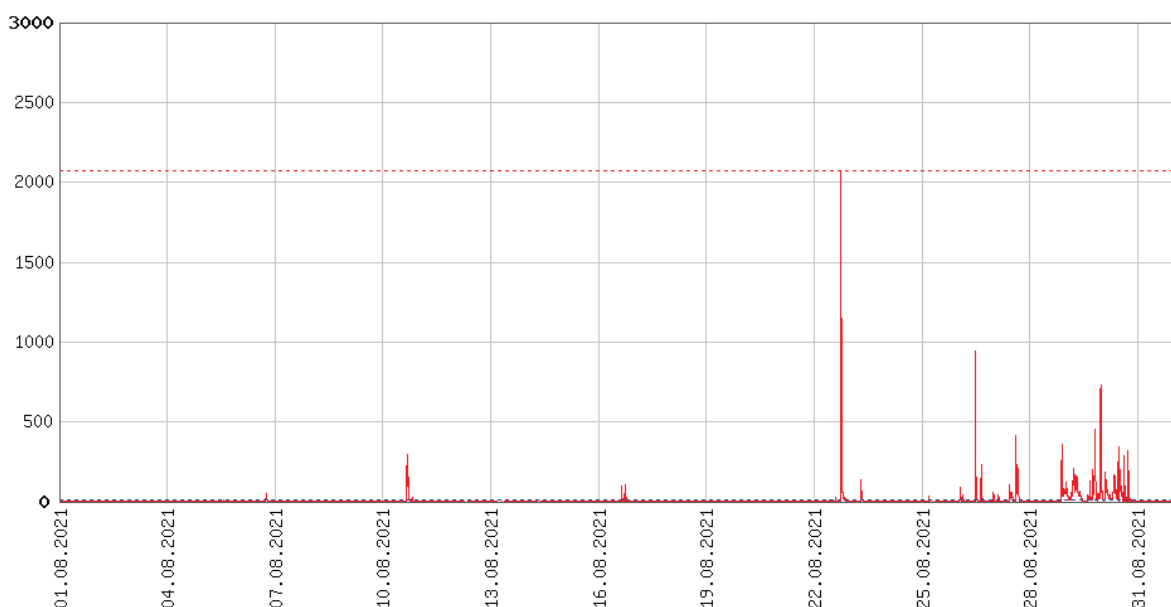


Abbildung 6: Durchfluss im Regenwasserkanal (l/s) im August 2021 (Ansicht aus dem Datenportal)

Der größte Durchfluss im gesamten Untersuchungszeitraum wurde am 05.06.2021 gemessen und betrug 3.276 l/s. Dabei wurden Fließgeschwindigkeiten von bis zu 3,3 m/s erreicht. Der durchschnittliche monatliche Abfluss aus dem Regenwasserkanal beträgt rund 10.000 m³ (Abb. 7).

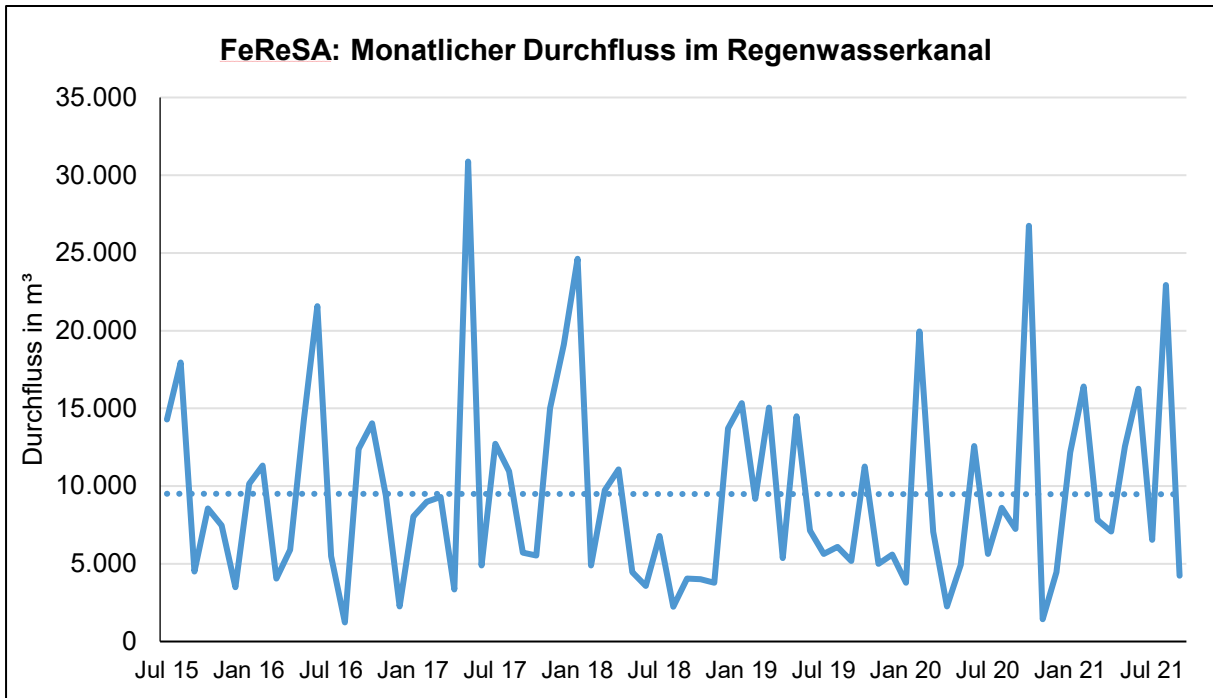


Abbildung 7: Monatlicher Durchfluss im Regenwasserkanal

In der Abbildung 8 sind die Kalendertage im Untersuchungszeitraum aufgelistet, an denen ein Durchfluss von über 1.000 l/s gemessen wurde. Im Vergleich dazu ist der Mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Holtemme in Höhe von 399 l/s am Pegel Mahndorf (1972 – 2015, GLD) aufgezeigt.

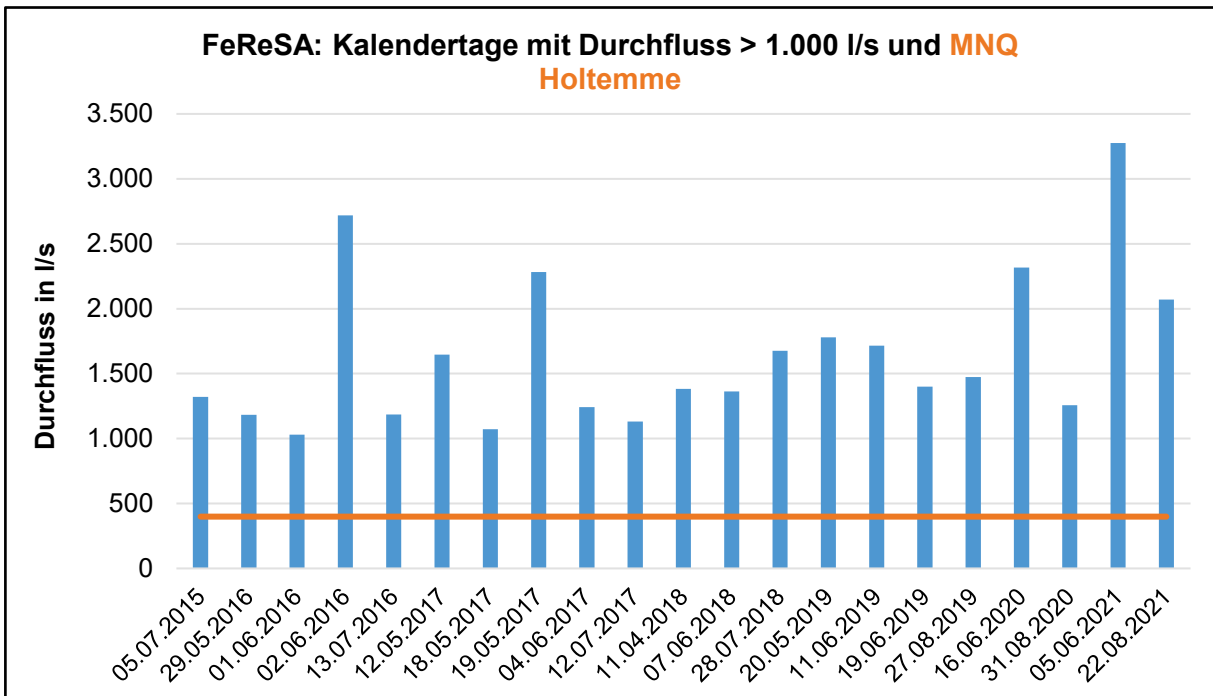


Abbildung 8: Kalendertage mit Abfluss > 1000 l/s und MNQ der Holtemme

Für die Plausibilisierung der gemessenen Abflussmengen und der an den Regenwasserkanal angeschlossenen befestigten Flächen in Höhe von 23,28 ha wurden Niederschlagsdaten

einer LAU-Wetterstation verwendet. Diese befindet sich am Bahnhof von Wernigerode in etwa 1 km Entfernung zur Messstelle.

In der Abbildung 9 sind die im Zeitraum von Januar 2015 bis September 2021 gemessenen Monatsniederschlagshöhen den langjährigen Mittelwerten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, Bezugszeitraum 1981 – 2010) gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, dass die Niederschläge von einem Jahr zum anderen in einem extrem weiten Bereich schwanken können. Abweichungen der LAU-Messergebnisse vom langjährigen Mittel werden vor allem im Juli 2017 (Abweichung 100 mm) sowie im Dezember 2016 deutlich (Abweichung 45 mm).

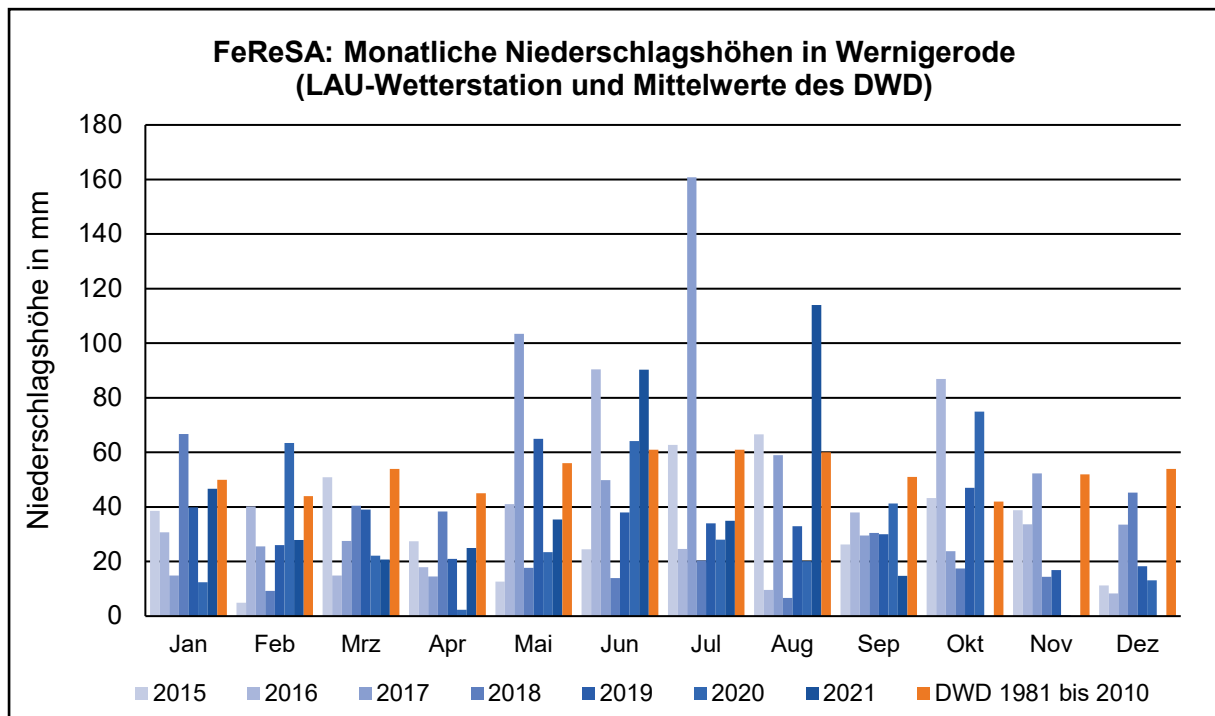


Abbildung 9: Monatliche Niederschlagshöhen in Wernigerode

Die Gegenüberstellung des Durchflusses im Regenwasserkanal zum monatlichen Niederschlagsgeschehen für die Untersuchungsjahre 2015 bis 2021 ist im Anhang dargestellt. In diesen Abbildungen sind abhängig vom Niederschlagsgeschehen die Durchflussspitzen zu erkennen. Das niederschlagsreichste Jahr im gesamten Messzeitraum ist das Jahr 2017 mit insgesamt 595 mm. Im Mittel über die Untersuchungsjahre ergibt sich eine Jahresniederschlagshöhe von 422 mm.

Aus dem überschlägigen Vergleich des gemessenen mittleren Jahresniederschlagswasserabflusses mit dem berechneten mittleren Jahresniederschlagswasserabfluss (= mittlere Jahresniederschlagshöhe Messstation LAU * befestigte Fläche) ergibt sich ein unrealistischer mittlerer Abflussbeiwert von $\Psi_m \geq 1$. Da der mittlere Jahresabflussbeiwert einer Mischbebauung wie in Wernigerode mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem Bereich von 0,7 bis 0,8 liegt und die Größe der an den Regenwasserkanal angeschlossenen befestigten Fläche als real zutreffend eingeschätzt wird, kann angenommen werden, dass in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität auch nicht befestigte Flächen im betreffenden Einzugsgebiet zeitweise abflusswirksam sind.

Die im Ablauf des Regenwasserkanals gemessenen Frachten werden nur auf die angeschlossene befestigte Fläche (23,28 ha) bezogen. Die tatsächliche Belastung der Flächen und damit die abgeleiteten SFP_{bf} werden daher eher über- als unterschätzt. Diese Überschätzung wird bewusst in Kauf genommen, da dies dem Gewässerschutz zu Gute kommt. Gemäß Punkt 4.3 des RdErl. des MLU vom 23.05.2013 werden bei der Simulation von Mischwasserentlastungsfrachten i.d.R. Abflüsse von unbefestigten Flächen ebenfalls vernachlässigt bzw. als unverschmutzt angenommen.

3.2 Frachtemission und stoffliche Gewässerbelastung

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse zur stofflichen Belastungen des Niederschlagswasserabflusses an der Messstelle in Wernigerode in Form von Boxplot-Diagrammen dargestellt. Die der Auswertung zu Grunde liegenden Messwerte vom Ablauf des Regenwasserkanals sind Fracht-gewogene Monatsmittelwerte. Das bedeutet, der Analysenwert der volumenproportionalen Probe (erstes Probenahmegerät) wurde mit dem zugehörnden gemessenen Monatsniederschlagswasserabfluss zur Monatsfracht am ersten Probenahmegerät multipliziert. Der Analysenwert der durchflussproportionalen Probe (zweites Probenahmegerät) wurde mit dem zugehörnden gemessenen Monatsniederschlagswasserabfluss zur Monatsfracht am zweiten Probenahmegerät multipliziert. Die Monatsfracht (Fracht erstes Probenahmegerät + Fracht zweites Probenahmegerät) wurde durch den gemessenen Gesamtniederschlagswasserabfluss des Monats dividiert. Man erhält mengenproportionale, Fracht-gewogene Monatswerte für die Konzentration im Niederschlagswasserabfluss.

Die FeReSA-Messwerte sind Werten gegenübergestellt, die im Zuge einer Literaturrecherche gefunden wurden. Hierbei wurden u.a. die Abflüsse von Verkehrs-, Dach- und Mischflächen sowie Regenwasserkanälen berücksichtigt. Da in der einschlägigen Fachliteratur kaum Hinweise zur Art der Probenahme, zur Probenaufbereitung und zur Analytik zu finden waren, kann der Vergleich lediglich zur groben Einordnung der FeReSA-Messwerte dienen. Bezüglich des Untersuchungszeitraumes, des Umfangs der jeweils vorliegenden Messwerte, der Art der Probenahme und der Art und Weise der Auswertung der Messwerte wird von einer insgesamt großen Heterogenität der Literaturwerte ausgegangen.

Ausreißer in den FeReSA-Messergebnissen sind meist auf niederschlagsarme Monate zurückzuführen (Niederschlagsmenge im Vergleich DWD unterdurchschnittlich), in denen sich die Schmutzstoffe auf den befestigten Flächen akkumuliert haben. Im bundesweiten Vergleich gehört Sachsen-Anhalt zu den niederschlagsärmeren Bundesländern. Obgleich der vergleichsweise geringen Jahresniederschlagshöhe von 630 mm in Wernigerode (DWD, Bezugszeitraum 1981 – 2010), liegen die gemessenen Konzentration (FeReSA) im Bereich der Literaturangaben. Die im Ergebnis der Sonderuntersuchung abgeleiteten Schmutzfrachtpotentiale der befestigten Flächen (Kap. 4) sind somit sowohl in Gebieten mit hoher als auch geringerer Jahresniederschlagshöhe anwendbar.

Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

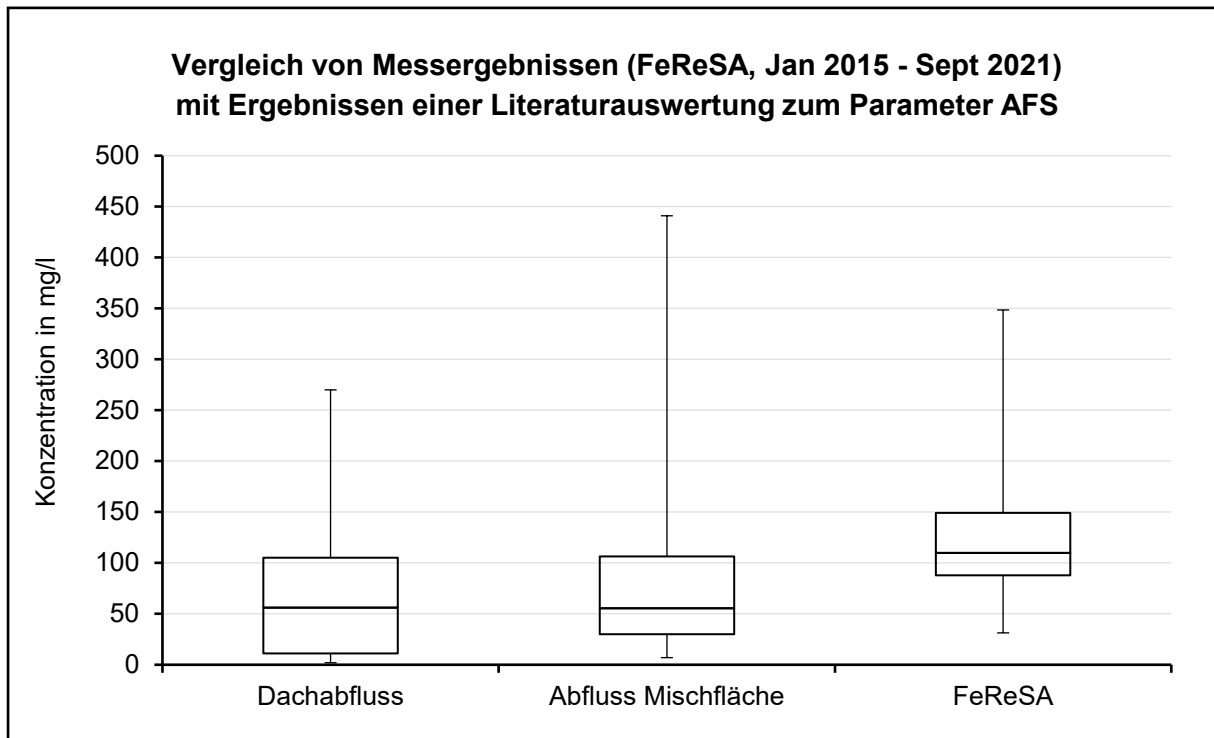


Abbildung 10: Ergebnisse zum Parameter AFS

Verunreinigungen in Form von Feststoffen sind für gewöhnlich bereits auf den Flächen vorhanden. Dies können zum einen mineralische Partikel (wie z.B. Sand) als auch organische Feststoffe (wie z.B. Laub) sein.

In Dachabflüssen werden AFS-Konzentrationen von ca. 2 bis 270 mg/l gemessen (KOBENCIC). Wesentlich höher ist die AFS-Belastung im Straßenabfluss. Hier sind Spannen von 4 – 1.300 mg/l zu verzeichnen (LfU). Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration, die im Sonderuntersuchungsprogramm FeReSA ermittelt wurde, beträgt 137,5 mg/l und liegt somit im Bereich für Mischflächenabflüsse (Abb. 10). Die gemessene mittlere Jahreseinleitungsfracht beträgt 15.313 kg.

Abfiltrierbare Stoffe – Feinanteil (AFS₆₃)

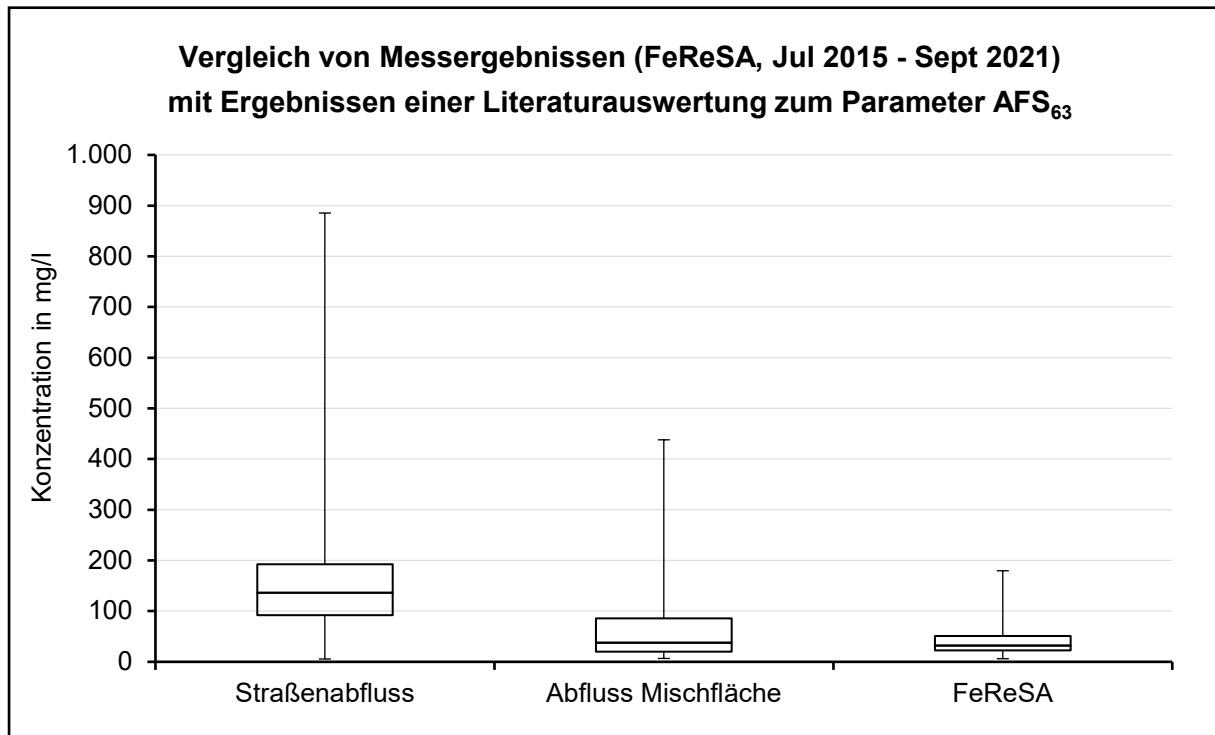


Abbildung 11: Ergebnisse zum Parameter AFS₆₃

Mit Erscheinen des neuen DWA-Arbeitsblattes DWA-A 102-2 wurden die abfiltrierbaren Stoffe in ihrer Feinfraktion (AFS₆₃) als neuer Referenzparameter zur Bewertung der Behandlungsbedürftigkeit von Niederschlagswasserabflüssen erklärt. Daher wurde der Parameter im Juli 2015 in das Parameterspektrum der Sonderuntersuchung aufgenommen.

Die abfiltrierbaren Stoffe in ihrer Fraktion von 0,45 µm bis 63 µm (AFS₆₃) stellen den Grenzbereich zwischen den schlecht oder nicht absetzbaren Schluff- und Tonanteilen sowie den größeren, sedimentierbaren Sand- und Kiesanteilen dar. Gemäß SCHMITT et. al. haben die Partikel ein signifikantes Aufkommen im Niederschlagswasserabfluss. Sie können zur Verstopfung des Lückensystems der Gewässersohle führen und transportieren aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche viele organische und anorganische Schadstoffe.

Bisher gibt es keine einheitlich vorgegebene Analysemethode für den Parameter AFS₆₃. Die laboranalytische Vorgehensweise kann erheblichen Einfluss auf die analysierte Konzentration haben (BAUM et. al). Darüber hinaus sind die analytische und labortechnische Vorgehensweise in den Literaturquellen häufig nicht ausreichend genau beschrieben, was einen Vergleich der Ergebnisse erschwert.

Bei der Sonderuntersuchung FeReSA wurde für die AFS₆₃-Bestimmung eine repräsentative Teilprobe (3 bis 5 Liter) aus der homogenisierten Monatsmischprobe entnommen und über ein Sieb mit einer Maschenweite von 63 µm gesiebt. Anschließend wurde eine erneute Homogenisierung der Probe (Filtrat) durchgeführt, bevor sie über einen Glasfaserfilter (0,45 µm) gefiltert wurde.

Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration beträgt 46,8 mg/l (Abb. 11). Der Konzentrationsverlauf ist in Abbildung 13 ersichtlich. Die Bewertung der Niederschlagswassereinleitung nach DWA-A 102-2 erfolgt ausführlich in Kapitel 5 des Berichtes.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

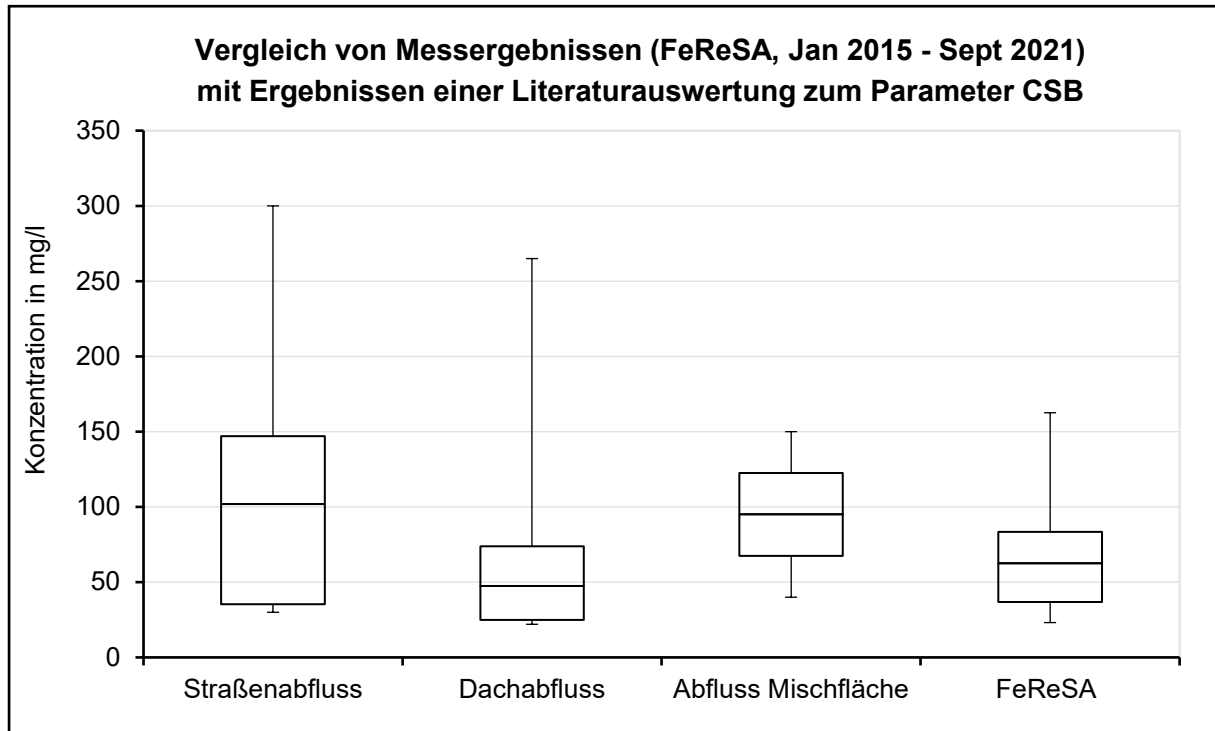


Abbildung 12: Ergebnisse zum Parameter CSB

Abbildung 12 zeigt, dass obgleich der geringen mittleren Jahresniederschlagshöhe für Wer-nigerode die Messergebnisse zum Parameter CSB im Bereich der Literaturangaben für Mischflächen liegen. Die vergleichsweise geringen Konzentrationen und die geringere Streuung der Messwerte sind darauf zurückzuführen, dass im Untersuchungsprogramm mengenproportionale Monatsmischproben analysiert werden. Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration beträgt 64,03 mg/l und die mittlere Jahreseinleitungsfracht beträgt 7.133 kg.

Die CSB-Bestimmung im Niederschlagswasserabfluss dient vor allem der Abschätzung der möglichen Veränderungen des Sauerstoffhaushaltes (Abb. 1).

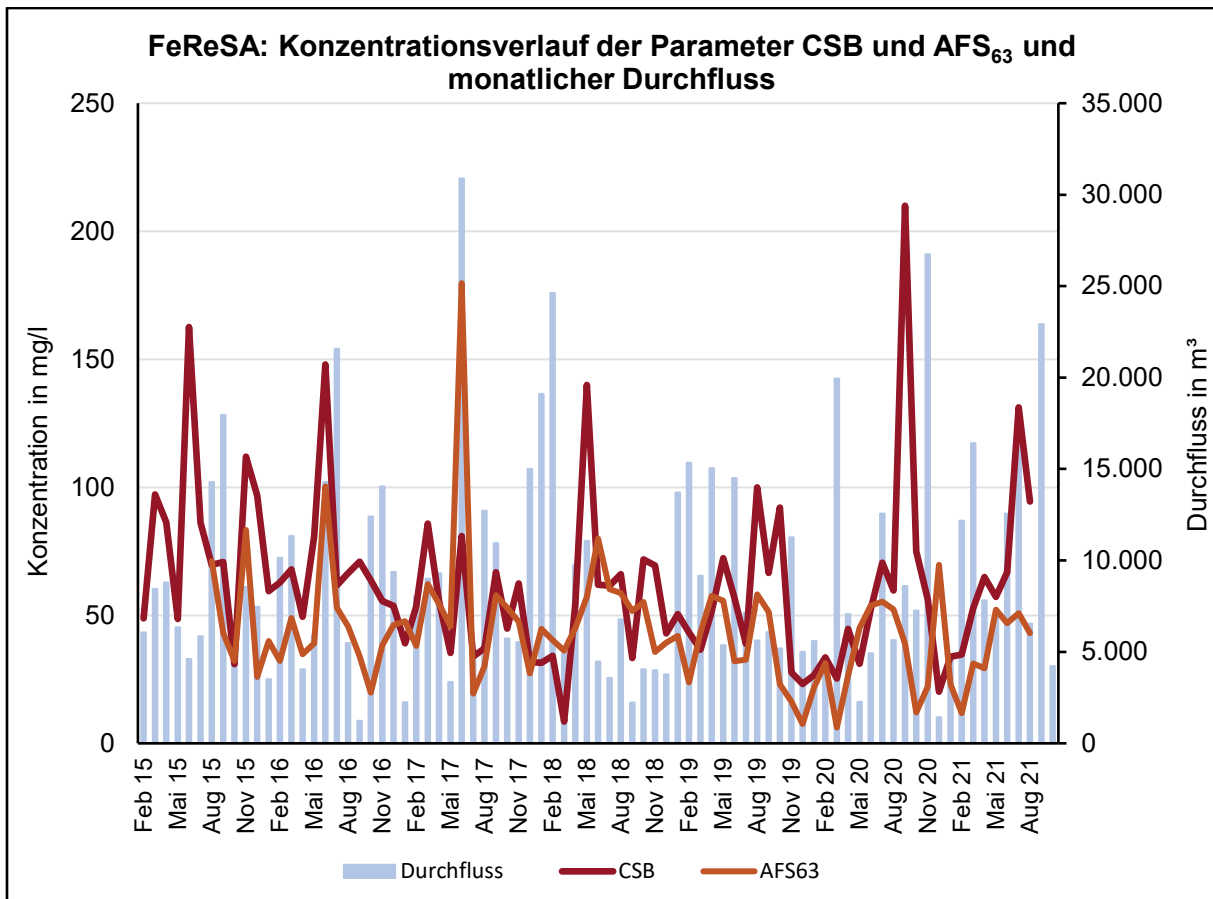


Abbildung 13: Konzentrationsverlauf CSB und AFS₆₃ und monatlicher Durchfluss

In der Abbildung 13 sind der Konzentrationsverlauf der beiden Parameter CSB und AFS₆₃ dem monatlichen Durchfluss für den Untersuchungszeitraum Januar 2015 – 2021 gegenübergestellt (AFS₆₃ erst ab Juli 2015 im Parameterspektrum). Es ist zu erkennen, dass die Konzentrationen mit zunehmendem Abfluss etwas abnehmen. In den abfluss- bzw. niederschlagsärmeren Monaten steigen die Konzentrationen tendenziell an. Obwohl die Konzentrationen als Fracht-gewogene Mittelwerte ausgewertet wurden, weisen sie große Schwankungen auf. Der CSB schwankt in einem Bereich von 8 bis 210 mg/l und AFS₆₃ in einem Bereich von 6 bis 180 mg/l.

Phosphor

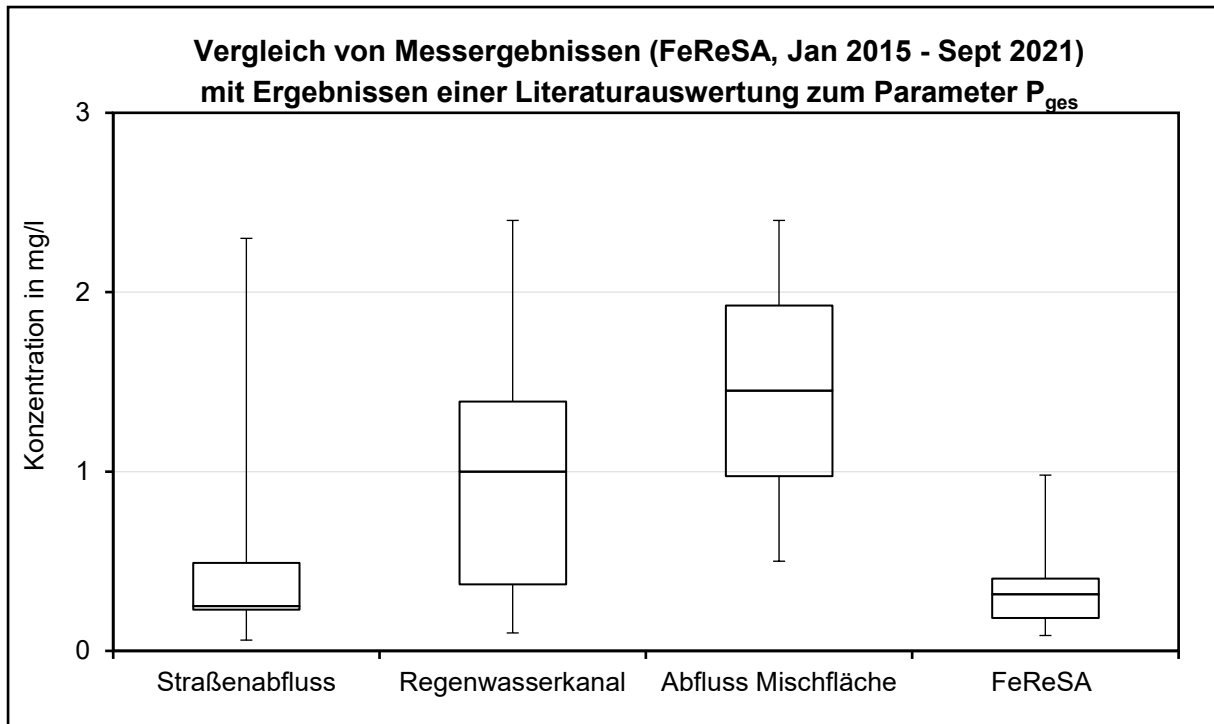


Abbildung 14: Ergebnisse zum Parameter P_{ges}

Die FeReSA- Messwerte für den Parameter P_{ges} sind im Vergleich zu den Literaturwerten für den Ablauf aus Regenwasserkanälen und dem Abfluss von Mischflächen deutlich geringer. Sie bewegen sich im Bereich der für Straßenabflüsse in der Literatur zu findenden Konzentrationen (Abb. 14). Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration beträgt lediglich 0,3 mg/l.

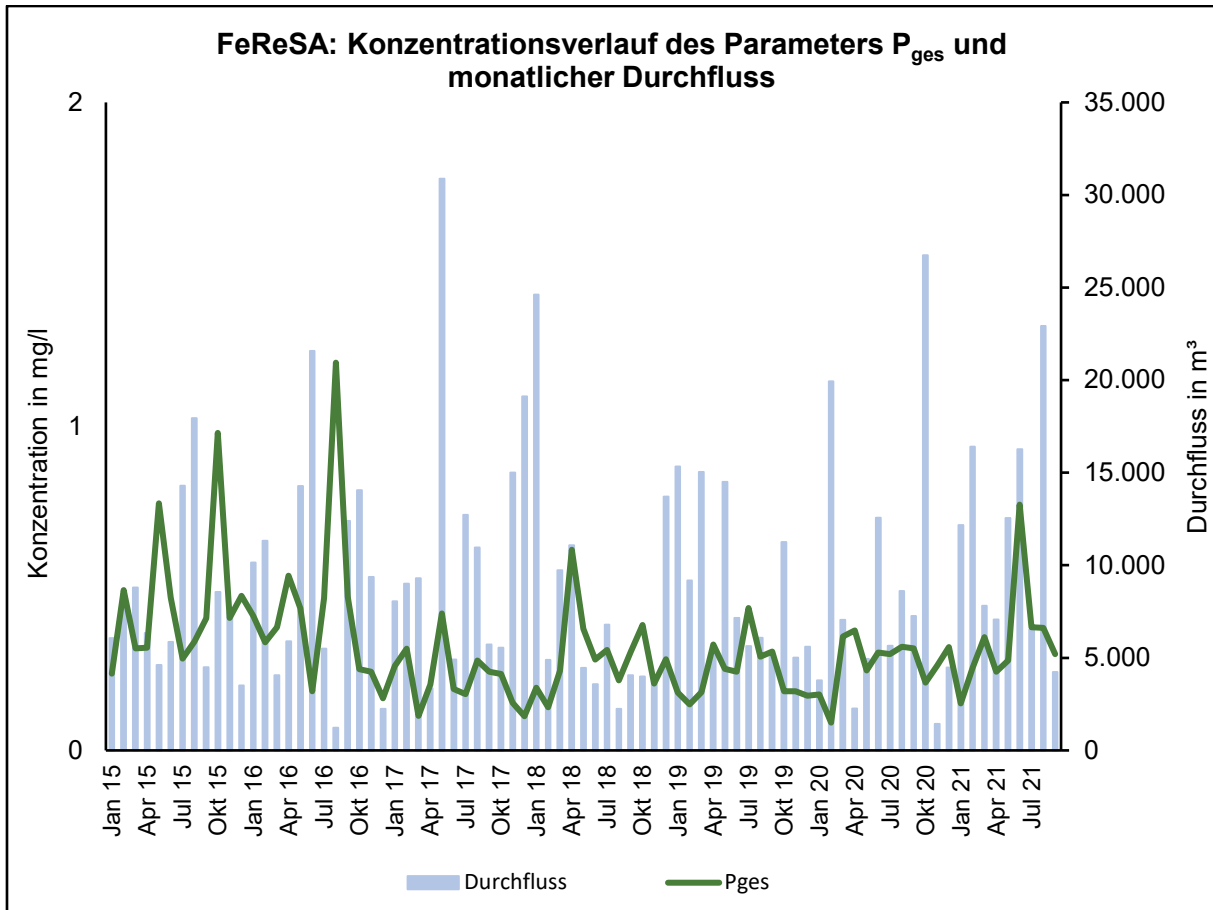


Abbildung 15: Konzentrationsverlauf P_{ges} und monatlicher Durchfluss

Die P_{ges} -Konzentrationen schwanken in einem Bereich von 0,1 bis 1,2 mg/l (Abb. 15). Damit liegen die Konzentrationen in einem Bereich von Kläranlagen mit guter P-Eliminierung.

Stickstoff

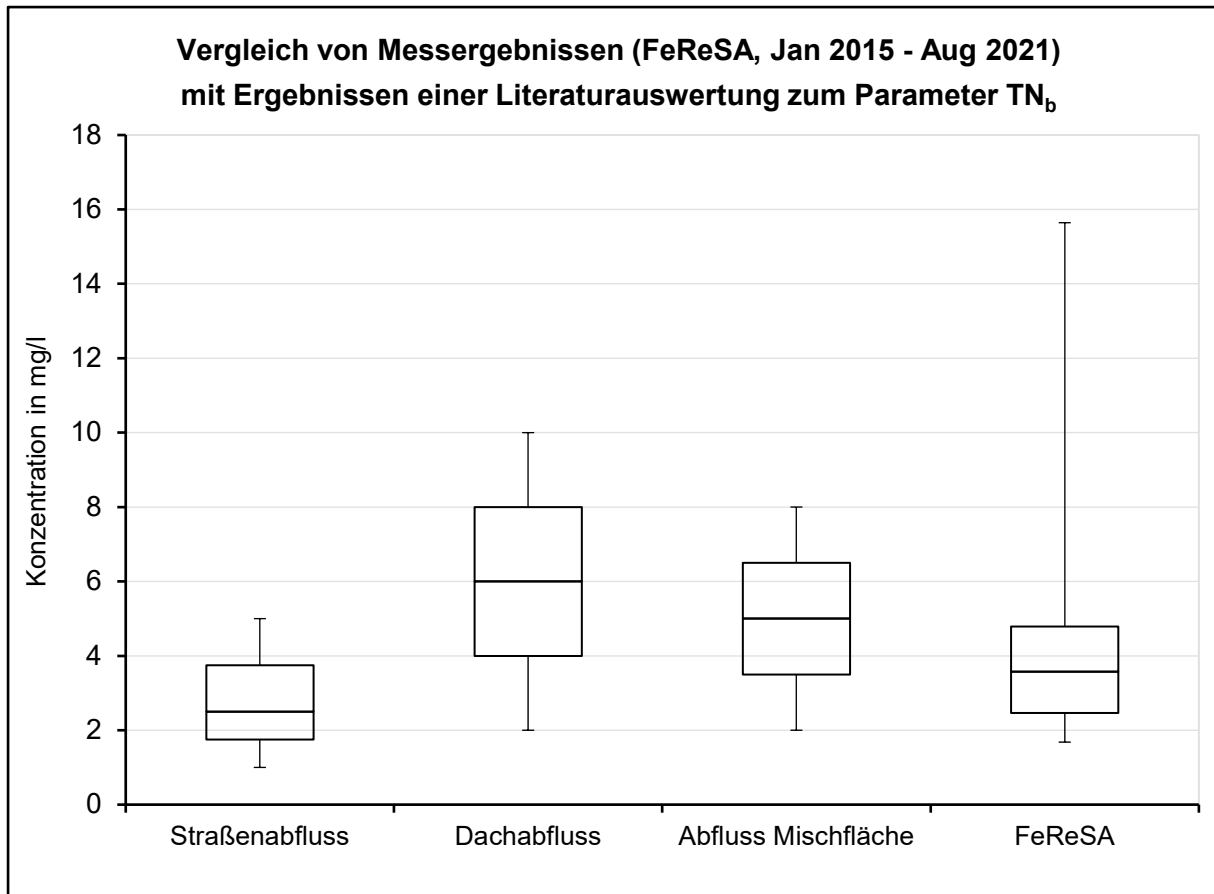


Abbildung 16: Ergebnisse zum Parameter TN_b

Die Messwerte zum Stickstoff, hier beispielhaft als TN_b (gesamter gebundener Stickstoff) dargestellt, liegen ebenfalls im Bereich der für Straßenabflüsse in der Literatur zu findenden Konzentrationen (Abb. 16). Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration beträgt 3,68 mg/l.

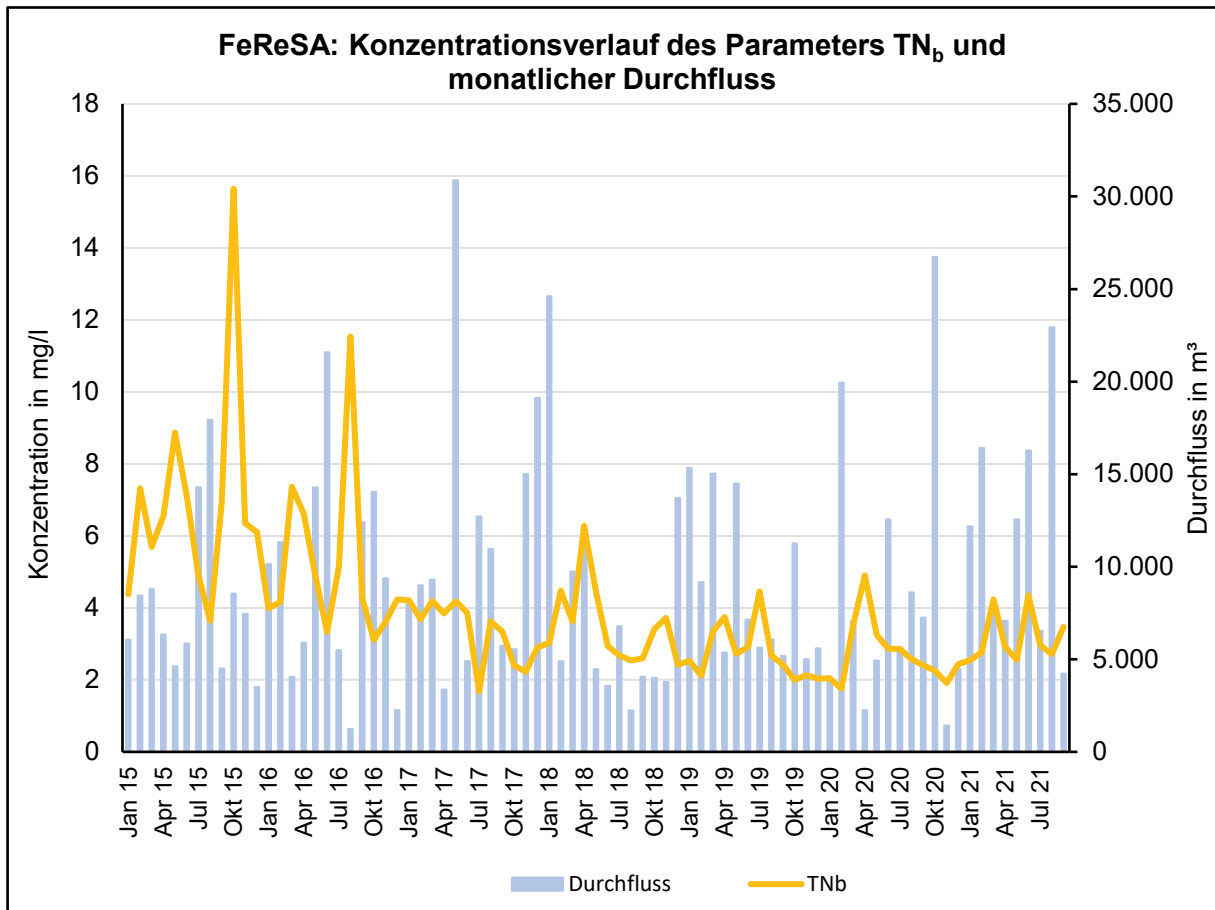


Abbildung 17: Konzentrationsverlauf TN_b und monatlicher Durchfluss

Die TN_b-Konzentrationen schwanken in einem Bereich von 1,7 bis 15,6 mg/l. Im Laufe der Sonderuntersuchung (2015 bis 2021) ist ein Konzentrationsrückgang von ~ 7 mg/l auf ~ 3 mg/l (Jahresmittelwerte) zu beobachten (Abb. 17).

Chlorid

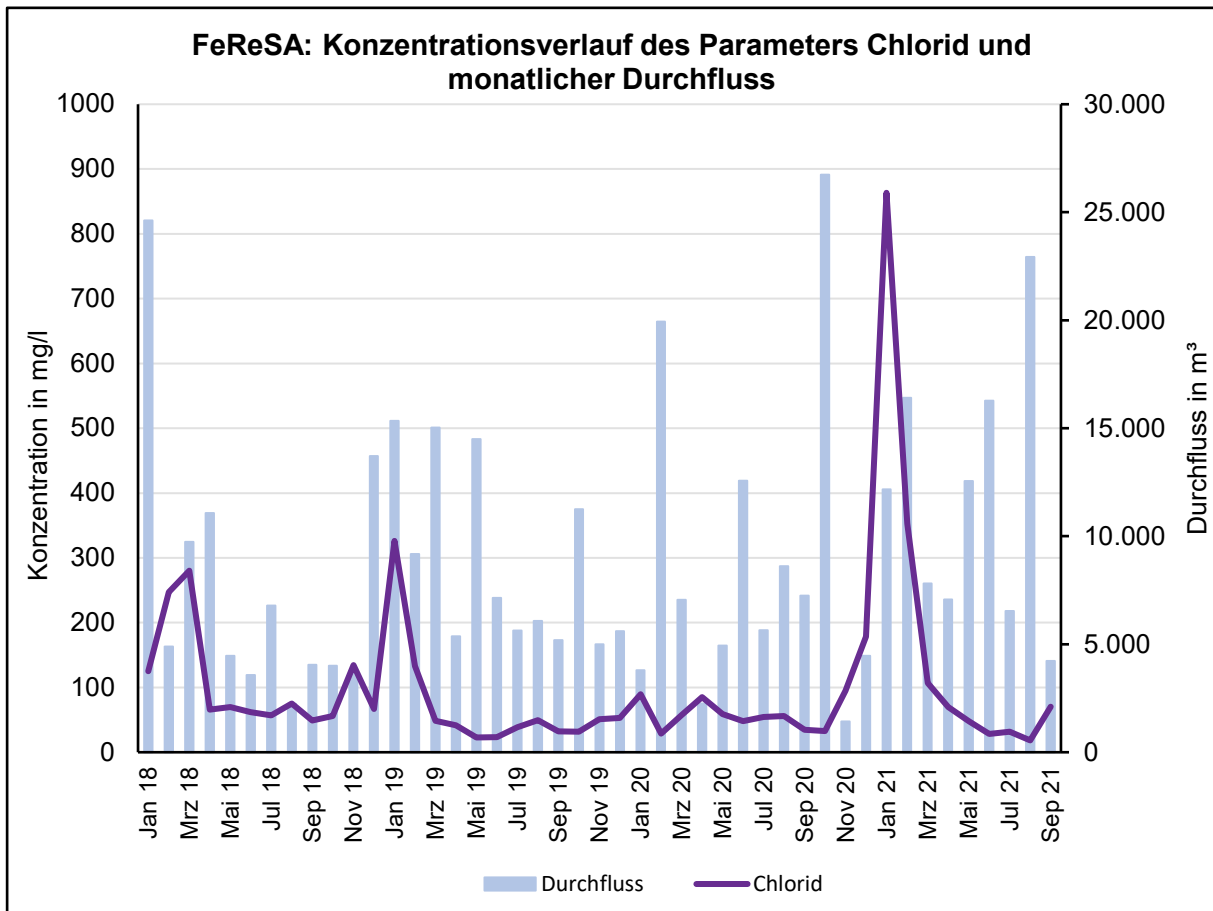


Abbildung 18: Konzentrationsverlauf des Parameters Chlorid und monatlicher Durchfluss

Der Einsatz von Tausalzen wie z.B. Chlorid und Sulfat dient der Erhaltung der Verkehrssicherheit in den Monaten, in denen Frost auftreten kann. Dementsprechend sind im Straßenabfluss in dieser Zeit sehr große Konzentrationen bis zu 9.000 mg/l nachweisbar (KASTING). Die Parameter Chlorid und Sulfat wurden ab Januar 2018 dauerhaft mit in das Analysespektrum der Sonderuntersuchung übernommen. Die mittlere Fracht-gewogene Konzentration für Chlorid beträgt 109,58 mg/l (für Sulfat 49,13 mg/l). Wie in Abb. 18 ersichtlich, nimmt die Konzentration zum Winter zu. Vor allem im Winter 2020/2021, der von lang anhaltenden niedrigen Temperaturen gekennzeichnet war, ist der Konzentrationsanstieg bis zu einem gemessenen Wert von 863 mg/l in der Monatsmischprobe für Januar 2021 nachweisbar.

Zink, Kupfer, Cadmium

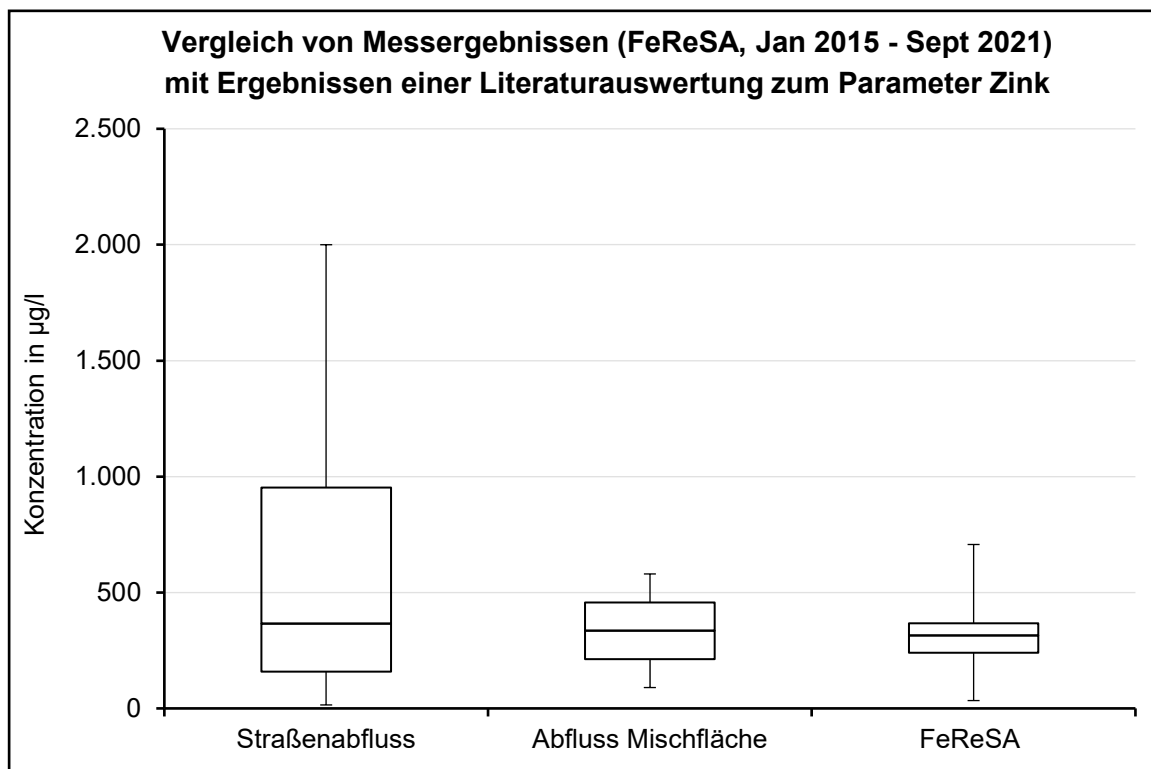


Abbildung 19: Ergebnisse zum Parameter Zink

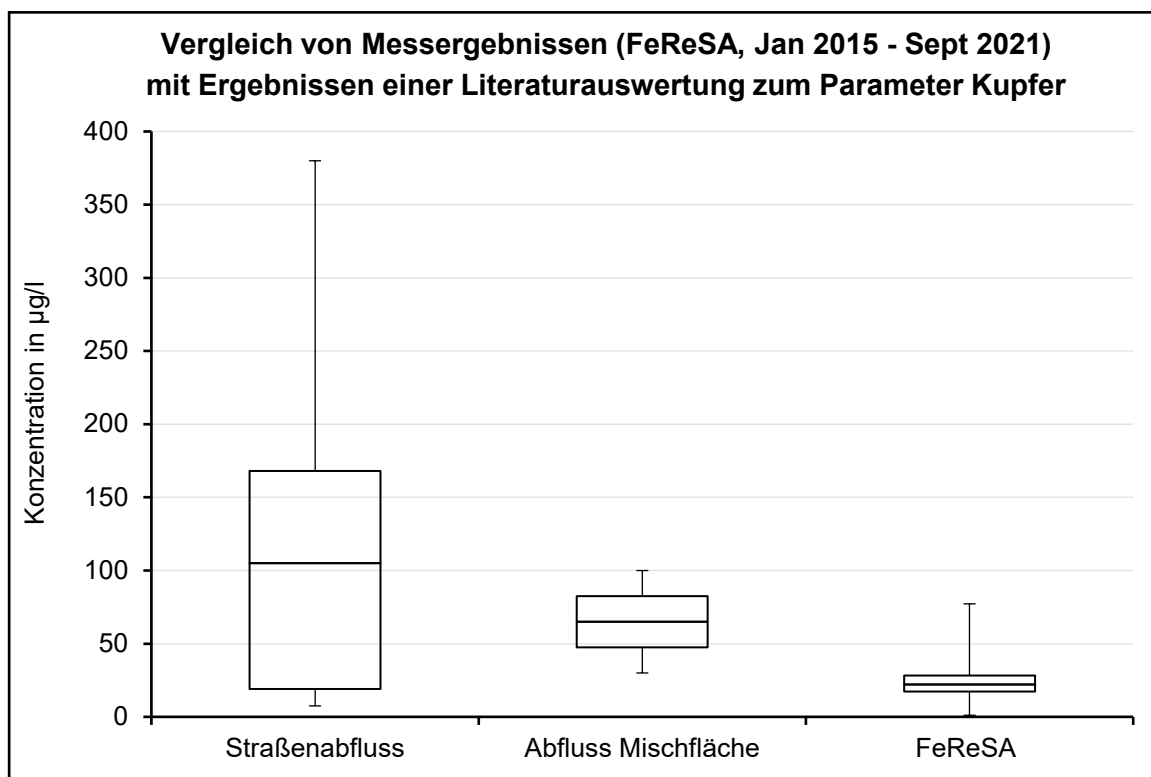


Abbildung 20: Ergebnisse zum Parameter Kupfer

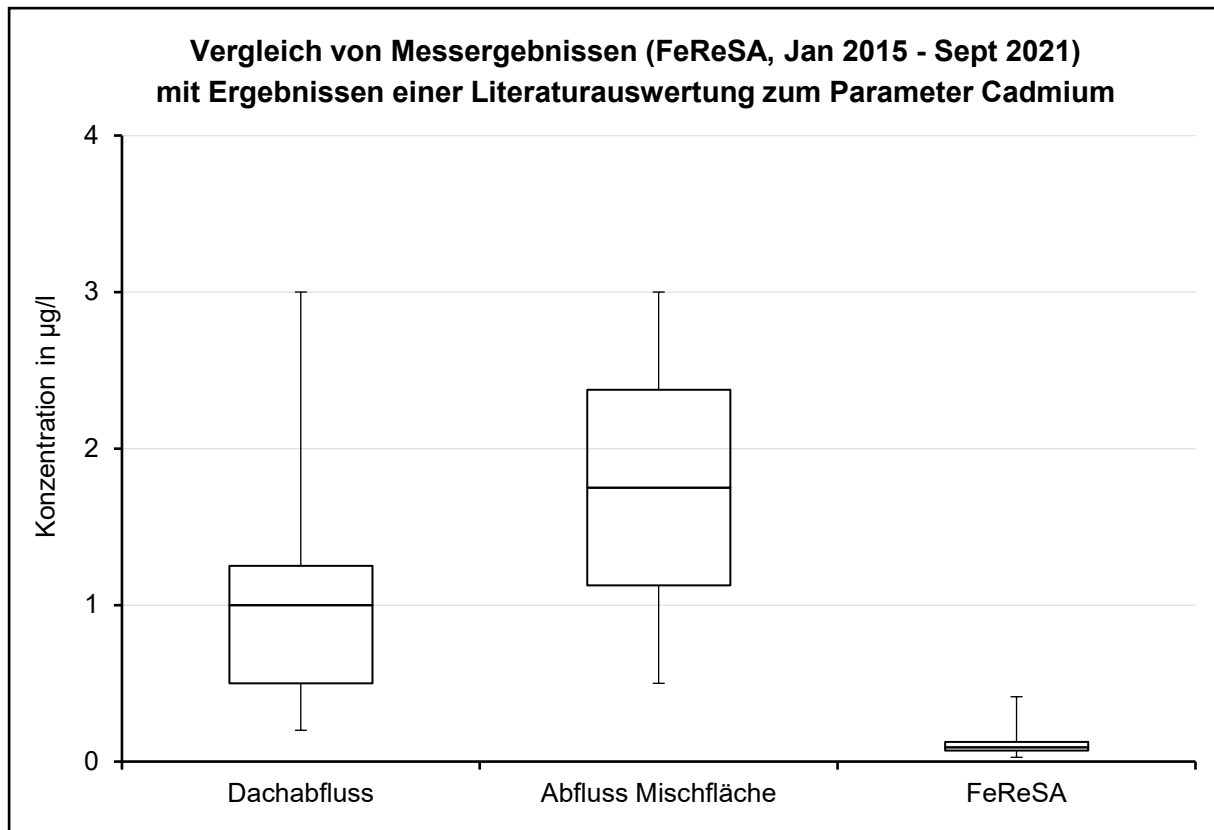


Abbildung 21: Ergebnisse zum Parameter Cadmium

Schwermetalle im Niederschlagswasserabfluss stammen vorrangig von Metallflächen im Bereich von Dachkonstruktionen oder resultieren aus Brems-, Reifen- und Fahrabrieb. Die höchsten Messwerte, die bei einer Literaturrecherche ermittelt wurden, liegen bei rund 7.000 µg/l Zink im Dachabfluss (SCHMITT et.al). Beispielhaft sind in den Abbildungen 19, 20 und 21 die Ergebnisse für Zink, Kupfer und Cadmium dargestellt. Während beim Parameter Zink die Literaturangaben im Abfluss von Mischflächen bestätigt werden (mittlere Fracht-gewogene Konzentration bei 332 µg/l), liegen die für die Parameter Kupfer und Cadmium gemessenen Konzentrationen in einem deutlich geringeren Bereich (mittlere Fracht-gewogene Konzentrationen bei 24,5 µg/l bzw. 0,12 µg/l).

Eine Zusammenfassung der Messergebnisse erfolgt in Kapitel 6.

Biozide und Pflanzenschutzmittel (Zuarbeit SG 511 LHW, modifiziert)

Biozide und Pflanzenschutzmittel gehören gemäß Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) zu den Pestiziden. Während Pflanzenschutzmittel zur direkten Anwendung an Pflanzen und Pflanzenerzeugnissen bestimmt sind, dienen Biozide der Vorbeugung bzw. Bekämpfung von Organismen, die für Mensch, Tier oder Materialien schädlich sein können (BVL).

Die Verwendung von Bioziden im Bautenschutz und von Pflanzenschutzmitteln, die für den Hausgebrauch zugelassen sind, führen in urbanen Räumen zu Umweltbelastungen. Wie stark sich diese Einträge auf die aquatischen Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern auswirken, ist Gegenstand verstärkter Forschungen. Die Erkundung der Belastungssituation erfolgt über spezielle Monitoringprogramme. Gerade die zunehmende Verwendung biozider Wirkstoffe im Zuge von wärmedämmenden Fassadensanierungen sowie Dichtungsbahnen an Dächern lassen ein steigendes Austragspotenzial erwarten (BURKHART). Einen wesentlichen Eintragspfad von Bioziden in die Umwelt stellt der direkte Eintrag über den Regenwasserabfluss dar. Ein weiteres Eintragspotenzial bilden die Pflanzenschutzmittel, die u.a. im Verkehrsbereich und auch zum Hausgebrauch zugelassen sind.

Die Wirkstoffauswahl erfolgte in Auswertung einschlägiger Literatur, aus Sicht regionaler Erfahrungen (Berücksichtigung agrarisches Umfeld des Untersuchungsraumes), aber auch unter Beachtung der analytischen Möglichkeiten seitens des mit der Untersuchung beauftragten Landeslabors.

Für die ausgewählten Biozide und Pflanzenschutzmittel liegen nicht für alle Monate Analyseergebnisse vor. Wenn aufgrund des monatlichen Niederschlagsgeschehens nur wenig Probenmenge vorlag, wurde der Analyse anderer Parameter (wie z.B. Nährstoffen, Schwermetallen) Vorrang eingeräumt. Eine Ausnahme bildet das Herbizid Prosulfocarb, das ursprünglich nicht im Messprogramm enthalten war. Hier wurden im Zuge der Analytik Auffälligkeiten bei einem Regenereignis im November 2020 entdeckt.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die analysierten Wirkstoffe mit Beschreibung des Einsatzbereiches zusammengestellt.

Tabelle 1: Einsatzbereich der untersuchten Biozide/Pflanzenschutzmittel

Wirkstoff	Einsatzbereich
Mecoprop	Herbizid in Landwirtschaft, Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen und Mauerwerksabdichtung
Glyphosat	Herbizid in Landwirtschaft, Unkrautbekämpfung urbaner Bereich, Handelsname Roundup
AMPA (Metabolit)	Metabolit Glyphosat
Diuron	Herbizid, Landwirtschaft nicht mehr zugelassen, Verwendung in kunstharzgebundenen Putzen
24-D	Herbizid in Landwirtschaft, Unkrautbekämpfung urbaner Bereich
Isoproturon	Herbizid in Landwirtschaft, Verwendung in Wandfarben
Carbendazim	Fungizid, Landwirtschaft nicht mehr zugelassen, Anwendung für Zierpflanzen und in Silikondichtstoffen/ Fassadenfarben
MCPA	Herbizid in Landwirtschaft
Terbutryn	Herbizid, Landwirtschaft nicht mehr zugelassen, Anwendung als Algizid in Dispersionsfarben
Metolachlor	Herbizid in Landwirtschaft
Fenpropimorph	Fungizid in Landwirtschaft, Verwendung in Holzschutzmitteln
Dimethoat	Insektizid in Landwirtschaft, Verwendung in handelsüblichen Spritzmitteln urbaner Bereich
Prosulfocarb	Herbizid in Landwirtschaft
Irgarol	Herbizid und Fungizid, als Antifoulingmittel bei Unterwasseranstrichen, im Bautenschutz nicht mehr zugelassen

Eine detaillierte Auswertung der Analysenergebnisse aus dem Stadtgebiet Wernigerode im Sinne einer Überprüfung von Schmutzfrachtpotentialen bzw. der Berechnung von Eintragsfrachten wie bei anderen Parametern kann für die Pflanzenschutzmittel und Biozide nicht vorgenommen werden, da diese Wirkstoffe wie bereits erwähnt, nur in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Probenmenge untersucht wurden. Außerdem erfolgt die potenzielle Abschwemmung aus der Fläche anwendungsbedingt unter Ereignisbezug (ereignisabhängiger, nicht kontinuierlicher Flächenabtrag). Die vermuteten diffusen Flächenausträge werden somit von den Expositionen des Bautenschutzes überdeckt.

Im Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 132 Proben auf o.g. Wirkstoffe untersucht. Dabei wurden nicht alle Wirkstoffe pro Probe analysiert. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Untersuchungsergebnisse einschließlich einer stoffbezogenen Bewertung zusammengefasst.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnisse Biozide/Pflanzenschutzmittel

Parameter	BG ¹⁾ in µg/l	Anzahl Proben	Anteil Proben >BG (%)	Mittlere Konzentration in µg/l	Min in µg/l	Max in µg/l	QK ²⁾ in µg/l	Art des QK ²⁾	Einstufung Stoffrelevanz ⁶⁾
Mecoprop	0,01	132	92	0,0333	< BG	0,2	0,1	JD-UQN ³⁾	2
Glyphosat	0,03	122	94	0,9796	< BG	11	28	JD-UQN-V ⁴⁾	1
AMPA	0,025/0,03	122	91	0,379	< BG	1,5	452	JD-UQN-V ⁴⁾	1
Diuron	0,01/0,02/0,1	132	25	0,012	< BG	0,14	0,2	JD-UQN ³⁾	1
Isoproturon	0,01/0,02	132	6	0,0155	< BG	1,1	0,3	JD-UQN ³⁾	2
2,4-D	0,01	132	7	0,0064	< BG	0,056	0,2	JD-UQN ³⁾	1
Carbendazim	0,01/0,02/0,1	111	50	0,0154	< BG	0,09	0,2	JD-UQN ³⁾	1
Terbutryn	0,01	52	79	0,0276	< BG	0,25	0,065	JD-UQN ³⁾	2
MCPA	0,01	113	26	0,0236	< BG	0,97	2	JD-UQN ³⁾	1
Dimethoat	0,01	40	3	0,0874	< BG	3,3	0,07	JD-UQN ³⁾	(3)
Metolachlor	0,01/0,02/0,04	110	6	0,0066	< BG	0,085	0,2	JD-UQN ³⁾	1
Fenpropimorph	0,006/0,1/0,012/0,02	112	3	0,0034	< BG	0,019	0,02	JD-UQN ³⁾	1
Prosulfocarb	0,01	2	100	n.b.	0,12	0,32	6,8	RAK ⁵⁾	-
Irgarol	0,01	52	0	<0,01 (BG)	< BG	< BG	0,0025	JD-UQN ³⁾	-

1) BG: Bestimmungsgrenze

2) QK: Qualitätskriterium Fließgewässer

3) JD-UQN: Umweltqualitätsnorm für den Jahresdurchschnittswert gemäß OGewV 2016

4) JD-UQN-V: Umweltqualitätsnormvorschlag für den Jahresdurchschnittswert entsprechend LAWA-Bericht Mikroschadstoffe in Gewässern 2016 https://www.lawa.de/documents/20160126_lawa_bericht_mikroschadstoffe_in-gewaessern_final_155580704.pdf

5) RAK: Regulatorisch Akzeptable Konzentration entsprechend UBA 2020
<https://webtox.uba.de/webETOX/public/basics/literatur/download.do?id=528>

6) Einstufung Stoffrelevanz:

Stufe 1: Mittelwert der Einzelwerte liegt unterhalb des halben Qualitätskriteriums und Maximalwert liegt unterhalb des Qualitätskriteriums

Stufe 2: Mittelwert der Einzelwerte liegt unterhalb des halben Qualitätskriteriums und Maximalwert liegt oberhalb des Qualitätskriteriums

Stufe 3: Mittelwert der Einzelwerte liegt oberhalb des Qualitätskriteriums

Für den größten Teil der untersuchten Biozide/Pflanzenschutzmittel wurden Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze im Regenwasser nachgewiesen. Ursachen für den Eintrag in das Regenwasser können der besonders häufige Einsatz im Bautenschutz, die weite Verbreitung im Hausgebrauch und in der Landwirtschaft oder die Wirkstoffeigenschaften sein (Einsatzbereiche s. Tab. 1).

Aus der oben stehenden Tabelle 2 sind belastbare Aussagen zu folgenden Wirkstoffen möglich:

- Für Mecoprop, Glyphosat/ AMPA wurden in mehr als 90 % der Proben Befunde oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt.
- Der Anteil an Positivbefunden ist für Terbutryn (79 %) und Carbendazim (50 %) ebenfalls hoch.
- Für MCPA und Diuron liegen ca. ein Viertel der Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze.
- Für Isoproturon, 2,4-D, Dimethoat, Metolachlor und Fenpropimorph wurden in weniger als 10 % der Proben Positivbefunde festgestellt.
- Bei Irgarol liegen alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Prosulfocarb kann nicht bewertet werden, da nur zwei Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Obwohl die getroffenen Aussagen in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Probenmenge beurteilt werden müssen, kann allgemein ein saisonales Eintragsmuster als Verhältnis der Wiederfindungsrate (Positivbefunde) von Winterhalbjahr (Nov-März) zu Sommerhalbjahr (April-Okt) mit 60 : 40 festgestellt werden. Die Befunde des Wirkstoffs Mecoprop bestätigen beispielhaft diesen jahreszeitlichen Verlauf. Da der fruchtartenspezifische Anwendungszeitraum des Wirkstoffes Mecoprop in der Landwirtschaft in den Monaten April-Mai, also dem Sommerhalbjahr liegt, kann davon ausgegangen werden, dass die stärkere Wiederfindungsrate im Winterhalbjahr ihre Ursache in einer intensiveren witterungsbedingten Exposition des urbanen Raumes hat (BURKHART).

Die Spannbreiten der Analysenergebnisse bewegen sich im Bereich von Literaturangaben. In der nachfolgenden Tabelle 3 werden beispielhaft die Ergebnisse der Untersuchungen in Wernigerode den Ergebnissen aus den UBA-Texten 169/2020 gegenübergestellt.

Tabelle 3: Vergleich mit Literaturangaben

Parameter	Wernigerode		Literatur	
	Mittlere Konzentration in µg/l	Min-Max in µg/l	Mittlere Konzentration in µg/l	Min-Max in µg/l
Diuron	0,012	<0,01-0,14	0,019-0,48	<0,01-2,68
Isoproturon	0,0155	<0,01-1,1	0,0015-0,098	<0,01-6,37
Carbendazim	0,0154	<0,01-0,09	0,018-0,031	<0,01-0,18
Terbutryn	0,0276	<0,01-0,25	0,026-0,085	<0,01-0,122

Aus Untersuchungen im Regenwasser von begrünten und unbegrünten Flachdächern, welche direkte Eintragsquellen darstellen, sind mittlere Konzentrationen von 1,3 µg/l Mecoprop ermittelt (KURAS). Im Vergleich dazu ist die am Regenwasserkanal in Wernigerode ermittelte Konzentration mit 0,033 µg/l deutlich geringer.

Auch das landwirtschaftliche Universalherbizid Glyphosat, unter dem Handelsnamen Roundup auch im Baumarkt erhältlich, ist besonders austragsrelevant. Der parallele Nachweis des Glyphosat- Metaboliten AMPA, ist erklärbar, da er wesentlich stabiler in der Umwelt ist als die Muttersubstanz und damit für die Verfrachtung zur Verfügung steht. Der höchste gemessene Einzelwert im Untersuchungszeitraum mit 11 µg/l Glyphosat wurde in der Monatsmischprobe Mai 2015 gemessen. Dies lässt einen hohen Einsatz im Hausgebrauch mit entsprechenden ereignisbezogenen Niederschlagswasser-Abschwemmungen vermuten.

Der biozide Wirkstoff Diuron, welcher seit 2007 keine Zulassung mehr in der Landwirtschaft besitzt, hat wegen seiner algentoxischen Eigenschaften ein breites Anwendungsfeld im Bautenschutz und ist als Wirkstoff in vielen handelsüblichen Produkten zum Einsatz im Haus, Garten und gewerblichen Bereich enthalten. Ein häufiger Nachweis direkt im Regenabfluss ist weithin belegt (KURAS).

Die Eintragsquellen und Nachweise von 2,4-D und Isoproturon sind ebenfalls sowohl aus dem urbanen Raum, als auch der Landwirtschaft möglich. In Anlehnung an die UBA-Texte 169/2020 wurden für die Bewertung der Stoffrelevanz die gemessenen Stoffkonzentrationen dem entsprechenden Qualitätskriterium gegenübergestellt. Für die Bewertung, ob ein Stoff als relevant im Hinblick auf die Gewässerqualität einzustufen ist, wurden die mittlere gemessene Konzentration über den gesamten Untersuchungszeitraum und die Maximalkonzentration in Beziehung zum Qualitätskriterium gesetzt. Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden hierbei mit der halben BG berücksichtigt. Als Qualitätskriterien wurden die geltenden Umweltqualitätsnormen (UQN) der OGewV 2016 verwendet. Für Stoffe ohne UQN wurden Vorschläge für Umweltqualitätsnormen der LAWA und RAK-Werte herangezogen.

Die Bestimmungsgrenzen lagen mit Ausnahme von Irgarol unterhalb des Qualitätskriteriums. Eine Einschätzung der Stoffrelevanz war deshalb für Irgarol nicht möglich. Auch Prosulfocarb wurde nicht bewertet, da lediglich zwei Einzelwerte vorlagen.

Alle Parameter, deren mittlere Konzentrationen das halbe Qualitätskriterium unterschreiten und deren Maximalkonzentration unterhalb des Qualitätskriteriums liegt, besitzen wahrscheinlich keine Relevanz für die Gewässerqualität (Stufe 1). Dazu gehören: Glyphosat/AMPA, Diuron, 2,4-D, Carbendazim, MCPA, Metolachlor und Fenpropimorph.

Maximalwerte, die das Qualitätskriterium überschreiten, wurden bei Mecoprop (vier Werte), Isoproturon (ein Wert), Terbutryn (zwei Werte) und Dimethoat (ein Wert) festgestellt (Stufe 2). Diese Stoffe können möglicherweise relevant für die Gewässerqualität sein.

Für Dimethoat überschreitet die mittlere Konzentration das Qualitätskriterium (Stufe 3). Da für diese Einstufung jedoch lediglich ein sehr hoher Einzelwert maßgebend ist, ist eine gesicherte Einschätzung nicht möglich.

Die Ergebnisse zur Regenwasserbelastung mit Bioziden/Pflanzenschutzmitteln tragen zur Verbesserung der bestehenden Kenntnislage bei und liefern Anhaltspunkte für eine mögliche Relevanz für die Gewässerqualität. Sie bestätigen die aus der Literatur bekannten und belastbaren Aussagen. Verbesserungen der „Belastungssituation“ können nur durch eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung erzielt werden. In der Praxis bedeutet das, den „Nachhaltigkeitsgedanken“ bei Sanierungen und Neubau von Gebäuden zu berücksichtigen und die Verwender zur Anwendung von Alternativen zu chemischen Bioziden/Pflanzenschutzmitteln im Haus- und Gartenbereich aufzuklären.

4. Ableitung von Schmutzfrachtpotentialen befestigter Flächen

Ausgehend von einer angeschlossenen befestigten Fläche am Regenwasserkanal in Höhe von 23,28 ha wurden in Auswertung der Monatsmischproben und der monatlichen Abflussmengen für die Parameter CSB, TN_b, P_{ges} und AFS₆₃ Schmutzfrachtpotentiale (FeReSA-SFP_{bf}) ermittelt.

In der Tab. 4 wurden die FeReSA-SFP_{bf} den Schmutzfrachtpotentialen gegenübergestellt, die im Zusammenhang mit der Sonderuntersuchung FeMiSA abgeleitet wurden. Weiterhin wird der Vergleich zu den bisher in der Fachinformation des LAU (Nr. 1/2014) zur Anwendung empfohlenen SFP_{bf} gezogen.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Schmutzfrachtpotentiale

Parameter	FeReSA – SFP _{bf} (2015 – 2021)	FeMiSA – SFP _{bf} (2010 – 2015)	Fachinformation LAU Nr. 1/2014	RdErl. MLU 23.05.2013
CSB	306	640	500	500
TN _b	18	30	20	-
P _{ges}	1,4	9,2	5	-
AFS ₆₃	229	-	-	-

Die FeReSA-Schmutzfrachtpotentiale für die Parameter CSB, TN_b und P_{ges} liegen erwartungsgemäß deutlich unter denen, die im Sonderuntersuchungsprogramm „FeMiSA“ als Eingangsgröße für die Langzeitsimulation mit KOSIM verwendet werden mussten, um realitätsnahe Entlastungsfrachten zu simulieren. Es wird angenommen, dass die erhöhten Frachten in Halberstadt auf die Remobilisierung von Kanalablagerungen zurückzuführen sind.

Die in den FeMiSA-SFP_{bf} enthaltene Fracht zur Berücksichtigung der Remobilisierung von Kanalablagerungen (Differenz aus FeReSA-SFP_{bf} und FeMiSA-SFP_{bf}) ist je nach Parameter unterschiedlich groß. Beim Phosphor ist dieser Anteil mit 85 % besonders groß.

Der Vergleich der FeReSA-SFP_{bf} mit denen in der Fachinformation des LAU zur Anwendung empfohlenen SFP_{bf} zeigt geringere Unterschiede. Wie bereits im Kapitel 3.1 erwähnt, werden die gemessenen Frachten und somit die SFP_{bf} nur auf die angeschlossene befestigte Fläche bezogen, obwohl mit hoher Wahrscheinlichkeit unbefestigte Flächen ebenfalls abflusswirksam sind. Die tatsächliche Belastung der Flächen und damit die abgeleiteten SFP_{bf} werden daher eher über- als unterschätzt. Diese Überschätzung wird bewusst in Kauf genommen, da dies dem Gewässerschutz zu Gute kommt.

5. Bewertung der Niederschlagswassereinleitung nach DWA-A 102-2

Im Dezember 2020 wurde das neue Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A3-2 „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen“ veröffentlicht. Dieses Arbeitsblatt ist Teil einer DWA- Arbeits- und Merkblattreihe, welche emissions- und immissionsbezogene Vorgaben zum Umgang mit Regenwetterabflüssen enthalten. Als Referenzparameter zur Bewertung der stofflichen Belastung von Niederschlagswasserabflüssen von befestigten Flächen werden die transportierten Feststoffe mit der Eingrenzung auf den Feinanteil von 0,45 - 63 µm (AFS₆₃) vorgesehen.

Die Bewertung der Verschmutzung von Niederschlagswasserabflüssen erfolgt durch Zuordnung von Flächenarten und – spezifizierungen in drei Belastungskategorien (Tab. 5). Auf dieser Grundlage wird der Grad der Behandlungsbedürftigkeit von Niederschlagswasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer festgestellt.

Tabelle 5: Behandlungsbedürftigkeit von unterschiedlich belastetem Niederschlagswasser (DWA-A 102-2)

Oberflächengewässer	Einleitung grundsätzlich ohne Behandlung möglich	Grundsätzlich geeignete technische Behandlung erforderlich	
Grundwasser	Versickerung und gegebenenfalls Behandlung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 138		

Der Niederschlagswasserabfluss von befestigten Flächen der Kategorie I gilt als nicht behandlungsbedürftig. Ein flächenspezifischer Stoffabtrag in Höhe von 280 kg/(ha*a) wird als gewässerverträglich verstanden (Tab. 6). Der Abfluss von stärker belasteten Flächen ist grundsätzlich behandlungsbedürftig.

Tabelle 6: Rechenwerte zu mittleren Konzentrationen im Regenwasserabfluss und flächenspezifischem jährlichem Stoffabtrag $b_{R,a,AFS63}$ für AFS₆₃ der Belastungskategorien I bis III (DWA-A 102-2)

Kategorie	Mittlere Konzentration $C_{R,AFS63}$ im Jahresregenwasserabfluss im mg/l	Flächenspezifischer Stoffabtrag $b_{R,a,AFS63}$ in kg/(ha*a)
Kategorie I	50	280
Kategorie II	95	530
Kategorie III	136	760

Im Zuge einer Literaturrecherche konnte nicht geklärt werden, warum eine Niederschlagswassereinleitung kleiner/gleich 280 kg AFS₆₃/(ha*a) unabhängig vom Typ des Einleitungsgewässers in jedem Fall gewässerverträglich sein soll. Auf Nachfragen bei den Autoren des DWA-A 102-2 wurde auf komplizierte statistische Verfahren der Auswertung von Literaturwerten verwiesen. Nähere Informationen waren nicht erhältlich.

Gemäß Kap. 5.2.2.3 des DWA-A 102-2 verstehen sich die in Tabelle 6 aufgelisteten Konzentrations- und Frachtwerte als Rechenwerte und eignen sich nicht als Referenzwerte für einen messtechnischen Nachweis zulässiger Stoffausträge. Aus fachlicher Sicht ist im konkreten Fall ein Vergleich möglich, da während der 6-jährigen Beprobung des Niederschlagswasserabflusses aus dem Regenwasserkanal in Wernigerode kontinuierlich mengenproportionale Proben entnommen, diese sofort nach der Entnahme tiefgefroren und von einem zertifizierten Labor (LHW) analysiert wurden.

Die im Rahmen der Sonderuntersuchung gemessene AFS₆₃-Fracht wurde der Fracht gegenüber gestellt, die sich durch die oben beschriebene Vorgehensweise nach DWA-A 102-2 ergibt. Hierzu mussten die an den Regenwasserkanal angeschlossenen befestigten Flächen zunächst nach Flächenart bzw. Belastungskategorie aufgeschlüsselt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 22 ersichtlich:

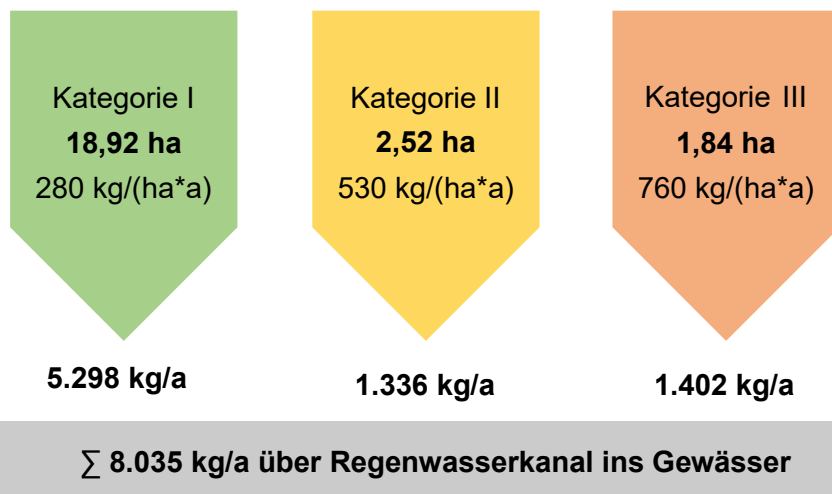


Abbildung 22: Schematische Darstellung der AFS₆₃-Einleitungsfracht an der Messstelle Schmatzfelder Straße Wernigerode (nach DWA-A 102-2)

Im Ergebnis der Bewertung nach DWA-A 102-2 gelangen 8.035 kg/a AFS₆₃ in die Holtemme. Betrachtet man zum Vergleich das Messergebnis der Sonderuntersuchung „FeReSA“ (Tab. 7) wird deutlich, dass im vorliegenden Fall die ins Gewässer kommende Fracht bei Ansatz nach DWA-A 102-2 deutlich überschätzt wird.

Tabelle 7: Behandlungserfordernis nach DWA-A 102-2 und im Ergebnis der Sonderuntersuchung

8.035 (Berechnung)	23,28	345	ja (> 280 kg/(ha*a))
5.332 (Messung)		229	nein (< 280 kg/(ha*a))

Aus dem Messergebnis ergibt sich ein flächenspezifischer Stoffabtrag in Höhe von 229 kg/(ha*a). Eine Einleitung ist damit nach DWA-A 102-2 grundsätzlich ohne Behandlungsmaßnahme möglich. Geht man von der berechneten Fracht aus, ist bei einem flächenspezifischen Stoffabtrag in Höhe von 345 kg/(ha*a) eine geeignete technische Behandlung erforderlich. Bei einer heterogenen Belastung des Niederschlagswasserabflusses (Mischfläche) empfehlen sich dezentrale Maßnahmen, insbesondere für Flächen der Belastungskategorie II bis III. Das anfallende Niederschlagswasser sollte möglichst am Ort des Anfalls behandelt werden, da im Bereich der Niederschlagswassereinleitung „Schmatzfelder Straße“ eine Behandlung aus Platzgründen nicht möglich ist (wird für die Mehrzahl der Niederschlagswassereinleitungen zutreffen). Dies könnten beispielsweise Sinkkästen mit speziellen Filtereinsätzen an den Straßeneinläufen sein. Darüber hinaus könnte die Belastung des Straßenab-

flusses verringert werden, indem das Intervall der Straßenreinigung verkürzt wird. Der Aufwand für Behandlungsmaßnahmen lässt sich ebenfalls reduzieren, wenn Möglichkeiten zur Vermeidung des Niederschlagswasserabflusses genutzt werden (Versickerung vor Ort).

6. Zusammenfassung

Das Sonderuntersuchungsprogramm „Frachtemission Regenwasser Sachsen-Anhalt“ wurde im Oktober 2021 mit dem Abbau der Messtechnik und des Messcontainers beendet (Abb. 23). Das Messprogramm hat sich über einen Zeitraum von Januar 2015 bis September 2021 erstreckt. Vorarbeiten zur Beschaffung, Aufstellung und Kalibrierung der Messtechnik sowie zur technischen Umsetzung eines geeigneten Probenahmeregimes fanden im Zeitraum von 2011 bis 2014 statt. Insgesamt wurden für 82 Monate Fracht-gewogene Monatsmittelwerte ausgewählter Parameter ermittelt.



Abbildung 23: Rücktransport des FeReSA-Messcontainers ins LAU (Foto: LAU)

In Auswertung der kontinuierlichen Messungen (Durchflussmesswerte und Analyseergebnisse) wurden Schmutzfrachtpotentiale befestigter Flächen für die Parameter CSB, TN_b , P_{ges} und AFS_{63} abgeleitet, mit denen es möglich ist, realitätsnahe Frachtemissionen durch Einleitungen aus Regenwasserkanälen für vergleichbare Einzugsgebiete landesweit abzuschätzen.

Darüber hinaus können die Schmutzfrachtpotentiale im Zusammenhang mit der Kalibrierung von KOSIM-Modellprojekten zur Simulation von Mischwasserentlastungsfrachten als verlässliche Eingangsgröße verwendet werden. Eine Kalibrierung von KOSIM-Modellprojekten ist

vor allem dann erforderlich, wenn Mischwassereinleitungen gewässerrelevant sind. Im Ergebnis der Sonderuntersuchung „Frachtemission Mischwasser Sachsen-Anhalt“, welche von 2010 – 2015 im Einzugsgebiet von Halberstadt stattgefunden hat, konnten Schmutzfrachtpotentiale abgeleitet werden, bei denen es wahrscheinlich ist, dass remobilisierte Kanalablagerungen über Mischwasserentlastungen ausgetragen werden. Im Gegensatz dazu konnten im Ergebnis der im September 2021 beendeten Sonderuntersuchung „Frachtemission Regenwasser Sachsen-Anhalt“ Schmutzfrachtpotentiale befestigter Flächen abgeleitet werden, bei denen eher unwahrscheinlich ist, dass remobilisierte Kanalablagerungen über Mischwasserentlastungen ausgetragen werden.

Im bundesweiten Vergleich gehört Sachsen-Anhalt zu den niederschlagsärmeren Bundesländern. Obgleich der vergleichsweise geringen Jahresniederschlagshöhe von 630 mm in Wernigerode (DWD, Bezugszeitraum 1981 – 2010), liegen die gemessenen Konzentration (FeReSA) im Bereich der Angaben, die bei einer Literaturrecherche zusammengetragen wurden. Die im Ergebnis der Sonderuntersuchung abgeleiteten Schmutzfrachtpotentiale der befestigten Flächen sind somit sowohl in Gebieten mit hoher als auch geringerer Jahresniederschlagshöhe anwendbar.

Im Untersuchungszeitraum wurden neben den o.g. Parametern auch ausgewählte Biozide/Pflanzenschutzmittel (z.B. Mecoprop, Glyphosat) analysiert. Die Ergebnisse liefern einen wichtigen Beitrag zur Abschätzung der Relevanz bestimmter Stoffe für die Gewässerqualität. Die Befunde bestätigen zum Teil einen typischen jahreszeitlichen Verlauf und bewegen sich im Bereich der in der Literatur zu findenden Spannbreiten.

Die Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Sonderuntersuchung „FeReSA“ erfolgt in den Tabellen 8 und 9.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse Teil 1

mittlerer jährlicher Niederschlagswasserabfluss in m ³			111.394
angeschlossene befestigte Fläche in ha			23,28
Parameter	Mittlere Konzentration im Niederschlagswasserabfluss (Fracht-gewogen) in mg/l	Mittlere Jahres-einleitungsfracht in kg/a	SFP _{bf} in kg/(ha*a)
CSB	64,0	7.133	306
AFS	137,5	15.313	658
AFS ₆₃	46,8	5.332	229
TN _b	3,7	410	18
P _{ges}	0,3	34	1,4

Tabelle 9: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse Teil 2

mittlerer jährlicher Niederschlagswasserabfluss in m ³			111.394
angeschlossene befestigte Fläche in ha			23,28
Parameter	Mittlere Konzentration im Niederschlagswasserabfluss (Fracht-gewogen) in µg/l	Mittlere Jahres-einleitungsfracht in g/a	SFP _{bf} in g/(ha*a)
Zn	331,6	36.934	1.587
Pb	19,3	2.149	92
Cd	0,12	13,6	0,59
Ni	1,81	201	8,64
Cr	1,46	162	6,96
Cu	24,5	2.732	117,4
Hg	0,025	2,77	0,12

7. Literaturverzeichnis

Achleitner, S; Engelhard, C; Stegner, U; Rauch, W. (2007): Untersuchung der hydraulischen und stofflichen Leistungsfähigkeit von Muldenversickerungen, Korrespondenz Abwasser, Abfall 2007 (54) Nr.9

Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe "Versickerung von Niederschlagswasser": Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Anwendung des Arbeitsblattes DWA-A 138 Teil 1: Qualitative Hinweise, Korrespondenz Abwasser, Abfall 2011 (58) Nr.4

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007): Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Flächen, Abschlussbericht Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005

Baum, P. et al.: AFS₆₃ – Harmonisierungsbedarf und Empfehlungen für die labortechnische Bestimmung des neuen Parameters, Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Ressourcen Band 1, TU Kaiserslautern (2018), S. 153 – 168

Baum, P.; Dittmer, U. (2017): Feststoffaufkommen und Schadstoffbeladung von Partikeln im Regenabfluss eines Gewerbegebiets in Freiburg (Süddeutschland). In: Dirk Muschalla und Günther Gruber (Hg.): Aqua Urbanica 2017. Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. D-A-CH Gemeinschaftstagung Graz, 03.- 04. Juli 2017. Graz (Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, 75), V1-V16.

Berliner Regenwasseragentur: KURAS – Von der Theorie zur Praxis, März 2019

Brombach, H.; Fuchs, S. (2001): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trockenwetter- und Regenwetterabflüssen in Misch - und Regenwasserkanalisationen, ATV-DVWK-Forschungsfond

Burkhart M., UMTEC, Schweiz, 31. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft

Eyckmanns-Wolters, R.; Fuchs, S.; Maus, C; Sommer, M.; Voßwinkel, N; Mohn, R. (2013): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagseinleitungen - Abschlussbericht der Phase 1. beauftragt vom MKULNV NRW. Hg. v. DWA. Hennef

Forschungszentrum Jülich (13.01.2022): Fortführung und Weiterentwicklung der Nährstoffmodellierung Sachsen-Anhalt, 2. Zwischenbericht

Grotehusmann, Dieter; Lambert, Benedikt; Fuchs, Stephan; Graf, J. (2017): Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Heft V 295, Dezember 2017

Grüning, H. et al (2010): ABSCHLUSSBERICHT zum Forschungsvorhaben Gegenüberstellung der Möglichkeiten zentraler und dezentraler Regenwasserbehandlungsmaßnahmen für zwei Gewässereinzugsgebiete, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW

Hilliges, R.; Endres, M.; Tiffert, A.; Brenner, E.; Marks, T. (2017) : Characterization of road runoff with regard to seasonal variations, particle size distribution and the correlation of fine particles and pollutants., In: Water Sci Technol 75 (5-6), S. 1169–1176

Kasting, U (2006): Belastung von inner- und außerörtlichen Straßen (Workshop BMU), Ingeniurgesellschaft für Stadthydrologie mgh

Kobencic, Reinhold (2002): Verunreinigung des Regenwasserabflusses von Dachflächen, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz

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

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2014): Schmutzfrachtnachweis für Mischwasserkanalisationen, Fachinformation 1/2014

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2015): Frachtemission Mischwasser Sachsen-Anhalt Sonderuntersuchungen im Ablauf zweier Mischwasserentlastungsanlagen im Entwässerungssystem von Halberstadt Untersuchungszeitraum 2010 bis 2014, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Nr. 3/2015

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2008): Technische Regeln zur Ableitung und Behandlung von Straßenabwässern

Leutnant, D.; Schleifenbaum, R.; Rickert, G.; Grüning, H.; Uhl, M. (2016): Modelle für Stofftransport und -behandlung in der Siedlungshydrologie. Schlussbericht. BMBF Förderkennzeichen 03FH033PX2. Fachhochschule Münster, Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWA-RU)

Mertsch, V; Geiger, W. (2003): Anforderungen an die NW-Behandlung unter Berücksichtigung des Schutzes von Boden und Gewässer, MUNLV NRW (Essener Tagung 2005)

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt (2013): Gewässerbenutzungen durch das Einleiten von Niederschlagswasser aus einem Regenwasser- bzw. Mischwasserkanal, RdErl. des MLU vom 23.05.2013 – 23.4-62551

Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (2005): Versickerungsleistung und Schadstoffrückhalt bei der konzentrierten Versickerung der Regenabflüsse von Parkflächen über Rasenfugensteine

Schmitt, T. (2013): Belastung von Trenngebietsabflüssen mit feinen Feststoffen. Masterarbeit im Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik. Studiengang Infrastrukturmanagement der Fachhochschule Frankfurt am Main und der Technischen Hochschule Mittelhessen, Frankfurt, Dezember 2013

Schmitt, Theo et al (2010): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren, Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 26840-23 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Tetzlaff, Björn (2005): Die Phosphorbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen, Forschungszentrum Jülich

Uhl, M. (2006): ESOG Einleitung des von Straßen abfließenden Oberflächenwassers in Gewässer, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Umweltbundesamt: Belastung der Umwelt mit Bioziden realistischer erfassen – Schwerpunkt Einträge über Kläranlagen, Texte 169/2020, September 2020

Xanthopoulos, C.; Hahn, H.H. (1993): Anthropogene Schadstoffe auf Straßenoberflächen und ihr Transport mit dem Niederschlagsabfluss. Abschlussbericht. Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen. Phase 1 - Teilprojekt 2, Eigenverlag des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

Anhang

