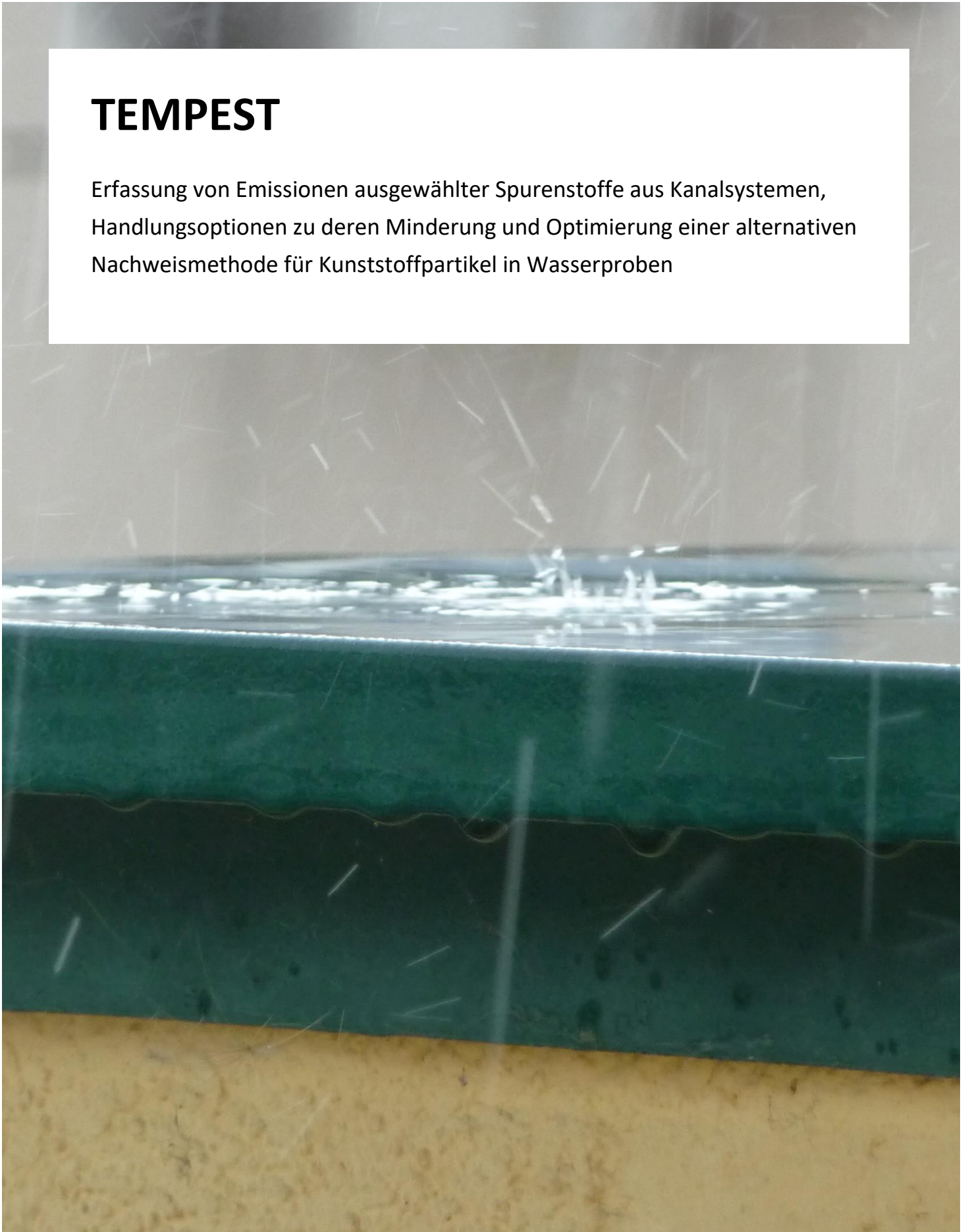


TEMPEST

Erfassung von Emissionen ausgewählter Spurenstoffe aus Kanalsystemen,
Handlungsoptionen zu deren Minderung und Optimierung einer alternativen
Nachweismethode für Kunststoffpartikel in Wasserproben



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Manfred Clara, Günter Gruber, Philipp Hohenblum, Thomas Hofer, Steffen Kittlaus, Katharina Lenz, Bettina Liebmann, Marcel Liedermann, Roman Maier, Ole Mallow, Marcel Pessenlehner, Markus Pichler, Bettina Polgar, Helmut Rechberger, Christoph Scheffknecht, Stefan Spacek, Clemens Steidl, Matthias Zessner

Gesamtumsetzung: die AutorInnen

Fotonachweis: © TU Wien/Steffen Kittlaus (Titelbild); BOKU Wien: Abb. 7–12;

Umweltbundesamt/Hohenblum: Abb. 13; TU Graz: Abb. 14, 15, 50, 51, 53–62, 69–72, 74–77; MAXX Mess- und Probenahmetechnik GmbH: Abb. 78; Umweltinstitut: Abb. 79–81, 87, 88.

Wien, 2020. Stand: 10. November 2020

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Projektpartner



Dr. Katharina Lenz
DI Philipp Hohenblum
Dr. Bettina Liebmann
Dr. Manfred Clara
DI Clemens Steidl
Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien



Dr. Matthias Zessner
Dipl. Geoökol. Steffen Kittlaus
Dr. Helmut Rechberger
Dr. Ole Mallow
Stefan Spacek, MSc
TU Wien Institut für Wassergüte und
Ressourcenmanagement
Karlsplatz 13/226, A-1040 Wien



Dr. Günter Gruber
DI Thomas Hofer
DI Roman Maier
DI Markus Pichler
DI Bettina Polgar
TU Graz Institut für Siedlungswasserwirtschaft
und Landschaftswasserbau
Stremayrgasse 10/I, A-8010 Graz



Dr. Christoph Scheffknecht
Umweltinstitut
Montfortstraße 4, A-6900 Bregenz

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Projektpartner | 3 |
| 1 Einleitung | 6 |
| 1.1 Hintergrund | 6 |
| 1.2 Zielsetzung..... | 9 |
| 1.3 Stoffauswahl..... | 12 |
| 1.3.1 Chemische Parameter..... | 12 |
| 1.3.2 Kunststoffe..... | 14 |
| 1.4 Untersuchungsgebiete | 16 |
| 1.4.1 Untersuchungsgebiete für den Nachweis von Spurenstoffen im Kanal..... | 16 |
| 1.4.2 Untersuchungsgebiete für die Probenahme der Kunststoffpartikel..... | 20 |
| 2 Methodik | 22 |
| 2.1 Probenahme | 22 |
| 2.1.1 Probenahme organische und anorganische Spurenstoffe | 22 |
| 2.1.2 Feststoffprobenahme im Ablauf kommunaler Kläranlagen | 34 |
| 2.2 Analytik..... | 44 |
| 2.2.1 Chemische Analytik organischer und anorganischer Spurenstoffe..... | 44 |
| 2.2.2 Analyse der Kunststoffpartikel | 47 |
| 2.3 Stoffflussanalysen | 55 |
| 2.3.1 Auswahl von Parametern für die Stoffflussanalysen..... | 55 |
| 2.3.2 Zeitliche und räumliche Systemabgrenzung..... | 57 |
| 2.3.3 Definition des Stoffflussanalyse-Systems | 57 |
| 2.3.4 Durchführung der Stoffflussanalyse und Umgang mit Unsicherheiten | 60 |
| 2.3.5 Transferkoeffizienten..... | 60 |
| 2.3.6 Aufbereitung von Daten zu den Einzugsgebieten | 62 |
| 3 Ergebnisse | 66 |
| 3.1 Vorkommen organischer und anorganischer Spurenstoffe in unterschiedlichen Eintragspfaden | 66 |
| 3.1.1 Parameter TEMPEST | 66 |
| 3.1.2 Parameter AZM- und PSM-Screening, Indikatoren kommunaler Verunreinigung | 81 |
| 3.1.3 Abwasser-Standardparameter von den beiden Grazer Messstellen | 85 |
| 3.2 Erfassung von Kunststoffanteilen in Eintragspfaden aus der Siedlungsentwässerung..... | 86 |
| 3.2.1 Ergebnisse der Probenahme von ARA 1 und ARA 2 | 86 |
| 3.2.2 Diskussion Methodenvergleich | 90 |
| 3.3 Stoffflussanalysen | 92 |
| 3.3.1 Quantifizierung der Stoffflüsse anhand von Mess- und Literaturdaten | 93 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.2 Darstellung der Stoffflussanalysen als Sankey-Diagramme | 123 |
| 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen | 144 |
| 4.1 Monitoring ausgewählter Spurenstoffe in Kanalsystemen unterschiedlicher Charakteristik | 144 |
| 4.2 Identifikation der Herkunft ausgewählter Spurenschadstoffe im Niederschlagswasserkanal | 146 |
| 4.3 Erfassung von Kunststoffanteilen in Eintragspfaden aus der Siedlungswasserwirtschaft: Adaptierung und Validierung einer neuartigen Erfassungsmethode..... | 150 |
| 4.4 Darstellung von Handlungsoptionen | 151 |
| 4.4.1 Verbesserung der Datenbasis für Stoffflussanalysen von Spurenstoffen . | 151 |
| 4.4.2 Gewässerschutz | 156 |
| 5 Anhang..... | 161 |
| 5.1 Auswahl und Beschreibung der Untersuchungsgebiete | 161 |
| 5.1.1 Beschreibung der Untersuchungsgebiete und der Probenahmestellen ... | 165 |
| 5.1.2 Untersuchungsgebiet 5: L202 in Hard/Bregenz..... | 197 |
| 5.2 Herausforderungen, Durchführung und Ergebnisse der Probenahmen | 200 |
| 5.2.1 Untersuchungsgebiet 1: NWK Graz – Ziegelstraße (Steiermark) und Untersuchungsgebiet 4: Graz – MÜ-R05 (Steiermark) | 200 |
| 5.2.2 Niederschlagswasserkanal – Vorarlberg, Langackerweg und Straßenablauf – L202-Hard/Bregenz | 217 |
| 5.2.3 Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich | 218 |
| 5.3 Analytik..... | 219 |
| 5.3.1 Organische und anorganische Spurenstoffe: Einzelmesswerte der Analytik, Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sowie Güteziele und vorgeschlagene Qualitätskriterien..... | 219 |
| 5.3.2 Ergebnisse der Laboranalytik von Abwasser-Standardparametern in den Grazer Ereignisproben | 270 |
| 5.3.3 Kunststoffuntersuchungen | 271 |
| 5.4 Abgrenzung der Einzugsgebiete für die Stoffflussanalysen..... | 278 |
| 5.5 Landnutzung, Oberflächenmaterial und Kanalanchluss der Flächen in den Gebieten..... | 279 |
| Tabellenverzeichnis..... | 283 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 290 |
| Literaturverzeichnis | 296 |
| Abkürzungen..... | 310 |

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Mit Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) ist der Gehalt von Spurenstoffen ein Kriterium für die Bewertung des Gewässerzustandes. Bei Nichterreichung eines Zielzustandes haben sich bisher die Überlegungen zu möglichen Maßnahmen zumeist auf punktuelle, kontinuierliche Einleitungen wie die Abläufe kommunaler Kläranlagen bezogen. Stoff- und regionalspezifisch sind daneben jedoch auch andere, oft diffuse Eintragspfade aus versiegelten oder nicht versiegelten Flächen von großer Relevanz (BMU, 2005; BMNT, 2019). Das Projekt SHTURM (Clara et al., 2014) konnte zeigen, dass für einige problematische Schadstoffe aber auch andere Einträge aus der Siedlungswasserwirtschaft, wie z. B. Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen oder Mischwasserentlastungen von Bedeutung sind. Vor allem Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen wurden als relevante Eintragspfade für Metalle, einige Industriechemikalien wie Nonylphenole oder Bisphenol-A, Weichmacher (Phthalate), Vertreter der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe aber auch für einige biozide Wirkstoffe identifiziert.

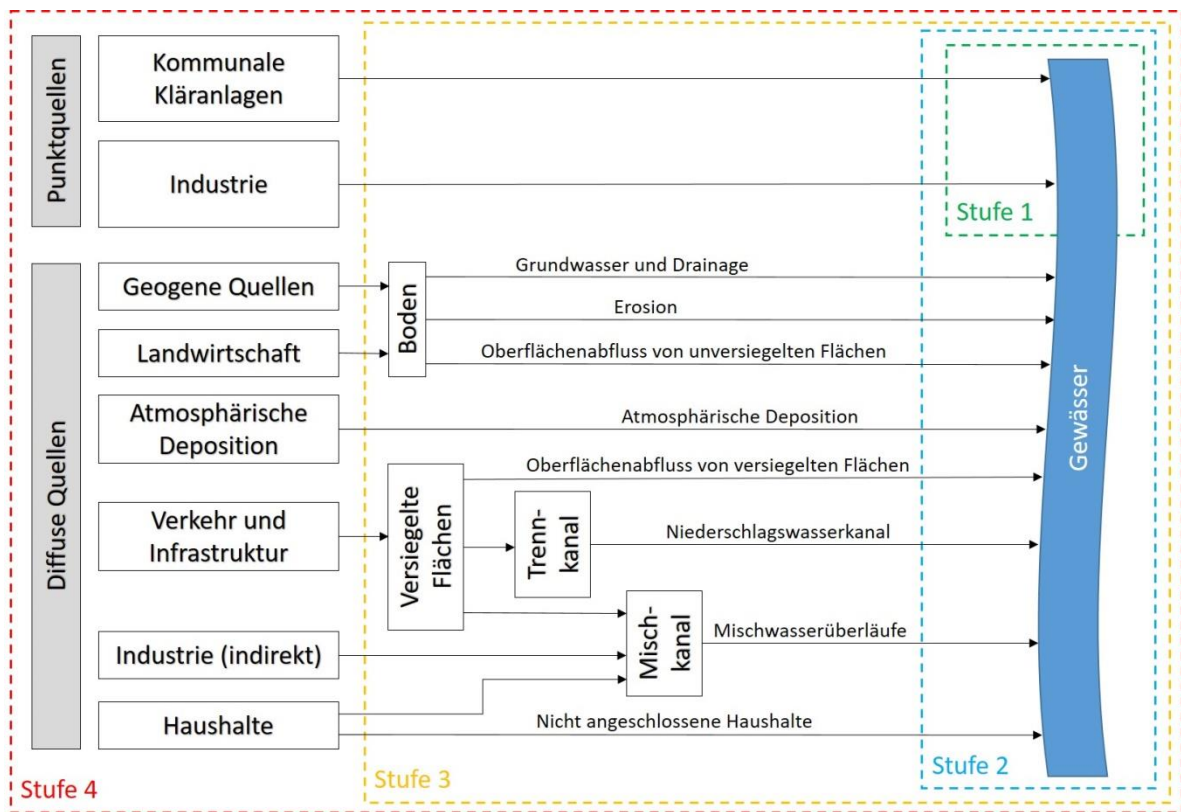
Von stofflicher Seite sind vor allem ubiquitäre persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe (uPBT) zu beachten sowie auch die in Diskussion geratene Kunststoff-Einträge in die aquatische Umwelt. Die Ableitung effizienter Maßnahmen zur Minderung von Emissionen setzt die quantitative Erfassung von Quellen und Eintragspfaden der Stoffe voraus (Zessner, 2008).

Zu Erstellung von Emissionsinventaren ubiquitärer persistenter, bioakkumulativer und toxischer Stoffe (uPBT) bzw. prioritärer Stoffe zur quantitativen Erfassung von Einträgen für (Teil-)Einzugsgebiete wurde auf EU-Ebene das Guidance-Dokument Nr. 28 „Preparation of Priority Substances Emissions Inventory“ ausgearbeitet (Europäische Kommission, 2012). Dabei wird für die Erstellung von Emissionsinventaren ein stufenweiser Ansatz („tiered-approach“) vorgeschlagen (Abbildung 1).

Stufe 1 stellt ein Emissionsinventar aller Punktquellen dar (point source information). Stufe 2 ergänzt dieses durch Messungen von Immissionsfrachten und einer Abschätzung der über diffuse Pfade eingetragenen Stofffrachten aus Punkteinträgen und der Gewässer-

fracht (riverine load approach). In Stufe 3 (pathway-oriented) werden die unterschiedlichen Eintragspfade (Kläranlagenabläufe, Mischwasserüberläufe, Emissionen aus Regenwasserkanälen, Erosion, Eintrag über das Grundwasser etc.) getrennt betrachtet. Für jeden Eintragspfad wird eine gesonderte Quantifizierung der Emissionsfrachten durchgeführt, aus diesen unter Berücksichtigung von Retention und Abbau Immissionsfrachten errechnet und die berechneten Immissionsfrachten den beobachteten Emissionsfrachten gegenübergestellt. Stufe 4 geht noch einen Schritt weiter und verfolgt die Stoffe zurück zu ihren Herkunftsbereichen (source-oriented). Der Anspruch dabei ist es, eine Stoffflussanalyse der Stoffe von deren Einsatzbereichen bis zu deren Gewässertransport zu erstellen.

Abbildung 1: Quellen und Eintragspfade von Stoffen und deren Erfassung in unterschiedlichen Ansätzen (Stufen) bei der Erstellung von Emissionsinventaren



Quelle: Umweltbundesamt nach Europäische Kommission (2012)

In Deutschland ist beispielsweise das Emissionsmodell MoRE im Einsatz (Fuchs et al., 2011), bei dem im Wesentlichen eine Quantifizierung der Emissionen auf Basis von Eintragspfaden erfolgt. Emissionen über Regenwasserkanäle bzw. Mischwasserentlastungen stellen für solche Emissionsinventare in Einzugsgebieten zwei wichtige Eintragspfade dar.

International gibt es eine Reihe von Untersuchungen um stoffspezifische Konzentrationen bzw. Frachten in diesen Eintragspfaden zu erheben (z. B. Eriksson et al., 2007; Kim et al., 2007; Göbel et al., 2007; Björklund et al., 2009 — zusammengestellt in Zessner et al., 2010). Bei Clara et al. (2014) wird ebenfalls eine Zusammenstellung entsprechender Informationen aus der Literatur präsentiert. Eine Übertragung dieser Untersuchungen auf Österreich ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da spezifische Siedlungsstrukturen, Konsumgewohnheiten, regionale Einflussgrößen und Kanalausbau die Emissionssituation ganz wesentlich beeinflussen. Daher wurde im Zuge des Projektes SHTURM (Clara et al., 2014) für Österreich über ein gezieltes Monitoring eine erste Übersicht über die Belastungssituation in Mischwasserentlastungen und in Niederschlagswasserableitungen erstellt.

Der „quellorientierte Ansatz“ geht über den „pfadorientierten Ansatz“ hinaus. Für Schwermetalle hat auch dieser Ansatz in der internationalen Literatur eine lange Geschichte (siehe Zusammenstellung in Zessner, 1999). Für organische Spurenstoffe ist der Stand der Forschung jedoch wesentlich weniger weit entwickelt. In Deutschland wurde beispielsweise der „pfadorientierte Ansatz“ von MoRE durch Stoffflussanalysen für ausgewählte organische Stoffe ergänzt (Hillenbrand et al., 2015; Hillenbrand et al., 2016). Dabei zeigten die Auswertungen für PAK und Terbutryn relevante Emissionen über Mischwasserentlastungen und Regenwasserkanäle. Auch hier gilt, dass internationale Forschungsergebnisse nicht ohne weiteres auf Österreich bzw. unterschiedliche regionale Situationen in Österreich übertragen werden können und die spezifischen regionalen Eigenheiten für Emissionsinventare zu berücksichtigen sind. Das Projekt TEMPEST baut daher auf der nationalen und internationalen Forschung auf und strebt eine validere Basis für die Emissionsberechnung von ausgewählten uPBT Stoffen für den Emissionspfad Regenwasserkanalisation unter Berücksichtigung regionaler Unterschiede in Österreich mit einem „pfadorientierten Ansatz“ an. Zudem ist eine Erweiterung dieses Ansatzes hin zu einem „quellorientierten Ansatz“ unter Anwendung der Stoffflussanalyse für Einzugsgebiete der Regenwasserkanalisation unter der Berücksichtigung der Herkunftsbereiche „Baumaterialien“, „Transport“ und „Luftverunreinigung“ vorgesehen (Abbildung 1). Diese Systembetrachtung kann dann in weiterer Folge dafür genutzt werden, um die Wirksamkeit sowohl von „end of pipe“ als auch von „source control“ Maßnahmen abschätzen zu können.

Neben Spurenstoffen werden derzeit auch Kunststoffpartikel in der Umwelt stark diskutiert. Kleine Kunststoffpartikel (Mikrokunststoff, Mikroplastik), die bewusst in Kosmetika oder Produkten eingesetzt werden oder durch Verwitterung und Alterung von Kunststoff-

fen entstehen, gelangen auf vielfältige Weise in die Umwelt und verbleiben dort aufgrund der Beständigkeit des Materials über einen sehr langen Zeitraum. Eine genaue Definition von Mikrokunststoff gibt es nicht. Kunststoffpartikel, die kleiner als 5 mm sind, werden allgemein als Mikrokunststoff bezeichnet, wobei der Größenbereich 5 mm bis 1 mm als großer Mikrokunststoff und jener von 1 mm bis 1 µm als kleiner Mikrokunststoff definiert wird.

Aus der aquatischen Umwelt gibt es einige Studien, die das Vorkommen und den Transport von Mikroplastik beschreiben (Morritt et al., 2014; Lechner und Keckeis, 2014; Umweltbundesamt, 2015). Wichtigster Eintragspfad ist das allgemeine Littering im öffentlichen Gelände sowie Abwassersysteme (Faure et al. 2013; Eriksen et al., 2013). Wenige Studien an Kläranlagen zeigen, dass Mikroplastik sehr effektiv in den Kläranlagen zurückgehalten wird (AWI, 2014). Große Bedeutung wird generell Trennkanalisationen oder Mischwasserentlastungen zugeschrieben, da diese zumeist große Flächen entwässern und (zumindest unter gewissen Bedingungen) direkt in die Oberflächengewässer entlastet werden. Zum Vorkommen von Mikroplastik in Mischwasserentlastungen und Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen sind derzeit keine Daten verfügbar. Dies ist zumindest z. T. dadurch bedingt, dass die Probenahme von Entlastungsereignissen sehr aufwändig und für die Kunststoffanalytik keine einheitliche Methode verfügbar ist.

1.2 Zielsetzung

Das Projekt zielte auf die Erfassung von Spurenstoffemissionen aus dem Kanalnetz, die Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen der Oberflächenbeschaffenheit in den Einzugsgebieten und den Stoffkonzentrationen im Oberflächenabfluss und die Optimierung einer alternativen Methode zur Erfassung von Kunststoffpartikeln in Wasserproben ab. Dabei wurden folgende Teilsapekte bearbeitet:

- Monitoring von Emissionskonzentrationen und -frachten ausgewählter Spurenstoffe von Kanalsystemen unterschiedlicher Charakteristik (Niederschlagsverhältnisse, Besiedlungsdichte, Verkehrsbedingungen, Kanalausbau etc.) mit Hauptfokus auf Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen.
- Erfassung von Kunststoffanteilen in Eintragspfaden aus der Siedlungsentwässerung: Adaptierung und Validierung einer neuartigen Erfassungsmethode und Anwendung auf unterschiedliche Abwässer zur Erfassung des Kunststoffanteils in diversen Eintragspfaden aus der Siedlungsentwässerung.

- Stoffflussanalyse zur Identifikation der Herkunft ausgewählter über Niederschlagswassereinleitungen emittierter Spurenstoffe (Deposition, Verkehr, Korrosion/Abrieb versiegelter Oberflächen etc.).
- Vergleich der über die Stoffflussanalyse ermittelten durchschnittlichen Frachten mit den Frachten berechnet aus den gemessenen Konzentrationen in den Abwasserproben und dem gemessenen Durchfluss in den Kanälen.
- Darstellung von Handlungsoptionen/Empfehlungen zur Reduktion von Emissionen aus Kanalsystemen/Siedlungsgebieten unter Angabe derer regionalspezifischer Effektivität zur Reduktion der Gewässergesamtbelastung.

Es wurden vorwiegend Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen untersucht, weil diese für einige Stoffe im Projekt SCHTURM (Clara et al., 2014) als relevanter Eintragspfad identifiziert wurden. Eine Validierung erfolgte in einem Einzugsgebiet mit Mischwasserkanalisation, wobei die Frachten aus dem kommunalen Abwasser über einwohnerspezifische Frachten abgeschätzt wurden. Der Oberflächenabfluss wurde aus den Projektergebnissen abgeleitet und die Messung der Konzentrationen im Mischwasser ermöglichte eine Validierung der Abschätzung.

Die Untersuchungen fokussierten auf etwa zehn Stoffe bzw. Stoffgruppen. Bei der Auswahl lag der Schwerpunkt vor allem auf jenen Stoffen, die ein ubiquitäres persistentes, bioakkumulierendes und toxisches (uPBT) Verhalten aufweisen, in Hinblick auf die Einhaltung der Vorgaben des Wasserrechtsgesetzes inklusive absehbarer Änderung kritisch bewertet werden und bei denen Kanalsysteme in spezifischen Regionen in merklichem Umfang zu der Gesamtbelastung beitragen können. Ausgehend von den Ergebnissen aus dem Projekt SCHTURM (Clara et al., 2014) sind somit vor allem Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Quecksilber) aber auch organische Stoffe wie Industriechemikalien (z. B. Bisphenol-A oder Nonylphenole), Flammschutzmittel (polybromierte Diphenylether), perfluorierte Verbindungen (z. B. PFOA, PFOS), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Weichmacher (z. B. Phthalate), Organozinnverbindungen oder Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, die als biozide Wirkstoffe in Baumaterialien verwendet werden (z. B. Diuron oder Terbutylazin) zu nennen.

Zusätzlich zu diesen chemischen Parametern wurden auch Feststoffe mit Schwerpunkt auf Kunststoffpartikel untersucht. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf methodischen Aspekten zur Erfassung der Belastung. Nach Adaptierung einer entsprechenden Erfassungsmethodik wurde diese auf spezifische Abwässer (ungereinigtes und gereinigtes Abwasser, Misch-

wasser, Niederschlagswasser aus Trennkanalisationen) angewendet, um einen ersten Überblick über die Belastung dieser unterschiedlichen Eintragspfade zu erhalten.

Entsprechend den zuvor genannten Inhalten verfolgte das Projekt die folgenden Ziele:

- Identifikation der Herkunft ausgewählter über das Kanalnetz emittierter Spurenstoffe als Voraussetzung für eine Maßnahmenplanung an den Emissionsquellen. Dazu wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Oberflächengestaltung und -beschaffenheit der Einzugsgebiete und der Schadstoffkonzentration im Oberflächenabfluss abgeleitet werden kann. Zu diesem Zweck werden für ausgewählte Einzugsgebiete über eine Stoffflussanalyse theoretische Konzentrationen bestimmt und mit gemessenen Werten verglichen. Kann ein Zusammenhang abgeleitet werden, so besteht die Möglichkeit der Emissionsabschätzung über die Analyse des Einzugsgebietes ohne aufwändige Spurenstoffmessung im Kanalnetz. Diese Information kann für die Analyse der relevanten Stoffeinträge in das Gewässersystem genutzt werden.
- Erweiterung der bestehenden Datenbasis zum Vorkommen ausgewählter Stoffe im Abwasser mit dem Fokus auf Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen. Bisher ist nur wenig zum Vorkommen von Spurenschadstoffen in Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen bekannt. Erstmals erfolgte eine Untersuchung in Rahmen des Projektes SHTURM (Clara et al., 2014). Dabei wurden jedoch nur drei Einzelereignisse in zwei Einzugsgebieten bzw. Entlastungen beprobt (sechs Messwerte). Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes stellen somit eine wesentliche Erweiterung der Wissensbasis dar. Diese Informationen können für unterschiedliche Anwendungen in der wasserwirtschaftlichen Planung genutzt werden.
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Siedlungswasserwirtschaft und Nutzung der Projektergebnisse für die wasserwirtschaftliche Planung:
 - Im Projekt SHTURM (Clara et al., 2014) wurde eine Frachtberechnung durchgeführt, mit dem Ziel, Schadstoffe Haupteintragspfaden zuzuordnen. Dabei wurden Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen als relevante Eintragspfade für diverse Spurenstoffe identifiziert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen zielt das vorliegende Projekt darauf ab, innerhalb eines Einzugsgebietes die Herkunftsbereiche für diese Stoffe zu finden. Das vorliegende Projekt baut somit auf bisherigen Ergebnissen auf und zielt auf eine weitere Detaillierung ab.
 - Ausarbeitung von Handlungsoptionen und Empfehlungen, um die Emissionen der untersuchten Spurenstoffe aus Siedlungsgebieten zu verringern. Wenn ein Zusammenhang zwischen der Oberfläche der Einzugsgebiete und der Schadstoffkonzentration im Oberflächenabfluss hergestellt werden kann, ist es möglich, gezielt

- Empfehlungen zu formulieren, um Emissionen von Spurenstoffen aus Siedlungsgebieten zu vermindern. Dazu zählt auch die Nutzung der Untersuchungsergebnisse in der einzugsgebietsbezogenen Emissionsmodellierung, die wiederum als Grundlage für die wasserwirtschaftliche Planung (Planung von Monitoringprogrammen, Maßnahmenplanungen, usw.) genutzt werden kann.
- Die Untersuchungsergebnisse könnten die fachliche Grundlage für allfällige regulatorische Empfehlungen bilden. So könnten Mindestanforderungen an die Einleitung von Niederschlagswässern aus Trennkanalisationen formuliert werden.
 - Adaptierung und Validierung einer Methode zur Erfassung von Kunststoffpartikeln in Abwässern und Erhebung erster Daten.

1.3 Stoffauswahl

1.3.1 Chemische Parameter

Ein Kriterium für die Auswahl der zu untersuchenden Stoffe im Projekt ist ihre Bewertung als ubiquitäre persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe (uPBT), weil diese Stoffe auch für die wasserwirtschaftliche Planung von besonderem Interesse sind. Zusätzlich wurden anhand von Literaturlauswertungen (Wicke et. al, 2015; Gasperi et al., 2014) und den Ergebnissen des österreichischen Projektes SCHATURM (Clara et. al, 2014) weitere Substanzen in die Stoffauswahl übernommen. So zeigte das Projekt SCHATURM, dass vor allem Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink und Quecksilber) aber auch organische Schadstoffe wie Industriechemikalien (z. B. Bisphenol-A oder Nonylphenole), polybromierte Diphenylether (PBDE), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Weichmacher (z. B. Phthalate), Organozinnverbindungen oder Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, die als biozide Wirkstoffe in Baumaterialien verwendet werden (z. B. Diuron oder Terbutylazin) potenziell relevante Schadstoffe in Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen sind. Eine weitere potenziell interessante Stoffgruppe ist jene der perfluorierten Tenside. Aus dieser Stoffgruppe werden vorwiegend Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) und Perfluoroktansäure (PFOA) diskutiert.

Am Umweltbundesamt Wien wurde in den letzten Jahren ein Arzneimittel (AZM)-Screeningtest entwickelt, der Wasserproben auf 86 Arzneimittel und vier Metaboliten untersucht. Weiters steht ebenfalls am Umweltbundesamt Wien ein Pflanzenschutzmittel (PSM) Screening-Test zur Verfügung, mit dem rund 550 Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten detektiert werden können. Die volumenproportionalen Jahresproben aus

dem Projekt wurden diesen beiden Screening-Verfahren unterzogen. Hintergrund dieser Analysen war zum einen, dass die Jahresproben, deren Generierung zeit- und arbeitsintensiv war, effizient genutzt werden sollten. Zum anderen sind einige Arznei- (Diclofenac, Erythromycin, Clarithromycin, Azithromycin) und Pflanzenschutzmittel (Imidacloprid, Thiacloprid, Thiamethoxam, Clothianidin, Acetamiprid, Oxadiazon, Triallate) Teil der Beobachtungsliste gemäß Umweltqualitätsnormenrichtlinie (UQN-RL, RL 2008/105/EC) in der Fassung der RL 2013/39EU. Darüber hinaus wurden die Jahresproben auf ein Set von acht Indikatoren kommunaler Verunreinigung überprüft.

In Tabelle 1 sind die Stoffe bzw. Stoffgruppen zusammengefasst, die im vorliegenden Projekt untersucht wurden.

Tabelle 1: Zusammenfassung der untersuchten Stoffe

| Stoffgruppe (Anzahl der Einzelstoffe) | Ausgewählte Stoffe |
|---|--|
| Schwermetalle (7) | Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Quecksilber |
| PAK (16) | Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylen, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Dibenzo(a,h)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren |
| Phthalate (1) | Bis(2-ethylbenzyl)phthalat (DEHP) |
| Polybromierte Diphenylether (PBDE) (6) | sechs verschiedene Kongenere (28, 47, 99, 100, 153, 154) |
| Perfluorierte Tenside (PFT) (13) | Perfluoroktansulfonsäure (PFOS), Perfluoroktansäure (PFOA), Perfluorhexansäure (PF6C), Perfluorheptansäure (PF7C), Perfluornonansäure (PF9C), Perfluordecansäure (PF10C), Perfluorundecansäure (PF11C), Perfluordodecansäure (PF12C), Perfluorhexansulfonsäure (PF6S), Perfluorheptansulfonsäure (PF7S), Perfluordecansulfonsäure (PF10S), Perfluoroctan-sulfonamid (PFOSA), N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid (N-Ethyl-PFOSA) |
| Industriechemikalien (2) | Bisphenol-A, Nonylphenol |
| Organozinnverbindungen (6) | Dibutyl-, Tributyl-, Tetrabutyl-, Diphenyl-, Triphenyl-, Monobutylzinnverbindungen |
| Pflanzenschutzmittel (PSM) (6) | Carbendazim, Diuron, Mecoprop, Terbutylazin, Terbutylazin-desethyl, Terbutryn |

| Stoffgruppe (Anzahl der Einzelstoffe) | Ausgewählte Stoffe |
|--|--|
| Arzneimittel (AZM) (90) | 4-Acetylaminoantipyrin, 4-Formylaminoantipyrin, Acetylsulfamethoxazol, Amidotrizesäure, Amlodipin, Amoxicillin, Ampicillin, Atenolol, Atorvastatin, Azithromycin, Bezafibrat, Bisoprolol, Bupropion, Canrenon, Capecitabin, Carbamazepin, Carvedilol, CBZ-DiOH, Citalopram, Clarithromycin, Clindamycin, Clofibrinsäure, Clopidogrel, Codein, Dehydro-Erythromycin, Diazepam, Diclofenac, Doxycyclin, Duloxetine, Enalapril, Erythromycin, Fenofibrat, Furosemid, Gabapentin, Gemfibrozil, Gliclazid, Guaifenesin, Hydrochlorothiazid, Ibuprofen, Iohexol, Iopromid, Iopamidol, Iopromid, Ioversol, Irbesartan, Josamycin, Ketoprofen, Koffein, Levetiracetam, Mefenaminsäure, Metformin, Metoprolol, Metronidazol, Naproxen, Oxazepam, Oxcarbazepin, Oxytetracyclin, Pantoprazol, Paracetamol (Acetaminophen), Penicillin G, Penicillin V, Pentoxifyllin, Phenazon, Primidon, Propranolol, Propyphenazon, Prothipendyl, Quetiapin, Ranitidin, Roxithromycin, Salbutamol, Sertralin, Sitagliptin, Sotalol, Sulfadiazin, Sulfadimethoxin, Sulfadimidin (= Sulfamethazin), Sulfadoxin, Sulfamethoxazol, Sulfathiazol, Temazepam, Terbutalin, Theophyllin, Tramadol, Trazodon, Trimethoprim, Valaciclovir, Valsartan, Venlafaxin, Verapamil |
| Pflanzenschutzmittel (PSM) (550) | Insg. 550 Substanzen und Metabolite Die folgenden 11 wurden nachgewiesen: 2.4-D, 4-CPA, Climbazol, DEET, Dicamba, Diuron, DNOC, Mecoprop, Saccharin, Thiamethoxam Metabolit CGA 353968, Tritosulfuron Metabolit BH 635-2 |
| Indikatoren kommunaler Verunreinigung (8) | Acht Stoffe, davon fünf Arzneimittel (Carbamazepin, CBZ-DiOH, Diclofenac, Metoprolol, Solatol) und drei weitere Stoffe: Acesulfam, 1H-Benzotriazol, Tolyltriazole |

Quelle: Umweltbundesamt

1.3.2 Kunststoffe

Kunststoffe werden aufgrund ihrer besonderen Materialeigenschaften in praktisch allen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt und sind aus dem Alltag so gut wie nicht mehr wegzudenken. Allein die stetig gestiegenen und weiter steigenden Produktions- und Einsatzmengen dokumentieren den Bedarf, die Materialvielfalt und Anwendungsmöglichkeiten. Allerdings gelangen Kunststoffe außerhalb der Anwendungsgrenzen als Abfälle in bedeutenden Mengen in die Umwelt und verbleiben dort aufgrund ihrer Stabilität und Beständigkeit über sehr lange Zeiträume bestehen. Bemerkenswert ist, dass derart dauerhafte Materialien vor allem für sehr kurzzeitige Anwendungen wie z. B. Verpackungen eingesetzt werden. Die Weltmeere sind u. a. Senken für diese Abfälle. Einträge gelangen über

Flüsse in die Meere, welche z. B. durch Abschwemmungen (Trennkanalesationen), Mischwasserentlastungen und zum Teil durch Kläranlagenabläufe belastet werden. Plastik und Mikroplastik kann auch in Kläranlagen nicht abgebaut (mineralisiert) werden. Kläranlagen entfernen diese Partikel sehr effektiv über den Klärschlamm aus dem Abwasser, können sie aber nicht zu 100% rückhalten und daher gelangt Plastik über den Ablauf von Kläranlagen in die Vorfluter.

Die EU MSFD Technical Group on Marine Litter unterscheidet anhand der Größe der Kunststoffteile zwischen Makroplastik (> 5 cm), Mesoplastik (5 cm–5 mm) und Mikroplastik (< 5 mm–1 µm¹). Die Definition für Mikroplastik erstreckt sich somit über einen enorm weiten Größenbereich. Innerhalb dieses weiten Größenbereichs treten unterschiedliche Effekte und Auswirkungen auf die Umwelt auf. Faktoren wie Größenverteilung, Form und Anzahl der Partikel sowie der Massenanteil an Mikroplastik und Polymertypen beeinflussen hierbei die Umweltauswirkungen entscheidend. Aktuell bestehen immer noch weite Wissenslücken zu den ökotoxikologischen Folgenabschätzungen. Große Kunststoffabfälle können Lebewesen durch Verheddern in ihrem Aktionsradius einschränken. Kunststoffteile verschiedener Größenordnungen können fälschlich als Nahrung wahrgenommen werden oder von Nahrung nicht unterschieden werden. Kleine Kunststoffteile (im Bereich weniger µm) können potenziell ins Gewebe von Lebewesen gelangen, dort eingelagert werden und Entzündungen auslösen. Ebenfalls kann sehr kleines Mikroplastik bis in die Blutbahn transportiert werden.

Aufgrund der vielfältigen Fragestellung ist es nicht möglich mit einer einzigen Methode alle Aspekte bezüglich Mikroplastik hinreichend bearbeiten zu können. Es muss daher, je nach Fragestellung, eine oder die Kombination aus mehreren geeigneten Methoden ausgewählt werden. Ein einzelnes Untersuchungsverfahren zur Beantwortung aller Fragestellungen zu Kunststoffen in der Umwelt gibt es nicht (BMBF, 2018).

Bei der mikroskopischen Messung der Anzahl von Partikeln können Größenordnungsbe-
reiche (Siebklassen) analysiert und diesen Partikelzahlen zugeordnet werden. Jedenfalls muss hierfür die obere und untere Partikelgröße einer Untersuchung vorher festgelegt werden. Die Anzahl der Partikel, deren Größe und Form kann die Mikroplastikbelastung vor allem bei sehr kleinen Partikeln gut beschreiben. Je nach Beprobungsmethode ergeben sich Dimensionen von Anz/m³, Anz/L, Anz/km². Vor der Durchführung sind daher die Dimension und die Größenbereiche der zu untersuchenden Partikel festzulegen. Eine Um-

¹ verweist auf die weiteste Dimension des Partikels

rechnung der Anzahl der Partikel über die Kugelformel ist grundsätzlich möglich, jedoch häufig mit hohen Unsicherheiten verbunden. Alternativ dazu können thermoanalytische Methoden den gesamten Mikroplastik Massenanteil in einer Probe bestimmen. Je nach Methode können auch die einzelnen Polymertypen detektiert werden. Die Form, Anzahl und Größenverteilung der Kunststoffpartikel kann mit thermoanalytischen Messverfahren jedoch nicht erfasst werden.

Ähnlich wie bei gelösten Schadstoffen bestehen für die Beprobung und die Untersuchung von Mikroplastik besondere Herausforderungen. Zur sinnvollen Beprobung des Spurenstoffs Mikroplastik muss eine ausreichende Menge an Wasser beprobt werden, um eine messbare sowie repräsentative Kunststoffmasse oder Anzahl an Partikel extrahieren zu können. Die nötige Wassermenge kann bis in den Bereich von einigen 1000 m³ reichen.

1.4 Untersuchungsgebiete

1.4.1 Untersuchungsgebiete für den Nachweis von Spurenstoffen im Kanal

Der Fokus der Untersuchungen lag auf Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalesationen. Im vorliegenden Projekt wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Oberflächengestaltung und -beschaffenheit der Einzugsgebiete der Niederschlagswasserkanalesation und der Schadstoffzusammensetzung und -konzentration im Oberflächenabfluss abgeleitet werden kann (z. B. hoher Anteil von Metalldächern führt zu erhöhten Metallkonzentrationen im Niederschlagswasserkanal). Weiters wurde ein Straßenabschnitt untersucht, um den Einfluss des Verkehrs bei einer gemischten Nutzung in Siedlungsgebieten abzugrenzen. Diese Abgrenzung ist ein wesentlicher Aspekt bei der Identifikation von Quellen für Stoffeinträge in die Kanalisation bzw. die Gewässer. Die zusätzliche Untersuchung eines größeren Einzugsgebietes im Mischsystem diente zur Validierung und der Prüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse in den definierten Untersuchungsgebieten. Depositionsproben wurden an insgesamt fünf Standorten genommen, um die Abschätzung des Spurenstoffeintrags aus der Atmosphäre zu untersuchen.

Bei der Auswahl der Untersuchungsgebiete ist die Möglichkeit/Machbarkeit der Probenahme über einen längeren Zeitraum ein wesentlicher Aspekt. Wichtig für die Auswahl der Beprobungsgebiete sind die Zugänglichkeit und die Möglichkeit, eine Durchflussmengenmessung und entsprechende Probenahmegeräte über einen längeren Zeitraum zu installieren und kontinuierlich zu betreiben. Ein Überblick zur Auswahl der Untersuchungsgebiete

te sowie deren detaillierte Beschreibung findet sich in Anhang 5.1. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Charakteristika kurz zusammen.

Tabelle 2: Übersicht der Untersuchungsgebiete

| Art | Nutzung | Standort | Fläche EZG [ha] | Fläche befestigt [ha] | Fläche befestigt und angeschlossen [ha] |
|--|---------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|---|
| Niederschlagswasser-einleitung aus Trennkanal | Wohnen, Verkehr | Graz – Ziegelstraße | 41,9 | 12,9 | 8,3 |
| | Wohnen, viele Grünflächen | Hard – Langackerweg | 19 | 3,3 | n.e. |
| | Gewerbe | Ostösterreich | 43 | 21,7 | n.e. |
| Mischwasser | Wohnen, Gewerbe | Graz – R05 | 615 | 232 | 147 |
| Straßenablauf | Verkehr | L202 – Hard/Bregenz | 0,33 | 0,33 | n.e. |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien, TU Graz, Umweltinstitut Vorarlberg. n.e. ...nicht ermittelt

Im Folgenden werden die Untersuchungsgebiete kurz beschrieben:

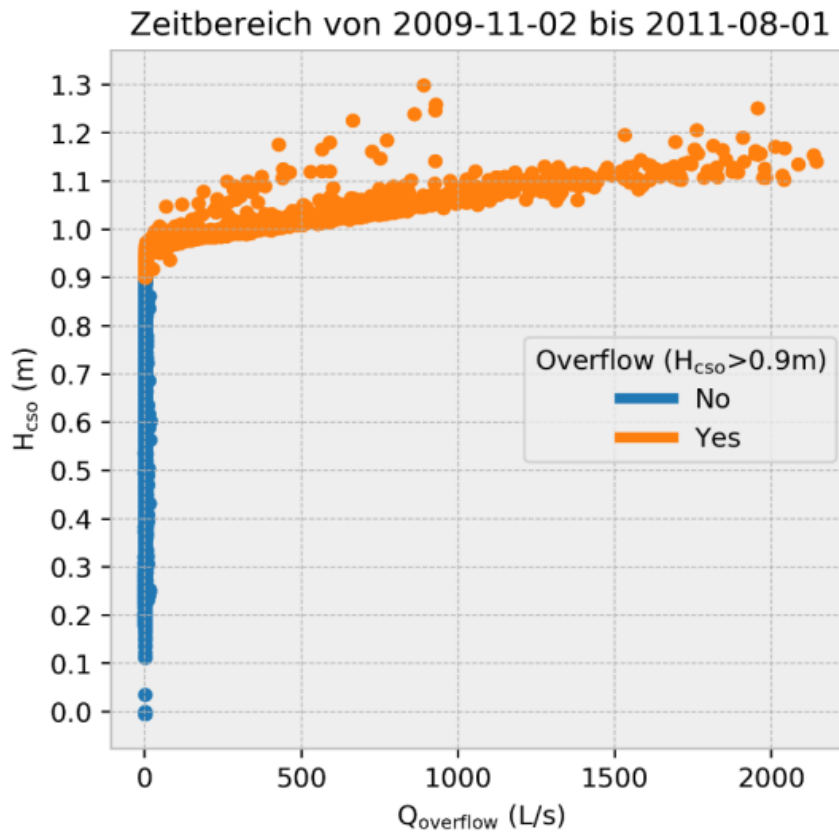
- **Niederschlagswasserkanal – Graz, Ziegelstraße:** Das Gebiet liegt im Norden von Graz und kann als eher ländlich geprägte Wohngegend in Stadtrandlage beschrieben werden (großer Anteil Einfamilienhäuser, keine größeren Gewerbe- oder Industriebetriebe, größte Verkehrsbelastung durch einen Kreuzungsbereich, welchen ca. 23.000 Kfz pro Tag passieren). Die Probenahme erfolgt unmittelbar vor der Einleitung der Niederschlagswasserkanalisation in den Stufenbach (Größe Kanal DN 500) direkt im Kanal. Der Fremdwasserabfluss bei Trockenwetterbedingungen beträgt ca. 0,5–3 L/s bei 1–3 cm Wasserstand im Kanal.
- **Niederschlagswasserkanal – Vorarlberg, Langackerweg:** Bei diesem Untersuchungsgebiet handelt es sich um ein eher kleines Siedlungsgebiet mit hohem Grünflächenanteil. Fehlanlüsse können nicht ausgeschlossen werden, sind aber von untergeordneter Bedeutung. Da die Probenahme direkt an der Einleitestelle des Niederschlagswasserkanals in den Lauterachbach wegen des Rückstaus in den Kanal nicht möglich war, erfolgte sie im Kanal. Für die Beprobung selbst stand ein leicht zugänglicher

Schacht auf einem Gemeindegrundstück zur Verfügung. In diesen Schacht wurde ein berührungsloses Mengenmesssystem auf Ultraschall-Basis der Fa. Sommer für die volumenproportionale Ansteuerung des Probenahmegeräts eingebaut.

- **Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich:** Bei diesem Untersuchungsgebiet handelt es sich um ein gewerblich geprägtes Gebiet in der Nähe einer stark befahrenen Straße. Der Fremdwasserabfluss beträgt ca. 0,5–2 L/s (2 cm Wasserstand im Kanal).
- **Mischwasserkanal – Graz, MÜ-R05:** Zur Validierung der Ergebnisse für die Niederschlagswasserkanalisation wurde ein Einzugsgebiet mit Mischwasserkanalisation ausgewählt, wobei die Frachten aus dem kommunalen Abwasser über einwohnerspezifische Frachten abgeschätzt wurden. Das Untersuchungsgebiet, das im Westen von Graz liegt, wurde bereits im Projekt SHTURM untersucht. Als Sonderbauwerke sind im System ein Stauraumkanal ohne Entlastung mit einem Volumen von 2.300 m³ sowie ein Mischwasserüberlaufbauwerk (MÜ-R05) am Ende des Einzugsgebiets vor der Einleitung in den rechten Hauptsammelkanal in Richtung Kläranlage Graz-Gössendorf vorhanden. Die Bevölkerungsanzahl liegt bei 19.500 Einwohnern. Im Einzugsgebiet befinden sich ein Pharmakonzern und eine Brauerei (beides Indirekteinleiter), stark befahrene Einzugsstraßen, eine Straßenbahn- und zwei Eisenbahnlinien.

Die Probenahme erfolgte direkt in der Mischwasserkammer des MÜ-R05. Während des einjährigen Beprobungszeitraumes traten im Mischwasserkanal bei Trockenwetterbedingungen Wasserstandshöhen von 16–28 cm bei einem Abfluss von 10–70 L/s auf. Bei einer Wasserstandshöhe von ca. 90 cm in der Mischwasserkammer beginnt der Mischwasserüberlauf über die Überlaufschwelle in die Mur zu entlasten (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Überlaufverhalten des MÜ-R05 in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe H_{CSO} in der Mischwasserkammer und der Entlastungsmenge $Q_{overflow}$ und auf Basis eines fast 2-jährigen Datensatzes zwischen 2009 und 2011



Quelle: TU Graz

- **Straßenablauf – L202 – Hard/Bregenz:** Dieses Untersuchungsgebiet wurde ausgewählt, um den Einfluss des Verkehrs bei einer gemischten Nutzung in Siedlungsgebieten abzugrenzen. Es wurde ebenfalls bereits im Projekt SHTURM untersucht. An die Entwässerung sind die Brücke sowie die zugehörigen südwestlichen Rampenstrecken angeschlossen. Der durchschnittliche Jahresverkehr liegt bei etwa 26.000 Kfz/d, wovon ca. 5 % auf den Schwerverkehr entfallen. Die Straßenabwässer werden vor der Einleitung in die Bregenzer Ach über einen bepflanzten Bodenfilter geführt.

In der Nähe der beprobten Trennkanäle wurden über den Zeitraum eines Jahres Depositionsproben gesammelt. In Graz und im Siedlungsgebiet Ostösterreich wurde zusätzlich zur Depositionsbeprobung in der Nähe des Niederschlagswasserkanals auch die direkte Deposition aus der Atmosphäre an einem Referenzstandort untersucht. Im Folgenden werden die Beprobungsstandorte kurz beschrieben:

- **Deposition Niederschlagswasserkanal – Graz, Ziegelstraße:** Die Probenahmestelle liegt in unmittelbarer Nähe der Einmündung des Niederschlagswasserkanals in den Stufenbach.
- **Deposition Graz – Referenzstandort:** Der Referenzstandort für die Sammlung der Depositionsprobe befindet sich direkt beim Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz in der Stremayrgasse 10 und ist somit etwa 4,6 km Luftlinie von der Probenahmestelle beim Niederschlagswasserkanal und etwa 1,5 km von der Probenahmestelle MÜ-R05 beim Mischwasserkanal entfernt.
- **Deposition Vorarlberg:** Die Depositionsproben wurden beim Umweltinstitut in Bregenz, Montfortstraße 4 gesammelt. An diesem Standort werden bereits seit mehreren Jahren Depositionsproben untersucht. Die Niederschlagsmessung bezieht sich auf die Niederschlagsmessstelle Hard, Rotachstraße, die etwa 300 m von der Probenahmestelle im Langackerweg entfernt ist.
- **Deposition Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich:** Die Probenahmestelle liegt nur etwa 30 m vom Niederschlagswasserkanal entfernt. In unmittelbarer Nähe befinden sich eine stark befahrene Straße und eine Eisenbahnlinie.
- **Deposition Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich - Referenzstandort:** Die Probenahmestelle liegt etwa 20 km Luftlinie von der Probenahmestelle beim Niederschlagswasserkanal entfernt. Sie befindet sich auf der Dachterrasse eines mehrgeschossigen Gebäudes an einer stark befahrenen Straße.

1.4.2 Untersuchungsgebiete für die Probenahme der Kunststoffpartikel

Es wurden zwei Kläranlagen im Großraum Ostösterreich ausgewählt. Kriterien waren die Bereitschaft des Betreibers, an dieser Studie mitzuwirken, die Beprobbarkeit des gesamten Ablaufs bzw. eines definierten Teilstroms sowie die leichte Erreichbarkeit aus Wien. In einer Kläranlage gab es bereits aus einem Vorprojekt einen Einbau zur Probenahme, weshalb nach Rücksprache mit dem Betreiber diese Kläranlage erneut ausgewählt wurde. Eine weitere Kläranlage im Großraum Ostösterreich wurde ausgewählt.

1.4.2.1 Kläranlage 1 (ARA 1)

Bei dieser Kläranlage handelt es sich um eine zweistufige Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung, die für Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorentfernung ausgelegt ist. Die Ausbaupazität der Kläranlage beträgt 260.000 Einwohnerwerte (EW) und die Zahl der angeschlossenen Einwohner lag im Jahr 2018 bei rund 81.200. Im Jahr 2018 war die Kläranlage durchschnittlich mit rund 201.000 EW (berechnet über die Fracht an Che-

mischem Sauerstoffbedarf (CSB)) belastet. Neben insgesamt 15 Kommunen ist auch ein großer Industriebetrieb (Papierfabrik) Mitglied des Abwasserverbandes.

1.4.2.2 Kläranlage 2 (ARA 2)

Bei dieser Kläranlage handelt es sich um eine einstufige Belebungsanlage, bei der keine Schlammbehandlung auf der eigenen Anlage stattfindet. Die Anlage ist für Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorentfernung ausgelegt. Die Ausbaupkapazität der Kläranlage beträgt 54.000 EW und die Zahl der angeschlossenen Einwohner lag im Jahr 2018 bei rund 21.200. Im Jahr 2018 war die Kläranlage durchschnittlich mit rund 33.000 EW (berechnet über die CSB-Fracht) belastet. Wichtige betriebliche/gewerbliche Einleiter sind ein Krankenhaus, eine PET-Recycling-Anlage, der Weinbau sowie sonstiges Gewerbe- und Gastronomiebetriebe.

2 Methodik

2.1 Probenahme

2.1.1 Probenahme organische und anorganische Spurenstoffe

Das Ziel der Probenahme war die messtechnische Abschätzung von Jahresfrachten, die zum Vergleich mit den Ergebnissen der Stoffbilanzierung dienen. An allen Messstellen war daher eine Durchflussmengenmessung vorzusehen, um eine mengenproportionale Probenahme von Abflussereignissen und Einleitungen zu ermöglichen. Die Erfahrungen aus dem Projekt SHTURM haben gezeigt, dass die Probenahme sehr wartungsintensiv ist, weshalb nur einige wenige Untersuchungsgebiete beprobt werden konnten. In den Untersuchungsgebieten wurde zudem die Gesamtdosition über ein Jahr gesammelt und untersucht.

Es wurden je Siedlungsgebiet bzw. je Probenahmepunkt über einen längeren Zeitraum mengenproportionale Mischproben (Jahresmischproben) generiert und analysiert. Für die Erfassung dieser Mischproben war es erforderlich, alle Abflussereignisse über ein Jahr zu beproben. Diese Probenahmen erfolgten soweit möglich, volumenproportional und setzten somit auch die Erfassung des Abflusses voraus. Bei Niederschlagswasserkanälen kann auch im Trockenwetterfall ein Abfluss vorhanden sein, der vorwiegend auf Fehlanlüsse oder Grundwasser-Fremdwasser zurückzuführen ist. Niederschlagswasserkanäle mit starken Trockenwetterabflüssen waren daher als Untersuchungsobjekte nicht geeignet. Geringe Trockenwetterabflüsse waren aber hinzunehmen und wurden z. B. bei der Probenahmestelle Graz – Ziegelstraße beprobt. Der Schwerpunkt lag in der Erfassung von abflusswirksamen Niederschlagsereignissen, um eine Jahresfracht ermitteln zu können, die zur Validierung der Berechnungsergebnisse aus der Stoffbilanzierung diene. Die Depositionsproben dienen der Abschätzung des Stoffeintrages über die Atmosphäre auf die Flächen der Einzugsgebiete. Dies ist auch ein wesentlicher Eintrag bei der Stoffbilanzierung, womit diese Messergebnisse auch wichtige Daten für die Validierung der angenommenen Eingangsdaten darstellen.

2.1.1.1 Untersuchungsgebiete

Niederschlagswasserkanal (NWK) Graz – Ziegelstraße

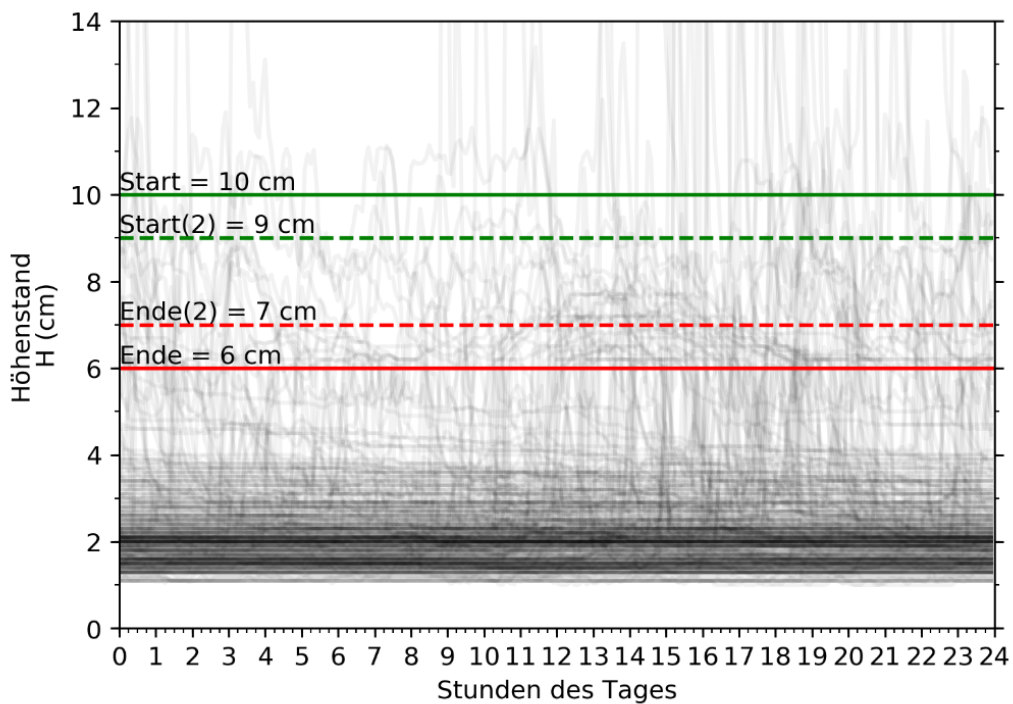
Es wurden diskontinuierliche, mengenproportionale Ereignisproben gewonnen, die dann anteilig in Bezug auf die abgeschätzte Jahresabflussmenge zu zwei Halbjahresmischproben kumuliert wurden. Um möglichst alle Niederschlagsereignisse eines Jahres möglichst vollständig und mengenproportional beproben zu können, erfolgte in Graz die automatische Teilprobenentnahme an beiden Probenahmestellen zunächst zeitproportional, d. h., dass der Zeitabstand (Teilprobenintervall) zwischen den einzelnen Teilprobenentnahmen konstant war und dafür möglichst geringe konstante Zeitintervalle von i. d. R. vier Minuten gewählt wurden. Erst in einem zweiten Schritt wurden die Teilproben im Nachgang an die Probenahmen im Labor und in Abhängigkeit von der jeweiligen Abflussganglinie des Ereignisses mengenproportional zu den jeweiligen Ereignisproben händisch zusammengemischt. Dabei wurde die Variante gewählt, dass die Mischung der Teilproben (180 mL) aus den 24 Einzelflaschen abhängig vom zugehörigen Abflussvolumen jeder Einzelflasche erfolgte, was nach Ort et al. (2010) die genaueste Art einer mengenproportionalen Probenahme darstellt. Die Probenahme an dieser Beprobungsstelle erfolgte mit zwei Probenahmegeräten, wovon das erste mit 4 min (8 h lang, 5 Teilproben á 180 mL in eine Probenahmeflasche) und das zweite mit 8 min Intervalle (16 h lang, 5 Teilproben á 180 mL in eine Probenahmeflasche) betrieben werden konnten. In Summe konnte damit 24 h lang zeitproportional beprobt werden.

Die Entnahme von Abwasserproben im Ereignisfall erfolgte mithilfe von automatischen Probenahmegeräten der Fa Endress+Hauser (E+H) vom Typ Liquiport 2010 CSP44. Die Ansaugung der Probe erfolgte dabei mit einer Peristaltikpumpe (Schlauchquetschpumpe); die Ansaughöhe betrug ca. 1,5 m. Abhängig von einem vordefinierten Wasserstand im Kanal wurde die Probenahme automatisch aktiviert (Start der Probenahme bei 9 bzw. 10 cm Wasserstandshöhe, Ende bei 6 bzw. 7 cm Wasserstandshöhe). Zur Erfassung des Durchflusses und der Wasserstandshöhe im Kanal wurde eine Ultraschallsonde der Fa. Nivus GmbH vom Typ „POA Korrelations-Keilsensor“ an der Kanalsohle installiert. Die entnommenen Teilproben wurden in Behältern (24 PE-Flaschen mit je 1,0 L Fassungsvermögen) ohne Kühlung bis zur Abholung zwischengespeichert.

In der Abbildung 3 sind die 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der Ereignis-Start- und End-Kriterien dargestellt und in Abbildung 4 die da-

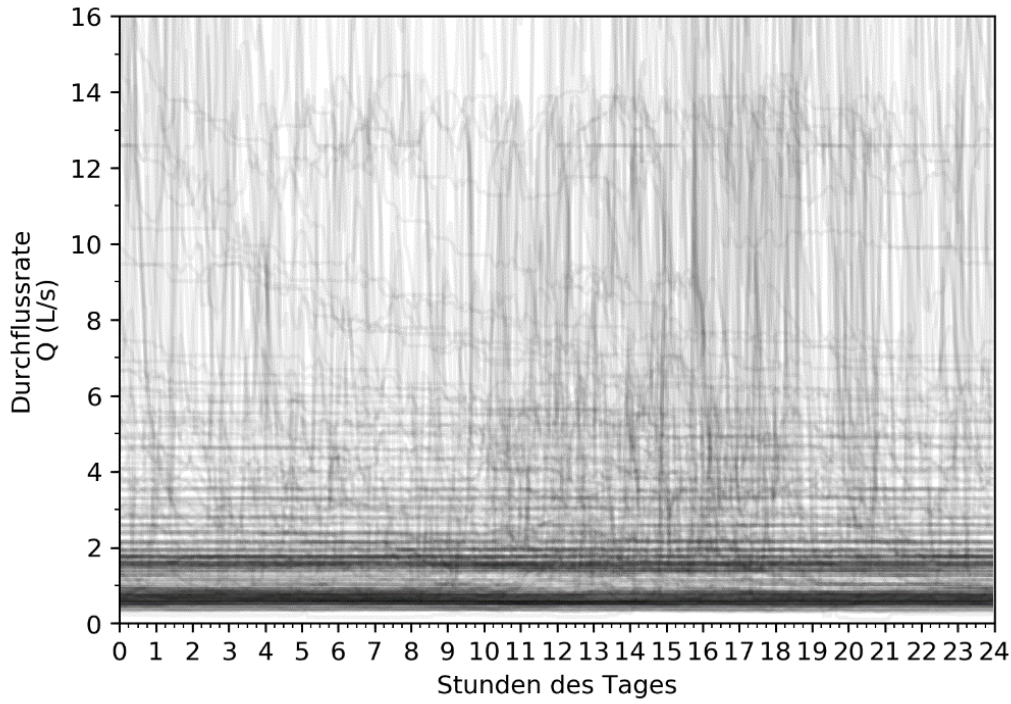
zugehörigen 24 h-Abflussverläufe, worin man auch die Variabilität der konstanten Trockenwetter-Fremdwasser-Ganglinien erkennt.

Abbildung 3: 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der eingetragenen Ereignis-Start- und End-Kriterien für die automatischen Probenahmen (Start (2) ab 13.04.2018, Ende (2) ab 12.03.2018)



Quelle: TU Graz

Abbildung 4: 24 h-Abflussverläufe aller Tage im unteren Abflussbereich innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße



Quelle: TU Graz

Eine eingehende Trockenwetter-Fremdwasseranalyse ergab für diesen Zeitraum Wasserstandshöhen von 1–3 cm und dazugehörige Trockenwetterabflüsse von 0,5–3 L/s, die in der Tabelle 3 während des einjährigen Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der Ein- und Ausschaltpunkte für die Aktivierung der Probenahmen zusammengefasst sind.

Tabelle 3: Abflussbedingungen bei Trockenwetter (TW) und Aktivierung der Probenahmen bei Niederschlagswasserabfluss an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße

| Probenahmestelle | Wasserstände bei TW-Bedingungen | Abfluss bei TW-Bedingungen | Probenahme - Aktivierung | |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| | | | Ein | Aus |
| NWK Graz – Ziegelstraße | 1- 3 cm | 0,5- 3 L/s | 10/ 9* cm | 6/ 7** cm |

*Ab 13.04.2018, ** ab 12.03.2018; Quelle: TU Graz

In Tabelle 4 sind die insgesamt während des einjährigen Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße gemessenen Abflussvolumina, die Trockenwetter- (TW) bzw. und Niederschlagswasseranteile (NW), die insgesamt beprobten Abflussvolumina sowie die Jahresniederschlagshöhe in dem Untersuchungsgebiet (UG) dargestellt.

Tabelle 4: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018

| Probenahme- stelle | Abflussvolumina [m³/a] | | | | | NS-Höhe im UG |
|----------------------------|------------------------|----------|--------|---------------|-----------------------------|------------------|
| | Insgesamt | TW (=FW) | NW | NW beprobt | Insg. beprobt (inkl. FW) | |
| NWK Graz – Ziegelstraße | 103.260 | 57.424 | 45.836 | 26.939 | 28.289 | 760 mm |
| | 100% | 56% | 44% | 26% | 27% | |

FW...Fremdwasser

Quelle: TU Graz

Insgesamt wurden 76 Niederschlagswasserereignisse beprobt, woraus die beiden nachfolgenden aufkumulierten, mengenproportionalen Halbjahresmischproben generiert wurden:

- 13,36 L Halbjahresprobe (01.10.2017 – 05.05.2018) NWK Graz – Ziegelstraße
- 20,73 L Halbjahresprobe (06.05.2018 – 30.09.2018) NWK Graz – Ziegelstraße

Eine detaillierte Beschreibung der Probenahmestelle, eine Validierung der einzelnen Ereignisbeprobungen sowie auch deren Ergebnisse finden sich im Anhang.

Niederschlagswasserkanal – Vorarlberg, Langackerweg

Die Probenahme erfolgte volumen-proportional mit einem stationären, automatischen und aktiv gekühlten Probenahmegerät mit Vakuum-Ansaugung der Fa. MAXX. Die Dosiereinrichtung wurde auf Teilvolumina von 50 ml programmiert. Die Ansteuerung des Probenahmegeräts erfolgte digital und potentialfrei durch ein stationär installiertes Durchflussmengenmessgerät mit einer Impulsrate von 1 Impuls pro 1000 Liter und einem Impulstei-

ler von 1:10. Ein Fünftel des gesammelten Gesamtvolumens wurde als Teilprobe spätestens zwei Tage nach Beginn des Niederschlagsereignisses entnommen und akkumulierend eingefroren.

Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich

Die Probenahme erfolgte mengenproportional mittels eines mobilen automatischen Probenahmesystems der Marke American Sigma 900 MAX (Peristaltiksystem), das direkt unter einem Schachtdeckel eines Kanalzugangsschachtes installiert wurde (Ansaughöhe rund 3 m) und mittels eines sohlgebundenen, mobilen Ultraschall-Durchflussmengenmesssystem („Kanalmaus“) gesteuert wurde. Anstelle der standardmäßigen Ausführung des Probennehmers mit einem Untersatz mit 24 PE-Flaschen zu je 1,0 Liter wurde das Probenahmesystem mit einem 20 Liter Glasballon ausgestattet, um das Verhältnis Volumen zu Oberfläche zu optimieren und damit eine Beeinflussung der Probe durch Oberflächeneffekte zu minimieren. Da bei diesem Probenahmesystem keine Möglichkeit der aktiven Kühlung der Proben während und nach einem Ereignis bestand, wurde das im Glasballon gesammelte Probenvolumen zumindest einmal wöchentlich aus dem Probenahmesystem entnommen und durch Einfrieren konserviert. Die Probenahme erfolgte mengenproportional (jeweils 95 mL Probe nach einem Abfluss von jeweils 200 m³). Dabei wurde der Abfluss durch eine im Gerät hinterlegte Wasserstands-Abfluss-Beziehung berechnet. Start- und Endzeitpunkt der Probenahme wurde über den Wasserstand im Kanal gesteuert. Da dieser bei Trockenwetterbedingungen aufgrund von Fremdwasserzutritten etwa 2 cm beträgt, wurde die Schwelle zur Definition des Start- und Endzeitpunktes mit 4 cm festgelegt.

Die Probenahmestelle wurde für den Zeitraum eines Jahres betrieben, wobei der eigentliche Start der Probenahme nach einem etwa zweimonatigen Probebetrieb Mitte September 2017 erfolgte. Da an der Probenahmestelle keine Frostsicherheit gegeben war, musste die Probenahme im Niederschlagswasserkanal im Winter (Mitte Dezember bis Mitte Februar) unterbrochen werden.

Mischwasserkanal – Graz, MÜ-R05

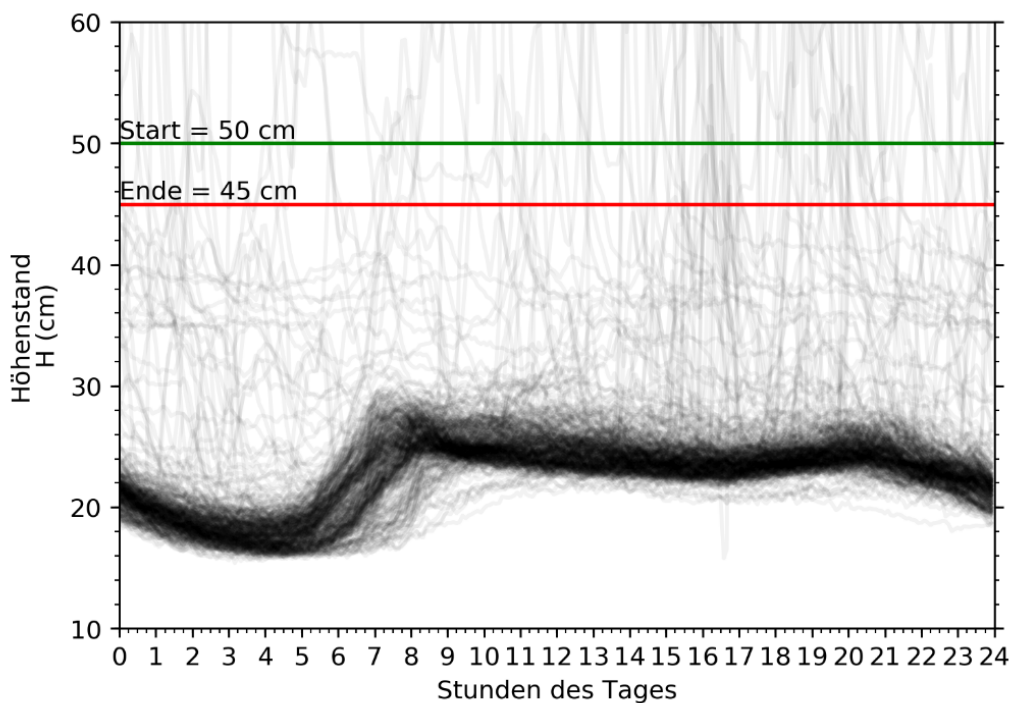
Wie beim Niederschlagswasserkanal Graz – Ziegelstraße wurden auch an dieser Probenahmestelle diskontinuierliche, mengenproportionale Ereignisproben gewonnen, welche dann anteilig in Bezug auf die abgeschätzte Jahresabflussmenge zu zwei Halbjahresmischproben kumuliert wurden.

Die Entnahme von Abwasserproben erfolgte mithilfe von automatischen Probenahme-geräten der Fa. Maxx GmbH vom Typ TP5C. Die Ansaugung erfolgte dabei mit einer Membranpumpe (Vakuumpumpe); die Ansaughöhe aus der Mischwasserkammer betrug ca. 6,5 m. Abhängig von einem vordefinierten Wasserstand in der Mischwasserkammer über der Trockenwetterrinne wurde die Probenahme automatisch aktiviert (Start der Probenahme bei 50 cm Wasserstandshöhe, Ende bei 45 cm Wasserstandshöhe). Zur Erfassung des Durchflusses und der Wasserstandshöhe im Zulaufkanal zur Kammer des MÜ-R05 wurde ein Radarmessgerät der Fa. Marsh McBirney vom Typ FloDar verwendet, das am Kanalscheitel etwa 25 m vor dem Probenahmeort installiert wurde. Zusätzlich dazu wurde die Wasserstandshöhe in der Mischwasserkammer auch noch durch einen zweiten Sensor der Fa. Vega vom Typ Vegason 61 in unmittelbarer Nähe des Ansaugpunkts der Probenahme gemessen. Dieser Sensor arbeitet nach dem Prinzip der Ultraschall-Laufzeitmessung und dient zur Ansteuerung der automatischen Probenahmegeräte. Die entnommenen Proben wurden in einem aktiv gekühlten Probenahmeuntersatz mit 24 PE-Flaschen mit je 1,0 L Fassungsvermögen gesammelt.

Um alle Niederschlagsereignisse eines Jahres möglichst vollständig und mengenproportional beproben zu können, erfolgte die automatische Teilprobenentnahme auch an dieser Grazer Probenahmestelle zunächst wieder zeitproportional, d. h., dass der Zeitabstand (Teilprobenintervall) zwischen den einzelnen Teilprobenentnahmen konstant war und dafür möglichst geringe konstante Zeitintervalle von i. d. R. 4 Minuten gewählt wurden. Erst in einem zweiten Schritt wurden die Teilproben im Nachgang an die Probenahmen im Labor und in Abhängigkeit von der jeweiligen Abflussganglinie des Ereignisses mengenproportional zu den jeweiligen Ereignisproben händisch zusammengemischt. Dabei wurde wieder, wie schon an der Probenahmestelle Graz – Ziegelstraße, die Variante gewählt, dass die Mischung der Teilproben (180 mL) aus den 24 Einzelflaschen abhängig vom zugehörigen Abflussvolumen jeder Einzelflasche erfolgte, was nach Ort et al. (2010) die genaueste Art einer mengenproportionalen Probenahme darstellt. Die Probenahme an dieser Beprobungsstelle erfolgte allerdings nur mit einem Probenahmegeräte. Dieses wurde mit einer sog. Programmverkettung betrieben, bei der ab der Befüllung der 13. von 24 Probenahmeflaschen automatisch auf ein doppelt so langes Probenahmeintervall von 8 min umgeschaltet wurde, wodurch die maximale Ereignis-Probenahmedauer auf insgesamt 12 Stunden ausgedehnt werden konnte. Dabei wurden dann die ersten 12 Probenahmeflaschen 4 h lang, alle 4 min mit jeweils fünf Teilproben á 180 mL befüllt und die restlichen 12 Probenahmeflaschen dann 8 h lang, alle 8 min mit jeweils 5 Teilproben á 180 mL, woraus die insgesamt 12 Stunden maximale Beprobungszeit resultieren.

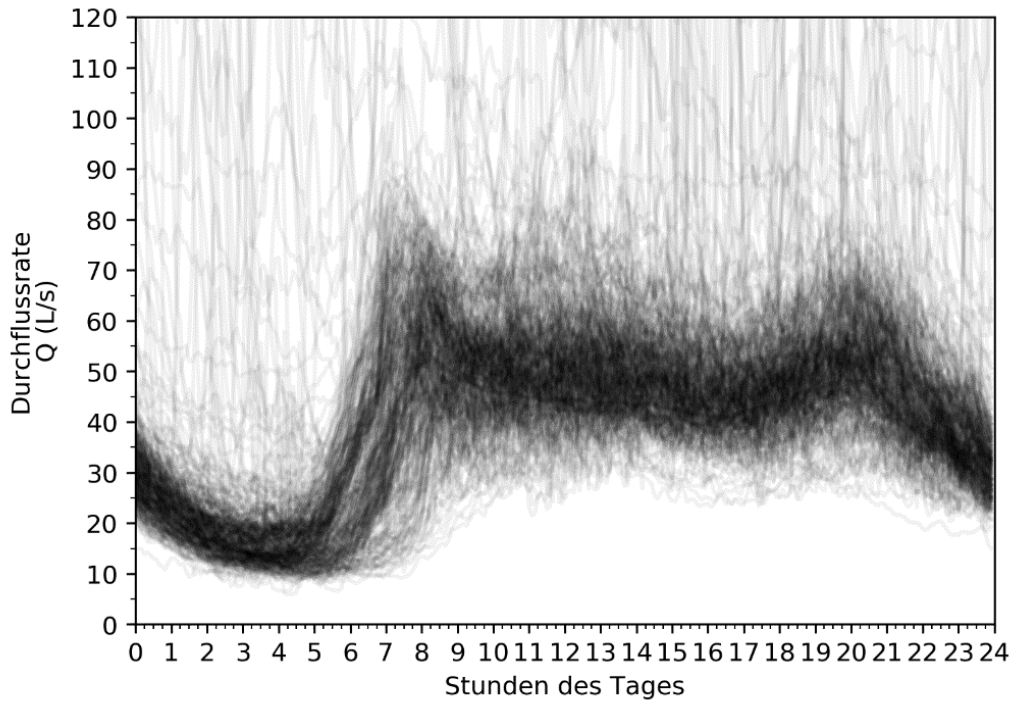
In Abbildung 5 sind die 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der Ereignis-Start- und End-Kriterien dargestellt und in Abbildung 6 die dazugehörigen 24 h-Trockenwetter-Abflussverläufe, worin man auch die Variabilität der Trockenwetter-Tagesganglinien erkennt.

Abbildung 5: 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der eingetragenen Ereignis-Start- und End-Kriterien für die automatischen Probenahmen



Quelle: TU Graz

Abbildung 6: 24 h-TW-Abflussverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017– 0.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05



Quelle: TU Graz

Eine eingehende Trockenwetter-Analyse ergab für diesen Zeitraum Wasserstandshöhen von 16 – 28 cm und dazugehörige Trockenwetterabflüsse (TW) von 10 – 70 L/s, die in Tabelle 5 während des einjährigen Beprobungszeitraumes (01.10.2017 – 30.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der Ein- und Ausschaltpunkte für die Aktivierung der Probenahmen zusammengefasst sind.

Tabelle 5: Abflussbedingungen bei Trockenwetter und Aktivierung der Probenahmen bei Niederschlagswasserabfluss an der Probenahmestelle MWK Graz – MÜ-R05

| Probenahmestelle | Wasserstände bei TW-Bedingungen | Abfluss bei TW-Bedingungen | Probenahme - Aktivierung | |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------|
| | | | Ein | Aus |
| Graz – MÜ-R05 (MWK) | 16 - 28 cm | 10 - 70 L/s | 50 cm | 45 cm |

Quelle: TU Graz

In Tabelle 6 sind die insgesamt während des einjährigen Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Mischwasserkanal (MWK) – Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 gemessenen Abflussvolumina, die Trockenwetter- (TW) und Niederschlagswasseranteile (NW), die insgesamt beprobten Mischwasser-Abflussvolumina (MW) sowie die Jahresniederschlagshöhe im Untersuchungsgebiet dargestellt.

Tabelle 6: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der MWK-Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018

| Probenahmestelle | Abflussvolumina [m ³ /a] | | | | | NS-Höhe im UG |
|---------------------|-------------------------------------|-----------|---------|------------|--------------------|---------------|
| | Insgesamt | TW | NW | NW beprobt | Insg. beprobt (MW) | |
| Graz – MÜ-R05 (MWK) | 1.854.905 | 1.266.563 | 588.342 | 377.998 | 405.540 | 929 mm |
| | 100% | 68% | 32% | 20% | 22% | |

Quelle: TU Graz

Insgesamt wurden 73 Mischwasserereignisse beprobt, woraus die beiden nachfolgenden aufkumulierten, mengenproportionalen Halbjahresmischproben generiert wurden:

- 25,05 L Halbjahresprobe (01.10.2017 – 05.05.2018) Graz – MÜ-R05
- 39,61 L Halbjahresprobe (06.05.2018 – 30.09.2018) Graz – MÜ-R05

Eine detaillierte Beschreibung der Probenahmestelle, eine Validierung der einzelnen Ereignisbeprobungen sowie auch deren Ergebnisse finden sich im Anhang.

Straßenablauf - L202 – Hard/ Lauterach

Die Straßenabwässer der Brücke über die Bregenzer Ach der Landesstraße L202 werden zur Reinigung in ein Retentionsfilterbecken eingeleitet. Die Proben wurden beim Zulauf vor dem Schlammfang genommen. Die Probenahme erfolgte volumenproportional mit einem automatischen, aktiv gekühlten Probenehmer (MAXX TP2) in 15 L Glasbehältern. Für die Ansteuerung wurden die von der jeweiligen stationären Durchflussmengenmes-

sung (Venturikanal & Echolot) gelieferten potentialfreien Impulse (1 Impuls/100 L) mit einem Impulsteiler von 1:5 verwendet (eine Teilprobenentnahme je 0,5 m³).

Depositionsproben Graz

Zur Reduktion von Verdunstungsverlusten wurde die Beprobung an beiden Standorten mit einem Totalisator durchgeführt. Über eine definierte Auffangfläche von 500 cm² (Durchmesser 25,2 cm) wurde der Niederschlag ins Innere des Totalisators geführt, wo er dann in einem Speicherbehälter (6 Liter PE-HD-Behälter, Gesamtmenge 120 mm Niederschlag) aufgefangen wurde. Der Inhalt des Speicherbehälters wurde nach jedem beprobten Niederschlagswasserereignis entleert und kumulativ zu den in der Tabelle 7 dargestellten Teilniederschlagsproben eingefroren.

Die verzinkten Auffangtrichter der Totalisatoren wurden ab 18.01.2018 mit Kunststofftrichtern ausgekleidet, um eine qualitative Beeinflussung der Proben durch die metallische Oberfläche der Totalisatoren zu vermeiden.

An den beiden Grazer Depositionsprobenahmestellen wurden die in Tabelle 7 dargestellten Teil- und Gesamtprobenvolumina gesammelt und kumulativ eingefroren. Die mit „M1“ bezeichneten und bis zum 18.01.2018 gesammelten Teilprobenvolumina wurden noch ohne die Kunststoff-Trichtereinsätze gesammelt.

Tabelle 7: Kumulierte und eingefrorene Teil- und Gesamtprobenvolumina der beiden Grazer Depositionsproben

| Depositionsproben | Bezeichnung | Beginn | Ende | Teilvolumina | Gesamtvolumina |
|---------------------|-------------|------------|------------|--------------|----------------|
| Graz - Ziegelstraße | M1 | 01.10.2017 | 10.01.2018 | 6.399 mL | |
| | 1 | 11.01.2018 | 13.06.2018 | 22.959 mL | 45.422 mL |
| | 2 | 14.06.2018 | 30.09.2018 | 16.064 mL | |
| Graz – TU Graz | M1 | 01.10.2017 | 10.01.2018 | 6.268 mL | |
| | 1 | 11.01.2018 | 14.06.2018 | 22.425 mL | 41.125 mL |
| | 2 | 15.06.2018 | 30.09.2018 | 12.432 mL | |

Quelle: TU Graz

Zur Detektion von Menge und Intensität des gefallenen Niederschlags während eines Ereignisses wurden Daten nahe gelegener Niederschlagsmessstationen (für den Standort Ziegelstraße: Graz-Prochaskagasse-Schule und Graz-RHB-Stufenbach, für den Standort TU Graz: Graz-Stremayrgasse) berücksichtigt.

Depositionsproben Vorarlberg

Die Niederschläge wurden in zwei 5 Liter Glasflaschen über ein Sieb mit 14 cm Durchmesser gesammelt. Die zweite Flasche wurde nur zur Sicherheit aufgestellt, falls die Probenahme in die erste Flasche misslingt. Nach einem Niederschlagsereignis wurde die Teilprobe akkumulierend eingefroren.

Depositionsproben Siedlungsgebiet Ostösterreich

An beiden Standorten wurden Kunststoff-Sammelbehälter mit einem Fassungsvermögen von 25 Litern in Kombination mit Kunststofftrichtern mit einem Durchmesser von 60 cm aus PE-HD verwendet. Die Depositionsproben wurden zumindest einmal wöchentlich aus dem Probensammler entnommen und in Form einer Jahressammelprobe durch Einfrieren konserviert. Die Depositionsbeprobung wurde im Jahresverlauf nicht unterbrochen und verlief in der Nähe des Niederschlagswasserkanals vom 17.08.2017–17.08.2018 und am Referenzstandort von 11.07.2017–12.07.2018.

2.1.1.2 Probenverteilung und -anzahl

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht aller in den Untersuchungsgebieten gezogenen Proben. Um eine bessere zeitliche Auflösung zu gewährleisten, wurden die Proben nicht als Jahresproben analysiert sondern als Halbjahres- bzw. Quartalsproben. Das erforderliche Mindestprobenvolumen zur Durchführung einer vollständigen Analytik betrug 15 Liter.

Tabelle 8: Untersuchungsgebiet und Zeitraum der Probenahme

| Art der Probe | Untersuchungsgebiet | Zeitraum |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Trennkanalisation | Graz – Ziegelstraße | 10. 2017 – 05. 2018 |
| | | 05. 2018 – 09.2018 |
| | Vorarlberg – Langackerweg | 08. 2017 – 10. 2017 |
| | | 10. 2017 – 01. 2018 |
| | | 01. 2018 – 06. 2018 |
| | | 06. 2018 – 08. 2018 |
| Ostösterreich – Siedlungsgebiet A | 08. 2017 – 12. 2017 | |
| | 04. 2018 – 09. 2018 | |
| Straßenablauf | Vorarlberg – L202 in Hard/Bregenz | 08. 2017 – 12. 2017 |
| | | 12. 2018 – 08. 2018 |
| Mischwasser | Graz – R05 | 10. 2017 – 05. 2018 |
| | | 05. 2018 – 09.2018 |
| Deposition | Graz – Ziegelstraße | Jahresprobe |
| | Graz – Referenzstandort (TU) | Jahresprobe |
| | Vorarlberg | Jahresprobe |
| | Ostösterreich – Siedlungsgebiet A | Jahresprobe |
| | Ostösterreich – Referenzstandort | Jahresprobe |

Quelle: Umweltbundesamt

2.1.2 Feststoffprobenahme im Ablauf kommunaler Kläranlagen

Für die Durchführung der Feststoffprobenahmen mussten eigene Einbauten angefertigt und in den Ablaufschächten der Kläranlagen eingebaut werden. Für dieses Entgegenkommen und für die tatkräftige Unterstützung während der Beprobungen gebührt den Betreibern großer Dank. Die technischen Details sind im Folgenden beschrieben.

Die Beprobung der Partikel erfolgte durch ein Neustonnetz der Maschenweite 500 µm. Diese Maschenweite hat sich in Vorstudien gut bewährt. Durch die konische Form und durch die Länge des Netzes wurde das gesammelte Material in der Auffangbox am Ende

angereichert und gewährleistet ein verstopfungsfreies Durchfließen der Beprobungseinrichtung. Durch Adsorption wurden auch kleinere Partikel (nicht quantitativ) am Probenmaterial zurückgehalten.

2.1.2.1 Kläranlage (ARA) 1

Der verwendete Messrahmen zur Beprobung der Kläranlage 1 wurde aus Stahl gefertigt und weist eine Gesamtbreite von 76 cm und eine Höhe von 110 cm auf. Die Maschenweite des Netzes beträgt 500 µm. Die für die Messungen gewählte Stelle zur Entnahme der Proben wurde in einem der seitlich zu den Nachklärbecken angeordneten Sammelkanäle gewählt. Die generierten Proben umfassen also einen Teilstrom des in dieser ARA geklärten Abwassers, kurz vor der Einleitung in den Vorfluter. Der genaue Messaufbau ist in Abbildung 7 dargestellt. Für den Einbau der Entnahmenetze wurde seitens des Betreibers der Sammelkanal geöffnet und das Betriebswasser gedrosselt um Führungsschienen montieren zu können. Es wurden beidseitig jeweils zwei Führungsschienen montiert. Der Messrahmen wurde so ausgeführt, dass die Wangen beidseitig in die angebrachten Führungsschienen abgesenkt werden können. Somit kann auch bei Rückstau infolge von Verlegung des Netzes kein Kippen auftreten. Zusätzlich zu den Schienen wurden Holzvertäfelungen angeordnet, um ein Aufscheuern der Netze zu verhindern. Weiters wurde ein Verschluss für die Einlauföffnung aus Metall angefertigt um - speziell bei Aufstau infolge von Verlegung des Netzes - ein Rückfließen von Kunststoffpartikeln während des Ziehens des Messgerätes zu verhindern.

Abbildung 7: linkes Bild - Absenken des Messrahmens in den Sammelschacht; mittleres Bild - Messrahmen mit Führungsschienen und Holzvertäfelung während der Messung; rechtes Bild - Ziehen des Messrahmens nach Verschluss der Einlauföffnung © BOKU Wien



Beprobung der ARA 1 am 30.11.2017

Nach Einbau der Führungsschienen und der Holzvertäfelungen wurde das Betriebswasser wieder aufgedreht. Zunächst wurde jedoch bei wieder durchströmten Verhältnissen etwa 15 Minuten gewartet, um etwaige Einflüsse von Ablagerungen durch die Drosselung während des Einbaus minimal zu halten. Anschließend wurde das Messgerät für die erste Probenahme abgesenkt und im Kanal positioniert. Das Netz schloss sowohl seitlich als auch sohnah perfekt am Kanal ab. Dies gewährleistete, dass der gesamte passierende Wasserstrom durch das Netz gefiltert wurde. Das Einbringen und Ziehen des Messgerätes wurde seitens der ARA 1 mit einem Hubstapler durchgeführt.

Nach dem Ziehen des Netzes aus dem Sammelschacht wurde das Messgerät mittels Hochdruckreiniger von oben nach unten gereinigt, sodass sich die rückgehaltenen Partikel im Sammelbehälter am Ende des Netzes sammeln konnten (siehe Abbildung 8). Durch Abschrauben des Sammelbehälters wurde anschließend die Probe entnommen, in einen Probenkübel gegeben und beschriftet.

Insgesamt wurden am 30.11.2017 vier Proben entnommen, wobei das Netz 65 Minuten (1. Probe) bzw. 60 Minuten (2., 3. und 4. Probe) im Auslaufkanal exponiert war. Während der durchgeführten Messungen konnte kein Verlegen der Netze bzw. dadurch bedingter Aufstau erkannt werden. Um etwaige Unterschiede im zeitlichen Verlauf identifizieren zu können, wurde das Netz dennoch nach einem fixen Intervall von einer Stunde gezogen und die Probe entnommen.

Hinsichtlich der Probenzusammensetzung hat sich diese Herangehensweise insofern als richtig erwiesen, als die erste Probe vermutlich aufgrund von Restablagerungen im Sammelkanal einen optisch höheren Materialanteil aufwies. Die weiteren Proben zeigten dann eine vergleichbare Charakteristik.

Abbildung 8: linkes Bild - Blick in das Netz nach dem Ziehen des Messgerätes; mittleres Bild - Reinigen des Netzes mittels Hochdruckreiniger; rechtes Bild - generierte Probe im Probenkübel © BOKU Wien



Tabelle 9: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung

| Messzeitraum | Messdauer (s) | Qm (L/s) | Durchsatz (m ³) |
|--------------|---------------|----------|-----------------------------|
| 11:34-12:39 | 3.900 | 30,21 | 117,80 |
| 13:02-14:02 | 3.600 | 33,73 | 121,43 |
| 14:12-15:12 | 3.600 | 39,60 | 142,57 |
| 15:19-16:19 | 3.600 | 42,91 | 154,49 |
| | | | 536,30 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

Es wurden insgesamt 536,30 m³ Abwasser in vier Teilbeprobungen beprobt. Der Durchsatz errechnet sich aus der Aufsummierung der durchschnittlichen Durchflüsse während der Teilprobenahmen und der exponierten Zeiten (Tabelle 9).

Beprobung der ARA 1 am 2.8.2018

Die 2. Beprobung der Kläranlage 1 erfolgte am 02.08.2018. Da die Führungsschienen und Holzvertäfelungen bereits eingebaut waren, wurde das Betriebswasser vor der Messung nicht gedrosselt, das Messnetz wurde direkt in den Sammelschacht eingebracht. Das Einbringen und Ziehen des Messgerätes erfolgte seitens der ARA mittels Hubstapler. Das

Messnetz schloss bei allen Messungen sowohl seitlich als auch sohnah perfekt am Kanal ab.

Insgesamt wurden am 02.08.2018 vier Proben entnommen, wobei das Netz jeweils 60 Minuten im Auslaufkanal exponiert war. Während der durchgeführten Messungen konnte kein Verlegen der Netze bzw. dadurch bedingter Aufstau erkannt werden. Das Netz wurde jeweils nach dem Ziehen mittels Hochdruckreiniger gereinigt, die Proben wurden anschließend in beschrifteten Kübeln verwahrt.

Dadurch, dass bei dieser Probenahme das Betriebswasser vor der Messung nicht gedroselt wurde, konnten keine optisch merklichen Unterschiede hinsichtlich der Probenzusammensetzung aufgrund von Ablagerung und Remobilisierung im Sammelkanal festgestellt werden. Die vier Teilproben sind in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Teilproben der Messungen im Ablaufkanal der ARA 1 vom 02.08.2018 © BO-KU Wien

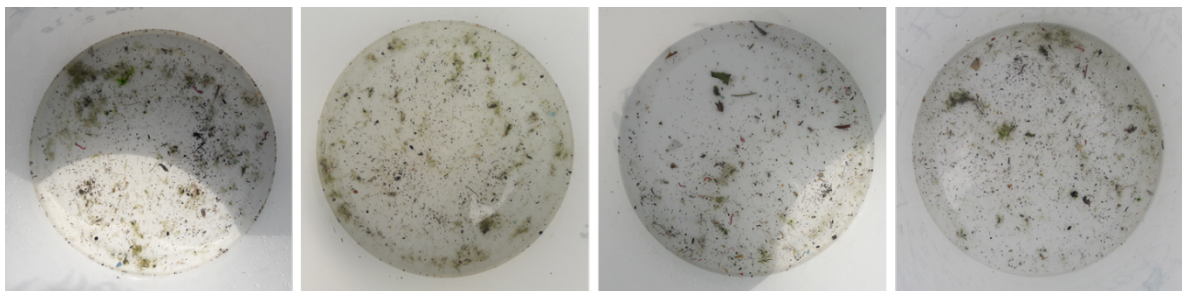


Tabelle 10: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung

| Messzeitraum | Messdauer (s) | Qm (L/s) | Durchsatz (m ³) |
|--------------|---------------|----------|-----------------------------|
| 9:30-10:30 | 3.600 | 49,27 | 177,36 |
| 10:38-11:38 | 3.600 | 53,71 | 193,36 |
| 11:44-12:44 | 3.600 | 53,93 | 194,15 |
| 12:49-13:49 | 3.600 | 54,07 | 194,64 |
| | | | 759,50 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

Es wurden insgesamt 759,50 m³ Abwasser in vier Teilbeprobungen beprobt. Der Durchsatz errechnet sich aus der Aufsummierung der durchschnittlichen Durchflüsse während der Teilprobenahmen und der exponierten Zeiten (Tabelle 10).

2.1.2.2 Kläranlage (ARA) 2

Der verwendete Messrahmen zur Beprobung der Kläranlage 2 wurde aus Stahl gefertigt und weist eine Gesamtbreite von 96 cm und eine Höhe von 110 cm auf. Die verwendete Maschenweite des Netzes beträgt analog zum Netz der ARA 1 500 µm. Die für die Messungen gewählte Stelle zur Entnahme der Proben wurde im Sammelkanal direkt vor der Ausleitung in den Vorfluter gewählt. Die generierten Proben umfassen somit das gesamte in dieser ARA geklärte Abwasser.

Der Messaufbau erfolgte analog zu jenem der ARA 1. Für die Montage der Führungsschienen und den Einbau der Entnahmenetze wurde seitens Betreiber der Sammelkanal geöffnet und das Betriebswasser gedrosselt. Es wurden beidseitig jeweils zwei Führungsschienen montiert um die Stabilität des Rahmens auch bei etwaigem Rückstau gewährleisten zu können. Ebenfalls wurde ein Verschluss für die Einlauföffnung aus Metall angefertigt um - speziell bei Aufstau infolge von Verlegung des Netzes - ein Rückfließen von Kunststoffpartikeln während des Ziehens des Messgerätes zu verhindern. Der Messaufbau ist Abbildung 10 ersichtlich.

Abbildung 10: linkes Bild – Messstelle im Sammelschacht der ARA 2; mittleres Bild - Absenken des Messrahmens in den Sammelschacht; rechtes Bild - Messrahmen mit Führungsschienen während der Messung © BOKU Wien

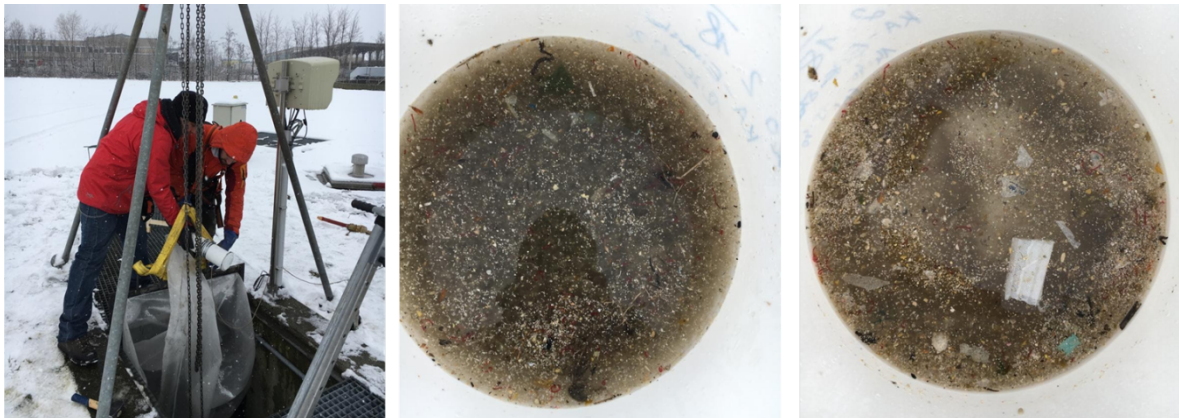


Beprobung der ARA 2 am 20.2.2018

Wie bei der ARA 1 wurde auch hier nach Einbau der Führungsschienen und Aufdrehen des Betriebswassers zunächst etwa 15 Minuten gewartet, um etwaige Einflüsse von Ablagerungen durch die Drosselung während des Einbaus minimal zu halten. Anschließend wurde das Messgerät für die erste Probenahme abgesenkt und im Kanal positioniert. Das Netz schloss bei allen Messungen sowohl seitlich als auch sohnah perfekt am Kanal ab. Das Einbringen und Ziehen des Messgerätes wurde mittels Dreibein und Kettenzug durchgeführt. Das Netz wurde jeweils nach dem Ziehen mittels Feuerwehrschauch gereinigt, die Proben wurden anschließend in beschrifteten Kübeln verwahrt.

Insgesamt wurden am 20.02.2018 vier Proben entnommen, wobei das Netz jeweils 60 Minuten im Auslaufkanal exponiert war. Während der durchgeführten Messungen konnte kein Verlegen der Netze bzw. dadurch bedingter Aufstau erkannt werden. Hinsichtlich der Zusammensetzung der einzelnen Beprobungen konnten visuell keine merklichen Unterschiede festgestellt werden.

Abbildung 11: linkes Bild – Entnehmen einer Probe in der ARA 2; mittleres und rechtes Bild – generierte Proben im Probenkübel © BOKU Wien



Es wurden insgesamt 2483,36 m³ Abwasser in vier Teilbeprobungen beprobt. Der Durchsatz errechnet sich aus der Aufsummierung der durchschnittlichen Durchflüsse während der Teilprobenahmen und der exponierten Zeiten (Tabelle 11).

Tabelle 11: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung

| Messzeitraum | Messdauer (s) | Qm (L/s) | Durchsatz (m ³) |
|--------------|---------------|----------|-----------------------------|
| 12:26-13:26 | 3.600 | 145,82 | 524,96 |
| 13:33-14:33 | 3.600 | 186,93 | 672,96 |
| 14:40-15:40 | 3.600 | 187,02 | 673,25 |
| 15:47-16:47 | 3.600 | 170,05 | 612,19 |
| | | | 2.483,36 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

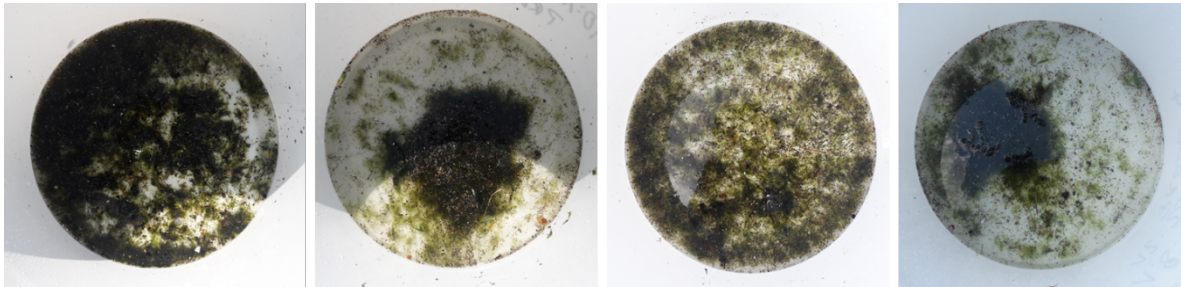
Beprobung der ARA 2 am 1.8.2018

Die 2. Beprobung der ARA 2 erfolgte am 01.08.2018. Da die Führungsschienen bereits eingebaut waren, wurde das Betriebswasser vor der Messung nicht gedrosselt, das Messnetz wurde direkt in den Sammelschacht eingebracht. Das Einbringen und Ziehen des Messgerätes erfolgte mittels Dreibein und Kettenzug. Das Messnetz schloss bei allen Messungen sowohl seitlich als auch sohnah perfekt am Kanal ab.

Insgesamt wurden am 01.08.2018 vier Proben entnommen, wobei das Netz jeweils 60 Minuten im Auslaufkanal exponiert war. Während der durchgeführten Messungen konnte kein Verlegen der Netze bzw. dadurch bedingter Aufstau erkannt werden. Das Netz wurde jeweils nach dem Ziehen mittels Feuerwehrschauch gereinigt, die Proben wurden anschließend in beschrifteten Kübeln verwahrt.

Dadurch, dass bei dieser Probenahme das Betriebswasser vor der Messung nicht gedrosselt wurde, konnten keine optisch merklichen Unterschiede hinsichtlich der Probenzusammensetzung aufgrund von Ablagerung und Remobilisierung im Sammelkanal festgestellt werden. Die vier Teilproben sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12: Teilproben der Messungen im Ablaufkanal der ARA 2 vom 01.08.2018 © BOKU Wien



Es wurden insgesamt 1076,40 m³ Abwasser in vier Teilbeprobungen beprobt. Der Durchsatz errechnet sich aus der Aufsummierung der durchschnittlichen Durchflüsse während der Teilprobenahmen und der exponierten Zeiten (Tabelle 12).

Tabelle 12: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung

| Messzeitraum | Messdauer (s) | Qm (L/s) | Durchsatz (m ³) |
|--------------|---------------|----------|-----------------------------|
| 09:00-10:00 | 3.600 | 75,79 | 272,83 |
| 10:10-11:10 | 3.600 | 71,70 | 258,11 |
| 11:18-12:18 | 3.600 | 75,53 | 271,91 |
| 12:26-13:26 | 3.600 | 75,99 | 273,56 |
| | | | 1.076,40 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

2.1.2.3 Auswahl der Kläranlage für die fünfte Beprobung

Für die fünfte Beprobung wurde Kläranlage 2 ausgewählt, da hier sowohl die vollständige Beprobung des Abwasserstroms, als auch eine einfache, parallele Probenahme möglich ist. Zudem stellte sich in den ersten vier Messungen eine höhere Mikroplastik- sowie höhere Feststoffkonzentration im Abwasserstrom dar, die für die Bestimmung mittels verschiedener Methoden bessere Bedingungen darstellt. Des Weiteren zeigten die ersten Messungen des Umweltbundesamtes und der TU-Wien gute Übereinstimmungen bei der Mikroplastik-Konzentration.

Beprobung der ARA 2 am 16.4.2019

Die 3. Beprobung der ARA 2 erfolgte am 16.04.2019 analog zu den bereits durchgeführten Messungen in vier Teilbeprobungen zu je 60 Minuten. Während der durchgeführten Messungen konnte kein Verlegen der Netze bzw. dadurch bedingter Aufstau erkannt werden. Das Netz wurde jeweils nach dem Ziehen mittels Feuerwehrschauch gereinigt, die Proben wurden anschließend in beschrifteten Kübeln verwahrt. Dadurch, dass bei dieser Probenahme das Betriebswasser vor der Messung nicht gedrosselt wurde, konnten keine optisch merklichen Unterschiede hinsichtlich der Probenzusammensetzung aufgrund von Ablagerung und Remobilisierung im Sammelkanal festgestellt werden.

Abbildung 13: linkes Bild – Säubern des Messnetzes in der ARA 2; mittleres Bild – Entleeren des Sammelbehälters, rechtes Bild – generierte Probe im Probenkübel © Umweltbundesamt/Hohenblum



Tabelle 13: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung

| Messzeitraum | Messdauer (s) | Qm (L/s) | Durchsatz (m ³) |
|--------------|---------------|----------|-----------------------------|
| 10:40-11:40 | 3.600 | 87,75 | 315,89 |
| 12:08-13:08 | 3.600 | 83,01 | 298,84 |
| 13:15-14:15 | 3.600 | 84,11 | 302,80 |
| 14:21-15:21 | 3.600 | 82,77 | 297,98 |
| | | Summe | 1.215,51 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

Es wurden insgesamt 1.215,51 m³ Abwasser in vier Teilbeprobungen beprobt. Der Durchsatz errechnet sich aus der Aufsummierung der durchschnittlichen Durchflüsse während der Teilprobenahmen und der exponierten Zeiten (Tabelle 13).

2.2 Analytik

2.2.1 Chemische Analytik organischer und anorganischer Spurenstoffe

Eine Kurzbeschreibung der angewandten chemischen Analysenmethoden für die Spurenstoffanalytik enthält Tabelle 14. Die Proben wurden auf rund 700 Einzelstoffe untersucht, die überblicksweise in Tabelle 1 und im Detail in Tabelle 68 und Tabelle 69 in Anhang 5.3 dargestellt sind. Bei den Analysen waren einige der untersuchten Stoffe in den Proben nicht nachweisbar oder die Messergebnisse waren unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Zur Berücksichtigung dieser Ergebnisse und den damit verbundenen Unsicherheiten, wurden bei den Auswertungen zwei Fälle unterschieden:

- Bei der Minimalbewertung wurden nicht nachweisbare Stoffe gleich null gesetzt und Messwerte kleiner der Bestimmungsgrenze mit der Nachweisgrenze berücksichtigt.
- Bei der Maximalbewertung wurden nicht nachweisbare Stoffe mit der Nachweisgrenze und Messergebnisse kleiner der Bestimmungsgrenze mit der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Tabelle 14: Kurzbeschreibung der angewandten chemischen Analysenmethoden

| Parametergruppe | Methodenbeschreibung |
|---|---|
| Schwermetalle | Die Teilproben für die Bestimmung Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink werden mit 1 ml konzentrierter Salpetersäure (Normatom, for trace metal analysis) je 100 ml Probe stabilisiert. Die Bestimmung erfolgt mit ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Massenspektrometrie) gemäß ÖNORM EN ISO 17294-2. Für die Bestimmung von Quecksilber erfolgt ein kombinierter Konservierungs- und Aufschluss-Schritt gemäß ÖNORM EN 17852 (12 ml verdünnte HCl-Lösung und 1,5 ml KBr/KBrO ₄ -Reagenz werden zu 80 ml Probe zugesetzt). Die Bestimmung von Quecksilber erfolgt nach Reduktion mit Zinnchlorid in Salzsäure mittels Atomfluoreszenzspektrometrie (mit Amalgamierung) gemäß ÖNORM EN 17852. |
| Industriechemikalien Nonylphenol | Die Extraktion erfolgt mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion. Dabei wird die Probe auf einen pH Wert von 2 eingestellt und mit einem isotopen- |

| Parametergruppe | Methodenbeschreibung |
|---|--|
| | markierten Surrogatmischstandard versetzt. Die Extraktion wird mit Toluol durchgeführt. Der Extrakt wird auf 0,5 ml eingeeengt. Es erfolgt ein Lösungsmitteltausch auf Wasser. Der Extrakt wird in einen Messkolben überführt und mit Acetonitril auf 1 ml aufgefüllt. Der Extrakt wird mittels LC-MS/MS-System gemessen. |
| Industriechemikalien Bisphenol A | Nach Zugabe von 1 mL Ammoniumformiatpuffer zur Probe wird der pH geprüft. Der geforderte pH Wert von 3 kann gegebenenfalls mit einigen Tropfen Ameisensäure korrigiert werden. Die Proben werden mit einem isotoopenmarkierten Surrogatmischstandard versetzt und mittels Festphasenextraktion extrahiert. Der Extrakt wird bei 30°C bis zur Trockene eingeeengt und in 200µl ACN/Formiatpuffer (pH3) (1/1 v/v) aufgenommen. Die Messung erfolgt mittels LC-MS/MS-System. |
| Polybromierte Diphenylether | Nach Dotation mit 13C-markierten polybromierten Diphenylether-Kongeneren erfolgt eine Flüssig-Flüssig-Extraktion der Probe mit Toluol. Die Extrakte der Proben werden einer mehrstufigen säulenchromatographischen Reinigung unterzogen. Die Bestimmung der PBDE erfolgt mittels Gaschromatographie/High Resolution Massenspektrometrie. Die Quantifizierung erfolgt nach der Isotoopenverdünnungsmethode. |
| Perfluorierte Tenside | Nach Zugabe eines isotoopenmarkierten Surrogatgemisches wird die Probe auf pH 4 eingestellt. Die Proben werden mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion mit Methyl-tert-butylether extrahiert. Die Extrakte werden eingeeengt und nach einem Lösungsmitteltausch auf Methanol mittels LC-MS/MS analysiert. |
| Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards erfolgt eine Flüssig-Flüssig-Extraktion mit n-Hexan. Die Bestimmung erfolgte mittels GC/MS gemäß DIN 38407-39. Die Quantifizierung erfolgt nach der externen Standardmethode unter Zugabe eines Injektionsstandards und Wiederfindungskorrektur über die zugesetzten deuterierten Surrogatstandards. |
| Phthalate | Nach Zugabe eines deuterierten Surrogatstandards erfolgt eine Flüssig-Flüssig-Extraktion mit n-Hexan. Die Bestimmung erfolgte mittels GC/MS gemäß EN ISO 18856. Die Quantifizierung erfolgt nach der externen Standardmethode unter Zugabe eines Injektionsstandards und Wiederfindungskorrektur über den zugesetzten deuterierten Surrogatstandard. |
| Organozinnverbindungen | Nach Zugabe der internen Standards und eines Natriumacetat-Puffers erfolgte die Derivatisierung mit Natriumtetraethylborat. Die Derivate wurden mit n-Hexan extrahiert und über Kieselgel-Säulchen gereinigt. Die Bestimmung wurde mittels APGC MS/MS gemäß DIN EN ISO 17353 durchgeführt. Die Quantifizierung erfolgt nach der externen Standardmethode unter Zugabe eines Injektionsstandards und Wiederfindungskorrektur über die zugesetzten deuterierten Surrogatstandards. |
| Pflanzenschutzmittel und –metabolite | Die Proben werden mit einem isotoopenmarkierten Surrogatstandardgemisch versetzt und mittels Direktinjektion in ein LC-MS/MS-System analysiert. |
| AZM-Screening | Die Proben werden mit einem isotoopenmarkierten Surrogatstandardgemisch versetzt. 100 mL der Probe werden mittels Festphasenextraktion (SPE) angereichert. Sowohl das Extrakt als auch eine direkt abgefüllte |

| Parametergruppe | Methodenbeschreibung |
|--|---|
| | Probe werden mittels Flüssigchromatographie-Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS) in beiden Elektrosprayionisierungsmodi (ESI positiv und negativ) analysiert. |
| PSM-Screening | Beim PSM-Screening werden mittels Flüssigchromatographie-Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS) ca. 600 Pestizide und Pestizidmetaboliten analysiert. Aufgrund des Grenzwertes für viele Pestizide von 0,1 µg/L wurde eine Bestimmungsgrenze (BG) für alle erfassten Pestizide und Pestizidmetaboliten festgelegt, die niedriger als der Grenzwert ist. Da die Empfindlichkeit der Analyten variiert sind 3 Messmethoden erforderlich, um eine BG bei 90% des Grenzwertes zu erreichen. Die Messung erfolgt nach Zugabe eines isotoopenmarkierten Surrogatstandards zu 1 mL der Probe. Es werden pro Messmethode jeweils 100µL direkt ohne jegliche Probenvorbereitung ins Analysensystem injiziert. Alle Substanzen mit einer Konzentration über 0,090 µg/L werden als Positivbefunde qualitativ ausgegeben und nach Bedarf auch quantitativ bestimmt. |
| Indikatoren kommunaler Verunreinigung | Die Proben werden mit einem isotoopenmarkierten Surrogatsstandardgemisch versetzt und mittels Direktinjektion in ein LC-MS/MS-System analysiert. |

Quelle: Umweltbundesamt

Sofern an den beiden Grazer Messstellen Graz – Ziegelstraße (NWK) und Graz – MÜ-R05 (MWK) genügend Ereignismischprobe vorhanden war, wurden diese Proben von Seiten der TU Graz auf die folgenden Abwasser-Standardparameter hin analysiert:

- CSB ... Konzentration des chemischen Sauerstoffbedarfs (mg/L) in den homogenisierten Proben und teilweise auch die membranfiltrierten Fraktionen.
- AFS ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe > 0,45 µm (mg/L).
- AFS63 (dispergiert) ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe ≤ 63 µm bzw. > 0,45 µm (mg/L) mit Ultra-Turrax dispergiert.
- AFS63 (nicht dispergiert) ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe ≤ 63 µm bzw. > 0,45 µm (mg/L) nicht dispergiert, sondern nur durch Rühren homogenisiert.
- Elektrische Leitfähigkeit ... dient im Nachgang auch als Kontrollparameter zur Qualitätsüberprüfung der kumulierten Jahresmischproben.

Sofern nach der Standardparameter-Analyse noch genügend Ereignismischprobe vorhanden war, wurden jeweils 900 mL Mischprobe als Rückstellprobe abgefüllt und getrennt eingefroren.

2.2.2 Analyse der Kunststoffpartikel

Für die Erfassung von Kunststoffen in Form von Makro- und Mikrokunststoffen sind derzeit keine standardisierten Methoden verfügbar. Die Probenahme mit Netzen und Sieben sowie die Bestimmung mittels spektroskopischer Detektionsverfahren (Infrarot oder Raman) sind sehr aufwändig und hat je nach angewandter Methode eine untere Erfassungsgrenze von 1 bis 500 μm bei entsprechendem apparativen und zeitlichen Aufwand. Trotz der Maschenweite von 500 μm werden aber auch kleinere Partikel mit beprobt, welche an der Probenmatrix angeheftet sind. Unter der Größe von 500 μm können Partikel kaum noch per Hand aussortiert werden, weshalb für diese Fragestellungen bildgebende spektroskopische Detektionsverfahren eingesetzt werden sollten.

Es haben sich grundsätzlich zwei Hauptstrategien für die Analyse von Mikroplastik herauskristallisiert. Es sind zum einen mikroskopische Verfahren gekoppelt mit spektroskopischen (Infrarot, Raman) Detektionsmethoden, welche die Partikelanzahl und Größe sowie Partikelformen von Kunststoff in der Probe zerstörungsfrei messen können und zum anderen thermoanalytische Verfahren wie zum Beispiel die Pyrolyse-GC-MS (Pyrolyse-Gaschromatographie-Massenspektrometrie) oder die TED-GC-MS (Thermoextraktion Desorption-Gaschromatographie-Massenspektrometrie) aber auch die an der TU Wien entwickelte EA-OEM (Elemental Analysis Overdetermined Equation Method). Zweitere Gruppe beschreibt Messverfahren welche, durch Pyrolyse oder Verbrennung der Probe, massenbezogene Ergebnisse des Gesamtmikroplastikanteils liefern.

Für den Methodenvergleich in der vorliegenden Studie wird die ATR FT IR Spektroskopie (Attenuated Total Reflection Fourier Transformation Infrared Spectroscopy), die im Labor des Umweltbundesamts durchgeführt wurde (Partikel größer 500 μm und anschließende gravimetrische Massenbestimmung), mit der an der TU Wien angewendeten EA-OEM verglichen.

Die EA-OEM beruht auf der Bestimmung des Kunststoffanteils in getrockneten Umweltproben mittels Analyse der Elementarzusammensetzung (Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Schwefel (S), Sauerstoff (O)). Ein entscheidender Faktor ist dabei, dass sich die CHNSO-Zusammensetzung der biogenen Matrix von der des Störstoffs Mikroplastik signifikant unterscheidet (Kunststoffe haben zum Beispiel einen deutlich höheren C-Gehalt und niedrigeren O-Gehalt als die biogene Matrix). Die getrockneten Proben werden auf eine Korngröße von $< 0,5$ mm zerkleinert um anschließend repräsentative Teilmengen für die einzelnen Analysen entnehmen zu können. Für das gegenständliche Projekt wurde der Gesamtgehalt an C, H, N, S aus der Gesamtprobe und der Gesamt-Anorganische-Gehalt

von C, H, N, S aus der Asche der Proben bestimmt. Anhand dieser Werte können die, für die Ausgleichsrechnung benötigten, wasser- und aschefreien Gesamt-Organischen-Gehalte (*TOx-Werte*) der Probe bestimmt werden. Die *TOx*-Werte für die biogene Matrix (*TOx_B*) wurden durch Erfahrungswerte aus früheren Beprobungen bestimmt (biogene Materialien haben in der Regel eine sehr ähnliche CHNSO-Zusammensetzung). Die *TOx*-Werte für die Kunststofffraktion (*TOx_K*) wurden anhand der zu erwartenden Polymere im Auslauf der Kläranlage bilanziert und durch anschließende Umweltbundesamt-Messungen nochmals nachgeschärft.

Basierend auf den ermittelten *TOx*-Werten der Probe (*TOx_{Probe}*), der biogenen Reifraktion (*TOx_B*) und der Kunststofffraktion (*TOx_K*) wurden Stoffbilanzgleichungen erstellt, die je die unbekanntes Massenanteile biogen (*x_B*) und Kunststoff (*x_K*) enthalten. Da auf diese Weise ein überbestimmtes Gleichungssystem erhalten wird (Gleichung 1) kann eine mathematische Ausgleichsrechnung durchgeführt werden und die Massenanteile bestimmt werden. Nähere Details zu der Methode sowie erste Validierungsergebnisse finden sich bei Mallow et al. (2020) und Spacek et al. (2020).

$$\begin{aligned}
 TOC_{Probe} &= x_B * TOC_B + x_K * TOC_K \\
 TOH_{Probe} &= x_B * TOH_B + x_K * TOH_K \\
 TOO_{Probe} &= x_B * TOO_B + x_K * TOO_K \\
 TON_{Probe} &= x_B * TON_B + x_K * TON_K \\
 TOS_{Probe} &= x_B * TOS_B + x_K * TOS_K
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ein Vorteil der EA-OEM ist, dass grundsätzlich kein unteres Partikelgrößenlimit existiert und die Methode somit den Gesamtkunststoff in einer Probe erfasst. Die limitierende Erfassungsgrenze der Partikelgröße liegt damit ausschließlich bei den Spezifikationen der Probenahme im Gewässer (zum Beispiel der Netzmaschenweite). Ein weiterer Vorteil ist der vergleichsweise geringe analytische Aufwand, um ein Ergebnis zu erhalten.

Beim Ansatz mittels FT IR Spektroskopie wurden die einzelnen Partikel und Fragmente unter dem Mikroskop sortiert, auf ihre Materialzusammensetzung zerstörungsfrei analysiert und gegebenenfalls der Kunststofffraktion zugeordnet. Die Bestimmung der Kunststoffmasse erfolgte gravimetrisch.

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile und erfordern einen unterschiedlichen Aufwand für die Herstellung einer repräsentativen Probe, deren Aufarbeitung, Messung und Auswertung.

Die Vorteile von rein mikroskopischen Verfahren liegen bei der Bestimmung der Partikelzahlen, Größenverteilungen sowie Analyse der Partikelformen. Die manuelle Sortierung der Partikel unter dem Mikroskop ist allerdings zeitaufwendig und kostenintensiv. Zusätzlich wird die Sortierung ab einer gewissen Größe immer aufwendiger, sodass kleinere Partikel (< 0,5 mm) nicht mehr sauber erfasst werden können. In der Kombination von Mikroskopie und Spektroskopie ergibt sich ein Vorteil durch die Möglichkeit der Bestimmung des Kunststofftyps (neben Partikelzahlen, Größenverteilung, Partikelform). Für ökotoxikologische Beurteilungen oder die Analyse von Eintragspfaden in die Umwelt sind dies wichtige Eingangsparameter. Für routinemäßige Kontrollen (Monitoring oder Grenzwertüberwachung) eignen sich hingegen Bestimmungen in der Form von Gesamtmasse Kunststoffe pro Volumen, wie sie durch die EA-OEM erfolgen. Weiters weisen die mittels EA-OEM generierten Messwerte Fehlerbandbreiten auf. Für die spektroskopisch-/gravimetrische Untersuchung wurden im Projekt keine Fehlerbandbreiten ermittelt, was die Vergleichbarkeit der Messergebnisse mindert.

Die Radiokarbonmethode (¹⁴C-Methode) basiert auf der Bestimmung des Verhältnisses von ¹⁴C zu ¹²C in kohlenstoffhaltigen Proben. Biomasse, die den für das Wachstum benötigten Kohlenstoff aus der Atmosphäre bezieht, hat in der Regel einen F¹⁴C Wert von ungefähr 1. Hingegen haben erdölbasierte Kunststoffe einen F¹⁴C Wert von 0, da hier das radioaktive Isotop ¹⁴C über den sehr langen Lagerungszeitraum bereits vollständig zerfallen ist. Die unterschiedlichen F¹⁴C Werte ermöglichen eine Unterscheidung zwischen biogenen Materialien und Kunststoffen und in weiterer Folge auch die Quantifizierung des Kunststoffanteils aus einer biogenen Begleitmatrix.

Anhand von Untersuchungen zur Quantifizierung von Kunststofffrachten in Ersatzbrennstoffen konnte gezeigt werden, dass die EA-OEM (Methodenbezeichnung im hier beschriebenen Fall: Adaptierte Bilanzenmethode) vergleichbare Ergebnisse zu der nach DIN EN 15440:2011 standardisierten Radiokarbonmethode liefert. Die ¹⁴C-Methode wurde folglich auch in der Planungsphase für das Projekt TEMPEST für die Bestimmung von Mikroplastik als Vergleichsmethode angedacht. Aufgrund praktischer Hindernisse sowie aktueller Erfahrungswerte wurde von den geplanten Vergleichsmessungen jedoch wieder Abstand genommen. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln kann eine zuverlässige

Aussagekraft der Messungen nicht gewährleistet werden. Im Folgenden werden die zwei Hauptgründe für diese Entscheidung erläutert.

Das zu analysierende Probenmaterial weist einen signifikanten Anteil an stark vernetzten Biofilmen auf (Abbildung 14). Diese, vermutlich im Belebungsbecken gewachsenene, mikrobielle Biomasse bezieht ihren Kohlenstoff nicht ausschließlich aus der Atmosphäre und der F14C Wert kann folglich von dem zu erwartenden F14C Wert für Biomasse abweichen (Griffith et al., 2009). Von der TU Wien im Rahmen eines anderen Projektes in Auftrag gegebene 14C-Messungen von in industriellem Abwasser gewachsener Biomasse, bestätigen diesen Befund (unveröffentlicht). Der ermittelte F14C Wert lag bei der beschriebenen Untersuchung bei deutlich unter 1. Für eine zuverlässige Bestimmung des Kunststoffgehaltes im Kläranlagenablauf sind folglich Voruntersuchungen zur Charakterisierung der biogenen Begleitmatrix notwendig. Werden diese Korrekturen des F14C Werts nicht berücksichtigt, wird ein Teil der Biomasse fälschlicherweise als Kunststoff detektiert.

Abbildung 14: Getrocknetes Probenmaterial nach Netzbeprobung im Kläranlagenablauf. Die Probe wird mit einem Biofilm zusammengehalten © TU Wien



Die Probenhomogenisierung stellt einen weiteren kritischen Schritt in der Bestimmung mittels Radiokarbonmethode dar. Die Homogenität einer Probe wird primär durch die Korngröße des Probenmaterials bestimmt. Je kleiner die Korngröße einer Probe ist, desto geringer ist die minimal erforderliche Probeneinwaage für anschließende instrumentelle Analysen bei denen das resultierende Messergebnis die ursprüngliche Probe auch hinreichend beschreiben kann. Die Radiokarbonmethode ist auf Probeneinwaagen von ungefähr 10 mg limitiert. Die minimal erforderliche Korngröße für diese Probeneinwaage liegt bei unter 0,2 mm. Da die Aufmahlung von kunststoffhaltigen Proben grundsätzlich problematisch ist, ist bereits der Mahlschritt auf < 0,5 mm oftmals sehr herausfordernd. Auch im vorliegenden Projekt stellte sich die Zerkleinerung des Probenmaterials als schwierig heraus und es konnte nicht die gesamte Probe auf < 0,5 mm gemahlen werden. Vor allem die feinen Kunststofffasern werden von den Messern der Ultrazentrifugalmühle nicht erfasst und zerkleinert und bleiben als Mahlrückstand zurück (Abbildung 15). Für die Anwendung der EA-OEM musste der Mahlrückstand als gesonderte Fraktion zusätzlich analysiert werden.

Abbildung 15: Foto der Mahlkabine inklusive Mahlrückstand, der von den Messern der Ultrazentrifugalmühle nicht erfasst werden konnte © TU Wien



Da die Radiokarbonmethode vergleichsweise geringe Probenmengen erfordert, ist das vorliegende Probenmaterial, unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Mahl-techniken, für ^{14}C -Messungen nicht geeignet. Basierend auf einer Messung von 10 mg Probe, kann nicht repräsentativ auf die Gesamtprobe rückgeschlossen werden. Mit Vielfachmessungen derselben Probe könnte man diesem Problem entgegenwirken, bei unge-

führen Kosten von 360–650€ pro Einzelmessung (Schwarzböck et al., 2018) sind diese jedoch wirtschaftlich nicht realisierbar.

Eine weiterführende Probenhomogenisierung ist grundsätzlich durch Anwendung cryogener Vermahlungstechniken (zum Beispiel mit Hilfe von Flüssigstickstoff) möglich. Mit dem aktuell zur Verfügung stehenden Equipment ist die cryogene Vermahlung, für den vorliegenden Probentyp, aus praktischen Gründen nicht möglich. Die Radiokarbonmethode kann prinzipiell für zukünftige Forschungsaktivitäten als geeignete Quantifizierungsmethode berücksichtigt werden. Hierfür müssen jedoch zuvor valide F14C Werte für Kläranlagenproben bestimmt werden. Weiters muss ein geeignetes Homogenisierungsverfahren (Ziel: Korngröße < 0,2 mm) gefunden werden, um der limitierten Probenaufgabe von 10 mg bei der Bestimmung des Isotopenverhältnisses zu genügen.

2.2.2.1 Probenaufbereitung

Eine gemeinsame Voraussetzung für die Messung mit den angewandten Methoden ist eine repräsentative Probenahme sowie die Aufarbeitung der Probe. Die Probenaufarbeitung ist zumeist in mehrere Teilschritte gegliedert und stellt einen zeitaufwändigen aber notwendigen Arbeitsschritt dar.

Die Probenaufbereitung umfasst die folgenden Arbeitsschritte:

- Trocknung der Gesamtprobe bei 40 °C im Trockenschrank (nur für ARA 1 1. Beprobung), Aufgrund eines Defekts des Trockenschrank wurden die Teilproben für die 1., 2. und 4. Stunde für die folgenden Untersuchungen unbrauchbar. Alle anderen Proben wurden im Folgenden nur noch bei Raumtemperatur an der Luft getrocknet, was je nach vorhandener Wassermenge bis zu zwei Wochen in Anspruch nahm.
- Anschließend wurden die zum Teil zusammengewachsenen Partikel (vernetzender Biofilm) vorsichtig händisch voneinander getrennt und anschließend mittels Rotationsverteiler in drei Fraktionen geteilt: Umweltbundesamt, TU Wien, Rückstellprobe.
- Siebung der geteilten Probe für die TU Wien bei 5 mm.

2.2.2.2 Kurzbeschreibung der Bestimmungsmethode mittel IR Spektroskopie

Dem Labor des Umweltbundesamtes wurden von der TU Wien getrocknete Teilproben (ca. 0,5 bis 20 g) zur vergleichenden Kunststoffanalyse übermittelt.

- Die übermittelten Proben bestanden aus diversen Einzelpartikeln, die zunächst von störenden Anhaftungen gereinigt wurden, um den nachfolgenden spektroskopischen Kunststoffnachweis zu ermöglichen.
 - Zugabe von 30 %-igem Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zum Lösen organischer Bestandteile bei Raumtemperatur für mehr als 48 Stunden. Abtrennung und Verwerfen der Feinfraktion durch Filtration über 50 μm Edelstahlsieb.
 - Aufnahme der Fraktion > 50 μm in Reinstwasser und anschließende alkalische Verseifung von Fettanteilen. Erneute Absiebung über 50 μm Edelstahlsieb, Waschen der entfetteten Proben mittels Reinstwasser.
 - Anschließende Trocknung bei 60 °C.
- Die trockenen Proben wurden manuell und nach Augenschein in folgende Kunststofffraktionen sortiert: Pellets, Folien, Fragmente > 1 mm, Fragmente < 1 mm, Fasern und Schaumstoff. In Fällen, wo eine Zuordnung nach Augenschein nicht eindeutig möglich war, wurden die entsprechenden Partikel mittels FTIR-ATR-Spektroskopie identifiziert und, sofern sie aus Kunststoffen bestanden, einer entsprechenden Kunststofffraktion zugeordnet.
- Die nach Augenschein als Kunststoff vorselektierten Partikel wurden stichprobenartig mittels FTIR-ATR-Spektroskopie gemessen, um die korrekte Zuordnung als Kunststoff spektroskopisch zu bestätigen.
- Zur Quantifizierung der Mikrokunststoffpartikel wurden die aussortierten und bestätigten Plastikfraktionen auf einem Millimeterpapier verteilt, ab fotografiert und über das Foto mit Software-Unterstützung ausgezählt.

Das Mikroplastikgewicht wurde für jede Kunststofffraktion gravimetrisch bestimmt. Aus dieser spektroskopischen/gravimetrischen Untersuchung liegen im Projekt nicht genügend Daten vor, um eine Fehlerbandbreite zu ermitteln.

2.2.2.3 Kurzbeschreibung der Bestimmungsmethode Kunststoff mittels EA-OEM

Diese Methode stellt keine Anforderung an die Homogenität und Gestalt der Probe, lediglich die Probenmasse sollte bei mindestens 0,5 g liegen. Die Bestimmungsmethode umfasst die folgenden Arbeitsschritte:

- Aus der Fraktion > 5 mm wurden die Kunststofffragmente händisch aussortiert, abgewogen und anschließend noch mit H_2O_2 von biogenen Resten gesäubert und wieder rückgewogen.

- Die Fraktion < 5 mm wurde mittels UZM (Ultrazentrifugalmühle) auf eine Korngröße von < 0,5 mm gemahlen. Eventuelle Mahlrückstände, welche sich nicht zerkleinern ließen, wurden als separate Fraktion analysiert (0,5–5 mm).
- Die gemahlene Probe wurde mit H₂O₂ behandelt. Hierfür wurde die Probe mit 30 % H₂O₂ bedeckt und für 1 Tag bei Raumtemperatur im Abzug stehen gelassen. Anschließend wurden die noch H₂O₂-haltigen Proben bei 45 °C im Trockenschrank getrocknet bis das H₂O₂ vollständig zu Wasser zersetzt und verdampft war. Wenn nötig, wurde der Oxidationsschritt ein zweites Mal wiederholt.
- Ungefähr die Hälfte des aufbereiteten Probenmaterials wurde für die zweifache bzw. dreifache instrumentelle C, H, N und S-Analyse verwendet. Die vier Elemente können simultan durch eine Messung erfasst werden.
- Die andere Hälfte wurde für die Glührestbestimmung bei 550 °C verwendet. Der erhaltene Ascherest wurde anschließend nochmals auf den Gehalt an C, H, N, S untersucht.
- Die Proben der ARA 2 wiesen einen signifikanten Anteil an Fett auf. Diese Proben wurden daher zusätzlich mittels (heißen) Ethylacetat entfettet. Der Fettanteil wurde zum biogenen Anteil dazugerechnet.
- Alle erhaltenen Messwerte sowie Daten für passende Reinfractionen für biogenes Material und Kunststoff wurden in ein überbestimmtes Gleichungssystem überführt und die finalen Massenanteile berechnet.

2.3 Stoffflussanalysen

Stoffflussanalysen sind ein Tool zur systematischen Verknüpfung von Informationen aus verschiedensten Quellen, welche im Idealfall eine Quantifizierung der Stoffflüsse von der Herstellung/Entstehung bis zum Abbau oder der finalen Senke eines Stoffes ergeben. Dabei muss nicht jeder einzelne Stofffluss im System vollständig vorab quantifiziert werden, sondern es können durch das Wissen über den Systemaufbau und andere Teilflüsse und Transferkoeffizienten nicht bekannte Teilflüsse berechnet werden. Wichtig für die Stoffflussanalyse ist eine klare Systemdefinition (zeitlich, räumlich, inhaltlich), welche in den folgenden Unterkapiteln gegeben werden soll.

2.3.1 Auswahl von Parametern für die Stoffflussanalysen

Da die Durchführung von Stoffflussanalysen einen hohen Bedarf an Eingangsdaten hat und mit einem hohen Zeitaufwand verbunden ist, konnten nicht für alle in den Proben analy-

sierten Parameter auch Stoffflussanalysen angefertigt werden. Es wurde daher zunächst eine Auswahl von Parametern getroffen, für welche die Anfertigung von Stoffflussanalysen möglich und lohnend erschien. Folgende Kriterien spielten dabei eine Rolle:

- Der Stand der zu den Parametern publizierten Literatur ist umfangreich genug, dass die weitestgehende Quantifizierung anhand von Literaturdaten möglich erscheint.
- Die Parameter konnten in den allermeisten Proben dieses Projektes quantifiziert werden (Messwerte größer Bestimmungsgrenze oder zumindest größer Nachweisgrenze), und damit stehen Daten zur Validierung der Stoffflussanalysen zur Verfügung.
- Die Einträge aus dem Niederschlagswasserkanal sind ein relevanter Eintragspfad und die Parameter sind für den Zustand der Oberflächengewässer von gewisser Kritikalität.

Anhand dieser Kriterien wurden folgende Parameter für die Anfertigung von Stoffflussanalysen ausgewählt:

- Schwermetalle: Zink (Zn) und Kupfer (Cu)
- Phthalate: Bis(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Der Summenparameter der 16 Einzelsubstanzen der US-EPA-Liste (PAK16) (Keith und Telliard, 1979, Keith, 2015):
 - Naphthalin*
 - Acenaphthylen
 - Acenaphthen
 - Fluoren*
 - Phenanthren*
 - Anthracen
 - Fluoranthen*
 - Pyren*
 - Benzo(a)anthracen
 - Chrysen
 - Benzo(b)fluoranthen
 - Benzo(k)fluoranthen
 - Benzo(a)pyren*
 - Indeno(1,2,3-cd)pyren
 - Dibenzo(a,h)anthracen*
 - Benzo(g,h,i)perylen*

Die mit einem * markierten PAK wurden zusätzlich auch als Einzelsubstanzen analysiert.

- Perfluorierte Tenside: Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA)

Da die Datenlage zu den perfluorierten Tensiden als eher schwierig eingeschätzt wurde und die Quellen und Pfade vielfach andere sind als jene der anderen Substanzen wurden diese Stoffflussanalysen nicht zusammen und in der genau gleichen Systematik wie jene der anderen Stoffe durchgeführt, sondern als eine Art Machbarkeitsstudie für Stoffflussanalysen im Rahmen einer studentischen Diplomarbeit (Manhardt, 2020) bearbeitet.

2.3.2 Zeitliche und räumliche Systemabgrenzung

Als Bilanzzeitraum für die Stoffflussanalysen wurde ein Jahr gewählt. Dieser Jahreszeitraum vom 01.09.2017 bis 30.08.2018 wurde angepasst an die Messperiode der Validierungsdatenerhebung gewählt, welche allerdings in den einzelnen Untersuchungsgebieten bis zu einem Monat davon abweicht.

Als horizontale räumliche Systemgrenze wurden die hydrologischen Kanaleinzugsgebiete der Messstellen gewählt. Diese wurden in einem Geoinformationssystem mittels einheitlichem Datenanalyseablauf abgegrenzt (vgl. Anhang 5.4). Dadurch kommt es teilweise zu leichten Abweichungen von den durch die Probenahmeteams beschriebenen Einzugsgebieten in Abschnitt 1.4.1. Dies zeigt, dass bereits hier gewisse Unsicherheiten in den Daten vorliegen.

In der Vertikalen umfasst das System nur die urbanen Oberflächen (Dächer, Straßen, Schienenverkehrsanlagen, Sportplätze mit Drainage und Böden), den darauf stattfindenden Verkehr und Niederschlagsabfluss sowie den Niederschlags- oder Mischwasserkanal als reines Transportsystem. Retentions- und Abbauprozesse im Kanal werden nicht berücksichtigt.

2.3.3 Definition des Stoffflussanalyse-Systems

Die folgenden Quellen, Eintrags- und Austragpfade wurden als potenziell relevant für die Spurenstoffflüsse in den Einzugsgebieten identifiziert:

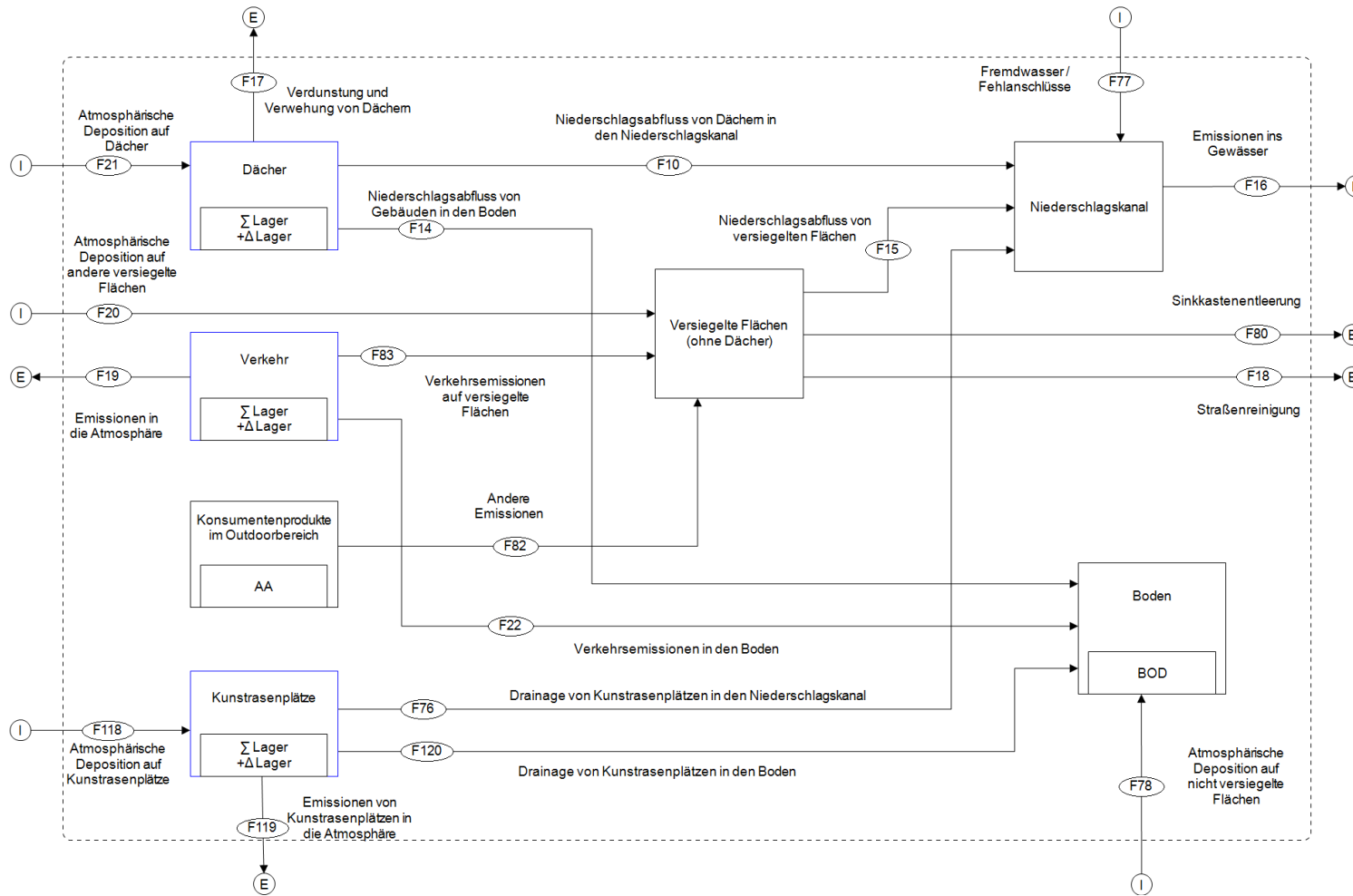
- Dachflächen von Gebäuden
 - Ziegeldächer
 - Gründächer
 - Kiesdächer
 - Metaldächer (insbesondere Kupferblech und verzinkte Bleche)
 - Bitumendächer
 - Faserzement (Eternit™) und sonstige Materialien
- Verkehr:
 - Kfz-Verkehr:
 - Verbrennungsabgase
 - Abrieb von Bremsen
 - Abrieb von Reifen
 - Tropfverluste von Motoröl

- Emissionen von der Karosserie
- Fahrbahnabrieb
- Schienenverkehr
 - Abrieb von Oberleitungen, Reifen, Bremsen und Gleisen
- Kunstrasenplätze mit Granulat aus Altreifen
- Atmosphärische Deposition
- Konsumentenprodukte im Außenbereich (z. B. Schuhsohlenabrieb)
- Einträge mit Fremdwasser z. B. aus Fehlanschlüssen
- Entnahme partikelgebundener Spurenstoffe durch die Straßenreinigung und Sinkkastententleerung.
- Austräge über den Abfluss im Niederschlagskanal

Daraus wurde ein allgemeines Stoffflusssystem für Niederschlagskanäle im Trennsystem abgeleitet, welches in Abbildung 16 abgebildet ist. Für die einzelnen Einzugsgebiete wurden dann jene Systemkomponenten aus dem System entfernt, welche aufgrund der Gebietscharakteristik nicht relevant waren: z. B. gibt es im Einzugsgebiet Langackerweg keinen Schienenverkehr, daher wurde diese Quelle für den Langackerweg entfernt.

Nicht betrachtet wurden andere mögliche Eintragspfade, welche entweder für die betrachteten Parameter als weniger relevant eingeschätzt wurden oder nicht quantifiziert werden konnten. So zum Beispiel der Stoffeintrag von Gebäudefassaden oder durch Abschwemmung von Boden auf versiegelte Flächen. Zur Quantifizierung letzterer fehlen einerseits Konzentrationen der Stoffe im urbanen Oberboden und andererseits abgeschwemmte Mengen an Oberboden.

Abbildung 16: Allgemeines Systembild für die Stoffflussanalyse



Quelle: TU Wien

2.3.4 Durchführung der Stoffflussanalyse und Umgang mit Unsicherheiten

Die für die Berechnung der Spurenstoffflüsse notwendigen Informationen wurden aus der Literatur extrahiert und in einer relationalen Datenbank gespeichert. Anschließend wurden die Daten mittels R-Skripten aus der Datenbank abgerufen und analysiert und schließlich die Emissionen einzelner Quellen quantifiziert und Transferkoeffizienten für die Gebiete abgeleitet. Diese Daten wurden anschließend in die Stoffflussanalyse-Software STAN 2.6 (Cencic und Rechberger, 2008) importiert und darin eine Fehlerausgleichsrechnung und die Visualisierung als Sankey-Diagramme durchgeführt.

Bei fast allen Eingangsdaten liegen bedeutende Unsicherheiten vor. Als Konzept zum Umgang mit diesen Unsicherheiten wurde das Vorgehen nach Petrucci et al. (2014) gewählt: Der Variationskoeffizient aller Eingangsdaten wurde berechnet oder, dort wo dies nicht möglich war, geschätzt. In der weiteren Berechnung wurde die im Variationskoeffizient abgebildete Datenunsicherheit mitgerechnet.

2.3.5 Transferkoeffizienten

Für Prozesse in der Stoffflussanalyse, bei denen die Ausgangsflüsse nicht unabhängig quantifiziert werden können, kann die Summe der Inputflüsse auch mit festen Transferkoeffizienten (TK) auf die Ausgangsflüsse aufgeteilt werden, wenn dazu Informationen vorliegen.

Es wurden keine spurenstoffspezifischen Transferkoeffizienten gefunden und verwendet, sondern nur generische Transferkoeffizienten, welche für alle Stoffe gleich angesetzt werden. Diese liegen in der Literatur meist bezogen auf Partikel flüsse oder Wasserflüsse vor (Tabelle 15). Teilweise mussten die TK geschätzt werden.

Tabelle 15: Für die Stoffflussanalyse angesetzte Transferkoeffizienten (TK)

| Prozess | Fluss-Richtung | TK | Quelle | Anmerkungen |
|------------------------|--------------------|-----------|-----------------------|---|
| KFZ Verbrennungsabgase | Atmosphäre | 0,85±0,06 | Petrucci et al., 2014 | TK bezogen auf Partikel. TK nur für Atmosphäre vs. Flächen + Boden. Aufteilung Fläche vs. Boden von Bremsabrieb übernommen. |
| | Versiegelte Fläche | 0,09±0,08 | | |
| | Boden | 0,06±0,05 | | |

| Prozess | Fluss-Richtung | TK | Quelle | Anmerkungen |
|---|------------------------------|-----------|-----------------------|--|
| KFZ Bremsabrieb | Fahrzeug | 0,31±0,16 | Klein et al., 2018 | TK bezogen auf Partikel |
| | Atmosphäre | 0,49±0,25 | | |
| | Versiegelte Fläche | 0,12±0,06 | | |
| | Boden | 0,08±0,04 | | |
| KFZ Reifenabrieb | Atmosphäre | 0,05±0,03 | Klein et al., 2018 | TK bezogen auf Partikel |
| | Versiegelte Fläche | 0,57±0,29 | | |
| | Boden | 0,38±0,19 | | |
| KFZ Tropfverluste Motoröl | Atmosphäre | 0,02±0,01 | Schätzung | Bekannt ist, dass Tropfverluste vorwiegend im stehenden Verkehr erfolgen. |
| | Versiegelte Fläche | 0,70±0,35 | | |
| | Boden | 0,28±0,14 | | |
| KFZ Sonstige Emissionen | Atmosphäre | 0,10±0,3 | Schätzung | |
| | Versiegelte Fläche | 0,70±0,3 | | |
| | Boden | 0,20±0,3 | | |
| Fahrbahnabrieb | Atmosphäre | 0,05±0,03 | Klein et al., 2018 | TK bezogen auf Partikel |
| | Versiegelte Fläche | 0,57±0,29 | | |
| | Boden | 0,38±0,19 | | |
| Oberleitungsabrieb Trambahnen | Fahrzeug | 0,10±0,05 | Kral et al., 2014 | TK bezogen auf Partikel. Verteilung zwischen Boden und versiegelter Fläche unbekannt, daher Annahme 20% Boden, 80% versiegelte Fläche. |
| | Atmosphäre | 0,14±0,07 | | |
| | Versiegelte Fläche | 0,61±0,30 | | |
| | Boden | 0,15±0,08 | | |
| Emissionen von Kunstrasenplätzen | Atmosphäre | 0,30±0,27 | Moretto, 2007 | Transferkoeffizienten bezogen auf Abfluss |
| | Boden | 0,11±0,10 | | |
| | Dränage (Niederschlagskanal) | 0,59±0,53 | | |

Quelle: TU Wien

2.3.6 Aufbereitung von Daten zu den Einzugsgebieten

Um für jedes Einzugsgebiet die Spurenstoffflüsse berechnen zu können, musste ein Datensatz mit den charakteristischen Aktivitätsraten und Oberflächen für jedes Einzugsgebiet zusammengestellt werden. Dabei sind insbesondere die im Folgenden aufgeführten Daten zu nennen.

2.3.6.1 Einwohner

Von den Projektpartnern wurden geschätzte Einwohnerzahlen der Gebiete übermittelt. Diese sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tabelle 16: Einwohnerzahlen der Gebiete mit geschätzter Unsicherheit der Daten

| Gebiet | Einwohnerzahl |
|---------------------|---------------|
| L202 | 0 ± 0% |
| Langackerweg | 600 ± 10% |
| Ziegelstraße | 1180 ± 5% |
| Siedlungsgebiet Ost | 247 ± 20% |
| R05 | 19500 ± 5% |

Quelle: TU Wien

2.3.6.2 Verkehrsbelastung

Da die Quantifizierung der Emissionen von Kfz (Reifenabrieb, Bremsabrieb, Fahrbahnabrieb, Tropfverluste, Karosserieemissionen) über fahrzeugkilometerbezogene Emissionsfaktoren erfolgt, wurden die gefahrenen Kilometer pro Jahr in den Gebieten nach PKW und LKW/Bussen aufgeschlüsselt. Eine detailliertere Aufschlüsselung nach Fahrzeugtypen oder Treibstoff, wie man diese häufig in nationalen Luft-Emissionsinventaren findet (European Environment Agency, 2016), konnte mangels verfügbarer Daten auf Ebene der Kanaleinzugsgebiete nicht durchgeführt werden.

Dort wo Daten von Verkehrszählungen verfügbar waren, wurden diese genutzt, stellenweise mussten eigene Verkehrszählungen durchgeführt und Verkehrsdichten extrapoliert

werden. Analog wurden ebenfalls die Daten zum Schienenverkehr gesammelt. Das Ergebnis der Datensammlung ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Verkehrsbelastung der Gebiete in Fahrzeugkilometer pro Jahr (vkm/a) und geschätzte Unsicherheit der Daten in %

| Gebiet | PKW | LKW/Busse | Eisenbahn | Trambahn |
|----------------------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| L202 | 2118643 ± 5% | 111508 ± 5% | | |
| Langackerweg | 596676 ± 5% | 20979 ± 5% | | |
| Ziegelstraße | 542120 ± 5% | 61365 ± 5% | | |
| Siedlungsgebiet Ost | 20475590 ± 5% | 901122 ± 5% | | |
| R05 | 97459805 ± 10% | 5129463 ± 10% | 264316 ± 5% | 122709 ± 5% |

Quelle: TU Wien

2.3.6.3 Oberflächen

Für die Quantifizierung der Spurenstoffausträge aus urbanen Oberflächen wurden Datensätze zur Landnutzung und zu Oberflächenmaterialien kombiniert. Diese wurden mittels GIS ausgewertet und teilweise durch Kartierungen aus Luftbildern und vor Ort ergänzt. Trotz dieses hohen Arbeitsaufwandes war es bei vielen Flächen nicht möglich sicher zu erheben, welches Oberflächenmaterial verbaut ist und ob die Flächen tatsächlich an den Niederschlagskanal angeschlossen sind oder aber eine Versickerung stattfindet.

In Anhang 5.5 sind die Flächen für alle Gebiete aufgelistet.

2.3.6.4 Niederschlagsmengen

Die Niederschlagsmengen für die Gebiete wurden von den nächstgelegenen Niederschlagsmessstationen bezogen und teilweise in den Gebieten selber gemessen (Ziegelstraße, MÜ-R05). Die Niederschlagsmengen sind in Tabelle 18 aufgeführt. In Abhängigkeit von der Entfernung der Niederschlagsmessstelle vom Untersuchungsgebiet und der Größe des Untersuchungsgebietes wurde der Variationskoeffizient als Indikator der Datenunsicherheit geschätzt.

Tabelle 18: Niederschlagsmengen in den Gebieten für den Modellzeitraum

| Gebiet | Niederschlag |
|---------------------|--------------|
| L202 | 1326 ± 20% |
| Langackerweg | 1326 ± 20% |
| Ziegelstraße | 760 ± 10% |
| Siedlungsgebiet Ost | 572 ± 20% |
| R05 | 929 ± 10% |

Quelle: TU Wien

2.3.6.5 Feststoffausträge durch Straßenreinigung und Sinkkastenreinigung

Als Austragspfade von Spurenstoffen aus dem Niederschlagskanaleinzugsgebiet kommen neben dem Niederschlagskanal selber auch die Straßenreinigung und die Entleerung der Straßeneinlaufschächte (Sinkkästen) in Frage. Um die Bedeutung dieses Austragspfades abzuschätzen, musste zunächst die Menge des ausgetragenen Feststoffes quantifiziert werden. Dafür wurden von den lokalen Straßenreinigungsbetrieben und Kanalisationsbetreibern Abschätzungen der entsorgten Mengen und Häufigkeiten der Reinigungsmaßnahmen abgefragt und Proben genommen und auf ihren Feststoffgehalt (Trockenrückstand) untersucht.

Tabelle 19: Entnommene Feststoffmengen durch Straßenreinigung und Entleerung von Straßeneinlaufschächten mit geschätztem Variationskoeffizient (CV) als Schätzer der Datenunsicherheit

| | Entleerung Straßeneinlaufschächte | | | Straßenreinigung | | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----|------------------|---------------------|-----|
| | t/a | g/m ² /a | CV | t/a | g/m ² /a | CV |
| L202 | 1,11 | 338 | 50% | 3,74 | 1133 | 50% |
| Langackerweg | 0,04 | 2 | 80% | 3,64 | 162 | 20% |
| R05 | 27,6 | 12 | 20% | 74,5 | 109 | 20% |
| Siedlungsgebiet Ost | 2,75 | 60 | 40% | 2,13 | 47 | 50% |

| | Entleerung Straßeneinlaufschächte | | | Straßenreinigung | | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----|------------------|---------------------|-----|
| | t/a | g/m ² /a | CV | t/a | g/m ² /a | CV |
| Ziegelstraße | 1,53 | 44 | 30% | 4,70 | 134 | 20% |

Quelle: TU Wien

Tabelle 19 zeigt das Ergebnis der Mengenabschätzung. Dabei zeigt sich klar, dass durch die Straßenreinigung generell höhere Mengen entnommen werden.

Die spezifischen Entnahmemengen sind insbesondere bei den Einlaufschächten sehr variabel. Dies dürfte in erster Linie durch das Intervall der Entnahme verursacht sein. Laut Angaben der Betreiber sind Reinigungsintervalle von einmal pro ca. vier Jahre üblich, wobei zugeparkte Schächte auch einmal ausgelassen werden und nur jene Schächte, die im Straßenbetrieb Probleme verursachen, häufiger gereinigt werden. Durch die seltenen Reinigungsintervalle stellt sich nach Füllung des Sedimentationsraumes im Schacht irgendwann ein Gleichgewicht zwischen neu hinzukommendem Material und durch den Abfluss in den Kanal ausgetragenes Material ein.

3 Ergebnisse

3.1 Vorkommen organischer und anorganischer Spurenstoffe in unterschiedlichen Eintragspfaden

Im Rahmen der Untersuchungen wurden insgesamt 17 Proben (siehe Tabelle 8, acht aus dem Niederschlagswasserkanal, zwei aus dem Mischwasserkanal, zwei Straßenablaufproben und fünf Depositionsproben) auf den ursprünglich im Projekt geplanten Parameterumfang (59 Parameter) getestet. Weitere fünf Proben (Jahresproben aus den drei Niederschlagswasserkanälen, dem Mischwasserkanal und dem Straßenablauf) wurden darüber hinaus dem AZM- und dem PSM-Screeningtest unterzogen bzw. auf acht Indikatoren kommunaler Verunreinigung überprüft. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung zum Vorkommen der untersuchten Schadstoffe findet sich im Anhang 5.

3.1.1 Parameter TEMPEST

Aus der Gruppe der **Schwermetalle** konnten alle sieben Stoffe in allen untersuchten Eintragspfaden mit Werten größer Bestimmungsgrenze (> BG) nachgewiesen werden, wobei für diese auch die höchsten Konzentrationen gemessen wurden (zwischen 0,02 µg/L – 200 µg/L). Aus der Gruppe der **PAK16** wurden einige Vertreter (Fluoranthren, Fluoren, Naphthalin, Phenanthren und Pyren) ebenfalls in allen Eintragspfaden mit Werten > BG detektiert. **PBDE** wurden außer im Mischwasserkanal nur vereinzelt im Niederschlagswasser nachgewiesen; aus der Gruppe der **perfluorierten Tenside** wurden vor allem PFOA, seltener Perfluorhexan- (PF6C) und Perfluorheptansäure (PF7C) in den untersuchten Eintragspfaden detektiert. Der positive Nachweis von **DEHP** erfolgte vor allem im Mischwasser und Straßenablauf, seltener auch im Niederschlagswasserkanal und der Deposition. **Bisphenol A** wurde nur vereinzelt nachgewiesen, und auch für **Nonylphenol** ergaben die Analysen in nur drei von acht Proben im Niederschlagswasser Werte > BG. Aus der Gruppe der **Organozinnverbindungen** wurde Dibutylzinn und etwas seltener Monobutylzinn in fast allen Eintragspfaden detektiert. Bei den **Pflanzenschutzmitteln** fanden sich im Niederschlagswasserkanal nur vereinzelt Konzentrationen > BG. Nur für Terbutylazin-desethyl, ein Metabolit des Terbutylazin wurden im Niederschlagswasser zwei Werte > BG, jeweils in Proben des Sommerhalbjahres, detektiert.

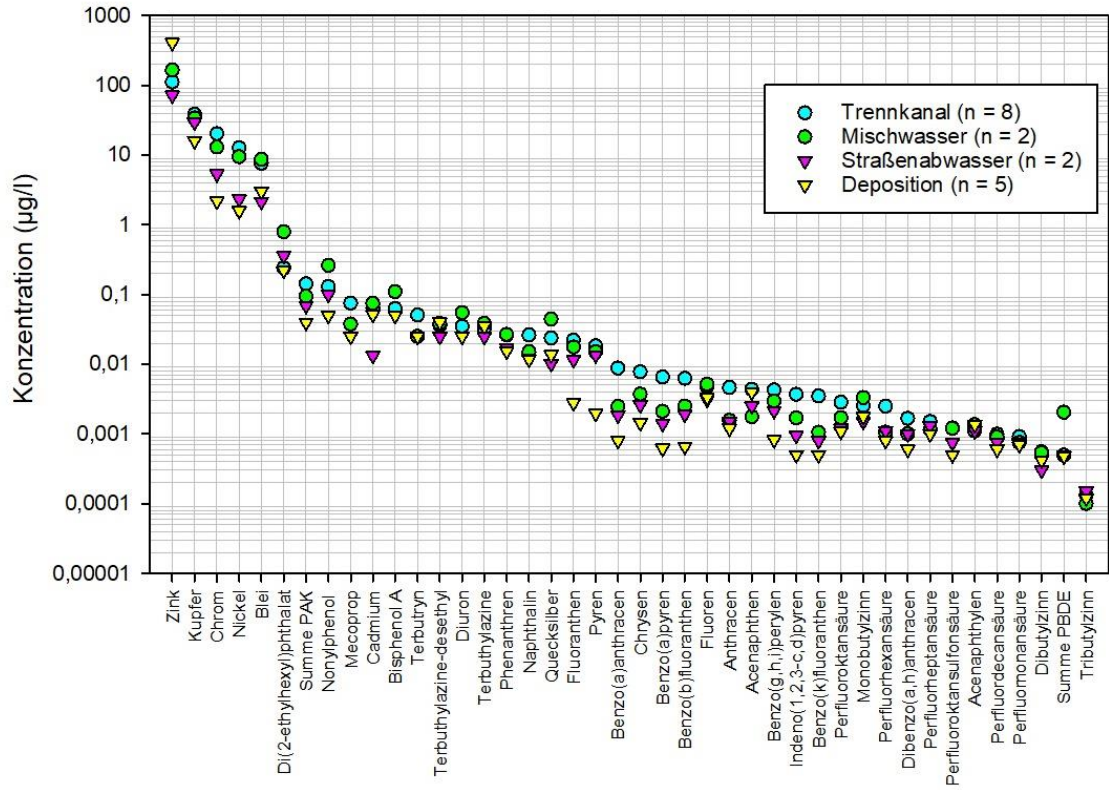
Die meisten der untersuchten Spurenstoffe wurden im Niederschlagswasserkanal (45) und im Mischwasser (43) mit Werten > BG nachgewiesen. Im Straßenablauf und in den Depositionsproben wurden 27 bzw. 26 der untersuchten Substanzen mit Werten > BG detektiert.

Abbildung 18 gibt eine Übersicht über die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen in den einzelnen Eintragspfaden. Für viele Stoffe lagen einzelne Messwerte unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze. Diese Messwerte können entweder nach einer Minimalbewertung oder nach einer Maximalbewertung (siehe Kapitel 2.2.1) ausgewertet werden. Für die Darstellung in Abbildung 17 wurde die Maximalbewertung berücksichtigt.

Eine Übersicht über die gemessenen Konzentrationen und die Häufigkeit des Nachweises für die einzelnen Eintragspfade zeigen Abbildung 18 bis Abbildung 21. Für die Proben der Niederschlagswasserkanalisation und der Deposition werden mittlere Konzentrationen (nach Minimal- und Maximalauswertung) dargestellt. Für die Proben aus dem Mischwasser und dem Straßenablauf lagen nur zwei Proben vor, weshalb keine mittlere Konzentration berechnet wurde. Abbildung 19 und Abbildung 20 stellen daher für jeden Parameter die beiden Messpunkte dar, wobei im Fall von Werten kleiner Nachweis- oder Bestimmungsgrenze die Maximalbewertung herangezogen wurde.

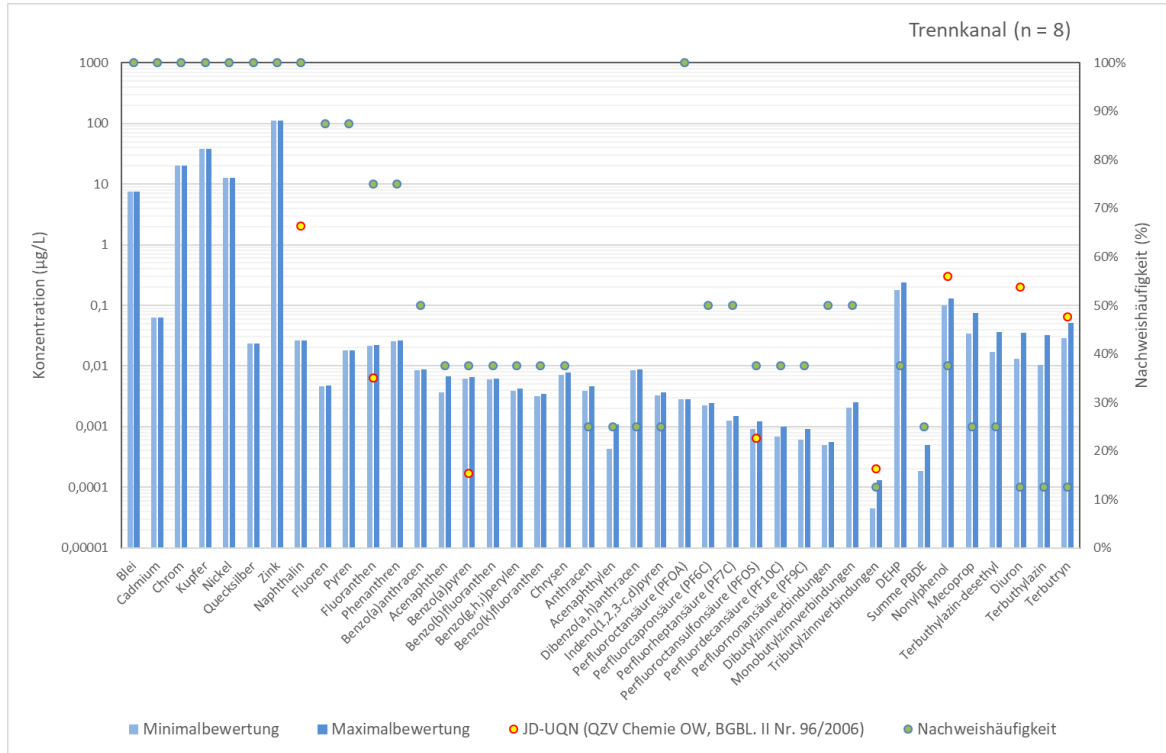
In Abbildung 18 bis Abbildung 21 wurden auch die jeweiligen Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer (UQN) aus der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OW, BGBL. II Nr. 96/2006 i.d.g.F.) dargestellt. Für die sieben Metalle ist der Vergleich der Messwerte mit den UQN für Oberflächengewässer nicht möglich, da in den untersuchten Proben die Gesamtfraktion der Metalle gemessen wurde, während sich die UQN auf den gelösten Anteil der Metalle bezieht. Aus diesem Grund werden die UQNs für die Metalle nicht dargestellt. Jene Stoffe, die in beinahe allen untersuchten Pfaden (Niederschlagswasserkanal, Mischwasserkanal, Straßenabwasser und Deposition) über der UQN für Oberflächengewässer lagen, waren Benzo(a)pyren, Fluoranthen und PFOS (Niederschlags- und Mischwasserkanal).

Abbildung 17: Mittelwerte der Konzentrationen ($\mu\text{g/L}$) in den einzelnen Eintragspfaden (Maximalbewertung)



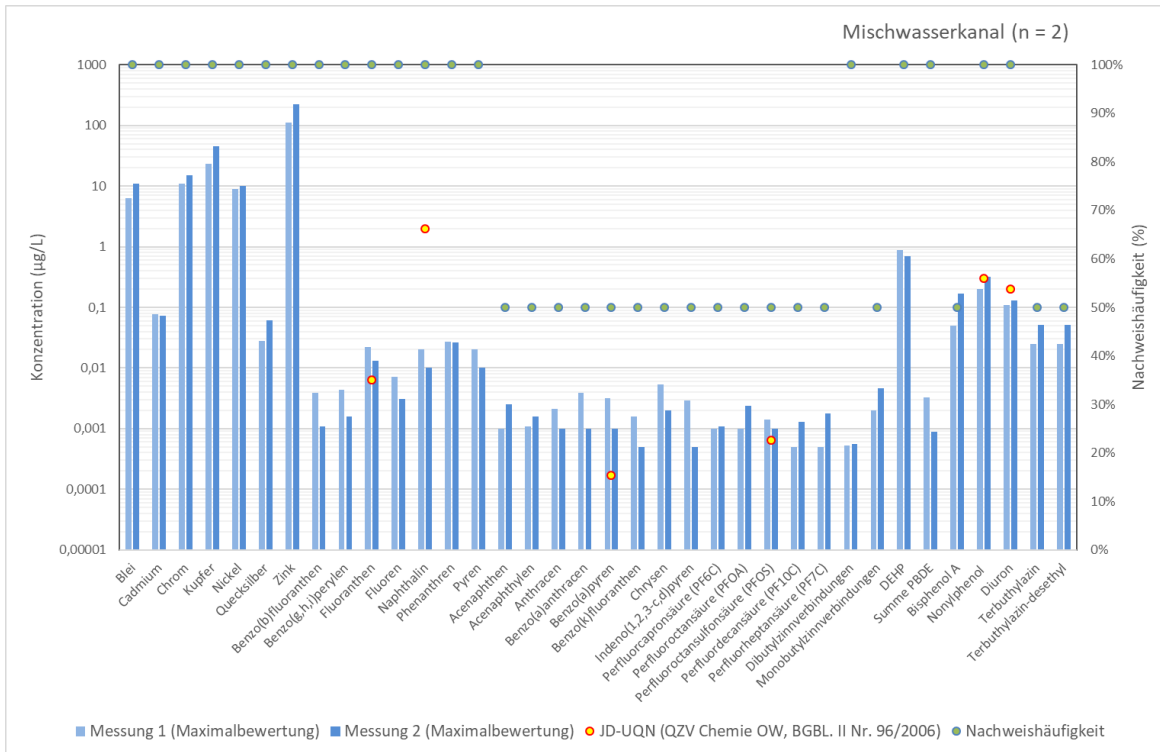
Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 18: Mittlere Konzentrationen in den Proben aus der Niederschlagswasserkanalisation nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer



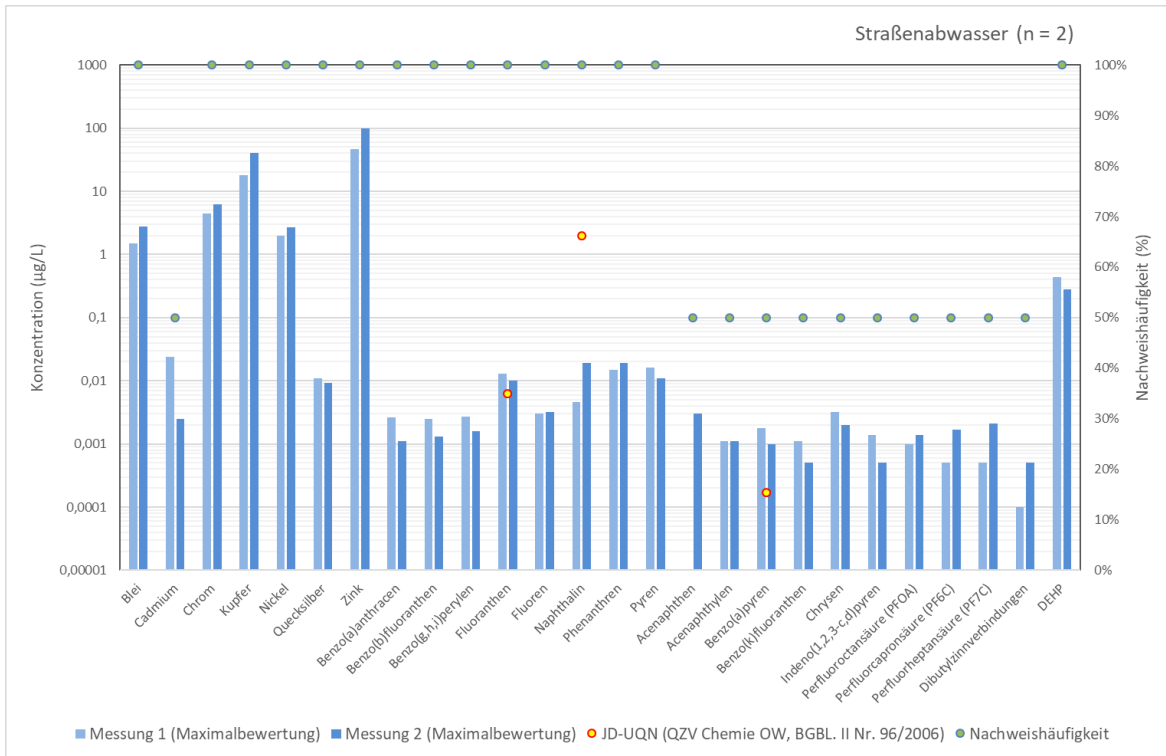
Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 19: Konzentrationen in den Proben aus dem Mischwasserkanal – Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer



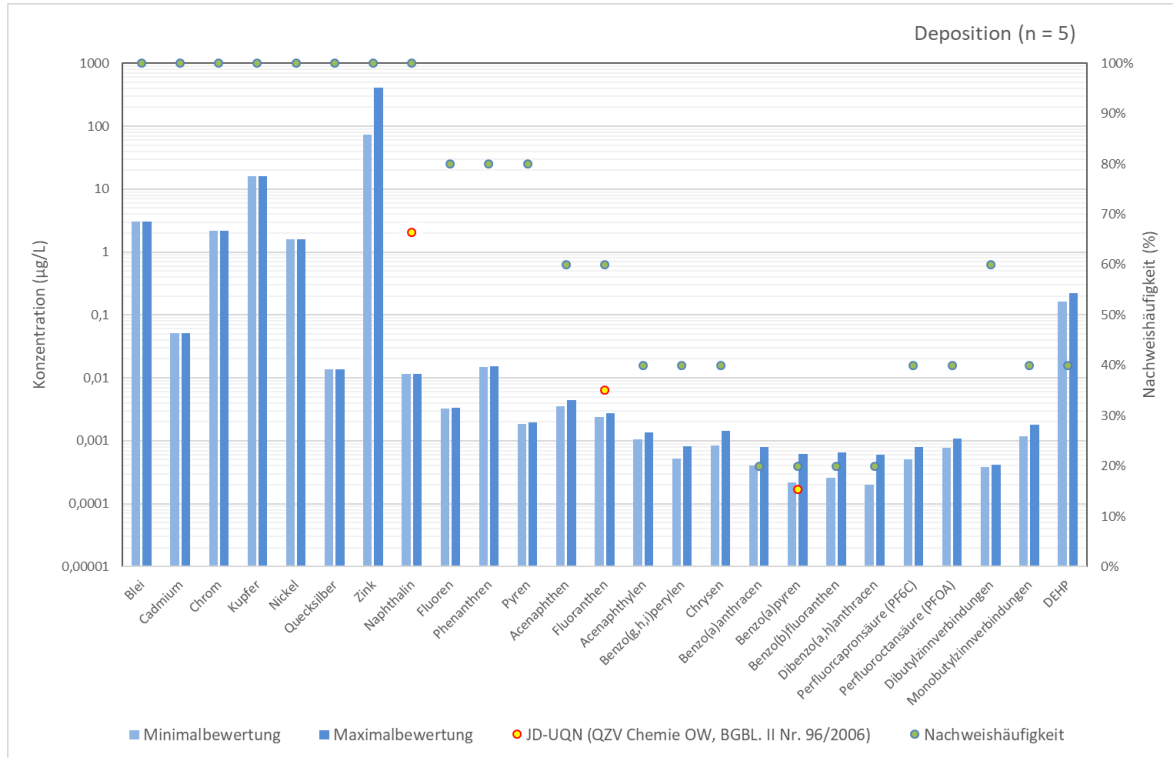
Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 20: Konzentrationen in den Proben des Straßenablaufs – Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer



Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 21: Mittlere Konzentrationen in den Proben der Deposition nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächen-gewässer



Quelle: Umweltbundesamt

Für jene Stoffe, die in mehr als 50 % aller Proben des einzelnen Eintragspfades mit Messwerten $>$ BG nachgewiesen werden konnten, sind die mittleren Konzentrationen für den jeweiligen Eintragspfad in Tabelle 20 dargestellt. Für die Depositionsproben sind in Tabelle 20 die Proben in der Nähe des Niederschlagswasserkanals und am Referenzstandort gemeinsam betrachtet.

Tabelle 20: Zusammenfassung der mittleren Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] (Minimal- und Maximalauswertung – bei Angabe eines Wertes sind alle Messungen größer Bestimmungsgrenze und die Auswertungen führen zum selben Ergebnis) der Stoffe, die in über 50 % der Proben des jeweiligen Eintragspfads nachgewiesen wurden.

| Parameter <i>(Alle Angaben in $\mu\text{g/L}$)</i> | Niederschlagswasserkanal | | | | Mischwasser- kanal (n = 2) | Straßenablauf (n = 2) | Deposition | | | |
|--|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| | Graz (n = 2) | Vorarlberg (n = 4) | Ostösterreich (n = 2) | Alle (n = 8) | | | Graz (n = 2) | Vorarlberg (n = 1) | Ostösterreich (n = 2) | Alle (n = 5) |
| Blei | 18,1 | 2,32 | 7,75 | 7,61 | 8,65 | 2,15 | 4,05 | 1,5 | 2,75 | 3,0 |
| Cadmium | 0,17 | 0,015 | 0,054 | 0,064 | 0,075 | 0,012 – 0,013 | 0,045 | 0,0091 | 0,080 | 0,051 |
| Chrom | 52,7 | 2,18 | 23,7 | 20,2 | 13 | 5,35 | 2,35 | 0,89 | 2,65 | 2,18 |
| Kupfer | 36,5 | 17,0 | 82,5 | 38,3 | - | 29,5 | 12,5 | 14,0 | 20,5 | 16,0 |
| Nickel | 35,8 | 1,18 | 12,5 | 12,7 | 9,45 | 2,35 | 1,9 | 0,65 | 1,75 | 1,6 |
| Quecksilber | 0,035 | 0,012 | 0,037 | 0,024 | 0,045 | 0,010 | 0,022 | 0,0037 | 0,011 | 0,014 |
| Zink | 180 | 26,8 | 212 | 111 | 165 | 72 | 910* | 27 | 97 | 73,7 |
| Acenaphthen | - | - | 0,0093 | - | - | - | 0,0017 – 0,0022 | 0 – 0,001 | 0,0073 | 0,0036 – 0,0045 |
| Benzo(a)-anthracen | 0,0023 – 0,0025 | 0,0007 – 0,0011 | 0,030 | 0,0085 – 0,0087 | - | 0,0019 | - | - | - | - |
| Benzo(b)-fluoranthen | - | - | - | - | 0,0025 | 0,0019 | - | - | - | - |
| Benzo(g,h,i)-perylen | - | - | - | - | 0,0030 | 0,00215 | - | - | - | - |

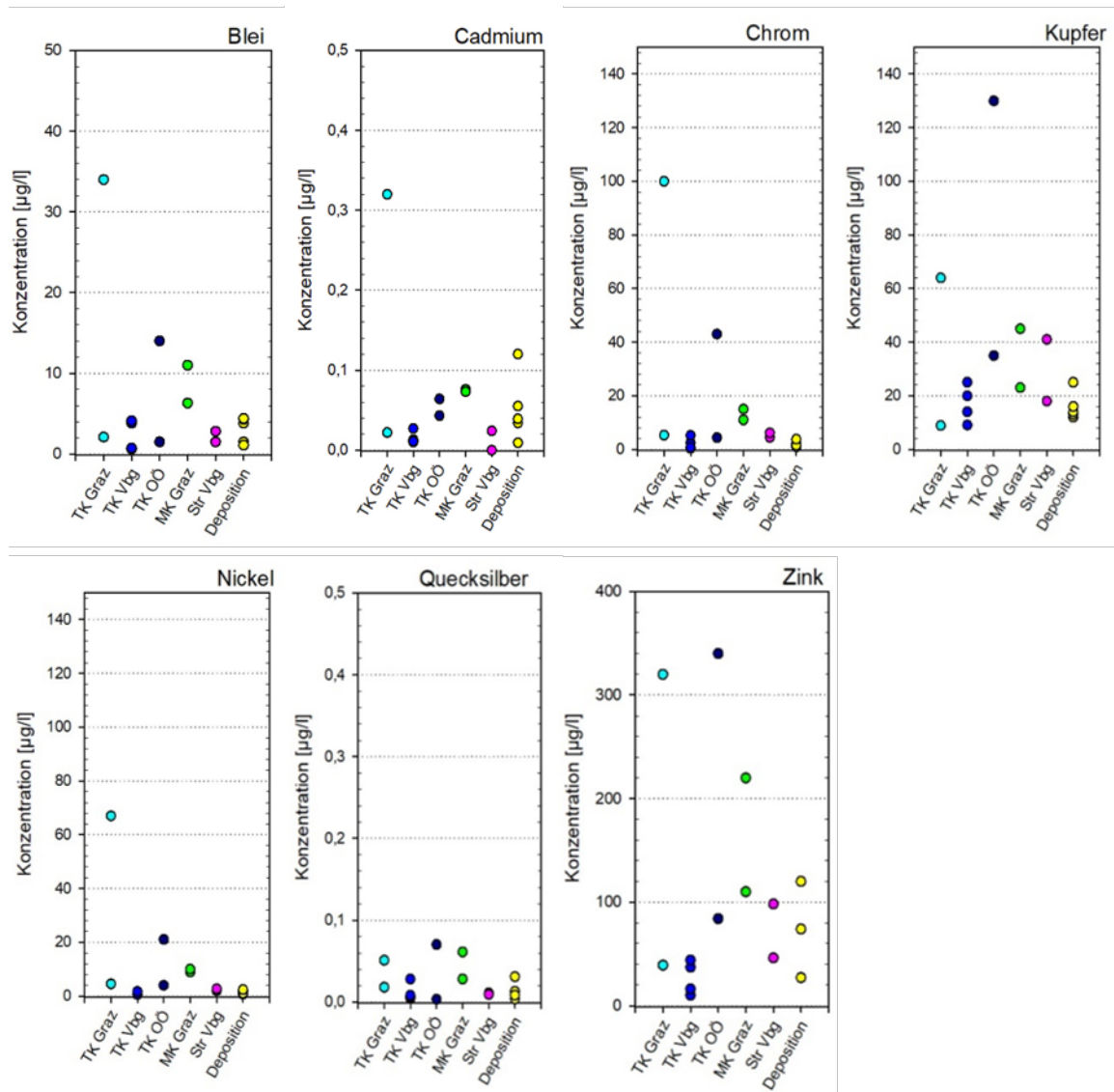
| Parameter | Niederschlagswasserkanal | | | | Mischwasser- kanal (n = 2) | Straßenablauf (n = 2) | Deposition | | | |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| | Graz (n = 2) | Vorarlberg (n = 4) | Ostösterreich (n = 2) | Alle (n = 8) | | | Graz (n = 2) | Vorarlberg (n = 1) | Ostösterreich (n = 2) | Alle (n = 5) |
| Fluoranthren | 0,008 | 0,0026 – 0,0031 | 0,074 | 0,0218 – 0,0221 | 0,018 | 0,0115 | 0,0016 – 0,0021 | 0 – 0,001 | 0,0044 | 0,0024 – 0,0028 |
| Fluoren | 0,0033 | 0,0024 – 0,0025 | 0,011 | 0,00466 – 0,00473 | 0,005 | 0,0031 | 0,0021 | 0,0005 – 0,001 | 0,0058 | 0,0032 – 0,0033 |
| Naphtalin | 0,010 | 0,012 | 0,069 | 0,026 | 0,015 | 0,012 | 0,0064 | 0,0056 | 0,02 | 0,012 |
| Phenanthren | 0,018 | 0,011 – 0,012 | 0,064 | 0,0255 – 0,0261 | 0,027 | 0,017 | 0,018 | 0,0025 – 0,005 | 0,018 | 0,0148 – 0,0153 |
| Pyren | 0,0062 | 0,0021 – 0,0022 | 0,063 | 0,01821 – 0,01828 | 0,015 | 0,0135 | 0,0015 | 0 – 0,0005 | 0,0032 | 0,0019 – 0,0020 |
| Summe PBDE | - | - | - | - | 0,0020 | - | - | - | - | - |
| DEHP | 0,32 | 0,08 – 0,18 | 0,24 – 0,29 | 0,20 – 0,22 | 0,79 | 0,36 | - | - | - | - |
| PFOA | 0,0028 | 0,0019 | 0,0047 | 0,0028 | - | - | - | - | - | - |
| Nonylphenol | - | - | 0,3 | - | 0,26 | - | - | - | - | - |
| Dibutylzinn | 0,0002 – 0,0003 | 0,0007 – 0,0008 | 0,00035 – 0,0004 | 0,0005 – 0,0006 | 0,00054 | - | 0,00017 – 0,00022 | 0,00046 | 0,00055 – 0,0006 | 0,00038 – 0,00042 |
| Diuron | - | - | - | - | 0,12 | - | - | - | - | - |

*Ausreißerwert, wird nicht in der Mittelwertbildung aller Depositionsproben berücksichtigt

Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 20 bis Abbildung 24 geben zusätzlich für jene 16 Stoffe, die in mehr als 50 % aller Proben nachgewiesen wurden (Schwermetalle, PAK, DEHP, Dibutylzinn, PFOA) einen Überblick über die Konzentrationen in den einzelnen Proben. Für Zink wurden die Werte der beiden Depositionsproben aus Graz nicht in der Darstellung berücksichtigt, da diese Depositionsproben in den ersten drei Monaten der einjährigen Probenahme mit Totalisatoren aus Zinkblech gesammelt wurden und daher stark erhöhte Konzentrationen aufwiesen.

Abbildung 22: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der Schwermetalle (Gesamtgehalte) in den einzelnen Eintragspfaden



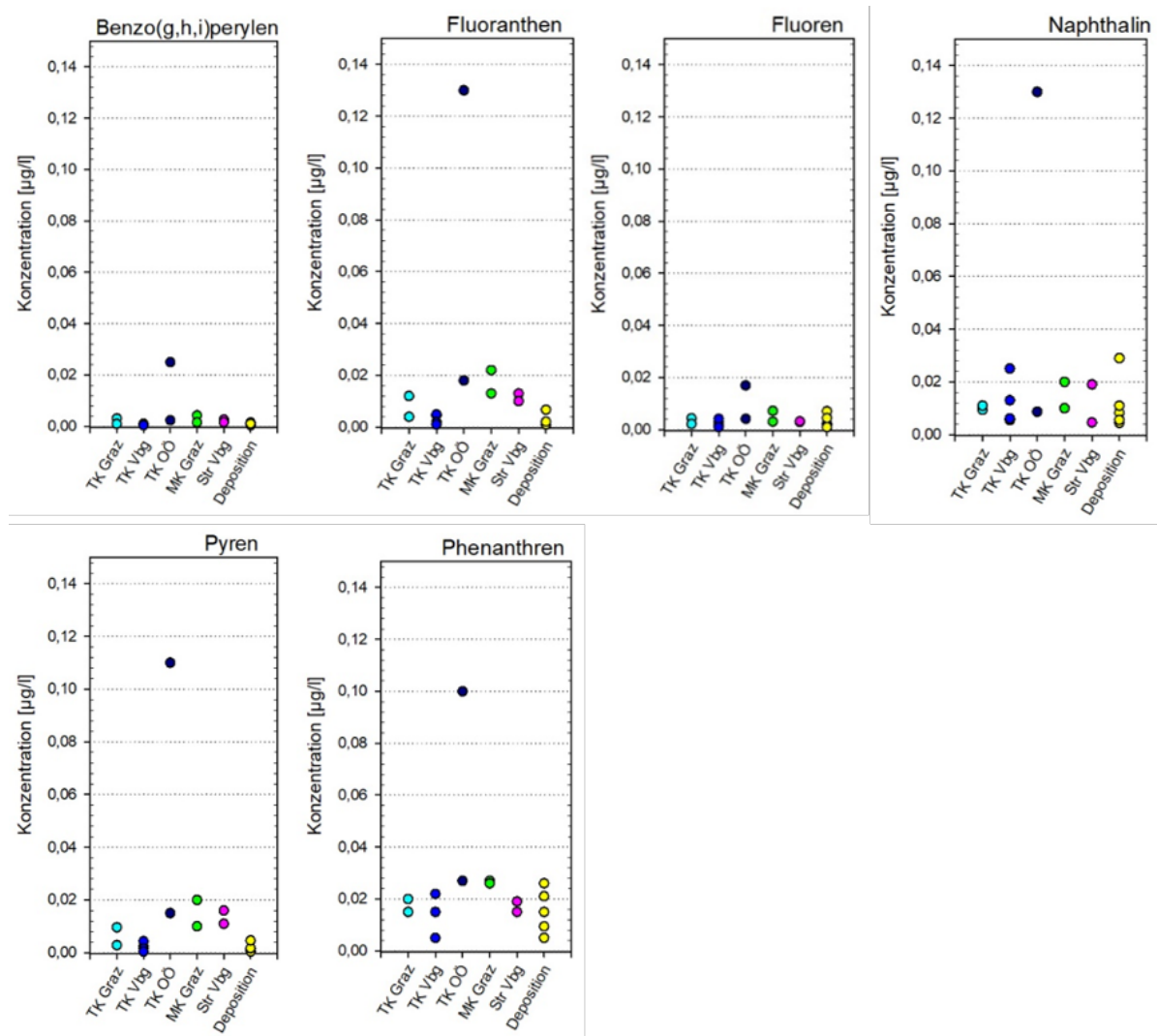
Quelle: Umweltbundesamt

Vergleicht man die Konzentrationen der Schwermetalle in den drei Proben der Niederschlagswasserkanalisation, so zeigt sich, dass die Konzentrationen in den beiden Niederschlagswasserproben aus Graz (Winter- und Sommerhalbjahresprobe) und Ostösterreich (Herbstprobe und Sommerhalbjahresprobe) stark schwanken, wobei in Graz die Probe des Winterhalbjahres (Oktober bis Mai) die höheren Werte aufwies und in Ostösterreich die Probe des Sommerhalbjahres (April bis September). Ein möglicher Grund für die hohen Werte in den Winterhalbjahresproben könnte eine Mobilisierung der Schwermetalle durch Streusalz sein. Für Kupfer und Zink schwankten die Konzentrationen auch im Misch- und Straßenabwasser etwas stärker. Hier stammten die höheren Konzentrationen aus der Probe des Sommerhalbjahres (Mai bis September) bzw. für das Straßenabwasser aus der Probe des Zeitraums Dezember bis August.

Die niedrigsten (und homogensten) Schwermetallkonzentrationen wurden in den Vorarlberger Proben gemessen. Die Depositionsproben der Standorte bei den Niederschlagswasserkanalisationen und den Referenzstandorten zeigten keine wesentlichen Unterschiede in den Konzentrationen.

Vergleicht man die Konzentrationen des Niederschlagswasserkanals mit jenen aus dem Straßenablauf, so lagen diese mit Ausnahme von Kupfer, Chrom und Zink im selben Bereich. Die etwas höheren Werte für Kupfer und Zink im Straßenablauf stammen dabei vermutlich aus Bremsbelägen und Reifenabrieb. Im Mischwasser liegen die Konzentrationen der Metalle mit Ausnahme von Quecksilber unter jenen der Niederschlagswasserkanalisation.

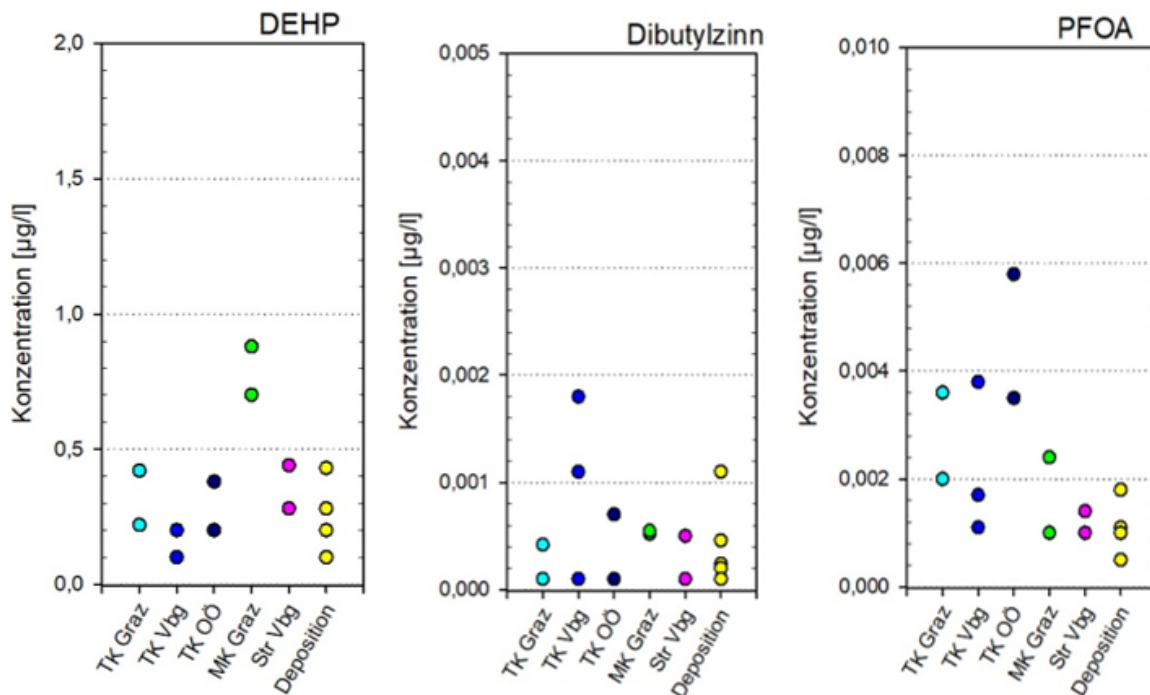
Abbildung 23: Mittlere Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der PAK in den einzelnen Eintragspfaden



Quelle: Umweltbundesamt

Bei den PAK im Niederschlagswasserkanal wiesen die Proben aus Ostösterreich im Mittel höhere Konzentrationen auf, als jene aus Graz und Vorarlberg, wobei die Einzelmesswerte in Ostösterreich stark schwankten und die Herbstprobe (August bis Dezember) deutlich höhere Konzentrationen zeigte. Grund für die höheren Konzentrationen in der Herbstprobe aus Ostösterreich könnte z. B. Hausbrand sein. Im Straßenabwasser sind die Konzentrationen gleich hoch bzw. etwas höher als im Niederschlagswasserkanal; im Mischwasserkanal immer etwas höher als im Niederschlagswasserkanal. Auch für die PAK zeigen die Depositionsproben in der Nähe der Niederschlagswasserkanalisation ähnliche Konzentrationen wie die Depositionsproben an den Referenzstandorten.

Abbildung 24: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] von DEHP, Dibutylzinn und PFOA in den einzelnen Eintragspfaden



Quelle: Umweltbundesamt

DEHP, Dibutylzinn und PFOA lagen in den drei untersuchten Niederschlagswasserkanälen in ähnlichen Konzentrationen vor. Für DEHP konnten sowohl im Straßenablauf, als auch im Mischwasser höhere Konzentrationen als im Niederschlagswasserkanal detektiert werden.

Abbildung 25 zeigt für jene Stoffe, die in mehr als 50% der Proben detektiert wurden, die Mittelwerte der Maximalauswertung sowie die Maximalwerte aller gemessenen Konzentrationen der Niederschlagswasserkanäle aus dem Projekt TEMPEST und vergleicht diese Konzentrationen mit jenen aus Vergleichsstudien (Clara et al., 2014 und Wicke et al., 2015). Für die Studie von Wicke et al. (2015) lagen die Mittelwerte und die Maximalwerte aller Einzugsgebiete (Niederschlagswasserkanäle von Altbau-, Neubau-, Einfamilienhäuser- und Gewerbegebieten, sowie ein Straßenablauf vor dem Bodenfilter) vor. Für den Vergleich in Abbildung 25 wurden nur die Werte der Niederschlagswasserkanäle von Altbau-, Neubau-, Einfamilienhäuser- und Gewerbegebieten herangezogen. In der Analyse setzt Wicke et al. (2015) alle gemessenen Konzentrationen eines EZG kleiner der Bestimmungsgrenze gleich 0, bei wenigstens einer gemessenen Konzentration $> BG$, gilt als Konzentration der halbe Wert der Bestimmungsgrenze.

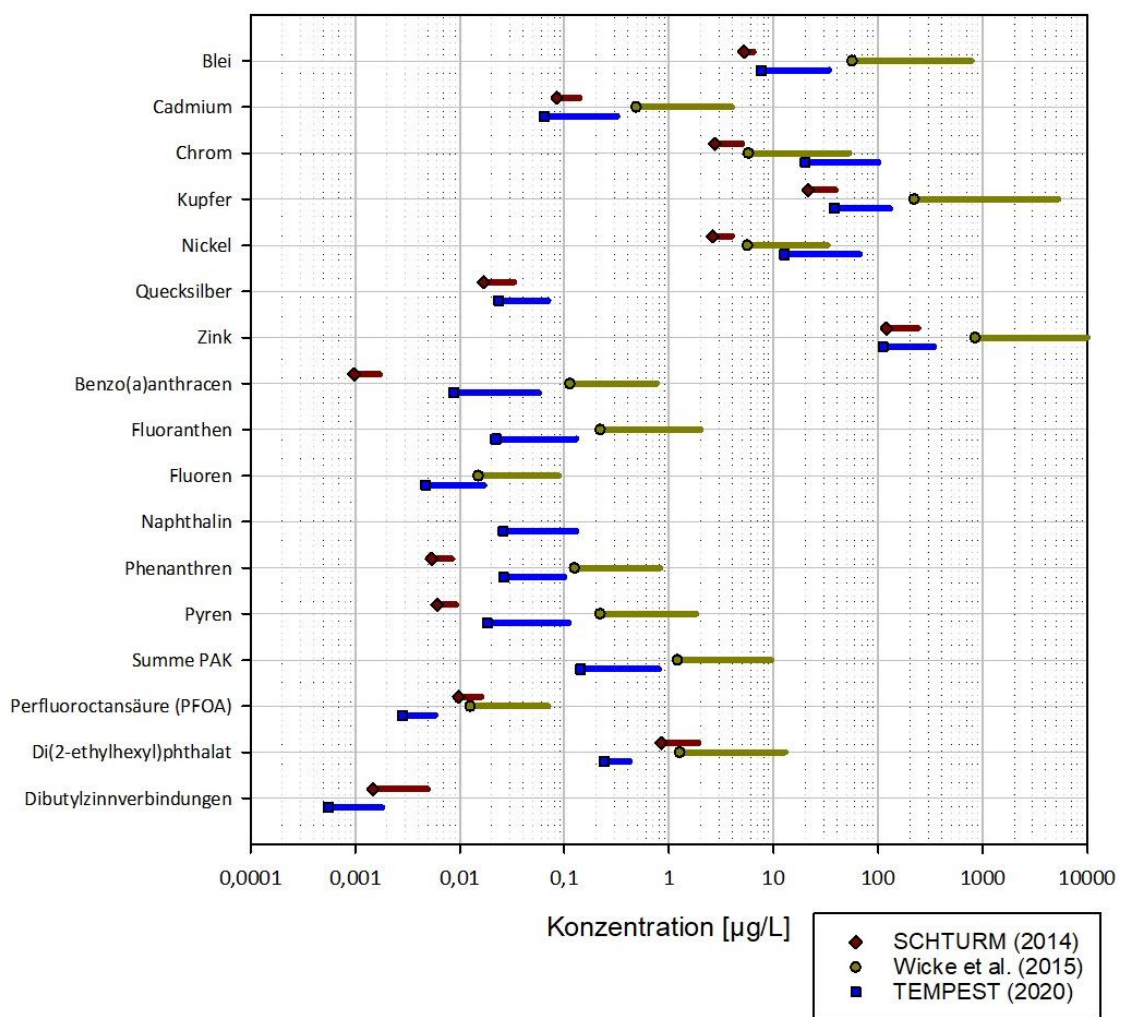
Für einen Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit anderen Studien wird darauf hingewiesen, dass sich die Art der Probenahme im vorliegenden Projekt und den beiden Vergleichsstudien unterscheidet. Im Projekt TEMPEST wurden je Untersuchungsgebiet volumenproportionale Mischproben über mehrere längere Zeiträume generiert, um die langfristige Belastung des Niederschlagswassers mit Schadstoffen abzubilden und den Einfluss einzelner (Stark)regenereignisse zu minimieren. Im Projekt SCHTUM (2014) wurden hingegen einzelne (Stark)regenereignisse beprobt, bei denen eine maßgebliche Verdünnung von Schadstoffen in der Probe erwartet werden kann. Auch bei Wicke et al., (2015) wurden einzelne Regenereignisse beprobt, wobei die gemessenen Konzentrationen in der Regel über jenen des Projekts SCHTUM liegen. Ein möglicher Grund könnte sein, dass in Berlin grundsätzlich niedrigere Jahresregensmengen zu verzeichnen sind, als in Österreich (mittlere Jahresregensmenge während des Monitoringzeitraums in Berlin 430 mm, mittlere Jahresregensmenge in Österreich 1100 mm) und bei Regenereignissen in Berlin eine weniger starke Verdünnung der Stoffkonzentrationen erfolgt.

Im Projekt SCHTUM konnten in den Niederschlagswasserkanälen vor allem Metalle und gut abbaubare Stoffe wie Nonylphenole, Bisphenol-A und Vertreter der Phthalate nachgewiesen werden. Bei der Abschätzung der Haupteintragspfade wurden aus den durchschnittlichen Konzentrationen in drei Eintragspfaden der Siedlungswasserwirtschaft (Ablauf kommunaler Kläranlagen, Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisation und Mischwasserentlastungen) und den jeweiligen Abwassermengen Frachten berechnet und ein Stoff dann dem Niederschlagswasserkanal als Haupteintragspfad zugeordnet, wenn in mehr als 50% der untersuchten Siedlungsgebiete mehr als 60% der Gesamtfracht aus dem Niederschlagswasserkanal stammen. Der Niederschlagswasserkanal stellte aufgrund dieser Berechnung den Haupteintragspfad für Blei, Cadmium, Zink, Bisphenol A, Diisononylphthalat, Diisodecylphthalat und Tetrabutylzinn dar. Ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor im Projekt SCHTUM war der Anschlussgrad der befestigten Flächen an die Niederschlagswassersammler bei Trennkanalisationen. Je nachdem, wie mit dieser Unsicherheit umgegangen wurde, war der Niederschlagswasserkanal weiters der Haupteintragspfad für Kupfer und Nonylphenol.

In der Studie aus Berlin (Wicke et al., 2015) wurden insgesamt 77 der 106 analysierten Stoffe detektiert, nur für PCB, PBDE, Organozinnverbindungen, MTBE und einige Biozide/Pestizide waren allen gemessenen Konzentrationen < BG. Hohe Werte wurden wie in den anderen beiden Studien vor allem bei Schwermetallen (dominiert von Zink) gemessen. Hier gibt es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Einzugsgebieten, z. B. eine starke Korrelation zwischen DEHP und der Verkehrsdichte. 16 Substanzen (zwölf or-

ganische Spurenstoffe und vier Schwermetalle) wurden aufgrund von Vorkommen in einer bestimmten Konzentration, Überschreiten der UQN und der Toxizität der Stoffe als relevante Stoffe identifiziert (unter anderem Zink, Kupfer, Blei, Cadmium, verschiedene PAK, sowie einige Biozide und Phthalate).

Abbildung 25: Vergleich der gemessenen Konzentrationen in den Projekten TEMPEST, SHTURM und Wicke et al. (2015). Dargestellt sind die Mittelwerte der Maximalauswertung, sowie der Maximalwert.



Quelle: Umweltbundesamt

Im Vergleich der drei Studien lagen die Konzentrationen bei Wicke et al. (2015) in der Regel am höchsten, die Konzentrationen in den Projekten SHTURM und TEMPEST tendenziell darunter und in ähnlichen Konzentrationsbereichen. Im Vergleich mit Literaturdaten zu

Schadstoffkonzentrationen in Niederschlagswasserkanälen (Zessner et al., 2010) lagen die Konzentrationen, die im Projekt TEMPEST gemessen wurden, in einem ähnlichen Bereich. Zwei Ausnahmen stellten Blei (Mittelwert_{max} 7,6 µg/L in TEMPEST und mittlere Konzentration bei Zessner et al. (2010) 63 µg/L) bzw. Chrom (Mittelwert_{max} 20,2 µg/L in TEMPEST und mittlere Konzentration bei Zessner et al. (2010) 8 µg/L) dar. Für die beiden PAK Fluoranthen und Naphthalin wurden in TEMPEST geringere Konzentrationen gemessen, als jene, die in der Literaturstudie von Zessner et al. (2010) angeführt sind (im Mittel 0,254 µg/L für Fluoranthen bzw. 0,761 µg/L für Naphthalin).

3.1.2 Parameter AZM- und PSM-Screening, Indikatoren kommunaler Verunreinigung

Bei den Untersuchungen auf Stoffe des AZM- und des PSM-Screenings und der Liste kommunaler Verunreinigungen in den Jahresproben aus der Niederschlagswasserkanalisation, dem Mischwasserkanal und dem Straßenablauf wurden drei Indikatoren kommunaler Verunreinigung (1H-Benzotriazol, Acesulfam, Tolytriazole) in beinahe alle untersuchten Proben mit Werten größer Bestimmungsgrenze nachgewiesen. In den Proben des Niederschlagswasserkanals wurde darüber hinaus 25 Arzneimittel und sechs Pflanzenschutzmittel mit Werten > BG nachgewiesen. In der Mischwasserprobe wurden 56 Arzneimittel und fünf Pflanzenschutzmittel mit Werten > BG detektiert, während es im Straßenablauf neun Arzneimittel und ein Pflanzenschutzmittel waren. Die Arzneimittel 4-Acetylaminoantipyrin, Diclofenac, Erythromycin, Iopromid, Koffein, Mefenaminsäure, Metformin und Theophyllin, sowie die beiden Pflanzenschutzmittel DNOC und Saccharin wurden dabei in fast allen Proben mit Werten > BG nachgewiesen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der häufig detektieren Substanzen aus der Gruppe der Arznei- und der Pflanzenschutzmittel sowie der Indikatoren kommunaler Verunreinigung. Im Niederschlagswasserkanal wird der Mittelwert der Maximalbewertung dargestellt.

| Substanzgruppe | Stoff | Niederschlagswasserkanal | | Mischwasser [$\mu\text{g/L}$] | Straßenablauf [$\mu\text{g/L}$] |
|---|------------------------|--------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Werte > BG | Mittelwert _{max} [$\mu\text{g/L}$] | | |
| Arzneimittel- wirkstoffe | 4-Acetylaminoantipyrin | 2 | 0,0056 | 0,97 | 0,0011 |
| | Diclofenac | 2 | 0,013 | 0,44 | 0,0021 |
| | Erythromycin | 3 | 0,071 | 0,85 | 0,021 |
| | Iopromid | 2 | 0,019 | 0,57 | 0,023 |
| | Koffein | 3 | 4,05 | 11 | 0,18 |
| | Mefenaminsäure | 3 | 0,062 | 0,26 | 0,0016 |
| | Metformin | 2 | 0,2 | 22 | 0,018 |
| | Theophyllin | 3 | 0,085 | n.n. | < BG |
| Pflanzenschutz- mittel | DNOC | 2 | 0,145 | 0,11 | 0,16 |
| | Saccharin | 2 | 0,39 | 2,6 | n.n. |
| Indikatoren kommunaler Verunreinigung | Acesulfam | 3 | 0,895 | 4,2 | 0,22 |
| | 1H-Benzotriazol | 3 | 1,58 | 3,9 | 0,48 |
| | Tolyltriazole | 3 | 1,956 | 1,3 | 0,45 |

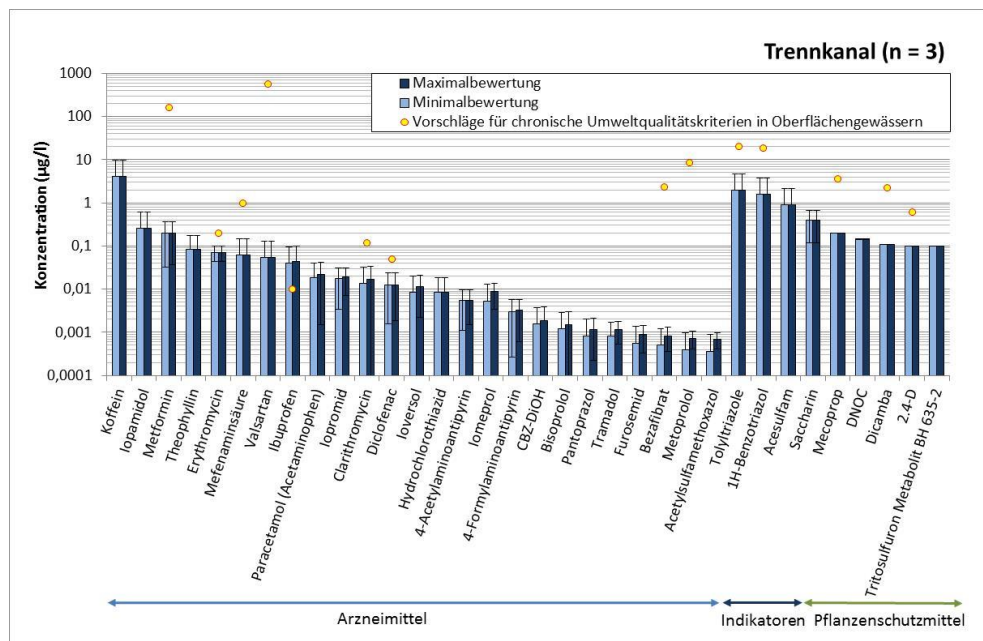
n.n.... nicht nachweisbar, < BG...Wert kleiner Bestimmungsgrenze, Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung 26 bis Abbildung 28 stellen die gemessenen Konzentrationen in den einzelnen Eintragspfaden dar, wobei für die Proben aus dem Niederschlagswasserkanal die Werte nach der Minimal- und der Maximalauswertung dargestellt werden. In den Grafiken werden auch die JD-UQN laut QZV-Chemie OG (Diuron), bzw. Vorschläge für chronische Umweltqualitätskriterien in Oberflächengewässern aus der Literatur dargestellt.

Der Nachweis von Arzneimittelwirkstoffen im Niederschlagswasserkanal überrascht und deutet auf Fehlschlüsse im Kanalnetz hin. Im Siedlungsgebiet Ost wurden im Niederschlagswasser die meisten Arzneimittelwirkstoffe mit Werten > BG gemessen (24 Einzelmessungen), gefolgt vom Siedlungsgebiet Graz (zwölf Einzelmessungen) und Vorarlberg (vier Einzelmessungen). Der Nachweis von neun Arzneimittelwirkstoffen im Straßenabwasser ist ebenfalls überraschend.

Mit dem Vorkommen von Indikatoren kommunaler Verunreinigung im Niederschlagswasser musste hingegen vor dem Hintergrund der Einsatzbereiche gerechnet werden. 1H-Benzotriazol wird etwa als Korrosionsschutz von Metallen, z. B. zum Schutz von Dächern oder in Reinigungstabs für Geschirrspülmaschinen verwendet. Darüber hinaus findet man 1H-Benzotriazol in Schmierölen und Schmierstoffen, in Wärmeleitflüssigkeiten und in medizinischen Geräten. 1H-Benzotriazol wird auch zur Enteisung von Straßen eingesetzt. Tolyltriazol wird als Korrosionsinhibitor für Kupfer verwendet. Es wird daher Frostschutzmitteln, Kühlmitteln, Hydraulikflüssigkeiten und Kühlschmiermitteln zugesetzt. Acesulfam ist ein synthetischer Süßstoff, der wiederum auf den Einfluss von häuslichem Abwasser in Form von Fehlanschlüssen hindeutet.

Abbildung 26: Mittlere Konzentrationen in den Proben aus der Niederschlagswasserkanalisation nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$) sowie Vorschläge für chronische Umweltqualitätskriterien in Oberflächengewässern



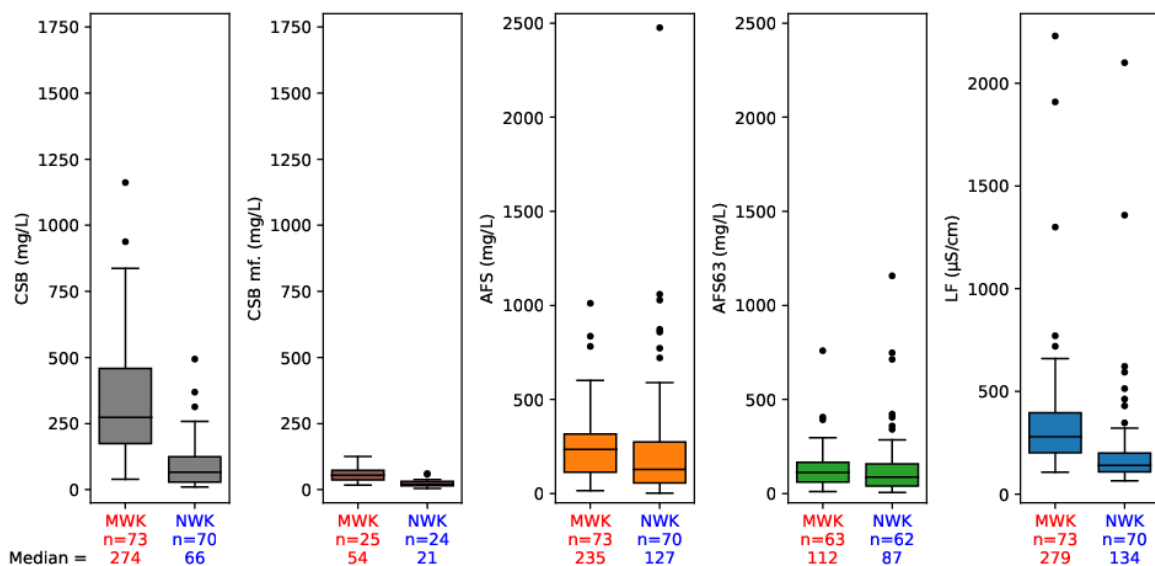
Quelle: Umweltbundesamt

3.1.3 Abwasser-Standardparameter von den beiden Grazer Messstellen

An den beiden Grazer Messstellen NWK Graz – Ziegelstraße und Graz – MÜ-R05 (MWK) wurden von den meisten der erfolgreich beprobten Ereignisse auch ausgewählte Abwasser-Standardparameter analysiert und von einigen auch Ereignisrückstellproben eingefroren, sofern genügend Ereignismischproben dafür übrigblieben. Dadurch konnten an der Messstelle NWK Graz – Ziegelstraße insgesamt 19 und an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) insgesamt 29 Rückstellproben generiert und eingefroren werden.

In Abbildung 29 sind die Laborergebnisse der Abwasser-Standardparameter der Grazer Ereignismischproben in Form von Boxplot-Auswertungen zusammengefasst. Im Anhang sind die Laborergebnisse aller durchgeführten Ereignismischprobenanalysen enthalten.

Abbildung 29: Laborergebnisse der Abwasser-Standardparameter in den Grazer Ereignismischproben für die Parameter CSB, CSB mf., AFS, AFS63 und Leitfähigkeit im EZG Graz – MÜ-R05 (MWK) und im EZG NWK Graz – Ziegelstraße



Quelle: TU Graz

3.2 Erfassung von Kunststoffanteilen in Eintragspfaden aus der Siedlungsentwässerung

3.2.1 Ergebnisse der Probenahme von ARA 1 und ARA 2

Im Zuge des gegenständlichen Projekts wurden an insgesamt fünf verschiedenen Tagen Probenahmen zu je vier Stunden bei zwei unterschiedlichen kommunalen Kläranlagen durchgeführt. ARA 1 wurde zweimal beprobt und ARA2 dreimal. Tabelle 22 listet die mittels Netzbeprobung erhaltenen Gesamttrockenmassen der fünf Beprobungen auf. Für die 1. Beprobung von ARA 1 konnte lediglich die Trockenmasse der dritten Stunde erfasst werden. Stunde 1,2 und 4 wurden aufgrund eines Gerätedefekts während der Trocknung unbrauchbar. Die angegebenen Werte der ARA 1 1.Probenahme sind daher in weiterer Folge auf nur eine Stunde zu beziehen. Alle anderen Ergebnisse beziehen sich auf die gesamte Beprobungsdauer von je vier Stunden. Die Detailergebnisse befinden sich im Anhang.

Tabelle 22: Erhaltene Gesamtmassen der Beprobung von ARA 1 und ARA 2

| Probe | Trockenmasse [g] | Erfasste Stunden [h] |
|---------------------|------------------|----------------------|
| ARA 1 1. Probenahme | 3,65 | Stunde 3 |
| ARA 1 2. Probenahme | 2,29 | Stunde 1–4 |
| ARA 2 1.Probenahme | 95,81 | Stunde 1–4 |
| ARA 2 2.Probenahme | 10,05 | Stunde 1–4 |
| ARA 2 3.Probenahme | 53,20 | Stunde 1–4 |

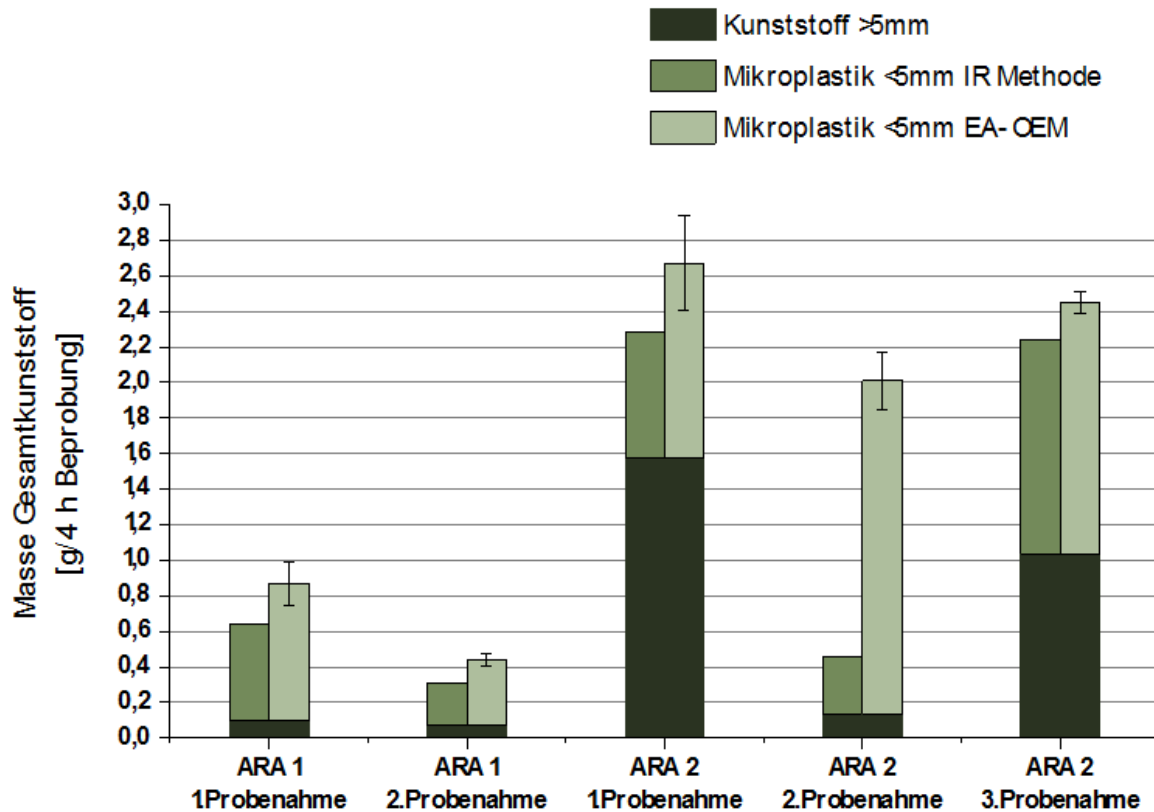
Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

Die Partikelgrößenverteilung in den Feststoffproben war größtenteils durch die Beprobungsart, die in diesem Fall mittels Netzes mit 0,5 mm Maschenweite erfolgte, vorgegeben. Dies gewährleistete einen direkten Vergleich der IR Methode, die in der Partikelgröße nach unten limitiert ist, mit der EA-OEM, die grundsätzlich den gesamten Größenbereich erfasst. Zunächst wurden die Proben im Labor der TU Wien über mehrere Wochen getrocknet und anschließend mittels Rotationsverteiler in drei Teile geteilt. Da die IR Methode aufgrund der Zählung und Untersuchung der Einzelpartikel eine nicht aufgemahlene

Probe zwingend voraussetzt, konnten die Proben nicht vorzerkleinert werden und die anschließende Aliquotierung, speziell von größeren Partikeln, wurde dadurch erschwert. Die Aufbereitungsschritte der beiden Methoden wurden ähnlich ausgeführt, wobei die Probe zunächst mit H_2O_2 oxidiert wurde, um die Matrix zu reduzieren. Dieser Schritt hat aus unterschiedlichen Gründen für beide Methoden eine große Bedeutung. Für die IR Methode dient er zur Eliminierung der Probenmatrix und zur oberflächlichen Reinigung der in der Probe vorhandenen Kunststoffe. Die EA-OEM Methode hingegen benötigt Inputparameter, die die CHNS-Zusammensetzung der biogenen Matrix (die hier größtenteils entfernt wird) und die der Kunststoffe umfassen. Mittels Oxidation kann die biogene Matrix deutlich eingengt werden und die benötigten CHNS-Inputwerte mit einem geringeren relativen Fehler festgelegt werden. Dies wiederum verringert auch die Unsicherheit des Endergebnisses sowie die Nachweisgrenze der EA-OEM. Der Effekt der Aufkonzentrierung ist in vielen Probentypen ebenfalls erforderlich, war aber, aufgrund des relativ hohen Kunststoffanteils, für das vorliegende Probenmaterial unwesentlich.

Die optische Begutachtung der getrockneten Proben zeigte bereits, dass ein beträchtlicher Kunststoffanteil Abmessungen von > 5 mm aufwies. Insbesondere war dies bei zwei Proben (1. Probenahme und 3. Probenahme) der ARA 2 der Fall. Die hohen Massen, jedoch geringen Stückzahlen, dieser großen Fragmente > 5 mm, erschwerte die möglichst gleichmäßige und repräsentative Teilung der Probe in die drei Teile „Umweltbundesamt“ „TU Wien“ und „Rückstellprobe“. Die Analyseergebnisse des Gesamtkunststoffs (Fraktion < 5 mm + Fraktion > 5 mm) der IR Methode und EA-OEM Analysen sind daher nur bedingt vergleichbar. Der Anteil an Mikroplastik, d. h. die Fraktion Kunststoff < 5 mm, kann hingegen direkt miteinander verglichen werden. Für die finale Gegenüberstellung der Methoden wurde daher der ermittelte Kunststoffanteil > 5 mm als Summe der drei Teilproben angegeben. Die Fraktion < 5 mm hingegen wurde für jede Methode separat berechnet, indem die Ergebnisse der jeweiligen Methode und gedrittelten Teilproben auf die Gesamttrockenmassen hochgerechnet wurden (Abbildung 30).

Abbildung 30: Erhaltene Massenanteile für die Fraktion Kunststoff > 5 mm und die Fraktion Mikroplastik < 5 mm. Die Fraktion Mikroplastik wurde anhand zweier Methoden (EA-OEM und IR) analysiert und verglichen.



Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

Beim Vergleich der Ergebnisse der beiden Methoden ist anzumerken, dass für die IR Methode keine Fehlerbandbreiten ermittelt werden konnten. Damit ist der Vergleich nur bedingt möglich. Augenscheinlich ist, dass die mittels EA-OEM gemessenen Werte durchgehend höher sind als die der IR Methode. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass trotz der Maschenweite der Netze von 0,5 mm, auch Partikel mit einer geringeren Abmessung in den Proben vorhanden waren und diese mittels IR Methode nicht erfasst wurden. Dies ist größtenteils dem zurückgehaltenem Material geschuldet, welches ähnlich einem Filterkuchen auch Kunststoffpartikel < 0,5 mm zurückhält.

Da die EA-OEM grundsätzlich kein Größenlimit hat, wurden daher höhere Mikroplastik Anteile in den Proben gefunden. Die Ergebnisse stimmen aber bei vier der fünf Proben gut überein, daher kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Partikel in den Proben eine Dimension von > 0,5 mm aufwies.

Die einzige Ausnahme stellt Probe ARA 2 2.Probenahme (und mit Abstrichen ARA 2 1. Probenahme) dar. Hier weichen die Werte der beiden Methoden deutlich voneinander ab. Die Probe wies einen signifikanten Fettanteil auf, welcher möglicherweise zu einer nicht gleichmäßigen Drittelung der Probe führte. Zusätzlich könnte die Entfettung der Probe vor der EA-OEM Analyse möglicherweise nicht 100 % erreicht worden sein. Da die CHNS-Zusammensetzung von Fetten und Kunststoffen sehr ähnlich ist, könnte dies zu einer Überbewertung des Kunststoffanteils geführt haben. Den großen Unterschied der beiden Messergebnisse (0,32 g und 1,87 g) können diese Annahmen aber nicht erklären. Vergleicht man die 2. Probenahme mit der 1. und 3. Probenahme der ARA 2, so liegt das Ergebnis der EA-OEM Methode zwar darüber, der Wert der IR Messung jedoch deutlich darunter. Dies könnte durch einen hohen Feinanteil an Mikroplastik in der Probe verursacht worden sein, welcher nicht berücksichtigt wurde. Die Größenverteilung von Mikroplastikproben muss daher immer im Auge behalten werden, wenn es um die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens geht. Die Unterschiede in der Probe ARA 2 2.Probenahme unterstreichen die Tatsache, dass die Analytik von Mikroplastik im Allgemeinen und auch in Bezug auf die speziellen Eigenschaften von Abwasserproben noch nicht vollständig erprobt ist und weitere Validierungen erfolgen sollten. Die vergleichbaren Ergebnisse von vier der fünf Proben demonstrieren zugleich aber auch, dass die Entwicklung von geeigneten Analysemethoden auf den richtigen Weg ist und auch reale sowie komplexe Proben wie zum Beispiel der Auslauf von Kläranlagen in den Vorfluter analysiert werden können. Tabelle 23 gibt einen Überblick über die erhaltenen Analysenergebnisse der beiden Methoden.

Tabelle 23: Zusammenfassung der Ergebnisse der einzelnen Probenahmen durch Hochrechnung der Ergebnisse der Teilproben auf die Masse der Gesamtprobe zum Vergleich. Die Fehlerangaben der EA-OEM beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %. Für die Berechnung einer Fehlerbandbreite der IR Methode liegen zu wenige Daten vor.

| Probe | Kunststoff > 5 mm [g] | EA-OEM Kunststoff < 5 mm [g] | +/- SD [g] | IR Methode Kunststoff < 5 mm [g] | IR Methode Anzahl Partikel Gesamt |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------|--|---|
| ARA 1 1. Probenahme | 0,10 | 0,77 | 0,12 | 0,54 | 345 |
| ARA 1 2. Probenahme | 0,07 | 0,36 | 0,04 | 0,24 | 146 |
| ARA 2 1. Probenahme | 1,58 | 1,09 | 0,27 | 0,70 | 740 |
| ARA 2 2. Probenahme | 0,14 | 1,87 | 0,16 | 0,32 | 533 |
| ARA 2 3. Probenahme | 1,04 | 1,41 | 0,06 | 1,20 | 1200 |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

3.2.2 Diskussion Methodenvergleich

Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe der angewendeten Methoden Abwasserproben auf Mikroplastik untersucht werden können, vorausgesetzt die Proben werden entsprechend vorbereitet und aufgearbeitet. Bezogen auf die Masse an Mikroplastik (Partikel < 5 mm) im Abwasser liefern beide Methoden bei vier von fünf Proben vergleichbare Ergebnisse, wobei die Ergebnisse der EA-OEM durchgehend höher sind als bei der IR Methode. Aufgrund der Unterschiede der Methoden liefern beide einander ergänzende Informationen. Die IR Methode liefert primär die Partikelanzahl, Partikelgröße und -form sowie die Kunststoffart. Außerdem wurde die Masse der Partikel gravimetrisch bestimmt. Die Information über die Qualität der Kunststoffe kann beitragen, entsprechende Quellen zu identifizieren und diese Eintragspfade durch gezielte Maßnahmen zu reduzieren. Sobald auch feinere Mikroplastikanteile während der Probenahme erfasst werden, wird der Zeitaufwand der IR Methode jedoch deutlich steigen bzw. muss die Analyse mit einer bildgebenden spektroskopischen Methode (z. B. FT IR Imaging) durchgeführt werden. Bei der Messung mittels EA-OEM ist der Massenanteil an Mikroplastik in der Probe die Hauptaussage ohne dabei genauer auf die Partikelgrößenverteilung oder Polymertypen einzugehen. Aufgrund des geringen Aufwands der Methode im laufenden Betrieb für die Routineanalytik oder in

Form eines regelmäßig durchgeführten Monitorings, liefert die EA-OEM jedoch eine kostengünstige Option, um den Summenparameter Gesamtmikroplastik (g Mikroplastik/g Probe bzw. g Mikroplastik/L Ablauf) zu analysieren. Die IR Methode, insbesondere in der Anwendung wie sie für dieses Projekt vorliegt, bietet den Vorteil, dass die Kunststoffart jedes Partikels identifiziert werden kann. Dies ist mit der EA-OEM nicht der Fall bzw. wird diese Information als Inputparameter zwingend vorausgesetzt. In vielen Fällen wird es daher notwendig sein, dass für die EA-OEM, einmalig zu Beginn der Probencharakterisierung, auf eine alternative Methode zurückgegriffen werden muss um diese Vorabinformationen zu erhalten. Diese Strategie wurde im Zuge dieses Projekts erstmals angewandt, indem die Inputparameter der TU Wien durch Ergebnisse der IR Messung hinsichtlich der vorkommenden Polymertypen nachträglich optimiert wurde. Da sich die Kunststoffzusammensetzung im Ablauf von Kläranalgen zum größten Teil aus PP und PE zusammensetzt, war jedoch der zusätzliche Informationsgehalt limitiert. Für zukünftige Untersuchungen mit anderen Probenspezifikationen könnte diese Kombination beider Methoden jedoch sehr gewinnbringend sein.

Ein für die Siedlungswasserwirtschaft relevanter Parameter ist Reifenabrieb, welcher auf Straßen entsteht und durch die Kanalisation nach Regenereignissen abtransportiert wird. Eine standardisierte Methode zur Bestimmung des Reifenabriebs in der Umwelt gibt es nicht. Die IR Methode kann nur bedingt für die Analyse von Reifenabrieb eingesetzt werden, da durch den hohen Anteil an elementarem Kohlenstoff (carbon black) die Messung mittels ATR-FTIR Spezialequipment erfordert. Die EA-OEM, in der vorliegenden Variante, erfasst den Reifenabrieb gemeinsam mit Mikroplastik als Summenparameter und kann diesen von den anderen synthetischen Polymeren nicht unterscheiden. Durch Erweiterung des aktuellen Modells (derzeit werden die Parameter CHNSO gemessen) durch zusätzliche Inputparameter wie spezifischer carbon black-Anteil oder auch anorganische Elemente wie zum Beispiel Zink, könnte eine Unterscheidung von der restlichen Mikroplastik Fraktion möglich sein. Dies muss jedoch erst anhand geeigneter Probenmaterialien, welche auch im Zuge des Projekts TEMPEST nachträglich gezogen worden sind, getestet werden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass selbst so unterschiedliche Methoden wie die IR Messung und der EA-OEM miteinander verglichen werden können, wenn eine Vielzahl an Kriterien bei der Probenahme, der Probenteilung und der Aufbereitung eingehalten werden können. Ferner lässt sich festhalten, dass die beiden Methoden sich sehr gut ergänzen, da gänzlich unterschiedliche Messergebnisse zur Verfügung stehen, die erstens unterschiedliche Anwendungen finden können und zweitens komplementär zueinander ein wesentlich vollständigeres Bild der Mikrokunststoff-Verschmutzung der untersuchten

Quelle darstellen können. Tabelle 24 fasst die wichtigsten Spezifikationen der zwei verglichenen Methoden zusammen.

Tabelle 24: Gegenüberstellung wichtiger Analysenmerkmale der beiden eingesetzten Methoden für die Bestimmung von Mikroplastik in Abwasserproben

| | Elementaranalytik (EA-OEM) | IR Spektroskopie (Mikroskopie, ATR FT-IR, Wägung) |
|--|---|--|
| Probenmenge | Mindestens 0,5-1 g | Einzelpartikel |
| Größenbereich der Partikel | Gesamter Bereich wird erfasst | >0,5 mm |
| Instrumenteller Aufwand | Verhältnismäßig gering | Mittel (ATR-FTIR) |
| Zeitaufwand für die Vorbereitung | Je nach Probenmatrix gering bis hoch | Je nach Probenmatrix gering bis hoch |
| Zeitaufwand für Analytik | Erstellung des Analysenmodells einmalig mittel bis hoch, im laufenden Betrieb: gering | Messung gering; Vorbereitung, begleitende Gravimetrie und Partikelzählung hoch |
| Ergebnisse | Massenbezogen | Anzahl Partikel, Kunststoffart, (Masse) |
| Dimension | g/L oder g/m ³ | Partikel/m ³ , g/m ³ |
| Aussagen zur Messungenaugigkeit der Ergebnisse (Fehlerbandbreite) | Ja | Ja, mit Zusatzaufwand |
| Partikelgröße | Nein (bzw. bei Einsatz unterschiedlicher Netze/Maschenweiten: Ja) | Ja |
| Partikelform | Nein | Ja |
| Art des Kunststoffes | Nein | Ja |

Quelle: Umweltbundesamt, TU Wien

3.3 Stoffflussanalysen

Bei der Erstellung von emissionsorientierten Stoffflussanalysen (SFA) für Spurenstoffe ist die Wahl und Auswertung der Emissionsfaktoren (EF) und Spurenstoffgehalte in Materialien bereits ein sehr wichtiges Ergebnis und lässt Aussagen zum Wissensstand über diese Stoffe zu. Daher wird im folgenden Abschnitt zunächst der in der Literatur gefundene Wis-

senstand dargestellt und die Ableitung der Eingangsdaten für die Stoffflussanalysen dokumentiert.

Im darauffolgenden Abschnitt werden dann die Ergebnisse der Stoffflussanalysen mit STAN als Sankey-Diagramme dargestellt und erläutert.

3.3.1 Quantifizierung der Stoffflüsse anhand von Mess- und Literaturdaten

Da für alle Spurenstoffe die Vorgehensweise bei der Quantifizierung sehr ähnlich ist, wird dieses Kapitel gegliedert nach den Quellen und nicht nach den Stoffen dargestellt.

3.3.1.1 Spurenstoffeinträge über atmosphärische Deposition

Der Eintrag von Spurenstoffen aus der Atmosphäre auf die versiegelten Flächen (Dächer, Straßen, sonstige versiegelte Flächen) und die Böden in den Gebieten wurde über Depositionsraten (Masse pro Fläche und Zeit) berechnet. Die Depositionsraten wurden aus den Ergebnissen der eigenen Messkampagne berechnet: Als mittlerer Wert für die Konzentration wurde der Mittelwert von Minimalauswertung und Maximalauswertung (2.2.1) verwendet, als Standardabweichung der Konzentration die halbe Differenz zwischen Minimalauswertung und Maximalauswertung. Bei Werten kleiner Nachweisgrenze und kombiniert mit der Unsicherheit der Niederschlagsdaten berechnen sich dann Variationskoeffizienten (CV) > 100 % (vgl. Abschnitt 3.3.4). Bei einem CV > 100% liegen eigentlich keine geeigneten Messdaten zur Berechnung einer Depositionsrates vor.

Tabelle 25: Depositionsraten in $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{a}$ und Variationskoeffizient als Indikator der Datenunsicherheit. Die mit * markierten Werte für Zink sind Mittelwerte der anderen Gebiete, da die Proben aus Graz mit Zink kontaminiert wurden und daher die Messwerte nicht verwendet werden konnten.

| Parameter | L202 | Langackerweg | Ziegelstraße | Siedlungsgebiet Ost | R05 |
|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|
| Kupfer | 18564 ± 20% | 18564 ± 20% | 9880 ± 10% | 14300 ± 20% | 11148 ± 10% |
| Zink | 35802 ± 20% | 35802 ± 20% | 37977 ± 20%* | 42328 ± 20% | 37977 ± 20%* |
| DEHP | 198 ± 39% | 198 ± 39% | 213 ± 10% | 29 ± 102% | 46 ± 100% |
| PAK16 | 7,4 ± 20% | 7,4 ± 20% | 27 ± 10% | 41 ± 20% | 26 ± 10% |

| Parameter | L202 | Langackerweg | Ziegelstraße | Siedlungsgebiet Ost | R05 |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|-------------|
| Naphthalin | 7,4 ± 20% | 7,4 ± 20% | 3,4 ± 10% | 17 ± 20% | 7,7 ± 10% |
| Phenanthren | 5,0 ± 39% | 5,0 ± 39% | 20 ± 10% | 12 ± 20% | 8,7 ± 10% |
| Fluoranthren | 0,66 ± 102% | 0,66 ± 102% | 1,1 ± 35% | 1,2 ± 20% | 2,0 ± 10% |
| Pyren | 0,33 ± 102% | 0,33 ± 102% | 1,1 ± 10% | 0,97 ± 20% | 1,4 ± 10% |
| Benzo(a)anthracen | 0,33 ± 102% | 0,33 ± 102% | 0,19 ± 100% | 0,14 ± 102% | 0,23 ± 100% |
| Benzo(a)pyren | 0,33 ± 102% | 0,33 ± 102% | 0,19 ± 100% | 0,14 ± 102% | 0,23 ± 100% |
| Benzo(g,h,i)perylen | 0,33 ± 102% | 0,33 ± 102% | 1,14 ± 10% | 0,14 ± 102% | 0,23 ± 100% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.2 Spurenstoffeinträge durch Kfz-Verkehr

3.3.1.3 Emissionen durch Verbrennungsabgase

Bei der Quantifizierung von Emissionen durch Abgase des Kfz-Verkehrs wurde zunächst zwischen PKW einerseits und LKW und Bussen andererseits unterschieden. Eine feinere Unterscheidung nach Wagentypen wurde nicht vorgenommen, da hierzu die differenzierten Verkehrsdaten aus den Einzugsgebieten fehlten.

Insbesondere die Dieselrußemissionen von Dieselmotoren sind hier für die Stoffgruppe der PAK relevant, wobei sich durch technische Maßnahmen (Dieselrußfilter) und Rückgang des Anteils von Dieselfahrzeugen an der Fahrzeugflotte hier in den letzten Jahren deutliche Veränderungen ergeben haben, welche jedoch aufgrund fehlender Daten nicht genau abgebildet werden können.

3.3.1.3.1 PKW

Bei den PKW wurde differenziert zwischen PKW mit Dieselmotor einerseits und mit Benzinmotor andererseits. Der Anteil von Dieselfahrzeugen bei den PKW wurde nach Statistik Austria (2019) für das Jahr 2017 mit 56,6 % angesetzt. Da nur Emissionsfaktoren für städtischen Verkehr in der Literatur vorlagen, wurden diese im Sinne einer Worst-Case Annahme auch für den Straßenabschnitt L202 (Landstraße) verwendet. Tabelle 26 zeigt die in

der Literatur gefundenen Emissionsfaktoren in Nanogramm pro Fahrzeugkilometer (ng/vkm). Die Emissionsfaktoren aus European Environment Agency (2016) basieren auf älteren Studien, teilweise aus den 1990er Jahren, die Werte repräsentieren also ältere Fahrzeugtypen. Demgegenüber wurden von Louis et al. (2016) neuere PKW-Modelle untersucht.

Tabelle 26: Literaturdaten zu Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für PKW im städtischen Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte

| Stoff | Quelle | PKW Benzin | | PKW Diesel | |
|----------------------------|---|------------|------|------------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Alves et al., 2015 | 23 | 70% | 65 | 102% |
| | Klein et al., 2018, Pulles et al., 2012, DIN EN 590 - 2017-10, DIN EN 228 - 2014-10 | 230 | 13% | 390 | 14% |
| Zink | Alves et al., 2015 | 42 | 67% | 178 | 69% |
| | Klein et al., 2018, Pulles et al., 2012, DIN EN 590 - 2017-10, DIN EN 228 - 2014-10 | 2071 | 15% | 1015 | 13% |
| Naphthalin | Alves et al., 2015 | 39086 | 191% | 115261 | 225% |
| | European Environment Agency, 2016 | 610190 | | 1375250 | |
| | Louis et al., 2016 | 40526 | 110% | 16429 | 83% |
| Phenanthren | European Environment Agency, 2016 | 4680 | | 56565 | |
| | Louis et al., 2016 | 258 | 177% | 196 | 130% |
| Fluoranthren | European Environment Agency, 2016 | 2800 | | 28160 | |
| Pyren | European Environment Agency, 2016 | 1800 | | 25630 | |
| | Louis et al., 2016 | 26 | 7% | 67 | 81% |
| Benzo(a)anthracen | European Environment Agency, 2016 | 430 | | 3005 | |
| | Louis et al., 2016 | 45 | 38% | 67 | 64% |
| Benzo(a)pyren | European Environment Agency, 2016 | 320 | | 1740 | |
| Benzo(g,h,i)perylen | European Environment Agency, 2016 | 560 | | 3475 | |

Quelle: TU Wien

Tabelle 27 zeigt die aus den Literaturdaten abgeleiteten und für die SFA verwendeten Werte mit Unsicherheitsschätzer.

Tabelle 27: Abgeleitete Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Abgas von PKW und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quellen | Benziner | | Diesel | |
|----------------------------|---|----------|------|--------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Klein et al., 2018, Pulles et al., 2012, DIN EN 590 - 2017-10, DIN EN 228 - 2014-10, Alves et al., 2015 | 127 | 116% | 228 | 101% |
| Zink | | 1057 | 136% | 596 | 99% |
| DEHP | keine Literaturfunde | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PAK 16 | Alves et al., 2015, Louis et al., 2016, European Environment Agency, 2016 | 239240 | 138% | 650702 | 117% |
| Naphthalin | | 229934 | 143% | 502313 | 151% |
| Phenanthren | European Environment Agency, 2016, Louis et al., 2016 | 2469 | 127% | 28380 | 140% |
| Fluoranthren | European Environment Agency, 2016 | 2800 | 50% | 28160 | 50% |
| Pyren | European Environment Agency, 2016, Louis et al., 2016 | 913 | 137% | 12848 | 141% |
| Benzo(a)anthracen | | 237 | 115% | 1536 | 135% |
| Benzo(a)pyren | European Environment Agency, 2016 | 320 | 50% | 1740 | 50% |
| Benzo(g,h,i)perylen | | 560 | 50% | 3475 | 50% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.3.2 LKW und Busse

Bei LKW und Bussen wurde davon ausgegangen, dass alle Fahrzeuge mit Diesel betrieben werden. Es lagen aus der Literatur Emissionsfaktoren für das Fahren im städtischen Bereich und auf Landstraßen vor (Tabelle 28).

Tabelle 28: Literaturdaten zu Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für LKW und Busse in urbanem und ländlichem Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte

| Stoff | Quelle | LKW | | | | Bus | |
|----------------------------|---|------------|------|--------|------|-------|-----|
| | | Landstraße | | Urban | | Urban | |
| | | EF | CV | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Pulles et al., 2012, Klein et al., 2018, DIN EN 590 - 2017-10 | | | 1559 | 14% | 2097 | 14% |
| Zink | | | | 4058 | 13% | 5458 | 13% |
| PAK 16 | Zheng et al., 2017 | 49529 | 87% | 141421 | 88% | | |
| Naphthalin | European Environment Agency, 2016 | | | 56660 | | | |
| Phenanthren | European Environment Agency, 2016 | | | 23000 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 10379 | 107% | 33585 | 96% | | |
| Fluoren | European Environment Agency, 2016 | | | 39990 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 3276 | 85% | 12099 | 88% | | |
| Fluoranthren | European Environment Agency, 2016 | | | 21390 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 8315 | 103% | 25120 | 120% | | |
| Pyren | European Environment Agency, 2016 | | | 31590 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 17292 | 105% | 40264 | 118% | | |
| Benzo(a)anthracen | European Environment Agency, 2016 | | | 2390 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 1132 | 118% | 2313 | 122% | | |
| Benzo(a)pyren | European Environment Agency, 2016 | | | 900 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 341 | 116% | 954 | 203% | | |
| Benzo(g,h,i)perylen | European Environment Agency, 2016 | | | 770 | | | |
| | Zheng et al., 2017 | 939 | 109% | 3706 | 154% | | |

Quelle: TU Wien

Daraus wurden die in Tabelle 29 dargestellten Emissionsfaktoren abgeleitet und für die Stoffflussanalysen verwendet. Jene für Landstraßen für den Straßenabschnitt der L202, jene aus dem urbanen Raum für alle anderen Gebiete.

Tabelle 29: Abgeleitete Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm von LKW und Bussen in urbanem und ländlichem Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Unsicherheitsschätzer

| Stoff | Quellen | Landstraße | | Urban | |
|-----------------------------|--|------------|------|--------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Pulles et al., 2012, Klein et al., 2018, DIN EN 590 - 2017-10 | 1559 | 14% | 1559 | 14% |
| Zink | | 4058 | 13% | 4058 | 13% |
| DEHP | keine Literaturliteraturfunde | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PAK 16 nach US-EPA | Zheng et al., 2017, European Environment Agency, 2016 | 107611 | 34% | 212002 | 29% |
| Naphthalin | European Environment Agency, 2016 Zheng et al., 2017, European Environment Agency, 2016 | 56660 | 50% | 56660 | 50% |
| Fluoren | | 3276 | 85% | 26044 | 76% |
| Phenanthren | | 10379 | 107% | 28293 | 85% |
| Fluoranthren | | 8315 | 103% | 23255 | 97% |
| Pyren | | 17292 | 105% | 35927 | 99% |
| Benzo(a)anthracen | | 1132 | 118% | 2351 | 92% |
| Benzo(a)pyren | | 341 | 116% | 927 | 151% |
| Benzo(g,h,i)perylene | | 939 | 109% | 2238 | 180% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.4 Emissionen durch Reifenabrieb

Autoreifen enthalten neben dem Hauptmaterial eine ganze Reihe an Zuschlagstoffen, insbesondere größere Mengen Zink. In der Vergangenheit wurden auch stark PAK-haltige Weichmacheröle in der Reifenherstellung eingesetzt, welche jedoch seit Januar 2010 in der EU verboten sind (European Chemicals Agency, 2010). Es ist aber für 2017 nicht auszuschließen, dass noch Reifen älterer Bauart oder Importware, welche nicht den europäischen Vorgaben entspricht, im Einsatz ist. In Tabelle 30 sind die in der Literatur gefunde-

nen Daten aufgelistet. Dazu ist anzumerken, dass in der Untersuchung von Celeiro, Dagnac und Llompart (2018) Proben von Altreifengranulat auf Sportplätzen untersucht wurde. Die Sportplätze wurden vor 2010 gebaut, nachträgliches Auftragen von Granulat fand aber auch statt. Dabei enthält das Granulat möglicherweise nicht nur Altreifengranulat, sondern auch andere Gummiabfälle (z. B. Dichtungen). Daher wurde bei der Auswertung auf die Medianwerte zurückgegriffen, um Ausreißer zu eliminieren. Kreider et al. (2010) untersuchten eine Mischprobe aus zwei PKW und einem LKW Reifen. Barrero-Moreno et al. (2018) untersuchten Reifengranulat von Reifen mit Herstellungsdatum vor und nach 2010.

Tabelle 30: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten in Reifenmaterial (mg/kg)

| Stoff | Quelle | Stoff- gehalt | Anmerkungen |
|---------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Zink | Kreider et al., 2010 | 9 000 | Mischprobe |
| | Klein et al., 2018 | 12 000 | Mittelwert PKW |
| | | 23 000 | Mittelwert LKW |
| Kupfer | Kreider et al., 2010 | 21,5 | Mischprobe |
| DEHP | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 8,0 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| Naphthalin | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 0,051 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | 1,18 | Mischprobe |
| Fluoren | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 0,073 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | 0,25 | Mischprobe |
| Phenanthren | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 0,345 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | 1,21 | Mischprobe |
| Fluoranthren | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 2,5 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | 1,62 | Mischprobe |
| Pyren | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 7 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider.2010Physicaland | 0,06 | Mischprobe |

| Stoff | Quelle | Stoff- gehalt | Anmerkungen |
|----------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Benzo(a)anthracen | Barrero-Moreno et al., 2018 | 0,29 | Reifenherstellung vor 2010 |
| | | 0,06 | Reifenherstellung nach 2010 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 0,94 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | 2,87 | Mischprobe |
| Benzo(a)pyren | Barrero-Moreno et al., 2018 | 1,5 | Reifenherstellung vor 2010 |
| | | 1,31 | Reifenherstellung nach 2010 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 1,2 | Reifengranulat auf Sportplätzen |
| | Kreider et al., 2010 | <0,01 | Mischprobe |
| Benzo(g,h,i)perylen | Kreider et al., 2010 | 1,77 | Mischprobe |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 3,2 | Reifengranulat auf Sportplätzen |

Quelle: TU Wien

Die Quantifizierung der Spurenstoffemissionen erfolgt über den Spurenstoffgehalt im Reifenmaterial und Emissionsfaktoren für Reifenabrieb. Tabelle 31 stellt die in der Literatur gefundenen Emissionsfaktoren für Reifenabrieb dar.

Tabelle 31: Literaturwerte zu Emissionsfaktoren (EF) von Reifenabrieb in mg/vkm

| Fahrzeugtyp | Quelle | Zeitraum Datenerfassung | Land- straße | Urban | Gemischt |
|--------------------|--|----------------------------|-----------------|-------|----------|
| Motorrad | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 75 | |
| | Klein et al., 2018 | 2017 | 39 | 60 | |
| PKW | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 166 | |
| | Hillenbrand et al., 2005 | 1992-2002 | | | 90 |
| | Klein et al., 2018 | 2017 | 85 | 132 | |
| Lieferwagen | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 200 | |

| Fahrzeugtyp | Quelle | Zeitraum Datenerfassung | Land- straße | Urban | Gemischt |
|------------------------------|--|----------------------------|-----------------|------------|----------|
| | Klein et al., 2018 | 2017 | 102 | 159 | |
| LKW (kurz) | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 826 | |
| | Hillenbrand et al., 2005 | 1992-2002 | | | 700 |
| LKW | Klein et al., 2018 | 2017 | 546 | 850 | |
| Sattel- schlepper | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 1 067 | |
| | Hillenbrand et al., 2005 | 1992-2002 | | | 1 200 |
| Bus | Broeke, Hulskotte und Denier van der Gon, 2008 | 1974-1998 | | 521 | |
| | Klein et al., 2018 | 2017 | 267 | 415 | |

Quelle: TU Wien

Da keine detaillierte Gliederung der Verkehrsdaten nach Fahrzeugkategorien für die Einzugsgebiete vorlag, wurden nur die Emissionsfaktoren für PKW und für LKW nach Klein et al. (2018) verwendet (in der Tabelle fett gedruckt). Damit ergaben sich die in Tabelle 32 und Tabelle 33 dargestellten Emissionsfaktoren für Spurenstoffe aus Reifenabrieb.

Tabelle 32: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Reifenabrieb von PKW und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Urban | | Landstraße | |
|-------------------|---|-----------|------|------------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Kreider et al., 2010 | 2 841 | 51% | 1 826 | 51% |
| Zink | Klein et al., 2018 | 1 585 397 | 51% | 1 019 184 | 51% |
| DEHP | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 1 057 | 51% | 679 | 51% |
| PAK 16 | Kreider et al., 2010, Barrero-Moreno et al., 2018, Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 2 084 | 38% | 1 340 | 38% |
| Naphthalin | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018, Kreider et al., 2010 | 81 | 130% | 52 | 130% |
| Fluoren | | 21 | 78% | 14 | 78% |

| Stoff | Quelle | Urban | | Landstraße | |
|---------------------|---|-------|------|------------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Phenanthren | | 103 | 79% | 66 | 79% |
| Fluoranthren | | 272 | 52% | 175 | 52% |
| Pyren | | 466 | 139% | 300 | 139% |
| Benzo(a)anthracen | Kreider et al., 2010, Barrero-Moreno et al., 2018, Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 137 | 123% | 88 | 123% |
| Benzo(a)pyren | | 150 | 56% | 97 | 56% |
| Benzo(g,h,i)perylen | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018, Kreider et al., 2010 | 328 | 53% | 211 | 53% |

Quelle: TU Wien

Tabelle 33: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Reifenabrieb von LKW und Variationskoeffizient als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Urban | | Landstraße | |
|-------------------|---|------------|------|------------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Kreider et al., 2010 | 18 268 | 51% | 11 744 | 51% |
| Zink | Klein et al., 2018 | 19 542 258 | 51% | 12 562 880 | 51% |
| DEHP | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 6 797 | 51% | 4 370 | 51% |
| PAK 16 | Kreider et al., 2010, Barrero-Moreno et al., 2018, Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018 | 13 402 | 38% | 8 616 | 38% |
| Naphthalin | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018, Kreider et al., 2010 | 523 | 130% | 336 | 130% |
| Fluoren | | 137 | 78% | 88 | 78% |
| Phenanthren | | 661 | 79% | 425 | 79% |
| Fluoranthren | | 1 750 | 52% | 1 125 | 52% |
| Pyren | | 2 999 | 139% | 1 928 | 139% |
| Benzo(a)anthracen | | 884 | 123% | 568 | 123% |
| Benzo(a)pyren | | 967 | 56% | 622 | 56% |

| Stoff | Quelle | Urban | | Landstraße | |
|----------------------------|--|-------|-----|------------|-----|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Benzo(g,h,i)perylen | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018, Kreider et al., 2010 | 2 111 | 53% | 1 357 | 53% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.5 Emissionen durch Bremsabrieb von Kfz

Beim Bremsvorgang von Kfz kommt es durch Reibung von Bremsbelägen auf einer Bremscheibe oder in einer Bremstrommel zum Abrieb von Partikeln sowohl von den Bremsbelägen als auch in geringerem Ausmaß von der Bremsscheibe/-trommel.

Da nur für Kupfer und Zink direkt Emissionsfaktoren vorlagen, wurde die Berechnung wie beim Reifenabrieb über Spurenstoffgehalte im Bremsbelag/Bremsabrieb und Emissionsfaktoren für Bremsabriebpartikel berechnet. Tabelle 34 stellt die Literaturfunde dar: Der hohe Variationskoeffizient für die Werte aus Gadd und Kennedy (2003) ergibt sich, da DEHP nur in einer von sechs untersuchten Proben quantifiziert werden konnte. Auch bei Lyu et al. (2020) spielen Werte kleiner der analytischen Bestimmungsgrenze eine Rolle. Hier zeigt sich aber weiterhin, dass es kupferhaltige und kupferfreie Bremsbeläge gibt, was eine hohe Variabilität bei der Betrachtung über alle Typen hinweg ergibt. Die Werte aus Plachá et al. (2017) stammen von einem Dynamometer-Test, wobei Abriebmaterial vom Boden der Testkammer als auch aus dem Abluftsystem untersucht wurde. Hier dargestellt ist jeweils der Mittelwert beider Gehalte.

Tabelle 34: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) im Bremsabrieb mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte

| Stoff | Quelle | Stoffgehalt | CV |
|---------------|----------------------------|-------------|------|
| Kupfer | Lyu et al., 2020 | 42 667 | 173% |
| | Wei, Choy und Cheung, 2019 | 37 700 | 55% |
| | Klein et al., 2018 | 38 000 | |
| Zink | Lyu et al., 2020 | 61 000 | 67% |
| | Wei, Choy und Cheung, 2019 | 10 600 | 29% |

| Stoff | Quelle | Stoffgehalt | CV |
|----------------------------|------------------------|-------------|------|
| | Klein et al., 2018 | 15 000 | |
| DEHP | Gadd und Kennedy, 2003 | 123 | 245% |
| PAK 16 | Plachá et al., 2017 | 3,44 | 26% |
| Naphthalin | | 0,345 | 47% |
| Fluoren | | 0,368 | 11% |
| Phenanthren | | 0,568 | 45% |
| Fluoranthren | | 0,264 | 72% |
| Pyren | | 0,262 | 65% |
| Benzo(a)anthracen | | 0,0825 | 11% |
| Benzo(a)pyren | | 0,0265 | 24% |
| Benzo(g,h,i)perylen | | 0,0435 | 28% |

Quelle: TU Wien

Für die Quantifizierung der emittierten Menge an Bremsabrieb wurden die in Tabelle 35 aufgeführten Literaturwerte gefunden. Hagino, Oyama und Sasaki (2016) untersuchten im Labortest die Partikelemissionen mit einem urbanen Fahrzyklus. Ein Vergleich mit gemessenen und modellierten Werten für PM10 in Grigoratos und Martini (2015) zeigte, dass die Werte von Hagino, Oyama und Sasaki (2016) wohl eher niedrig ausfallen. Daher wurde für die SFA auf die in der Tabelle fett gedruckten Werte von Klein et al. (2018) zurückgegriffen.

Tabelle 35: Literaturdaten zu Partikelemissionsfaktoren für Bremsabrieb in mg/vkm

| Fahrzeug | Quelle | Landstraße | Urban |
|--------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| Motorrad | Klein et al., 2018 | 2,27 | 7,58 |
| PKW | Hagino, Oyama und Sasaki, 2016 | | 5,50 |
| | Klein et al., 2018 | 6,27 | 20,9 |
| Lieferwagen | Hagino, Oyama und Sasaki, 2016 | | 5,80 |
| | Klein et al., 2018 | 6,82 | 22,7 |
| LKW | Klein et al., 2018 | 20,6 | 68,7 |

| Fahrzeug | Quelle | Landstraße | Urban |
|----------|--------------------|------------|-------|
| Bus | Klein et al., 2018 | 15,6 | 52,1 |

Quelle: TU Wien

Mit den Spurenstoffgehalten im Bremsabrieb und den Partikelemissionsfaktoren wurden die Spurenstoff-Emissionsfaktoren berechnet (Tabelle 36 und Abbildung 39).

Tabelle 36: Abgeleitete Spurenstoff-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Bremsabrieb von PKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Landstraße | | Urban | |
|-----------------------------|--|------------|------|---------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Lyu et al., 2020, Wei, Choy und Cheung, 2019, Klein et al., 2018 | 247 347 | 113% | 824 489 | 113% |
| Zink | | 180 965 | 82% | 603 217 | 82% |
| DEHP | Gadd und Kennedy, 2003, Klein et al., 2018 | 769 | 245% | 2 563 | 245% |
| PAK 16 | Plachá et al., 2017, Klein et al., 2018 | 21,6 | 28% | 71,9 | 28% |
| Naphthalin | | 2,16 | 48% | 7,21 | 48% |
| Fluoren | | 2,30 | 15% | 7,68 | 15% |
| Phenanthren | | 3,56 | 46% | 11,9 | 46% |
| Fluoranthren | | 1,65 | 72% | 5,51 | 72% |
| Pyren | | 1,64 | 66% | 5,47 | 66% |
| Benzo(a)anthracen | | 0,517 | 15% | 1,72 | 15% |
| Benzo(a)pyren | | 0,166 | 26% | 0,554 | 26% |
| Benzo(g,h,i)perylene | | 0,273 | 29% | 0,909 | 29% |

Quelle: TU Wien

Tabelle 37: Abgeleitete Spurenstoff-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Bremsabrieb von LKW und Bussen mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Landstraße | | Urban | |
|----------------------------|--|------------|-------|-----------|------|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Lyu et al., 2020, Wei, Choy und Cheung, 2019, Klein et al., 2018 | 812 660 | 113% | 2 708 867 | 113% |
| Zink | | 594 562 | 82% | 1 981 875 | 82% |
| DEHP | Gadd und Kennedy, 2003, Klein et al., 2018 | 2 527 | 245% | 8 422 | 245% |
| PAK 16 | Plachá et al., 2017, Klein et al., 2018 | 70,8 | 28% | 236 | 28% |
| Naphthalin | | 7,11 | 48% | 23,7 | 48% |
| Fluoren | | 7,57 | 15% | 25,2 | 15% |
| Phenanthren | | 11,7 | 46% | 39,0 | 46% |
| Fluoranthren | | 5,43 | 72% | 18,1 | 72% |
| Pyren | | 5,40 | 66% | 18,0 | 66% |
| Benzo(a)anthracen | | 1,70 | 15% | 5,66 | 15% |
| Benzo(a)pyren | 0,546 | 26% | 1,819 | 26% | |
| Benzo(g,h,i)perylen | 0,896 | 29% | 2,987 | 29% | |

Quelle: TU Wien

3.3.1.6 Emissionen durch Tropfverluste von Motoröl

Motoröl reichert mit anhaltender Nutzung PAK aus dem Verbrennungsprozess und Metalle aus Verschleiß des Motors an. Kommt es zu Tropfverlusten (vorwiegend im stehenden Verkehr), werden mit dem Motoröl Spurenstoffe emittiert. Tabelle 38 zeigt die in der Literatur gefundenen Stoffgehalte im Motoröl. Diese zeigen eine extrem große Variabilität.

Tabelle 38: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) von gebrauchtem Motoröl mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte

| Stoff | Quelle | Stoffgehalt | CV |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------|------|
| Kupfer | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 33,8 | |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 825 | |
| Zink | Dörr et al., 2019 | 940 | |
| | | | |
| DEHP | Cornak und Jarosova, 2013 | 15,4 | 228% |
| | Souza und Corrêa, 2016 | 1,10 | 107% |
| Naphthalin | Wang et al., 2000 | 91,9 | 12% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 6000 | |
| Fluoren | Souza und Corrêa, 2016 | 0,183 | 79% |
| | Wang et al., 2000 | 59,6 | 6% |
| Phenanthren | Souza und Corrêa, 2016 | 1,69 | 69% |
| | Wang et al., 2000 | 221 | 25% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 1000 | |
| | Souza und Corrêa, 2016 | 0,0650 | 102% |
| Fluoranthren | Wang et al., 2000 | 60,9 | 27% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 200 | |
| Pyren | Souza und Corrêa, 2016 | 2,02 | 85% |
| | Wang et al., 2000 | 88,6 | 26% |
| Benzo(a)anthracen | Cvengroš, Liptaj und Prónayová, 2017 | 7,22 | 93% |
| | Wang et al., 2000 | 48,8 | 30% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 175 | |
| | Cvengroš, Liptaj und Prónayová, 2017 | 3,24 | 83% |
| Benzo(a)pyren | Wang et al., 2000 | 57,5 | 26% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 180 | |
| Benzo(g,h,i)perylen | Wang et al., 2000 | 40,9 | 24% |
| | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 220 | |

Quelle: TU Wien

Mit durchschnittlichen Tropfverlusten von 10 mg/vkm nach van Hoorn und van den Roovaart (2008) ($\pm 10\%$ geschätzte Unsicherheit) und den Mittelwerten aus den oben dargestellten Spurenstoffgehalten wurden die Emissionsfaktoren berechnet (Tabelle 39).

Tabelle 39: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Tropfverluste von Motoröl bei KFZ mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | EF | CV |
|----------------------------|---|--------|------|
| Kupfer | van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 338 | 14% |
| Zink | Dörr et al., 2019, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 8 825 | 14% |
| DEHP | Cornak und Jarosova, 2013, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 154 | 229% |
| PAK 16 | Wang et al., 2000, Souza und Corrêa, 2016, Cvengroš, Liptaj und Prónayová, 2017, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 13 883 | 146% |
| Naphthalin | | 7 080 | 281% |
| Fluoren | | 341 | 94% |
| Phenanthren | Wang et al., 2000, Souza und Corrêa, 2016, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 2 101 | 152% |
| Fluoranthren | | 493 | 132% |
| Pyren | | 453 | 108% |
| Benzo(a)anthracen | Wang et al., 2000, Cvengroš, Liptaj und Prónayová, 2017, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 239 | 168% |
| Benzo(a)pyren | | 229 | 190% |
| Benzo(g,h,i)perylen | Wang et al., 2000, van Hoorn und van den Roovaart, 2008 | 767 | 105% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.7 Emissionen aus der Kfz-Karosserie

Neben den zuvor genannten Emissionen von Kfz kommt es auch von den äußeren Oberflächen des Fahrzeuges zu Stoffemissionen. Diese können durch Auswaschung und Abrieb von Substanzen aus dem Oberflächenmaterial (Lack, Kunststoffe) oder von zuvor aufgetragenen Pflegeprodukten (Waschmittel, Politur) stammen.

Die Quantifizierung dieser Emissionen ist schwierig und mit großen Unsicherheiten behaftet: Die Datenerhebung kann durch Abwaschversuche oder durch Massenbilanzierung über die Lebensdauer des Kfz erfolgen. Hier wurde auf Daten aus Autowaschversuchen von Munz (2018) zurück gegriffen. Hier zeigen sich besonders hohe Emissionen für DEHP, welches als Weichmacher im Kunststoff des Unterbodens der Fahrzeuge verwendet wird oder wurde.

Tabelle 40: Verwendete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Emissionen von der Kfz-Karosserie mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | EF | CV |
|---------------------|-----------------------|------|------|
| Kupfer | keine Daten verfügbar | 0 | 0% |
| Zink | | 0 | 0% |
| DEHP | Munz, 2018 | 3025 | 103% |
| PAK 16 | | 87,4 | 108% |
| Naphthalin | | 1,48 | 105% |
| Fluoren | | 1,17 | 107% |
| Phenanthren | | 10,1 | 109% |
| Fluoranthren | | 16,8 | 118% |
| Pyren | | 19,3 | 101% |
| Benzo(a)anthracen | | 3,45 | 114% |
| Benzo(a)pyren | | 4,97 | 100% |
| Benzo(g,h,i)perylen | | 7,32 | 86% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.8 Emissionen durch Abrieb von Straßenbelag

Durch die Reibung der Reifen auf der Fahrbahn kommt es neben Abrieb von Reifenmaterial auch zu Abrieb von Fahrbahnmaterial. Dies ist im Winter besonders ausgeprägt, wenn Frostsprengungen Teile der Fahrbahn auflockern und Streugut für zusätzliche Reibung sorgt.

Die Quantifizierung der Spurenstoffemissionen durch Fahrbahnabrieb erfolgt wiederum über den Spurenstoffgehalt im Fahrbahnmaterial und Partikelemissionsfaktoren. Aufgrund der häufigen Verwendung und des mutmaßlich relevanten PAK-Gehaltes wurden Asphaltstraßenbeläge genauer betrachtet. Das Bindemittel von Asphalt (Bitumen) stammt heute aus der Erdölraffination, vor 1984 wurde auch Steinkohleteerpech verwendet, welches deutlich höhere PAK-Gehalte aufweist (Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007). Dieser kann durch Einbau von kontaminiertem Recyclinggranulat aus alten Straßenbelägen noch als Kontamination in der Mineralkornphase des Asphaltbelages zu finden sein. Ansonsten wird eine PAK-Belastung vorwiegend im Bitumenbindemittel zu erwarten sein. Dies macht ca. 5 % des Asphaltbelages aus (Kriech et al., 2002; Winther und Slentø, 2010).

Die in der aktuellen Literatur gefundenen Daten zu PAK in Asphaltbindemittel sind in Tabelle 41 dargestellt. Sie wurden mit dem mittleren Bindemittelgehalt von 5 % ($\pm 2,5$ %) auf Stoffgehalte im Asphalt umgerechnet.

Tabelle 41: Literaturwerte zum mittleren PAK-Gehalt in mg/kg in Asphaltbindemitteln. Messwerte < Bestimmungsgrenze wurden mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze bei der Mittelwertbildung berücksichtigt. Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte.

| Stoff | Quelle | Stoffgehalt | CV |
|--------------------|---------------------------|-------------|------|
| PAK 16 | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 150 | 10% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 8,50 | 21% |
| | Fernandes et al., 2009 | 4,82 | 18% |
| Naphthalin | Gadd und Kennedy, 2003 | 0,300 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 0,500 | 100% |
| | Kriech et al., 2002 | 0,500 | 100% |
| Fluoren | Fernandes et al., 2009 | 9,76 | 18% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 0,100 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 0,500 | 100% |
| | Kriech et al., 2002 | 0,817 | 51% |
| Phenanthren | Fernandes et al., 2009 | 7,97 | 17% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 0,300 | |

| Stoff | Quelle | Stoffgehalt | CV |
|----------------------------|---------------------------|-------------|------|
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 4,31 | 16% |
| | Kriech et al., 2002 | 8,77 | 16% |
| Fluoranthren | Fernandes et al., 2009 | 6,90 | 30% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 0,400 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 6,35 | 12% |
| | Kriech et al., 2002 | 0,500 | 100% |
| Pyren | Fernandes et al., 2009 | 8,48 | 17% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 2,10 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 6,68 | 12% |
| | Kriech et al., 2002 | 2,60 | 21% |
| Benzo(a)anthracen | Fernandes et al., 2009 | 9,33 | 22% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 1,00 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 36,9 | 11% |
| | Kriech et al., 2002 | 0,883 | 48% |
| Benzo(a)pyren | Fernandes et al., 2009 | 10,1 | 19% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 0,100 | |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 8,19 | 10% |
| | Kriech et al., 2002 | 1,03 | 47% |
| Benzo(g,h,i)perylen | Fernandes et al., 2009 | 20,5 | 26% |
| | Ilechukwu und Osuji, 2013 | 0,500 | 100% |
| | Kriech et al., 2002 | 0,900 | 47% |
| | Gadd und Kennedy, 2003 | 2,20 | |

Quelle: TU Wien

In Tabelle 42 sind die in der Literatur gefundenen Daten zu Spurenstoffen in Straßenabrieb dargestellt.

Tabelle 42: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) in Straßenabrieb

| Stoff | Quelle | Datenerfassung | Baujahr der Straßendeckschicht | Stoffgehalt |
|----------------------------|---|----------------|--------------------------------|-------------|
| Kupfer | Winther und Slentø, 2010 | 1990-2001 | | 10 |
| | Klein et al., 2018 | < 2018 | | 12 |
| Zink | Winther und Slentø, 2010 | 1990-2001 | | 75,6 |
| | Klein et al., 2018 | < 2018 | | 35 |
| PAK 16 | Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007 | 2002 | 1980 | 3,5 |
| | | | 2001 | 2,1 |
| Naphthalin | | | 1980 | 0,067 |
| | | | 2001 | 0,024 |
| Fluoren | | | 1980 | 0,083 |
| | | | 2001 | 0,029 |
| Phenanthren | | | 1980 | 0,2 |
| | | | 2001 | 0,14 |
| Fluoranthren | | | 1980 | 0,38 |
| | | | 2001 | 0,048 |
| Pyren | | | 1980 | 0,38 |
| | | | 2001 | 0,082 |
| Benzo(a)anthracen | | | 1980 | 0,19 |
| | | | 2001 | 0,12 |
| Benzo(a)pyren | | | 1980 | 0,083 |
| | | | 2001 | 0,03 |
| Benzo(g,h,i)perylen | 1980 | 0,33 | | |
| | 2001 | 0,073 | | |

Quelle: TU Wien

Emissionsfaktoren für Partikel durch Straßenabrieb wurden aus Klein et al. (2018) entnommen (Tabelle 43). Während Denier van der Gon, Broeke und Hulskotte (2008) diese Werte bestätigen, verwenden Petrucci et al. (2014) einen deutlich kleineren Wert von 4,5 mg/vkm ($\pm 33\%$).

Tabelle 43: Literaturdaten zu Emissionsfaktoren in mg/vkm für Straßenabriebpartikel durch KFZ

| Fahrzeugtyp | Quelle | Städtischer Verkehr | Landstraße |
|-------------|--------------------|---------------------|------------|
| PKW | Klein et al., 2018 | 180 | 116 |
| LKW | | 922 | 592 |

Quelle: TU Wien

Damit wurden die in Tabelle 44 und Tabelle 45 angegebenen Emissionsfaktoren berechnet.

Tabelle 44: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Straßenabrieb von PKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator der Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Städtischer Verkehr | | Landstraße | |
|-----------------------------|---|---------------------|-----|------------|-----|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Klein et al., 2018, Winther und Slentø, 2010 | 1 979 | 11% | 1 272 | 11% |
| Zink | | 9 947 | 12% | 6 394 | 12% |
| DEHP | Keine Literaturliteraturfunde | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PAK 16 | Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007, Gadd und Kennedy, 2003, Ilechukwu und Osuji, 2013, Kriech et al., 2002, Winther und Slentø, 2010, Klein et al., 2018 | 608 | 14% | 391 | 14% |
| Naphthalin | Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007, Gadd und Kennedy, 2003, Fernandes et al., 2009, Ilechukwu und Osuji, 2013, Kriech et al., 2002, Winther und Slentø, 2010, Klein et al., 2018 | 11,9 | 35% | 7,6 | 35% |
| Fluoren | | 20,1 | 35% | 12,9 | 35% |
| Phenanthren | | 42,2 | 19% | 27,1 | 19% |
| Fluoranthren | | 34,1 | 26% | 21,9 | 26% |
| Pyren | | 43,6 | 17% | 28,0 | 17% |
| Benzo(a)anthracen | | 81,5 | 22% | 52,4 | 22% |
| Benzo(a)pyren | | 32,4 | 25% | 20,9 | 25% |
| Benzo(g,h,i)perylene | | 48,3 | 41% | 31,0 | 41% |

Quelle: TU Wien

Tabelle 45: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Straßenabrieb von LKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator der Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Städtischer Verkehr | | Landstraße | |
|----------------------------|---|---------------------|-----|------------|-----|
| | | EF | CV | EF | CV |
| Kupfer | Klein et al., 2018, Winther und Slentø, 2010 | 10 138 | 11% | 6 517 | 11% |
| Zink | | 50 966 | 12% | 32 764 | 12% |
| DEHP | Keine Literaturliteraturfunde | 0 | 0% | 0 | 0% |
| PAK 16 nach US-EPA | Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007, Gadd und Kennedy, 2003, Ilechukwu und Osuji, 2013, Kriech et al., 2002, Winther und Slentø, 2010, Klein et al., 2018 | 3 115 | 14% | 2002 | 14% |
| Naphthalin | Birgisdóttir, Gamst und Christensen, 2007, Gadd und Kennedy, 2003, Fernandes et al., 2009, Ilechukwu und Osuji, 2013, Kriech et al., 2002, Winther und Slentø, 2010, Klein et al., 2018 | 60,9 | 35% | 39,2 | 35% |
| Fluoren | | 103 | 35% | 66,2 | 35% |
| Phenanthren | | 216 | 19% | 139 | 19% |
| Fluoranthren | | 175 | 26% | 112 | 26% |
| Pyren | | 224 | 17% | 144 | 17% |
| Benzo(a)anthracen | | 417 | 22% | 268 | 22% |
| Benzo(a)pyren | | 166 | 25% | 107 | 25% |
| Benzo(g,h,i)perylen | | 247 | 41% | 159 | 41% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.9 Spurenstoffeinträge durch Schienenverkehr

Im Einzugsgebiet des R05 finden sich zwei Trambahnlinien und einige Eisenbahnlinien. Relevante Emissionen sind beim Schienenverkehr durch Abrieb von Oberleitungen, Stromabnehmern, Gleisen, Rädern und Bremsanlagen der Züge zu erwarten.

Beim Abrieb von Oberleitungen spielt besonders Kupfer eine große Rolle, da Oberleitungen großenteils aus Kupfer gefertigt sind. Emissionsfaktoren zu Kupferabrieb von Oberleitungen geben Kral et al. (2014) bezogen auf die Strecke mit 8,54 kg/km/a an. Mit diesem Emissionsfaktor wurden die Emissionen der beiden Trambahnlinien berechnet.

Für den sonstigen Eisenbahnverkehr wurde davon ausgegangen, dass die Entwässerung der Gleisanlagen nicht in nennenswertem Umfang über den Mischwasserkanal erfolgt und die Emissionen daher nicht berücksichtigt.

3.3.1.10 Spurenstoffeinträge aus Dachmaterial

Für die Deckung von Dächern steht eine Vielzahl verschiedener Materialien zur Verfügung, gängige sind: Tonziegel, Betondachsteine, Faserzement (Handelsname „Eternit“), Bitumenbahnen oder -schindeln, Kunststoffe und Metallbleche oder -dachpfannen (Kupfer, Zink, verzinkter Stahl, Aluminium). Flachdächer sind häufig als Kiesdächer oder Gründächer ausgeführt. Hier findet sich als dichtende Schicht meist eine Bitumen- oder Kunststoffschicht.

Durch den Niederschlag auf Dachflächen werden Spurenstoffe aus dem Dachmaterial herausgelöst oder Partikel des Dachmaterials abgewaschen. Als besonders relevant haben sich die Zink- und Kupferemissionen aus Metaldächern und Dachinstallationen (z. B. Regenrinnen und Fallrohre) aus eben diesen Materialien herausgestellt. Dazu gibt es auch verschiedenste Studien, in welchen Emissionsfaktoren für verschiedene Materialtypen abgeleitet werden: Dabei werden einerseits Konzentrationen im Ablaufwasser angegeben (Müller et al., 2019; McIntyre et al., 2019; Robert-Sainte et al., 2009), welche als Emissionsfaktoren pro Fläche und mm Niederschlag interpretiert werden können, und andererseits flächen- und zeitbezogene Emissionsfaktoren (Robert-Sainte et al.; 2009; Faller und Reiss, 2005). Die Höhe der Emissionsfaktoren schwankt dabei sehr stark, abhängig vom spezifischen Material: So gibt Robert-Sainte et al. (2009) für alte Zinkbleche einen Emissionsfaktor von $4,5 \text{ mg/m}^2/\text{a}$ an, für ein lackiertes galvanisiertes Stahlblech, obwohl es auch Zink enthält, aber nur $0,007 \text{ mg/m}^2/\text{a}$. Da es nicht möglich ist in den Untersuchungsgebieten das Material von Metaldachflächen genau zu bestimmen, liegen hier extrem große Unsicherheiten in der Quantifizierung der Emissionen.

Es wurde davon ausgegangen, dass die Verwitterung des Dachmaterials nicht in erster Linie proportional zur Niederschlagsmenge verläuft, sondern eher mit der Zeit kontinuierlich stattfindet. Daher wurden die Daten aus allen Studien mit der in den Studien angegebenen Jahresniederschlagsmenge auf flächen- und zeitbezogene Emissionsfaktoren umgerechnet und so verwendet.

Aufgrund des großen Umfangs der Literaturdaten, werden diese hier nicht in tabellarischer Form dargestellt. Tabelle 46 zeigt die verwendeten Emissionsfaktoren für Kupfer,

Zink und DEHP aus Dächern verschiedenen Materials. Weiterhin können Emissionen von PAK aus Bitumendachmaterial relevant sein, es wurde jedoch keine geeignete Studie gefunden, um diese zu quantifizieren. Es lag lediglich eine Laborstudie vor (Horváth und Clement, 2013), in welcher jedoch extreme Bedingungen simuliert wurden, welche eine direkte Übertragung der Emissionsfaktoren als nicht sinnvoll erscheinen lassen. Für alle weitere, hier nicht genannten Spurenstoff-Dachmaterial-Kombinationen, wurden keine Informationen in der Literatur gefunden und daher keine Emissionen berechnet.

Tabelle 46: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in mg/m²/a für Spurenstoffe aus Dachmaterialien mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit

| Dachtyp | Stoff | Quellen | EF | CV |
|------------------------------|--------|---|--------|------|
| Kupferblech | Kupfer | Faller und Reiss, 2005, Winters, Granuke und McCall, 2015, McIntyre et al., 2019, Müller et al., 2019 | 1214 | 60% |
| | Zink | | 1,033 | 59% |
| Zinkblech | Zink | Faller und Reiss, 2005, Robert-Sainte et al., 2009, Winters, Granuke und McCall, 2015, McIntyre et al., 2019, Müller et al., 2019 | 2256 | 70% |
| | Kupfer | | 0,441 | 300% |
| Gründach Kiesdach | Kupfer | Winters, Granuke und McCall, 2015, McIntyre et al., 2019 | 0,0761 | 120% |
| | Zink | | 2,80 | 140% |
| Bitumen | Kupfer | McIntyre et al., 2019, Winters, Granuke und McCall, 2015, Müller et al., 2019 | 3,12 | 320% |
| | Zink | | 10,3 | 120% |
| Beton | Kupfer | | 0,0815 | 140% |
| | Zink | Winters, Granuke und McCall, 2015, McIntyre et al., 2019 | 0,661 | 140% |
| Holz | Kupfer | | 22,9 | 180% |
| | Zink | | 1,63 | 110% |
| PVC | Zink | Müller et al., 2019 | 6,7 | 280% |
| | DEHP | | 0,00 | 10% |

Quelle: TU Wien

3.3.1.11 Spurenstoffeinträge aus Kunstrasenplätzen

Auf Sportplätzen, die mit Kunstrasen ausgestattet sind, wird als Dämpfungsmaterial zwischen den Polyethylen-Halmen ein Granulat eingestreut. Dieses „Infill“ besteht üblicher-

weise aus granuliertem Gummi, das aus dem Recycling von Autoreifen und anderen Gummikomponenten gewonnen wird. Das Granulat kann durch Abschwemmung, Auswehung, Schneefräsen und den Spielbetrieb aus dem Platz emittiert werden und über Abschwemmung in den Kanal gelangen. Weiterhin können durch Leaching des Niederschlagswassers Spurenstoffe aus dem Granulat ausgewaschen und über die Dränage des Platzes in den Kanal oder die Gewässer gelangen. Um die Spurenstoffemissionen durch das Leaching zu quantifizieren wurden die in Tabelle 47 gelisteten Konzentrationen in der Literatur gefunden.

Tabelle 47: Literaturdaten zu Konzentrationen ($\mu\text{g/L}$) von Spurenstoffen im Sickerwasser aus Kunstrasenplätzen

| Stoff | Quelle | Konzentration |
|--------------|---|---------------|
| Zink | | 3,29 |
| DEHP | Plesser und Lund, 2004 zitiert in Källqvist, 2005 | 5,6 |
| PAK 16 | | 0,87 |
| Naphthalin | | 0,15 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018* | 0,077 |
| Fluoren | Plesser und Lund, 2004 zitiert in Källqvist, 2005 | 0,04 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018* | 0,021 |
| Phenanthren | Plesser und Lund, 2004 zitiert in Källqvist, 2005 | 0,17 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018* | 0,13 |
| Fluoranthren | Plesser und Lund, 2004 zitiert in Källqvist, 2005 | 0,06 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018* | 0,62 |
| Pyren | Plesser und Lund, 2004 zitiert in Källqvist, 2005 | 0,13 |
| | Celeiro, Dagnac und Llompart, 2018* | 0,93 |

* Wert aus Grafik extrahiert.

Quelle: TU Wien

Der Mittelwert der angegebenen Konzentrationen wurde mit der Niederschlagsmenge auf Kunstrasenplätze multipliziert um die ausgewaschene Spurenstoffmenge zu quantifizieren.

3.3.1.12 Spurenstoffeinträge aus Konsumentenprodukten im Außenbereich

Für DEHP spielten laut Björklund, Malmqvist und Strömvall (2007) die Emissionen von Konsumentenprodukten wie Schuhsohlen, Regenbekleidung, Kinderwagenräder, Fahrradkomponenten etc. im Außenbereich eine wichtige Rolle. Sie geben einen Emissionsfaktor von 83 mg/Einwohner/a an. Die Datenerhebung dieser Untersuchung stammt aber aus den Jahren 2002–2005 und aufgrund von Substitution von DEHP in Produkten durch andere Weichmacher und der begrenzten Lebensdauer der Produkte, dürften heute nur noch wenige Produkte mit solch hohen DEHP-Gehalten im Einsatz sein. So geben z. B. Muchangos et al. (2019) die mittlere Lebensdauer von Schuhen mit < 3 Jahren an. Daher wurde mit der Annahme gerechnet, dass 2017 aufgrund des Einsatzes anderer Weichmacher und bereits erfolgten Emissionen aus alten Produkten nur noch 5 % der damaligen Mengen emittiert wird: 4,15 mg/Einwohner/a.

Für andere Spurenstoffe wurden keine Emissionsfaktoren für solche Emissionen in der Literatur gefunden und daher diese Einträge nicht quantifiziert.

3.3.1.13 Spurenstoffeinträge über Fremdwasser im Niederschlagskanal und Schmutzwasser im Mischsystem

In Niederschlagskanälen im Trennsystem gibt es meist auch bei Trockenwetter einen geringen Abfluss (Fremdwasser), der durch die lange Dauer aber auch nennenswerte Stofffrachten transportieren kann. Als Untersuchungsgebiete wurden bewusst Kanaleinzugsgebiete mit eher geringem Fremdwasserabfluss gewählt. In diesen Gebieten kommen als Ursache für das Fremdwasser z. B. folgende Quellen in variablen Anteilen in Frage: An undichten Stellen in den Kanal einsickerndes Grundwasser bei tiefliegenden Kanälen bzw. hohen Grundwasserständen, Fehlanlüsse von Schmutzwasserkanälen einzelner Haushalte, Drainagewasser von Haus- und Grundstücksdränagen.

Im Mischwasserkanal am R05 und im Niederschlagskanal der Ziegelstraße in Graz wurden separat Trockenwetterkonzentrationen gemessen. Kombiniert mit den dazu abgeschätzten Trockenwetterabflüssen, im Fall des R05 Schmutzwasser, im Fall der Ziegelstraße Fremdwasser, lassen sich die transportierten Stofffrachten bei Trockenwetter quantifizieren. Diese wurden in den beiden Gebieten mit dargestellt, um eine Bedeutung der Niederschlagsabflussfracht in Relation zur Trockenwetterfracht darzustellen. Während beim R05 die Trockenwetterfracht in der Kläranlage einem Reinigungsprozess zugeführt wird, landet die Fremdwasserfracht in der Ziegelstraße direkt im Gewässer. Die zur Frachtberechnung verwendeten Konzentrationen sind in Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48: Konzentrationen ($\mu\text{g/L}$) im Trockenwetterabfluss mit Variationskoeffizient als Unsicherheitsschätzer

| Stoff | Mischwasserkanal am R05 | | Niederschlagskanal Ziegelstraße | |
|---------------------|-------------------------|------|---------------------------------|------|
| | Konzentration | CV | Konzentration | CV |
| Kupfer | 39 | 10% | 9,5 | 10% |
| Zink | 200 | 10% | 18 | 10% |
| DEHP | 3,3 | 10%1 | 0,92 | 10% |
| PAK 16 | 0,29 | 10% | 0,046 | 10% |
| Naphthalin | 0,015 | 10% | 0,0093 | 10% |
| Fluoren | 0,0072 | 10% | 0,0018 | 10% |
| Phenanthren | 0,07 | 10% | 0,035 | 10% |
| Fluoranthen | 0,022 | 10% | 0,0005 | 100% |
| Pyren | 0,069 | 10% | 0,00025 | 100% |
| Benzo(a)anthracen | 0,0038 | 10% | 0,00025 | 100% |
| Benzo(a)pyren | 0,0019 | 10% | 0,00025 | 100% |
| Benzo(g,h,i)perylen | 0,00075 | 30% | 0,00025 | 100% |

Quelle: TU Wien

Als mittlerer Wert für die Konzentration wurde der Mittelwert von Minimalauswertung und Maximalauswertung (2.2.1) verwendet, als Standardabweichung der Konzentration die halbe Differenz zwischen Minimalauswertung und Maximalauswertung. Dort wo keine Werte kleiner Bestimmungsgrenze vorlagen, wurde pauschal ein Variationskoeffizient von 0,1 für die Konzentrationen angesetzt.

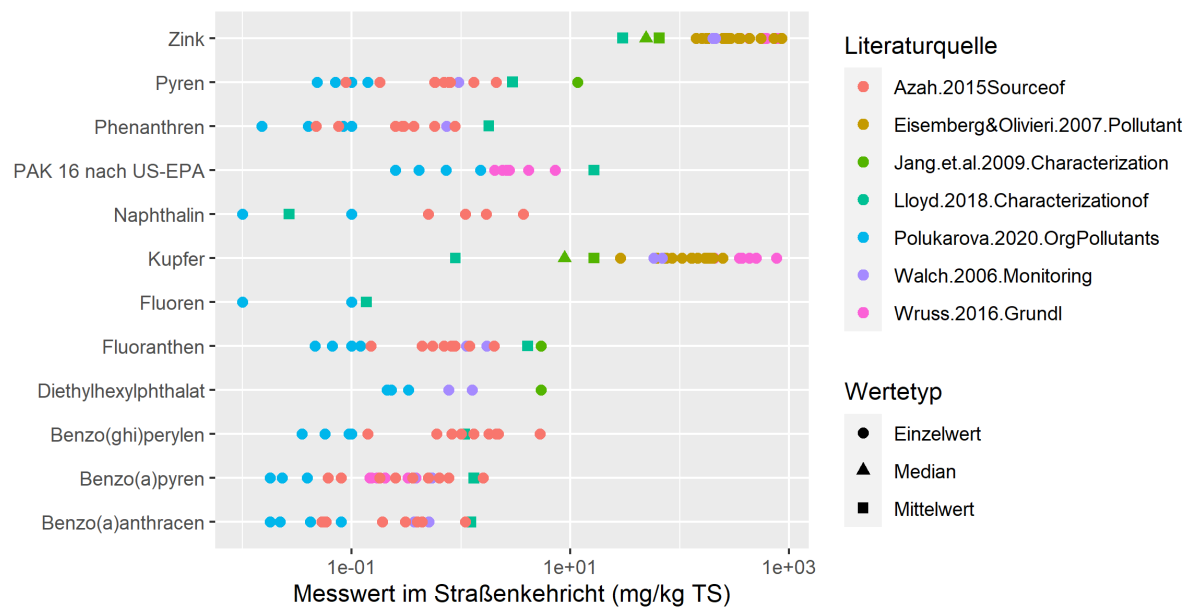
Für die anderen Gebiete wurden keine Trockenwetterabflussproben generiert und gemessen und daher auch keine separaten Trockenwetterfrachten berechnet.

3.3.1.14 Spurenstoffausträge über Straßenreinigung und Sinkkastenentleerung

Als Austragspfade von Spurenstoffen kommen neben dem Niederschlagskanal auch die Straßenreinigung und die Entleerung der Straßeneinlaufschächte in Frage.

Die in der Literatur gefundenen Konzentrationen von Spurenstoffen im Straßenkehrgut streuen über mehrere Größenordnungen (Abbildung 31). Dadurch ergeben sich auch für die daraus abgeleiteten aggregierten Werte sehr hohe Datenunsicherheiten, ausgedrückt in hohen Variationskoeffizienten (Tabelle 49).

Abbildung 31: Streuung der Literaturwerte zu Spurenstoffgehalten im Straßenkehrrecht dargestellt auf einer logarithmischen Skala (jeder senkrechte weiße Strich des Datengitters entspricht einer Zehnerpotenz)



Quelle: TU Wien

Tabelle 49: Abgeleitete Spurenstoffgehalte in mg/kg im Straßenkehrgut mit Variationskoeffizient (CV) als Schätzer für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Gehalt | CV |
|-------------------|--|--------|------|
| Kupfer | Lloyd et al., 2018, Wruss, 2016, Jang et al., 2009, | 130 | 140% |
| Zink | Eisemberg und Olivieri, 2007, Walch, 2006 | 254 | 100% |
| DEHP | Polukarova et al., 2020, Jang et al., 2009, Walch, 2006 | 2,23 | 120% |
| PAK 16 | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Wruss, 2016 | 7 | 120% |
| Naphthalin | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Azah, Kim und | 0,611 | 160% |

| Stoff | Quelle | Gehalt | CV |
|----------------------------|---|--------|------|
| | Townsend, 2015 | | |
| Fluoren | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018 | 0,0957 | 60% |
| Phenanthren | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Azah, Kim und Townsend, 2015, Walch, 2006 | 0,756 | 100% |
| Fluoranthren | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Azah, Kim und Townsend, 2015, Jang et al., 2009, Walch, 2006 | 2,36 | 100% |
| Pyren | | 3,24 | 150% |
| Benzo(a)anthracen | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Azah, Kim und Townsend, 2015, Walch, 2006 | 0,516 | 100% |
| Benzo(a)pyren | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Wruss, 2016, Azah, Kim und Townsend, 2015, Walch, 2006 | 0,506 | 100% |
| Benzo(g,h,i)perylen | Polukarova et al., 2020, Lloyd et al., 2018, Azah, Kim und Townsend, 2015 | 0,954 | 100% |

Quelle: TU Wien

Für Gehalte von Spurenstoffen in Sedimenten von Straßeneinlaufschächten wurden weniger Literaturstellen gefunden, aber auch hier streuen die Daten stark (Tabelle 50).

Tabelle 50: Abgeleitete Spurenstoffgehalte in mg/kg in Sedimenten von Straßeneinlaufschächten mit Variationskoeffizient (CV) als Schätzer für die Datenunsicherheit

| Stoff | Quelle | Gehalt | CV |
|---------------------|---|--------|------|
| Kupfer | Adler, 2020, Karlsson und Viklander, 2008b | 36 | 50% |
| Zink | | 144 | 70% |
| DEHP | Keine Daten verfügbar | 0 | 0 |
| PAK 16 | Karlsson und Viklander, 2008a | 10,4 | 90% |
| Naphthalin | | 6,9 | 100% |
| Fluoren | | 0,4 | 70% |
| Phenanthren | Azah, Kim und Townsend, 2015, Karlsson und Viklander, 2008a | 0,62 | 80% |
| Fluoranthren | | 0,95 | 70% |

| Stoff | Quelle | Gehalt | CV |
|---------------------|--------|--------|------|
| Pyren | | 0,884 | 80% |
| Benzo(a)anthracen | | 0,34 | 120% |
| Benzo(a)pyren | | 0,51 | 140% |
| Benzo(g,h,i)perylen | | 1,43 | 130% |

Quelle: TU Wien

Die Gehalte der Spurenstoffe im Straßenkehricht und Sedimenten von Straßeneinlaufschächten wurden mit den entsprechenden entnommenen Feststofffrachten (Abschnitt 2.3.6.5) multipliziert um die auf diesem Pfad aus dem System entnommenen Frachten zu quantifizieren.

3.3.1.15 Spurenstoffausträge über den Niederschlagswasserkanal

Die Spurenstoffausträge über den Niederschlagswasserkanal wurden mithilfe der in dieser Studie erhobenen Abfluss- und Konzentrationsdaten berechnet und ebenfalls als Exportpfad in die Stoffflussanalyse implementiert.

Damit findet die Plausibilisierung der SFA im SFA-System selber statt: Kann das SFA-System innerhalb der angegebenen Unsicherheiten ausgeglichen werden, ist die Analyse plausibel und die bedeutenden Quellen und Pfade sind potenziell richtig erfasst. Kann das System nicht ausgeglichen werden, so passen die Input- und Outputpfade oder die Transferkoeffizienten nicht zusammen und das System muss weiter untersucht werden, um es besser zu verstehen. In Tabelle 51 ist der Ausgang der verschiedenen Stoffflussanalysen für die betrachteten Spurenstoffe und Einzugsgebiete dargestellt:

- Für Kupfer konnte in allen Gebieten ein SFA-System ausgeglichen werden.
- Für Zink gelang der Ausgleich des SFA-Systems nur in einem Gebiet nicht, wobei dies den „Langackerweg“ als das kleinste Wohngebiet betrifft. Bei kleinen Gebieten treten lokale Besonderheiten stärker heraus, so dass eine SFA basierend auf Daten aus der Literatur hier ggfs. nicht gut genug die lokalen Verhältnisse abbilden kann.
- Für DEHP konnte nur für drei Gebiete ein ausgeglichenes SFA-System erstellt werden, die beiden Gebiete mit starker Verkehrsbelastung (L2020 und Siedlungsgebiet Ost) ergaben Fehler.

- Für die PAK konnte nur für einzelne Stoffe und in einzelnen Gebieten ein ausgeglichenes SFA-System aufgestellt werden. Hier kann der Versuch einer SFA mit den vorliegenden Daten als gescheitert betrachtet werden. Trotzdem lassen sich aus den vorliegenden SFA interessante Erkenntnisse gewinnen (Abschnitt 3.3.2.4).

Tabelle 51: Übersicht über den Ausgang der Stoffflussanalysen für die verschiedenen Kanaleinzugsgebiete: Ein glücklicher Smiley (☺) symbolisiert ein erfolgreich ausgeglichenes SFA-System, ein trauriger Smiley (☹) ein nicht ausgleichbares SFA-System.

| Stoff | L202 | Langackerweg | Ziegelstraße | Siedlungsgebiet Ost | R05 |
|---------------------|------|--------------|--------------|---------------------|-----|
| Kupfer | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ |
| Zink | ☺ | ☹ | ☺ | ☺ | ☺ |
| DEHP | ☹ | ☺ | ☺ | ☹ | ☺ |
| PAK 16 | ☹ | ☹ | ☺ | ☹ | ☹ |
| Naphthalin | ☹ | ☹ | ☺ | ☹ | ☹ |
| Fluoren | ☹ | ☺ | ☺ | ☹ | ☹ |
| Phenanthren | ☹ | ☹ | ☺ | ☹ | ☹ |
| Fluoranthren | ☹ | ☺ | ☺ | ☺ | ☹ |
| Pyren | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ |
| Benzo(a)anthracen | ☹ | ☹ | ☺ | ☹ | ☹ |
| Benzo(a)pyren | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ |
| Benzo(g,h,i)perylen | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ | ☹ |

Quelle: TU Wien

3.3.2 Darstellung der Stoffflussanalysen als Sankey-Diagramme

Im Folgenden werden beispielhaft einige Stoffflussanalysen (SFA) als Sankey-Diagramme gezeigt. In einem Sankey-Diagramm ist die Breite eines Pfeiles proportional zur Größe des

Flusses. Um die Ergebnisse der verschiedenen Kanaleinzugsgebiete vergleichbar zu machen, werden die Flüsse normiert auf die jeweilige gesamte versiegelte Fläche des Einzugsgebietes dargestellt (Tabelle 52).

Tabelle 52: Gesamte versiegelte Fläche der Kanaleinzugsgebiete, welche zur Normierung der Stoffflüsse verwendet wird

| Gebiet | Gesamte versiegelte Fläche (m ²) |
|---------------------|--|
| L202 | 3.300 |
| Langackerweg | 52.800 |
| Ziegelstraße | 87.400 |
| Siedlungsgebiet Ost | 251.000 |
| R05 | 2.260.000 |

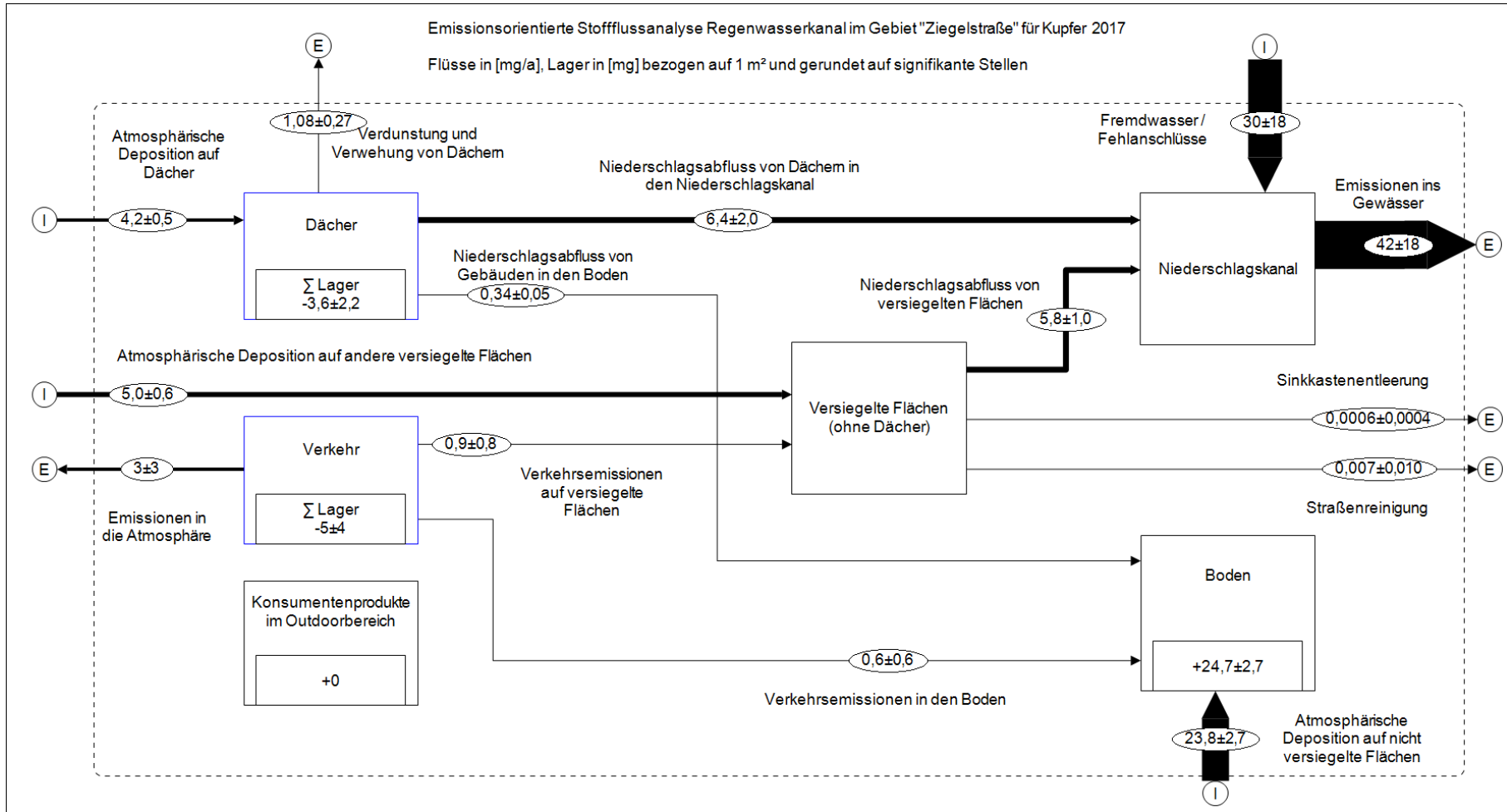
Quelle: TU Wien

3.3.2.1 Stoffflussanalysen für Kupfer

Die Emissionsmuster von Kupfer können anhand der SFA für die beiden Gebiete „Ziegelstraße“ (Abbildung 32) und „Siedlungsgebiet Ost“ (Abbildung 33) gut exemplarisch verglichen werden:

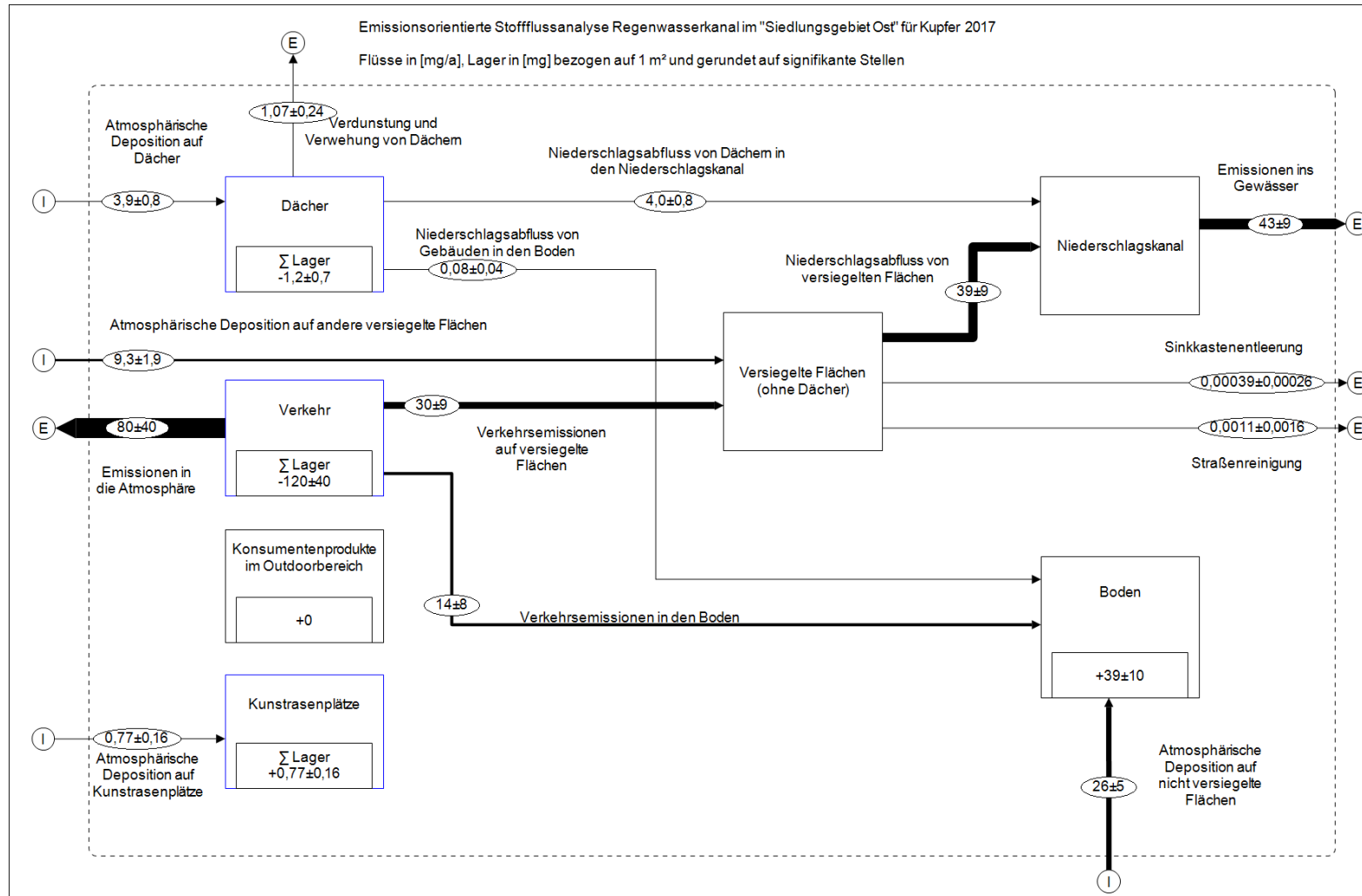
In der Ziegelstraße ist der größte Importfluss der Fremdwasserabfluss, welcher aufgrund fehlender Messungen nicht mit dem Siedlungsgebiet Ost verglichen werden kann. Davon abgesehen ist der größte Import die atmosphärische Deposition, welche im Bereich der Dachflächen (Kupferbleche im Dachbereich) nur eine leichte Aufstockung erfährt. Die Emissionen aus dem Verkehr sind gering, stammen überwiegend aus Bremsabrieb (hier nicht sichtbar) und werden daher auch überwiegend in die Atmosphäre und nicht in den Niederschlagsabfluss emittiert. Dies kann als typisches Emissionsmuster eines Wohngebietes mit geringem Verkehrsaufkommen betrachtet werden und zeigt sich ähnlich auch im Gebiet „Langackerweg“.

Abbildung 32: Stoffflussanalyse für Kupfer im Gebiet „Ziegelstraße“



Quelle: TU Wien

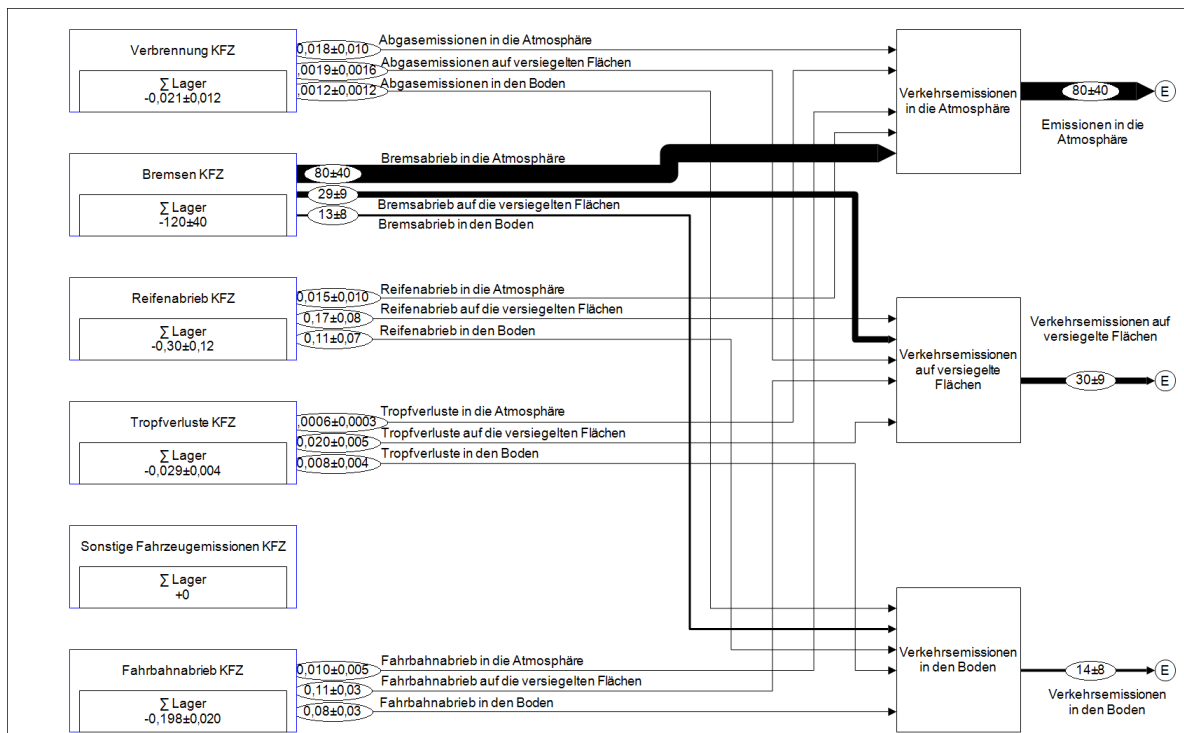
Abbildung 33: Stoffflussanalyse für Kupfer im „Siedlungsgebiet Ost“



Quelle: TU Wien

Im „Siedlungsgebiet Ost“ überwiegen hingegen ganz deutlich die Emissionen aus dem Verkehr gegenüber der atmosphärischen Deposition als Importpfad, weil das Gebiet eine deutlich höhere Verkehrsbelastung aufweist. Auch hier dominiert wieder der Bremsabrieb als Quelle im Verkehrsbereich, durch die hohen Emissionen ist aber neben dem sehr hohen Export Richtung Atmosphäre auch ein deutlicher Fluss in den Niederschlagskanal und den Boden zu verzeichnen (Abbildung 34). Dieses Emissionsmuster kann als charakteristisch für Kupfer in stark vom Kfz-Verkehr geprägten Gebieten betrachtet werden und findet sich ähnlich im Gebiet „L202“.

Abbildung 34: Stoffflussanalyse für Kupfer für das Subsystem Verkehr im „Siedlungsgebiet Ost“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche.



Quelle: TU Wien

Im Mischsystem (R05) liegt die schmutzwasserbürtige Trockenwetterfracht in der gleichen Größenordnung, wie jene im Niederschlagsabfluss.

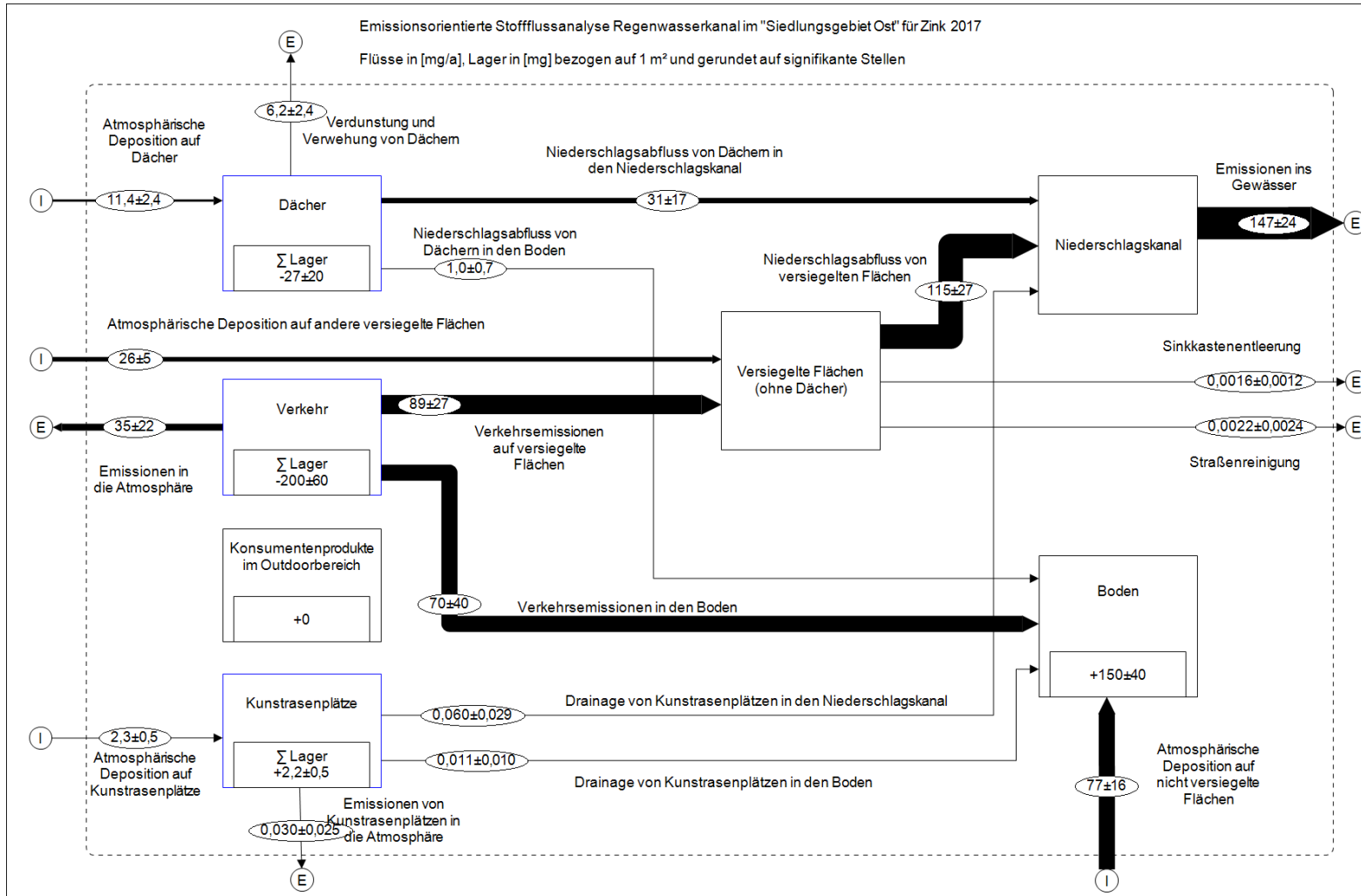
3.3.2.2 Stoffflussanalysen für Zink

Wie zuvor bei Kupfer erläutert, lassen sich auch für Zink die Gebiete bezüglich ihrer Emissionsmuster in stark und schwach von Verkehr beeinflusste Gebiete aufteilen. Bei den stark von Verkehr beeinflussten Gebieten („L202“, „Siedlungsgebiet Ost“ und teilweise „R05“) verursacht der Verkehr mehr als die Hälfte der Niederschlagsfracht (51–89 mg/m²/a) (z. B. Siedlungsgebiet Ost in Abbildung 35). Für Zink ist hier der Reifenabrieb die dominierende Quelle (Abbildung 36).

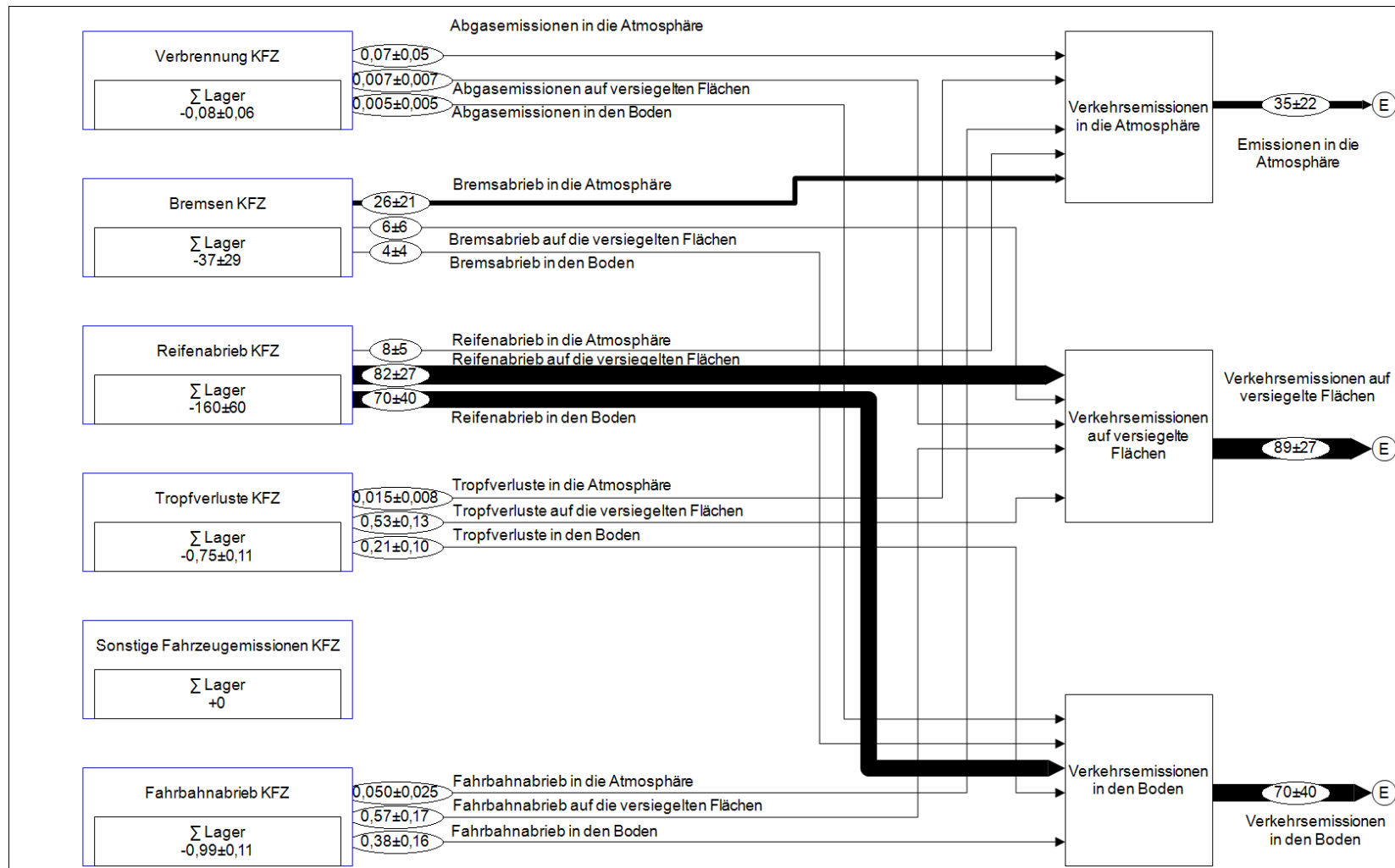
Bei den Wohngebieten (Langackerweg und Ziegelstraße (Abbildung 37)) liegen die Einträge aus dem Verkehr deutlich niedriger (12–14 mg/m²/a) und die Einträge aus Dachflächen haben eine große Bedeutung (70 mg/m²/a in der Ziegelstraße, Abbildung 38). In der Ziegelstraße finden sich diese Einträge auch in den Messungen im Niederschlagskanal wieder (150 mg/m²/a), im Langackerweg wurden im Niederschlagsabfluss sehr niedrige Zinkkonzentrationen gemessen (vgl. Tabelle 20), so dass die berechneten Frachten sehr niedrig sind (23 mg/m²/a) und nicht mit den Inputfrachten aus der literaturbasierten SFA in Übereinstimmung gebracht werden können.

Im Mischsystem (R05) liegt die schmutzwasserbürtige Trockenwetterfracht in der gleichen Größenordnung, wie jene im Niederschlagsabfluss.

Abbildung 35: Stoffflussanalyse für Zink im „Siedlungsgebiet Ost“

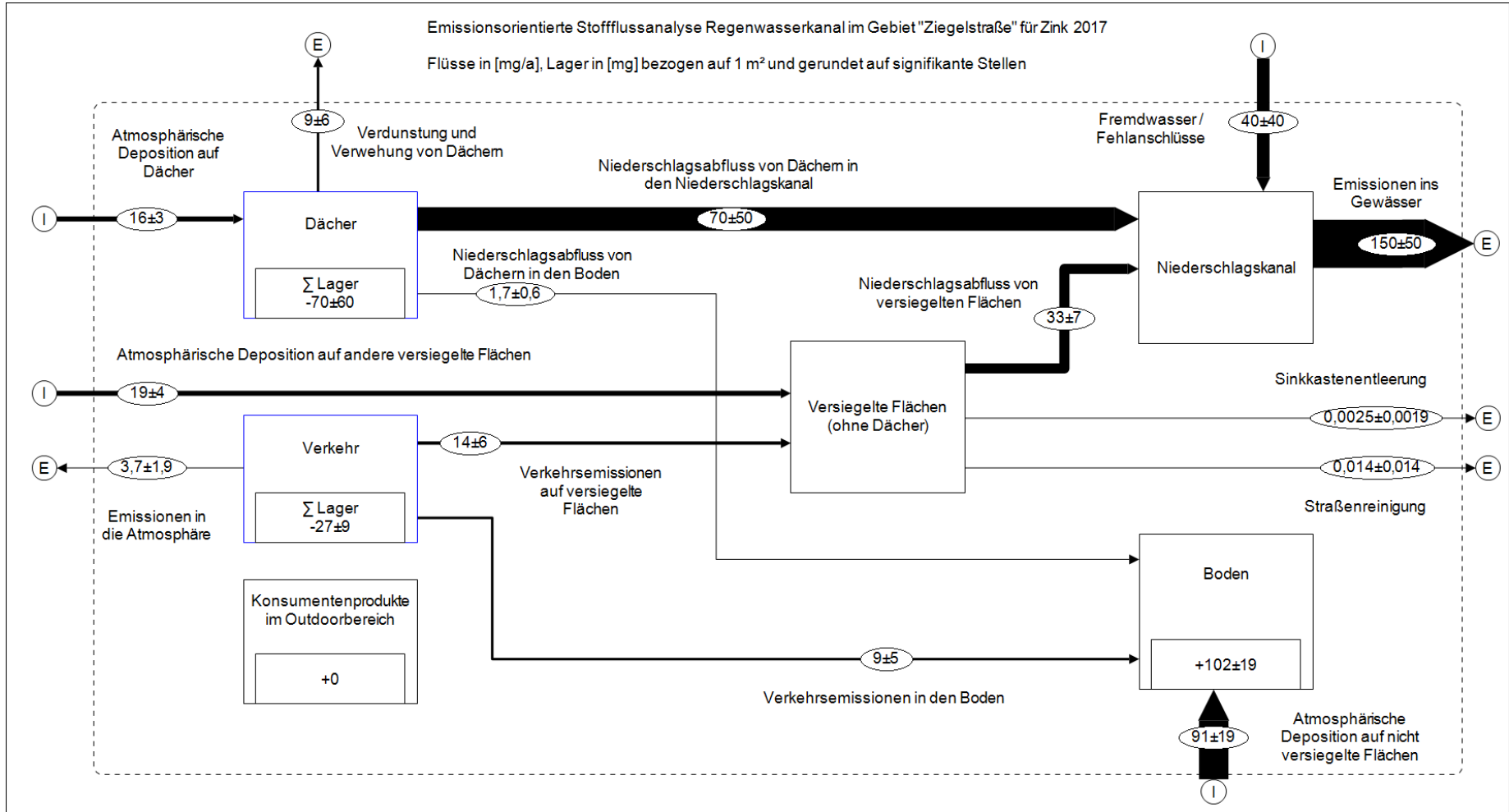


Quelle: TU Wien

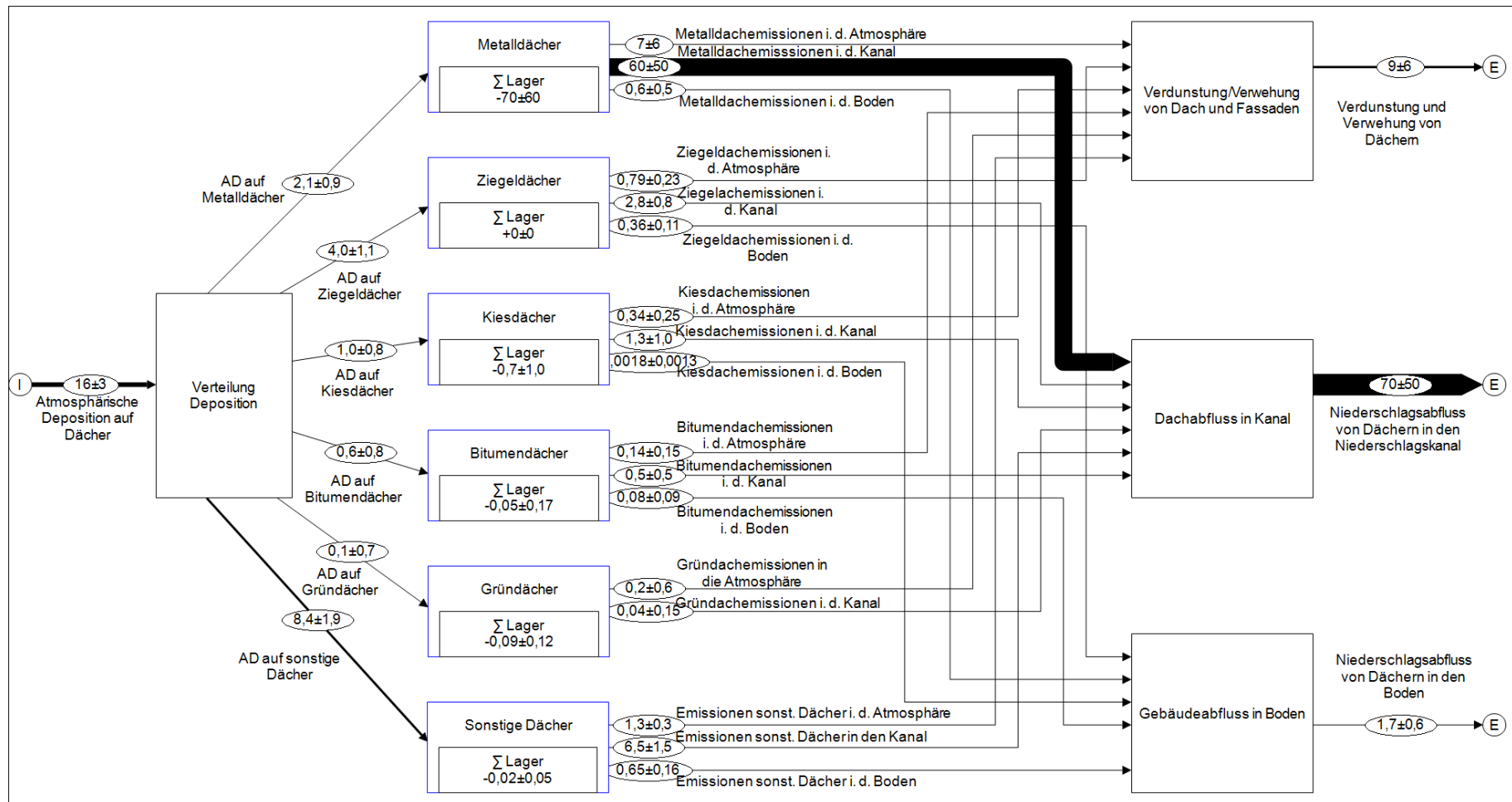
Abbildung 36: Stoffflussanalyse für Zink im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche

Quelle: TU Wien

Abbildung 37: Stoffflussanalyse für Zink im Gebiet „Ziegelstraße“



Quelle: TU Wien

Abbildung 38: Stoffflussanalyse für Zink im Gebiet „Ziegelstraße2: Subsystem „Dächer“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche

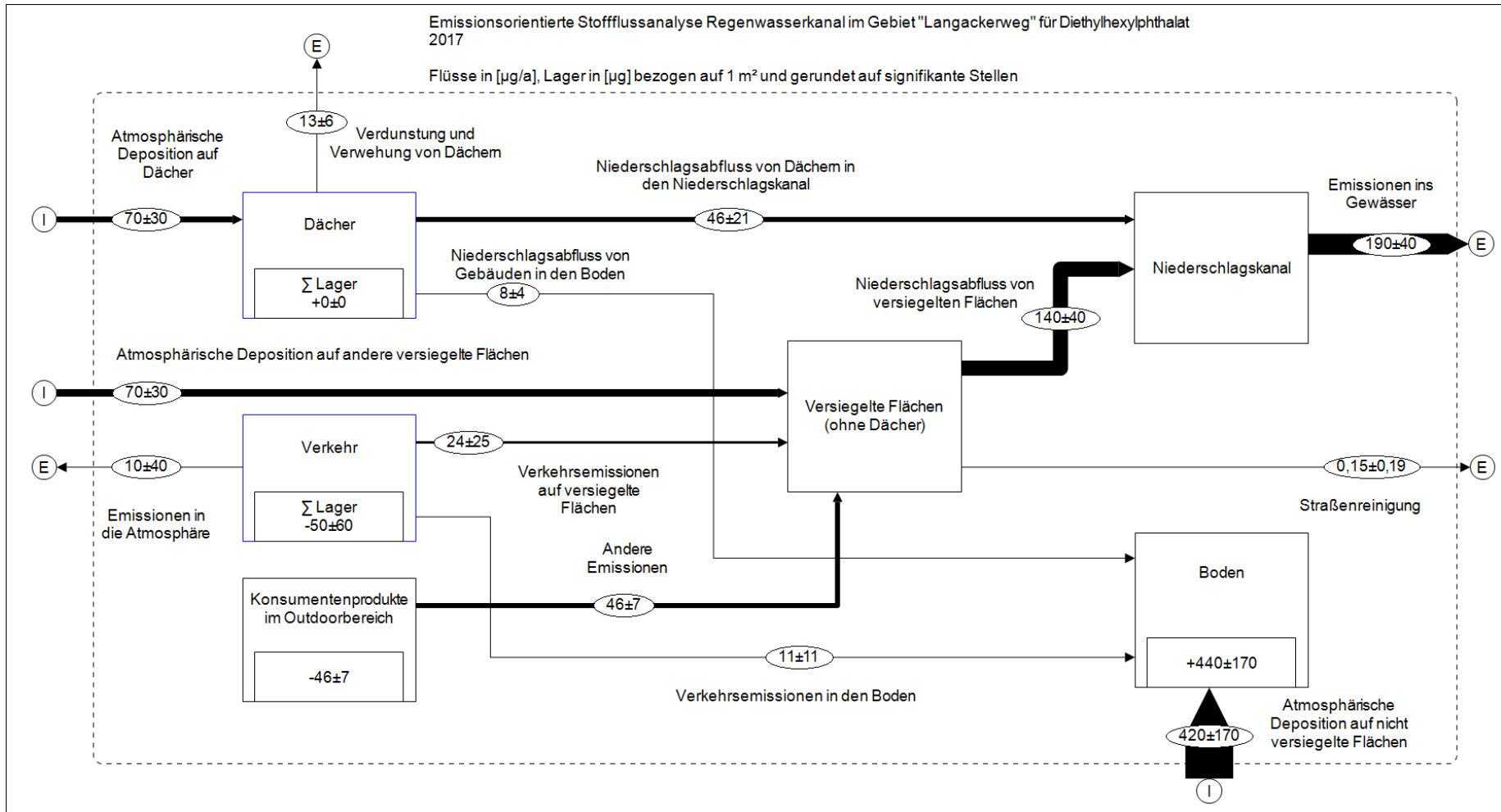
Quelle: TU Wien

3.3.2.3 Stoffflussanalysen für Bis(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)

Die SFA für DEHP zeigen zunächst, dass die Einträge durch den Niederschlag gegenüber den Einträgen über Schmutzwasserabfluss oder Trockenwetterabfluss im Trennsystem von nachrangiger Bedeutung sind, sie sind ca. eine Zehnerpotenz kleiner. Insgesamt sind die quantifizierten Stoffflüsse von großen Unsicherheiten geprägt (Abbildung 39).

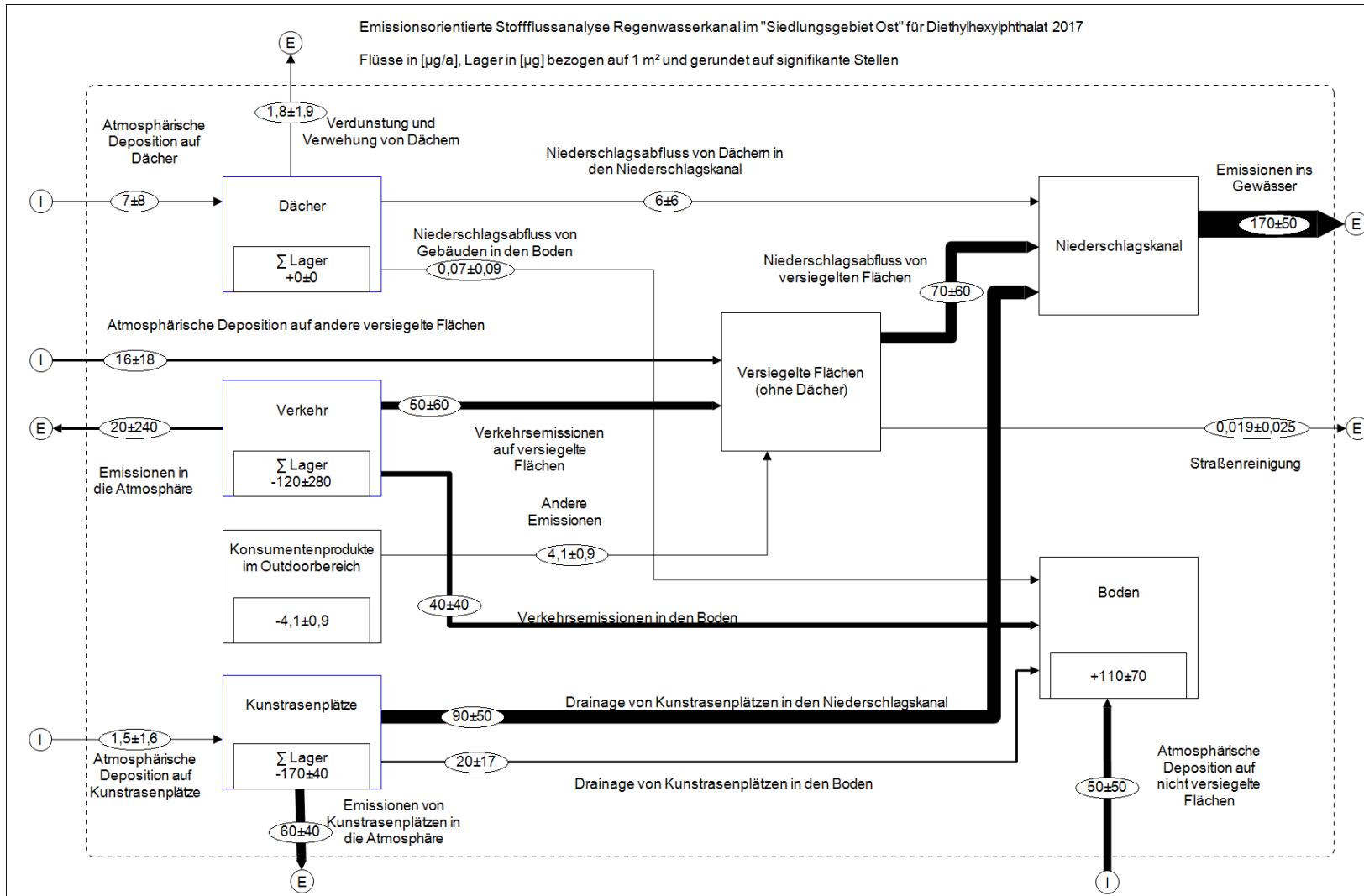
Während in den Wohngebieten in erster Linie die atmosphärische Deposition die Einträge über den Niederschlag bestimmt (Beispiel Gebiet „Langackerweg“, Abbildung 40), kommen in stark verkehrsbelasteten Gebieten nennenswerte Einträge durch Reifenabrieb, Bremsabrieb und andere Fahrzeugteile hinzu (Abbildung 41). In den stärker verkehrsbelasteten Gebieten sind die auf Basis der Literaturfunde quantifizierten Inputs größer als die Exporte des Systems. Daher lässt sich die SFA nicht ausgleichen, es werden dann negative Stoffflüsse berechnet (Abbildung 42). Dies kann verschiedene Ursachen haben: Die Emissionsfaktoren für die Einträge aus dem Kfz-Verkehr können zu hoch sein, was daran liegen könnte, dass sie auf Messdaten beruhen, welche zu einer Zeit erhoben wurden, als DEHP noch in größeren Mengen eingesetzt wurde. Gleiches gilt für den Eintrag vom Kunstrasenplatz im „Siedlungsgebiet Ost“; hinzu kommt hier aber noch die Unsicherheit, ob die Drainage des Platzes überhaupt in den Niederschlagskanal entwässert.

Abbildung 40: Stoffflussanalyse für DEHP im Gebiet „Langackerweg“



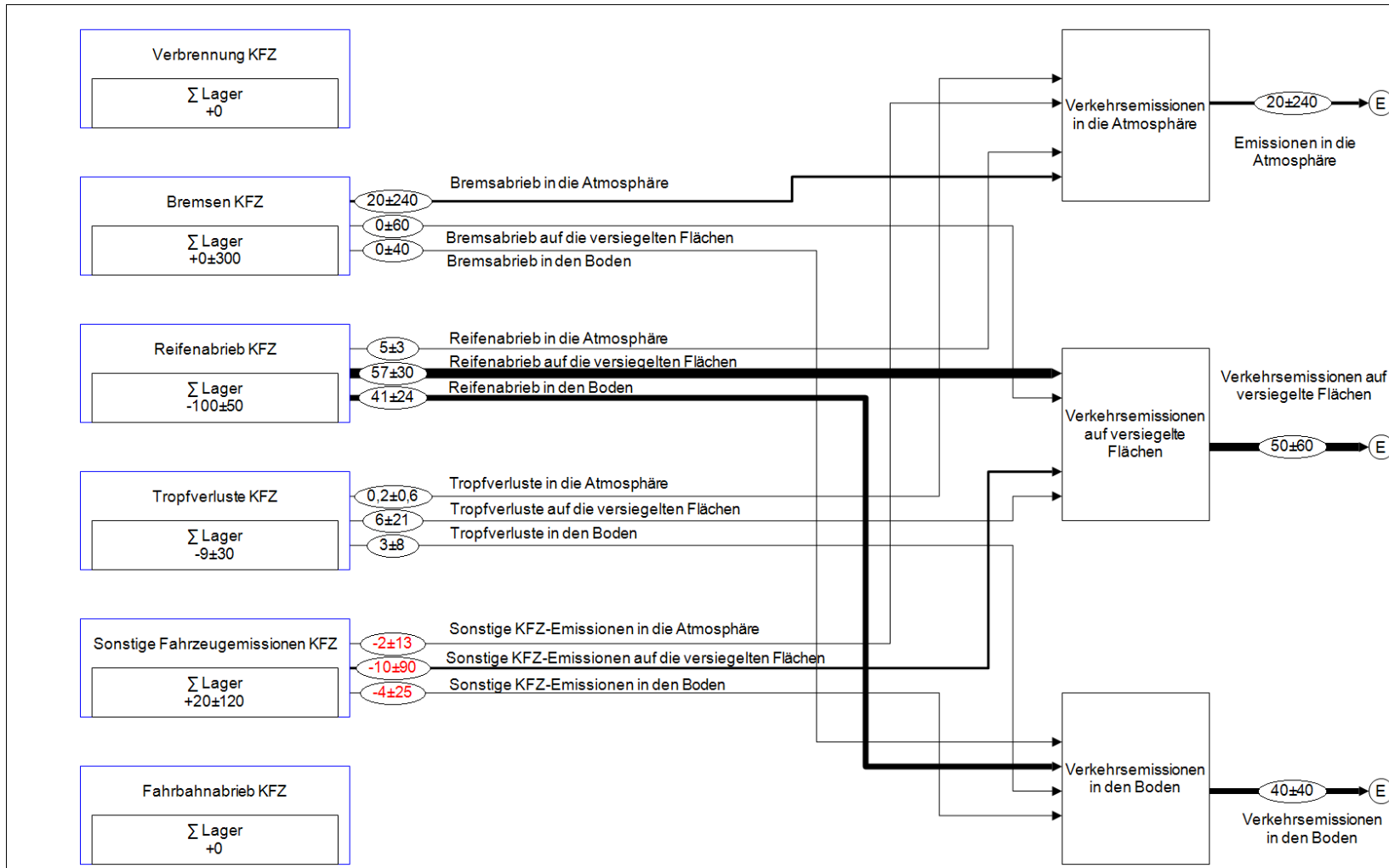
Quelle: TU Wien

Abbildung 41: Nicht ausgeglichene Stoffflussanalyse für DEHP im „Siedlungsgebiet Ost“



Quelle: TU Wien

Abbildung 42: Nicht ausgeglichene Stoffflussanalyse für DEHP im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche



Quelle: TU Wien

3.3.2.4 Stoffflussanalysen für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

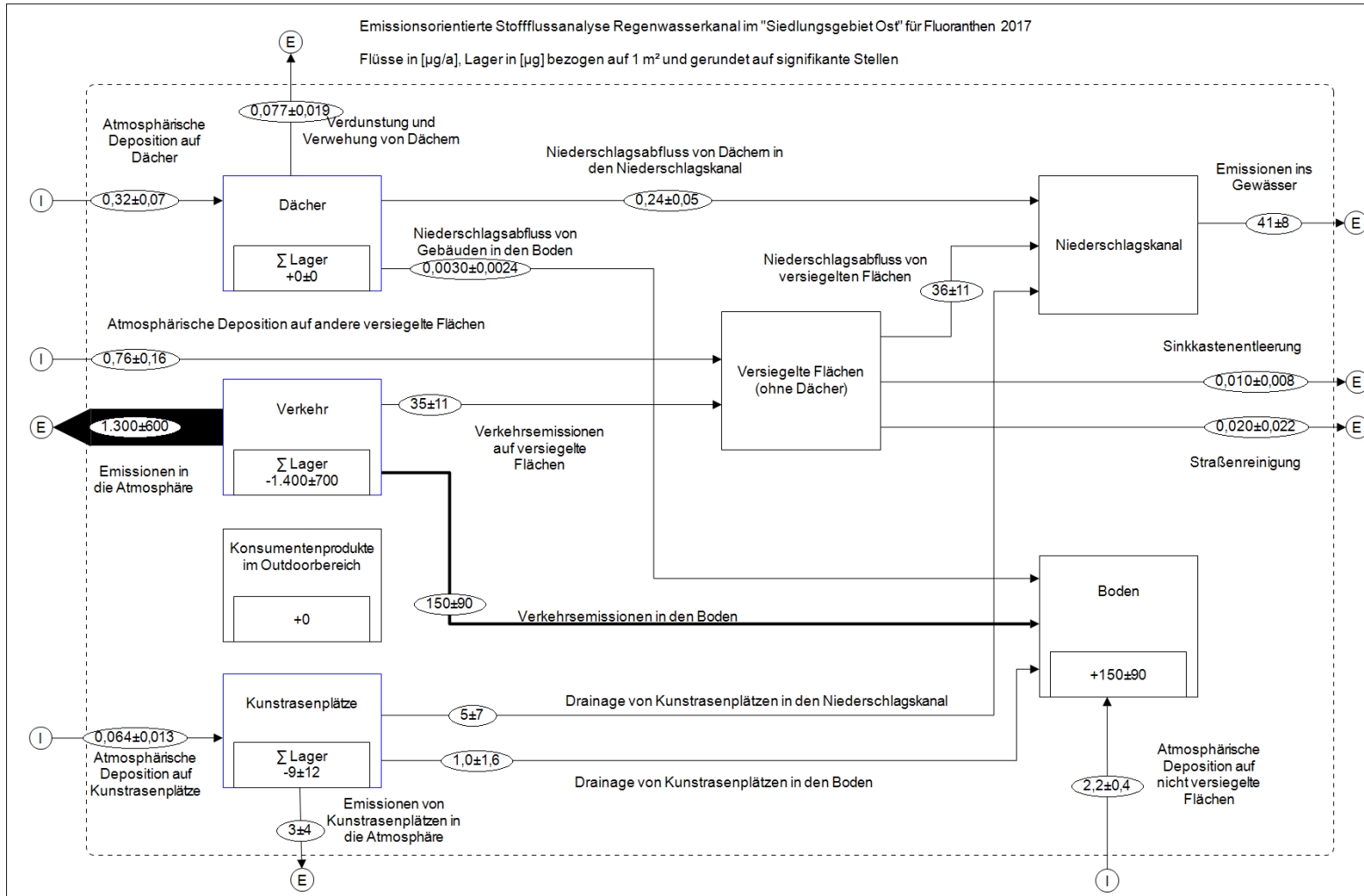
Zwar ist es bei den meisten Stoffen der Stoffgruppe PAK in den meisten Gebieten nicht gelungen, eine ausgeglichene SFA zu erstellen, nichtsdestotrotz zeigen sich systematische Tendenzen: Die wichtigste Quelle für PAK in den Gebieten sind die Abgase von Kfz, insbesondere von solchen mit Dieselmotoren ohne Partikelfilter. Der Großteil der so emittierten PAK verbleibt nicht direkt auf den versiegelten Flächen, sondern wird großräumig verwirbelt und verteilt sich dann über die atmosphärische Deposition großflächig auf die Böden. Da nicht bekannt ist, welche Fahrzeugtypen (Diesel oder Benzin, mit Partikelfilter oder ohne) in den Gebieten unterwegs sind, bleiben in der Quantifizierung große Unsicherheiten bestehen.

Für die niedermolekularen PAK (insbesondere Naphthalin) ist häufig die zur Messung von Konzentrationen und Emissionsfaktoren verwendete Probenahme- und Aufbereitungsmethode nicht gut geeignet, sie werden aber trotzdem mit gemessen, da sie zum Summenparameter PAK16 nach US EPA zählen. Beispielsweise trockneten Azah et al. (2015) die Proben bei 60 °C, ein Stoff mit einem vergleichsweise hohen Dampfdruck wie Naphthalin geht dann leicht in die Abluft verloren. Dies mag eine der Ursachen sein, warum für die niedermolekularen PAK keine guten SFA erzielt werden konnten.

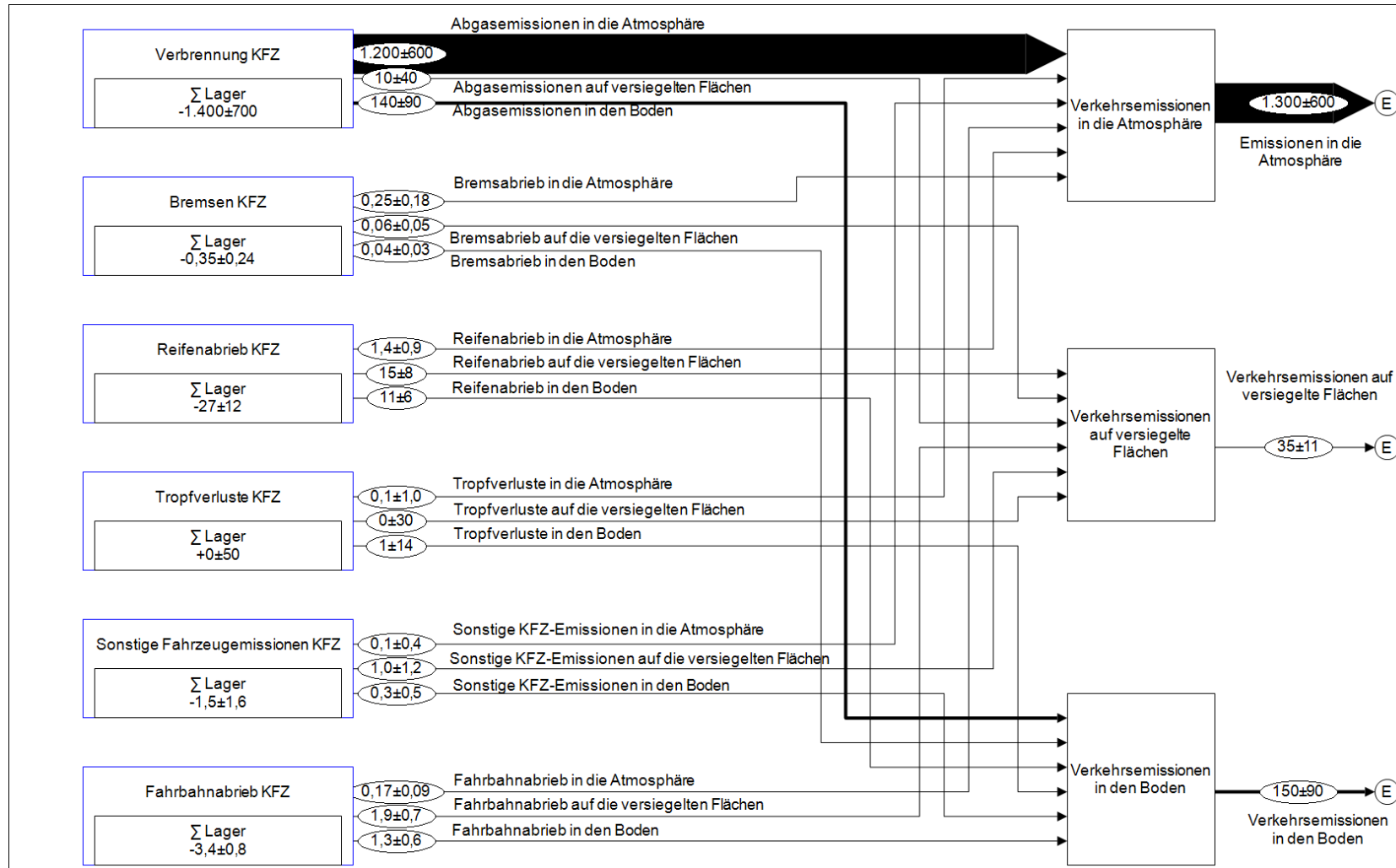
Für Fluoranthen, ein PAK mit einem mittleren Molekulargewicht sind die Kfz-Abgase die bedeutendste Quelle, etwa zwei Zehnerpotenzen geringer ist die Emission durch Reifenabrieb als größte der weiteren Quellen (Abbildung 43 und Abbildung 44).

Bei Benzo(a)anthracen, einem hochmolekularen PAK sind die Emissionen aus Reifenabrieb und Fahrbahnabrieb immer noch eine Größenordnung kleiner als jene durch Abgase (Abbildung 45 und Abbildung 46). Um einen solchen Vergleich auf solider Basis anstellen zu können, müsste man aber auch für die verschiedenen PAK verschiedene Transferkoeffizienten für die Verteilung in Atmosphäre, versiegelte Fläche und Boden ansetzen, und nicht wie hier geschehen nur einheitliche Transferkoeffizienten, welche für Partikel abgeleitet wurden. Hierfür fehlen aber aktuell die Daten.

Abbildung 43: Stoffflussanalyse für Fluoranthren im „Siedlungsgebiet Ost“

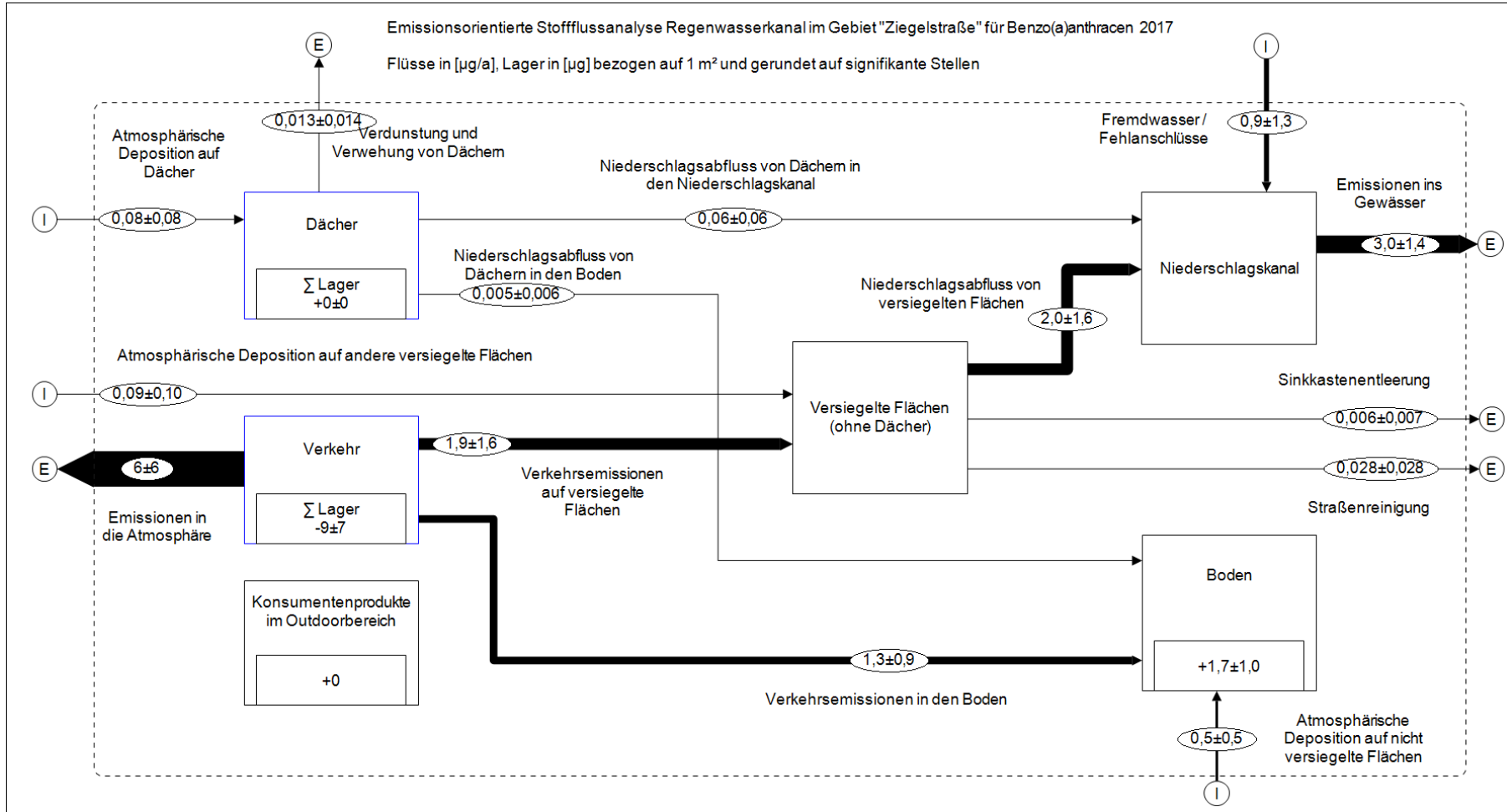


Quelle: TU Wien

Abbildung 44: Stoffflussanalyse für Fluoranthren im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche

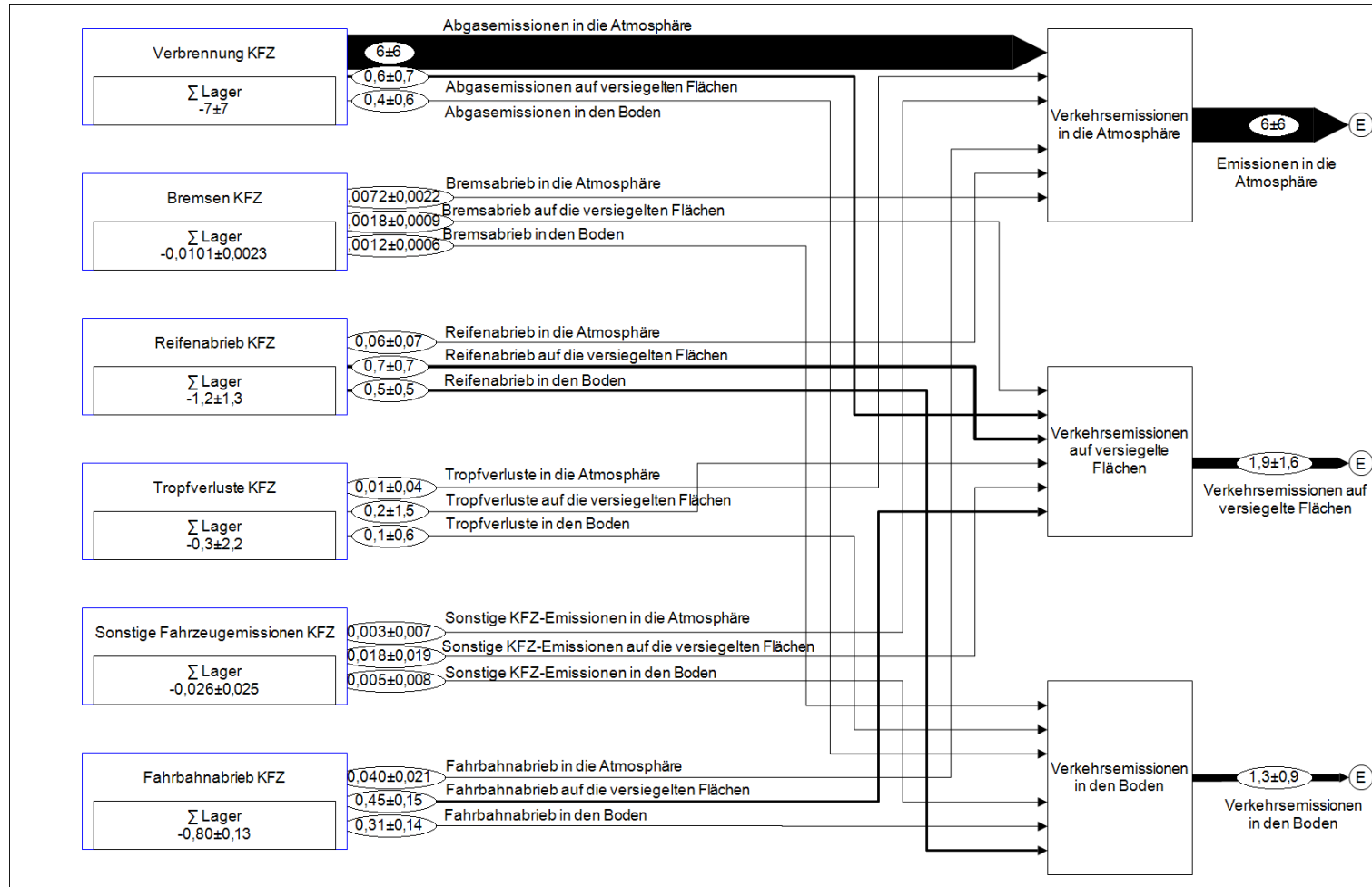
Quelle: TU Wien

Abbildung 45: Stoffflussanalyse für Benzo(a)anthracen im Gebiet „Ziegelstraße“



Quelle: TU Wien

Abbildung 46: Stoffflussanalyse für Benzo(a)anthracen im Gebiet „Ziegelstraße“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m² versiegelte Fläche



Quelle: TU Wien

3.3.2.5 Stoffflussanalysen für polyfluorierte Tenside (PFOS und PFOA)

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Manhardt, 2020) wurde die Machbarkeit von Stoffflussanalysen für PFOS und PFOA geprüft. Aufgrund der sehr dünnen Datenlage zu Emissionsfaktoren konnte nur über den Stoffgehalt in Produkten und viele Annahmen der Eintrag in die Niederschlagskanäle modelliert werden. Für einen der in der Vergangenheit bedeutendsten Einsatzbereiche, die Feuerlöschschäume, konnte kein Quantifizierungsansatz entwickelt werden.

Davon abgesehen zeigt sich bereits beim Vergleich der Konzentrationen im Niederschlagswasser und in den Schmutzwasserproben, dass der Eintrag über den Schmutzwasserpfad dominiert.

Bei PFOS kann Auswaschung von Rückständen in Freizeitbekleidung, insbesondere Lederprodukten, potenziell immer noch eine wichtige Quelle für die Belastung des Niederschlagsabflusses sein.

Für PFOA spielt die atmosphärische Deposition eine nicht unerhebliche Rolle für die Belastung des Niederschlagsabflusses.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Projekt SHTURM (Clara et al., 2014) wurden Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen als relevanter Eintragspfad der Siedlungswasserwirtschaft für einige Spurenschadstoffe identifiziert. Bisher unzureichend erfasst wurde der Eintragspfad der Stoffe in den Niederschlagswasserkanal, also die Frage, woher die Spurenschadstoffe in den Kanal gelangen. Auch für eine weitere Verunreinigung aus der Siedlungswasserwirtschaft, das Mikroplastik, konnten Niederschlagswasserkanäle als relevanter Eintragspfad identifiziert werden (Fraunhofer-Institut, 2018).

Das Projekt TEMPEST zielte einerseits auf die grundsätzliche Erfassung von Spurenstoffemissionen aus Niederschlagswasserkanälen ab, andererseits auf die Identifikation der Herkunft von Spurenstoffen im Niederschlagswasserkanal und die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschaffenheit in den Einzugsgebieten und der Stoffkonzentration im Oberflächenabfluss festgestellt werden kann. Zusätzlich sollte eine neue Methode zur Erfassung von Kunststoffpartikeln in Wasserproben optimiert werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Teilziele kurz zusammengefasst:

4.1 Monitoring ausgewählter Spurenstoffe in Kanalsystemen unterschiedlicher Charakteristik

Im Projekt wurden drei Untersuchungsgebiete mit unterschiedlicher Einzugsgebietscharakteristik hinsichtlich Größe, Nutzung und Oberflächenbeschaffenheit ausgewählt, die über einen Niederschlagswasserkanal verfügen. Weiters wurde ein Untersuchungsgebiet mit Mischwasserkanal sowie ein Straßenabschnitt beprobt.

Anders als im Projekt SHTURM, in dem einzelne Niederschlagsereignisse untersucht wurden, zielte das Projekt TEMPEST auf eine messtechnische Abschätzung von Jahresfrachten ab, weshalb über den Zeitraum von einem Jahr alle Abflussereignisse mengenproportional beprobt wurden. Wenn möglich erfolgte dies volumenproportional mit Erfassung des Ab-

flusses. Daraus wurden mengenproportionale Mischproben (Halb- bzw. Vierteljahresproben) für die Analytik geschaffen.

Diese Art der Probenahme wurde gewählt, um eine repräsentative Ermittlung der Jahresfracht zu ermöglichen und den Einfluss von Extremwerten bzw. Ausreißern so weit wie möglich zu minimieren. Im Projekt SCHATURM wurden einzelne Regenereignisse bzw. Mischwasserentlastungen beprobt und basierend auf diesen Ergebnissen Jahresfrachten für die einzelnen Eintragspfade der Siedlungswasserwirtschaft ermittelt. Die geringe Probenanzahl erlaubte keine Beurteilung, ob einzelne Extremwerte tatsächliche Extremwerte sind. Je nachdem, welche Messwerte für die Berechnung herangezogen wurden, ergab die Abschätzung der Haupteintragspfade unterschiedliche Ergebnisse.

Die Proben wurden aufbauend auf dem Projekt SCHATURM auf eine Vielzahl von Stoffen bzw. Stoffgruppen untersucht: Schwermetalle, die Industriechemikalien Bisphenol-A und Nonylphenol, polybromierte Diphenylether (PBDE), perfluorierte Tenside, PAK, DEHP, Organozinnverbindungen, und ausgewählte Pflanzenschutzmittel. Weiters wurden die Proben einem Arznei- und Pflanzenschutzmittelscreening unterzogen.

Wie bereits im Projekt SCHATURM waren nur wenige der untersuchten Spurenstoffe in allen Proben bzw. in den Proben des Niederschlagswasserkanals nachweisbar. Insgesamt 16 Stoffe (Schwermetalle, PAK, DEHP, PFOA, Dibutylzinn) konnten in mehr als 50 % der Proben mit Werten größer Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Im Vergleich zum Mischwasserkanal und dem Straßenablauf zeigte der Niederschlagswasserkanal die höchsten Konzentrationen für Chrom, Kupfer, Nickel, einige PAK (Benzo(a)anthracen, Naphthalin, Pyren), Dibutylzinn und PFOA (siehe Kapitel 3.1.1). Im Projekt SCHATURM wurden diese Stoffe meist in anderen Eintragspfaden in den höchsten Konzentrationen nachgewiesen (z. B. Chrom im Straßenabwasser), was vermutlich auf die Art der Probenahme (Einzelergebnisse in SCHATURM versus kumulative Halbjahresproben in TEMPEST) zurückzuführen ist. Die ausgewählten Pflanzenschutzmittel wurden in TEMPEST nur vereinzelt in Konzentrationen größer Bestimmungsgrenze detektiert.

Vergleicht man die Konzentrationen in den drei Niederschlagswasserkanälen, so zeigen sich zum Teil erhebliche Schwankungen bei den Halbjahresproben innerhalb eines Untersuchungsgebietes (für die Schwermetalle im Untersuchungsgebiet Graz, für die PAK im Untersuchungsgebiet Ostösterreich). Die mittleren Konzentrationen jener Stoffe, die in mehr als 50 % der Proben detektiert wurden, lagen für die Schwermetalle im Untersuchungsgebiet Graz am höchsten, für Vertreter der PAK eher im Untersuchungsgebiet Ost-

österreich. DEHP, Dibutylzinn und PFOA zeigten in den drei Untersuchungsgebieten mit Trennkanalisation ähnliche Konzentrationen.

Im Arzneimittelscreening wurden acht der insgesamt 90 untersuchten Wirkstoffe in (fast) allen Jahresproben der drei untersuchten Niederschlagswasserkanäle nachgewiesen, wobei Koffein (4,05 µg/L), das Antidiabetikum Metformin (0,20 µg/L) und das Antiasthmikum Theophyllin (0,085 µg/L) die höchsten Konzentrationen aufwiesen. Dies dürfte auf Fehlanlüsse an den Niederschlagswasserkanal hindeuten. Koffein und Metformin wurden auch im Straßenabwasser nachgewiesen, was überraschend ist. Von den 550 untersuchten Pflanzenschutzmitteln wurden DNOC (mittlere Konzentration 0,15 µg/L) und Saccharin (mittlere Konzentration 0,39 µg/L) in zwei Niederschlagswasserkanälen detektiert. Die Indikatoren kommunaler Verunreinigung konnten in allen drei Niederschlagswasserkanälen nachgewiesen werden (Acesulfam 0,90 µg/L, 1H-Benzotriazol 1,58 µg/L, Tolyltriazole 1,96 µg/L).

4.2 Identifikation der Herkunft ausgewählter Spurenschadstoffe im Niederschlagswasserkanal

Zur Identifikation der Herkunft ausgewählter Spurenschadstoffe im Niederschlagswasserkanal wurden Stoffflussanalysen mit dem Programm STAN 2.6 (Cencic und Rechberger, 2008) erstellt und bewertet. Da die Durchführung von Stoffflussanalysen einen hohen Bedarf an Eingangsdaten hat und mit einem hohen Zeitaufwand verbunden ist, wurden nur jene Stoffe für die Stoffflussanalyse ausgewählt, für die ausreichend Literaturdaten vorhanden waren, für die der Niederschlagswasserkanal als relevanter Eintragspfad in die Umwelt identifiziert wurde und die auch im vorliegenden Projekt mit Werten größer Bestimmungsgrenze gemessen wurden. Dies traf auf folgende Stoffe zu: Zink, Kupfer, DEHP, PAK 16 sowie die PAK-Einzelstoffe Naphthalin, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren und Benzo(g,h,i)perylen.

Für die Stoffflussanalyse wurden die Oberflächenbeschaffenheit und Nutzung im Einzugsgebiet der Untersuchungsgebiete analysiert, wobei folgende Quellen, Eintrags- und Austragspfade als potenziell relevant erachtet wurden: Verkehrsbelastung (Kfz-Verkehr durch z. B. Verbrennungsabgase, Reifen- und Bremsabrieb, Tropfverluste durch Motoröl und Schienenverkehr), Dachflächen von Gebäuden (z. B. Ziegel-, Grün-, Metaldächer), Oberflächengestaltung (z. B. Kunstrasenplätze mit Granulat aus Altreifen), atmosphärische Deposition, Konsumentenprodukte im Außenbereich, Einträge durch Fremdwasser, Austräge

über Niederschlagswasserkanal und Austrag durch die Entnahme von partikelgebundenen Spurenstoffen durch die Straßenreinigung und Sinkkastenentleerung.

Nach der Quantifizierung der jeweiligen Quellen, Eintrags- und Austragspfade in den Untersuchungsgebieten wurden anhand von in der Literatur verfügbaren Emissionsfaktoren (EF) bzw. Daten zu Spurenstoffgehalten in Materialien die Stoffflussanalysen erstellt.

Für zahlreiche Emissionsfaktoren fanden sich in der Literatur Angaben mit großen Schwankungsbreiten (vereinzelte Variationskoeffizienten von bis zu 250 %), was die Durchführung der Stoffflussanalysen sowie eindeutige Aussagen maßgeblich erschwerte. Des Weiteren wurde im Untersuchungsgebiet Graz der Trockenwetterabfluss beprobt, und in der Stoffflussanalyse festgestellt, dass dieser Eintragspfad für Kupfer, Zink und DEHP wesentlich zum Stofffluss im Niederschlagswasserkanal beiträgt. Relativierend muss hier angemerkt werden, dass die Jahresfracht des Trockenwetterabflusses aus der Messung einer 24h-Probe extrapoliert wurde und diese Jahresfracht mit einer deutlich größeren Unsicherheit behaftet ist, als die Ermittlung der übrigen Jahresfrachten. Der Trockenwetterabfluss kann mehrere Ursachen haben wie z. B. Fehllanschlüsse oder Eintritt von Grundwasser bei undichten Kanälen. Da der Trockenwetterabfluss nur im Untersuchungsgebiet Graz analysiert wurde, kann kein Vergleich zu den anderen Gebieten hergestellt werden bzw. können die Ergebnisse nicht verifiziert werden. Allerdings deutet der Anteil an Arzneimittelwirkstoffen im Niederschlagswasserkanal der anderen Untersuchungsgebiete ebenfalls auf andere Quellen bzw. Fehllanschlüsse hin (siehe Kapitel 3.1.2).

Der Vergleich der über die Stoffflussanalyse ermittelten Frachten im Niederschlagswasserkanal mit den Frachten, die aus den gemessenen Konzentrationen in den Abwasserproben und dem gemessenen Durchfluss in den Kanälen ermittelt wurden, erfolgte in den Stoffflussanalysen in Form einer Ausgleichsrechnung. Die aus den Kanalkonzentrationen berechneten Frachten wurden als Austragspfad in die SFA eingegeben. Dadurch wurde das System überbestimmt und es konnte eine Ausgleichsrechnung erfolgen. Eine erfolgreiche Ausgleichsrechnung zeigte an, dass die Messwerte im Kanal die Ergebnisse der SFA bestätigen und dass die bedeutenden Quellen und Pfade potenziell richtig erfasst wurden.

- Für Kupfer konnte in allen Gebieten die SFA ausgeglichen werden. Im Untersuchungsgebiet Graz (Wohngebiet) wurden rund 70 % des Kupfers im Niederschlagswasserkanal über Fremdwasser und etwa 22 % über atmosphärische Deposition in das System eingetragen. Kupfer aus dem Verkehr (Bremsabrieb) trägt minimal zu den Frachten im Niederschlagswasserkanal bei (rund 2 %), da es vorrangig in die Atmosphäre emittiert

wird und sich das Untersuchungsgebiet nicht durch starkes Verkehrsaufkommen auszeichnet. Im Siedlungsgebiet Ost wurde der Einfluss des Fremdwassers nicht untersucht. Aufgrund der fehlenden Abschätzung des Fremdwassereinflusses und der deutlich höheren Verkehrsbelastung kommt ein Großteil des Kupfers im Niederschlagswasserkanal aus dem Verkehr (rund 70 %). Betrachtet man die Quelle „Verkehr“ im Siedlungsgebiet Ost, so werden rund 67 % des Kupfers (Bremsabrieb) in die Atmosphäre emittiert und rund 25 % in den Niederschlagswasserkanal.

- Für **Zink** gelang der Ausgleich des SFA-Systems nur in einem Gebiet nicht, wobei dies den „Langackerweg“ als das kleinste Wohngebiet betrifft. Im Untersuchungsgebiet Graz wurden rund 27 % des Zinks im Niederschlagswasserkanal über Fremdwasser und etwa 47 % über Dachflächen in das System eingetragen. Zink aus dem Verkehr (Reifenabrieb) trägt zu einem geringen Prozentsatz zu den Konzentrationen im Niederschlagswasserkanal bei (rund 9 %). Im Vergleich zu Kupfer ist das erklärbar, da Kupfer vorwiegend aus dem Bremsabrieb stammt und in die Atmosphäre emittiert wird, während Zink aus dem Reifenabrieb stammt und über den Oberflächenabfluss in den Niederschlagswasserkanal eingetragen wird. Bei den stark von Verkehr beeinflussten Gebieten (L202, Siedlungsgebiet Ost und teilweise MÜ-R05) verursacht der Verkehr mehr als die Hälfte des Eintrages von Zink.
- Für **DEHP** konnte nur für drei Gebiete ein ausgeglichenes SFA-System erstellt werden, die beiden Gebiete mit starker Verkehrsbelastung (L202 und Siedlungsgebiet Ost) ergaben Fehler. Es zeigte sich, dass Einträge durch den Niederschlag gegenüber Einträgen aus Schmutzwasserabfluss oder Trockenwetterabfluss im Trennsystem von nachrangiger Bedeutung sind. Im Untersuchungsgebiet Graz wurden rund 90 % des DEHP im Niederschlagswasserkanal über Fremdwasser eingetragen, etwa 6 % stammten aus der atmosphärischen Deposition. Im zweiten untersuchten Wohngebiet mit Niederschlagswasserkanal (Vorarlberg) wurde der Einfluss von Fremdwasser nicht untersucht; hier stellte die atmosphärische Deposition die bedeutendste Quelle für den Niederschlagswasserkanal dar (etwa 70 %). Im Siedlungsgebiet Ost dominierte hingegen der Eintrag aus dem Verkehr (rund 30 % der DEHP-Frachten im Niederschlagswasserkanal) und die potenzielle Drainage von Kunstrasenplätzen (rund 50 % des Eintrags in den Niederschlagswasserkanal).
- Für die **PAK** konnte nur für einzelne Stoffe und in einzelnen Gebieten ein ausgeglichenes SFA-System aufgestellt werden. Mit den vorliegenden Daten konnte die SFA zwar nicht sinnvoll erstellt werden, es ließen sich jedoch die folgenden Erkenntnisse gewinnen:
Für Fluoranthene, ein PAK mit einem mittleren Molekulargewicht, sind die Kfz-Abgase die bedeutendste Quelle, etwa zwei Zehnerpotenzen geringer ist die Emission durch

Reifenabrieb als größte der weiteren Quellen. Im Untersuchungsgebiet Ost stammten rund 85 % der Frachten im Niederschlagswasserkanal aus dieser Quelle.

Bei Benzo(a)anthracen, einem hochmolekularen PAK sind die Emissionen aus Reifenabrieb und Fahrbahnabrieb immer noch eine Größenordnung kleiner als jene durch Abgase. Insgesamt trug der Verkehr im Untersuchungsgebiet Graz rund 60 % der Einträge in den Niederschlagswasserkanal bei.

Die Stoffflussanalysen waren bedingt dazu geeignet, die Quellen der im Niederschlagswasserkanal detektierten Spurenschadstoffe zu bestimmen, um Maßnahmen an der Quelle zu definieren. Die SFA benötigen eine große Anzahl an Eingangsdaten, die nicht immer (für alle Untersuchungsgebiete) erhoben werden konnten. Zu den im vorliegenden Projekt aufgezeigten Datenlücken zählen vor allem Informationen zu Kfz-Wagentypen (Benzin oder Diesel), zur Art des Dachmaterials und zum Anschluss von Flächen/Gebäuden an den Niederschlagswasserkanal. Darüber hinaus zeigten Untersuchungen in Graz, dass der Trockenwetterabfluss einen entscheidenden Eintrag von Spurenschadstoffen in Niederschlagswasserkanal beisteuern kann. Zukünftige Untersuchungen sollten daher in jedem Fall den Trockenwetterabfluss im Niederschlagswasserkanal und die Gründe eines potenziellen Trockenwetterabflusses (Fremdanschlüsse, undichte Kanäle) genau erheben. Darüber hinaus ergeben sich in der SFA durch zum Teil stark variierende Emissionsfaktoren aus der Literatur weitere Unsicherheiten bei der Interpretation der Daten. Je kleiner das Untersuchungsgebiet ist, desto stärker erzeugen lokale Besonderheiten Abweichungen von mittleren Bedingungen, weswegen ausreichend große Untersuchungsgebiete für die SFA gewählt werden sollten.

Die drei Untersuchungsgebiete mit Niederschlagswasserkanal können nur eingeschränkt miteinander verglichen werden, da in nur einem Untersuchungsgebiet der Einfluss des Trockenwetterabflusses untersucht wurde und dieser zumindest für Schwermetalle und DEHP den dominierenden Eintrag in den Niederschlagswasserkanal darstellt. Wird der Trockenwetterabfluss nicht berücksichtigt, so stellen in den Einzugsgebieten je nach Verkehrsbelastung entweder die atmosphärischen Depositionen, die Dachflächen oder der Verkehr die wichtigsten Quellen für die Schwermetalle dar, während bei den PAK der Verkehr als Quelle dominiert.

4.3 Erfassung von Kunststoffanteilen in Eintragspfaden aus der Siedlungswasserwirtschaft: Adaptierung und Validierung einer neuartigen Erfassungsmethode

Für die Optimierung der Methode zur Kunststoffanalytik wurden zwei kommunale Kläranlagen mehrfach beprobt und die Kunststofffraktion einerseits mit einer neuen von der TU Wien entwickelten Methode (Elemental Analysis Overdetermined Equation Method, EA-OEM), andererseits mit der bereits am Umweltbundesamt etablierten ATR FT IR Spektroskopie Methode untersucht. Beide Methoden lieferten in vier von fünf Proben vergleichbare Ergebnisse, wobei die Ergebnisse der EA-OEM durchgehend höher waren, als jene der IR-Methode.

Die Methoden unterscheiden sich grundlegend voneinander. Sie liefern einander ergänzende Informationen, die komplementär zueinander ein sehr vollständiges Bild der Mikroplastikverschmutzung darstellen können oder einzeln für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt werden können.

Die für den Methodenvergleich eingesetzte **IR Methode** liefert primär die Partikelanzahl für den Bereich $> 0,5$ mm, Partikelgröße und -form sowie die Kunststoffart. Die Information über die Qualität der Kunststoffe kann beitragen, entsprechende Quellen zu identifizieren und diese Eintragspfade durch gezielte Maßnahmen zu reduzieren.

Bei der Messung mittels **EA-OEM** ist der Massenanteil an Gesamtmikroplastik in der Probe die Hauptaussage ohne dabei genauer auf die Partikelgrößenverteilung oder Polymertypen einzugehen. Aufgrund des geringen Aufwands der Methode im laufenden Betrieb für die Routineanalytik liefert die EA-OEM eine kostengünstige Option, um den Summenparameter Gesamtmikroplastik (g Mikroplastik/g Probe bzw. g Mikroplastik/L Ablauf) zu analysieren. Die EA-OEM benötigt als Inputparameter Informationen zur Kunststoffart der Partikel und muss daher zu Beginn der Probencharakterisierung auf eine alternative Methode zurückgreifen, um diese Informationen zu erhalten.

4.4 Darstellung von Handlungsoptionen

4.4.1 Verbesserung der Datenbasis für Stoffflussanalysen von Spurenstoffen

Im Rahmen der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die erstellten Stoffflussanalysen sehr große Unsicherheiten aufweisen, die sich aus den Unsicherheiten in den Eingangsdaten ergeben.

Die Untersuchung des Trockenwetterabflusses im Untersuchungsgebiet Graz deutete unter Berücksichtigung der Datenunsicherheit (24h-Trockenwetterabflussprobe im Vergleich zu Halbjahresprobe des Niederschlagswassers) auf eine Beeinflussung des Niederschlagswassers durch den Trockenwetterabfluss hin. So scheinen einige Stoffe (z. B. Kupfer, DEHP), die im Niederschlagswasserkanal gemessen wurden, vorrangig auf den Trockenwetterabfluss zurückzuführen zu sein. Ob es sich bei diesem Trockenwetterabfluss um Fehlan schlüsse (häusliches Abwasser) handelt, oder ob diese Unterscheidung aus der Abgrenzung von Niederschlagsabfluss und Trockenwetterabfluss bei der Probenahme her rührt, ist nicht geklärt. In jedem Fall zeigt dieses Beispiel aber, dass für die Ableitung regionsspezifischer Handlungsempfehlungen eine genaue Kenntnis des Kanalsystems erforderlich ist.

Um die Aussagekraft der Stoffflussanalysen zu erhöhen, ist eine Verbesserung verschiedener Eingangsdaten erforderlich:

- Daten zu den Kanaleinzugsgebieten: Beschaffenheit der Oberflächen, Anschluss an Kanalsysteme, Nutzung der Gebiete (Verkehrsintensitäten nach Fahrzeugtypen), potenzieller Einfluss von Einträgen in den Niederschlagswasserkanal über Fremdwasser/Fehlan schlüssen
- Daten zu Spurenstoffen: Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsquellen und Gehalte in verschiedenen Materialien.

Aus diesem Bedarf an verbesserten Daten werden die im Folgenden dargestellten Empfehlungen abgeleitet.

Aufbau eines bundesweiten Flächen- und Kanalinformationssystems

Um die Einträge von Stoffen aus dem Siedlungsraum über Misch- und Regenwasser flächendeckend prognostizieren und Emissionsquellen zuordnen zu können, bedarf es einer harmonisierten Erfassung und Pflege der nachfolgend genannten Daten. Alleine für die Wassergütewirtschaft wäre der Aufbau eines solchen Informationssystems vermutlich nicht zu rechtfertigen, es ergeben sich jedoch zahlreiche Synergieeffekte mit anderen Bereichen (siehe unten), welche den Aufwand rechtfertigen können.

Folgende Schritte sind zum Aufbau eines bundesweites Flächen- und Kanalinformationssystem erforderlich:

1. **Erfassung aller versiegelten Flächen:** Die Erfassung und Aktualisierung dieses Datenbestandes kann durch Methoden der Fernerkundung leicht gelöst werden. Ähnliche Datensätze existieren bereits.
2. **Erfassung des Oberflächenmaterials** der versiegelten Flächen: Um Stoffausträge aus den Oberflächen abschätzen zu können, bedarf es einer möglichst genauen Erfassung des Baumaterials. Eine grobe Klassifizierung lässt sich wiederum mit fernerkundlichen Methoden durchführen. Um detailliertere Informationen zu den eingesetzten Baumaterialien zu erhalten und damit zu den darin enthaltenen und ggfs. freigesetzten Spurenstoffen, ist eine Erfassung zum Zeitpunkt des Baus notwendig. Hier ergeben sich neue Möglichkeiten durch den Einsatz von „Building Information Modeling“ (BIM) in der Baubranche. Wird gemeinsam mit einem Gebäude auch ein digitaler Zwilling erstellt und gepflegt, und enthält dieser die notwendigen Informationen zu eingesetzten Baustoffen, lassen sich diese Informationen z. B. im Rahmen von Genehmigungsverfahren recht einfach erfassen. Hier ergeben sich Synergien im Bereich der Kreislaufwirtschaft, denn für das Recycling von ganzen Bauteilen ist ebenfalls das Wissen über die stoffliche Zusammensetzung relevant (Kovacic und Honic, 2108).
3. **Erfassung der Nutzung** versiegelter Flächen: Insbesondere der Verkehr ist eine Flächennutzung, die mit hohen Stoffemissionen verbunden ist. Daher sollte für alle versiegelten Flächen die Verkehrsintensität erfasst werden. Hier können Verkehrsmodelle in Verbindung mit punktuellen Zählstellen die notwendigen Informationen liefern.
4. **Erfassung der Entwässerung** aller versiegelten Flächen: Um abschätzen zu können, ob Stoffaus- und -abträge von Flächen in einen Kanal, in ein Oberflächengewässer, ins Grundwasser oder in den Boden erfolgen, benötigt es für alle relevanten Flächen eine

Erfassung der tatsächlich gebauten Entwässerung. Hier wäre eine Marginalitätsschwelle zu definieren, welche kleine Flächen, die nicht nennenswert zur Abflussbildung beitragen (z. B. Geräteschuppen und Gartenwege), ausschließt (z. B. 50 m²). Solch eine Datensatz ist nicht einfach zu erstellen, aber von hoher Relevanz für die Abschätzung des Verbleibs von Stoffen. Aber nicht nur die Modellierung von Stoffeinträgen würde von einem solchen Datensatz stark profitieren: Auch für die Planung von Kanalsystemen, die Modellierung von urbanen Überflutungen und das Management von Kanalsystemen ist die Information über die angeschlossenen Flächen von großer Bedeutung. Um den Aufbau eines solchen Datensatzes zu beschleunigen, können z. B. Ansätze der Bürgerbeteiligung genutzt werden: Bürger erfassen in ihrer Umgebung für Flächen die erkennbaren Elemente der Entwässerung in einer App. Eine Überarbeitung solcherart erhobener Daten von Experten ist notwendig aber deutlich weniger arbeitsintensiv als eine Vororterhebung.

5. **Erfassung des Kanalsystems** und all seiner Bauwerke: Beginnend vom Straßeneinlaufschacht, über die Kanalrohre, Speicherkanäle, Entlastungsbauwerke und Drosseln sollen alle Bestandteile des Kanals erfasst und ihr Zustand laufend dokumentiert werden. Ansätze solche Kanalinformationssysteme gibt es bereits (Beispielsweise das KANIS in Wien, www.kanis.at). Eine bessere Überwachung von Bauwerken (insbesondere Entlastungsbauwerken) im Kanal kann hier aber noch eine starke Verbesserung der Datengrundlage bringen. In Verbindung mit den Informationen zu den angeschlossenen Flächen, wird es für den Kanalnetzbetreiber einfacher, zu erkennen, wo kritische Punkte im Netz sind, die einer verstärkten Überwachung und ggfs. technischen Anpassung bedürfen. Die Überwachung des Abflusses im Kanal gibt wiederum Hinweise darauf, ob alle angeschlossenen Flächen erfasst sind und ob es Fehlanschlüsse von Haushalten gibt.

Während die Pflege der Informationen über Flächen und Kanäle auf kommunaler und Betreibererebene passieren sollte, hätte die Bereitstellung eines bundesweit einheitlichen Datenbanksystems den Vorteil, dass Informationen einheitlich auswertbar sind und die Kosten für Erstellung und Pflege des Datenbanksystems nur einmal anfallen. Dadurch kann bei geringeren Kosten eine höhere Qualität erreicht werden, als wenn jeder Betreiber ein eigenes System aufbaut.

Stoffdaten, spezifische Daten, Stoffkonzentrationen

Viele der vorliegenden Emissionsfaktoren und Stoffgehalte stammen aus älteren Untersuchungen, so dass diese nicht mehr unbedingt dem aktuellen Stand der Technik entspre-

chen: Im Verkehr hat eine starke Entwicklung zu emissionsärmeren Motoren stattgefunden, so dass generell von sinkenden Emissionen aus der Verbrennung ausgegangen werden kann. Dafür werden die PKWs immer größer und schwerer. Schwerere Fahrzeuge erzeugen potenziell mehr Abrieb von Reifen und Bremsen. Aber auch die verbauten Materialien in Fahrzeugen ändern sich fortlaufend in der Zusammensetzung. Untersuchungen zu Partikelemissionsfaktoren von Reifen und Bremsen aktueller Fahrzeuge unter realen Umweltbedingungen sind sehr begrenzt.

Bei Gebäuden gibt es recht umfangreiche Studien zu den Emissionsfaktoren von Metalldachflächen. Hier fehlen eher Informationen über das tatsächlich verbaute Material und dessen Zustand (Korrosion). Hingegen gibt es für PAK-Emissionen aus Bitumendachmaterial keine auf Einzugsgebietsskala anwendbaren Emissionsfaktoren.

Die großen Unsicherheiten in den Emissionsfaktoren und Materialgehalten lassen sich durch zielgerichtete Messprogramme reduzieren. Dabei spielt die Auswahl der untersuchten Parameter eine große Rolle: Je mehr Parameter erfasst werden, desto teurer wird die Analytik einer ausreichend großen Stichprobe. Da aber auch Versuchsaufbau und -durchführung erhebliche Kosten verursachen, sollten bei einem Versuch möglichst alle relevanten Parameter erfasst werden.

Schließlich bedarf es weiterer Untersuchung der Austragspfade von Spurenstoffen aus Kanaleinzugebieten: Regenwasserkanal, Straßenreinigung und Sinkkastenentleerung. Die in diesem Projekt gewählte starke Aggregation von Proben zu Mischproben wird dann problematisch, wenn die daraus resultierenden Ergebnisse kein einheitliches Konzentrationsmuster zeigen. Wenn beispielsweise eine Halbjahresmischprobe eine hohe und eine niedrige Konzentration zeigt, kann nicht abgeleitet werden, ob eine der Proben durch Ausreißer beeinflusst ist oder tatsächlich ein saisonaler Einfluss vorliegt. Hier lautet die Empfehlung mit 6 * Zweimonatsmischproben zu arbeiten.

Monitoring von Mikroplastik

Die Untersuchungen zu Mikroplastik haben gezeigt, dass die beiden Methoden IR Spektroskopie (Umweltbundesamt) und Elementaranalyse (EA-OEM; TU Wien) ähnliche Resultate liefern und die Unterschiede durch die Art der Probennahme, die diffizile Probenteilung und spezifische Eigenschaften der Methoden gut erklärbar sind. Die Beprobung erfolgte

mittels Netzkonstruktionen mit einer Maschenweite $> 500 \mu\text{m}$. Internationale Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Emission von Mikroplastik im Ablauf von Kläranlagen hauptsächlich im Partikelbereich $< 500 \mu\text{m}$ erfolgt (Mintenig et al. 2017; Simon et al. 2018; Wolff et al. 2019).

Um die Relevanz von Kläranlagen für den Eintrag an Mikroplastik in die Gewässer abzuschätzen, wären daher weitere Versuche für den relevanten Partikelbereich von 10 bis $1000 \mu\text{m}$ notwendig, wobei einerseits die kurzfristigen Schwankungen der Mikroplastikfracht (Stunden bis Tage) und die langfristigen (Monate bis ein Jahr) an ausgewählten Kläranlagen untersucht werden sollten. Weiters sollte durch gezielte Auswahl der Beprobungsstandorte ein möglichst repräsentativer Querschnitt bezüglich der unterschiedlichen Reinigungstechnologien von nationalen Kläranlagen erreicht werden. Nach Kenntnis des Emissionsverhaltens könnte ein maßgeschneidertes Monitoringprogramm für den Bereich der kommunalen Kläranlagen erstellt werden, mittels dessen man die Relevanz dieses Eintragspfades feststellen kann. Im Weiteren wäre dies die Basis für die Festlegung von Überwachungs- oder Grenzwerten. Zusätzlich sollten auch die Eintragspfade für Mikroplastik über Mischwasserentlastung und Regenkanalisation untersucht werden, da diese vermutlich wichtiger sind als die Emission aus Kläranlagen.

Eine für Gewässer möglicherweise relevante Belastung ist Reifenabrieb, welcher auf Straßen entsteht und durch die Kanalisation nach Regenereignissen abtransportiert wird. Eine standardisierte Methode zur Bestimmung des Reifenabriebs in der Umwelt gibt es nicht. Die IR Methode kann nur bedingt für die Analyse von Reifenabrieb eingesetzt werden, da durch den hohen Anteil an elementarem Kohlenstoff (carbon black) die Messung mittels ATR-FTIR Spezialequipment erfordert. Die EA-OEM, in der vorliegenden Variante, erfasst den Reifenabrieb gemeinsam mit Mikroplastik als Summenparameter und kann diesen von den anderen synthetischen Polymeren nicht unterscheiden. Durch Erweiterung des aktuellen Modells (derzeit werden die Parameter CHNSO gemessen) durch zusätzliche Parameter wie spezifischer carbon black-Anteil oder auch anorganische Elemente wie zum Beispiel Zink, könnte eine Unterscheidung von der restlichen Mikroplastikfraktion möglich sein. Hierfür muss die EA-OEM instrumentell erweitert werden und anhand geeigneter Probenmaterialien, die auch im Zuge des Projekts TEMPEST nachträglich gezogen wurden, getestet werden. Zum aktuellen Zeitpunkt können daher keine konkreten Handlungsempfehlungen zum Thema Reifenabrieb formuliert werden. Der derzeitige Forschungsschwerpunkt liegt nach wie vor auf der Entwicklung von geeigneten Analysemethoden.

4.4.2 Gewässerschutz

Immissionsseitige Maßnahmennotwendigkeit

Vergleicht man die Konzentrationen der im Rahmen des Projektes TEMPEST gemessenen Stoffe mit den Umweltqualitätsnormen (UQN) der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (Kapitel 3.1.1), erkennt man, dass speziell für das PFT (Perfluortensid) PFOS sowie den beiden PAK Flouranthen und Benzo(a)pyren Werte gemessen wurden, die in den Niederschlagswasserabläufen der Trennkanalisation aber auch in den Mischwasserentlastungen über der UQN liegen. Für die Metalle wurde der Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit der UQN nicht durchgeführt, da im Projekt Gesamtkonzentrationen gemessen wurden, während sich die UQN der Metalle auf die gelöste Fraktion der Metalle bezieht. Die Gesamtkonzentrationen der Metalle lagen in den Niederschlagswasserabläufen der Trennkanalisation in der Regel jedoch über den UQN-Werten. Dies bedeutet, dass auch unterhalb einer Einleitung in den empfangenden Gewässern aufgrund vergleichbarer Einleitungen Konzentrationen in Abhängigkeit von Vorbelastung und Verdünnung auftreten können, die über den UQN liegen. Für die anderen untersuchten TEMPEST-Parameter konnte dieses Risiko nicht identifiziert werden.

In der Studie STOBIMO-Spurenstoffe (BMNT, 2019) wurde eine Risiko- und Pfadanalyse für das österreichische Staatsgebiet unterteilt in Einzugsgebieten mit einer Größe von im Mittel 100 km² durchgeführt. So konnten Aussagen über die Risikoverfehlung bzw. den anteiligen Beitrag unterschiedlicher Eintragspfade an der Gewässerbelastung im regionalen Kontext gemacht werden. Hier konnte gezeigt werden, dass neben dem bereits länger bekannten Risiko einer flächendeckenden Überschreitung der Biota-UQN für Quecksilber und PBDE auch für die Parameter Benzo(a)pyren, Fluoranthen und PFOS in einer Reihe von Gewässern ein Risiko einer anthropogen verursachten Überschreitung der UQN gegeben ist. In stark urban geprägten Einzugsgebieten können auch Emissionen aus Niederschlagswassereinleitungen über Trennsysteme oder über Mischwasserüberläufe zu Überschreitungen beitragen. Dies wird durch die Untersuchungen im Projekt TEMPEST und die hier gefundenen Konzentrationen weiter untermauert.

Etwas anders ist die Situation bei den Schwermetallen Zink, Kupfer, Chrom, Nickel und Blei, für die im Niederschlagswasser bei den TEMPEST-Untersuchungen (Gesamtkonzentrationen) ebenfalls Werte größer als die UQN gemessen wurden. Chrom wurde im Zuge des STOBIMO-Spurenstoffe Projektes nicht untersucht. Bei Blei konnte über Messungen und Modellierung kein, für Nickel nur in einzelnen Einzugsgebieten ein Risiko einer Überschreitung der UQN festgestellt werden. Für Zink und Kupfer tritt das Risiko einer Zielver-

fehlung zwar in mehreren Einzugsgebieten auf, hier sind es aber überwiegend Gebiete in denen die Hintergrundbelastung dominiert, und nicht jene Gebiete, die stark urban geprägt sind. In urban geprägten Gebieten weisen die untersuchten Metalle zwar Einträge aus Niederschlagswasserkanälen und Mischwasserentlastungen auf und der Beitrag ist relevant, allerdings sind dies nicht die Gebiete, in denen bei Betrachtung von Gebietsgrößen von 100 km² eine Überschreitung der UQN in größerem Umfang induziert wird. Nichtsdestotrotz können auf einer kleineren Betrachtungsebene in stark urbanen Gebieten bei geringer Verdünnung sehr wohl Niederschlags- und Mischwasserereignisse zu einem Risiko von UQN-Überschreitungen führen, wie auch die Untersuchungen von TEMPEST belegen.

Bezüglich des Eintrages auf urbane Flächen und den weiteren Verbleib unterscheiden sich die PAK, PFOS bzw. die Metalle jeweils deutlich von einander, wie über Stoffflussanalysen gezeigt werden konnte. Die PAK werden auf urbane und Straßenflächen vor allem über den Verkehr eingetragen. Insgesamt gelangen diese Emissionen jedoch nur zu einem kleinen Teil in die Kanalisation. Überwiegend werden sie diffuse in die Umwelt emittiert.

Eine umfassende Stoffflussanalyse für PFOS ließ sich im Rahmen dieses Projektes für den Niederschlagsabfluss in Trennkanalisationen nicht umsetzen. Trotzdem können auch gemeinsam mit den Erkenntnissen aus dem Projekt STOBIMO-Spurenstoffe einige Aussagen getroffen werden. Der Eintrag von PFOS auf urbane Flächen ist sehr divers (Deposition, Abnutzung von Funktionskleidungen, Baustelleneinrichtungen etc.). Von den Flächen werden PFOS überwiegend in die Kanalisation eingetragen und auch Niederschlagswasser aus Trennkanälen kann zur Gewässerbelastung relevant beitragen. Dominiert werden die Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft jedoch durch Emissionen in das Schmutzwasser, womit bei schlechtem Rückhalt auf den Kläranlagen die Emissionen über Kläranlagenabläufe den Austrag aus der Siedlungswasserwirtschaft dominiert.

Die Metalle Zink und Kupfer werden je nach Einzugsgebietscharakteristik des jeweiligen Kanals aus Korrosion städtischer Oberflächen (Dachflächen), Abrieb aus dem Verkehr (Bremsbeläge, Reifen) oder auch Depositionen dominiert. Der Austrag aus den urbanen Bereichen erfolgt zu einem großen Teil über Niederschlagswasserkanalisation oder Mischwasserentlastungen, denen somit jedenfalls auf lokaler Ebene eine besondere Bedeutung bei einer Reduktion von Gewässerbelastungen zukommt.

In Hinblick auf Handlungsoptionen und erforderliche Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft lässt sich aus diesem Befund Folgendes ableiten: Gewässergüteprobleme in

Hinblick auf PAK und PFT haben eine regionale und überregionale Dimension. Weitergehende Maßnahmen der Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen können lokal wirksam sein, insgesamt jedoch nur geringfügig zu der Gesamtproblematik beitragen. Wirksam werden Maßnahmen sein, die bei PFT auch Kläranlagenabläufe miteinbeziehen, vor allem aber, wenn sie auf die Reduktion von Einsatz bzw. Freisetzung („Maßnahmen an der Quelle“) abzielen. Für PAK müssen solchen Maßnahmen vor allem beim Verkehr ansetzen. Wenn hier auch in den letzten Jahren und Jahrzehnten schon viel geschehen ist, war dies in Hinblick auf die Gewässerbelastung bei weitem noch nicht ausreichend.

PFOS gehört zu den „alten“ PFT, deren Problematik schon länger bekannt ist und für welche es auch bereits eine Reihe von Anwendungseinschränkungen gibt (z. B. Feuerlöschschäume). Aktuelle Belastungen gehen zu einem guten Teil auf Altlasten, wie z. B. die noch bestehende Nutzung von Gebrauchsgegenständen, zurück. Ein weiteres Zurückdrängen des Einsatzes ist abzusehen und damit auch ein gewisser Rückgang der Gewässerbelastungen zu erwarten. Durch die hohe Persistenz der PFT werden uns aber Altlasten, z. B. in urbanen Böden, noch länger erhalten bleiben. Die große Problematik liegt in der Substitution alter PFT durch neue PFT, über deren Verhalten und Toxizität noch wenig bekannt ist und für die noch keine Regelungen und Einschränkungen bestehen. Diese werden in Zukunft vermehrt in den Fokus geraten. Eine Eindämmung wird vor allem durch Einschränkungen ihres Einsatzes anzustreben sein.

Für Metalle (mit Ausnahme des bereits erwähnten Quecksilbers) kann in Österreich keine regionale bis überregionale Verfehlung der UQN aufgrund von urbanen Emissionen diagnostiziert werden. Lokale Zielverfehlungen können durch Niederschlagswasser aus Trennsystemen bei ungünstigen Verdünnungsverhältnissen jedoch ausgelöst werden. Hier spricht viel dafür, dass in solchen Fällen auch aus immissionsseitigen Überlegungen siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen zur Reduktion dieser Emissionen eingesetzt werden sollten.

Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft

Bei Sieker et al. (2003) ist zu sehen, dass Entsiegelungsmaßnahmen und Versickerungsanlagen wie Flächen-, Mulden-, Schacht-, Rigolen- oder Rohrrigolenversickerungen bei einer vollständigen Versickerung dazu beitragen können, dass das stofflich belastete Niederschlagswasser weder in die Kanalisation noch in die Oberflächengewässer gelangt. Um auch das Grundwasser vor der stofflichen Belastung zu schützen, sollte zumindest ein 30 cm dicker und begrünter Oberboden vorhanden sein. Durch chemische Fällungsprozesse

se, Sorption oder organische Bindung können Schwermetalle im Boden zurückgehalten bzw. angelagert werden. Bei der Planung ist allerdings zu beachten, dass durch eine Änderung des pH-Wertes oder durch Taumittleinsatz der Rückhalt von Schwermetallen reversibel sein kann. Tonmineralien, Huminstoffe und Eisen- und Manganoxide können organische Stoffe an der Oberfläche binden. Schadstoffe können auch mikrobiologisch abgebaut werden. Die Abbauleistung hängt vom Sauerstoff- und Nährstoffgehalt im Boden ab, je höher dieser ist, desto besser ist die Abbauleistung.

Bei schlechter Versickerungsfähigkeit des Bodens oder bei geringer Flächenverfügbarkeit können kombinierte Versickerungssysteme wie Mulden Rigolen Systeme, Mulden Rigolen Tiefbeete oder Baum Rigolen zur Anwendung kommen (Matzinger et al., 2017).

Nach DWA (2013) finden Niederschlagswasserrückhalteanlagen ihre Anwendung, um die Kanalnetze vor Überlastungen und die Oberflächengewässer vor Einleitungen zu schützen. Dabei dienen diese Anlagen lediglich der Speicherung des Niederschlagswassers und besitzen für extreme Niederschlagsereignisse einen Notüberlauf. Das Ziel dieser Anlagen ist nicht der Rückhalt bzw. der Abbau von Schadstoffen, sondern der Schutz der Oberflächengewässer vor hydraulischem Stress.

Niederschlagswasserklärbecken hingegen haben das Ziel, das Niederschlagswasser zurückzuhalten und zu reinigen. Diese Anlage findet ihre Anwendung, wenn das Niederschlagswasser auf Grund der stofflichen Belastung vor der Einleitung in ein Oberflächengewässer einer Behandlung zu unterziehen ist. Bei diesem Vorgang kann das Niederschlagswasser entschlammte und Schwimmstoffe, Leicht- und Schwerflüssigkeiten zurückgehalten werden (DWA, 2013).

Das Ziel von Retentionsbodenfilterbecken ist neben der retentiven Wirkung der effektive Rückhalt von Feststoffen und die Oxidation von organischen Kohlenstoffverbindungen (CSB, BSB) und Ammonium. Auch partikelgebundene Stoffe wie Mineralölkohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe oder Schwermetalle können zurückgehalten werden (DWA, 2019). In Tabelle 53 sind Angaben aus BMNT (2019) zu stoffspezifischen Rückhalten für die Emissionen aus urbanen Systemen bei der Verbesserung des Feststoffrückhaltes zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die Wirksamkeit für den Spurenstoffrückhalt für Regenwasser aus der Trennkanalisation generell sehr gering ist und ein reiner Feststoffrückhalt keine maßgebliche Verbesserung bringt. Szenarien über die Wirksamkeit dieser Maßnahmen auf regionaler Ebene sind ebenfalls in BMNT (2019) enthalten.

Tabelle 53: Stoffspezifische Rückhalte für die Emissionen aus urbanen Systemen bei Verbesserung des Feststoffrückhaltes

| Parameter | K _D [L/kg] | Rückhalt [%] | |
|----------------------|------------------------|--------------|-----------------------------------|
| | | Mischwasser | Regenwasser aus Trennkanalisation |
| | Feststoffgehalt [mg/L] | 145 | 35 |
| | Feststoffrückhalt [%] | 30 | 20 |
| Cadmium | 25.120 | 22 | 8 |
| Kupfer | 7.945 | 14 | 4 |
| Nickel | 15.850 | 19 | 6 |
| Zink | 19.950 | 21 | 7 |
| Quecksilber | 19.950 | 21 | 7 |
| TBT | 7.945 | 14 | 3 |
| DBT | 31.620 | 23 | 9 |
| PBDE | 891.250 | 30 | 20 |
| Fluoranthen | 10.000 | 16 | 4 |
| Naphthalin | 10.000 | 16 | 4 |
| Benzo(a)pyren | 10.000 | 16 | 4 |
| PFOS | 1.410 | 4,0 | 1 |
| PFOA | 1.410 | 4,0 | 1 |

Quelle: BMNT, 2019

Die Behandlungsverfahren für Niederschlagswasser werden im Detail unter Berücksichtigung von Kosten und technischer Anwendbarkeit bei Polgar (2020) dargestellt.

5 Anhang

5.1 Auswahl und Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Auswahlkriterien

Ziel der Auswahl unterschiedlicher Kanaleinzugsgebiete ist die Identifikation potenzieller Einflussfaktoren für ausgewählte Schadstoffe. Angestrebt wurde die Auswahl von zwei bis drei geeigneten Siedlungsgebieten mit einer Niederschlagswasserableitung über Trennsysteme, von einem Straßenabschnitt und einem Mischsystem als Validierungsgebiet. Bei der Auswahl der Untersuchungsgebiete ist die Möglichkeit/Machbarkeit der Probenahme über einen längeren Zeitraum ein wesentlicher Aspekt.

Die Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsgebiete waren:

- Praktische Kriterien
 - Zugänglichkeit: Standort mit Kfz erreichbar
 - Stromanschluss vorhanden
 - Sicherheit: diebstahl-/vandalismussicher
 - Möglichst wenig Fremdwasserabfluss
 - Messung des Durchflusses einfach möglich
 - Kein Rückstau
 - Geeignetes Kanalprofil
 - Niederschlagsmessstelle in der Umgebung
- Fachliche Kriterien:
 - Ein bis zwei Gebiete mit Straßenabfluss
 - Ein Gebiet im Mischsystem zur Validierung
 - Zwei bis drei Gebiete im Trennsystem
 - Nicht dominiert durch Straßenverkehr
 - Ein Gebiet, in dem Gewerbe dominiert, sofern noch zwei andere ausgewählt werden, in denen Wohnbebauung dominiert
 - Verschiedene Bebauungs- und/oder Dachtypen
 - Nicht zu stark durch Grünflächen geprägt, da dann hoher Stoffrückhalt und geringe Konzentrationen zu erwarten sind.

Zur Klassifizierung der Untersuchungsgebiete wurden folgende Daten benötigt:

- Flächendaten:
 - Kanalnetzplan, Kanaleinzugsgebiet
 - Angeschlossene versiegelte Fläche (optional)
 - Hochaufgelöstes digitales Höhenmodell zur Reliefanalyse (optional)
 - Hochaufgelöstes digitales Landschaftsmodell (optional)
 - Typisierung von Dachflächen (optional)
 - Typisierung von Straßenbelägen und sonstigen befestigten Flächen (optional)
 - Daten zur Altersstruktur der Gebäude (optional)
- Statistische Daten:
 - Einwohneranzahl
 - Kfz-Verkehrserhebungen mit Anteil Schwerlastverkehr
 - Verkehrserhebung Eisenbahn sofern im Gebiet vorhanden (optional)
- Sonstiges:
 - Angaben zu Industrie/Gewerbe im Gebiet (optional)
 - Lokale Daten zum Verbrauch von Brennstoffen für Heizzwecke, Absatz von Fassadenfarbe für Außenbereich

Es wurden einige Siedlungsgebiete hinsichtlich der Eignung für die Probenahme mittels der angeführten Kriterien geprüft. Einen Überblick über die durchgeführten Recherchen und deren Bewertungen zeigt Tabelle 54.

Als Validierungsgebiet (Siedlungsgebiet mit Mischwasserkanalisation) wurde ein Einzugsgebiet in Graz und als Straßenabschnitt die L202 in Hard/Bregenz gewählt. Beide wurden bereits im Projekt SCHTURM untersucht. Als zweiter Straßenabschnitt war zunächst die Autobahnbrücke A2 über die Mur (Graz) vorgesehen, die ebenfalls bereits im Projekt SCHTURM ein Untersuchungsgebiet darstellte. Da jedoch der gesamte Autobahnabschnitt im Jahr 2017 saniert wurde und eine repräsentative Beprobung nicht gewährleistet war, konnte dieser Straßenabschnitt nicht im Untersuchungsprogramm berücksichtigt werden.

Tabelle 54: Beschreibung der möglichen Untersuchungsgebiete

| Name | Art | Praktische Auswahlkriterien | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|----------------|-------|------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | Größe (ha) | Dominierende Nutzung | Zugänglichkeit | Strom | Sicherheit | Wenig Fremdwasser | Durchflussmessung möglich | Niederschlagsmessstelle in der Nähe |
| Graz, Ruckerlberg | Siedl. – Trennk. | 123 | Wohnen | + | + | + | - | + | + |
| Graz, Hubertusgasse | Siedl. – Trennk. | 85 | Wohnen mit Verkehr | + | + | + | - | + | + |
| Graz, Ziegelstraße | Siedl. – Trennk. | 42 | Wohnen, ein großer Kreuzungsbereich | + | + | + | | + | + |
| Hard, Erlach-Birkengraben | Siedl. – Trennk. | 16 | Wohnen | + | + | + | + | (+) | + |
| Hard, Seestraße-Dorfbach | Siedl. – Trennk. | 23 | Wohnen mit Verkehr | + | + | (-) | (+) | (+) | + |
| Hard, Langackerweg | Siedl. – Trennk. | 18 | Wohnen, viel Grünfläche | + | + | + | + | + | + |
| Bregenz, Oberstadt | Siedl. – Trennk. | 2,4 | Wohnen | (-) | (+) | (+) | + | (-) | + |
| Ostöst. Siedlungsgebiet A | Siedl. – Trennk. | 43 | Gewerbe | + | + | + | (+) | + | + |
| Ostöst. Siedlungsgebiet B | Siedl. – Trennk. | 77 | Wohnen | + | + | ? | (-) | (-) | ? |
| Ostöst. Siedlungsgebiet C | Siedl. – Trennk. | 6 | Wohnen | + | ? | ? | ? | + | ? |

| Name | Art | Praktische Auswahlkriterien | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------|----------|------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | Größe (ha) | Dominierende Nutzung | Zugänglichkeit | Strom | Sicherheit | Wenig Fremdwasser | Durchflussmessung möglich | Niederschlagsmessstelle in der Nähe |
| Ostöst. Siedlungsgebiet D | Siedl. – Trennk. | 82 | Gewerbe und Wohnen | + | ? | ? | ? | + | ? |
| Graz- R05 - Mischwasser | Siedl. – Mischk. | 456 | Wohnen, Gewerbe | + | + | + | | + | + |
| Autobahnbrücke A2/Mur | Straßenabschnitt | 12 | Verkehr | + | + | + | | + | ? |
| L202 in Hard/Bregenz | Straßenabschnitt | 0,33 | Verkehr | + | + | + | + | + | + |

Quelle: TU Wien, TU Graz, Umweltinstitut Vorarlberg, Umweltbundesamt

5.1.1 Beschreibung der Untersuchungsgebiete und der Probenahmestellen

5.1.1.1 Untersuchungsgebiet 1: Graz/Ziegelstraße (Steiermark) Niederschlagswasserkanal (NWK)

Das Untersuchungsgebiet 1 liegt im Bezirk Andritz im Norden von Graz und wird im Trennsystem entwässert. Bei einer Gesamtfläche des Einzugsgebietes (EZG) von ca. 41,9 ha beträgt der erhobene befestigte Flächenanteil im EZG 12,9 ha und der durch Kalibrierungen ermittelte befestigte und angeschlossene Anteil 8,3 ha, was einem Anteil von 19,8 % von der EZG-Fläche entspricht. Das vorhandene Trennsystem gliedert sich in einen Schmutzwasser- und einen Niederschlagswasserkanal, wobei für die Beprobung von Niederschlagswasserabflüssen im Projekt TEMPEST nur letzterer relevant war. Als Sonderbauwerk ist im Niederschlagswasserkanal (NWK) ein Stauraumkanal ohne Entlastung mit einem Speichervolumen von 415 m³ integriert. Eine Übersicht des Einzugsgebiets ist in Abbildung 47 dargestellt.

Abbildung 47: Übersichtsplan des NWK-Untersuchungsgebiets Graz – Ziegelstraße



Quelle: TU Graz

Das Einzugsgebiet kann als eher ländlich geprägte Wohngegend in Stadtrandlage entlang eines V-Tales charakterisiert werden, die einen größeren Kreuzungsbereich im westlichen

Teil aufweist, in deren unmittelbarem Nahbereich sich auch die Probenahmestelle befindet.

Die Seehöhe beträgt im Kreuzungsbereich Ziegelstraße/Radegunderstraße ca. 367 müA. Nördlich, östlich und südlich eingeschlossen durch kleinere Hügel bzw. Anhöhen befindet sich das Siedlungsgebiet in einer Tallage. Im tiefsten Bereich des Tales und parallel zur Ziegelstraße fließt der Stufenbach westwärts durch das Einzugsgebiet. Westlich der Kreuzung Inge-Morath-Straße/Ziegelstraße wurde mit Ende des Jahres 2017 ein Hochwasserrückhaltebecken für den Stufenbach fertiggestellt. Eine Übersicht der Geländehöhen im Einzugsgebiet ist Tabelle 55 zu entnehmen.

Tabelle 55: Geländehöhen im Einzugsgebiet

| | Geländehöhe [müA] |
|-------------------|--------------------------|
| Minimum | 367,2 |
| Maximum | 500,7 |
| Median | 397,8 |
| Mittelwert | 404,6 |

Quelle: TU Graz

Die Entwässerung erfolgt im untersuchten Gebiet über ein Trennsystem mit einem Schmutzwasser- und einem Niederschlagswasserkanal. Der Niederschlagswasserkanal besteht aus Kreisprofilen mit Durchmessern von 150 mm bis 600 mm und hat eine Gesamtlänge von ca. 2,8 km. Die Sohlneigungen der Haltungen variieren zwischen einem Minimum von 0,001 % und einem Maximum von 11,77 %.

Die dominierende Nutzungsart ist eindeutig „Wohnen“, wobei zu einem großen Anteil Einfamilienhäuser in dieser städtischen Randlage vorzufinden sind. Nur im Nordwesten befinden sich 16 mehrstöckige Reihenhäuser. Größere Gewerbe- oder Industriebetriebe sind mit Ausnahme eines vierstöckigen Bürogebäudes im Kreuzungsbereich Radegunderstraße/Ziegelstraße nicht vorhanden. Erwähnenswert ist noch die Anlage eines Tennisclubs mit sechs Sandplätzen.

Der größte Teil der Verkehrsbelastung im Einzugsgebiet entfällt auf den Kreuzungsbereich Andritzer Reichsstraße/Radegunderstraße/Ziegelstraße, den ca. 23 000 Kfz pro Tag passie-

ren. Die Ziegelstraße, die eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h aufweist und insgesamt auf einer Länge von etwa 1.800 m durch das Einzugsgebiet verläuft, durchfahren im westlichen Abschnitt ca. 2.400 Kfz täglich. Da sie im Osten eine Sackstraße bildet, herrscht hier Anrainerverkehr vor. Auch der im Süden durch das Einzugsgebiet führende Ulrichsweg entspricht einer schmalen Wohnstraße mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h, wovon keine große Verkehrsbelastung zu erwarten ist. Über einen Schwerverkehrsanteil liegen keine Daten vor, jedoch sind bis auf den Kreuzungsbereich Radegunderstraße/Ziegelstraße keine nennenswerten Anteile zu erwarten. Lediglich durch die Buslinie 52 der Holding Graz Linien, welche eine Umkehrschleife am Rand zum Einzugsgebiet an der Kreuzung Inge-Morath-Straße/Ziegelstraße hat, ist vereinzelt Schwerverkehr zu erwarten. Eine Übersicht aller Straßenabschnitte im Einzugsgebiet ist in der Abbildung 48 dargestellt.

Abbildung 48: GIS-Darstellung mit Flächen und Straßenbezeichnungen des Einzugsgebiets Graz – Ziegelstraße



Quelle: TU Graz

Im Zuge einer Begehung wurden alle Oberflächen manuell aufgenommen und anschließend mittels der Software „ArcMap“ digitalisiert. Dabei wurden vor allem die beiden Kategorien „Landnutzung“ und „Oberflächenmaterial“ als abflussbeeinflussende Parameter

ins Auge gefasst. In Abbildung 49 ist ein beispielhafter GIS-Auszug der erhobenen Oberflächen dargestellt.

Folgende Nutzungsarten wurden in der Auswertung unterschieden:

- Dach
- Straße
- Hauseinfahrt
- Gehweg
- Parkplatz
-
- Grünfläche
- Anderes
- Wasser
- Wald
- Fels
-

In Tabelle 56 sind die Flächenanteile und die prozentualen Anteile der im Einzugsgebiet erhobenen Oberflächenarten bezogen auf ihre Nutzungsart aufgelistet. Die eher ländliche Prägung des Untersuchungsgebiets in Stadtrandlage wird durch die relativ hohen Anteile Grünflächen (ca. 57 %) und Waldflächen (ca. 20 %) charakterisiert.

Abbildung 49: Auszug der erhobenen Oberflächen im Einzugsgebiet Graz – Ziegelstraße



Quelle: TU Graz

Tabelle 56: Anteile von Oberflächenart und Nutzungsart

| Oberflächenart | Nutzungsart | Fläche [m ²] | Anteil an Gesamtfläche | Anteil an Nutzungsart |
|--------------------|--------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Tonziegel | Dach | 8.199 | 9,3 % | 21,1 % |
| Eternit | | 20.528 | | 52,8 % |
| Blechdeckung | | 4.878 | | 12,5 % |
| Glas | | 830 | | 2,1 % |
| Kunststoff | | 436 | | 1,1 % |
| Bitumenschindel | | 220 | | 0,6 % |
| Bitumenbahnen | | 362 | | 0,9 % |
| Flachdach | | 3.449 | | 8,9 % |
| Asphalt | Straße | 20.748 | 6,2 % | 79,6 % |
| Schotter | | 5.308 | | 20,4 % |
| Asphalt | Hauseinfahrt | 7.334 | 2,3 % | 77,9 % |
| Natursteinpflaster | | 766 | | 8,1 % |
| Schotter | | 689 | | 7,3 % |
| Waschbeton | | 51 | | 0,5 % |
| Kopfsteinpflaster | | 117 | | 1,2 % |
| Beton | | 432 | | 4,6 % |
| Rasengitter | | 27 | | 0,3 % |
| Asphalt | Gehweg | 3.039 | 0,8 % | 91,0 % |
| Schotter | | 26 | | 0,8 % |
| Natursteinpflaster | | 37 | | 1,1 % |
| Waschbeton | | 7 | | 0,2 % |
| Kopfsteinpflaster | | 116 | | 3,5 % |
| Rasengitter | | 36 | | 1,1 % |
| Beton | | 80 | | 2,4 % |
| Asphalt | | Parkplatz | | 3.128 |
| Schotter | 674 | | 15,9 % | |

| Oberflächenart | Nutzungsart | Fläche [m ²] | Anteil an Gesamtfläche | Anteil an Nutzungsart |
|--------------------|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Kopfsteinpflaster | | 415 | | 9,8 % |
| Beton | | 11 | | 0,3 % |
| Wiese | Grünfläche | 139.856 | 57,3 % | 58,3 % |
| Wiese/Bewuchs | | 36.787 | | 15,3 % |
| Bewuchs/Wiese | | 25.754 | | 10,7 % |
| Bewuchs | | 37.714 | | 15,7 % |
| Asphalt | | 319 | | 2,4 % |
| Natursteinpflaster | Anderes | 3.499 | 3,2 % | 26,3 % |
| Schotter | | 6.581 | | 49,4 % |
| Waschbeton | | 442 | | 3,3 % |
| Kopfsteinpflaster | | 140 | | 1,1 % |
| Holz | | 73 | | 0,6 % |
| Rasengitter | | 14 | | 0,1 % |
| Beton | | 2.265 | | 17,0 % |
| Wasser | | Wasser | | 352 |
| Wald | Wald | 83.480 | 19,9 % | 100,0 % |
| Fels | Fels | 86 | 0,0 % | 100,0 % |

Quelle: TU Graz

Tabelle 57 stellt die Flächenanteile aller betrachteten Nutzungsarten im Einzugsgebiet Graz – Ziegelstraße dar.

Tabelle 57: Flächenanteile je Nutzungsart

| Nutzungsart | Fläche [m ²] | Nutzungsart | Fläche [m ²] |
|--------------|--------------------------|-------------|--------------------------|
| Dach | 38.902 | Anderes | 13.331 |
| Straße | 26.055 | Wasser | 352 |
| Hauseinfahrt | 9.414 | Wald | 83.480 |

| Nutzungsart | Fläche [m ²] | Nutzungsart | Fläche [m ²] |
|-------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|
| Gehweg | 3.340 | Fels | 86 |
| Parkplatz | 4.227 | Gesamtfläche: | 419.298 m² |
| Grün | 240.111 | | |

Quelle: TU Graz

Aufgrund dieser Erhebung ergibt sich eine versiegelte Fläche von ca. 8,2 ha, was bei einer Gesamtfläche von ca. 41,9 ha einem Versiegelungsgrad von etwa 19,5 % entspricht. Dabei sind vorhandene befestigte Flächen im Einzugsgebiet, die nicht in das Kanalsystem einleiten, den Grünflächen zugerechnet worden, da das abgeleitete Niederschlagswasser von diesen zum Großteil direkt vor Ort versickert wird.

Das Einzugsgebiet beinhaltet 531 Dächer, wovon 28 Flachdächer sind. Nicht jede aufgenommene Dachfläche ist allerdings direkt am Niederschlagswasserkanal angeschlossen, denn es wurden auch Gartenhütten oder Carports berücksichtigt, die augenscheinlich auf eine Wiese entwässern bzw. über keine Dachrinnen verfügen. Bei den Dächern wurde auch die Dachneigung abgeschätzt und aufgenommen (siehe Tabelle 58).

Tabelle 58: Verteilung der Dachneigungen

| Dachneigung [°] | Anzahl |
|-----------------|--------|
| Flachdach | 28 |
| 1 - 15 | 256 |
| 16 - 30 | 149 |
| 31 - 45 | 62 |
| > 45 | 36 |

Quelle: TU Graz

In Tabelle 59 finden sich die Baujahre der im Kataster registrierten Gebäude.

Tabelle 59: Verteilung der Gebäudebaujahre

| Baujahr | Anzahl |
|-------------|--------|
| - 1993 | 188 |
| 1994 - 2000 | 11 |
| 2001 - 2005 | 18 |
| 2006 - 2010 | 9 |
| 2011 - | 15 |

Quelle: TU Graz

Beschreibung der Messstelle

Die Konzeption der Messstelle zur Beprobung des Niederschlagswasserkanals im Einzugsgebiet begann im Frühjahr 2017. Nach einer Testphase und notwendigen Anpassungen der verwendeten Geräte wurde die Station mit 01.10.2017 in Betrieb genommen. Die Kurzbezeichnung lautet „Graz – Ziegelstraße“.

- Folgende Aspekte wurden bei der Konzeption der Messstelle berücksichtigt:
- Lage am Ende des Einzugsgebiets zur Erfassung aller Oberflächeneinflüsse
- Direkter Zugang von der Messstelle in den Niederschlagswasserkanal
- Möglichkeit zum Einbau von Geräten zur Erfassung der Durchflussraten und des Wasserhöhenstands
- Möglichkeit zur Installation von Ansaugschläuchen zur automatischen Probenahme aus dem Kanal
- Vorhandensein und Zugriff auf eine nahegelegene Niederschlagsmessstation
- Nach Möglichkeit wenig Fremdwassereinfluss im Kanalsystem
- Gute Zugänglichkeit und Zufahrtsmöglichkeit zur Messstelle
- Vorhandensein einer permanenten Stromversorgung
- Witterungsschutz für die betriebenen Geräte (Winter- und Sommerbetrieb)
- Lagerungsmöglichkeit für erforderliche Probenahmegefäße und Wartungsmaterialien
- Schutz vor Vandalismus

Die Messstelle befindet sich am Ende des Niederschlagswasserkanals (DN 500 mm) aus der Ziegelstraße unmittelbar vor der Einleitung in den Stufenbach am Gelände der Holding Graz (Freizeit GmbH Graz) (siehe Abbildung 50) und ist rund 5,5 km bzw. 15 Autominuten von der TU Graz entfernt. Die Adresse lautet Andritzer Reichsstraße 25A, 8045 Graz. Die

Zufahrtsmöglichkeit erfolgt dabei über den Parkplatz des direkt angrenzenden Stukitzbades (siehe Abbildung 51).

Abbildung 50: Einleitungsstelle des Niederschlagswasserkanals aus der Ziegelstraße in den Stufenbach © TU Graz



Abbildung 51: Zufahrtsmöglichkeit zur Niederschlagswasserkanal-Messstelle Graz – Ziegelstraße über den Parkplatz des Stukitzbades © TU Graz



Um im Besonderen die Anforderungen an einen kontinuierlichen Witterungsschutz und an die Sicherheit gegen Vandalismus für den Zeitraum eines Jahres bestmöglich erfüllen zu können, wurde die Errichtung einer metallischen Messhütte mit den Abmessungen 172 x 156 x 196 cm (B x T x H) gewählt, die auf einem Fundament aus Schotter und Betonplatten aufgestellt wurde. Als Eingang dient eine Doppeltür mit einem absperribaren Drehgriff-Zylinderschloss. Der Boden besteht aus witterungsbeständigen Holztafeln. Im Inneren der Messhütte befinden sich alle Messeinrichtungen, die Probenahmegeräte und die zur Wartung der Messstelle benötigten Utensilien. Abbildung 52 zeigt die fertig aufgebaute aber noch nicht ausgestattete Messhütte mit dem davor befindlichen Kanaleinstieg. Dieser Einstieg wurde dankenswerterweise von der Holding Graz Wasserwirtschaft extra für das Projekt neu errichtet, um die direkte Zugänglichkeit zum Kanalquerschnitt für die erforderlichen Installations- und Wartungsarbeiten zu ermöglichen. Dazu wurde der in 1,5 m Tiefe befindliche Niederschlagswasserkanal (DN 500 mm) aufgegraben, die obere Hälfte des Querschnitts abgetragen und darauf ein Kanalschacht in Ortbetonbauweise aufgesetzt. Im Zuge dieser Arbeiten wurden auch ein Panzerschlauch zur Installation aller Leitungen und Probenahmeschläuche vom Inneren des Kanals in Richtung Messhütte und zusätzlich auch eine Stromleitung vom nahegelegenen Stromschrank verlegt (siehe Abbildung 53). Zur Abgrenzung der Messstelle vom benachbarten Parkplatz wurde eine Absperrung errichtet, um das Abstellen von parkenden Fahrzeugen am Kanalschacht zu verhindern.

Abbildung 52: Metallische Messhütte der Niederschlagswasserkanal-Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz



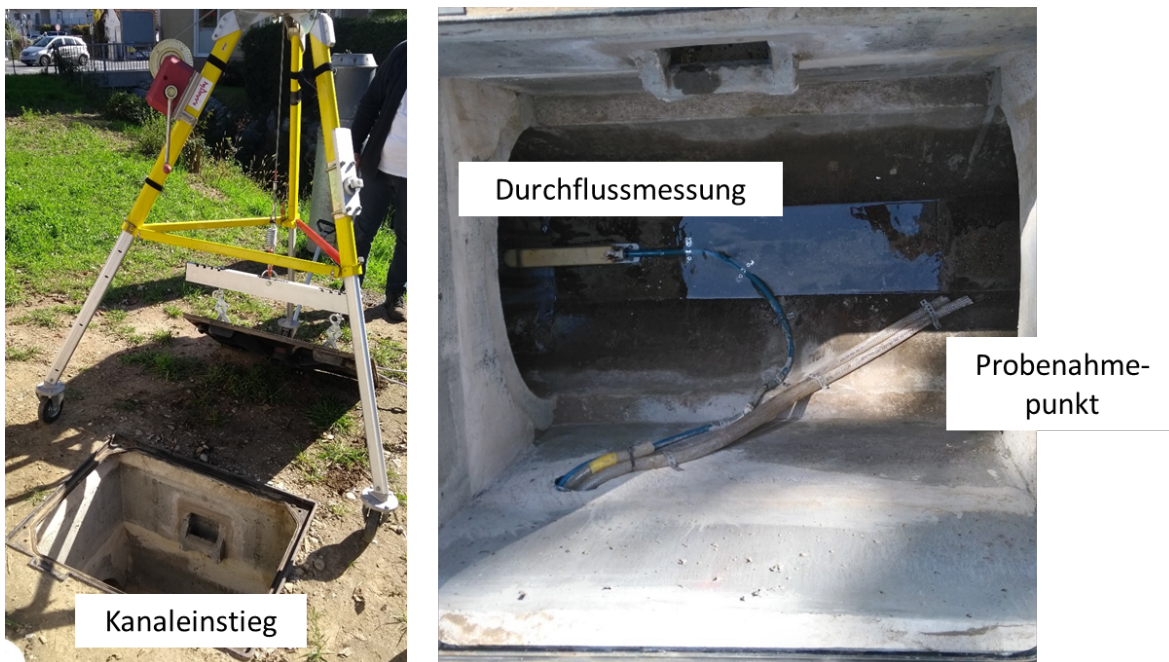
Abbildung 53: Errichtung des Einstiegsschachtes im Niederschlagswasserkanal vor der metallischen Messhütte © TU Graz



Bedingt durch das hohe Gewicht des Kanaldeckels ist das Öffnen nur mit einem Dreibein und einer Seilwinde möglich. In einer Tiefe von 1,5 m befindet sich eine Kernbohrung in

der Schachtwand, durch welche die Ansaugschläuche für die Probenahmegeräte und das Kabel für den kombinierten Sensor zur kontinuierlichen Erfassung der Durchflussrate und des Wasserhöhenstands von der Messhütte direkt an die Kanalsohle führen (siehe Abbildung 54).

Abbildung 54: Öffnen des Kanaleinstiegs mit einem Dreibein und Seilwinde (links) und Sichtung der Durchflussmessung und der Ansaugpunkte für die Probenahme © TU Graz



Die Ausstattung der Messhütte ist im Detail in Abbildung 55 und Abbildung 56 dargestellt. Neben der Beleuchtung und einer Wärmedämmung für den Winterbetrieb beherbergt die Messhütte einen Messumformer für das Durchflusssystem, eine Relaisschaltung zur ereignisabhängigen Ansteuerung des Probenahmegeräts und ein Modem zur automatischen Datenübertragung. Zusätzlich wurden in der Messhütte auch ein Dreibein zum Kanaleinstieg, leere Untersätze für die Probenahme sowie Wartungs- und Reinigungsutensilien gelagert.

Abbildung 55: Gesamtausstattung der Messhütte Graz – Ziegelstraße © TU Graz



Abbildung 56: Messtechnische Ausstattung der Messhütte Graz – Ziegelstraße © TU Graz



Eine Übersicht des gesamten Areals der Messstelle Graz – Ziegelstraße ist in Abbildung 57 dargestellt. Die parallel zur Ereignisbeprobung durchgeführte Sammlung von Depositionsproben an dieser Messstelle ist im Kapitel 2.1 im Detail beschrieben.

Abbildung 57: Gesamtübersicht der Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz



Eingesetzte Geräte

Zur Erfüllung der Projektanforderungen mussten an der Messstelle neben der automatischen Probenahme jedes Regenereignisses auch die Wasserstandshöhe und die Durchflussrate bestimmt werden. Die Wasserstandshöhen wurden zum einen zur Ansteuerung des Probenahmegeräts und zum anderen zur kontinuierlichen Messung der Durchflussraten für die Volumenermittlung der Niederschlagswasserabflüsse während der Niederschlagswasserereignisse benötigt. Zusätzlich konnte damit auch eine etwaige Fremdwassermenge im Trockenwetterfall messtechnisch erfasst werden.

Geräte zur Messung der Wasserstandshöhe und der Durchflussrate

Zur Erfassung des Durchflusses und der Wasserstandshöhe im Niederschlagswasserkanal wurde eine Ultraschallsonde der Fa. Nivus GmbH vom Typ „POA Korrelations-Keilsensor“

an der Kanalsohle installiert, welches nach dem Prinzip der Ultraschallreflexion betrieben wird. Dabei wird das Verfahren der Kreuzkorrelation zur Geschwindigkeitserfassung verwendet.

An der Messstelle wurde der Sensor mithilfe eines Montageblechs an der Kanalsohle fixiert. Der Messort befand sich dabei in Fließrichtung gesehen ca. 1,0 m vor dem Ansaugpunkt der automatischen Probenahme (siehe Abbildung 58).

Abbildung 58: Installationsort des Durchflussmesssystems und des Ansaugpunkts für die automatische Probenahme an der Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz



Gerät zur Niederschlagsmessung

Zur Detektion der Intensität und Menge des gefallenen Niederschlags während eines Ereignisses dienen Messdaten aus dem hydrologischen Messnetz Graz. Dafür wurde die nächstgelegene Niederschlags-Messstation zur Messstelle Graz – Ziegelstraße mit einer Entfernung von 1,0 km ausgewählt. Dabei handelt es sich um die Station „Graz-Prochaskagasse-Schule“ (siehe Abbildung 59) die von der Holding Graz Wasserwirtschaft betrieben wird. Fotos der Messstation aus Nord- und Südrichtung sind in Abbildung 60 dargestellt.

Abbildung 59: Lage der Niederschlags-Messtation Graz-Prochaskagasse-Schule © TU Graz



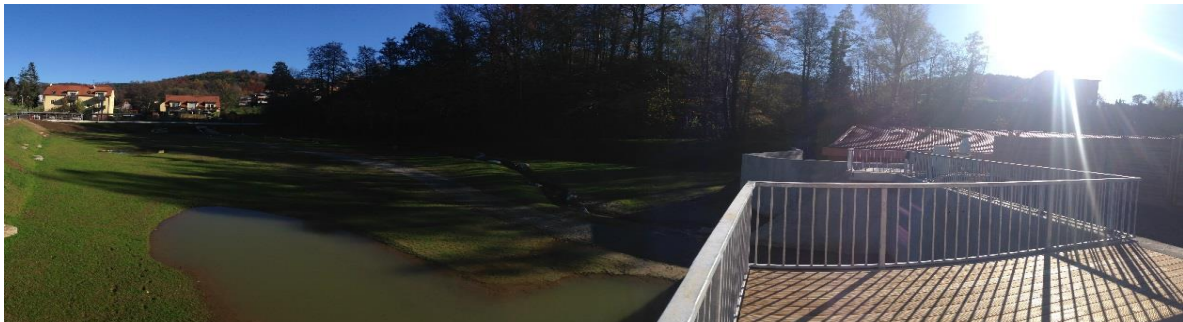
Abbildung 60: Ansichten (Nord, Süd) der Niederschlags-Messtation Graz-Prochaskagasse-Schule © TU Graz



Durch den Bau eines neuen Hochwasserrückhaltebeckens am Stufenbach ist seit Jänner 2018 die neue Niederschlags-Messstation „Graz-RHB-Stufenbach“ im Einzugsgebiet verfügbar, die ab diesem Zeitpunkt ebenfalls für die Ereignisauswertungen verwendet werden konnte.

Als Messgerät kommt in beiden Fällen eine Niederschlagswaage der Fa. Ott Hydromet GmbH vom Typ Pluvio² zum Einsatz. Die Messung der Niederschlagsintensität erfolgt mit einer Auflösung von 0,1 mm/min. Die Auffangfläche beträgt 200 cm² (Durchmesser 16,0 cm). Die Aufstellungshöhe liegt bei ca. 1,5 m über GOK und als Speicherbehälter dient ein 30 L PE-HD-Behälter, der das Auffangen einer Gesamtmenge von 1500 mm Niederschlag erlaubt.

Abbildung 61: Foto der ab Jänner 2018 neuen Niederschlags-Messstation Graz-RHB-Stufenbach © TU Graz



Gerät zur automatischen Probenahme

Die Entnahme von Abwasserproben im Ereignisfall erfolgte mithilfe von automatischen Probenahmegeräten, die in der Messhütte installiert waren. Die Ansaughöhe aus dem Kanal betrug an dieser Messstelle ca. 1,5 m. Abhängig von einem vordefinierten Wasserstand im Kanal wurde die Probenahme automatisch aktiviert. Die entnommenen Proben werden dabei in Behältern (Untersätzen) bis zur Abholung zwischengelagert (siehe Abbildung 62).

An der Messstelle Graz - Ziegelstraße wurden Probenahmegeräte der Fa. Endress+Hauser (E+H) vom Typ Liquiport 2010 CSP44 verwendet (siehe Abbildung 62). Die Ansaugung der Probe erfolgt dabei mit einer Peristaltikpumpe (Schlauchquetschpumpe). Der Untersatz zum Speichern der Proben besteht aus 24 PE-Flaschen mit je 1,0 L Fassungsvermögen. Das Gerät verfügt über keine aktive Kühlung der Proben. Aufgrund der Annahme von vernach-

lässigbar geringen Konzentrationen an organisch abbaubaren Substanzen im Niederschlagswasserabfluss wurde davon ausgegangen, dass keine aktive Kühlung der Proben während der Ereignis-Beprobungen erforderlich ist. Außerdem wurden die gezogenen Proben nach den Ereignissen schnellstmöglich abgeholt und danach bis zur Probenaufbereitung und -analyse in einem Kühlraum an der TU Graz bei 4 °C zwischengelagert.

Abbildung 62: Automatisches Probenahmegerät E+H Liquiport 2010 CSP44 inklusive Probenahmeuntersatz mit 24 1-Liter-Flaschen aus PE-HD (www.at.endress.com, letzter Zugriff am 12.05.2020) © TU Graz



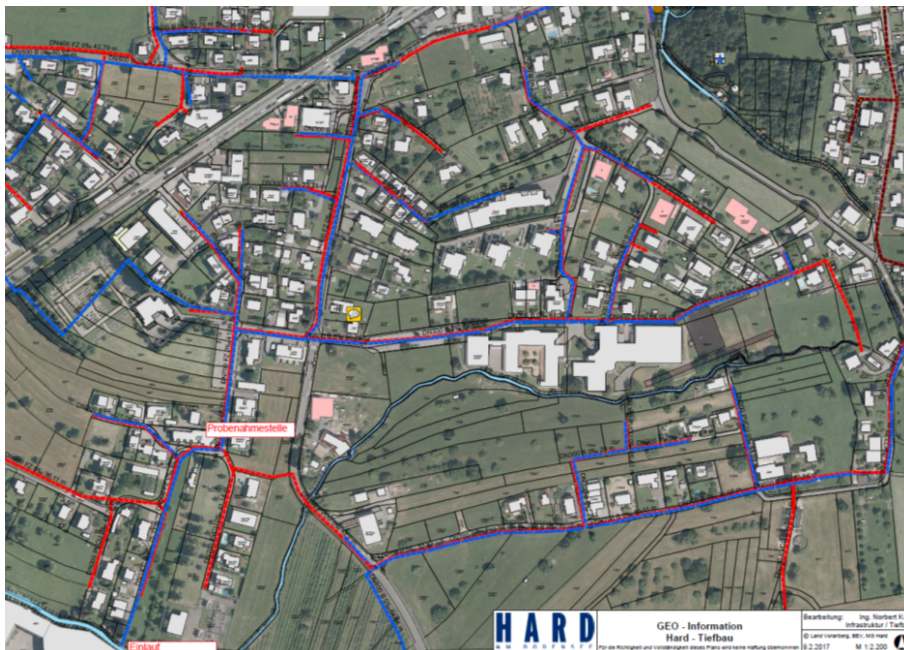
Die wichtigsten Parametrierungseinstellungen des verwendeten Probenahmegeräts sowie eine detaillierte Beschreibung des Vorgangs zur Gewinnung von mengenproportionalen Ereignisproben bzw. der Generierung von Ereignisaliquoten finden sich in den Kapiteln 5.2.1.1 und 5.2.1.2.

5.1.1.2 Untersuchungsgebiet 2: Hard, Langackerweg (Vorarlberg) Niederschlagswasserkanal (NWK)

Bei diesem Untersuchungsgebiet handelt es sich um ein eher kleines Siedlungsgebiet mit hohem Grünflächenanteil. Die Probenahme direkt an der Einleitestelle ist wegen des Rückstaus in den Kanal nicht möglich und muss daher im Kanal erfolgen. Ein Rückstau bis zur Probenahmestelle ist jedoch unwahrscheinlich. Für die Beprobung selbst steht ein leicht zugänglicher Schacht auf einem Gemeindegrundstück zur Verfügung. In diesen

Schacht wurde ein berührungsloses Mengensystem der Fa. Sommer für die volumenproportionale Ansteuerung des Probenahmeegeräts eingebaut. Strom ist direkt an der Probenahmestelle vorhanden. Die Vandalismusgefahr ist eher gering, da kaum Fußgänger an dieser Stelle unterwegs sind. Eine geeignete Niederschlagsmessstelle ist in rund 100 m Entfernung vorhanden. Die abgeschätzte Flächennutzung ist in Tabelle 60 zusammengefasst und in Abbildung 64 dargestellt.

Abbildung 63: Lage des ausgewählten Untersuchungsgebietes Hard, Langackerweg und Kanaleinzugsgebiet



Quelle: Umweltinstitut Vorarlberg

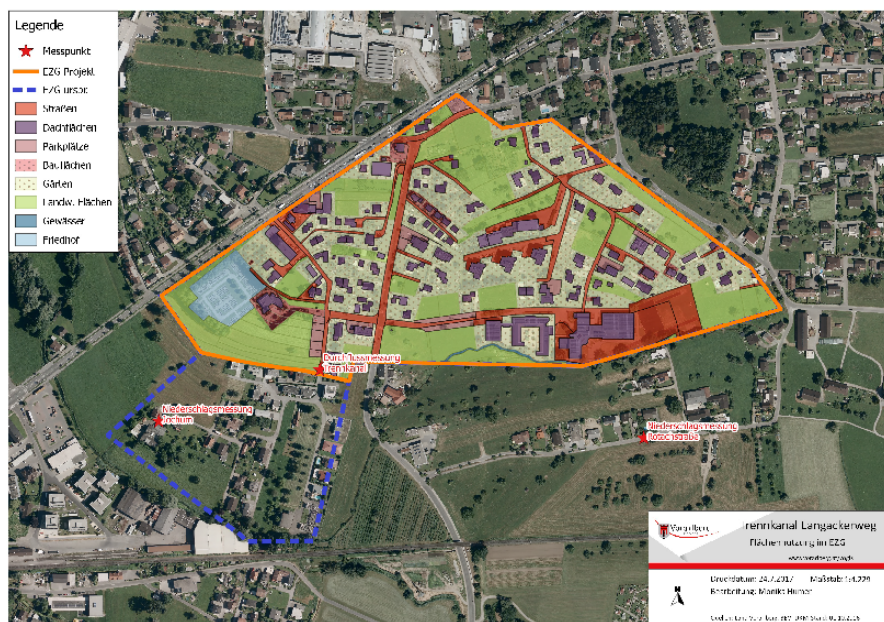
Tabelle 60: Bebauung und Versiegelung im Einzugsgebiet Hard, Langackerweg

| Art der Fläche | Fläche [ha] |
|-------------------------------|-------------|
| Versiegelte Flächen | 3,3 |
| Straßenverkehrsflächen | 2,4 |
| Parkplätze | 0,5 |
| Bauflächen | 0,4 |

| Art der Fläche | Fläche [ha] |
|-------------------------------------|-------------|
| teilweise versiegelte Flächen | 8,8 |
| Dachflächen (tw. Eigenversickerung) | 2,2 |
| Gärten | 6,6 |
| nicht versiegelte Flächen | 6,0 |
| landwirtschaftliche Flächen | 6,0 |
| Sonstige | 0,9 |
| Friedhof | 0,6 |
| Dachfläche Schule | 0,2 |
| Gewässer | 0,1 |
| EZG Insgesamt | 19 |

Quelle: Umweltinstitut Vorarlberg

Abbildung 64: Darstellung der Flächennutzung des Einzugsgebiets Hard, Langackerweg



Quelle: Umweltinstitut Vorarlberg

5.1.1.3 Untersuchungsgebiet 3: Siedlungsgebiet A (Ostösterreich) Niederschlagswasserkanal (NWK)

Das Untersuchungsgebiet 3: Siedlungsgebiet A in Ostösterreich stellt ein fast ausschließlich gewerblich genutztes Gebiet mit einer Fläche von rund 43 ha dar. Die abgeschätzte Flächennutzung ist in Tabelle 61 zusammengefasst.

Tabelle 61: Bebauung und Versiegelung im Siedlungsgebiet A (Ostösterreich)

| Art der Fläche | Fläche [m ²] | Flächenanteil [%] |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Wiese | 119.652 | 27,5% |
| Grünfläche | 94.989 | 21,9% |
| Private Verkehrsfläche | 71.317 | 16,4% |
| Gebäude | 64.695 | 14,9% |
| Sportfeld | 25.488 | 5,9% |
| Fahrbahn | 15.731 | 3,6% |
| Gehweg/Radweg | 13.981 | 3,2% |
| Gehsteig | 10.621 | 2,4% |
| Befestigte Fläche | 8.045 | 1,9% |
| Parkplatz | 3.778 | 0,9% |
| Natürliches Gewässer | 2.367 | 0,5% |
| Flugdach | 1.130 | 0,3% |
| Überbauung | 808 | 0,2% |
| Schwimmbecken | 608 | 0,1% |
| Zebrastreifen | 366 | 0,1% |
| Mauer | 340 | 0,1% |
| Stiege | 318 | 0,1% |
| Sonstige Verkehrsfläche | 255 | 0,1% |
| Verkehrinsel | 65 | 0,01% |
| Sockelzaun | 25 | 0,01% |
| Stationseinrichtung | 19 | 0,004% |

| Art der Fläche | Fläche [m ²] | Flächenanteil [%] |
|---------------------|--------------------------|-------------------|
| Straßenmobiliar | 9 | 0,002% |
| Telefonzelle | 2 | 0,0004% |
| Gesamtfläche | 434.604 | |

Quelle: TU Wien

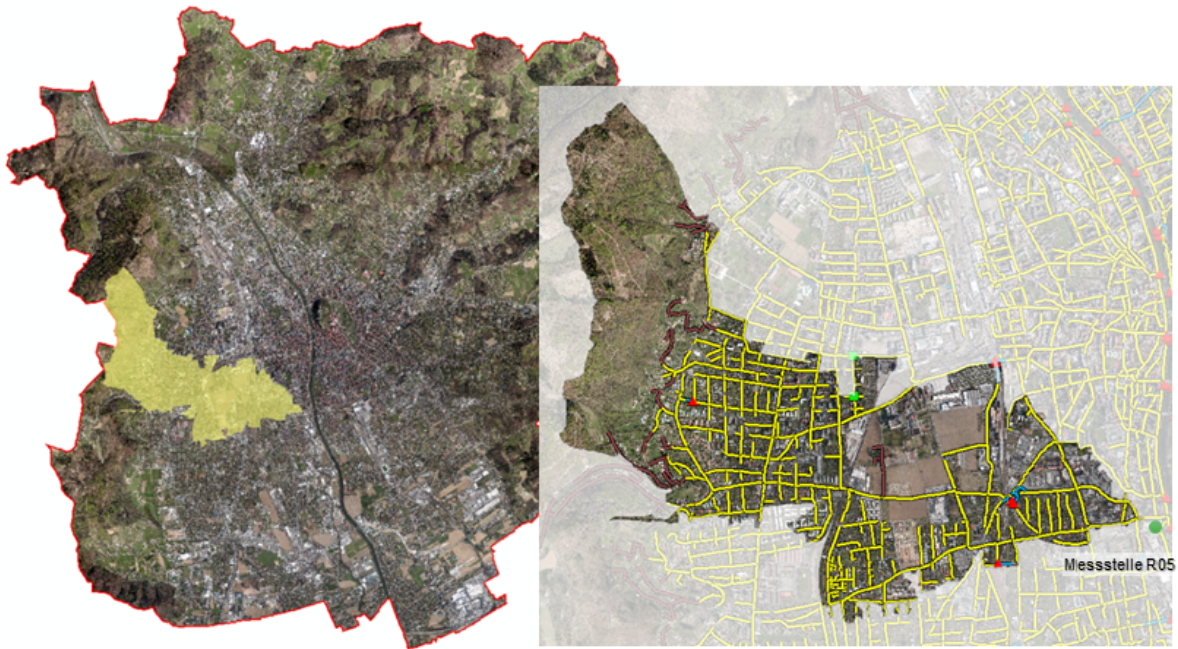
Im Regenwetterfall ist mit einem Abfluss von 2–3 m³/s zu rechnen. Die Probenahme erfolgte im Niederschlagswasserkanal einer Trennkanalisation rund 30 m vor der Einleitung in das Gewässer. Der Niederschlagswasserkanal ist als Maulprofil (200/160) ausgefertigt und weist an der Probenahmestelle ein Gefälle von 6,2 ‰ auf.

Die Probenahmestelle zeichnet sich durch gute Zugänglichkeit, das Vorhandensein der erforderlichen Infrastruktur (Strom) und einen ausreichenden Schutz gegen Diebstahl/Vandalismus aus. Weiters ist ein Rückstau zur Probenahmestelle unwahrscheinlich.

5.1.1.4 Untersuchungsgebiet 4: Validierungsgebiet Graz – MÜ-R05 (Steiermark) Mischwasserkanal (MWK)

Das Untersuchungsgebiet 4: Validierungsgebiet Graz – MÜ-R05 Mischwasserkanal (Steiermark) (Kurzbezeichnung: Graz – MÜ-R05) liegt im Bezirk Eggenberg im Westen von Graz und wird im Mischsystem entwässert. Hier fließen während eines Niederschlagsereignisses Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam in einem Kanal ab. Bei einer gesamten Kanallänge von ca. 46,5 km beträgt die kanalisierte Gesamtfläche des Einzugsgebiets 615 ha, wovon 232 ha befestigt und ca. 147 ha befestigt und an die Mischwasserkanalisation angeschlossen sind. Das entspricht einem spezifischen Anteil von 24 %. Als Sonderbauwerke sind im System ein Stauraumkanal ohne Entlastung mit einem Volumen von 2.300 m³ sowie ein Mischwasserüberlaufbauwerk (MÜ-R05) am Ende des Einzugsgebiets vor der Einleitung in den rechten Hauptsammelkanal in Richtung Kläranlage Graz-Gössendorf vorhanden. Abbildung 65 zeigt das gesamte Entwässerungssystem mit dem Mischwasserüberlauf MÜ-R05 am Ende des Einzugsgebiets. Der nördliche Kanalabschnitt ab dem Eggenberger Bad ist zwar an das System angeschlossen, entwässert aber in Richtung des nördlich gelegenen Mischwasserüberlaufs MÜ-R06.

Abbildung 65: Übersicht über das Einzugsgebiet Graz – MÜ-R05



Quelle: TU Graz

Die Oberflächenneigungen im Einzugsgebiet bewegen sich zwischen 0–4 %, mit Ausnahme des westlichen Teils des Gebietes, der Neigungen bis zu 10 % aufweist. Bei einer Bevölkerungsanzahl von ca. 19.500 Einwohnern ergibt sich für das Einzugsgebiet eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte von etwa 43 Einwohnern pro Hektar. Dabei weist der östliche Teil eine dichte Verbauung auf, wogegen der westliche Teil durch eine offenere Siedlungsstruktur ohne größere Industriebetriebe gekennzeichnet ist. Zusätzlich sind mit einer Brauerei und einem Pharmakonzern zwei größere Indirekteinleiter vorhanden.

Abbildung 66 zeigt das Verkehrsnetz im Einzugsgebiet Graz – MÜ-R05, das unter anderem stark befahrene Einzugsstraßen und eine Straßenbahnlinie (Westen) sowie zwei Eisenbahnlinien beinhaltet.

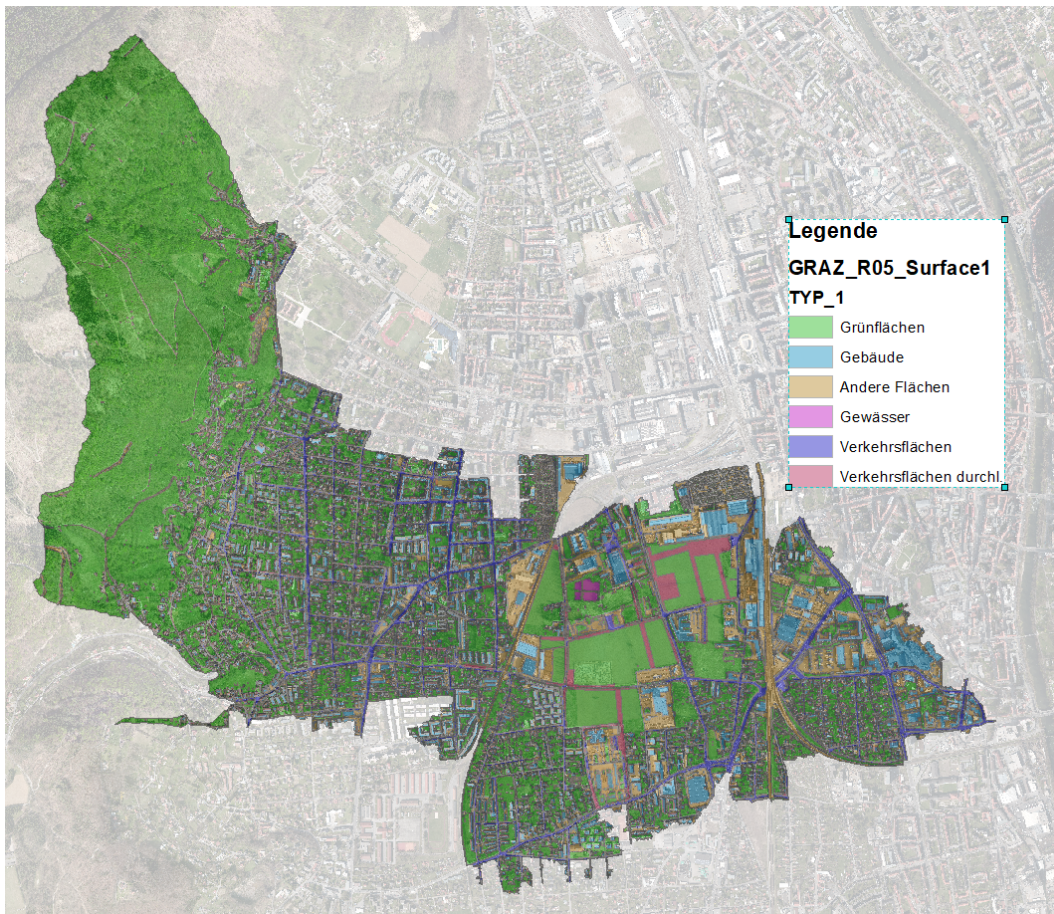
Abbildung 66: Verkehr im EZG Graz – MÜ-R05 (grau – Straße; orange – Eisenbahn/Straßenbahn)



Quelle: TU Graz

Die Aufteilung der Oberflächen ist in Abbildung 67 dargestellt, wobei in dem Einzugsgebiet sechs verschiedene Oberflächenarten unterschieden werden.

Abbildung 67: Oberflächenarten im EZG Graz – MÜ-R05



Quelle: TU Graz

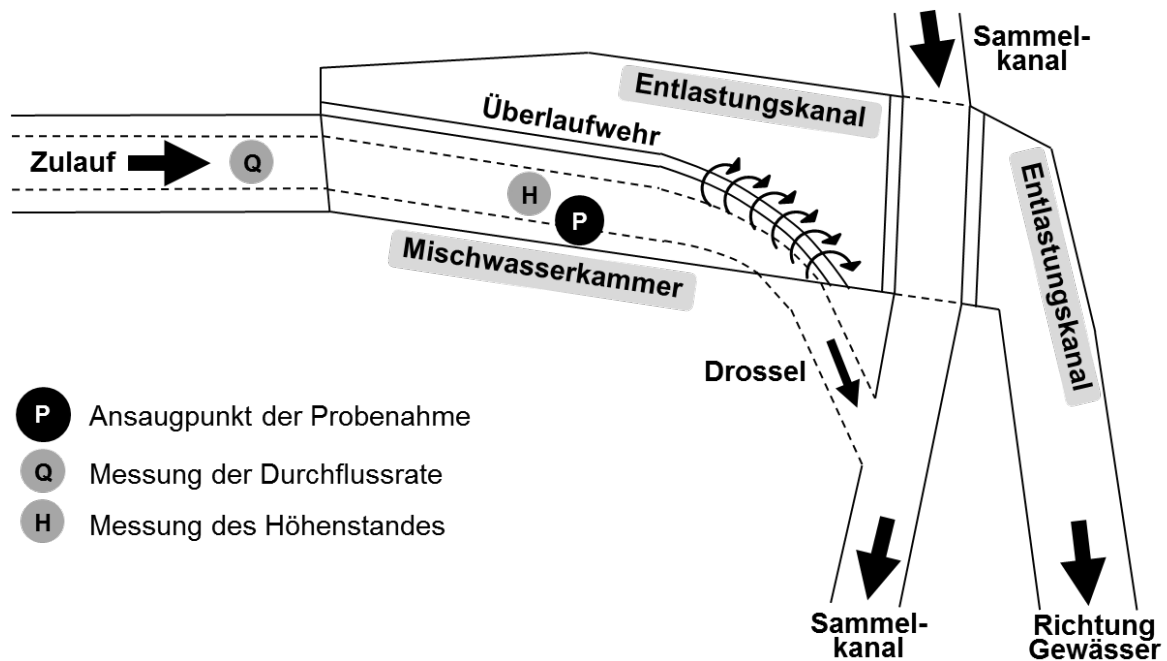
Beschreibung der Messstelle

Die Messstelle ist am östlichen Ende des Einzugsgebiets direkt am Mischwasserüberlauf MÜ-R05 situiert (siehe Abbildung 68) und ist rund 3 km bzw. zehn Autominuten vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz entfernt. Die Adresse lautet Karlauergürtel 24, 8020 Graz. Die Zufahrtsmöglichkeit ist dabei über den direkt angrenzenden Parkplatz eines Möbelhauses gegeben. Mit der Konzeption wurde im Frühjahr 2017 begonnen, wobei analog zur Messstelle im Einzugsgebiet Graz – Ziegelstraße alle Randbedingungen aus Kapitel 5.1.1.1 berücksichtigt wurden. Die finale Inbetriebnahme erfolgte mit 01.10.2017. Die Kurzbezeichnung der Messstelle lautet „Graz – MÜ-R05“.

Eine detaillierte Überblicksgrafik des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 inklusive der Einbauorte für die Durchflussmessung (Zulaufbereich), die Wasserstandshöhenmessung und den

Ansaugpunkt für die Probenahme in der Mischwasserüberlaufkammer ist in der Abbildung 68 dargestellt.

Abbildung 68: Detailansicht des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 inklusive der Mess- und Probenahmepunkte



Quelle: TU Graz

Analog zur Messstelle Graz – Ziegelstraße wurde auch hier die Errichtung einer metallischen Messhütte mit den Abmessungen 172 x 156 x 196 cm (B x T x H) gewählt, um alle benötigten Geräte und Utensilien darin unterbringen zu können und auch einen permanenten Schutz vor Witterung und Vandalismus zu gewährleisten. Als Eingang dient eine Doppeltür mit einem absperrbaren Drehgriff-Zylinderschloss. Der Boden besteht aus witterungsbeständigen Holztafeln. Zusätzlich wurde das Innere an den Wänden und im Dachbereich mit einer Wärmedämmung ausgekleidet, um übermäßige Hitze im Sommer und Kälte im Winter zu verhindern.

Abbildung 69 gibt einen Überblick über die Messstelle mit Zufahrtsmöglichkeit, Messhütte, Stromschrank und Kanaleinstieg. Der Aufstellungsort der Messhütte wurde so gewählt, dass alle Verkabelungen und Probenahmeschläuche durch bereits vorhandene Kernbohrungen in die darunterliegende Kammer des Mischwasserüberlaufs in eine Tiefe von 6,5 m verlegt werden konnten.

Abbildung 69: Zufahrtsmöglichkeit zur Messstelle Graz - MÜ-R05 © TU Graz



Der Einstieg über einen vorhandenen Kanalschacht ist in ca. 3 m Entfernung von der Messhütte möglich (siehe Abbildung 70). Zusätzlich wurde eine Stromleitung vom naheliegenden Stromschrank zur Messhütte verlegt, um eine permanente Stromversorgung für die notwendigen Messgeräte sicherzustellen.

Abbildung 70: Kanalschacht zum Einstieg in die Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 © TU Graz



Nach dem Einstieg über den Kanalschacht ist eine Unterquerung des Hauptsammlers erforderlich, um in die Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 zu gelangen (siehe Abbildung 71). Der Ort der Probenahme befindet sich im Bereich der Trockenwetterrinne auf der rechten Berme.

Abbildung 71: Der Zugang zur Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 und die Kammer des MÜ-R05 mit der Überlaufschwelle und dem Probenahmeort © TU Graz



Eine Übersicht über die Messstelle Graz – MÜ-R05 inklusive einer Darstellung der verwendeten automatischen Probenahmegeräte ist in Abbildung 72 dargestellt.

Abbildung 72: Übersicht und Ausstattung der Messstelle Graz – MÜ-R05 © TU Graz



Eingesetzte Geräte

Neben der automatischen Probenahme jedes Regenereignisses müssen zur Quantifizierung der Ereignisfrachten auch die Wasserstandshöhe in der Kammer sowie die Durchflussrate zum MÜ-R05 bestimmt werden. Die Wasserstandshöhe in der Mischwasserüberlaufkammer wird zur Ansteuerung des Probenahmegeräts benötigt. Mit der messtechnischen Erfassung der Durchflussrate erfolgte auch die Volumenermittlung des Mischwasserabflusses für jedes beprobte Ereignis. Zusätzlich kann damit auch der Tagesgang des Trockenwetterabflusses gemessen werden.

Geräte zur Messung der Wasserstandshöhe und der Durchflussrate

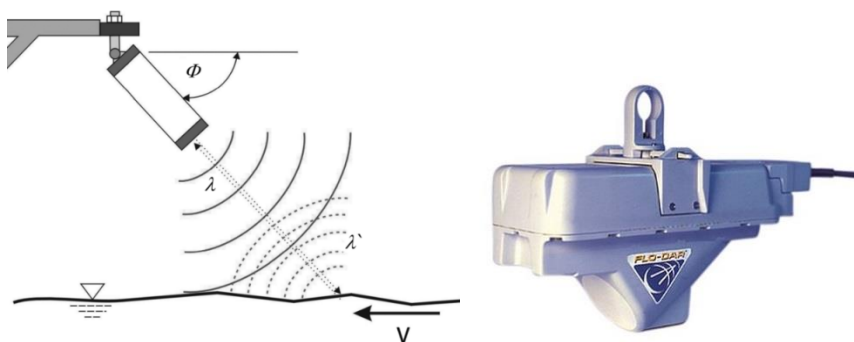
Zur Messung der Wasserstandshöhe und der Durchflussrate im Zulaufkanal zur Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 wurde ein Radarmessgerät der Fa. Marsh McBirney vom Typ FloDar verwendet, das am Kanalscheitel etwa 25 m vor der Kammer bzw. dem Probenahmeort installiert worden war. Das Gerät verfügt über zwei Sensoren, von denen der eine mit Ultraschall die Wasserstandshöhe und der andere mit einem Radarstrahl die Oberflächenfließgeschwindigkeit der Abflusswelle bestimmt. Das Prinzip der Durchflussmengenenermittlung basiert dann auf der Kontinuitätsgleichung.

$$Q = v_m * A$$

Dabei bezeichnet die Variable Q den Durchfluss, die Variable v_m die mittlere Abflussgeschwindigkeit und die Variable A die durchflossene Querschnittsfläche. Da die Form des Querschnitts im Zulaufkanal zum MÜ-R05 bekannt ist, muss für die Ermittlung von A nur die Höhe des Wasserstandes gemessen werden.

Zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m wird das Prinzip des Radar-Dopplerverfahrens angewendet. Dabei wird die mittlere Geschwindigkeit der Wasseroberfläche messtechnisch erfasst. Die Grundlage für das verwendete Messprinzip liegt im Frequenzunterschied zwischen dem ausgesandten Signal mit der Wellenlänge λ und dem reflektierten Signal mit der Wellenlänge λ' . Schließlich muss aber die gemessene Oberflächengeschwindigkeit noch auf die mittlere Geschwindigkeit v_m mithilfe eines Skalierungsfaktors umgerechnet werden, der abhängig vom Höhenstand im Messumformer hinterlegt ist.

Abbildung 73: Prinzip des Radar-Messsystems zur Messung der Oberflächengeschwindigkeit der Abflusswelle



Quelle: TU Graz

Zusätzlich dazu wird die Wasserstandshöhe in der Mischwasserkammer aber auch noch durch einen zweiten Sensor der Fa. Vega vom Typ Vegason 61 in unmittelbarer Nähe des Ansaugpunkts der Probenahme gemessen. Dieser Sensor arbeitet nach dem Prinzip der Ultraschall-Laufzeitmessung und dient zur Ansteuerung des automatischen Probenahmegerätes.

Die Installationsorte der beiden eingesetzten Messgeräte sind in Abbildung 74 dargestellt.

Abbildung 74: Geräte zur Messung des Durchflusses im Zulauf zum MÜ-R05 und des Wasserstandshöhe direkt in der Mischwasserkammer © TU Graz



Durchflussmessung



Wasserstandsmessung

Gerät zur Niederschlagsmessung

Zur Detektion der Intensität und Menge des gefallenen Niederschlags während eines Ereignisses dienen auch bei dieser Messstelle die Messdaten aus dem hydrologischen Messnetz Graz. Als nächstgelegene Niederschlags-Messstation zur Messstelle Graz – MÜ-R05 wurde die Station „Graz-Straßgang-ZAMG“ mit einer Entfernung von ca. 3 km zum MÜ-R05 ausgewählt, die von der ZAMG betrieben wird (siehe Abbildung 75). Fotos der Messstation aus Nord- und Südrichtung sind in der Abbildung 76 dargestellt.

Abbildung 75: Lage der Niederschlags-Messtation Graz-Straßgang-ZAMG © TU Graz



Abbildung 76: Ansichten (Nord, Süd) der Niederschlags-Messtation Graz-Straßgang-ZAMG © TU Graz



Als Messgerät fungiert eine Niederschlagswaage der Fa. MPS System vom Typ MPS TRWS503. Die Messung der Niederschlagsintensität erfolgt mit einer Auflösung von 0,1 mm/min. Die Auffangfläche beträgt 500 cm² (Durchmesser 25,2 cm). Die Aufstellungshöhe liegt bei ca. 1,4 m über Geländeoberkante.

Gerät zur automatischen Probenahme

Die Entnahme der Abwasserproben im Ereignisfall erfolgte an der Messstelle Graz – MÜ-R05 mittels eines aktiv gekühlten automatischen Probenahmegerätes. Dieses wurde direkt in der Messhütte aufgestellt. Die Ansaughöhe aus der Mischwasserkammer betrug ca. 6,5 m. Bei Überschreitung eines vordefinierten Wasserstandes von 50 cm in der Mischwasserkammer wurde die Probenahme automatisch aktiviert und bei Unterschreitung eines Wasserstandes von 45 cm wieder beendet. Die entnommenen Proben werden in einem aktiv gekühlten Probenehmeruntersatz bis zur Abholung zwischengespeichert. Der genaue Ort der Probenahme in der Mischwasserkammer ist in Abbildung 77 dargestellt.

Abbildung 77: Ort der Probenahme an der Messstelle Graz – MÜ-R05 © TU Graz



An der Messstelle „Graz – MÜ-R05“ wurde ein Probenahmegerät der Fa. Maxx GmbH vom Typ TP5C verwendet (siehe Abbildung 78). Die Ansaugung erfolgt dabei mit einer Membranpumpe (Vakuumpumpe). Der Untersatz zum Speichern der Proben besteht aus 24 PE-Flaschen mit je 1,0 L Fassungsvermögen. Das Gerät verfügt über eine aktive Kühlung des Probenehmeruntersatzes, womit eine konstante Temperatur der Proben von ca. 4 °C bis zur Abholung gewährleistet ist. Dies ist bei Mischwasserproben von Relevanz, da hierbei

stets auch ein Anteil von organisch leicht abbaubaren Inhaltsstoffen in den Proben enthalten ist.

Abbildung 78: Automatisches Probenahmegerät Maxx TP5C inklusive Probenahmeunter-
satz mit 24 x 1-Liter-Flaschen (www.maxx-gmbh.com, letzter Zugriff am 03.01.2018) ©
MAXX Mess- und Probenahmetechnik GmbH



Die wichtigsten Parametrierungseinstellungen des verwendeten Probenahmegeräts sowie eine detaillierte Beschreibung des Vorgangs zur Gewinnung von mengenproportionalen Ereignisproben bzw. der Generierung von Ereignisaliquoten finden sich in den Kapiteln 5.2.1.2 und 5.2.1.3.

5.1.2 Untersuchungsgebiet 5: L202 in Hard/Bregenz

Die Straßenwässer der Brücke über die Bregenzerach und der zugehörigen südwestlichen Rampenstrecke der L202 werden nach einer Vorreinigung durch ein Retentionsfilterbecken in die Bregenzerach in Hard eingeleitet. Der durchschnittliche Jahresverkehr liegt bei ca. 26.000 Kfz/d. Davon entfallen 5 % auf den Schwerverkehr. Die gesammelten Nieder-

schlagswässer der entwässerten Fläche (3.300 m²) werden über einen Schlammfang (6,6 m³ Nutzvolumen) in ein Filterbecken mit 330 m² Fläche geleitet. Die Zu- und Ablaufmengen werden über ein Venturigerinne mit Echolotmessung erfasst. Zusätzlich wurde parallel ein berührungsloses Mengensmesssystem der Fa. Sommer eingebaut. Diese Probenahmestelle wurde bereits bei früheren Projekten verwendet, weshalb zahlreiche Erfahrungswerte vorhanden sind.

Abbildung 79: Schematische Darstellung des Retentionsfilterbeckens an der Bregenzerachbrücke an der L202 in Hard © Umweltinstitut

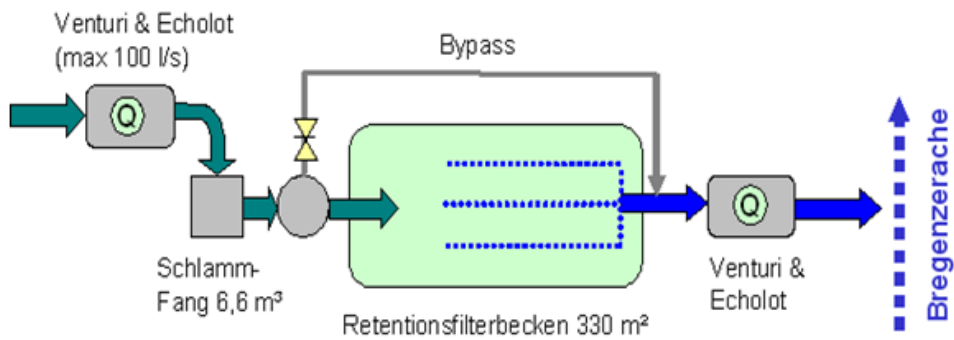


Abbildung 80: Darstellung der Entwässerungsfläche der Bregenzerachbrücke an der L202 © Umweltinstitut



Abbildung 81: Ansicht der Brückenentwässerung der Bregenzerachbrücke an der L202 © Umweltinstitut



5.2 Herausforderungen, Durchführung und Ergebnisse der Probenahmen

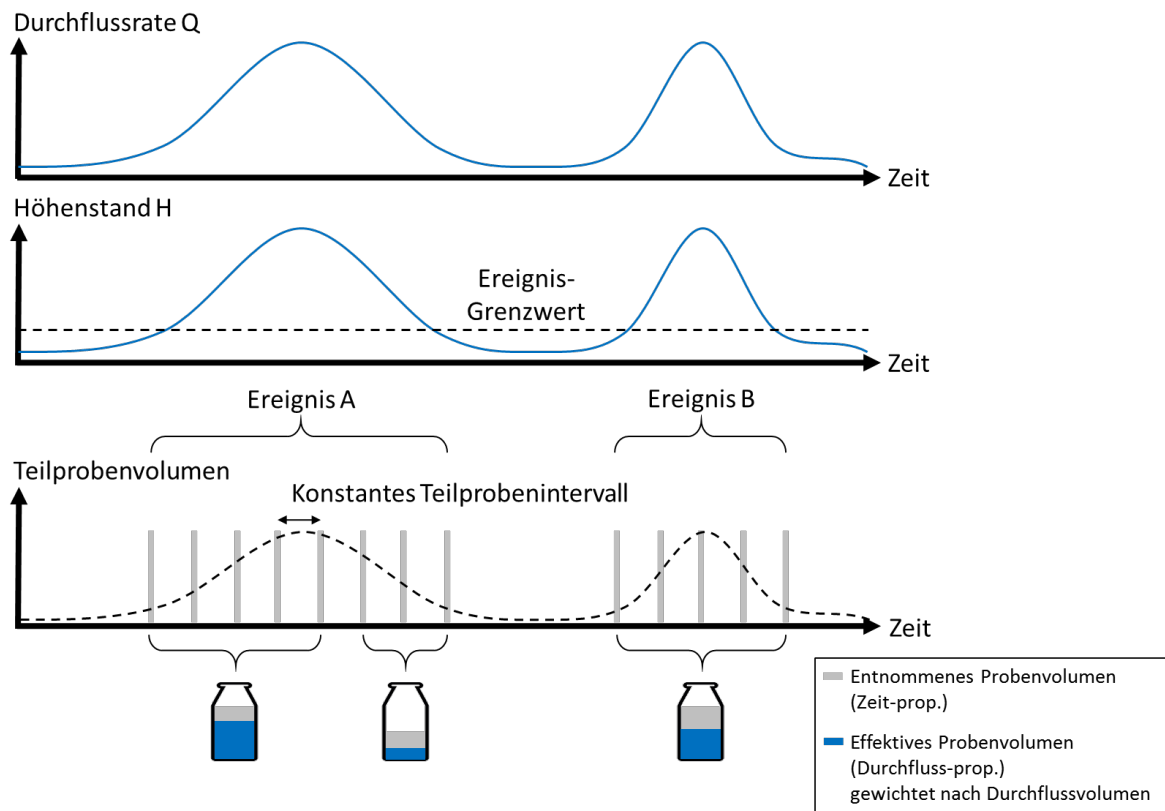
5.2.1 Untersuchungsgebiet 1: NWK Graz – Ziegelstraße (Steiermark) und Untersuchungsgebiet 4: Graz – MÜ-R05 (Steiermark)

Im Untersuchungsgebiet 1 Graz – Ziegelstraße (Steiermark) und im Untersuchungsgebiet 4 Graz – MÜ-R05 (Steiermark) wurde auf die Gewinnung von diskontinuierlichen mengenproportionalen Ereignisproben abgezielt, die dann anteilig in Bezug auf die abgeschätzte Jahresabflussmenge zu zwei Jahresmischproben kumuliert und möglichst bald nach den Ereignissen eingefroren wurden.

Bei der in Graz gewählten Art der mengenproportionalen Probenahme erfolgte die automatische Teilprobenentnahme an beiden Probenahmestellen zunächst zeitproportional, d. h., dass der Zeitabstand (Teilprobenintervall) zwischen den Teilprobenentnahmen jeweils konstant war, und dabei möglichst geringe konstante Zeitintervalle angestrebt wurden. Erst in einem zweiten Schritt wurden die Teilproben im Nachgang an die Probenahme im Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz und in Abhängigkeit der zugehörigen Kanalabflussgangline mengenproportional zu den Ereignisproben zusammengemischt. Dabei wurde jene Variante gewählt, bei der die Mischung der Teilproben aus den Einzelflaschen abhängig vom zugehörigen Abflussvolumen jeder Einzelflasche erfolgt. Nach Ort et al. (2010) stellt diese Vorgehensweise die genaueste Art einer mengenproportionalen Probenahme dar.

Der Start und das Ende der Teilprobenentnahmen im Ereignisfall wurden dabei über das Messsignal der Wasserstandshöhenmessung in der Kanalisation definiert. Der Ablauf einer Probenahme von zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen ist schematisch in Abbildung 82 dargestellt.

Abbildung 82: Schematischer Ablauf einer Probenahme von zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen an den beiden Grazer Probenahmestellen



Quelle: TU Graz

Da die Parametrierung der Probenahmesysteme vom Ort der Probenahme abhängig ist, sind Voranalysen zur Identifizierung der Randbedingungen erforderlich. Neben der Festlegung einer Wasserstandshöhe zur Ereignisdefinition sind auch die nachfolgend angeführten Aspekte wesentlich.

5.2.1.1 Festlegung der Grenzwerte für den Start und das Ende der Ereignis-Probenahmen inklusive Benachrichtigung

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Installationshöhe des Ansaugschlauchs zur Probenahme und etwaiger Fremdwassermengen im Kanal, die aus Voruntersuchungen identifiziert wurden, konnten die in Tabelle 62 dargestellten Grenzwerte zur Ereignisdefinition festgelegt werden. Dabei wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Untersuchungsgebiet 1: Messstelle NWK Graz – Ziegelstraße: Maximaler Wasserstand bei Trockenwetter ca. 3 cm (durch Fremdwasserabfluss im Niederschlagswasserkanal)

- Untersuchungsgebiet 4: Messstelle Graz – MÜ-R05: Maximaler Wasserstand bei Trockenwetter ca. 28 cm (durch Trockenwetterabfluss im Mischwasserkanal)

Tabelle 62: Festgelegte Grenzwerte zur Ereignisdefinition je Messstelle

| Messstelle „NWK Graz – Ziegelstraße“ | Messsignal Wasserstand (cm) |
|--|-----------------------------|
| Start der Ereignis-Probenahme (bis 13.04.2018) | 10 cm |
| Start der Ereignis-Probenahme (ab 13.04.2018) | 9 cm |
| Ende der Ereignis-Probenahme (bis 12.03.2018) | 6 cm |
| Ende der Ereignis-Probenahme (ab 12.03.2018) | 7 cm |
| Messstelle „Graz – MÜ-R05“ (MWK) | |
| Start der Ereignis-Probenahme | 50 cm |
| Ende der Ereignis-Probenahme | 45 cm |

Quelle: TU Graz

Dabei wurde die Ereignisdefinition an der Messtelle Graz – Ziegelstraße nach den Fremdwasser-Erfahrungen im Winterhalbjahr 2017/2018 im Frühjahr 2018 noch einmal modifiziert, um zum einen die Probenahmen früher zu starten und zum anderen die beobachteten sehr langen Ereignisnachläufe abzukürzen.

Mit den o. a. Grenzwert-Einstellungen der Tabelle 62 wurden im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 an der Messtelle Graz – Ziegelstraße insgesamt 76 Niederschlagswasserereignisse und an der Messtelle Graz – MÜ-R05 73 Mischwasserereignisse real beprobt.

Die in diesem Zeitraum an den beiden Messstellen gemessenen Abflussvolumina und deren beprobte Anteile auf Basis der Ereignisdefinitionen der Tabelle 62 sowie auch die registrierten Jahres-Niederschlagshöhen in diesem Zeitraum sind in Tabelle 63 für die Messstelle Graz – Ziegelstraße und in der Tabelle 64 für die Messtelle Graz – MÜ-R05 zusammengefasst.

Tabelle 63: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der NWK Probenahme-
stelle Graz – Ziegelstraße inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum
01.10.2017–30.09.2018

| Probenahme- stelle | Abflussvolumina [m ³ /a] | | | | | NS-Höhe im UG |
|--------------------------|-------------------------------------|----------|--------|--------------|-----------------------------|------------------|
| | Insgesamt | TW (=FW) | NW | NW beprob | Insg. beprobt (inkl. FW) | |
| NWK Graz – Ziegelstr. | 103.260 | 57.424 | 45.836 | 26.939 | 28.289 | 760 mm |
| | 100% | 56% | 44% | 26% | 27% | |

Quelle: TU Graz

Tabelle 64: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der MWK Probenahme-
stelle Graz – MÜ-R05 inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum
01.10.2017–30.09.2018

| Probenahme- stelle | Abflussvolumina [m ³ /a] | | | | | NS-Höhe im UG |
|------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|--------------|-----------------------|------------------|
| | Insgesamt | TW | NW | NW beprob | Insg. beprobt (MW) | |
| Graz – MÜ-R05 (MWK) | 1.854.905 | 1.266.563 | 588.342 | 377.998 | 405.540 | 929 mm |
| | 100% | 68% | 32% | 20% | 22% | |

Quelle: TU Graz

Die Benachrichtigung der diensthabenden TU Graz-ProjektmitarbeiterInnen erfolgte im Ereignisfall über eine automatisierte E-Mail-Alarmierung, aus welcher sowohl der Start- als auch der Endzeitpunkt der Probenahmen ersichtlich war. Auf Basis dieser Benachrichtigungen wurde der zeitliche Ablauf der Probenabholungen von den Messstellen organisiert. Dabei bringt die gewählte zeitproportionale Teilprobenentnahme auch den Vorteil mit sich, dass man nach dem Alarmierungsbeginn der automatischen Teilprobenentnahmen genau weiß, wann das Probenahmegerät vollkommen befüllt ist und entleert werden muss.

5.2.1.2 Festlegung der Parametrierung der Probenahmegeräte

Die Parametrierung der Probenahmegeräte ist abhängig von der Art der Probenahme und basiert auf den in Tabelle 65 dargestellten Randbedingungen. Auf Basis von Voruntersuchungen an beiden Messstellen in Graz konnten für die Messstellen Graz – Ziegelstraße und Graz – MÜ-R05 identische Einstellungen verwendet werden.

Tabelle 65: Randbedingungen zur Standard-Parametrierung der Grazer Probenahmegeräte

| Faktor | Wert |
|--|---------------|
| Teilprobenintervall (Impulsteiler) | 4 min |
| Teilprobenvolumen | 180 mL |
| Flaschenanzahl | 24 |
| Teilprobenanzahl je Flasche | 5 |
| Entnahme einer Teilprobe zum Zeitpunkt $t = 0$ | Ja |
| Probenvolumen je Flasche | 900 mL |
| Maximale Teilprobenanzahl | 120 |
| Maximale Probenahmedauer | 480 min = 8 h |

Quelle: TU Graz

Durch die Verwendung eines zweiten baugleichen Probenahmeegerätes an der Messstelle Graz – Ziegelstraße, welches sequenziell nach dem Probenahme-Ende des ersten Probenahmeegerätes nach 8 h gestartet und mit einem konstanten Probenahmeintervall von 8 min dann 16 h lang betrieben wurde, konnte dann die maximale Probenahmedauer an dieser Messstelle auf 24 h ausgedehnt werden.

An der Messstelle Graz – MÜ-R05 erreichte man eine Verlängerung der Probenahmedauer auf insgesamt 12 h mit einem Probenahmeegerät, indem man hier die Option einer sog. Programmverkettung nutzte, bei der ab der Befüllung der 13. von 24 Probenahmeflaschen automatisch auf ein doppelt so langes Probenahmeintervall von 8 min umgeschaltet wurde, wodurch die maximale Ereignis-Probenahmedauer auf insgesamt zwölf Stunden ausgedehnt werden konnte. Dabei wurden dann die ersten zwölf Probenahmeflaschen 4 h lang, alle 4 min mit jeweils fünf Teilproben á 180 mL befüllt und die restlichen zwölf Pro-

benahmeflaschen dann 8 h lang, alle 8 min mit jeweils fünf Teilproben á 180 mL, woraus die insgesamt zwölf Stunden maximale Beprobungszeit resultierten.

5.2.1.3 Festlegung des minimalen Gesamtprobenvolumens für die Analytik

Nach den Vorgaben des Umweltbundesamtes wurde für die geplante nachfolgende Analytik der kumulierten Halbjahresmischproben ein minimales Gesamtprobenvolumen von 20 L benötigt. Um zum einen diese Mindestvorgabe bei den Probenahmen zu erreichen, zum anderen aber keine unnötig großen Probenvolumina genieren und einfrieren zu müssen, wurde in Graz eine Abschätzung der zu erwartenden Jahresabflussmengen an jeder der beiden Messstellen durchgeführt. Dafür konnten vorhandene Abflussmessdaten aus den vorangegangenen Jahren herangezogen werden, um die Variabilität der Jahresabflussmenge abzuschätzen. Darauf basierend wurden die Jahresabflussmenge VQ-Jahr (m^3/a) je Messstelle für den Untersuchungszeitraum von 01.10.2017 bis 30.09.2018 wie folgt abgeschätzt:

- Messstelle NWK Graz – Ziegelstraße: Abgeschätzte NW-Jahresabflussmenge = $50.000 \text{ m}^3/\text{a}$
- Messstelle Graz – MÜ-R05: Abgeschätzte MW-Jahresabflussmenge = $350.000 \text{ m}^3/\text{a}$

Da die Messdaten aus den verfügbaren Jahren eine große Variabilität aufwiesen, wurde zur Sicherstellung der Erreichung des vorgegebenen Mindestprobenvolumens ein angestrebtes Gesamtprobenvolumen je Messstelle VP-Jahr (L/a) von 60 L festgelegt.

Die mengenproportionalen Halbjahresmischproben setzten sich aus dem kumulativen Einfriervolumen aller beprobten mengenproportionalen Ereignisprobenvolumina zusammen. Um die aliquoten Anteile des einzufrierenden Probenvolumens eines Ereignisses ermitteln zu können, wurde wie folgt vorgegangen:

- Ermittlung des Ereignis-Abflussvolumens VQ-Ereignis (m^3) aus den Messdaten
- Berechnung des relativen Anteils VQ-Ereignis,rel (%) zur abgeschätzten Jahresabflussmenge VQ-Jahr (m^3/a): $\text{VQ-Ereignis,rel} = \text{VQ-Ereignis} / \text{VQJahr} * 100$
- Berechnung des aliquoten einzufrierenden Ereignis-Probenvolumens VP-Ereignis (L): $\text{VP-Ereignis} = \text{VP-Jahr} * \text{VQ-Ereignis,rel}$

Auf Basis dieser Vorabschätzungen wurden schließlich im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 an den beiden Messstellen die nachfolgenden Halbjahresmischproben generiert:

Messtelle NWK Graz – Ziegelstraße:

- 13,36 L Halbjahresprobe (01.10.2017 – 05.05.2018)
- 20,73 L Halbjahresprobe (06.05.2018 – 30.09.2018)

Messtelle MWK Graz – MÜ-R05:

- 25,05 L Halbjahresprobe (01.10.2017 – 05.05.2018) Graz – R05
- 39,61 L Halbjahresprobe (06.05.2018 – 30.09.2018) Graz – R05

5.2.1.4 Ablauf der Probenahme

Die Probenahme eines Ereignisses erfolgte an jeder der beiden Messstellen nach einem vordefinierten Ablauf, der in einer Stationsbeschreibung im Detail erläutert wurde und als Orientierungshilfe für jeden Mitarbeiter vor Ort dienen sollte. Neben dem Anfahrtsweg und der Beschreibung der Messstation waren darin die folgenden Punkte enthalten:

- Benötigte Utensilien zur Probenabholung
- Vorgehensweise beim Betreten der Messstation (Eingangskontrolle)
- Vorgehensweise beim Entleeren des Probenahmeegeräts (Beenden des Programms, Fehlerprüfung, Austausch Probenahmebehälter, Neustart des Programms)
- Vorgehensweise beim Entleeren des Totalisators zur Depositions-Beprobung
- Vorgehensweise beim Verlassen der Messstation

Die Protokollierung und Dokumentation jedes Ereignisses erfolgte mit einem separaten Probenahmeprotokoll. Neben einer fortlaufenden Ereignisnummer, Datum und Uhrzeit sowie den Personen vor Ort waren darin die folgenden Punkte enthalten:

- Informationen zur Probenahme (Flaschenstatistik mit Probenvolumen je Flasche, Zeitraum der Probenahme je Flasche und Anzahl an fehlerhaften Teilprobenentnahmen)
- Kontrollfragen zur Überprüfung und Wartung der Messstation
- Vorgehensweise zur Aufarbeitung der Ereignis-Probe am Institut nach erfolgtem Transport zum Institut

- Vorgaben zur digitalen Ablage der Ereignisinformationen am Server
- Vorgaben zur Laboranalytik für jedes Ereignis

5.2.1.5 Aufarbeitung der Ereignisproben

Nach der erfolgten Abholung der Ereignisprobe von der Messstelle und der zwischenzeitlichen Lagerung im Kühlraum im Technikum der TU Graz bei 4 °C wurde ehestmöglich mit der Aufarbeitung der Ereignisprobe begonnen. Damit ist zum einen die Erstellung einer mengenproportionalen Ereignismischprobe und zum anderen das Einfrieren eines anteiligen Probenvolumens (Aliquots) in Bezug auf die abgeschätzte Jahresabflussmenge an den Messstellen gemeint. Dies diente als Grundlage und Basis für die kumulierende Generierung der angestrebten mengenproportionalen Halbjahresmischproben für jedes der beiden Einzugsgebiete.

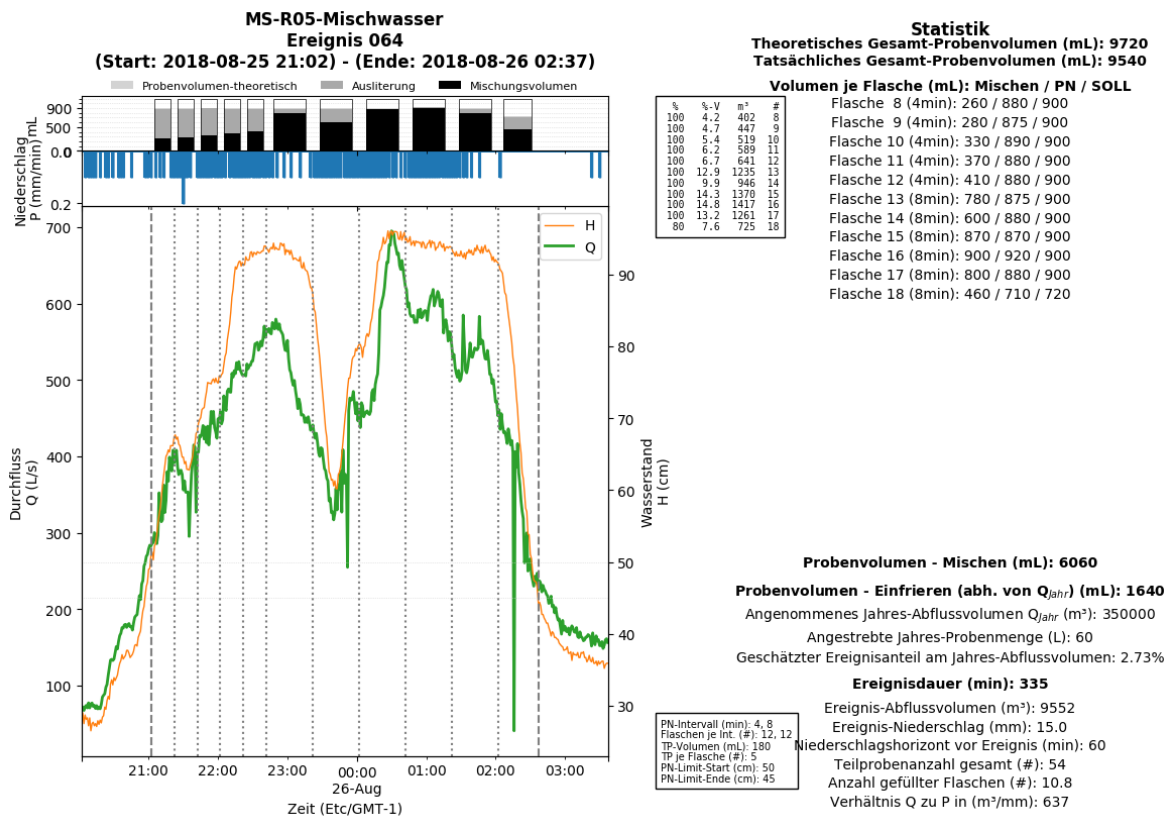
Der Ablauf zur Aufarbeitung einer Ereignisprobe gliederte sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- Auslitern und Eintragen des Niederschlagsvolumens aus der Depositions-Beprobung in ein Excel-Protokoll und anschließendes kumulierendes Einfrieren des gesamten Probenvolumens in einem PE-HD-Kanister.
- Auslitern aller befüllten Probenahmeflaschen des Probenahmegeräts zur Volumenermittlung und Eintragen ins Probenahmeprotokoll.
- Eintragen der Ereignisdaten in das Excel-Logbuch der Messstelle (fortlaufende Ereignisnummer, Ereignis-Start, Ereignis-Ende, minimales Volumen einer vollständig beprobten Flasche)
- Ausführung eines R-Skripts zur Erstellung einer grafischen Ereignisauswertung mit Verlauf der Abflussmessdaten, einer Mischungstabelle und dem einzufrierenden Ereignismischprobenvolumen. Alle zugehörigen Messdaten und statistischen Auswertungen zum Ereignis werden durch das R-Skript automatisch in einem der Messstelle zugehörigen Verzeichnis strukturiert abgelegt.
- Ausdrucken der grafischen Ereignisauswertung als Grundlage und Basis für die mengenproportionale Mischung der Probenahmeflaschen zu einer mengenproportionalen Ereignismischprobe.
- Eintragen des resultierenden mengenproportionalen Ereignis-Probenvolumens ins Probenahmeprotokoll.

- Eintragen des resultierenden einzufrierenden Ereignismischprobenvolumens (abhängig vom Verhältnis der Ereignis-Abflussmenge zur abgeschätzten Jahres-Abflussmenge) ins Probenahmeprotokoll.
- Eintragen des resultierenden Ereignismischprobenvolumens für die Laboranalytik der Abwasser-Standardparameter ins Probenahmeprotokoll.
- Eintragen des resultierenden Ereignismischprobenvolumens für die Rückstellprobe ins Probenahmeprotokoll.
- Eintragen der Ergebnisse der Laboranalytik in das Excel-Logbuch der Messstelle.
- Speicherung des vollständig ausgefüllten Probenahmeprotokolls im Ereignis-Verzeichnis am Server.
- Übergabe der entleerten Probenahmeunterteile und Probenahmeflaschen zur Reinigung an die LabormitarbeiterInnen.

In Abbildung 83 ist beispielhaft eine durch das verwendete R-Skript erstellte grafische Ereignis-Auswertung für die Messstelle Graz – MÜ-R05 für das Ereignis mit der ID 064 dargestellt. Im linken Teil der Auswertung sind die Messdaten der Kanalabflussflussraten (L/s), des Wasserstandshöhen (cm) und der Niederschlagsintensitäten (mm/min) in Kombination mit den Zeitpunkten und der Parametrierung der Teilprobenahmen dargestellt. Der rechte Teil der Auswertung enthält eine statistische Auswertung zum theoretischen Gesamt-Probenvolumen, den Mischungsvolumina aller betroffenen Probenahmeflaschen zur Erstellung der mengenproportionalen Ereignismischprobe und dem einzufrierenden Probenvolumen zur Erstellung der mengenproportionalen Halbjahresmischproben (abhängig vom abgeschätzten Jahres-Abflussvolumen, der angestrebten Jahres-Probenmenge und dem relativen Ereignisanteil am Jahresabflussvolumen). Im rechten unteren Teil der Auswertungen finden sich noch Statistiken zur Ereignisdauer und ergänzende Kennwerte zur Probenahme.

Abbildung 83: Beispiel einer grafischen Ereignis-Auswertung für die Messstelle Graz – MÜ-R05 für das Ereignis mit der ID 064



Quelle: TU Graz

5.2.1.6 Ergebnisse der Probenahmen an der Messstelle Graz – Ziegelstraße (NWK)

An der Grazer Messstelle Graz – Ziegelstraße (NWK) wurden während des einjährigen Probenahmezeitraums vom 01.10.2017 bis 30.09.2018 von den betreuenden ProjektmitarbeiterInnen auf Basis der in Kapitel 5.2.1.1 beschriebenen Ereignisdefinitionen und den automatisierten E-Mail-Alarmierungen insgesamt 76 Ereignisse beprobt. Eine im Nachgang an die Probenahmen durchgeführte Ereignisvalidierung ergab die folgenden Ergebnisse:

Die Messdatenverfügbarkeit bei den Abflussraten im NWK und bei den Niederschlagsintensitäten von der Niederschlagsmessstation Graz-Prochaskagasse-Schule war mit 100 % vollständig gegeben.

In Tabelle 66 werden die 76 Ereignisse hinsichtlich der aufgetretenen Fehler bei der Erstellung der Ereignismischproben wie folgt bewertet:

Tabelle 66: Bewertung des Fehlereinflusses bei den 76 Ereignisproben an der Messstelle Graz – Ziegelstraße (NWK)

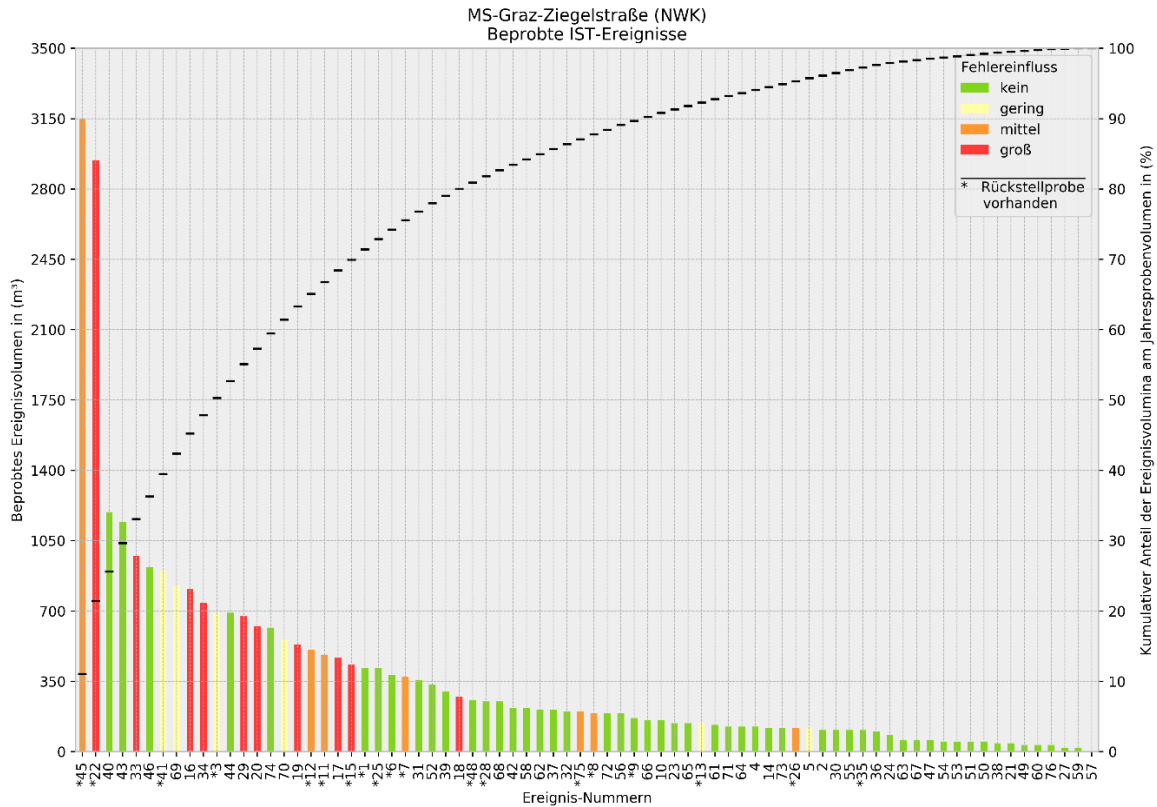
| Fehlereinfluss bei den Ereignisproben | Anzahl |
|--|---------------|
| kein | 50 |
| gering | 7 |
| mittel | 8 |
| groß | 11 |

Quelle: TU Graz

Bewertungskriterien dabei waren Fehler bei der Ereignisabgrenzung, bei der Datenverfügbarkeit, bei der automatischen Probenahme und bei der mengenproportionalen Mischung der Proben.

In Abbildung 84 sind die 76 Ereignisse inklusive ihrer o. a. Bewertungen nach dem beprobten Abflussvolumen geordnet und der kumulative Anteil der Ereignisvolumina am beprobten Jahresmischwasservolumen in % dargestellt.

Abbildung 84: Darstellung der 76 bewerteten Ereignisse an der Messtelle Graz – Ziegelstraße (NWK) nach der Größe des beprobten Abflussvolumens sortiert inkl. der kumulativen Anteile am Jahresprobenvolumen



Quelle: TU Graz

5.2.1.7 Ergebnisse der Probenahmen an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK)

An der Grazer Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) wurden während des einjährigen Probenahmezeitraums vom 01.10.2017 bis 30.09.2018 von den betreuenden ProjektmitarbeiterInnen auf Basis der in Kapitel 5.2.1.1 beschriebenen Ereignisdefinitionen und den automatisierten E-Mail-Alarmierungen insgesamt 73 Ereignisse beprobt. Eine im Nachgang an die Probenahmen durchgeführte Ereignisvalidierung ergab folgende Ergebnisse:

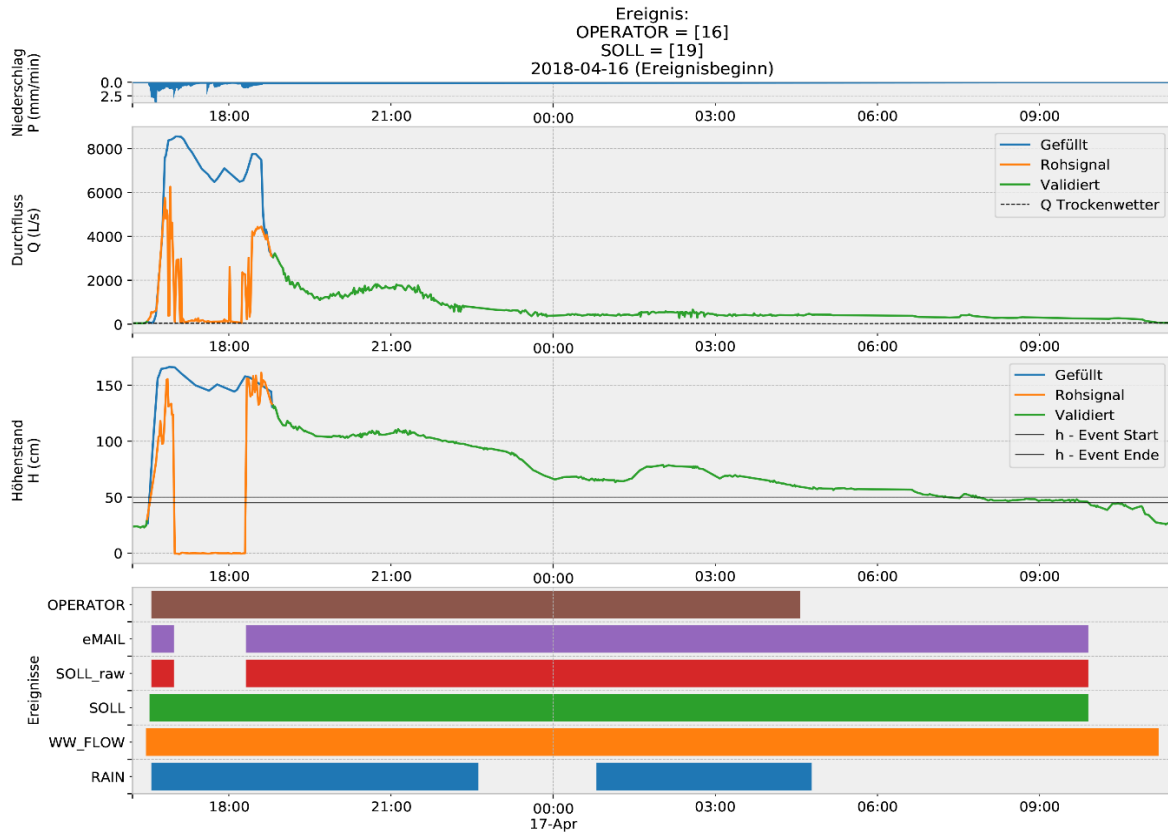
Die Messdatenverfügbarkeit bei den Abflussraten im MWK war bis auf die beiden größten Ereignisse mit den Ereignis-Nummern 16 vom 16.04.2018 und 44 vom 13.06.2018 vollständig gegeben. Nachdem bei diesen beiden Ereignissen die Mischwasserkammer des MÜ-R05 unter Druck ging, versagten dabei temporär auch die Ultraschall-Wasserstandshöhenmessung in der Mischwasserkammer und der FloDar zur Messung der Durchflussraten im Zulaufkanal zum MÜ-R05. Dadurch stoppte während dieser Zeit zum

einen die automatische Teilprobenentnahme und zum anderen konnte dadurch auch das Abflussvolumen dieser beiden Ereignisse messtechnisch nicht erfasst werden.

Ersatzweise wurden dann im Nachgang die Abflussganglinien dieser beiden Ereignisse mit einem vorhandenen kalibrierten hydrodynamischen Abflussmodell und dem real gemessenen Niederschlagsverlauf an der Niederschlagsmessstation Graz-Straßgang-ZAMG berechnet und daraus das Abflussvolumen für diese beiden Ereignisse abgeschätzt.

In Abbildung 85 ist beispielhaft das Ereignis mit der Ereignis-Nummer 16 vom 16.04.2018 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist darin die mit oranger Farbe dargestellte, nicht messbare Abflussganglinie und die ersatzweise simulierte Abflussganglinie in blauer Farbe. Aufgrund der während des Ausfalls der Messsysteme in der Mischwasserkammer und im Zulaufkanal zum MÜ-R05 nicht stattgefundenen automatischen Teilprobenentnahmen wurde bei diesem Ereignis auch das Ereignisende vom betreuenden Operator falsch definiert und die Ereignisprobe dadurch auch falsch gemischt, was dann wie in Abbildung 85 ersichtlich auch zu einer schlechten Ereignisgütebewertung geführt hat.

Abbildung 85: Ereignisverlauf des Mischwasserereignisses mit der Ereignis-Nummer 16 vom 16.04.2018 an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) mit der ersatzweise simulierten Abflussganglinie (blau) während des temporären Ausfalls des Durchflussmengenmesssystems (orange)



Quelle: TU Graz

Im Gegensatz dazu war die Messdatenverfügbarkeit der Niederschlagsintensitäten von der Niederschlagsmessstation Graz-Straßgang-ZAMG über den gesamten Beprobungszeitraum mit 100 % vollständig gegeben.

In Tabelle 67 werden die 73 Ereignisse der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) hinsichtlich der aufgetretenen Fehler bei der Erstellung der Ereignismischproben wie folgt bewertet:

Tabelle 67: Bewertung des Fehlereinflusses bei den 73 Ereignisproben an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK)

| Fehlereinfluss bei den Ereignisproben | Anzahl |
|--|---------------|
| kein | 56 |
| gering | 8 |
| mittel | 4 |
| groß | 5 |

Quelle: TU Graz

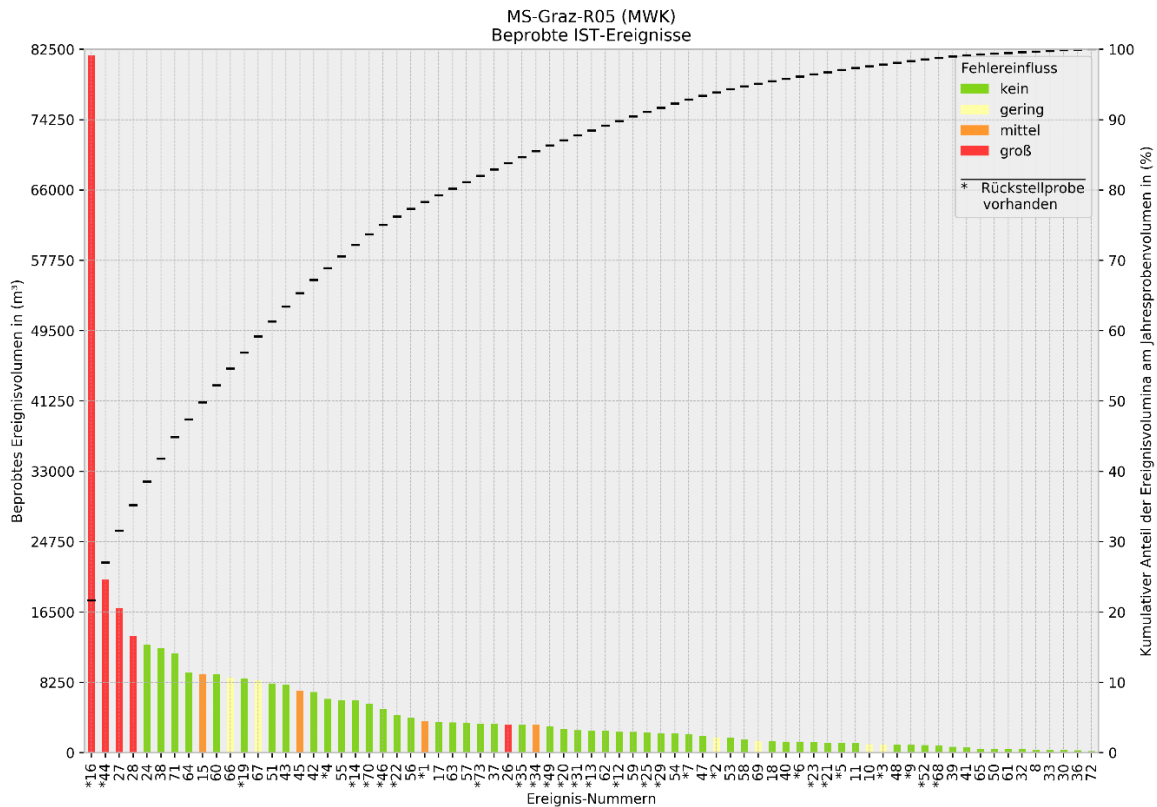
Bewertungskriterien dabei waren wieder Fehler bei der Ereignisabgrenzung, bei der Datenverfügbarkeit, bei der automatischen Probenahme und bei der mengenproportionalen Mischung der Proben.

In Abbildung 86 sind die 73 Ereignisse inklusive ihrer o. a. Bewertung nach ihrem beprobten Abflussvolumen geordnet und der kumulative Anteil der Ereignisvolumina am beprobten Jahresmischwasservolumen in % dargestellt.

Beispielhaft sei die schlechtere Bewertung für das größte aufgetretene Ereignis mit der ID 16 vom 16.04.2018 mit insgesamt 94,3 mm Niederschlag in drei Stunden näher beschrieben. Nachdem bei diesem Ereignis sowohl die Mischwasserkammer als auch der zulaufende Kanal unter Druck gingen, fielen sowohl die Wasserstandshöhenmessung in der Mischwasserkammer, welche das Probenahmegerät triggerte als auch das Radar-Durchflussmengenmesssystem im Zulaufkanal aus. Ersteres führte dazu, dass temporär und solange die Kammer unter Druck war, keine Teilprobenentnahmen erfolgten und Zweiteres dazu, dass die Abflussspitze während dieser Periode messtechnisch nicht erfasst werden konnte. Für eine Abschätzung des Abflussvolumens während dieses Ereignisses bediente man sich eines vorhandenen hydrodynamischen Modells vom Einzugsgebiet des MÜ-R05, mit dem das Ereignis mit dem gemessenen Niederschlagsverlauf nachsimuliert werden konnte. Das führte bei diesem über 17 Stunden langen Ereignis dazu, dass von den insgesamt mit Simulation abgeschätzten 89.000 m³ Abflussvolumen nur die ersten zwölf Stunden mit 82.000 m³ beprobt werden konnten und dabei aber während der Ereignisspitze, in welcher ca. 35.000 m³ Mischwasser unbeprobte abflossen, für einen Zeitraum von 01:20 Stunden keine Teilprobenentnahmen stattfanden. Eine genaue Quantifizierung all dieser aufgetretenen Fehlereinflüsse während dieses Ereignisses auf die kumulierte

Halbjahresmischprobe ist nicht möglich, führte aber letztendlich zu der sehr schlechten Bewertung dieses Ereignisses mit einem hohen, bewerteten Fehlereinfluss.

Abbildung 86: Darstellung der 73 bewerteten Ereignisse an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) nach der Größe des beprobten Abflussvolumens sortiert inkl. der kumulativen Anteile am Jahresprobenvolumen



Quelle: TU Graz

Dabei hatte das ersatzweise simulierte Ereignis mit der Ereignisnummer 16 vom 16.04.2018 mit einem abgeschätzten Abflussvolumen von ca. 89.000 m³ alleine schon einen Abflussanteil von ca. 23 % am insgesamt beprobten Jahresmischwasservolumen. Die vier größten Ereignisse, die alle vier mit einem großen Fehlereinfluss bewertet werden mussten, hatten zusammen einen Abflussanteil von ca. 35 %.

5.2.1.8 Zusammenfassende Erfahrungen bei der Probenahme in den beiden Grazer Einzugsgebieten

Die gewählte Methodik zur Generierung von mengenproportionalen Ereignisproben war sehr arbeitsaufwendig, da diese nach den zeitproportionalen automatischen Probenahmen jeweils manuell anhand der Abflussganglinien zusammengemischt werden mussten, führte jedoch über das gesamte Beprobungsjahr gesehen zu einer sehr hohen Ausbeute an erfolgreich generierten Ereignisproben. Sie hatte auch den großen Vorteil, dass die automatischen Teilprobenentnahmen unabhängig von den Abflussmessungen waren, wodurch die Teilprobenentnahmen auch bei Ausfall der Abflussmengenmessung durchgeführt werden konnten. Weiters konnten zwei fehlende Abflussganglinien bei den zwei aufgetretenen Extremereignissen an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 mittels hydrodynamischer Simulation rekonstruiert werden und damit dann auch die Mischungstabellen für das Herstellen der mengenproportionalen Ereignisproben im Nachhinein noch erzeugt werden. Nachdem bei diesen beiden Extremereignissen aber auch die Mischwasserkammer unter Druck ging, versagten während dieser beiden Ereignisse nicht nur das installierte Radar-Durchflussmesssystem, sondern auch die in der Mischwasserkammer installierte Ultraschall-Wasserstandssonde zum Triggern des Probenahmegerätes, was dazu führte, dass während der Einstauperiode in der Kammer auch keine Teilproben entnommen wurden. Dies könnte durch Verwendung einer piezometrischen Wasserstandsmessung verhindert werden, welche die Druckhöhen in der Mischwasserkammer auch noch bei Einstau der Kammer zuverlässig messen würde. Das ist insofern von großer Bedeutung, da diese beiden Extremereignisse auch einen überproportional großen Anteil am Niederschlagswasserjahresabfluss aufwiesen.

Nachteilig an der angewandten Methodik ist sicherlich die erforderliche Probenteilung der inhomogenen Proben aus jeder der befüllten Probenahmeflaschen anhand der zu erstellenden Mischungstabellen, was insbesondere bei partikelhaltigen Rohabwasserproben immer fehlerbehaftet ist.

Die Benachrichtigung der diensthabenden TU Graz-ProjektmitarbeiterInnen erfolgte im Ereignisfall über eine automatisierte E-Mail-Alarmierung, aus welcher sowohl der Start- als auch der Endzeitpunkt der Probenahmen ersichtlich war. Auf Basis dieser Benachrichtigungen wurde der zeitliche Ablauf der Probenabholungen von den Probenahmestellen organisiert. Dabei bringt die gewählte zeitproportionale Teilprobenentnahme auch den Vorteil mit sich, dass man nach dem Alarmierungsbeginn der automatischen Teilprobenentnahmen genau weiß, wann das Probenahmegerät vollkommen befüllt sein wird und

daher spätestens entleert werden muss, um es für das nachfolgende Ereignis wieder betriebsbereit zu machen.

Durch die angewandte Programmverkettung beim MWK-Probenahmegerät bzw. durch das In-Serie-Konfigurieren von zwei identen Probenahmegeräten beim NWK konnte ein vorzeitiges Ende der automatischen Teilprobenentnahmen weitestgehend verhindert werden und damit fast alle aufgetretenen Ereignisse innerhalb des Beprobungsjahres vollständig und mengenproportional beprobt werden.

5.2.2 Niederschlagswasserkanal – Vorarlberg, Langackerweg und Straßenablauf – L202-Hard/Bregenz

Für die Parametrisierung der mengenproportionalen Probenahme des Straßenabwassers an der L202 Hard/Bregenz waren Erfahrungswerte aus früheren Projekten vorhanden. Im Falle des Niederschlagswasserkanals Langackerweg Hard/Bregenz wurden die Parameter über den Bemessungsniederschlag aus eHYD (10 mm bzw. 18 mm für 5 bzw. 15 min Starkregen) und die geschätzte entwässerte Fläche des Einzugsgebiets abgeschätzt.

Voraussetzung für eine automatische mengenproportionale Probenahme ist eine zuverlässige Durchflussmengenmessung. Daher wurden die Mengenmessungen bei den Probenahmestellen Niederschlagswasserkanal Langackerweg/Hard und Straßenablauf L202 Hard/Bregenz durch Einleiten einer definierten Menge Wasser (befüllen über eine Wasseruhr) und Vergleich mit der gemessenen Menge überprüft. In einen Schacht auf der L202 wurden 9,8 m³ eingeleitet und die Mengenmessung hat 9,9 m³ registriert. Beim Niederschlagswasserkanal im Langackerweg wurden 9,9 m³ in einen Schacht ca. 100m von der Probenahmestelle entfernt eingeleitet. Hier wurden 10 m³ von der Durchflussmengenmessung angezeigt.

Abbildung 87: Überprüfung der Durchflussmengenmessung beim Niederschlagswasserkanal Langackerweg/Hard durch Einleitung einer definierten Wassermenge und Vergleich mit der angezeigten Menge © Umweltinstitut



Die Probenahmestellen wurden auch über den Winter hinweg betrieben. Deshalb wurden die Ansaugschläuche soweit möglich eingegraben und mit Heizungsrohrisulationsmaterial isoliert und darauf geachtet, dass während der Frostphasen die Probenahmeflaschen trocken waren. Im Falle eines Niederschlagsereignisses wurden die Proben zeitnah abgeholt und ins Labor gebracht.

5.2.3 Niederschlagswasserkanal – Siedlungsgebiet Ostösterreich

An der Probenahmestelle Siedlungsgebiet Ostösterreich NWK wurde die Probenahme von folgenden Einflussfaktoren maßgeblich beeinträchtigt:

- Die Probenahme erfolgte in einem Kanalschacht (siehe Abbildung 88) und die Anlage der Probenahme (Probenehmer, Schläuche) konnte nicht beheizt werden. Aus diesem Grund musste die Probenahme in den Wintermonaten unterbrochen werden
- Über etwa ein Monat kam es aufgrund eines Fehllanschlusses auf einer Baustelle zu einem hohen Fremdwasserabfluss im Niederschlagswasserkanal, wobei Fäkalwasser aus einem Sanitärcontainer und Baugrubenwasser angeleitet wurden. Jene Proben, die in diesem Zeitraum genommen wurden, wurden nicht in die Jahresprobe inkludiert.

Abbildung 88: Probenehmer im Siedlungsgebiet Ostösterreich © Umweltinstitut



5.3 Analytik

5.3.1 Organische und anorganische Spurenstoffe: Einzelmesswerte der Analytik, Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sowie Güteziele und vorgeschlagene Qualitätskriterien

Tabelle 68 und Tabelle 69 enthalten eine Darstellung der Bestimmungs- und Nachweisgrenzen der angewandten analytischen Methoden für die untersuchten Spurenstoffe. Dargestellt werden auch Umweltqualitätsnormen für den Jahresdurchschnitt (JD-UQN) gemäß Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (BGBl II 2006/96 i.d.g.F.), falls solche Güteziele für die untersuchten Stoffe verfügbar sind, oder chronische Qualitätskriterien, die das Ökotoxzentrum in der Schweiz vorschlägt.

Tabelle 71 bis zur Tabelle 81 enthalten die Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben.

Tabelle 82 und Tabelle 83 zeigen die Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen der Jahresmischproben der Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK), Straßenabwasserkanälen und ausgewählten Trockenwetterabfluss.

Tabelle 68: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Quellen/Anwendungen im urbanen Bereich (TEMPEST-Parameterumfang)

| Stoffgruppe | Stoff | NG [$\mu\text{g/L}$] | BG [$\mu\text{g/L}$] | JD-UQN [$\mu\text{g/L}$] | Quellen/ Anwendungen im urbanen Bereich |
|---|-------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| Schwermetalle (7) | | | | | Bremsabrieb, Reifenabrieb, Baustoffe |
| | Blei | 0,01 | 0,02 | 1,2 | ³⁾ Verkehr |
| | Cadmium | 0,0025 | 0,005 | 0,09 | ³⁾ Kunststoffe, Beschichtungen, Reifenabrieb |
| | Chrom | 0,03 | 0,06 | 9 | ³⁾ Betonausgangsstoffe |
| | Kupfer | 0,063 | 0,13 | ¹⁾ 1,6 | ³⁾ Bremsbeläge, Dächer |
| | | 0,03 | 0,06 | ²⁾ | ³⁾ |
| | Nickel | 0,025 | 0,05 | ¹⁾ 4 | ³⁾ Betonausgangsstoffe |
| | 0,063 | 0,13 | ²⁾ | ³⁾ | |
| | Quecksilber | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Zink | 0,063 | 0,13 | 8,8 | ³⁾ Reifenabrieb, Dächer |
| Industriechemikalien (2) | | | | | Kunststoffinhaltsstoff |
| | Bisphenol A | 0,05 | 0,1 | | |
| | Nonylphenol | 0,05 | 0,1 | 0,3 | ³⁾ |
| Polybromierte Diphenyl- ether (PBDE) (6) | | | | | Flammschutzmittel |

| Stoffgruppe | Stoff | NG [$\mu\text{g/L}$] | BG [$\mu\text{g/L}$] | JD-UQN [$\mu\text{g/L}$] | Quellen/ Anwendungen im urbanen Bereich |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| | BDE28 | | 0,0000088 ¹⁾ | | |
| | | 0,0000021 | 0,0000064 ²⁾ | | |
| | BDE47 | | 0,00029 ¹⁾ | | |
| | | 0,000077 | 0,00023 ²⁾ | | |
| | BDE99 | | 0,00012 ¹⁾ | | |
| | | 0,000057 | 0,00017 ²⁾ | | |
| | BDE100 | | 0,000032 ¹⁾ | | |
| | | 0,000012 | 0,000036 ²⁾ | | |
| | BDE153 | | 0,000033 ¹⁾ | | |
| | | 0,0000053 | 0,000016 ²⁾ | | |
| | BDE154 | | 0,000013 ¹⁾ | | |
| | | 0,000005 | 0,000015 ²⁾ | | |
| | Summe BDE | - | - | 0,0005 ³⁾ | |
| Perfluorierte Tenside (13) | | | | | Beschichtungen |
| | Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) | 0,0005 | 0,001 | 0,00065 ³⁾ | |
| | Perfluoroktansäure (PFOA) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluorhexansäure | 0,0005 | 0,001 | | |

| Stoffgruppe | Stoff | NG [$\mu\text{g/L}$] | BG [$\mu\text{g/L}$] | JD-UQN [$\mu\text{g/L}$] | Quellen/ Anwendungen im urbanen Bereich |
|-----------------|---|------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| | (PF6C) | | | | |
| | Perfluorheptansäure (PF7C) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluornonansäure (PF9C) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluordecansäure (PF10C) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluorundecansäure (PF11C) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluordodecansäure (PF12C) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluorohexansulfonsäure (PF6S) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluoroheptansulfonsäure (PF7S) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluordecansulfonsäure (PF10S) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Perfluorotansulfonamid (PFOSA) | 0,0005 | 0,001 | | |
| | N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid (N-Ethyl-PFOSA) | 0,0005 | 0,001 | | |
| PAK (16) | | | | | Verbrennungsprozesse, Teer, Autoreifen |

| Stoffgruppe | Stoff | NG [$\mu\text{g/L}$] | BG [$\mu\text{g/L}$] | JD-UQN [$\mu\text{g/L}$] | Quellen/ Anwendungen im urbanen Bereich |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| | Acenaphthen | 0,001 | 0,002 | | |
| | Acenaphthylen | 0,0011 | 0,0045 | 1) | |
| | | 0,0005 | 0,001 | 2) | |
| | Anthracen | 0,001 | 0,002 | 0,1 | 3) |
| | Benzo(a)anthracen | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Benzo(a)pyren | 0,0005 | 0,001 | 0,00017 | 3) |
| | Benzo(b)fluoranthren | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Benzo(g,h,i)perylen | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Benzo(k)fluoranthren | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Chrysen | 0,001 | 0,002 | | |
| | Dibenzo(a,h)anthracen | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Fluoranthren | 0,001 | 0,002 | 0,0063 | |
| | Fluoren | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Indeno(1.2.3-c.d)pyren | 0,0005 | 0,001 | | |
| | Naphthalin | 0,0015 | 0,003 | 2 | 3) |
| | Phenanthren | 0,0025 | 0,005 | | |
| | Pyren | 0,0005 | 0,001 | | |
| Phthalate (1) | | | | | Weichmacher in Kunststoffen |

| Stoffgruppe | Stoff | NG [$\mu\text{g/L}$] | BG [$\mu\text{g/L}$] | JD-UQN [$\mu\text{g/L}$] | Quellen/ Anwendungen im urbanen Bereich |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| | Bis(2-ethylbenzyl)phthalat (DEHP) | 0,1 | 0,2 | 1,3 | ³⁾ |
| Organozinnverbindungen (6) | | | | | Kunststoffinhaltsstoff, Holzschutzmittel, Antifouling |
| | Dibutylzinn | 0,0001 | 0,0002 | 0,01 | ³⁾ Licht- und Hitze-Stabilisator für PVC |
| | Tributylzinn | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 | ³⁾ Holzschutzmittel, Silikondichtstoffe, Dachbahnen |
| | Tetrabutylzinn | 0,0001 | 0,0002 | | Ausgangsmaterial von Tributyl- und Dibutylzinn |
| | Diphenylzinn | 0,0001 | 0,0002 | | |
| | Triphenylzinn | 0,0001 | 0,0002 | | |
| | Monobutylzinn | 0,001 | 0,002 | | |
| Pflanzenschutzmittel (6) | | | | | Grünflächen, Farben, Baumaterialien |
| | Mecoprop | 0,025 | 0,05 | | Herbizid, Bitumenbahnen, |
| | Diuron | 0,025 | 0,05 | 0,2 | ³⁾ Dach- und Fassadenfarben |
| | Terbuthylazin | 0,025 | 0,05 | | Herbizid (vorw. Maisanbau) |
| | Terbutryn | 0,025 | 0,05 | 0,065 | ³⁾ Dach- und Fassadenfarben |
| | Carbendazim | 0,025 | 0,05 | | Fungizid in Fassadenschutz, Dichtmassen |
| | Terbuthylazin-desethyl | 0,025 | 0,05 | | Metabolit von Terbuthylazin |

- ¹⁾...Bestimmungs- und Nachweisgrenze in Proben, die von August 2017 bis Mai 2018 genommen wurden (in Tabelle 8 mit X1 gekennzeichnet)
²⁾... Bestimmungs- und Nachweisgrenze in Proben, die von Juni bis Oktober 2018 genommen wurden (in Tabelle 8 mit X2 gekennzeichnet)
³⁾...Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) gemäß Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (BGBl II 2006/96 i.d.g.F.)

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 69: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Anwendungsbereiche (Parameterumfang AZM-Screening)

| Parametergruppe | Parameter | Einheit | Bewertungskriterien | | | | |
|-----------------------|---|---------|---------------------|--------|------|----------|------------------------|
| | | | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Metaboliten | 10,11-Dihydro-10,11-Dihydroxycarbamazepin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 100 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Metaboliten | 4-Acetylaminoantipyrin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 13 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Metaboliten | 4-Formylaminoantipyrin | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 0,3 | GOW | UBA (2018b) |
| Metaboliten | Acetylsulfamethoxazol | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,6 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Röntgenkontrastmittel | Amidotrizoesäure | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1 | GOW | UBA (2018b) |
| Kalziumkanalblocker | Amlodipin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,5 | TW-TW | Umweltbundesamt |

| | | | | | | | Bewertungskriterien | |
|---|----------------------------|---------|---------|--------|-------|----------|------------------------|--|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz | |
| | | | | | | | (2017) | |
| Antibiotika | Amoxicillin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,078 | QK-chron | UBA (2018a) | |
| Antibiotika | Ampicillin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 6 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Betablocker | Atenolol | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 150 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) | |
| Lipidsenker | Atorvastatin | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Antibiotika | Azithromycin* | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,019 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) | |
| Lipidsenker | Bezafibrat | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 2,3 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) | |
| Betablocker | Bisoprolol | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,02 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | Bupropion | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Diuretika | Canrenon (Sironolacton) | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Antineoplastische Mittel | Capecitabin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Antiepileptika | Carbamazepin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,5 | PNEC | JRC (2016a) | |

| | | | | | Bewertungskriterien | | |
|--|----------------------|---------|---------|--------|---------------------|----------|------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Betablocker | Carvedilol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | Citalopram | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 3,03 | PNEC | Minguez et al. (2016) |
| Antibiotika | Clarithromycin* | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,12 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antibiotika | Clindamycin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 4 | PNEC | UBA (2011a) |
| Lipidsenker | Clofibrinsäure | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 5 | QK-chron | UBA (2018a) |
| Antithrombotische Mittel | Clopidogrel | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 4 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Expektoranzien und Antitussiva | Codein | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,3 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Metaboliten | Dehydro-Erythromycin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,3 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Psycholeptika (Anxiolytika/Antipsychotika/Hypnotika und Sedativa) | Diazepam | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,291 | PNEC | JRC (2016a) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Diclofenac* | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,05 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antibiotika | Doxycyclin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,054 | PNEC | UBA (2011b) |
| Psychoanaleptika | Duloxetin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,37 | PNEC | Minguez et al. |

| | | | | | | | Bewertungskriterien | |
|--|--------------------|---------|---------|--------|-------|----------|------------------------|--|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz | |
| (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | | | | | | | (2016) | |
| Mittel mit Wirkung auf das Renin-Angiotensin-System | Enalapril | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 0,3 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Antibiotika | Erythromycin* | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,3 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) | |
| Lipidsenker | Fenofibrat | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1,6 | PNEC | UBA (2011b) | |
| Diuretika | Furosemid | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 100 | PNEC | LUA (2002) | |
| Antiepileptika | Gabapentin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 10 | PNEC | UBA (2018a) | |
| Lipidsenker | Gemfibrozil | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,85 | PNEC | JRC (2016b) | |
| Antidiabetika | Gliclazid | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,5 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| #NV | Guafenisin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 40 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Diuretika | Hydrochlorothiazid | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 33 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Ibuprofen | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,011 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) | |
| Röntgenkontrastmittel | Iohexol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1000 | PNEC | UBA (2011b) | |
| Röntgenkontrastmittel | Iomeprol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) | |

| Bewertungskriterien | | | | | | | |
|--|----------------|---------|---------|--------|------|----------|------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Röntgenkontrastmittel | Iopamidol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1 | GOW | UBA (2018b) |
| | | | | | 15 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Röntgenkontrastmittel | Iopromid | µg/L | 0,005 | 0,01 | 6800 | PNEC | UBA (2011b) |
| Röntgenkontrastmittel | Ioversol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Mittel mit Wirkung auf das Renin-Angiotensin-System | Irbesartan | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 700 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antibiotika | Josamycin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 3 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Ketoprofen | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 3,12 | PNEC | UBA (2011b) |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | Koffein | µg/L | 0,005 | 0,01 | 87 | PNEC | JRC (2016a) |
| Antiepileptika | Levetiracetam | µg/L | 0,005 | 0,01 | 100 | PNEC | Minguez et al. (2016) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Mefenaminsäure | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 1 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antidiabetika | Metformin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 160 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Betablocker | Metoprolol | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 8,6 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |

| Bewertungskriterien | | | | | | | |
|--|----------------|---------|---------|--------|------|----------|------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Antibiotika | Metronidazol | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 36 | PNEC | UBA (2011b) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Naproxen | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1,7 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Psycholeptika (Anxiolytika/Antipsychotika/Hypnotika und Sedativa) | Oxazepam | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antiepileptika | Oxcarbazepin | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antibiotika | Oxytetracyclin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 1,1 | PNEC | UBA (2011b) |
| Antazida | Pantoprazol | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Paracetamol | µg/L | 0,005 | 0,01 | 136 | PNEC | JRC (2016a) |
| Antibiotika | Penicillin G | µg/L | 0,005 | 0,01 | 3,38 | PNEC | UBA (2011b) |
| Antibiotika | Penicillin V | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,6 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Vasodilatoren | Pentoxifyllin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 20 | PNEC | UBA (2011b) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Phenazon | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 1,1 | QK-chron | UBA (2018a) |
| Antiepileptika | Primidon | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 0,32 | PNEC | UBA (2011b) |
| | Propranolol | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,16 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |

| | | Bewertungskriterien | | | | | |
|--|-----------------|---------------------|---------|--------|--------|----------|---------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Propyphenazon | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,8 | QK-chron | UBA (2018a) |
| Psycholeptika (Anxiolytika/Antipsychotika/Hypnotika und Sedativa) | Prothipendyl | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Psycholeptika (Anxiolytika/Antipsychotika/Hypnotika und Sedativa) | Quetiapin | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 0,1 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antazida | Ranitidin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 15 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antibiotika | Roxithromycin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,2 | PNEC | UBA (2011b) |
| Bronchodilatoren und Sympathomimetika | Salbutamol | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,1 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzen) | Sertralin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,1 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antidiabetika | Sitagliptin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Betablocker | Sotalol | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 12 | PNEC | UBA (2011b) |
| Antibiotika | Sulfadiazin | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 1,35 | PNEC | UBA (2011b) |
| Antibiotika | Sulfadimethoxin | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,0088 | PNEC | UBA (2011b) |
| Antibiotika | Sulfadimidin | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 30 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |

| Bewertungskriterien | | | | | | | |
|---|-----------------|---------|---------|--------|------|----------|------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Antibiotika | Sulfadoxin | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 13 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antibiotika | Sulfamethoxazol | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,6 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antibiotika | Sulfathiazol | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 3,42 | PNEC | UBA (2011b) |
| Psycholeptika (Anxiolytika/Antipsychotika/Hypnotika und Sedativa) | Temazepam | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Bronchodilatoren und Sympathomimetika | Terbutalin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 0,2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Bronchodilatoren und Sympathomimetika | Theophyllin | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Analgetika/Antiphlogistika/Antirheumatika | Tramadol | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,32 | PNEC | UBA (2011b) |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | Trazodon | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 0,3 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Antibiotika | Trimethoprim | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 120 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |
| Antivirale Mittel | Valaciclovir | µg/L | 0,005 | 0,01 | 2 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |
| Mittel mit Wirkung auf das Renin-Angiotensin-System | Valsartan | µg/L | 0,00025 | 0,0005 | 560 | QK-chron | Oekotoxzentrum (2018) |

| Bewertungskriterien | | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|--------|-------|-------|---------------------------|
| Parametergruppe | Parameter | Einheit | BG | NG | Wert | Art | Referenz |
| Psychoanaleptika (Antidepressiva/Psychostimulanzien) | Venlafaxin | µg/L | 0,00005 | 0,0001 | 0,038 | PNEC | JRC (2016b) |
| Kalziumkanalblocker | Verapamil | µg/L | 0,0005 | 0,001 | 3 | TW-TW | Umweltbundesamt (2017) |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 70: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Anwendungsbereiche (Parameterumfang Pflanzenschutzmittel-Screening und Indikatoren kommunaler Verunreinigung)

| Stoffgruppe | Stoff | NG [µg/L] | BG [µg/L] | Vorschlag Qualitätskriterium [µg/L] | Anwendungen | |
|---------------------------|-------|--------------|-----------|---|-------------------------------------|--|
| Pflanzenschutz- mittel | | | | | Grünflächen, Farben, Baumaterialien | |
| | | | 0,09 | | Herbizid | |
| | | 4-CPA | | 0,09 | | |
| | | Climbazol | | 0,09 | | |
| | | DEET | | 0,09 | | |
| | | Dicamba | | 0,09 | | |

| Stoffgruppe | Stoff | NG [µg/L] | BG [µg/L] | Vorschlag Qualitätskriterium [µg/L] | Anwendungen |
|--|--------------------------------------|--------------|-----------|---|--|
| | Diuron | | 0,09 | 0,2 | ¹⁾ Dach- und Fasadfarben |
| | DNOC | | 0,09 | | |
| | Mecoprop | | 0,09 | | Herbizid, Bitumenbahnen |
| | Saccharin | | 0,09 | | |
| | Thiamethoxam Metabolit CGA 353968 | | 0,09 | | |
| | Tritosulfuron Metabolit BH 635-2 | | 0,09 | | |
| Indikatoren kommunaler Verunreinigung | Acesulfam | 0,0025 | 0,005 | | Süßstoff in Getränken |
| | 1H-Benzotriazol | 0,005 | 0,01 | | Korrosionsschutzmittel in Kühlflüssigkeiten, Frostschutz-, Enteisungsmitteln |
| | Tolyltriazole | 0,005 | 0,01 | | Korrosionsinhibitor, in Frostschutzmitteln, Kühlmitteln, Hydraulikflüssigkeiten, Kühlschmiermitteln |

¹⁾...Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) gemäß Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (BGBl II 2006/96 i.d.g.F.)

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 71: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für Schwermetalle

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Cd | Cr | Cu | Cu (BG) | Cu (NG) | Hg | Ni | Ni (BG) | Ni (NG) | Pb | Zn |
|----------------------|---------------------|--------|-------|-----|---------|---------|---------|------|---------|---------|-------|-------|
| NG | | 0,0025 | 0,030 | | | | 0,00050 | | | | 0,010 | 0,063 |
| BG | | 0,0050 | 0,060 | | | | 0,0010 | | | | 0,020 | 0,13 |
| NWK | | | | | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17 - Mai 18 | 0,32 | 100 | 64 | 0,13 | 0,063 | 0,051 | 67 | 0,050 | 0,025 | 34 | 320 |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,022 | 5,3 | 8,9 | 0,060 | 0,030 | 0,018 | 4,5 | 0,13 | 0,063 | 2,1 | 39 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | 0,013 | 0,38 | 9,1 | 0,13 | 0,063 | 0,0043 | 0,59 | 0,050 | 0,025 | 0,63 | 10 |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | 0,027 | 2,4 | 20 | 0,13 | 0,063 | 0,028 | 1,7 | 0,050 | 0,025 | 3,8 | 37 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | 0,0099 | 0,72 | 14 | 0,060 | 0,030 | 0,0064 | 0,72 | 0,13 | 0,063 | 0,73 | 16 |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | 0,011 | 5,2 | 25 | 0,060 | 0,030 | 0,0080 | 1,7 | 0,13 | 0,063 | 4,1 | 44 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,064 | 4,4 | 35 | 0,13 | 0,063 | 0,0033 | 4,0 | 0,050 | 0,025 | 1,5 | 84 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,043 | 43 | 130 | 0,060 | 0,030 | 0,070 | 21 | 0,13 | 0,063 | 14 | 340 |
| MWK | | | | | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | 0,076 | 11 | 23 | 0,13 | 0,063 | 0,028 | 8,9 | 0,050 | 0,025 | 6,3 | 110 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,073 | 15 | 45 | 0,060 | 0,030 | 0,061 | 10 | 0,13 | 0,063 | 11 | 220 |
| Straße | | | | | | | | | | | | |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Cd | Cr | Cu | Cu (BG) | Cu (NG) | Hg | Ni | Ni (BG) | Ni (NG) | Pb | Zn |
|----------------------|---------------------|--------|------|-----|---------|---------|--------|------|---------|---------|------|-----|
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,024 | 4,5 | 18 | 0,13 | 0,063 | 0,011 | 2,0 | 0,050 | 0,025 | 1,5 | 46 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | n.n. | 6,2 | 41 | 0,060 | 0,030 | 0,0092 | 2,7 | 0,13 | 0,063 | 2,8 | 98 |
| Trockenwetter | | | | | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | 0,014 | 0,93 | 9,5 | 0,060 | 0,030 | 0,0057 | 1,7 | 0,13 | 0,063 | 0,27 | 18 |
| Mischprobe CSO-R05 | Nov.18 | 0,066 | 4,0 | 39 | 0,060 | 0,030 | 1,9 | 5,6 | 0,13 | 0,063 | 6,1 | 200 |
| Deposition | | | | | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,034 | 2,3 | 12 | 0,060 | 0,030 | 0,012 | 1,8 | 0,13 | 0,063 | 3,8 | 970 |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,055 | 2,4 | 13 | 0,060 | 0,030 | 0,031 | 2,0 | 0,13 | 0,063 | 4,3 | 850 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | 0,0091 | 0,89 | 14 | 0,060 | 0,030 | 0,0037 | 0,65 | 0,13 | 0,063 | 1,5 | 27 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | 0,039 | 1,5 | 25 | 0,060 | 0,030 | 0,013 | 1,1 | 0,13 | 0,063 | 1,1 | 74 |
| Ost -UBA | Juli 17 - Juli 18 | 0,12 | 3,8 | 16 | 0,060 | 0,030 | 0,0082 | 2,4 | 0,13 | 0,063 | 4,4 | 120 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 72: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte PAK (Teil 1)

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Acenaphthen | Acenaphthylen | Acenaphthylen (BG) | Acenaphthylen (NG) | Anthracen | Benzo(a)-anthracen | Benzo(a)pyren | Benzo(b)-fluoranthen | Benzo(g,h,i)perylen |
|----------------------|---------------------|-------------|---------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| NG | | 0,0010 | | | | 0,0010 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 |
| BG | | 0,0020 | | | | 0,0020 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 |
| NWK | | | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17 - Mai 18 | < 0.0020 | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | 0,0028 | 0,0040 | 0,0022 | 0,0027 | 0,0031 |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | < 0.0020 | 0,0019 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | < 0.0010 | < 0.0010 | < 0.0010 | < 0.0010 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | < 0.0020 | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | < 0.0020 | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | n.n. | 0,0017 | < 0.0010 | < 0.0010 | < 0.0010 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | 0,0070 | 0,0010 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | < 0.0020 | n.n. | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,013 | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | 0,026 | 0,057 | 0,044 | 0,041 | 0,025 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,0056 | < 0.0010 | 0,0010 | 0,00050 | < 0.0020 | 0,0037 | 0,0026 | 0,0027 | 0,0024 |
| MWK | | | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | n.n. | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | 0,0021 | 0,0039 | 0,0032 | 0,0039 | 0,0043 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probenahme | Acenaph- then | Acenaph- thylen | Acenaph- thylen (BG) | Acenaph- thylen (NG) | Anthra- cen | Benzo(a)- anthracen | Benzo(a)- pyren | Benzo(b)- fluoranthen | Benzo(g,h,i) perylen |
|------------------------|------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,0025 | 0,0016 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | < 0.0010 | < 0.0010 | 0,0011 | 0,0016 |
| Straße | | | | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | < 0.0020 | n.n. | 0,0045 | 0,0011 | < 0.0020 | 0,0026 | 0,0018 | 0,0025 | 0,0027 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,0030 | 0,0011 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | 0,0011 | < 0.0010 | 0,0013 | 0,0016 |
| Trockenwetter | | | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | < 0.0020 | < 0.0010 | 0,001 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | 0,011 | 0,081 | 0,001 | 0,00050 | 0,0030 | 0,0038 | 0,0019 | 0,0014 | < 0.0010 |
| Deposition | | | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,0023 | < 0.0010 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | < 0.0020 | < 0.0010 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0015 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | < 0.0010 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | 0,0076 | 0,0026 | 0,0010 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | 0,0069 | 0,0012 | 0,0010 | 0,00050 | < 0.0020 | 0,002 | 0,0011 | 0,0013 | 0,0011 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 73: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte PAK (Teil 2)

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probenahme | Benzo(k)- fluoranthen | Chrysen | Dibenzo(a,h) anthracen | Fluor- anthen | Fluoren | Indeno (1.2.3-c.d) pyren | Naph- thalin | Phenan- thren | Pyren | Summe 16 EPA PAH |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------|---------------------------|------------------|----------|--------------------------------|-----------------|------------------|---------|---------------------|
| NG | | 0,00050 | 0,0010 | 0,00050 | 0,0010 | 0,00050 | 0,00050 | 0,0015 | 0,0025 | 0,00050 | |
| BG | | 0,0010 | 0,0020 | 0,0010 | 0,0020 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0030 | 0,0050 | 0,0010 | |
| NWK | | | | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17 - Mai 18 | 0,0013 | 0,0047 | n.n. | 0,012 | 0,0044 | 0,0019 | 0,0094 | 0,015 | 0,0096 | 0,074 |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | 0,0040 | 0,0022 | n.n. | 0,011 | 0,020 | 0,0028 | 0,042 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0045 | 0,0030 | n.n. | 0,013 | 0,022 | 0,0024 | 0,045 |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | < 0.0020 | n.n. | 0,0049 | 0,0018 | < 0.0010 | 0,0055 | < 0.0050 | 0,0043 | 0,018 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0020 | 0,0042 | n.n. | 0,025 | 0,015 | 0,0016 | 0,054 |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | 0,0061 | < 0.0050 | n.n. | 0,0061 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,023 | 0,047 | 0,0083 | 0,13 | 0,017 | 0,024 | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,80 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. | 0,0010 | 0,0041 | 0,0015 | 0,018 | 0,0042 | n.n. | 0,0087 | 0,027 | 0,015 | 0,098 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probenahme | Benzo(k)- fluoranthen | Chrysen | Dibenzo(a,h) anthracen | Fluor- anthen | Fluoren | Indeno (1.2.3-c.d) pyren | Naph- thalin | Phenan- thren | Pyren | Summe 16 EPA PAH |
|------------------------|------------------------|--------------------------|----------|---------------------------|------------------|---------|--------------------------------|-----------------|------------------|--------|---------------------|
| | 18 | | | | | | | | | | |
| MWK | | | | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | 0,0016 | 0,0054 | < 0.0010 | 0,022 | 0,0072 | 0,0029 | 0,020 | 0,027 | 0,020 | 0,12 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | n.n. | < 0.0020 | < 0.0010 | 0,013 | 0,0031 | n.n. | 0,010 | 0,026 | 0,010 | 0,069 |
| Straße | | | | | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,0011 | 0,0032 | < 0.0010 | 0,013 | 0,003 | 0,0014 | 0,0046 | 0,015 | 0,016 | 0,067 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | n.n. | < 0.0020 | < 0.0010 | 0,010 | 0,0032 | n.n. | 0,019 | 0,019 | 0,011 | 0,071 |
| Trockenwetter | | | | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0018 | n.n. | 0,0093 | 0,035 | n.n. | 0,046 |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | 0,0011 | < 0.0020 | < 0.0010 | 0,022 | 0,0072 | n.n. | 0,015 | 0,070 | 0,069 | 0,29 |
| Deposition | | | | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | 0,0021 | n.n. | 0,0021 | 0,0022 | n.n. | 0,0083 | 0,0094 | 0,0015 | 0,028 |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0020 | 0,0019 | n.n. | 0,0045 | 0,026 | 0,0015 | 0,035 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probenahme | Benzo(k)- fluoranthen | Chrysen | Dibenzo(a,h) anthracen | Fluor- anthen | Fluoren | Indeno (1.2.3-c.d) pyren | Naph- thalin | Phenan- thren | Pyren | Summe 16 EPA PAH |
|------------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|------------------|----------|--------------------------------|-----------------|------------------|--------|---------------------|
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0,0010 | n.n. | 0,0056 | < 0,0050 | n.n. | 0,0056 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0021 | 0,0071 | n.n. | 0,029 | 0,021 | 0,0017 | 0,071 |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | 0,0021 | 0,0010 | 0,0067 | 0,0045 | n.n. | 0,011 | 0,015 | 0,0046 | 0,059 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 74: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 1)

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (BG) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (NG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) |
|------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| NG | | | | | | | | |
| BG | | | | | | | | |
| NWK | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17- | < 0,000032 | 0,000032 | | < 0,000033 | 0,000033 | | < 0,000013 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (BG) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (NG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) |
|-------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | Mai 18 | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | < 0.000032 | 0,000032 | | < 0.000033 | 0,000033 | | < 0.000013 |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | < 0.000032 | 0,000032 | | < 0.000033 | 0,000033 | | < 0.000013 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | < 0.000032 | 0,000032 | | < 0.000033 | 0,000033 | | < 0.000013 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,000036 | 0,000036 | 0,000012 | 0,000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| MWK | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17- Mai 18 | 0,00033 | 0,000032 | | 0,00024 | 0,000033 | | 0,00020 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,000060 | 0,000036 | 0,000012 | 0,000029 | 0,000016 | 0,0000053 | 0,000021 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (BG) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (NG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromd- iphenylether) (NG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) |
|------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Straße | | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | < 0.000032 | 0,000032 | | < 0.000033 | 0,000033 | | < 0.000013 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Trockenwetter | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | 0,00040 | 0,000036 | 0,000012 | 0,00019 | 0,000016 | 0,0000053 | 0,00013 |
| Deposition | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |
| Ostösterreich | Juli 17 - | < 0.000036 | 0,000036 | 0,000012 | < 0.000016 | 0,000016 | 0,0000053 | < 0.000015 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (BG) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (NG) | BDE 100 (2.2'.4.4'.6- Pentabromdi- phenylether) (NG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 153 (2.2'.4.4'.5.5'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) |
|------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | Juli 18 | | | | | | | |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 75: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 2)

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (BG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (NG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (NG) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) (BG) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) (NG) |
|------------------------|-----------------------------|--|--|---|---|---|--|--|
| NG | | | | | | | | |
| BG | | | | | | | | |
| NWK | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17- Mai 18 | 0,000013 | | 0,000013 | 0,0000088 | | < 0.00029 | 0,00029 |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (BG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (NG) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) (BG) |
|-------------------------|-----------------------------|--|--|---|---|---|--|--|
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | 0,000013 | | < 0.0000088 | 0,0000088 | | < 0.00029 | 0,00029 |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | 0,000013 | | < 0.0000088 | 0,0000088 | | < 0.00029 | 0,00029 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,000013 | | < 0.0000088 | 0,0000088 | | < 0.00029 | 0,00029 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | 0,0000096 | 0,0000064 | 0,0000021 | 0,00027 | 0,00023 |
| MWK | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17- Mai 18 | 0,000013 | | < 0.0000088 | 0,0000088 | | 0,00064 | 0,00029 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | 0,000011 | 0,0000064 | 0,0000021 | 0,00045 | 0,00023 |
| Straße | | | | | | | | |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (BG) | BDE 154 (2.2'.4.4'.5.6'- Hexabromdi- phenylether) (NG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (BG) | BDE 28 (2.4.4'- Tribromdi- phenylether) (NG) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) | BDE 47 (2.2'.4.4'- Tetrabromdi- phenylether) (BG) |
|------------------------|-----------------------------|--|--|---|---|---|--|--|
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,000013 | | < 0.0000088 | 0,0000088 | | < 0.00029 | 0,00029 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Trockenwetter | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | 0,000015 | 0,0000050 | 0,000047 | 0,0000064 | 0,0000021 | 0,0027 | 0,00023 |
| Deposition | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | 0,000015 | 0,0000050 | < 0.0000064 | 0,0000064 | 0,0000021 | < 0.00023 | 0,00023 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 76: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 3)

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | BDE 47 (2.2'.4.4'-Tetrabromdiphenyl-ether) (NG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (BG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (NG) | Summe PBDE | Summe UQN PBDE |
|----------------------|---------------------|---|--|---|---|------------|-------------------|
| NG | | | | | | | |
| BG | | | | | | | |
| NWK | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17 - Mai 18 | | < 0.00012 | 0,00012 | | 0,000013 | 0.000013 - 0.0005 |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | | < 0.00012 | 0,00012 | | <BG | 0 - 0.0005 |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | | < 0.00012 | 0,00012 | | <BG | 0 - 0.0005 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | BDE 47 (2.2'.4.4'-Tetrabromdiphenyl-ether) (NG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (BG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (NG) | Summe PBDE | Summe UQN PBDE |
|----------------------|---------------------|---|--|---|---|------------|-------------------|
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | | < 0.00012 | 0,00012 | | <BG | 0 - 0.0005 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | 0,0003316 | 0.00033 - 0.00052 |
| MWK | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17 - Mai 18 | | 0,0018 | 0,00012 | | 0,00321 | 0.0032 - 0.0032 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,000077 | 0,00031 | 0,00017 | 0,000057 | 0,000881 | 0,00088 |
| Straße | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | | < 0.00012 | 0,00012 | | <BG | 0 - 0.0005 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Trockenwetter | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Mischprobe CSO-R05 | Nov. 18 | 0,000077 | 0,0021 | 0,00017 | 0,000057 | 0,00557 | 0,0056 |
| Deposition | | | | | | | |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | BDE 47 (2.2'.4.4'-Tetrabromdiphenyl-ether) (NG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (BG) | BDE 99 (2.2'.4.4'.5-Pentabromdiphenyl-ether) (NG) | Summe PBDE | Summe UQN PBDE |
|-------------------|---------------------|---|--|---|---|------------|----------------|
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | 0,000077 | < 0.00017 | 0,00017 | 0,000057 | <BG | 0 - 0.00048 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 77: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für perfluorierte Tenside (Teil 1)

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probe-nahme | Perfluorcapron-säure (PF6C) | Perfluorheptan-säure (PF7C) | Perfluorocan-säure (PFOA) | Perfluornonan-säure (PF9C) | Perfluordecan-säure (PF10C) | Perfluor-undecansäure (PF11C) | Perfluor-dodecansäure (PF12C) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| NG | | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 |
| BG | | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 |
| NWK | | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17- Mai 18 | n.n. | n.n. | 0,0020 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,0010 | 0,0017 | 0,0036 | 0,0012 | 0,0011 | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | < 0,0010 | < 0,0010 | 0,0017 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | n.n. | 0,0011 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | < 0,0010 | 0,0011 | 0,0011 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | 0,0020 | 0,0017 | 0,0038 | 0,0013 | 0,0014 | n.n. | n.n. |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | Perfluorcapron- säure (PF6C) | Perfluorheptan- säure (PF7C) | Perfluorocetan- säure (PFOA) | Perfluornonan- säure (PF9C) | Perfluordecan- säure (PF10C) | Perfluor- undecansäure (PF11C) | Perfluor- dodecansäure (PF12C) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,0018 | < 0.0010 | 0,0035 | < 0.0010 | < 0.0010 | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,012 | 0,0045 | 0,0058 | 0,0018 | 0,0024 | < 0.0010 | < 0.0010 |
| MWK | | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17- Mai 18 | < 0.0010 | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,0011 | 0,0018 | 0,0024 | < 0.0010 | 0,0013 | n.n. | n.n. |
| Straße | | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,0017 | 0,0021 | 0,0014 | < 0.0010 | < 0.0010 | n.n. | n.n. |
| Trockenwetter | | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | n.a. | n.a. | 0,0017 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | < 0.0010 | n.n. | 0,0022 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Deposition | | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - | 0,0015 | < 0.0010 | 0,0011 | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. |

| Proben- bezeichnung | Zeitraum Probe- nahme | Perfluorcapron- säure (PF6C) | Perfluorheptan- säure (PF7C) | Perfluorocetan- säure (PFOA) | Perfluornonan- säure (PF9C) | Perfluordecan- säure (PF10C) | Perfluor- undecansäure (PF11C) | Perfluor- dodecansäure (PF12C) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Sept. 18 | | | | | | | |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,0010 | < 0.0010 | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | < 0.0010 | 0,0018 | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | < 0.0010 | < 0.0010 | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 78: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für perfluorierte Tenside (Teil 2)

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Perfluorohexansulfonsäure (PF6S) | Perfluoroheptansulfonsäure (PF7S) | Perfluorooctansulfonsäure (PF8S) | Perfluorodecansulfonsäure (PF10S) | Perfluorooctansulfonamid (PFOSA) | N-Ethyl-Perfluorooctansulfonamid (PF8S_A) |
|----------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| NG | | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 | 0,00050 |
| BG | | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 |
| NWK | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17 - Mai 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | n.n. | n.n. | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | 0,0017 | n.n. | < 0.0010 | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |

| Proben- bezeichnung | Zeit- raum Probe- nahme | Perfluorohexan- sulfonsäure (PF6S) | Perfluoroheptan- sulfonsäure (PF7S) | Perfluorooctan- sulfonsäure (PF8S) | Perfluordecen- sulfonsäure (PF10S) | Perfluorooctan- sulfonamid (PFOSA) | N-Ethyl- Perfluorooctan- sulfonamid (PF8S_A) |
|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | 0,0025 | n.n. | < 0.0010 | n.n. |
| MWK | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17- Mai 18 | n.n. | n.n. | 0,0014 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Straße | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Trockenwetter | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.a. |
| Mischprobe CSO- R05 | Nov.18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Deposition | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.a. |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Perfluorohexan-sulfonsäure (PF6S) | Perfluoroheptan-sulfonsäure (PF7S) | Perfluorooctan-sulfonsäure (PF8S) | Perfluorodecan-sulfonsäure (PF10S) | Perfluorooctan-sulfonamid (PFOSA) | N-Ethyl-Perfluorooctan-sulfonamid (PF8S_A) |
|-------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.a. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 79: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für DEHP, BPA und NP

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Di(2-ethylhexyl)phthalat | Bisphenol A | Nonylphenol ÖNORM EN ISO 18857-1 |
|-------------------|---------------------|--------------------------|-------------|----------------------------------|
| NG | | 0,10 | 0,050 | 0,05 |
| BG | | 0,20 | 0,10 | 0,1 |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Di(2-ethylhexyl)phthalat | Bisphenol A | Nonylphenol ÖNORM EN ISO 18857-1 |
|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------|----------------------------------|
| NWK | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17-Mai 18 | 0,42 | < 0.10 | n.n. |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,22 | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | < 0.20 | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | < 0.20 | n.n. | 0,19 |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | < 0.20 | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,38 | < 0.10 | 0,43 |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | < 0.20 | n.n. | 0,17 |
| MWK | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | 0,88 | n.n. | 0,20 |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,70 | 0,17 | 0,32 |
| Straße | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | 0,44 | n.n. | < 0.10 |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,28 | n.n. | < 0.10 |
| Trockenwetter | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | 0,92 | n.n. | < 0.10 |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Di(2-ethylhexyl)phthalat | Bisphenol A | Nonylphenol ÖNORM EN ISO 18857-1 |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------|----------------------------------|
| Mischprobe CSO-R05 | Nov.18 | 3,3 | n.a. | 0,76 |
| Deposition | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,28 | n.n. | n.n. |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | < 0.20 | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | 0,43 | n.n. | n.n. |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 80: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für Organozinnverbindungen

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Dibutylzinn-Kation | Diphenylzinn-Kation | Monobutylzinn-Kation | Tetrabutylzinn | Tributylzinn-Kation | Triphenylzinn-Kation |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| NG | | 0,00010 | 0,00010 | 0,0010 | 0,00010 | 0,00010 | 0,00010 |
| BG | | 0,00020 | 0,00020 | 0,0020 | 0,00020 | 0,00020 | 0,00020 |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Dibutylzinn-Kation | Diphenylzinn-Kation | Monobutylzinn-Kation | Tetrabutylzinn | Tributylzinn-Kation | Triphenylzinn-Kation |
|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| NWK | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17-Mai 18 | n.n. | n.n. | < 0.0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,00042 | n.n. | 0,0023 | n.n. | 0,00026 | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | n.n. | n.n. | 0,0022 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | n.n. | < 0.0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | 0,0011 | n.n. | < 0.0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | 0,0018 | n.n. | < 0.0020 | n.n. | < 0.00020 | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | 0,0023 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | 0,00070 | n.n. | 0,0054 | n.n. | n.n. | n.n. |
| MWK | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | 0,00052 | n.n. | < 0.0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | 0,00055 | n.n. | 0,0046 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Straße | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | < 0.0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | 0,00050 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.00020 | n.n. |
| Trockenwetter | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | 0,00098 | n.n. | < 0.0020 | n.n. | 0,00028 | n.n. |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Dibutylzinn-Kation | Diphenylzinn-Kation | Monobutylzinn-Kation | Tetrabutylzinn | Tributylzinn-Kation | Triphenylzinn-Kation |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| Mischprobe CSO-R05 | Nov.18 | 0,011 | n.n. | 0,0090 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Deposition | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | 0,00024 | n.n. | 0,0020 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | < 0.00020 | n.n. | 0,0039 | n.n. | < 0.00020 | < 0.00020 |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | 0,00046 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | 0,0011 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 81: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte Pflanzenschutzmittel

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Carbendazim | Diuron | Mecoprop | Terbuthylazin | Terbuthylazin-desethyl | Terbutryn |
|-------------------|---------------------|-------------|--------|----------|---------------|------------------------|-----------|
| NG | | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| BG | | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Carbendazim | Diuron | Mecoprop | Terbutylazin | Terbutylazin-desethyl | Terbutryn |
|----------------------|---------------------|-------------|---------|----------|--------------|-----------------------|-----------|
| NWK | | | | | | | |
| Graz (Ziegel) | Okt. 17-Mai 18 | n.n. | < 0.050 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (Ziegel) | Mai 18 - Sept. 18 | < 0.050 | 0,055 | n.n. | 0,059 | 0,082 | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_1) | Aug. 17 - Okt. 17 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_2) | Okt.17 - Jän. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_3) | Jän. 18 - Juni 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (Langackerweg_4) | Juni 18 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,23 |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | 0,18 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | April 18 - Sept. 18 | < 0.050 | < 0.050 | 0,27 | < 0.050 | 0,056 | n.n. |
| MWK | | | | | | | |
| Graz (R05) | Okt. 17-Mai 18 | < 0.050 | 0,11 | < 0.050 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Graz (R05) | Mai 18 - Sept. 18 | < 0.050 | 0,13 | n.n. | 0,052 | 0,052 | n.n. |
| Straße | | | | | | | |
| Vbg (L202) | Aug. 17 - Dez. 17 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Vbg (L202) | Dez. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Trockenwetter | | | | | | | |
| Ziegelstraße | Okt.18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |

| Probenbezeichnung | Zeitraum Probenahme | Carbendazim | Diuron | Mecoprop | Terbuthylazin | Terbuthylazin-desethyl | Terbutryn |
|--------------------|---------------------|-------------|---------|----------|---------------|------------------------|-----------|
| Mischprobe CSO-R05 | Nov.18 | n.n. | < 0.050 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.050 |
| Deposition | | | | | | | |
| Graz TU | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.050 | < 0.050 | n.n. |
| Graz Ziegelstraße | Okt. 17 - Sept. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.050 | < 0.050 | n.n. |
| Vbg | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Aug. 17 - Aug. 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ostösterreich | Juli 17 - Juli 18 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.050 | n.n. |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 82: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen der Jahresmischproben der Niederschlagswasserkanäle (NWK), Mischwasserkanäle (MWK), Straßenabwasserkanäle und ausgewählter Trockenwetterabfluss für Pflanzenschutzmittel und Indikatoren kommunaler Verunreinigung

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK - Ostösterreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|----------------------------|----|----|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Zeitraum Probenahme | | | Okt. 17 - Sept. 18 | Aug. 17 - Aug. 18 | Aug. 17 - Sept. 18 | Okt. 17 - Sept. 18 | Aug. 17 - Aug. 18 | Okt.18 | Nov.18 |

| Proben- bezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK - Ostösterreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|--|----|--------------|------------------------|--|---|--|------------------------|----------------------|--|
| PSM- Screening Wasser LCMS >BG | | 0,090 | DNOC. Saccharin | Tritosulfuron Metabolit BH 635-2 | 2.4-D. Dicamba. DNOC. Mecoprop. Saccharin | DEET. Diuron. DNOC. Saccharin. Thiamethoxam Metabolit CGA 353968 | DNOC | Saccharin | 4-CPA. Climbazol. DEET. Saccharin. Thiamethoxam Metabolit CGA 353968 |
| 2.4-D | | 0,090 | | | 0,10 | | | | |
| 4-CPA | | 0,090 | | | | | | | 0,18 |
| Climbazol | | 0,090 | | | | | | | 0,34 |
| DEET | | 0,090 | | | | 0,11 | | | 0,33 |
| Dicamba | | 0,090 | | | 0,11 | | | | |
| Diuron | | 0,090 | | | | 0,10 | | | |
| DNOC | | 0,090 | 0,14 | | 0,15 | 0,11 | 0,16 | | |
| Mecoprop | | 0,090 | | | 0,20 | | | | |
| Saccharin | | 0,090 | 0,12 | | 0,66 | 2,6 | | 0,66 | 42 |
| Thiametho- xam Metabolit CGA 353968 | | 0,090 | | | | 0,13 | | | 3,1 |
| Tritosulfuron Metabolit BH 635-2 | | 0,090 | | 0,10 | | | | | |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK - Ostösterreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|-------------------|--------|--------|---------------------|-----------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Acesulfam | 0,0025 | 0,0050 | 0,041 | 0,044 | 2,6 | 4,2 | 0,22 | 0,052 | 59 |
| 1H-Benzotriazol | 0,0050 | 0,010 | 0,033 | < 0.010 | 4,7 | 3,9 | 0,48 | 0,017 | 36 |
| Tolyltriazole | 0,0050 | 0,010 | 0,037 | 0,031 | 5,8 | 1,3 | 0,45 | 0,025 | 5,4 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 83: Ergebnisse [$\mu\text{g/L}$] der Analysen der Jahresmischproben der Niederschlagswasserkanäle (NWK), Mischwasserkanäle (MWK), Straßenabwasserkanäle und ausgewählter Trockenwetterabfluss für Arzneimittelwirkstoffe

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost-österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|----------------------------|---------|--------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Zeitraum Probenahme | | | Okt. 17 - Sept. 18 | Aug. 17 - Aug. 18 | Aug. 17 - Sept. 18 | Okt. 17 - Sept. 18 | Aug. 17 - Aug. 18 | Okt.18 | Nov.18 |
| 4-Acetylaminoantipyrin | 0,00050 | 0,0010 | 0,0048 | < 0.0010 | 0,011 | 0,97 | 0,0011 | 0,0063 | 24 |
| 4-Formylaminoantipyrin | 0,00050 | 0,0010 | 0,0024 | n.n. | 0,0067 | 0,46 | n.n. | 0,0035 | 9,3 |
| Acetylsulfamethoxazol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0011 | 0,012 | n.n. | 0,0012 | 0,10 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|-------------------|---------|--------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Amidotrizesäure | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,039 | n.n. | 0,010 | 0,44 |
| Amlodipin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,027 |
| Amoxicillin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Ampicillin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Atenolol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | 0,0081 | n.n. | n.n. | 0,094 |
| Atorvastatin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0047 | n.n. | n.n. | 0,11 |
| Azithromycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,067 | n.n. | n.n. | 2,4 |
| Bezafibrat | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0015 | 0,11 | n.n. | n.n. | 1,8 |
| Bisoprolol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0036 | 0,028 | n.n. | < 0.0010 | 0,22 |
| Bupropion | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0049 | n.n. | n.n. | 0,16 |
| Canrenon | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Capecitabin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,031 |
| Carbamazepin | 0,00050 | 0,0010 | < 0.0010 | n.n. | < 0.0010 | 0,098 | n.n. | < 0.0010 | 0,57 |
| Carvedilol | 0,00500 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.010 |
| CBZ-DiOH | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0047 | 0,10 | n.n. | < 0.0010 | 1,6 |
| Citalopram | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,24 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|----------------------|---------|--------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Clarithromycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,041 | 0,094 | n.n. | n.n. | 0,94 |
| Clindamycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.010 | n.n. | n.n. | 0,035 |
| Clofibrinsäure | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Clopidogrel | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0039 | n.n. | n.n. | 0,026 |
| Codein | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0044 | n.n. | n.n. | 0,15 |
| Dehydro-Erythromycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Diazepam | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0034 |
| Diclofenac | 0,00050 | 0,0010 | 0,010 | < 0.0010 | 0,027 | 0,44 | 0,0021 | 0,082 | 9,4 |
| Doxycyclin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Duloxetin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Enalapril | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,24 |
| Erythromycin | 0,0050 | 0,010 | 0,11 | 0,052 | 0,052 | 0,85 | 0,021 | 2,3 | 14 |
| Fenofibrat | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Furosemid | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0017 | 0,16 | 0,0016 | n.n. | 4,7 |
| Gabapentin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 3,4 | n.n. | n.n. | 39 |
| Gemfibrozil | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | 0,0082 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|--------------------|---------|--------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Gliclazid | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,035 |
| Guaifenesin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Hydrochlorothiazid | 0,00050 | 0,0010 | 0,0029 | n.n. | 0,022 | 0,15 | n.n. | 0,0014 | 3,9 |
| Ibuprofen | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,12 | 0,97 | n.n. | 0,014 | 15 |
| Iohexol | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,70 | n.n. | n.n. | 23 |
| Iomeprol | 0,0050 | 0,010 | 0,016 | n.n. | n.n. | 4,0 | n.n. | < 0.010 | 96 |
| Iopamidol | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,77 | 0,072 | 0,022 | n.n. | 3,0 |
| Iopromid | 0,0050 | 0,010 | 0,034 | n.n. | 0,018 | 0,57 | 0,023 | n.n. | 14 |
| Ioversol | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | 0,025 | 0,11 | n.n. | n.n. | 0,39 |
| Irbesartan | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0061 | n.n. | n.n. | 0,12 |
| Josamycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,047 | n.n. | n.n. | 0,20 |
| Ketoprofen | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,011 | n.n. | n.n. | 0,4 |
| Koffein | 0,0050 | 0,010 | 0,080 | 0,073 | 12 | 11 | 0,18 | 0,37 | 160 |
| Levetiracetam | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,47 | n.n. | n.n. | 12 |
| Mefenaminsäure | 0,00050 | 0,0010 | 0,0039 | 0,0032 | 0,18 | 0,26 | 0,0016 | 0,0023 | 2,6 |
| Metformin | 0,0050 | 0,010 | 0,18 | < 0.010 | 0,41 | 22 | 0,018 | 0,039 | 260 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|--------------------------------|---------|--------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Metoprolol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0012 | 0,046 | n.n. | n.n. | 1,0 |
| Metronidazol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0050 | n.n. | n.n. | n.n. |
| Naproxen | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,30 | n.n. | n.n. | 5,8 |
| Oxazepam | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,090 | n.n. | n.n. | 0,99 |
| Oxcarbazepin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0035 | n.n. | n.n. | 0,19 |
| Oxytetracyclin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Pantoprazol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | 0,0025 | 0,024 | n.n. | n.n. | 0,17 |
| Paracetamol (Acetaminophen) | 0,0050 | 0,010 | < 0.010 | n.n. | 0,050 | 0,13 | < 0.010 | < 0.010 | n.n. |
| Penicillin G | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Penicillin V | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Pentoxifyllin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0082 | n.n. | n.n. | 0,20 |
| Phenazon | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,013 | n.n. | n.n. | 0,052 |
| Primidon | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,012 | n.n. | n.n. | 0,36 |
| Propranolol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0018 | n.n. | n.n. | 0,030 |
| Propyphenazon | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,014 | n.n. | n.n. | 0,12 |
| Prothipendyl | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,014 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|--------------------------------|---------|--------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Quetiapin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,024 | n.n. | n.n. | 0,47 |
| Ranitidin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.010 | n.n. | n.n. | 0,66 |
| Roxithromycin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.010 | n.n. | n.n. | 0,11 |
| Salbutamol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | 0,0050 |
| Sertralin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,078 |
| Sitagliptin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | < 0.0010 | 0,12 | n.n. | n.n. | 2,8 |
| Sotalol | 0,0005 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0060 | n.n. | n.n. | 0,037 |
| Sulfadiazin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Sulfadimethoxin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 |
| Sulfadimidin (= Sulfamethazin) | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Sulfadoxin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Sulfamethoxazol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,0023 | n.n. | < 0.0010 | 0,078 |
| Sulfathiazol | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,012 |
| Temazepam | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Terbutalin | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. |
| Theophyllin | 0,0050 | 0,010 | 0,026 | 0,018 | 0,21 | n.n. | < 0.010 | 0,019 | 9,2 |

| Probenbezeichnung | NG | BG | NWK - Graz (Ziegel) | NWK - Vbg | NWK – Ost- österreich | MWK - Graz (R05) | Straße - Vbg (L202) | TW - Ziegelstraße | TW - Mischprobe CSO-R05 |
|---------------------|----------------|---------------|------------------------|-----------|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Tramadol | 0,0005 | 0,0010 | < 0.0010 | n.n. | 0,0020 | 0,085 | n.n. | < 0.0010 | 1,5 |
| Trazodon | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,023 | n.n. | n.n. | 0,58 |
| Trimethoprim | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,015 | n.n. | n.n. | 0,18 |
| Valaciclovir | 0,0050 | 0,010 | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.010 |
| Valsartan | 0,00050 | 0,0010 | 0,0035 | n.n. | 0,16 | 0,44 | n.n. | 0,0033 | 7,3 |
| Venlafaxin | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | 0,051 | n.n. | n.n. | 2,0 |
| Verapamil | 0,00050 | 0,0010 | n.n. | n.n. | n.n. | < 0.0010 | n.n. | n.n. | 0,0014 |

Quelle: Umweltbundesamt

5.3.2 Ergebnisse der Laboranalytik von Abwasser-Standardparametern in den Grazer Ereignisproben

Jedes erfolgreich beprobte Ereignis wurde, sofern genügend Ereignismischprobe vorhanden war, von Seiten der TU Graz auf die folgenden Abwasser-Standardparameter analysiert:

- CSB ... Konzentration des homogenisierten chemischen Sauerstoffbedarfs (mg/L)
- CSB mf. ... Konzentration des membranfiltrierten chemischen Sauerstoffbedarfs (mg/L)
- AFS ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe $> 0,45 \mu\text{m}$ (mg/L)
- AFS63 (dispergiert) ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe $\leq 63 \mu\text{m}$ bzw. $> 0,45 \mu\text{m}$ (mg/L) aus den mit einem Ultra-Turrax pro Liter Probe 2 min lang dispergierten Proben.
- AFS63 (nicht dispergiert) ... Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe $\leq 63 \mu\text{m}$ bzw. $> 0,45 \mu\text{m}$ (mg/L) nicht dispergiert, sondern nur durch Rühren homogenisiert
- Elektrische Leitfähigkeit ... Dient im Nachgang auch als Kontrollparameter zur Qualitätsüberprüfung der kumulierten Halbjahresmischproben

Sofern genügend mengenproportionale Ereignismischprobe vorhanden war, wurde jeweils eine ca. 900 mL Mischprobe als Rückstellprobe abgefüllt und getrennt eingefroren. Dadurch konnten an der Messtelle Graz – Ziegelstraße insgesamt 19 und an der Messtelle Graz – R05 insgesamt 29 Rückstellproben generiert und eingefroren werden.

5.3.3 Kunststoffuntersuchungen

ANHANG Ergebnisse Kläranlage 1

1. Beprobung

Tabelle 84: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 1 aus Sortierung und IR Bestimmung.

| Probenbezeichnung | Kläranlage 1 (30/11/2017) | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------|
| Pellets | Stk | 0 |
| Pellets | g | 0 |
| Pellets | % (m/m) | 0 |
| Folien | Stk | 229 |
| Folien | g | 0,145 |
| Folien | % (m/m) | 15 |
| Fragmente > 1 mm | Stk | 86 |
| Fragmente > 1 mm | g | 0,0164 |
| Fragmente > 1 mm | % (m/m) | 1,7 |
| Fragmente < 1 mm | Stk | 30 |
| Fragmente < 1 mm | g | 0,00951 |
| Fragmente < 1 mm | % (m/m) | 0,96 |
| Fasern | Stk | 0 |
| Fasern | g | 0 |
| Fasern | % (m/m) | 0 |
| Schaumstoff | Stk | 0 |
| Schaumstoff | g | 0 |
| Schaumstoff | % (m/m) | 0 |
| Kunststoff gesamt | Stk | 345 |
| Kunststoff gesamt | g | 0,171 |
| Kunststoff gesamt aus IR Analyse | % (m/m) | 17,0 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 85: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 1 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %.

| Kläranlage 1 (30/11/2017) | Gesamtmasse nach Proben- teilung [g] | Ermittelte Kunststoff- masse nach Messung [g] | SD +/- (g) | Anteil Kunststoff [%] | SD +/- (%) |
|------------------------------|--|--|--------------|--------------------------|------------------|
| Fraktion > 5 mm | 0,04 | 0,04 | 0,002 | 95,00 | 4,75 |
| Fraktion < 5 mm | 1,37 | 0,30 | 0,047 | 21,83 | 3,47 |
| Summe | 1,41 | 0,34 | 0,048 | 24,10 | 3,36 |

Quelle: TU Wien

2. Beprobung

Tabelle 86: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 1 aus Sortierung und IR Bestimmung

| Probenbezeichnung | Kläranlage 1 (2/8/2018) | |
|-------------------|-------------------------|--------|
| Pellets | Stk | 0 |
| Pellets | g | 0 |
| Pellets | % (m/m) | 0 |
| Folien | Stk | 57 |
| Folien | g | 0,0530 |
| Folien | % (m/m) | 10,8 |
| Fragmente > 1 mm | Stk | 66 |
| Fragmente > 1 mm | g | 0,0194 |
| Fragmente > 1 mm | % (m/m) | 4,0 |
| Fragmente < 1 mm | Stk | 20 |
| Fragmente < 1 mm | g | 0,0005 |
| Fragmente < 1 mm | % (m/m) | 0,1 |

| Probenbezeichnung | | Kläranlage 1 (2/8/2018) |
|----------------------------------|---------|-------------------------|
| Fasern | Stk | 3 |
| Fasern | g | 0,0002 |
| Fasern | % (m/m) | 0,0 |
| Schaumstoff | Stk | 0 |
| Schaumstoff | g | 0,0000 |
| Schaumstoff | % (m/m) | 0,0 |
| Kunststoff gesamt | Stk | 146 |
| Kunststoff gesamt | g | 0,0731 |
| Kunststoff gesamt aus IR Analyse | % (m/m) | 14,9 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 87: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 1 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %.

| Kläranlage 1 (2/8/2018) | Gesamtmasse nach Probenteilung [g] | Ermittelte Kunststoffmasse nach Messung [g] | SD +/- (g) | Anteil Kunststoff [%] | SD +/- (%) |
|-------------------------|------------------------------------|---|--------------|-----------------------|-------------|
| Fraktion > 5 mm | 0,02 | 0,02 | 0,001 | 91,29 | 4,56 |
| Fraktion < 5 mm | 0,87 | 0,14 | 0,014 | 16,36 | 1,62 |
| Summe | 0,89 | 0,16 | 0,014 | 18,30 | 1,63 |

Quelle: TU Wien

ANHANG Ergebnisse Kläranlage 2

1. Beprobung

Tabelle 88: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung

| Probenbezeichnung | Kläranlage 2 (20/2/2018) | |
|----------------------------------|--------------------------|---------|
| Pellets | Stk | 0 |
| Pellets | g | 0 |
| Pellets | % (m/m) | 0 |
| Folien | Stk | 70 |
| Folien | g | 0,241 |
| Folien | % (m/m) | 1,1 |
| Fragmente > 1 mm | Stk | 548 |
| Fragmente > 1 mm | g | 0,126 |
| Fragmente > 1 mm | % (m/m) | 0,56 |
| Fragmente < 1 mm | Stk | 104 |
| Fragmente < 1 mm | g | 0,0552 |
| Fragmente < 1 mm | % (m/m) | 0,25 |
| Fasern | Stk | 18 |
| Fasern | g | 0,00009 |
| Fasern | % (m/m) | 0 |
| Schaumstoff | Stk | 0 |
| Schaumstoff | g | 0 |
| Schaumstoff | % (m/m) | 0 |
| Kunststoff gesamt | Stk | 740 |
| Kunststoff gesamt | g | 0,422 |
| Kunststoff gesamt aus IR Analyse | % (m/m) | 1,9 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 89: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %.

| Kläranlage 2 (20/2/2018) | Masse nach Probenteilung [g] | Ermittelte Kunststoffmasse [g] | SD +/- | Anteil Kunststoff [%] | SD +/- |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------|--------------------------|-----------|
| Fraktion > 5 mm | 1,14 | 0,69 | 0,03 | 60,67 | 3,03 |
| Fraktion < 5 mm | 34,98 | 0,41 | 0,10 | 1,18 | 0,29 |
| Summe | 36,12 | 1,10 | 0,11 | 3,06 | 0,30 |

Quelle: TU Wien

2. Beprobung

Tabelle 90: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung

| Probenbezeichnung | Kläranlage 2 (1/8/2018) | |
|-------------------|-------------------------|--------|
| Pellets | Stk | 4 |
| Pellets | g | 0,0041 |
| Pellets | % (m/m) | 0,1 |
| Folien | Stk | 121 |
| Folien | g | 0,0785 |
| Folien | % (m/m) | 1,7 |
| Fragmente > 1 mm | Stk | 352 |
| Fragmente > 1 mm | g | 0,0841 |
| Fragmente > 1 mm | % (m/m) | 1,9 |
| Fragmente < 1 mm | Stk | 37 |
| Fragmente < 1 mm | g | 0,0019 |
| Fragmente < 1 mm | % (m/m) | 0,04 |
| Fasern | Stk | 10 |

| Probenbezeichnung | Kläranlage 2 (1/8/2018) | |
|----------------------------------|-------------------------|------------|
| Fasern | g | 0,0008 |
| Fasern | % (m/m) | 0,02 |
| Schaumstoff | Stk | 9 |
| Schaumstoff | g | 0,0041 |
| Schaumstoff | % (m/m) | 0,1 |
| Kunststoff gesamt | Stk | 533 |
| Kunststoff gesamt | g | 0,1736 |
| Kunststoff gesamt aus IR Analyse | % (m/m) | 3,9 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 91: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %.

| Kläranlage 2 (1/8/2018) | Masse nach Probenteilung [g] | Ermittelte Kunststoffmasse [g] | SD +/- | Anteil Kunststoff [%] | SD +/- |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|-------------|
| Fraktion > 5 mm | 0,09 | 0,04 | 0,002 | 43,00 | 2,15 |
| Fraktion < 5 mm | 2,32 | 0,45 | 0,039 | 19,33 | 1,70 |
| Summe | 2,41 | 0,49 | 0,039 | 20,21 | 1,63 |

Quelle: TU Wien

3. Beprobung

Tabelle 92: Ergebnisse der dritten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung

| Probenbezeichnung | Kläranlage 2 (16/4/2019) | |
|----------------------------------|--------------------------|--------|
| Pellets | Stk | 0 |
| Pellets | g | 0 |
| Pellets | % (m/m) | 0 |
| Folien | Stk | 494 |
| Folien | g | 0,444 |
| Folien | % (m/m) | 2,45 |
| Fragmente > 1 mm | Stk | 544 |
| Fragmente > 1 mm | g | 0,2134 |
| Fragmente > 1 mm | % (m/m) | 1,18 |
| Fragmente < 1 mm | Stk | 162 |
| Fragmente < 1 mm | g | 0,0699 |
| Fragmente < 1 mm | % (m/m) | 0,39 |
| Fasern | Stk | 0 |
| Fasern | g | 0 |
| Fasern | % (m/m) | 0 |
| Schaumstoff | Stk | 0 |
| Schaumstoff | g | 0 |
| Schaumstoff | % (m/m) | 0 |
| Kunststoff gesamt | Stk | 1200 |
| Kunststoff gesamt | g | 0,7273 |
| Kunststoff gesamt aus IR Analyse | % (m/m) | 4,01 |

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 93: Ergebnisse der dritten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %.

| Kläranlage 2 (16/4/2019) | Masse nach Probenteilung [g] | Ermittelte Kunststoffmasse nach Messung [g] | SD +/- | Anteil Kunststoff [%] | SD +/- |
|-----------------------------|---------------------------------|---|-------------|--------------------------|-------------|
| Fraktion > 5 mm | 0,38 | 0,38 | 0,02 | 100,00 | 5,00 |
| Fraktion < 5 mm | 17,04 | 0,46 | 0,02 | 2,71 | 0,12 |
| Summe | 17,42 | 0,84 | 0,03 | 4,84 | 0,13 |

Quelle: TU Wien

5.4 Abgrenzung der Einzugsgebiete für die Stoffflussanalysen

Um die zu den Kanälen gehörenden Einzugsgebiete abzugrenzen, wurde folgende Vorgehensweise in der Software ArcGIS (Version 10.4) durchgeführt:

- ArcHydro: DEM-reconditioning: agree 2,2,4
- Fill 0,2 m
- ArcHydro: sink evaluation
- near: sink_Poly, sewernetwork
- join: SinkPoly, sewernetwork # NearFID, OBJECTID
- join: sewernetwork #get Attribut of catchment
- join: SinkDA, SinkPoly #HydroID, DrainID
- Select spatial: sinkDA 20 m -> switch selection -> delete
- select by attribute: sinkDA which belong to sewer -> switch selektion -> delete
- Eliminate: polygon-Part
- Explode Multipart
- Manually assemble or delete
- simplify polygon

5.5 Landnutzung, Oberflächenmaterial und Kanalanschluss der Flächen in den Gebieten

Tabelle 94: Landnutzung, Oberflächenmaterial und Kanalanschluss der Flächen in den Gebieten

| Gebiet | Landnutzung | Oberflächen | Kanalanschluss | Fläche (m ²) |
|--------------|-----------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| L202 | Verkehrsflächen | Straße | Ja | 3300 |
| Langackerweg | Baufläche | | Unbekannt | 2784 |
| Langackerweg | Dach | Bitumendach | Ja | 773 |
| Langackerweg | Dach | Bitumendach | Unbekannt | 752 |
| Langackerweg | Dach | Blechdach Aluminium | Ja | 220 |
| Langackerweg | Dach | Blechdach unbekannt | Ja | 582 |
| Langackerweg | Dach | Blechdach unbekannt | Nein | 167 |
| Langackerweg | Dach | Blechdach unbekannt | Unbekannt | 555 |
| Langackerweg | Dach | Blechdach Zink | Unbekannt | 70 |
| Langackerweg | Dach | Faserzementdach | Ja | 1525 |
| Langackerweg | Dach | Faserzementdach | Nein | 128 |
| Langackerweg | Dach | Faserzementdach | Unbekannt | 135 |
| Langackerweg | Dach | Gründach | Nein | 73 |
| Langackerweg | Dach | Gründach | Unbekannt | 1 |
| Langackerweg | Dach | Kiesdach | Ja | 7191 |
| Langackerweg | Dach | Kiesdach | Nein | 504 |
| Langackerweg | Dach | Kiesdach | Unbekannt | 262 |
| Langackerweg | Dach | sonst. Dach | Nein | 1285 |
| Langackerweg | Dach | Ziegeldach | Ja | 7293 |
| Langackerweg | Dach | Ziegeldach | Nein | 62 |
| Langackerweg | Dach | Ziegeldach | Unbekannt | 82 |
| Langackerweg | Grünflächen | | Nein | 107368 |

| Gebiet | Landnutzung | Oberflächen | Kanalanschluss | Fläche (m ²) |
|--------------|---------------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| Langackerweg | Verkehrsflächen | Parkraum | Ja | 5528 |
| Langackerweg | Verkehrsflächen | Parkraum | Nein | 329 |
| Langackerweg | Sportfeld | | Nein | 4942 |
| Langackerweg | Verkehrsflächen | Straße | Ja | 22515 |
| Langackerweg | Wasser | | Nein | 7 |
| Ziegelstraße | Baufläche | | Unbekannt | 6177 |
| Ziegelstraße | Dach | Bitumendach | Ja | 1269 |
| Ziegelstraße | Dach | Bitumendach | Nein | 206 |
| Ziegelstraße | Dach | Blechdach unbekannt | Ja | 4775 |
| Ziegelstraße | Dach | Blechdach unbekannt | Unbekannt | 100 |
| Ziegelstraße | Dach | Faserzementdach | Ja | 15949 |
| Ziegelstraße | Dach | Faserzementdach | Nein | 1247 |
| Ziegelstraße | Dach | Gründach | Ja | 269 |
| Ziegelstraße | Dach | Kiesdach | Ja | 2242 |
| Ziegelstraße | Dach | Kiesdach | Nein | 3 |
| Ziegelstraße | Dach | sonst. Dach | Ja | 1199 |
| Ziegelstraße | Dach | sonst. Dach | Nein | 509 |
| Ziegelstraße | Dach | Ziegeldach | Ja | 8128 |
| Ziegelstraße | Dach | Ziegeldach | Nein | 1033 |
| Ziegelstraße | Dach | PVC-Dach | Ja | 252 |
| Ziegelstraße | Dach | Betondach | Ja | 229 |
| Ziegelstraße | Grünflächen | | Nein | 206485 |
| Ziegelstraße | sonst. versiegelte Fläche | | Ja | 7226 |
| Ziegelstraße | sonst. versiegelte Fläche | | Nein | 330 |
| Ziegelstraße | sonst. versiegelte Fläche | | Unbekannt | 1306 |
| Ziegelstraße | Sportfeld | | Nein | 3715 |
| Ziegelstraße | Verkehrsflächen | Straße | Ja | 24937 |
| Ziegelstraße | Verkehrsflächen | Straße | Nein | 2841 |

| Gebiet | Landnutzung | Oberflächen | Kanalanschluss | Fläche (m ²) |
|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| Ziegelstraße | Verkehrsflächen | Parkraum | Ja | 6768 |
| Ziegelstraße | Verkehrsflächen | Parkraum | Nein | 451 |
| Ziegelstraße | Wasser | | Nein | 773 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Bitumendach | Ja | 6164 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Bitumendach | Unbekannt | 218 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Blechdach unbekannt | Ja | 3437 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Blechdach unbekannt | Unbekannt | 316 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Faserzementdach | Ja | 324 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Gründach | Ja | 4859 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Gründach | Unbekannt | 100 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Kiesdach | Ja | 42577 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Kiesdach | Unbekannt | 29 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | sonst. Dach | Ja | 547 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | sonst. Dach | Ja | 876 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | sonst. Dach | Nein | 300 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | sonst. Dach | Unbekannt | 268 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Ziegeldach | Ja | 7643 |
| Siedlungsgebiet Ost | Dach | Ziegeldach | Unbekannt | 10 |
| Siedlungsgebiet Ost | Eisenbahn | | Nein | 5527 |
| Siedlungsgebiet Ost | Grünflächen | | Nein | 424943 |
| Siedlungsgebiet Ost | sonst. versiegelte Fläche | | Ja | 2451 |
| Siedlungsgebiet Ost | sonst. versiegelte Fläche | | Nein | 749 |
| Siedlungsgebiet Ost | sonst. versiegelte Fläche | | Unbekannt | 3742 |
| Siedlungsgebiet Ost | Sportfeld | Kunstrasen | Unbekannt | 13461 |
| Siedlungsgebiet Ost | Sportfeld | sonst. Material | Nein | 23305 |
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | Straße | Ja | 45504 |
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | Straße | Unbekannt | 66 |
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | Parkraum | Ja | 4853 |

| Gebiet | Landnutzung | Oberflächen | Kanalanschluss | Fläche (m ²) |
|---------------------|---------------------------|-------------|----------------|--------------------------|
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | | Ja | 79864 |
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | | Nein | 17975 |
| Siedlungsgebiet Ost | Verkehrsflächen | | Unbekannt | 3405 |
| Siedlungsgebiet Ost | Wasser | | Nein | 6136 |
| R05 | Dach | Unbekannt | Ja | 628475 |
| R05 | Eisenbahn | | Nein | 52676 |
| R05 | Grünflächen | | Nein | 2274420 |
| R05 | sonst. versiegelte Fläche | | Ja | 156415 |
| R05 | sonst. versiegelte Fläche | | Nein | 736535 |
| R05 | Verkehrsflächen | Straße | Ja | 548088 |
| R05 | Verkehrsflächen | Parkraum | Ja | 137022 |
| R05 | Wasser | | Nein | 8279 |

Quelle: TU Wien

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Zusammenfassung der untersuchten Stoffe | 13 |
| Tabelle 2: Übersicht der Untersuchungsgebiete | 17 |
| Tabelle 3: Abflussbedingungen bei Trockenwetter (TW) und Aktivierung der Probenahmen bei Niederschlagswasserabfluss an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße | 25 |
| Tabelle 4: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 | 26 |
| Tabelle 5: Abflussbedingungen bei Trockenwetter und Aktivierung der Probenahmen bei Niederschlagswasserabfluss an der Probenahmestelle MWK Graz – MÜ-R05..... | 30 |
| Tabelle 6: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der MWK- Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 | 31 |
| Tabelle 7: Kumulierte und eingefrorene Teil- und Gesamtprobenvolumina der beiden Grazer Depositionsproben | 32 |
| Tabelle 8: Untersuchungsgebiet und Zeitraum der Probenahme | 34 |
| Tabelle 9: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung..... | 37 |
| Tabelle 10: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung..... | 38 |
| Tabelle 11: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung..... | 41 |
| Tabelle 12: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung..... | 42 |
| Tabelle 13: Messdauer, Durchfluss und Durchsatz bei der Beprobung..... | 43 |
| Tabelle 14: Kurzbeschreibung der angewandten chemischen Analysemethoden..... | 44 |
| Tabelle 15: Für die Stoffflussanalyse angesetzte Transferkoeffizienten (TK) | 60 |
| Tabelle 16: Einwohnerzahlen der Gebiete mit geschätzter Unsicherheit der Daten | 62 |
| Tabelle 17: Verkehrsbelastung der Gebiete in Fahrzeugkilometer pro Jahr (vkm/a) und geschätzte Unsicherheit der Daten in % | 63 |
| Tabelle 18: Niederschlagsmengen in den Gebieten für den Modellzeitraum | 64 |
| Tabelle 19: Entnommene Feststoffmengen durch Straßenreinigung und Entleerung von Straßeneinlaufschächten mit geschätztem Variationskoeffizient (CV) als Schätzer der Datenunsicherheit..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 20: Zusammenfassung der mittleren Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] (Minimal- und Maximalauswertung – bei Angabe eines Wertes sind alle Messungen größer Bestimmungsgrenze und die Auswertungen führen zum selben Ergebnis) der Stoffe, die in über 50 % der Proben des jeweiligen Eintragspfads nachgewiesen wurden..... | 73 |
| Tabelle 21: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der häufig detektieren Substanzen aus der Gruppe der Arznei- und der Pflanzenschutzmittel sowie der Indikatoren kommunaler Verunreinigung. Im Niederschlagswasserkanal wird der Mittelwert der Maximalbewertung dargestellt. | 82 |
| Tabelle 22: Erhaltene Gesamtmassen der Beprobung von ARA 1 und ARA 2 | 86 |
| Tabelle 23: Zusammenfassung der Ergebnisse der einzelnen Probenahmen durch Hochrechnung der Ergebnisse der Teilproben auf die Masse der Gesamtprobe zum Vergleich. Die Fehlerangaben der EA-OEM beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %. Für die Berechnung einer Fehlerbandbreite der IR Methode liegen zu wenige Daten vor..... | 90 |
| Tabelle 24: Gegenüberstellung wichtiger Analysenmerkmale der beiden eingesetzten Methoden für die Bestimmung von Mikroplastik in Abwasserproben..... | 92 |
| Tabelle 25: Depositionsraten in $\mu\text{g/m}^2/\text{a}$ und Variationskoeffizient als Indikator der Datenunsicherheit. Die mit * markierten Werte für Zink sind Mittelwerte der anderen Gebiete, da die Proben aus Graz mit Zink kontaminiert wurden und daher die Messwerte nicht verwendet werden konnten..... | 93 |
| Tabelle 26: Literaturdaten zu Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für PKW im städtischen Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte..... | 95 |
| Tabelle 27: Abgeleitete Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Abgas von PKW und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 96 |
| Tabelle 28: Literaturdaten zu Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für LKW und Busse in urbanem und ländlichem Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte..... | 97 |
| Tabelle 29: Abgeleitete Abgas-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm von LKW und Bussen in urbanem und ländlichem Verkehr und Variationskoeffizient (CV) als Unsicherheitsschätzer | 98 |
| Tabelle 30: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten in Reifenmaterial (mg/kg)..... | 99 |
| Tabelle 31: Literaturwerte zu Emissionsfaktoren (EF) von Reifenabrieb in mg/vkm | 100 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 32: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Reifenabrieb von PKW und Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 101 |
| Tabelle 33: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Reifenabrieb von LKW und Variationskoeffizient als Indikator für die Datenunsicherheit | 102 |
| Tabelle 34: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) im Bremsabrieb mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte | 103 |
| Tabelle 35: Literaturdaten zu Partikelemissionsfaktoren für Bremsabrieb in mg/vkm.... | 104 |
| Tabelle 36: Abgeleitete Spurenstoff-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Bremsabrieb von PKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 105 |
| Tabelle 37: Abgeleitete Spurenstoff-Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Bremsabrieb von LKW und Bussen mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 106 |
| Tabelle 38: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) von gebrauchtem Motoröl mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte | 107 |
| Tabelle 39: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Tropfverluste von Motoröl bei KFZ mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 108 |
| Tabelle 40: Verwendete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Emissionen von der Kfz-Karosserie mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 109 |
| Tabelle 41: Literaturwerte zum mittleren PAK-Gehalt in mg/kg in Asphaltbindemitteln. Messwerte < Bestimmungsgrenze wurden mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze bei der Mittelwertbildung berücksichtigt. Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Streuung der Werte. | 110 |
| Tabelle 42: Literaturdaten zu Spurenstoffgehalten (mg/kg) in Straßenabrieb | 112 |
| Tabelle 43: Literaturdaten zu Emissionsfaktoren in mg/vkm für Straßenabriebpartikel durch KFZ..... | 113 |
| Tabelle 44: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Straßenabrieb von PKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator der Datenunsicherheit | 113 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 45: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in ng/vkm für Spurenstoffe durch Straßenabrieb von LKW mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator der Datenunsicherheit | 114 |
| Tabelle 46: Abgeleitete Emissionsfaktoren (EF) in mg/m ² /a für Spurenstoffe aus Dachmaterialien mit Variationskoeffizient (CV) als Indikator für die Datenunsicherheit | 116 |
| Tabelle 47: Literaturdaten zu Konzentrationen (µg/L) von Spurenstoffen im Sickerwasser aus Kunstrasenplätzen..... | 117 |
| Tabelle 48: Konzentrationen (µg/L) im Trockenwetterabfluss mit Variationskoeffizient als Unsicherheitsschätzer | 119 |
| Tabelle 49: Abgeleitete Spurenstoffgehalte in mg/kg im Straßenkehrgut mit Variationskoeffizient (CV) als Schätzer für die Datenunsicherheit | 120 |
| Tabelle 50: Abgeleitete Spurenstoffgehalte in mg/kg in Sedimenten von Straßeneinlaufschächten mit Variationskoeffizient (CV) als Schätzer für die Datenunsicherheit | 121 |
| Tabelle 51: Übersicht über den Ausgang der Stoffflussanalysen für die verschiedenen Kanaleinzugsgebiete: Ein glücklicher Smiley (☺) symbolisiert ein erfolgreich ausgeglichenes SFA-System, ein trauriger Smiley (☹) ein nicht ausgleichbares SFA-System..... | 123 |
| Tabelle 52: Gesamte versiegelte Fläche der Kanaleinzugsgebiete, welche zur Normierung der Stoffflüsse verwendet wird | 124 |
| Tabelle 53: Stoffspezifische Rückhalte für die Emissionen aus urbanen Systemen bei Verbesserung des Feststoffrückhaltes | 160 |
| Tabelle 54: Beschreibung der möglichen Untersuchungsgebiete | 163 |
| Tabelle 55: Geländehöhen im Einzugsgebiet | 166 |
| Tabelle 56: Anteile von Oberflächenart und Nutzungsart | 169 |
| Tabelle 57: Flächenanteile je Nutzungsart | 170 |
| Tabelle 58: Verteilung der Dachneigungen..... | 171 |
| Tabelle 59: Verteilung der Gebäudebaujahre | 172 |
| Tabelle 60: Bebauung und Versiegelung im Einzugsgebiet Hard, Langackerweg..... | 183 |
| Tabelle 61: Bebauung und Versiegelung im Siedlungsgebiet A (Ostösterreich)..... | 185 |
| Tabelle 62: Festgelegte Grenzwerte zur Ereignisdefinition je Messstelle | 202 |
| Tabelle 63: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der NWK Probenahmestelle Graz – Ziegelstraße inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 | 203 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 64: Die gemessenen und beprobten Abflussvolumina an der MWK Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der gemessenen Jahresniederschlagshöhe im Zeitraum 01.10.2017–30.09.2018 | 203 |
| Tabelle 65: Randbedingungen zur Standard-Parametrierung der Grazer Probenahmegeräte..... | 204 |
| Tabelle 66: Bewertung des Fehlereinflusses bei den 76 Ereignisproben an der Messstelle Graz – Ziegelstraße (NWK) | 210 |
| Tabelle 67: Bewertung des Fehlereinflusses bei den 73 Ereignisproben an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK)..... | 214 |
| Tabelle 68: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Quellen/Anwendungen im urbanen Bereich (TEMPEST- Parameterumfang) | 220 |
| Tabelle 69: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Anwendungsbereiche (Parameterumfang AZM-Screening) | 225 |
| Tabelle 70: Untersuchte Stoffe, Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, Umweltqualitätsnormen bzw. vorgeschlagene Qualitätskriterien, sowie Anwendungsbereiche (Parameterumfang Pflanzenschutzmittel- Screening und Indikatoren kommunaler Verunreinigung) | 233 |
| Tabelle 71: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für Schwermetalle..... | 235 |
| Tabelle 72: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte PAK (Teil 1)..... | 237 |
| Tabelle 73: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte PAK (Teil 2)..... | 239 |
| Tabelle 74: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 1) | 241 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 75: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 2) | 244 |
| Tabelle 76: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für PBDE (Teil 3) | 247 |
| Tabelle 77: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für perfluorierte Tenside (Teil 1) | 250 |
| Tabelle 78: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für perfluorierte Tenside (Teil 2) | 253 |
| Tabelle 79: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für DEHP, BPA und NP..... | 255 |
| Tabelle 80: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für Organozinnverbindungen | 257 |
| Tabelle 81: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen in den Niederschlagswasserkanälen (NWK), Mischwasserkanälen (MWK) und Straßenabwasserkanälen, sowie für den Trockenwetterabfluss auf ausgewählten Standorten und die Depositionsproben für ausgewählte Pflanzenschutzmittel | 259 |
| Tabelle 82: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen der Jahresmischproben der Niederschlagswasserkanäle (NWK), Mischwasserkanäle (MWK), Straßenabwasserkanäle und ausgewählter Trockenwetterabfluss für Pflanzenschutzmittel und Indikatoren kommunaler Verunreinigung..... | 261 |
| Tabelle 83: Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{L}$] der Analysen der Jahresmischproben der Niederschlagswasserkanäle (NWK), Mischwasserkanäle (MWK), Straßenabwasserkanäle und ausgewählter Trockenwetterabfluss für Arzneimittelwirkstoffe..... | 263 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 84: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 1 aus Sortierung und IR Bestimmung..... | 271 |
| Tabelle 85: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 1 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %..... | 272 |
| Tabelle 86: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 1 aus Sortierung und IR Bestimmung..... | 272 |
| Tabelle 87: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 1 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %..... | 273 |
| Tabelle 88: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung..... | 274 |
| Tabelle 89: Ergebnisse der ersten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %..... | 275 |
| Tabelle 90: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung..... | 275 |
| Tabelle 91: Ergebnisse der zweiten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %..... | 276 |
| Tabelle 92: Ergebnisse der dritten Beprobung der Kläranlage 2 aus Sortierung und IR Bestimmung..... | 277 |
| Tabelle 93: Ergebnisse der dritten Beprobung der Kläranlage 2 mittels EA-OEM. Dargestellt sind die ermittelten Kunststoffmassen sowie die Anteile in %. Die Fehlerangaben beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 68 %..... | 278 |
| Tabelle 94: Landnutzung, Oberflächenmaterial und Kanalanschluss der Flächen in den Gebieten | 279 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Quellen und Eintragspfade von Stoffen und deren Erfassung in unterschiedlichen Ansätzen (Stufen) bei der Erstellung von Emissionsinventaren..... | 7 |
| Abbildung 2: Überlaufverhalten des MÜ-R05 in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe H_{CSO} in der Mischwasserkammer und der Entlastungsmenge $Q_{overflow}$ und auf Basis eines fast 2-jährigen Datensatzes zwischen 2009 und 2011..... | 19 |
| Abbildung 3: 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße inkl. der eingetragenen Ereignis-Start- und End-Kriterien für die automatischen Probenahmen (Start (2) ab 13.04.2018, Ende (2) ab 12.03.2018) | 24 |
| Abbildung 4: 24 h-Abflussverläufe aller Tage im unteren Abflussbereich innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle NWK Graz – Ziegelstraße..... | 25 |
| Abbildung 5: 24 h-Wasserstandshöhenverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017–30.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 inkl. der eingetragenen Ereignis-Start- und End-Kriterien für die automatischen Probenahmen | 29 |
| Abbildung 6: 24 h-TW-Abflussverläufe aller Tage innerhalb des Beprobungszeitraumes (01.10.2017– 0.09.2018) an der Probenahmestelle Graz – MÜ-R05 | 30 |
| Abbildung 7: linkes Bild - Absenken des Messrahmens in den Sammelschacht; mittleres Bild - Messrahmen mit Führungsschienen und Holzvertäfelung während der Messung; rechtes Bild - Ziehen des Messrahmens nach Verschluss der Einlauföffnung © BOKU Wien..... | 35 |
| Abbildung 8: linkes Bild - Blick in das Netz nach dem Ziehen des Messgerätes; mittleres Bild - Reinigen des Netzes mittels Hochdruckreiniger; rechtes Bild - generierte Probe im Probenkübel © BOKU Wien | 37 |
| Abbildung 9: Teilproben der Messungen im Ablaufkanal der ARA 1 vom 02.08.2018 © BOKU Wien | 38 |
| Abbildung 10: linkes Bild – Messstelle im Sammelschacht der ARA 2; mittleres Bild - Absenken des Messrahmens in den Sammelschacht; rechtes Bild - Messrahmen mit Führungsschienen während der Messung © BOKU Wien..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 11: linkes Bild – Entnehmen einer Probe in der ARA 2; mittleres und rechtes Bild – generierte Proben im Probenkübel © BOKU Wien | 40 |
| Abbildung 12: Teilproben der Messungen im Ablaufkanal der ARA 2 vom 01.08.2018 © BOKU Wien | 42 |
| Abbildung 13: linkes Bild – Säubern des Messnetzes in der ARA 2; mittleres Bild – Entleeren des Sammelbehälters, rechtes Bild – generierte Probe im Probenkübel © Umweltbundesamt/Hohenblum..... | 43 |
| Abbildung 14: Getrocknetes Probenmaterial nach Netzbeprobung im Kläranlagenablauf. Die Probe wird mit einem Biofilm zusammengehalten © TU Wien | 50 |
| Abbildung 15: Foto der Mahlkabine inklusive Mahlrückstand, der von den Messern der Ultrazentrifugalmühle nicht erfasst werden konnte © TU Wien | 52 |
| Abbildung 16: Allgemeines Systembild für die Stoffflussanalyse | 59 |
| Abbildung 17: Mittelwerte der Konzentrationen ($\mu\text{g/L}$) in den einzelnen Eintragspfaden (Maximalbewertung)..... | 68 |
| Abbildung 18: Mittlere Konzentrationen in den Proben aus der Niederschlagswasserkanalisation nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer | 69 |
| Abbildung 19: Konzentrationen in den Proben aus dem Mischwasserkanal – Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer | 70 |
| Abbildung 20: Konzentrationen in den Proben des Straßenablaufs – Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer | 71 |
| Abbildung 21: Mittlere Konzentrationen in den Proben der Deposition nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$), Häufigkeit des Nachweises (%) und Güteziel für Oberflächengewässer | 72 |
| Abbildung 22: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der Schwermetalle (Gesamtgehalte) in den einzelnen Eintragspfaden | 75 |
| Abbildung 23: Mittlere Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] der PAK in den einzelnen Eintragspfaden..... | 77 |
| Abbildung 24: Konzentrationen [$\mu\text{g/L}$] von DEHP, Dibutylzinn und PFOA in den einzelnen Eintragspfaden | 78 |
| Abbildung 25: Vergleich der gemessenen Konzentrationen in den Projekten TEMPEST, SCHATURM und Wicke et al. (2015). Dargestellt sind die Mittelwerte der Maximalauswertung, sowie der Maximalwert. | 80 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 26: Mittlere Konzentrationen in den Proben aus der Niederschlagswasserkanalisation nach Minimal- und Maximalauswertung ($\mu\text{g/L}$) sowie Vorschläge für chronische Umweltqualitätskriterien in Oberflächengewässern | 83 |
| Abbildung 27: Konzentrationen in der Mischwasserprobe ($\mu\text{g/L}$) und Vorschläge für chronische Umweltqualitätskriterien in Oberflächengewässern..... | 84 |
| Abbildung 28: Gemessene Konzentrationen im Straßenablauf ($\mu\text{g/L}$) und Vorschläge für chronische Umweltqualitätskriterien in Oberflächengewässern | 84 |
| Abbildung 29: Laborergebnisse der Abwasser-Standardparameter in den Grazer Ereignismischproben für die Parameter CSB, CSB mf., AFS, AFS63 und Leitfähigkeit im EZG Graz – MÜ-R05 (MWK) und im EZG NWK Graz – Ziegelstraße | 85 |
| Abbildung 30: Erhaltene Massenanteile für die Fraktion Kunststoff > 5 mm und die Fraktion Mikroplastik < 5 mm. Die Fraktion Mikroplastik wurde anhand zweier Methoden (EA-OEM und IR) analysiert und verglichen..... | 88 |
| Abbildung 31: Streuung der Literaturwerte zu Spurenstoffgehalten im Straßenkehrrecht dargestellt auf einer logarithmischen Skala (jeder senkrechte weiße Strich des Datengitters entspricht einer Zehnerpotenz) | 120 |
| Abbildung 32: Stoffflussanalyse für Kupfer im Gebiet „Ziegelstraße“ | 125 |
| Abbildung 33: Stoffflussanalyse für Kupfer im „Siedlungsgebiet Ost“ | 126 |
| Abbildung 34: Stoffflussanalyse für Kupfer für das Subsystem Verkehr im „Siedlungsgebiet Ost“. Flüsse in mg/a pro 1 m^2 versiegelte Fläche..... | 127 |
| Abbildung 35: Stoffflussanalyse für Zink im „Siedlungsgebiet Ost“ | 129 |
| Abbildung 36: Stoffflussanalyse für Zink im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m^2 versiegelte Fläche | 130 |
| Abbildung 37: Stoffflussanalyse für Zink im Gebiet „Ziegelstraße“ | 131 |
| Abbildung 38: Stoffflussanalyse für Zink im Gebiet „Ziegelstraße2: Subsystem „Dächer“. Flüsse in mg/a pro 1 m^2 versiegelte Fläche | 132 |
| Abbildung 39: Stoffflussanalyse für DEHP im Gebiet „Ziegelstraße“ | 134 |
| Abbildung 40: Stoffflussanalyse für DEHP im Gebiet „Langackerweg“ | 135 |
| Abbildung 41: Nicht ausgeglichene Stoffflussanalyse für DEHP im „Siedlungsgebiet Ost“ | 136 |
| Abbildung 42: Nicht ausgeglichene Stoffflussanalyse für DEHP im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m^2 versiegelte Fläche | 137 |
| Abbildung 43: Stoffflussanalyse für Fluoranthren im „Siedlungsgebiet Ost“ | 139 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 44: Stoffflussanalyse für Fluoranthren im „Siedlungsgebiet Ost“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m ² versiegelte Fläche | 140 |
| Abbildung 45: Stoffflussanalyse für Benzo(a)anthracen im Gebiet „Ziegelstraße“ | 141 |
| Abbildung 46: Stoffflussanalyse für Benzo(a)anthracen im Gebiet „Ziegelstraße“: Subsystem „Verkehr“. Flüsse in mg/a pro 1 m ² versiegelte Fläche | 142 |
| Abbildung 47: Übersichtsplan des NWK-Untersuchungsgebiets Graz – Ziegelstraße | 165 |
| Abbildung 48: GIS-Darstellung mit Flächen und Straßenbezeichnungen des Einzugsgebiets Graz – Ziegelstraße | 167 |
| Abbildung 49: Auszug der erhobenen Oberflächen im Einzugsgebiet Graz – Ziegelstraße | 168 |
| Abbildung 50: Einleitungsstelle des Niederschlagswasserkanals aus der Ziegelstraße in den Stufenbach © TU Graz | 173 |
| Abbildung 51: Zufahrtsmöglichkeit zur Niederschlagswasserkanal-Messstelle Graz – Ziegelstraße über den Parkplatz des Stukitzbades © TU Graz | 174 |
| Abbildung 52: Metallische Messhütte der Niederschlagswasserkanal-Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz | 175 |
| Abbildung 53: Errichtung des Einstiegsschachtes im Niederschlagswasserkanal vor der metallischen Messhütte © TU Graz | 175 |
| Abbildung 54: Öffnen des Kanaleinstiegs mit einem Dreibein und Seilwinde (links) und Situierung der Durchflussmessung und der Ansaugpunkte für die Probenahme © TU Graz | 176 |
| Abbildung 55: Gesamtausstattung der Messhütte Graz – Ziegelstraße © TU Graz | 177 |
| Abbildung 56: Messtechnische Ausstattung der Messhütte Graz – Ziegelstraße © TU Graz | 177 |
| Abbildung 57: Gesamtübersicht der Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz | 178 |
| Abbildung 58: Installationsort des Durchflusssystem und des Ansaugpunkts für die automatische Probenahme an der Messstelle Graz – Ziegelstraße © TU Graz | 179 |
| Abbildung 59: Lage der Niederschlags-Messstation Graz-Prochaskagasse-Schule © TU Graz | 180 |
| Abbildung 60: Ansichten (Nord, Süd) der Niederschlags-Messstation Graz- Prochaskagasse-Schule © TU Graz | 180 |
| Abbildung 61: Foto der ab Jänner 2018 neuen Niederschlags-Messstation Graz-RHB- Stufenbach © TU Graz | 181 |
| Abbildung 62: Automatisches Probenahmegerät E+H Liquiport 2010 CSP44 inklusive Probenahmeuntersatz mit 24 1-Liter-Flaschen aus PE-HD (www.at.endress.com, letzter Zugriff am 12.05.2020) © TU Graz | 182 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 63: Lage des ausgewählten Untersuchungsgebietes Hard, Langackerweg und Kanaleinzugsgebiet..... | 183 |
| Abbildung 64: Darstellung der Flächennutzung des Einzugsgebiets Hard, Langackerweg | 184 |
| Abbildung 65: Übersicht über das Einzugsgebiet Graz – MÜ-R05 | 187 |
| Abbildung 66: Verkehr im EZG Graz – MÜ-R05 (grau – Straße; orange – Eisenbahn/Straßenbahn)..... | 188 |
| Abbildung 67: Oberflächenarten im EZG Graz – MÜ-R05..... | 189 |
| Abbildung 68: Detailansicht des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 inklusive der Mess- und Probenahmepunkte..... | 190 |
| Abbildung 69: Zufahrtsmöglichkeit zur Messstelle Graz - MÜ-R05 © TU Graz | 191 |
| Abbildung 70: Kanalschacht zum Einstieg in die Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 © TU Graz | 191 |
| Abbildung 71: Der Zugang zur Kammer des Mischwasserüberlaufs MÜ-R05 und die Kammer des MÜ-R05 mit der Überlaufschwelle und dem Probenahmeort © TU Graz..... | 192 |
| Abbildung 72: Übersicht und Ausstattung der Messstelle Graz – MÜ-R05 © TU Graz | 192 |
| Abbildung 73: Prinzip des Radar-Messsystems zur Messung der Oberflächengeschwindigkeit der Abflussschwelle | 193 |
| Abbildung 74: Geräte zur Messung des Durchflusses im Zulauf zum MÜ-R05 und des Wasserstandshöhe direkt in der Mischwasserkammer © TU Graz | 194 |
| Abbildung 75: Lage der Niederschlags-Messstation Graz-Straßgang-ZAMG © TU Graz..... | 195 |
| Abbildung 76: Ansichten (Nord, Süd) der Niederschlags-Messstation Graz- Straßgang-ZAMG © TU Graz..... | 195 |
| Abbildung 77: Ort der Probenahme an der Messstelle Graz – MÜ-R05 © TU Graz..... | 196 |
| Abbildung 78: Automatisches Probenahmegerät Maxx TP5C inklusive Probenahmeuntersatz mit 24 x 1-Liter-Flaschen (www.maxx- gmbh.com , letzter Zugriff am 03.01.2018) © MAXX Mess- und Probenahmetechnik GmbH | 197 |
| Abbildung 79: Schematische Darstellung des Retentionsfilterbeckens an der Bregenzerachbrücke an der L202 in Hard © Umweltinstitut..... | 198 |
| Abbildung 80: Darstellung der Entwässerungsfläche der Bregenzerachbrücke an der L202 © Umweltinstitut..... | 199 |
| Abbildung 81: Ansicht der Brückenentwässerung der Bregenzerachbrücke an der L202 © Umweltinstitut | 199 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 82: Schematischer Ablauf einer Probenahme von zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen an den beiden Grazer Probenahmestellen..... | 201 |
| Abbildung 83: Beispiel einer grafischen Ereignis-Auswertung für die Messstelle Graz – MÜ-R05 für das Ereignis mit der ID 064 | 209 |
| Abbildung 84: Darstellung der 76 bewerteten Ereignisse an der Messtelle Graz – Ziegelstraße (NWK) nach der Größe des beprobten Abflussvolumens sortiert inkl. der kumulativen Anteile am Jahresprobenvolumen | 211 |
| Abbildung 85: Ereignisverlauf des Mischwasserereignisses mit der Ereignis-Nummer 16 vom 16.04.2018 an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) mit der ersatzweise simulierten Abflussgangline (blau) während des temporären Ausfalls des Durchflussmengen-messsystems (orange) | 213 |
| Abbildung 86: Darstellung der 73 bewerteten Ereignisse an der Messstelle Graz – MÜ-R05 (MWK) nach der Größe des beprobten Abflussvolumens sortiert inkl. der kumulativen Anteile am Jahresprobenvolumen | 215 |
| Abbildung 87: Überprüfung der Durchflussmengenmessung beim Niederschlagswasserkanal Langackerweg/Hard durch Einleitung einer definierten Wassermenge und Vergleich mit der angezeigten Menge © Umweltinstitut..... | 218 |
| Abbildung 88: Probenehmer im Siedlungsgebiet Ostösterreich © Umweltinstitut..... | 219 |

Literaturverzeichnis

Adler, N. (2020). Performance of road side gully pots in Trondheim for sediment removal . evaluated based landuse and annual traffic loads [online]. Master's Thesis. Trondheim [Zugriff am: 17. Juli 2020]. Verfügbar unter: <https://hdl.handle.net/11250/2656744>

Alves, C.A., Barbosa, C., Rocha, S., Calvo, A., Nunes, T., Cerqueira, M., Pio, C., Karanasiou, A., Querol, X. (2015). Elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in exhaust particles emitted by light-duty vehicles [online]. *Environmental science and pollution research international*, **22**(15), 11526-11542. ISSN 0944-1344. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-015-4394-x

AWI (2014). Mintenig, S., Int-Veen, I., Löder, M., Gerdts, G. Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburg-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Alfred Wegener Institut. Abschlussbericht.

Azah, E., H. Kim und T. Townsend (2015). Source of polycyclic aromatic hydrocarbon in roadway and stormwater system maintenance residues [online]. *Environmental Earth Sciences*, **74**(4), 3029-3039. ISSN 1866-6280. Verfügbar unter: doi:10.1007/s12665-015-4336-4

Barrero-Moreno, J., C. Senaldi, I. Bianchi, O. Geiss, S. Tirendi, A. Folgado de Lucena, F. Barahona, G. Mainardi, P. Leva und P. Aguar-Fernandez (2018). *Migration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from plastic and rubber articles. Final report on the development of a migration measurement method.* Study conducted on behalf of DG GROW. Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC. 111476. ISBN 978-92-79-89749-8.

Birgisdóttir, H., J. Gamst und T.H. Christensen (2007). Leaching of PAHs from Hot Mix Asphalt Pavements [online]. *Environmental Engineering Science*, **24**(10), 1409-1422. ISSN 1092-8758. Verfügbar unter: doi:10.1089/ees.2005.0135

Björklund, K., P.-A. Malmqvist und A.-M. Strömvall (2007). *Källor till och flöden av ftalater och nonylfenoler i Stockholms dagvatten* [online]. Stadt Stockholm. Stockholm [Zugriff am: 16. Juli 2019]. Verfügbar unter: <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=93492>

BMBF (2018). Braun, U., Jekel, M., Gerds, G., Ivleva, N., Reiber, J.: Microplastics Analytics. Discussion Paper, BMBF, <https://bmbf-plastik.de/en/publication/discussion-paper-microplastics-analytics> (abgerufen am 6.7.2020).

BMNT (2019). STOBIMO Spurenstoffe. Stoffbilanzierung für Spurenstoffe auf Einzugsgebietsebene. Wien, November 2019. https://www.bmlrt.gv.at/wasser/wasserqualitaet/fluesse_seen/stobimo-spurenstoffe.html

BMU (2005). Wasserrahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. Online verfügbar unter: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/water-science/2951wc_r01_ss08.pdf

Broeke, H., Hulskotte J., Denier van der Gon, H. (2008). Road traffic tyre wear. Fact sheet. NETHERLANDS NATIONAL WATER BOARD - WATER UNIT; TNO.

Celeiro, M., Dagnac, T., Llompart, M. (2018). Determination of priority and other hazardous substances in football fields of synthetic turf by gas chromatography-mass spectrometry: A health and environmental concern [online]. *Chemosphere*, 195, 201-211. ISSN 1879-1298. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.chemosphere.2017.12.063

Cencic, O., Rechberger, H. (2008). Material Flow Analysis with Software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 18(1). *Journal of Environmental Engineering and Management*.

Clara, M., Ertl, T., Giselbrecht, G., Gruber, G., Hofer, T., Humer, F., Kretschmer, F., Koll, L., Scheffknecht, C., Weiß, S., Windhofer, G. (2014). Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, Österreich.

Cornak, S. und A. Jarasova (2013). The Screening of Phthalic Acid Esters in Operating Fluids of Vehicles [online]. *Applied Mechanics and Materials*, 436, 153-157. *Applied Mechanics and Materials* [Zugriff am: 4. November 2019]. Verfügbar unter: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.436.153

Cvengroš, J., T. Liptaj und N. Prónayová (2017). Study of polyaromatic hydrocarbons in current used motor oils [online]. International Journal Of Petrochemical Science & Engineering, 2(7). International Journal Of Petrochemical Science & Engineering. Verfügbar unter: doi:10.15406/ipcse.2017.02.00060

Denier van der Gon, H., H. ten Broeke und J. Hulskotte (2008). Emission estimates for diffuse sources Netherlands Emission Inventory. Road surface wear [online]. NETHERLANDS NATIONAL WATER BOARD - WATER UNIT [Zugriff am: 16. Juli 2019]. Verfügbar unter: <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Factsheets/English/Road%20surface%20wear.pdf>

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2013). Arbeitsblatt DWA-A 166 - Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2019). Arbeitsblatt DWA-A 178 – Retentionsbodenfilteranlagen.

DIN EN 228 - 2014-10, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Unverbleite Ottokraftstoffe - Anforderungen und Prüfverfahren: Beuth.

DIN EN 590 - 2017-10, Kraftstoffe - Dieselkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren: Beuth.

Dörr, N., A. Agocs, C. Besser, A. Ristić und M. Frauscher (2019). Engine Oils in the Field: A Comprehensive Chemical Assessment of Engine Oil Degradation in a Passenger Car [online]. Tri-bology Letters, 67(3), 221. ISSN 1023-8883. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11249-019-1182-7

Eisemberg und Olivieri (2007). Pollutant Load Removal From Street Sweeping Best Management Practices. Development of Typical Concentration Values for Pollutants of Concern in Contra Costa County, CA [online]. Contra Costa Clean Water Program [Zugriff am: 16. März 2020]. Verfügbar unter: <https://www.cccleanwater.org/userfiles/kcfinder/files/StreetSweepingReportFinal.pdf>

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2016). Technical guidance to prepare national emission inventories, 2016. Luxembourg: Publications Office of the European Union. EEA report. No 21/2016. ISBN 978-92-9213-806-6.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77, 177–182.

European Chemicals Agency (2010). Annex XVII to REACH - Conditions of restriction. Entry No. 50 [online] [Zugriff am: 20. Mai 2020]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/176064a8-0896-4124-87e1-75cdf2008d59>

Europäische Kommission (2012). Guidance Document No. 28 “Technical Guidance on the Preparation of an Inventory of Emissions, Discharges and Losses of Priority and Priority Hazardous Substances; Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC); <https://circabc.europa.eu/sd/a/6a3fb5a0-4dec-4fde-a69d-5ac93dfbbadd/Guidance%20document%20n28.pdf> (besucht, 7.12.2016)

Faller, M. und D. Reiss (2005). Runoff behaviour of metallic materials used for roofs and fa-cades - a 5-year field exposure study in Switzerland [online]. *Materials and Corrosion*, 56(4), 244-249. ISSN 0947-5117 [Zugriff am: 4. April 2018]. Verfügbar unter: [doi:10.1002/maco.200403835](https://doi.org/10.1002/maco.200403835)

Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., Neuhaus, V., de Alencastro, L. (2013). Pollution due to Plastic and microplastics in Lake Geneva. Koblenz, Germany. In: 6th International Conference on Water Resources and Environmental Research.

Fernandes, Paulo R.N., S.d.A. Soares, R.F. Nascimento, J.B. Soares und R.M. Cavalcante (2009). Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Asphalt Binder Using Matrix Solid-Phase Dispersion and Gas Chromatography. *Journal of Chromatographic Science*, 47, 789-793. *Journal of Chromatographic Science*.

Fraunhofer-Institut (2018). Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Kurzfassung der Konsortialstudie, Oberhausen, 2018. <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/kunststoffe-id-umwelt-konsortialstudie-mikroplastik.pdf>

Fuchs, S., Hilgert, S., Rogozina, T., Wander, R., Höllering, S., Ihringer, J., Scherer, U. (2011). MoRE Results and Modifications. Conference proceeding: Karlsruher Flussgebietstage "Priority Pollutants in River Basins". Karlsruhe, 26. und 27.05.2011.

Gadd, J. und P. Kennedy (2003). Preliminary Examination of Organic Compounds present in Tyres, Brake Pads and Road Bitumen in New Zealand [online]. Ministry of Transport, New Zealand [Zugriff am: 30. Oktober 2019]. Verfügbar unter: https://rcaforum.org.nz/sites/public_files/documents/stormwater-organiccompounds2.pdf

Griffith, D. R., Barnes, R. T., und Raymond, P. A. (2009). Inputs of Fossil Carbon from Wastewater Treatment Plants to US Rivers and Oceans. *Environmental Science & Technology*, 43(15), 5647-5651. doi:10.1021/es9004043

Grigoratos, T. und G. Martini (2015). Brake wear particle emissions: a review [online]. *Environmental science and pollution research international*, 22(4), 2491-2504. ISSN 0944-1344. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-014-3696-8

Gruber, G., Hochedlinger, M., Kainz H. (2004a). Quantifizierung von Schmutzfrachten aus Mischwasserentlastungen mit Online-Messtechnik, ÖWAV-Seminar Datengewinnung, Datenverwaltung und Datennutzung in der Wassergütwirtschaft, Wiener Mitteilungen, Band 187, S. 93-118.

Gruber, G., Winkler, S., Pressl A. (2004b). Quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies by means of online techniques. *Water Science and Technology*, 50 (11), 73 – 80.

Hagino, H., M. Oyama und S. Sasaki (2016). Laboratory testing of airborne brake wear particle emissions using a dynamometer system under urban city driving cycles [online]. *Atmospheric Environment*, 131, 269-278. ISSN 13522310. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.atmosenv.2016.02.014

Hillenbrand, T., D. Toussaint, E. Böhm, S. Fuchs, U. Scherer, A. Rudolph und M. Hoffmann (2005). Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden. Analyse der Emissions-pfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen [online]. Dessau: Umweltbundesamt. UMWELTBUNDESAMT-Texte. 19/05. Verfügbar unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/eintraege-von-kupfer-zink-blei-in-gewaesser-boeden>

Hillenbrand T., Tettenborn F., Menger-Krug E., Marscheider-Weidemann F., Fuchs S., Toshovski S., Kittlaus S., Metzger S., Tjoeng I., Wermter P., Kersting M. und Abegglen C. (2015). Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Texte 85/2014, Umweltbundesamt Dessau.

Hillenbrand T., Tettenborn F., Fuchs S., Toshovski S., Metzger S., Tjoeng I., Wermter P., Kersting M. und Hecht D., Werbeck N. und Wunderlin P. (2016). Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2, Texte 60/2016, Umweltbundesamt Dessau.

Horváth, A. und A. Clement (2013). What Can Rainwater Dissolve From Bitumen Shingle Roof Materials? [online]. Int. Journal of Engineering Research and Application, 3(6), 194-199. Int. Journal of Engineering Research and Application [Zugriff am: 18. Juli 2019]. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/ae19/f1b766b6307c14a121b124a42829461ff22c.pdf>

Iechukwu, I. und L. Osuji (2013). Characterisation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Road Paving Asphalt [online]. European Chemical Bulletin, 2(4). European Chemical Bulletin. Verfügbar unter: http://epa.niif.hu/02200/02286/00014/pdf/EPA02286_European_Chemical_Bulletin_2013_04_188-190.pdf

Jang, Y.-C., P. Jain, T. Tolaymat, B. Dubey und T. Townsend (2009). Characterization of pollutants in Florida street sweepings for management and reuse [online]. Journal of environmental management, 91(2), 320-327. ISSN 0301-4797 [Zugriff am: 16. März 2020]. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jenvman.2009.08.018

JRC (2016). Second Review of the Priority Substances List under the Water Framework Directive: Monitoring-based exercise. Joint Research Centre. [https://circabc.europa.eu/sd/a/7fe29322-946a-4ead-b3b9-e3b156d0c318/Monitoring-based%20Exercise%20Report_FINAL%20DRAFT_25nov2016\(1\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/7fe29322-946a-4ead-b3b9-e3b156d0c318/Monitoring-based%20Exercise%20Report_FINAL%20DRAFT_25nov2016(1).pdf)

Källqvist, T. (2005). Environmental risk assessment of artificial turf systems. Oslo. ISBN 82-577-4821-8.

Karlsson, K. und M. Viklander (2008a). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Water and Sediment from Gully Pots [online]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 188(1-4), 271-282. ISSN 0049-6979. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11270-007-9543-5

Karlson, K. und M. Viklander (2008b). Trace Metal Composition in Water and Sediment from Catch Basins [online]. *Journal of Environmental Engineering*, 134(10), 870-878. ISSN 0733-9372. Verfügbar unter: doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134:10(870)

Keith, L. und W. Telliard (1979). ES&T Special Report: Priority pollutants: I-a perspective view [online]. *Environmental Science & Technology*, 13(4), 416-423. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/es60152a601

Keith, L.H. (2015). The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants [online]. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35(2-4), 147-160. ISSN 1040-6638. Verfügbar unter: doi:10.1080/10406638.2014.892886

Klein, J., J. Hulskotte, N. Ligterink, S. Dellaert, H. Molnár und G. Geilenkirchen (2018). Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. With supplemental tables online. Statistics Netherlands; PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; TNO; RWS Water, Transport and Environment (WVL).

Kovacic, I. und Honic, M. (2018). BIMaterial. Prozess-Design für den BIM-basierten, materiellen Gebäudepass [online]: Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Fachbereich Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung, TU Wien. ISBN 978-3-200-06012-8 [Zugriff am: 12. Oktober 2020]. Verfügbar unter: https://www.industriebau.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-industriebau/Diverse/Forschung/BIMaterial_Brosch%C3%BCre_vollversion.pdf

Kral, U., C.-Y. Lin, K. Kellner, H.-W. Ma und P.H. Brunner (2014). The Copper Balance of Cities: Exploratory Insights into a European and an Asian City [online]. *Journal of Industrial Ecology*, 18(3), 432-444. ISSN 10881980. Verfügbar unter: doi:10.1111/jiec.12088

Kreider, M.L., J.M. Panko, B.L. Mcatee, L.I. Sweet und B.L. Finley (2010). Physical and chemical characterization of tire-related particles: comparison of particles generated using different methodologies [online]. *The Science of The Total Environment*, 408(3), 652-659. ISSN 00489697. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2009.10.016

Kriech, A.J., J.T. Kurek, L. v. Osborn, H.L. Wissel und B.J. Sweeney (2002). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in asphalt and in corresponding leachatewater [online]. Polycyclic Aromatic Compounds, 22(3-4), 517-535. ISSN 1040-6638. Verfügbar unter: doi:10.1080/10406630290103708

Lechner, A., Keckeis, H. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environmental Pollution 188, 177–181.

Lloyd, L.N., G.M. Fitch, T.S. Singh und J.A. Smith (2018). Characterization of Residuals Collected from Street Sweeping Operations [online]. Final Report VTRC 18-R20. Virginia Transportation Research Council (VTRC). Charlottesville, Virginia, USA. Verfügbar unter: http://www.viriniadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/18-r20.pdf

Louis, C., Liu, Y., Tassel, P., Perret, P., Chaumont, A., André, M. (2016). PAH, BTEX, carbonyl compound, black-carbon, NO₂ and ultrafine particle dynamometer bench emissions for Euro 4 and Euro 5 diesel and gasoline passenger cars [online]. Atmospheric Environment, 141, 80-95. ISSN 13522310. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.atmosenv.2016.06.055

Lyu, Y., M. Leonardi, J. Wahlström, S. Gialanella und U. Olofsson (2020). Friction, wear and airborne particle emission from Cu-free brake materials [online]. Tribology International, 141. ISSN 0301679X. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.triboint.2019.105959

Mallow O., Spacek S., Schwarzböck T., Fellner J., Rechberger H. (2020) A new thermoanalytical method for the quantification of microplastics in industrial wastewater. Environ Pollut 259. doi:ARTN 11386210.1016/j.envpol.2019.113862

Manhardt, A. (2020). Stoffflussanalysen von Eintragspfaden und -quellen perfluorierter Tenside in Niederschlagskanalsysteme ausgewählter Untersuchungsgebiete. Masterarbeit. Wien.

Matzinger A., Riechel M., Remy C., Schwarzmüller H., Rouault P., Schmidt M., Offermann M., Strehl C., Nickel D., Sieker H., Pallasch M., Kohler M., Kaiser D., Möller C., Büter B., Leßmann D., von Tils R., Säumel I., Pille L., Winkler A., Bartel H., Heise S., Heinzmann B., Joswig K., Rehfeld-Klein M., & Reichmann B. (2017). Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung -Ergebnisse des Projektes KURAS

Mcintyre, J.K., N. Winters, L. Rozmyn, T. Haskins und J.D. Stark (2019). Metals leaching from common residential and commercial roofing materials across four years of weathering and implications for environmental loading [online]. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987), 255(Pt 2), 113262. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987). Verfügbar unter: doi:10.1016/j.envpol.2019.113262

Minguez, L., Pedelucq, J., Farcy, E., Ballandonne, C., Budzinski, H., Halm-Lemeille, M.-P. (2016). Toxicities of pharmaceuticals and their freshwater and marine environmental assessment in northwestern France. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(6), 4992-5001.

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Loder, M. G. J., Primpke, S., und Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108, 365-372. doi:10.1016/j.watres.2016.11.015

Moretto, R. (2007). Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf [online]. *évaluation environnementale des déchets, effluents, matériaux, sédiments et sols pollués (EEDEMS); Aliapur; FieldTurf Tarkett; ADEME* [Zugriff am: 22. Juli 2019]. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/d625/3148543cc08bd3b9b4ba67e5dac85b86ad4d.pdf>

Morritt, D., Stefanoudis, D., Pearce, D., Crimmen, O., Clark, P. (2014). Plastic in the Thames: A river runs through it. *Marine Pollution Bulletin* 78 (1–2), 196–200.

Muchangos, L.D., M. Xue, L. Zhou, N. Kojima, T. Machimura und A. Tokai (2019). Flows, stocks, and emissions of DEHP products in Japan [online]. *The Science of The Total Environment*, 650(Pt 1), 1007-1018. ISSN 00489697 [Zugriff am: 14. August 2019]. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.077

Müller, A., M. Viklander, H. Österlund, J. Marsalek und P.-A. Malmqvist (2019). Urban Surfaces as Sources of Stormwater Pollution. An Evaluation of Substances Released from Building Envelopes. Luleå: Luleå University of Technology. Licentiate thesis / Luleå University of Technology. ISBN 978-91-7790-443-4.

Munz, V. (2018). Emissions of Organic Pollutants from Vehicles. A Pilot Study of an Experimental Car Wash [online]. Studienprojekt. Göteborg [Zugriff am: 6. November

2019].

Verfügbar

unter:

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/255703/255703.pdf>

Oekotoxzentrum (2018). Qualitätskriterienvorschläge Ökotoxzentrum. Zürich, Schweiz. <http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>

Ort, C., Lawrence, M., Reungoat, G., Mueller, J. F. (2010). Sampling for PPCPs in Wastewater Systems: Comparison of Different Sampling Modes and Optimization Strategies. *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, p. 6289–6296.

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2015). ÖWAV-Regelblatt 45: Oberflächenentwässerung durch Versickerung im Untergrund. Wien. 48 Seiten

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2019). ÖWAV-Regelblatt 35: Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer, 2., vollständig überarbeitete Auflage. Wien. 52 Seiten

Petrucci, G., Gromaire, M.-C., Shorshani, M.F., Chebbo, G. (2014). Nonpoint source pollution of urban stormwater runoff: a methodology for source analysis [online]. *Environmental science and pollution research international*, 21(17), 10225-10242. ISSN 0944-1344. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-014-2845-4

Plachá, D., M. Vaculík, M. Mikeska, O. Dutko, P. Peikertová, J. Kukutschová, K. Mamulová Kutláková, Růžičková, J., Tomášek, V., Filip, P. (2017). Release of volatile organic compounds by oxidative wear of automotive friction materials [online]. *Wear*, 376-377, 705-716. ISSN 00431648. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.wear.2016.12.016

Plesser, T.S.W. und O.J. Lund (2004). Potensielle helse- og miljøeffekter tilknyttet kunstgresssystemer. sluttrapport. Byggforsk rapport. O-10820.

Polgar, B. (2020). Stoffeinträge aus Mischwasser- und Niederschlagswassereinleitungen in die Oberflächengewässer und deren Reduzierungsmöglichkeiten. Masterarbeit. Technische Universität Graz, April 2020. https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Institute/SWW/3_Unterseite_Lehre/4_Masterarbeiten/MA_POLGAR_2020.pdf

Polukarova, M., A. Markiewicz, K. Björklund, A.-M. Strömvall, H. Galfi, Y. Andersson Sköld, M. Gustafsson, I. Järllskog und M. Aronsson (2020). Organic pollutants, nano- and microparticles in street sweeping road dust and washwater [online]. *Environment international*, 135, 105337. ISSN 0160-4120. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.envint.2019.105337

Pulles, T., H. van der Denier Gon, W. Appelman und M. Verheul (2012). Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles [online]. *Atmospheric Environment*, 61, 641-651. ISSN 13522310. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.atmosenv.2012.07.022

Robert-Sainte, P., Gromaire, M.C., de Gouvello, B., Saad, M., Chebbo, G. (2009). Annual metallic flows in roof runoff from different materials: test-bed scale in Paris conurbation [online]. *Environmental science & technology*, 43(15), 5612-5618. ISSN 0013-936X [Zugriff am: 5. August 2019]. Verfügbar unter: doi:10.1021/es9002108

Schwarzböck, T., Rechberger, H., Aschenbrenner, P., Spacek, S., Szidat, S. und Fellner, J. (2018). Klimarelevanz von Ersatzbrennstoffen – Anwendung und Vergleich verschiedener Bestimmungsmethoden. *Österr Wasser- und Abfallw* 70, 179–193. <https://doi.org/10.1007/s00506-018-0466-8>

Sieker F., Sieker H., Bander mann S., Huhn V., und Stecker A. (2003). Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten: Grundlagen und Anwendungsbeispiele - Neue Entwicklungen, Expert Verlag, Deutschland

Simon, M., van Alst, N., und Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Res*, 142, 1-9. doi:10.1016/j.watres.2018.05.019

Souza, C.V. de, Corrêa, S.M. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel emission, diesel fuel and lubricant oil [online]. *Fuel*, 185, 925-931. ISSN 00162361. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.fuel.2016.08.054

Spacek, S., Mallow, O., Schwarzböck, T. et al. (2020). Eine neue Methode für die Bestimmung des Mikroplastik-Massenanteils in Umweltproben. *Österr Wasser- und Abfallw*. <https://doi.org/10.1007/s00506-020-00697-2>

Statistik Austria (2019). Kraftfahrzeugbestand 2018 in Österreich [online]. Wien [Zugriff am: 26. Juli 2019]. Verfügbar unter: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html

UBA (2008). ETOX: Informationssystem Ökotoxikologie und Umweltqualitätsziele. Informationen zu ETOX, Umweltbundesamt Deutschland. <https://webetox.uba.de/webETOX/public/download/file.do;jsessionid=8967A626F9D98EBA95C0610C481A2104?id=16>

UBA (2011). Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte, Maßnahmenwerte – Aktuelle Definitionen und Höchstwerte. Umweltbundesamt Deutschland. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/grenzwerte_leitwerte.pdf

UBA (2018a). ETOX: Informationssystem Ökotoxikologie und Umweltqualitätsziele. Umweltbundesamt Deutschland. <https://webetox.uba.de/webETOX/public/search/ziel/open.do>

Umweltbundesamt (2017). Abgeleitete Toleranzwerte für ausgewählte Arzneimittelwirkstoffe in Trinkwasser. Hartmann, C., Report REP-0623, Umweltbundesamt GmbH, Wien. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0623.pdf>

UBA (2018b). Liste der nach GOW bewerteten Stoffe. Umweltbundesamt Deutschland. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_201802.pdf

Umweltbundesamt (2015). Hohenblum, P., Frischenschlager, H., Reisinger, H., Konecny, R., Uhl, M., Mühlegger, S., Habersack, H., Liedermann, M., Gmeiner, P., Weidenhiller, B., Fischer, N., Rindler, R. Plastik in der Donau: Untersuchung zum Vorkommen von Kunststoffen in der Donau in Österreich. Report-0547.

Van Hoorn, R., van den Roovaart, J. (2008). Emission estimates for diffuse sources Netherlands Emission Inventory Road traffic engine oil leaks. Emission estimates for diffuse sources Netherlands Emission Inventory [online]. NETHERLANDS NATIONAL WATER BOARD - WATER UNIT; Deltares; TNO [Zugriff am: 4. November 2019]. Verfügbar

unter:

<http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Factsheets/English/Road%20traffic%20engine%20oil%20leaks.pdf>

Walch, M. (2006). Monitoring of Contaminants in Delaware Street Sweeping Residuals and Evaluation of Recycling/Disposal Options [online]. In: 21st Inter. Conf. On Solid Waste Technology And Management [Zugriff am: 16. März 2020]. Verfügbar unter: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.558.4128&rep=rep1&type=pdf>

Wang, J., Jia, C.R., Wong, C.K., Wong, P.K. (2000). Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Created in Lubricating Oils [online]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 120(3/4), 381-396. ISSN 00496979. Verfügbar unter: doi:10.1023/A:1005251618062

Wei, L., Choy, Y.S., Cheung, C.S. (2019). A study of brake contact pairs under different friction conditions with respect to characteristics of brake pad surfaces [online]. *Tribology International*, 138, 99-110. ISSN 0301679X. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.triboint.2019.05.016

Wicke, D., Matzinger, A., Roualult, P. (2015). Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins – OgRe. Abschlussbericht.

Winters, N., K. Granuke, K., McCall, M. (2015). Roofing Materials Assessment: Investigation of Five Metals in Runoff from Roofing Materials [online]. *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*, 87(9), 835-848. ISSN 1061-4303. Verfügbar unter: doi:10.2175/106143015X14362865226437

Winther, M., Slentø, E. (2010). Heavy metal emissions for Danish road transport. Denmark. NERI Technical Report, 780. ISBN 978-87-7073-170-6.

Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., und Muller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Res X*, 2, 100014. doi:10.1016/j.wroa.2018.100014

Wruss, W. (2016). Grundlegender Beurteilungsnachweis gem § 11 (6) DVO 2008. Grundlegende Charakterisierung Straßenkehrschutt schwer (aus Wien, Einsammlung durch

Kehrmaschinen). Bereitgestellt durch Magistrat der Stadt Wien, MA 48, ESW Consulting WRUSSS. Wien.

Zessner M. (1999). Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen des Abwassers, Wiener Mitteilungen, Band 157, 214 Seiten

Zessner M. The Combined Approach - a Challenge for Border Crossing Water Quality Issues in Austria. *Water Science and Technology*, 58 (10), 1917-1923

Zessner, M., Kovac, A., Birgit, S. (2010). Studie zum Vorkommen von Nährstoffen sowie organischen und anorganischen Verunreinigungen in Niederschlag, Niederschlagswassereinleitungen aus Kanalisation, Straßenentwässerungen bzw. Mischwassereinleitungen. Institut für Gewässergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Wien, Jänner 2010.

Zheng, X., Y. Wu, S. Zhang, J. HU, K.M. Zhang, Z. Li, L. He und J. Hao (2017). Characterizing particulate polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from diesel vehicles using a portable emissions measurement system [online]. *Scientific reports*, 7(1), 10058. *Scientific reports*. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41598-017-09822-w

Abkürzungen

| | |
|--------|--|
| ARA | Kommunale Abwasserreinigungsanlage/Kläranlage |
| AZM | Arzneimittelwirkstoffe |
| BG | Bestimmungsgrenze |
| BGBI. | Bundesgesetzblatt |
| CSB | chemischer Sauerstoffbedarf |
| CV | Variationskoeffizient |
| DNOC | Dinitro-ortho-cresol |
| DEHP | Bis(2-ethylbenzyl)phthalat |
| EA-OEM | Elemental Analysis Overdetermined Equation Method |
| EF | Emissionsfaktor |
| EW | Einwohnerwert |
| FW | Fremdwasserabfluss |
| GOW | gesundheitlicher Orientierungswert |
| JD-UQN | Umweltqualitätsnorm bezogen auf den Jahresdurchschnitt |
| IR | Infrarot |
| MTBE | Methyl-tert-butylether |
| MWK | Mischwasserkanal |
| NG | Nachweisgrenze |
| n.n. | nicht nachweisbar |
| NWK | Niederschlagswasserkanal |
| PAK | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PBDE | polybromierte Diphenylether |
| PF6C | Perfluorhexan |
| PF7C | Perfluorheptansäure |
| PFOA | Perfluoroktansäure |
| PFOS | Perfluoroktansulfonsäure |
| PFT | Perfluortensid |
| PNEC | Predicted No Effect Concentration |
| PSM | Pflanzenschutzmittel |

| | |
|----------|---|
| QK-chron | chronisches Qualitätskriterium |
| QZV | Qualitätszielverordnung |
| PE | Polyethylen |
| RL | Richtlinie |
| SFA | Stoffflussanalyse |
| TK | Transferkoeffizienten |
| TW | Trockenwetterabfluss |
| UG | Untersuchungsgebiet |
| uPBT | ubiquitäre persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe |
| UQN | Umweltqualitätsnorm |
| UZM | Ultrazentrifugalmühle |
| WRRL | EU-Wasserrahmenrichtlinie |

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

bmlrt.gv.at