

# **DIPLOMARBEIT**

## **Stoffflussanalysen von Eintragspfaden und -quellen perfluorierter Tenside in Niederschlagskanalsysteme ausgewählter Untersuchungsgebiete**

ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades einer  
Dipl.-Ing.<sup>in</sup>  
von

Alexandra Manhardt, BSc.

01340000

Wien, am 12. Mai 2020

## Kurzfassung

Perfluorierte Tenside haben seit den 1950er Jahren weltweit primär aufgrund ihrer hohen chemischen und thermischen Stabilität, sowie ihrer fett-, schmutz-, als auch wasserabweisenden Eigenschaften in verschiedenen Produktionsprozessen an Popularität gewonnen (Buck et. al., 2011; BFR, 2019). In zahlreichen Gütern wie u.a. in Baumaterialien (Becanova et. al., 2016), Feuerlöschschäumen (Zangl et. al., 2012) sowie Textilien (Kallee und Santen, 2013) konnte die Stoffgruppe bisher nachgewiesen werden. Wissenschaftliches Interesse sowie öffentliche Beachtung haben perfluorierte Tenside vor allem durch deren Aufnahme mit dem Trinkwasser in den menschlichen Organismus und die damit verbundene Anreicherung im Blut geweckt (UMWELTBUNDESAMT, 2009). In etwas mehr als einem Viertel aller in Österreich in den Jahren 2016/2017 untersuchten Grundwassermessstellen wurde diese Stoffgruppe nachgewiesen (Brielmann et. al., 2018). Diese Mikroschadstoffe können zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit, als auch zur Gefährdung tierischer Lebewesen sowie der Kontaminierung des Erdreichs führen (Giesy und Kannan, 2002; Lau et. al., 2004; Zoboli et. al., 2018).

Um effiziente Maßnahmen zur Emissionsminderung ermitteln zu können, wird die quantitative Erfassung des Ursprungs sowie der Eintragspfade perfluorierter Tenside vorausgesetzt (Zessner, 2008). Bislang konnten die Eintragspfade diffuser Quellen noch nicht vollständig geklärt werden. Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit der auf Basis von Literaturquellen und Abschätzungen quantifizierten Einträgen von Perfluoroktansulfonate (PFOS) sowie Perfluoroktansäure (PFOA) in den Niederschlagswasserkanal der Trennkanalisation und einen Mischwasserüberlauf von versiegelten Flächen ausgewählter Untersuchungsgebiete. Zur Identifizierung und Quantifizierung der Eintragspfade und -quellen dieser Stoffe wurde die Methodik der Stoffflussanalyse gewählt. Ebenso kamen im Laufe der Erstellung die Analysetools *QGIS*, Online-Recherchen zu unterschiedlichen Produkten bzw. Materialien, eine Online-Umfrage, Befragungen verschiedener Institutionen und Organisationen sowie das Programm Stan 2.6 zur Anwendung. Auf Basis der ermittelten Daten gelang es eine erste frachtbasierte Abschätzung für die Eintragsquellen und -pfade von PFOA und PFOS der einzelnen Untersuchungsgebiete mittels der Stoffflussanalyse zu treffen und diese mit den im Zuge des Projekts TEMPEST durchgeführten empirischen Messkampagnen in den Niederschlagskanälen von vier Untersuchungsgebieten und des Mischwasserüberlaufs des fünften Untersuchungsgebietes zu vergleichen.

Im Zuge der Erarbeitung hat sich gezeigt, dass sich die definierten Eintragspfade und -quellen aufgrund der gebietspezifischen Teilflächen für jedes Gebiet unterscheiden. Die berücksichtigten Güter waren Outdoor-Schuhe, -Jacken und -Hosen, Lederjacken und -hosen, Außenputz, Außenwandfarben, Lackbeschichtungen von Blechdächern sowie Tür- und Fensterrahmen, als auch Fensterbänken, Sonnencremen, alkalische Reinigungsmittel sowie Lackbeschichtungen von Baustellencontainern, Arbeitshosen, -schuhe und -jacken. Die Jahresfrachten an PFOA sind in drei von fünf Untersuchungsgebieten größer ausgefallen, als jene von PFOS. Im Zuge der Validierung der Stoffe wurde festgestellt, dass die SFA-Jahresfrachten kleiner als der empirisch ermittelte Minimalgehalt waren, zwischen dem Minimal- und Maximalgehalt lagen oder über dem gemessenen Maximalgehalt waren. Die problematischsten PFOA-Eintragsquellen werden in Gebieten mit einer hohen Einwohnerzahl von dem Input aus Sonnencremen, wetterfesten Schuhen und wetterfesten Hosen dominiert. Bei dem Siedlungsgebiet mit der geringsten Einwohnerzahl überwog aufgrund der größeren Menge an verbautem Baumaterial der PFOA-Eintrag aus Blechdachlackbeschichtungen. Die größten Einträge an PFOS stammen in zwei Siedlungsgebieten aus Lederschuhen. In den anderen beiden Gebieten war die höchste PFOS-Jahresfracht auf den Input aus Außenwandfarben zurückzuführen. Für zukünftige Stoffflussanalysen wären Messungen der Bodenkonzentrationen und Informationen zu bisher nicht quantifizierbaren diffusen Quellen notwendig.

Stoffflussanalyse - diffuse Quellen - perfluorierte Tenside - PFOS - PFOA - Niederschlagsabfluss

## Abstract

Since the 1950s, perfluorinated surfactants have gained worldwide popularity. Primarily due to their high chemical and thermal stability, as well as their grease, dirt, and water-repellent properties in various production processes (Buck et. al., 2011; BFR, 2019). Perfluorinated surfactants were used in numerous goods such as building materials (Becanova et. al., 2016), fire extinguishing foams (Zangl et. al., 2012), as well as in textiles (Kallee and Santen, 2013). This group of substances has aroused scientific interest and public attention above all because of its absorption in the human organism through drinking water and therefore accumulating in the blood (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Perfluorinated surfactants were detected in just over a quarter of all groundwater measuring points examined in Austria in 2016/2017 (Brielmann et. al., 2018). These micropollutants can damage human health, endanger animal life and contaminate the soil (Zoboli et. al., 2018; ECHA, 2015).

In order to be able to determine efficient measures to reduce emissions, the quantitative recording of the origin and the entry pathways of perfluorinated surfactants is required (Zessner, 2008). The entry paths of diffuse sources have not yet been fully clarified. For this reason, this work deals with the entries of perfluorooctane sulfonates (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) into the rainwater channel of the separation sewer system and a combined sewer overflow from sealed areas of selected study areas quantified based on literature sources and estimates. The method of substance flow analysis was chosen to identify and quantify the emission paths and sources of these substances.

The analysis tools QGIS, online research on various products and materials, an online survey, surveys of various institutions and organizations and the Stan 2.6 program were used in this research. On the basis of the determined data, a first load-based estimate for the entry sources and paths of PFOA and PFOS of the individual investigation areas could be made by means of the material flow analysis to compare those with the empirical measurement campaigns carried out in the TEMPEST project in the precipitation channels of four investigation areas and the combined sewer overflow of the fifth study area.

In the course of the development, it was shown that the defined entry paths and sources differ for each area due to the area-specific subareas. The goods considered were outdoor-shoes, -jackets and -trousers, leather jackets and trousers, exterior plaster, exterior wall paints, lacquer coatings on tin roofs and door and window frames, as well as window sills, sun creams, alkaline cleaning agents and lacquer coatings on construction site containers, work trousers, shoes and -jackets. The loads from PFOA were greater than the PFOS loads in three out of five investigation areas. In the course of the validation of the substances, it was found out that the annual SFA loads were lower than the empirically determined minimum value, between the minimum and maximum value or were above the measured maximum value. The most problematic PFOA input sources in areas with a high population are dominated by the input from sunscreen, weatherproof shoes and pants. In the area with a lower number of inhabitants, the PFOA input from sheet metal roof coatings predominated due to the larger amount of used building materials. The largest input from PFOS came from leather shoes in two areas. In two other areas, the highest PFOS load was due to the input from exterior wall paints. For future material flow analyses, measurements of the soil concentrations and information on diffuse sources that could not be quantified so far would be necessary.

Material flow analysis - Diffuse sources - Perfluorinated surfactants - PFOS – PFOA – Precipitation runoff

## **Danksagung**

Ich möchte mich bei dem Betreuer meiner Diplomarbeit Herrn Dipl.-Geoökol. Kittlaus sowie Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Zessner und Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ertl bedanken, die es möglich machten, dass ich diese Diplomarbeit auf der Technischen Universität Wien verfassen durfte. Weiters gebührt mein Dank Frau Dr.<sup>in</sup> Hornek-Gausterer und Herrn Mag. Vogl für Ihre Unterstützung. Mein Dank gilt auch sämtlichen Damen und Herren, welche mir im Laufe der Erarbeitung mit Informationen jeglicher Art weitergeholfen haben. Ebenfalls möchte ich mich bei meiner Familie, meinem Freund sowie allen Studienkollegen und Freunden, die mir während meines Bachelor- und Masterstudiums zur Seite gestanden sind, herzlichst bedanken. Denn ohne euch würde ich nicht an dem Punkt stehen, an dem ich mich nach Abschluss befinde.

## **Eidesstaatliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit ausschließlich von mir selbst verfasst wurde und ich diese Arbeit nicht zuvor an einer anderen Bildungseinrichtung zum Zwecke der Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt habe.

Insbesondere wurden Beiträge anderer Personen entsprechend kenntlich gemacht sowie die in dieser Arbeit verwendeten Daten entsprechend der dargestellten Verfahren gewonnen und richtig wiedergegeben.

Unterschrift

A handwritten signature in black ink, reading "Alexandra Jankovic". The signature is written in a cursive style with a large initial 'A' and a stylized 'J'.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	- 1 -
1.1.	Zielsetzung und Fragestellungen .....	- 1 -
1.2.	Einführung in die Thematik der perfluorierten Tenside .....	- 2 -
1.2.1.	Definition perfluorierter Tenside .....	- 2 -
1.2.2.	Unterscheidung der Stoffklassen PFAS und PFCA sowie FTOH.....	- 3 -
1.3.	Rechtliche Aspekte .....	- 4 -
1.3.1.	Gesetzliche Regelung zu PFOS .....	- 4 -
1.3.2.	Gesetzliche Regelung zu PFOA .....	- 5 -
1.4.	Anwendungsgebiete von PFOA und PFOS .....	- 5 -
2.	Material und Methoden.....	- 9 -
2.1.	Beschreibung der nicht stoffbezogenen Daten- sowie Literaturgrundlage und des methodischen Vorgehens .....	- 9 -
2.1.1.	Beschreibung der Untersuchungsgebiete .....	- 10 -
2.1.1.1.	Untersuchungsgebiet 1: „Ziegelstraße“ .....	- 10 -
2.1.1.2.	Untersuchungsgebiet 2: „Langackerweg“ .....	- 11 -
2.1.1.3.	Untersuchungsgebiet 3: „Siedlungsgebiet_Ost“ .....	- 12 -
2.1.1.4.	Untersuchungsgebiet 4: „Graz-R05-Mischwasser“ .....	- 13 -
2.1.1.5.	Straßenabschnitt 1: „L202 – Hard/Lauterach“ .....	- 14 -
2.1.2.	Systemdefinition der Stoffflussanalyse .....	- 15 -
2.1.3.	Erläuterung der methodischen Analysetools .....	- 21 -
2.1.3.1.	Befragungen verschiedener Organisationen bzw. Institutionen .....	- 21 -
2.1.3.2.	Messungen mit dem Programm QGIS 3.8.1. ....	- 21 -
2.1.3.3.	Erstellung der Online-Umfrage .....	- 23 -
2.1.3.4.	Erstellung der Stoffflussanalysen mittels STAN 2.6 .....	- 23 -
2.1.4.	Beschreibung der Berechnungen und Annahmen eines standardisierten Einfamilienhauses sowie Abbildung der Vermessungsergebnisse von Hochhäusern .....	- 24 -
2.2.	Identifikation und Quantifizierung von perfluorierten Tensiden in Produkten.....	- 25 -
2.2.1.	Baumaterialien .....	- 28 -
2.2.1.1.	Außenputz .....	- 29 -
2.2.1.2.	Außenwandfarbe.....	- 30 -
2.2.1.3.	Lackbeschichtungen von Blechdächern.....	- 30 -
2.2.1.4.	Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken .....	- 30 -
2.2.2.	Freizeitbekleidung.....	- 32 -
2.2.2.1.	Outdoor-Jacken.....	- 33 -
2.2.2.2.	Outdoor-Hosen .....	- 34 -
2.2.2.3.	Outdoor-Schuhe.....	- 34 -
2.2.2.4.	Lederwaren .....	- 34 -
2.2.3.	Sonnencremen .....	- 35 -
2.2.4.	Alkalische Reinigungsmittel .....	- 35 -
2.2.5.	Baustellen.....	- 36 -
2.2.6.	Reste von Feuerlöschschäumen .....	- 38 -
2.2.7.	Straßenstaub .....	- 38 -
2.2.7.1.	Treibstoffemissionen .....	- 39 -
2.2.7.2.	Fahrzeiglackbeschichtungen .....	- 39 -
2.3.	Atmosphärische Deposition.....	- 40 -
2.4.	Transferkoeffizienten.....	- 41 -
2.5.	Gemessene Jahresfrachten an PFOA und PFOS in den Kanälen.....	- 43 -
2.6.	Berücksichtigung von Datenunsicherheiten im Zuge der Quantifizierung .....	- 44 -
3.	Ergebnisse.....	- 46 -
3.1.	Untersuchungsgebiet 1: „Ziegelstraße“ .....	- 46 -
3.1.1.	Stoffflussanalyse zu PFOA .....	- 46 -
3.1.2.	Stoffflussanalyse zu PFOS .....	- 48 -
3.2.	Untersuchungsgebiet 2: „Langackerweg“ .....	- 50 -
3.2.1.	Stoffflussanalyse zu PFOA .....	- 50 -
3.2.2.	Stoffflussanalyse zu PFOS .....	- 52 -
3.3.	Untersuchungsgebiet 3: „Siedlungsgebiet_Ost“ .....	- 54 -
3.3.2.	Stoffflussanalyse zu PFOA .....	- 54 -
3.3.3.	Stoffflussanalyse zu PFOS .....	- 56 -
3.4.	Untersuchungsgebiet 4: „Graz-R05-Mischwasser“ .....	- 58 -

3.4.2.	Stoffflussanalyse zu PFOA .....	- 58 -
3.4.3.	Stoffflussanalyse zu PFOS .....	- 60 -
3.5.	Straßenabschnitt 1: „L202 - Hard/Lauterach“ .....	- 62 -
3.5.2.	Stoffflussanalyse zu PFOA .....	- 62 -
3.5.3.	Stoffflussanalyse zu PFOS .....	- 62 -
3.6.	Normierter Vergleich der SFA-Ergebnisse mit den Validierungsfrachten .....	- 63 -
3.7.	Flächengewichtete Normierung der Haupteintragspfade von PFOA und PFOS je Untersuchungsgebiet.....	- 65 -
4.	Diskussion der Ergebnisse .....	- 66 -
4.1.	Vergleich der SFA-Ergebnisse mit den Validierungsfrachten.....	- 66 -
4.2.	Gegenüberstellung der Haupteintragspfade der SFA von PFOA mit PFOS je Untersuchungsgebiet .....	- 68 -
4.3.	Vergleich literaturbasierter Eintragsquellen .....	- 69 -
5.	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	- 70 -
6.	Abbildungsverzeichnis.....	- 73 -
7.	Tabellenverzeichnis .....	- 75 -
8.	Glossar .....	- 77 -
9.	Quellenverzeichnis.....	- 78 -
10.	Anhang.....	- 88 -
10.1.	Auswertung der Online-Umfrage .....	- 88 -
10.2.	Quantifizierungsergebnisse von Microsoft Excel.....	- 89 -
10.2.1.	Tabellen der PFOA-Berechnungen .....	- 89 -
10.2.2.	Tabellen der PFOS-Berechnungen.....	- 91 -
10.3.	Übersicht über das ermittelte Gewicht verschiedener Outdoor-Jacken-Marken, Outdoor-Hosen- Marken, Outdoor-Schuhe-Marken sowie von Arbeitsjacken, -hosen, -schuhen und Stahlkappenschuhen.....	- 94 -
10.4.	Jahresniederschläge je Untersuchungsgebiet .....	- 95 -
10.5.	Depositions- und Konzentrationsanalyseergebnisse einer Messkampagne .....	- 95 -
10.6.	PFOA- sowie PFOS-Konzentrations- und Jahresfrachtmessergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete .....	- 97 -
10.7.	Gebietsspezifische Flächenauswertungen in m <sup>2</sup> .....	- 98 -
10.8.	Übersicht über die Zusammensetzung der Flach- und Steildachanteile sowie der Abflussbeiwerte der Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet .....	- 99 -

## 1. Einleitung

Wasser ist einer der bedeutendsten Rohstoffe unseres Planeten (Engelman et. al., 2000). Tagtäglich werden in österreichischen Haushalten etwa 130 Liter pro Person an Trinkwasser verbraucht (BMNT, 2019). Da eine etwaige Aufbereitung belasteter Gewässer teuer wäre, ist die Gewinnung unbelasteter Oberflächengewässer sowie Grundwasser von hoher Bedeutung (Wildner, 2012). Seit einigen Jahren werden jedoch immer wieder Nachweise von Umweltschadstoffen in Gewässern gefunden (Biegel-Engler et. al, 2017). Grund dafür sind diverse organische Mikroschadstoffe, welche in den Gewässern transportiert werden und somit sowohl zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit, als auch zur Gefährdung tierischer Lebewesen sowie der Kontaminierung des Erdreichs führen (Zoboli et. al., 2018). Bei den nachgewiesenen, problematischen Umweltschadstoffen verschiedener Gewässer handelt es sich unter anderem um sogenannte perfluorierte Tenside. Diese Mikroschadstoffe werden weltweit seit den 1950er Jahren in zahlreichen industriellen und kommerziellen Anwendungen eingesetzt. Primär aufgrund ihrer hohen chemischen und thermischen Stabilität, sowie ihrer fett-, schmutz- und wasserabweisenden Eigenschaften haben sie in verschiedenen Produktionsprozessen an Popularität gewonnen (Buck et. al., 2011; BfR, 2019). Wissenschaftliches Interesse sowie öffentliche Beachtung hat diese Stoffgruppe vor allem durch deren Aufnahme mit dem Trinkwasser in den menschlichen Organismus und die damit verbundene Anreicherung im Blut geweckt (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Selbst in Meeren, in Staub, in der Antarktis bis hin zur Tiefsee konnten sie nachgewiesen werden (Schulte, 2006). Auch in Österreich stellen perfluorierte Tenside für die Ökosysteme der aufnehmenden Gewässer ein Problem dar (Clara et. al., 2014). Ein zentrales Ziel der Wasserwirtschaft ist folglich die Reduzierung der Gewässerbelastung. Die Grundlage dafür bildet die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG). Diese legt fest, dass zur Bekämpfung der Wasserverschmutzung durch relevante Schadstoffe bzw. -gruppen spezifische Maßnahmen auszuführen sind, sofern Umweltqualitätsnormen, welche als Zielgrößen zur Erreichung eines guten chemischen Zustands der Oberflächengewässer überschritten werden (Hillenbrand et. al., 2015). Für das perfluorierte Tensid PFOS ist mit großer Wahrscheinlichkeit von einer Gütezielverfehlung in einer beträchtlichen Anzahl von österreichischen Gewässern auszugehen (Amann et. al., 2019). Problematisch für die Trinkwassergewinnung wird es, sobald Messungen gewisser Stoffgruppen toxische Grenzwerte überschreiten. Ist dies der Fall, ist das ein Indiz dafür, dass die Aufbereitungstechniken ungenügend sind (Schulte, 2006).

Um effiziente Maßnahmen zur Emissionsminderung ermitteln zu können, wird die quantitative Erfassung des Ursprungs sowie der Eintragspfade perfluorierter Tenside vorausgesetzt (Zessner, 2008). Schließlich muss Wasser, ohne eine Gefährdung für die menschliche Gesundheit darzustellen, verwendet bzw. getrunken werden können (TWV, 2001). Bislang bezogen sich relevante Eintragspfade bei Nichterreichung eines guten chemischen Zustands der Oberflächengewässer vorwiegend auf punktuelle, kontinuierliche Emissionsquellen. Stoffspezifisch sowie regional spielen jedoch auch noch diffuse Quellen von versiegelten bzw. nicht versiegelten Flächen eine wesentliche Rolle. Aufgrund der geringen Wissensbasis auf diesem Gebiet und den noch nicht geklärten Eintrags- und Verteilungspfaden in die Umwelt (Amann et. al., 2019), widmet sich diese Arbeit der Erstellung von Stoffflussanalysen der Einträge perfluorierter Tenside in vier Niederschlagswasserkanäle der Trennkanalisation sowie eines Mischwasserkanalsystems.

### 1.1. Zielsetzung und Fragestellungen

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Identifikation bzw. Quantifizierung der relevantesten Eintragsquellen sowie -pfade von perfluorierten Tensiden (PFT) in ausgewählte Niederschlagstrennkanalisationssysteme sowie in ein Mischkanalisationssystem. Unter dem Begriff der „Eintragsquellen“ sind sämtliche bereits in den Untersuchungsgebieten befindlichen Produkte bzw. Materialien, welche Konzentrationen an perfluorierten Tensiden aufweisen, zu verstehen. „Eintragspfade“ definieren die aus einer Quelle stammenden Frachten perfluorierter Tenside, welche in die Atmosphäre, in den Boden oder in den Regen-/Mischwasserkanal gelangen.

Grundsätzlich wird bei dem System der Trennkanalisation Niederschlags- und Schmutzwasser getrennt voneinander in zwei Kanälen gesammelt und abgeleitet. Der Niederschlagswasserkanal nimmt den Abfluss der befestigten angeschlossenen Flächen wie z. B. Flächen von Dächern oder Straßen auf. Dessen Abwasserzusammensetzung hängt von der Charakteristik des Einzugsgebietes (Art der Dächer, Nutzung der befestigten Flächen, usw.), von der Intensität und Dauer des Niederschlagsereignisses sowie der Dauer der vorangegangenen Trockenperiode ab. Bei dem Mischsystem werden hingegen betriebliche und häusliche Schmutzwasser sowie das Regenwasser in einem Mischwasserkanal abgeleitet (Fenzl, 2011).

Die Methode der Stoffflussanalyse wurde als Instrument zur Quantifizierung der Herkunft und Wege relevanter Schadstoffe aus diffusen Quellen für vier österreichische Untersuchungsgebiete und einen Untersuchungsstraßenabschnitt<sup>1</sup> gewählt. Mithilfe der Stoffflussanalysen werden potentielle Jahresfrachten der Emissionen mittels Literaturangaben bilanziert. Im Anschluss werden die Jahresfrachten ausgewählter perfluorierter Tenside in den Kanälen mit den Ergebnissen der Stoffflussanalyse (SFA) verglichen, um einerseits aussagekräftige Schlussfolgerungen über die ermittelten Eintragspfade und -quellen treffen zu können. Andererseits sollen Rückschlüsse gezogen werden, ob die mittels Literatur erstellten SFA annähernd den gemessenen Jahresfrachten in den Kanälen entsprechen sowie die größten Eintragsquellen identifiziert werden.

Im Rahmen der Arbeit wurden folgende Forschungsfragen bearbeitet:

- In welchen Produkten bzw. Materialien, über die ein Eintrag in Trennkanalsysteme wahrscheinlich ist, konnten die perfluorierten Tenside PFOA und PFOS bisher nachgewiesen werden?
- Welche rechtlichen Aspekte müssen im Zuge der Betrachtung dieser beiden Stoffe beachtet werden?
- Über welche Pfade und zu welchem Anteil gelangen die gebietspezifischen Frachten in die untersuchten Kanalisationssysteme?
- Sind die literaturbasierten Frachtberechnungen mit den gemessenen Jahresfrachten an PFOA und PFOS in den Kanälen der einzelnen Untersuchungsgebiete annähernd vergleichbar?
- Was sind die größten (problematischsten) Eintragsquellen von PFOA und PFOS in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten?

## 1.2. Einführung in die Thematik der perfluorierten Tenside

### 1.2.1. Definition perfluorierter Tenside

Unter dem Begriff der „perfluorierten Tenside (PFT)“ sind weltweit mehr als 800 Verbindungen bekannt (Wefers und Cameron, 2015). Diese Mikroschadstoffe sind organische, oberflächenaktive Substanzen, deren Herstellung auf synthetischer Basis erfolgt (UMWELTMINISTERIUM VON BADEN-WÜRTTEMBERG, 2008). Bei der Produktion werden ihre Wasserstoffatome vollständig durch Fluoratome ersetzt (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Die Ursache für den kommerziellen Erfolg dieser Stoffgruppe liegt neben den besonderen oberflächenaktiven Eigenschaften bei ihrer chemischen Beständigkeit (Zangl et. al., 2012), zumal die chemischen Bindungen zwischen Kohlenstoff und Fluor mit ca. 500 kJ/mol zu den thermodynamisch stabilsten kovalenten Bindungen zählen (3M, 1999). Die Verwendung als Tensid resultiert aus ihrem amphilen Charakter. Aufgrund ihrer extremen thermischen Stabilität, chemischen Trägheit sowie Belastbarkeit sind Leistungen unter extrem rauen Bedingungen möglich (Krafft und Riess, 2015). Die Persistenz (schwere Abbaubarkeit) der Chemikalien gründet auf dem Abschirmungseffekt der Fluoratome (Biegel-Engler et. al., 2017). Ebenfalls sind sie gegen UV-Strahlung und Hitze resistent. Einige Untergruppen weisen sogar bioakkumulierbare und/oder toxische Eigenschaften auf (UMWELTMINISTERIUM VON BADEN-WÜRTTEMBERG, 2008; Biegel-Engler et. al., 2017). Auf europäischer Ebene kommt ihnen aufgrund der europäischen Chemikalienverordnung REACH der Begriff „uPBT-Stoff“ zu (Schulte, 2006; Biegel-Engler et. al.,

---

<sup>1</sup> Der Untersuchungsstraßenabschnitt wird in der nachfolgenden Arbeit ebenfalls als Untersuchungsgebiet bezeichnet.

2017). Unter dieser Abkürzung sind ubiquitäre, persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe zu verstehen (Clara et. al., 2015).

### 1.2.2. Unterscheidung der Stoffklassen PFAS und PFCA sowie FTOH

Perfluorierte Tenside können, wie anhand von Abbildung 1 ersichtlich ist, in die drei Stoffklassen der perfluorierten Alkylsulfonate (PFAS), der Carbonsäuren (PFCA) sowie Fluortelomeralkohole (FTOH) unterteilt werden (Ullrich, 2008).

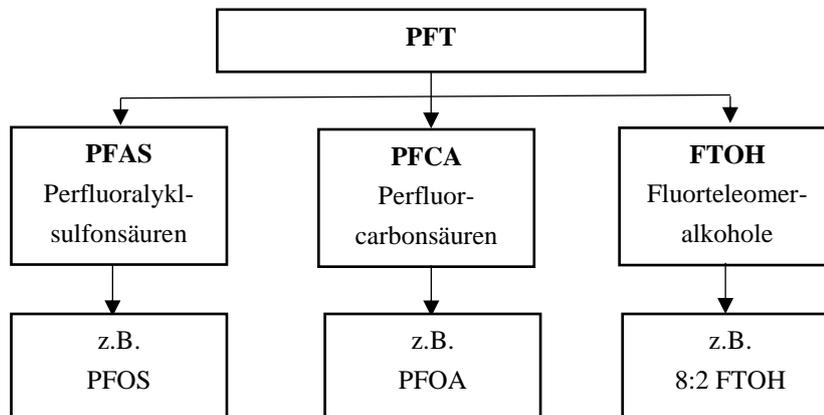


Abbildung 1: Unterteilung der PFT-Stoffklassen (verändert nach Ullrich, 2008)

Die am häufigsten in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen, in der Umwelt nachgewiesenen und untersuchten PFT-Stoffklassen sind die sogenannten perfluorierten Alkylsulfonate (PFAS) und perfluorierten Carbonsäuren (PFCA). Ihre Leitsubstanzen sind Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) mit acht und Perfluoroktansäure (PFOA) mit sieben perfluorierten Kohlenstoffatomen (Hillenbrand et. al., 2015; Kotthoff et. al., 2015; Brielmann et. al., 2018). PFAS tragen eine Sulfonat-Gruppe direkt am perfluorierten Kohlenstoffgerüst. Bei PFCA wird eine Carbonsäure-Gruppe direkt am perfluorierten Kohlenstoffgerüst getragen (Buck et. al., 2011; Schulte, 2006). PFOS und PFOA sind „langkettige“ Perfluoralkylsäuren (Buck et. al., 2011). Beide bestehen aus jeweils acht Kohlenstoffatomen. So hat die perfluorierte Kohlenstoffkette hydrophobe Eigenschaften und ist mit einer hydrophilen Kopfgruppe verbunden. Die Stoffe verzeichnen gleichzeitig hydrophobe, hydrophile und lipophile Eigenschaften. Infolgedessen sind PFOA und PFOS wasser-, schmutz- und fettabweisend (UMWELTMINISTERIUM VON BADEN-WÜRTTEMBERG, 2008; BfR, 2019). Aufgrund des Abbaus von größeren, funktionellen Polymeren und Derivaten kann es zur Entstehung von PFOS oder PFOA in der Umwelt kommen (Hillenbrand et. al., 2015). PFOA entsteht beispielsweise durch den Abbau von APFO (Ammonium Pentadecafluoroktanoat) (Prevedouros et. al., 2006) oder 7-2sFTOH (Frömel et. al., 2016). Dies geschieht primär, da diese Vorläufersubstanzen häufig aus industriellen Rohstoffen und Produkten sowie aus Konsumgütern und -artikeln in die Umwelt freigesetzt werden (Buck et. al., 2011). Dazu ist anzumerken, dass die Bioakkumulation in Organismen desto wahrscheinlicher ist, je länger die Kohlenstoffketten sind. Fluorchemische Unternehmen produzieren folglich seit dem Bekanntwerden der schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt und zuletzt auch aufgrund von gesetzlichen Beschränkungen vermehrt kurzkettigere fluorierte Verbindungen mit vier bis sechs Kohlenstoffatomen (UMWELTBUNDESAMT, 2009).

Unter dem Akronym FTOH lassen sich die Fluortelomeralkohole zusammenfassen. Diese besitzen in der Regel neben einer Hydroxylgruppe eine gerade Anzahl an perfluorierten Kohlenstoffatomen sowie zwei wasserstoffgebundene, nichtfluorierte Kohlenstoffatome (Fricke und Lahl., 2005) und können zu PFOA metabolisiert werden (Fricke und Lahl., 2005; UMWELTBUNDESAMT, 2009). Aufgrund unzureichender Informationen bezüglich FTOH, die sich aus der Literatur ableiten lassen, musste dieser Stoff im Zuge der Erstellung der Stoffflussanalysen vernachlässigt werden. Das Augenmerk sämtlicher nachfolgender

Betrachtungen gilt somit den beiden Stoffen PFOA und PFOS. Abbildung 2 zeigt die Strukturformeln von Perfluoroktansäure (PFOA) sowie von Perfluoroktansulfonsäure (PFOS).

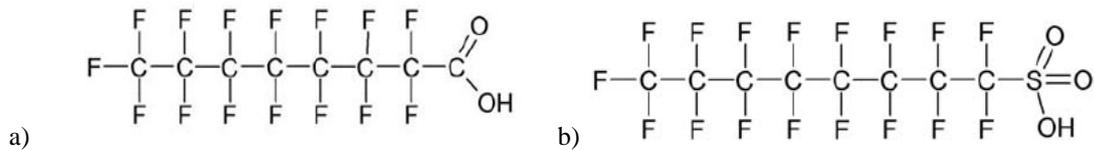


Abbildung 2: Strukturformeln von a) PFOA und b) PFOS (Schulte und Vierke, 2016)

### 1.3. Rechtliche Aspekte

Wie bereits in Abschnitt 1.2.1. erwähnt, werden langkettige perfluorierte Tenside aufgrund ihrer unterschiedlichen umwelt- und gesundheitsrelevanten Eigenschaften in der Europäischen Chemikalienverordnung REACH als besonders besorgniserregende Stoffe aufgelistet (Briellmann et. al., 2018; Biegel-Engler et. al., 2017) und sind im Kennzeichnungs- und Einstufungsverzeichnis der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) eingetragen (Riss und Weiß, 2013). In der europäischen Trinkwasserrichtlinie sind gegenwärtig jedoch keine Grenzwerte für PFOA, PFOS bzw. andere PFT-Verbindungen vorgesehen. Im Rahmen der Richtlinienüberarbeitung wurde deswegen vorgeschlagen, Trinkwasser-Grenzwerte für die Summe der perfluorierten Tenside von 0,5 µg/l und für einzelne PFT-Verbindungen von 0,1 µg/l festzulegen (Briellmann et. al., 2018). Sowohl unter WissenschaftlerInnen, als auch BehördenvertreterInnen aus verschiedenen Ländern dem „Züricher Statement on Future Actions on Per- and Polyfluoralkyl Substances“ zufolge besteht dennoch die Besorgnis, dass die aktuellen regulatorischen Maßnahmen und Möglichkeiten nicht ausreichen, um die Risiken in Zusammenhang mit dieser Stoffgruppe zu reduzieren (Ritscher et. al., 2018). Dies liegt vor allem daran, dass die Belastungen aufgrund der Langlebigkeit von PFOA und PFOS noch über viele Jahre bestehen werden (Santen, 2016). Kritisch zu betrachten sind die noch nicht ausreichende Charakterisierung der derzeit legal eingesetzten perfluorierten Tenside und die Tatsache, dass deren Verbreitung in die Umwelt umstritten ist. Derzeit werden im Rahmen der REACH-Verordnung einige weitere perfluorierte Stoffe geprüft und an Maßnahmen zu deren Risikominimierung gearbeitet (Ritscher et. al., 2018). Der Begriff „perfluorierte Tenside“ wird in nachfolgenden Abschnitten stellvertretend nur für die beiden Stoffe PFOA sowie PFOS gewählt und schließt somit andere Stoffe, welche im eigentlichen Sinne ebenso den perfluorierten Tensiden zuzuordnen wären, aus.

#### 1.3.1. Gesetzliche Regelung zu PFOS

Im Jahr 2009 wurde die Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) im Anhang B (Einschränkung der Herstellung und Verwendung) des Stockholmer Übereinkommens zu persistenten organischen Schadstoffen aufgenommen und mit akzeptierten Anwendungen und spezifischen Ausnahmen beschränkt (Zangl et. al., 2012). Sofern keine Alternativen für PFOS bestehen, darf diese ohne Begrenzung für folgende Anwendungen eingesetzt werden (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018):

- Fotografische Beschichtungen,
- Antireflexionsbeschichtungen für fotolithografische Verfahren und fotografische Beschichtungen bei der Herstellung von Halbleitern,
- Verwendung als Netzmittel in galvanotechnischen Systemen (insbesondere Cr(VI)-Verchromung in geschlossenen Systemen),
- Hydraulikflüssigkeiten für Luft- und Raumfahrt.

Ebenfalls ist die Benützung aller Erzeugnisse, welche bereits vor dem 25. August 2010 produziert wurden und PFOS enthalten, weiterhin zulässig. Als Beispiel wäre ein Imprägnierungsspray anzuführen, welcher vor dem 25.08.2010 gekauft wurde und im Jahr 2017 zur Anwendung kommt. Sofern neue Informationen über die Einzelheiten der Verwendungszwecke und über weniger bedenkliche alternative Technologien bzw. Stoffe vorliegen, werden die Ausnahmeregelungen von der Kommission überprüft, sodass die Anwendung von PFOS

schrittweise eingestellt wird. Die Umsetzung dieser Maßnahme erfolgt jedoch erst dann, sobald der Einsatz weniger bedenklicher Alternativen wirtschaftlich und technisch vertretbar ist (Fricke und Lahl, 2005).

Sowohl die spezifischen Ausnahmen, als auch die akzeptierten Anwendungen wurden 2015 erarbeitet und werden seither alle vier Jahre darauf überprüft, ob diese weitergeführt werden sollen (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018). Ab dem 20. Juni 2019 besteht gemäß der Neufassung der Verordnung für persistente organische Schadstoffe (EG-VO Nr. 850/2004) im gesamten europäischen Raum für PFOS-Konzentrationen das Maximum von 10 mg/kg (0,001 Gew.-%) für die Verwendung als Zwischenprodukt oder andere Spezifikation, sofern PFOS in den Stoffen enthalten ist. Für Halberzeugnisse, Erzeugnisse oder Erzeugnisbestandteile liegt eine Ausnahme für die Verwendung als Zwischenprodukt oder andere Spezifikation vor, wenn die PFOS-Konzentration weniger als 0,1 Gew.-% beträgt. Die Gewichtsprozente können im Verhältnis zur Masse der mikrostrukturell oder strukturell verschiedenartigen Bestandteile, welche PFOS aufweisen, berechnet werden. Bei Textilien oder anderen beschichteten Werkstoffen muss diese weniger als 1 µg/m<sup>2</sup> betragen (EU-VO 2019/1021). Ebenfalls ist das Inverkehrbringen sowie die Verwendung von PFOS als Stoff oder Bestandteil von Zubereitungen in einer Konzentration von  $\geq 0,005$  Massenprozent laut Chemikalienverordnung verboten (Brielmann et. al., 2018).

### 1.3.2. Gesetzliche Regelung zu PFOA

Seit 2013 sind PFOA aufgrund ihrer persistenten und toxischen Eigenschaften in der Kandidatenliste der ECHA nach Artikel 59 der REACH-VO für sehr gefährliche Stoffe gelistet (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018) und befinden sich derzeit im Aufnahmeprozess zum Stockholmer Übereinkommen (Ritscher et. al., 2018). PFOA wird in der europäischen Union somit nicht als PBT-Stoff bewertet. Unter dieser Abkürzung sind persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe zu verstehen (Clara et. al., 2015). Bei KonsumentInnenanfragen besteht allerdings infolge der REACH-VO eine Auskunftspflicht des Herstellers bezüglich der Gefährlichkeit und unbedenklichen Anwendung der Erzeugnisse (Biegel-Engler et. al., 2017). Anhand des Anhangs XVII der REACH-Verordnung darf PFOA ab dem 04. Juli 2020 in der europäischen Union nicht mehr hergestellt oder in Verkehr gebracht werden. Die erlaubte Obergrenze bei Gemischen beträgt 25 ppb bzw. 25 µg/l und für PFOA-Vorläuferverbindungen 1000 ppb bzw. 1000 µg/l (ECHA, 2014).

Längere Übergangsfristen gelten für (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018):

- Arbeitsschutzkleidung (bis 04.07.2023),
- Plasma-Nanobeschichtungen (bis 04.07.2023),
- Medizinische Produkte (ausgenommen implantierte Materialien) (bis 04.07.2032),
- Membranen für medizinische Textilien, für die Filterung bei der Wasseraufbereitung, bei Herstellungsverfahren und bei der Abwasserbehandlung (bis 04.07.2023),
- Latexdruckfarben und Ausrüstungen für die Fertigung von Halbleitern (bis 04.07.2022).

Generelle Ausnahmen bleiben vorerst bestehen bei:

- Transportierten, isolierten Zwischenprodukten,
- Feuerlöschschaumgemischen, die vor dem 04.07.2020 auf dem Markt waren,
- Unvermeidlichen Nebenprodukten, welche bei der Herstellung von kurzkettigen Fluorchemikalien anfallen,
- Fotolithografischen Verfahren für Halbleiter oder Ätzverfahren für Verbindungshalbleiter und
- Fotografischen Beschichtungen für Filme, Papier- und Druckplatten.

### 1.4. Anwendungsgebiete von PFOA und PFOS

Mithilfe von Tabelle 1 soll ein Überblick über die Anwendungsgebiete von PFOA und PFOS gegeben werden. Diese baut auf den Resultaten von Zangl et. al. (2012) auf und wurde durch die Informationen von Kotthoff et. al. (2013), Knepper et. al. (2014), Kallee und Santen (2012), Kallee und Santen (2013), KEMI (2015), Herzke et. al.

(2012), Biegel-Engler et. al. (2017), Becanova et. al. (2016), Stahl et. al. (2007), Buck et. al. (2011), Scheckenbach und Walter (2014) und Murakami et. al. (2009) erweitert. Anhand der Tabelle wird ersichtlich, dass PFOA und PFOS häufig im täglichen Gebrauch auftreten. PFOA kommt beispielsweise bei antihafbeschichtetem Kochgeschirr, Sprays für Möbel sowie Bekleidung zur Anwendung. PFOS konnte in schmutzabweisenden Teppichen, Möbeln, Tapeten, fettabweisenden Lebensmittelverpackungen, Bekleidung oder alkalischen Haushaltsreinigern nachgewiesen werden (Zangl et. al., 2012; Kotthoff et. al., 2013; Knepper et. al., 2014; Kallee und Santen, 2012; Kallee und Santen, 2013; Stahl et. al., 2007). Dabei wird deutlich, dass perfluorierte Tenside für die Herstellung vieler Alltagsutensilien eingesetzt werden (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Ebenfalls sind PFOA und PFOS in Sonnencremen und verschiedenen Baustoffen nachgewiesen worden (Becanova et. al., 2016; KEMI, 2016). In der Industrie wird PFOA für die Herstellung von Fluorpolymeren benötigt. PFOS sowie PFOS-artige Verbindungen werden auch bei der Oberflächenbeschichtung verbrauchernaher Produkte oder bei der Herstellung von Feuerlöschschäumen [wässrige filmbildende Schäume (AFFF)] genutzt. PFOS kommen ebenfalls in Hydraulikflüssigkeiten, in fotografischen Beschichtungen, als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Fluorpolymeren oder in anderen Spezialchemikalien zur Anwendung (Lampen, 2010; Buck et. al., 2011). Bei der Herstellung von PVDF (Polyvinylidenfluorid) und dem Fluorpolymer PTFE (Polyterafluorethylen), welches unter dem Handelsnamen Teflon bekannt ist, wird PFOA als Emulgator eingesetzt (Ellis, 2001). PTFE wird in unterschiedlichen Produkten verwendet, um Anhaftungen (z.B. bei Kochgeschirr) oder Reibungswiderstände (z.B. als Beschichtungen in Flugzeugen oder Automobilen, in Schmiermitteln oder Wachsen) zu verringern (Biegel-Engler et. al., 2017).

Zahlreiche andere technisch wichtige „extreme“ Eigenschaften, die sich auf ein einzigartiges mechanisches, elektronisches und optisches Verhalten beziehen, werden in High-Tech-Produkten umgesetzt (Krafft und Riess, 2015). In der Galvanik werden die beiden Stoffe zum Teil auch aus Gründen des Arbeitsschutzes eingesetzt, um eine Aerosolbildung zu verhindern.

Weiters sind PFOS für die Verchromungsindustrie von entscheidender Bedeutung (Umweltministerium von Baden-Württemberg, 2008).

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten Anwendungsbereiche und Endprodukte von PFOS und PFOA (verändert nach Zangl et. al., 2012)

Bereich	Anwendung	Endprodukt	Stoff	Quelle
Oberflächenbehandlung	Stoffbehandlung (Wasser-/Öl-/Lösemittelabweisung)*	Bekleidung/Textilien*	PFOA und PFOS	Zangl et. al., 2012; Kotthoff et. al., 2013; Knepper et. al., 2014; Kallee und Santen, 2012; Kallee und Santen, 2013; Buser und Morf, 2009
		Stoff/Polster△	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
		Teppiche△	PFOS	Zangl et. al., 2012; Biegel-Engler et. al., 2017; Buser und Morf, 2009
		Auto-Innenausstattung◆	PFOS	Zangl et. al., 2012
	Metall- und Glasbehandlung	Metall/Glas△	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007
	Lederbehandlung (Wasser-/Öl-/Lösemittelabweisung)	Leder*	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
	Nebelunterdrücker, Korrosionshemmer	Metallplattierungsbäder◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
Papierschutz Anwendungen	Wasser-/Öl-/Fett-/Lösemittelabweisung	Teller und Nahrungsmittelbehälter◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buck et. al., 2011; Buser und Morf, 2009
		Taschen und Verpackungsmaterial◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buser und Morf, 2009
		Faltkartons◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
		Karbonfreie Formen◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
		Abdeckpapier◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buck et. al., 2011; Buser und Morf, 2009
chemische Anwendungen	Tenside	Tenside in Feuerlöschschäumen*✱	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buck et. al., 2011; Biegel-Engler et. al., 2017; Buser und Morf, 2009
		Tenside in Alkali-Reinigungsmitteln*	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buser und Morf, 2009
		Minen- und Ölquellentenside◆	PFOS	Zangl et. al., 2012
	Reinigungsmittel	Prothesenreiniger◆	PFOS	Zangl et. al., 2012
		Shampoos△	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007

	Teppichfleckenmittel△	PFOS	Zangl et. al., 2012
	Trennmittel△	PFOS	Zangl et. al., 2012; Kotthoff et. al., 2015
Wachse und Polituren	Emulgator in Wachs- und Bodenpolituren◆	PFOS	Zangl et. al., 2012
Fotografie	Antistatikum: Tenside für Papier, Filme, Fotoplatten◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buser und Morf, 2009
Fotolithografie	Beschichtungen für Halbleiter (Entspiegelungen)◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Buser und Morf, 2009
Pestizide/Insektizide	Wirkstoff für Ameisenlockfallen**	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Biegel-Engler et. al., 2017; Buser und Morf, 2009
	Pestizid-Wirkstoffe**	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Biegel-Engler et. al., 2017; Buser und Morf, 2009
Anwendung in der Medizin	wasserdichter Gipsverband, Wundverbände◆	PFOS	Zangl et. al., 2012; Biegel-Engler et. al., 2017
Hydraulikflüssigkeiten	Hydraulikflüssigkeiten**	PFOS	Zangl et. al., 2012; Stahl et. al., 2007; Buser und Morf, 2009
Anwendungen in Konsumprodukten	Sonnencremen/Kosmetikartikel*; △	PFOA	KEMI, 2015
Baustoffe	Außenputz <sup>1b*</sup> Farben <sup>2b, 3b, 4b</sup> und Lackbeschichtungen <sup>3a, 5a, 6a *</sup>	PFOA <sup>a</sup> und PFOS <sup>b</sup>	Becanova et. al., 2016 <sup>1</sup> ; Zangl et. al., 2012 <sup>2</sup> ; KEMI, 2015 <sup>3</sup> ; Herzke et. al., 2012 <sup>4</sup> ; Scheckenbach und Walter, 2014 <sup>5</sup> ; Buser und Morf, 2009 <sup>6</sup>
Anwendung bei Fahrzeugen	Additive in KFZ-Treibstoffen <sup>1a,b **</sup> Beschichtungen bei Automobilen <sup>2a **</sup>	PFOA <sup>a</sup> und PFOS <sup>b</sup>	Murakami et. al., 2009 <sup>1</sup> ; Biegel-Engler et. al., 2017 <sup>2</sup>

Die in der Tabelle angeführten Zeichen stehen für: \* sämtliche Anwendungsgebiete, welche im Zuge der Stoffflussanalyse aufgrund deren Relevanz für den Niederschlagswasserkanal bzw. den Mischkanal und des vorhandenen Datenmaterials berücksichtigt werden konnten; \*\* jene Anwendungsgebiete, deren Eintrag in den Niederschlagswasserkanal wesentlich ist, bei denen eine Quantifizierung aufgrund fehlender Daten nicht möglich war; △ sämtliche Anwendungsgebiete, die für die Quantifizierung der Schmutzfracht der Mischwasserkanalisation relevant sein könnten; ◆ jene Anwendungsgebiete, deren Eintrag für den Niederschlagswasserkanal und Mischkanal ausgeschlossen werden kann.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Beschreibung der nicht stoffbezogenen Daten- sowie Literaturgrundlage und des methodischen Vorgehens

Aufbauend auf den Grunddaten des Projekts TEMPEST, welches als Kooperation der österreichischen Umweltbundesamt GmbH mit der Technischen Universität Wien, der Technischen Universität Graz sowie dem Umweltinstitut Vorarlberg stattfindet, wurden für insgesamt fünf Untersuchungsgebiete Stoffflussanalysen durchgeführt. Die Datengrundlage dieser Arbeit bilden die von Herrn Dipl.-Geoökol. Kittlaus von der Technischen Universität Wien zur Verfügung gestellten Flächenauswertungen, Auswertungen verschiedener Datenquellen zur Bestimmung der Jahresniederschläge, Depositionsanalyseergebnisse einer Messkampagne sowie Messergebnisse der Konzentrationen und Frachten perfluorierter Tenside der Niederschlagskanäle von vier Untersuchungsgebieten und dem Mischwasserüberlauf des fünften Untersuchungsgebiets. Mithilfe der Stoffflussanalysen sollen die Einträge perfluorierter Tenside in das ortsspezifische Niederschlags- bzw. Mischkanalisationssystem ermittelt werden. Die Methodik der Stoffflussanalyse (SFA) wurde gewählt, um alle relevanten Stoffflüsse und -quellen in einem räumlich sowie zeitlich abgegrenzten System identifizieren und quantifizieren zu können (ÖNORM S 2095-1, 2005). Bei der Durchführung ist von Beginn an die Festlegung des Bilanzierungszeitraums, der räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen, wesentlich (Brunner und Rechberger, 2004). Als zeitliche Grenze wurde für sämtliche Untersuchungsgebiete und den zu untersuchenden Straßenabschnitt aufgrund des vorhandenen Datenmaterials der Zeitraum von 01.10.2017 bis 30.09.2018 festgelegt. Bei der räumlichen Systemgrenze handelt es sich bei der horizontalen Begrenzung um Kanaleinzugsgebiete mit hydrologischen Einzugsgebietsgrenzen. Die vertikale Begrenzung des Systems berücksichtigt keine atmosphärischen Austauschprozesse. Die einzelnen Untersuchungsgebiete werden unter Abschnitt 2.1.1. im Detail beschrieben und bilden die Basis für sämtliche Berechnungen und Annahmen. Die funktionale Einheit des Systems sind Milligramm pro Jahr. Besonders bedeutend für eine aussagekräftige Stoffflussbetrachtung und den Detaillierungsgrad der Stoffflussanalyse sind die verfügbaren Daten verschiedener Stoff- und Produktmengen sowie deren Qualität (Hillenbrand et. al., 2015).

Zur Identifikation der gebietsspezifischen Haupteintragsquellen und -pfade perfluorierter Tenside wurde zu Beginn eine Literaturrecherche durchgeführt. Im Zuge der Recherche stellte sich heraus, dass zu der Thematik der perfluorierten Tenside in den letzten zehn Jahren sehr viel publiziert wurde. Die meisten Veröffentlichungen beschäftigen sich jedoch mit den toxischen Eigenschaften, also deren Auswirkungen auf die Mensch- und Tierwelt, mit unterschiedlichen Messverfahren, um deren Anteil in verschiedenen Gebieten quantifizieren zu können, sowie deren allgemeiner Beschreibung.

Der Eintrag perfluorierter Tenside in das Kanalisationssystem erfolgt über verschiedene Eintragspfade. Im Zuge der theoretischen Quantifizierung wurde nur der Eintrag der gebietsspezifischen versiegelten Flächen betrachtet. Der Begriff „Pfad“ wurde stellvertretend für den Begriff Fluss gewählt und bezeichnet die Bewegung der untersuchten Stoffe zwischen Prozessen oder in das System hinein bzw. aus dem System hinaus mit der Einheit Masse pro Zeit (ÖNORM S 2096-1, 2005). Der Begriff „Stoff“ definiert in dieser Arbeit eine chemische Verbindung in seiner reinen Form (ÖNORM S 2096-1, 2005) und bezieht sich auf die analysierten Stoffe PFOA sowie PFOS. Als „Gut“ wird gemäß ÖNORM S 2096-1 (2005) ein Material, welches aus einem oder mehreren Stoffen besteht und handelbar ist, bezeichnet. Ein Prozess beschreibt laut ÖNORM S 2096-1 (2005) einen Vorgang der Umwandlung, des Transports oder der Lagerung von Gütern oder Stoffen. Als „Input- bzw. Outputflüsse“ werden Flüsse bezeichnet, welche über die Systemgrenze gelangen. Inputflüsse (I) sind jene Flüsse, welche in das System eintreten. Als Outputflüsse (E) werden jene Flüsse bezeichnet, welche das System verlassen (Brunner und Rechberger, 2004).

Zur Konzentrationsabschätzung der Eintragsquellen und der Frachtberechnung der Eintragspfade des Niederschlagswassers in die Trennkanalisationen und den Mischwasserkanal wurden zu Beginn Massenbilanzen für jedes Untersuchungsgebiet in Microsoft Excel erstellt. Diese beruhen auf literaturbasierten Informationen,

welche mit den ermittelten Daten des Analysetools *QGIS* 3.8.1 sowie den Ergebnissen einer Online-Umfrage ergänzt wurden. In einem nächsten Schritt wurden die ermittelten Massenbilanzen zur Analyse und grafischen Darstellung in das Programm *STAN* 2.6 übertragen. Im Zuge dieses Arbeitsschrittes konnte abgeklärt werden, ob die Frachten der vorliegenden Messergebnisse der untersuchten Gebiete mit den literaturbasierten Berechnungen in Übereinstimmung zu bringen sind. Aufgrund der Datengenerierung zeitverschobener Rückmeldungen verliefen die einzelnen Arbeitsschritte im Zuge der Erstellung der Stoffflussanalysen iterativ.

Allgemein ist zu erwähnen, dass für die beiden Stoffe PFOA und PFOS von Buser und Morf (2009) bereits eine Stoffflussanalyse durchgeführt wurde. Als Systemgrenze der SFA wurde die Schweiz gewählt. Im Vergleich dazu widmet sich die vorliegende Arbeit ausschließlich dem Eintrag von versiegelten Flächen in den Niederschlagswasser-/ bzw. einen Mischwasserkanal. Wie auch diese Arbeit baut das System auf literaturbasierten Daten auf, ohne eigenständige Messungen durchgeführt zu haben. Dabei wurde die Produktion und Nutzung verschiedener Güter sowie deren Abfallmanagement berücksichtigt, um den Input der Stoffe in die Atmosphäre, den Boden und die Hydrosphäre quantifizieren zu können. Aufgrund von fehlendem Datenmaterial konnten auch Buser und Morf (2009) nicht sämtliche diffusen Quellen bei der Erarbeitung der Stoffflussanalyse bestimmen.

### 2.1.1. Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete unterteilen sich in ein

- 30 ha großes Siedlungsgebiet rund um die Grazer Ziegelstraße,
- 17 ha großes Siedlungsgebiet im Bezirk Hard in Vorarlberg,
- rund 43 ha großes Siedlungsgebiet in Ostösterreich,
- größeres Siedlungsgebiet mit 453 ha in Graz und
- einen 0,33 ha großen Straßenabschnitt L202 in Vorarlberg.

#### 2.1.1.1. Untersuchungsgebiet 1: „Ziegelstraße“

Abbildung 3 zeigt die räumliche Systemgrenze des betrachteten Untersuchungsgebiets Ziegelstraße anhand einer roten Linie. Dabei wird das Kanaleinzugsgebiet samt Flächennutzungskategorien, Probenahmestelle und vorhandenen Niederschlagskanälen dargestellt.

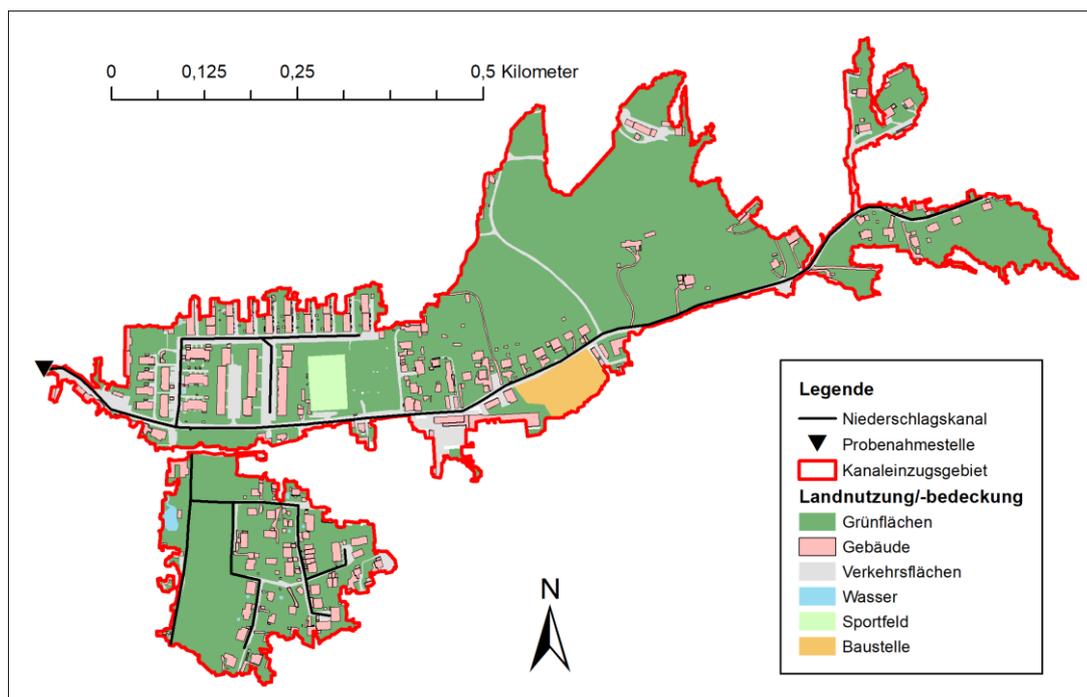


Abbildung 3: Übersichtsplan des Untersuchungsgebiets Ziegelstraße (TEMPEST, 2020)

Das Gebiet Ziegelstraße weist eine Gesamtfläche von 298.188 m<sup>2</sup> auf. Im Allgemeinen kann das Siedlungsgebiet als ländlich geprägte Wohngegend in Stadtrandnähe bezeichnet werden. Der Großteil der Fläche entfällt mit rund 67% auf Grünflächen. Der Anteil der Gebäude an der Gesamtfläche beträgt in etwa 13% und jener der Straßen ca. 9% (TEMPEST, 2019a). Die dominierende Nutzungsart ist „Wohnen“. Einen großen Anteil haben die 131 Einfamilienhäuser. Im Nordwesten sind 16 mehrstöckige Reihenhäuser vorzufinden. Insgesamt fallen 21 Gebäude unter die Kategorie der Hochhäuser. Unter dem Begriff „Hochhäuser“ sind alle mehrstöckigen Parteihäuser, Schulen, Bürogebäude, Sport- oder Industriehallen, welche in den verschiedenen Einzugsgebieten ausgewiesen sind, zu verstehen. Größere Industrie- oder Gewerbebetriebe sind unter der Ausnahme eines vierstöckigen Bürogebäudes nicht verortet. Schätzungen zufolge liegt die Einwohnerzahl bei 1.180 (TU Graz, 2019). Unbekannte Flächen machen mit 7.472 m<sup>2</sup> 3% der Gesamtfläche aus. Parkplätze sowie private Verkehrsflächen weisen 6.683 m<sup>2</sup> (2%) auf. Baustellen haben einen Anteil von 2% (6.173 m<sup>2</sup>). Sportfelder sind mit 3.712 m<sup>2</sup> (1%) und befestigte Flächen mit 2.208 m<sup>2</sup> (1%) vertreten. Der Gewässeranteil macht mit 906 m<sup>2</sup> weniger als 1% aus (TEMPEST, 2019a). Der Jahresniederschlag beträgt 760 l/m<sup>2</sup>. Zusätzlich verzeichnet dieses Gebiet einen Trockenwetterabfluss, welcher auf 103.260 m<sup>3</sup>/a entfällt (Gruber et. al., 2020).

Tabelle 2 zeigt die analysierte Fläche der Ziegelstraße. Diese beträgt 29,3% (87.414 m<sup>2</sup>) der Gesamtfläche. Straßenflächen, Parkplätze, private Verkehrsflächen und befestigte Flächen, welche allesamt Asphalt bzw. Betonoberflächen aufweisen, machen mit insgesamt 43.861 m<sup>2</sup> (ca. 14%) den größten Teil der genutzten Kategorien aus. Bei der neuen Aufschlüsselung entfällt der zweitgrößte Anteil mit rund 13% (37.380 m<sup>2</sup>) auf Gebäudeflächen. Baustellen, welche von Schotterdecken umgeben sind, nehmen mit in etwa 2% (6.173 m<sup>2</sup>) den geringsten Anteil der versiegelten Flächen des Gebietes ein (TEMPEST, 2019a).

Tabelle 2: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien der Ziegelstraße (TEMPEST, 2019a)

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil an der Gesamtfläche
Gebäude	37.380	12,5%
Straße	27.757	9,3%
Parkplatz	7.213	2,4%
private Verkehrsfläche	6.683	2,2%
Baustelle	6.173	2,1%
befestigte Fläche	2.208	0,7%
<b>Versiegelte Flächen</b>	<b>87.414</b>	<b>29,3%</b>
Gesamtes Gebiet	298.188	100%

#### 2.1.1.2. Untersuchungsgebiet 2: „Langackerweg“

Abbildung 4 stellt das zweite untersuchte Kanaleinzugsgebiet inkl. Probenahmestelle und vorhandenem Niederschlagskanalsystem dar. Bei dem Untersuchungsgebiet „Langackerweg“ handelt es sich um ein kleineres Siedlungsgebiet in Hard. Das Einzugsgebiet hat einen hohen Grünflächenanteil und ist 165.159 m<sup>2</sup> groß (TEMPEST, 2019a). Das Gebiet hat 37 Einfamilienhäuser. 17 Gebäude sind Hochhäuser. Die Einwohnerzahl wurde auf 600 geschätzt (UMWELTINSTITUT VORARLBERG, 2019).

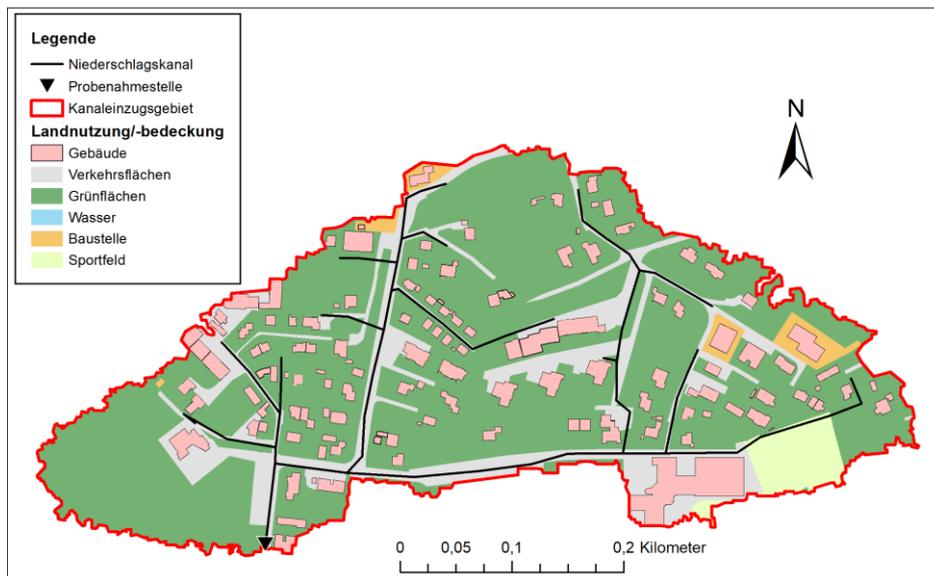


Abbildung 4: Übersichtsplan des Untersuchungsgebietes Langackerweg (TEMPEST, 2020)

Der Großteil des Gebiets besteht mit 33,6% (55.473 m<sup>2</sup>) aus Grünflächen. An zweiter Stelle stehen landwirtschaftliche Nutzflächen mit 28,7% (47.442 m<sup>2</sup>), gefolgt von Straßen mit 13,6% (22.517 m<sup>2</sup>). Die viertgrößte Flächennutzungskategorie machen Gebäude mit 21.662 m<sup>2</sup> (13,1%) aus. Der Friedhof (5.602 m<sup>2</sup>) und das Sportfeld (4.942 m<sup>2</sup>) nehmen ~ 3% der Gesamtflächen ein. Der Anteil der Parkplätze (4.073 m<sup>2</sup>) und Baustellen (3.440 m<sup>2</sup>) beträgt ~ 2% (TEMPEST, 2019a).

In Tabelle 3 werden sämtliche für die nachfolgende Analyse relevanten versiegelten Flächen aufgelistet. Dabei nehmen Straßenflächen sowie Parkplätze mit 16% (26.590 m<sup>2</sup>) den größten Bestandteil ein. Diese beiden Flächenkategorien weisen beide eine Asphalt- oder Betonoberfläche auf. Gebäude machen mit ca. 13% und etwas weniger als 22.000 m<sup>2</sup> die zweitgrößte Fläche aus. Baustellen haben mit in etwa 2% den geringsten Anteil der versiegelten Flächen des Untersuchungsgebiets und weisen eine Schotterdecke auf (TEMPEST, 2019a). Der Jahresniederschlag beträgt 1.326 l/m<sup>2</sup> (TEMPEST, 2019b).

Tabelle 3: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Langackerwegs (TEMPEST, 2019a)

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil an der Gesamtfläche
Straße	22.517	13,6%
Gebäude	21.662	13,1%
Parkplatz	4.073	2,5%
Baustelle	3.440	2,1%
<b>Versiegelte Flächen</b>	<b>51.692</b>	<b>31,3%</b>
Gesamtes Gebiet	165.159	100%

### 2.1.1.3. Untersuchungsgebiet 3: „Siedlungsgebiet\_Ost“

Das Untersuchungsgebiet Siedlungsgebiet\_Ost ist 699.648 m<sup>2</sup> groß und stellt ein fast ausschließlich gewerblich genutztes Gebiet mit einem sehr hohen Grünflächenanteil dar. Die Grünfläche beträgt 60,7% (434.943 m<sup>2</sup>) des Gebiets. Private Verkehrsflächen und Gebäude nehmen ca. 68.000 m<sup>2</sup> (9,7%) ein. Der Anteil der Straßenflächen beträgt 6,4% (44.756 m<sup>2</sup>). Sportfelder nehmen eine Fläche von 36.766 m<sup>2</sup> (5,3%) ein. Der Anteil an befestigten Flächen ist 1,0% (6.665 m<sup>2</sup>). Die Flächen der Gewässer (5.528 m<sup>2</sup>), der Parkplätze (4.853 m<sup>2</sup>), des Bahngleiskörpers (4.222 m<sup>2</sup>), des Schienenbereichs (1.306 m<sup>2</sup>), sonstiger Verkehrsflächen (821 m<sup>2</sup>) und von Schwimmbecken (608 m<sup>2</sup>) sind sehr gering und fallen unter 1,0% (TEMPEST, 2019a). In diesem Einzugsgebiet sind keine ständigen Einwohner angesiedelt. Um die benötigte Einwohnerzahl zu eruieren wurde daher mit dem ortsansässigen Hotel Kontakt aufgenommen. Nachdem in dem Hotel jährlich im Schnitt 90.000 Personen

nächtigen, ergibt sich eine durchschnittliche Gästezahl von 247 pro Tag (=Einwohner). Unter die Kategorie „Gebäude“ fallen 10 Hochhäuser. Der Jahresniederschlag entfällt auf 567-576 l/m<sup>2</sup>. Für nachfolgende Berechnungen wurde der Mittelwert aus dem Minimal- und Maximalwert mit 572 l/m<sup>2</sup> gebildet (TEMPEST, 2019b).

Für die Analysen werden die Nutzungskategorien Grünflächen, Sportfeld, Gewässer, Gleiskörper Bahn, Schienenbereich und Schwimmbekken vernachlässigt. Tabelle 4 bildet die analysierten Flächen von insgesamt 193.096 m<sup>2</sup> ab. Private Verkehrsflächen, Straßenflächen, sonstige Verkehrsflächen sowie befestigte Flächen und Parkplätze haben Asphalt- oder Betonoberflächen und machen mit rund 17,9% (125.152 m<sup>2</sup>) den größten Anteil der versiegelten Fläche aus. Gebäudeflächen betragen 9,7% (67.944 m<sup>2</sup>) (TEMPEST, 2019a).

Tabelle 4: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Siedlungsgebiets\_Ost (TEMPEST, 2019a)

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil an Gesamtfläche
private Verkehrsfläche	68.057	9,7%
Gebäude	67.944	9,7%
Straße	44.756	6,4%
befestigte Fläche	6.665	1,0%
Parkplatz	4.853	0,7%
sonstige Verkehrsfläche	821	0,1%
<b>Versiegelte Flächen</b>	<b>193.096</b>	<b>27,6%</b>
Gesamtes Gebiet	699.648	100%

#### 2.1.1.4. Untersuchungsgebiet 4: „Graz-R05-Mischwasser“

Das Kanaleinzugsgebiet des Mischwasserüberlauf Graz-R05 wird in Abbildung 5 mit einer roten Linie eingegrenzt. Das Untersuchungsgebiet R05 befindet sich in Graz und ist das größte aller betrachteten Siedlungsgebiete. Wie in Tabelle 5 ersichtlich, ist es 4.53 km<sup>2</sup> groß (TEMPEST, 2019a). Der östliche Teil ist durch eine dichte Verbauung gekennzeichnet, wohingegen der westliche Teil durch eine offene Siedlungsstruktur ohne größere Industriebetriebe geprägt ist. Insgesamt konnten 2.706 Einfamilienhäuser mittels *QGIS* ermittelt werden. Unter die Kategorie der Hochhäuser fallen 836 Gebäude. Die Einwohnerzahl des Untersuchungsgebiets wurde auf 19.500 geschätzt (TU Graz, 2019). Der Jahresniederschlag entfällt auf 929 l/m<sup>2</sup> (Gruber et. al., 2020). Auch in diesem Gebiet werden die Einträge von Regenereignissen in das Kanalisationssystem betrachtet. Im Gegensatz zu allen anderen Gebieten wurden in diesem Untersuchungsgebiet jedoch Proben aus dem Mischwasserüberlauf entnommen. Um die literaturbasierten PFOA- und PFOS-Frachten der Niederschläge mit den Messergebnissen der Mischkanal-Stofffrachten vergleichen zu können, werden die niederschlagsbasierten Einträge mit der Berechnung einer jährlichen Schmutzwasserfracht von PFOA und PFOS ergänzt.

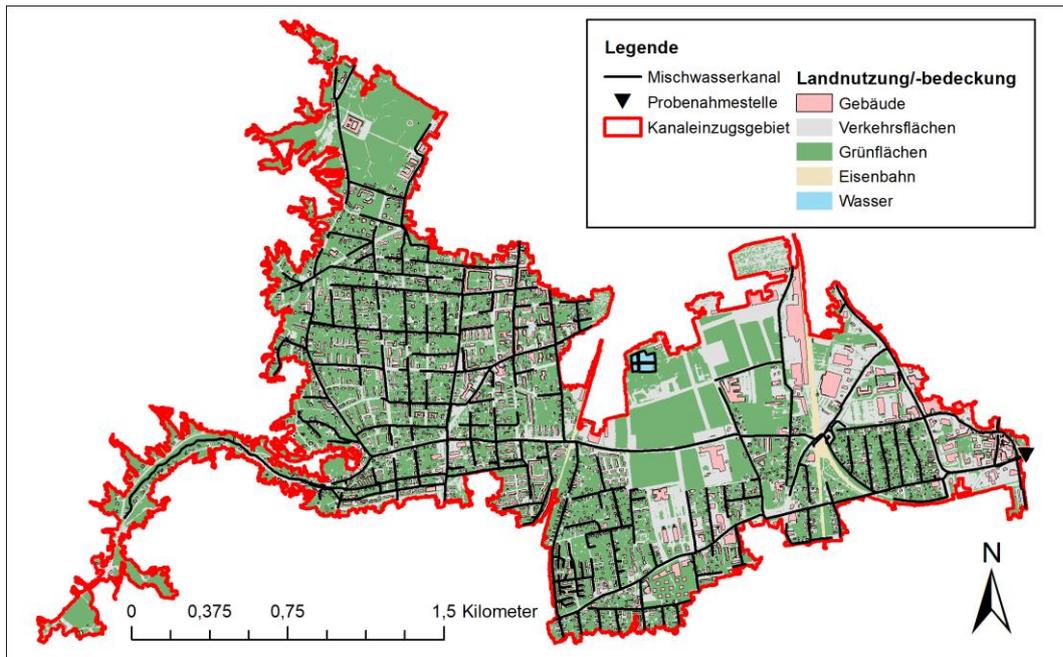


Abbildung 5: Übersichtsplan des Untersuchungsgebiets Graz-R05-Mischwasser (TEMPEST, 2020)

50,0% (2.268.455 m<sup>2</sup>) des Gebietes bestehen aus Grünflächen. Private Verkehrsflächen haben mit 20,9% (947.618 m<sup>2</sup>), gefolgt von Gebäuden mit 13,9% (629.928m<sup>2</sup>) den zweitgrößten Anteil. Straßen machen 11,0% (499.936 m<sup>2</sup>) aus. Den geringsten Anteil hat, mit weniger als einem Prozent, die Kategorie „Wasser“ (TEMPEST, 2019a). Nachdem lediglich versiegelte Flächen betrachtet werden, wurden die analysierten Flächen in Tabelle 5 neu aufgelistet. Dabei weisen private Verkehrsflächen und Straßen Asphalt- bzw. Betonoberflächen auf. Die jährliche Schmutzwassermenge des Mischkanals beträgt 1.854.905 m<sup>3</sup>/a (Gruber et. al., 2020).

Tabelle 5: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Siedlungsgebiets Graz-R05 (TEMPEST, 2019a)

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil an der Gesamtfläche
Private Verkehrsfläche	947.618	20,9%
Gebäude	629.928	13,9%
Straße	499.936	11,0%
<b>Versiegelte Flächen</b>	<b>2.077.482</b>	<b>45,8%</b>
Gesamtes Gebiet	4.538.232	100%

#### 2.1.1.5. Straßenabschnitt 1: „L202 – Hard/Lauterach“

Der untersuchte Straßenabschnitt L202 befindet sich in Hard. Dieser weist eine Asphalt- bzw. Betonfläche von 3.300 m<sup>2</sup> auf (TEMPEST, 2019a). Der Jahresniederschlag entspricht 1.326 l/m<sup>2</sup> (TEMPEST, 2019b).

## 2.1.2. Systemdefinition der Stoffflussanalyse

Im Rahmen der Stoffflussanalyse soll das System mithilfe des vorhandenen Datenmaterials bilanziell geschlossen werden. Zur Bilanzierung der Stoffflussanalyse in STAN 2.6 mussten zu Beginn sämtliche Stoffe, Prozesse, Güter und Flüsse festgelegt werden. Abbildungen 6 - 9 zeigen das generalisierte Systembild der SFA aller Untersuchungsgebiete.

Werden Prozessvorgänge näher untersucht, kann ein Prozess in mehrere Subprozesse untergliedert werden. Die definierten Haupt- und Subprozesse unterschieden sich aufgrund der gebietsspezifischen Teilflächen für jedes Untersuchungsgebiet und werden im nachstehenden Abschnitt samt deren Gütern sowie Pfaden aufgeschlüsselt.

Die bilanzielle Betrachtung des Systems endet sowohl bei den literaturbasierten Kalkulationen, als auch bei den Messungen der erhobenen Jahresfrachten des Regen- bzw. Mischwasserkanals mit dem Eintrag sämtlicher abflussrelevanter Frachten perfluorierter Tenside in den Regenwasser- bzw. Mischkanal. Der Outputfluss aus dem System und die gezogene Systemgrenze bilden für die vier Niederschlagswasserkanäle (Ziegelstraße, Langackerweg, Siedlungsgebiet\_Ost, L202) die in Tabelle 1 berücksichtigten Einträge in das Gewässer bzw. für den Mischwasserkanal (Graz-R05) in die Kläranlage ab. Einträge von Bodenerosionen wurden in allen Systemen vernachlässigt. Einträge der atmosphärischen Depositionen konnten aufgrund der Depositionsanalyseergebnisse einer Messkampagne berücksichtigt werden. Weiters ist anzumerken, dass sich alle Güter bereits im System befinden und kein Input von außerhalb erfolgt.

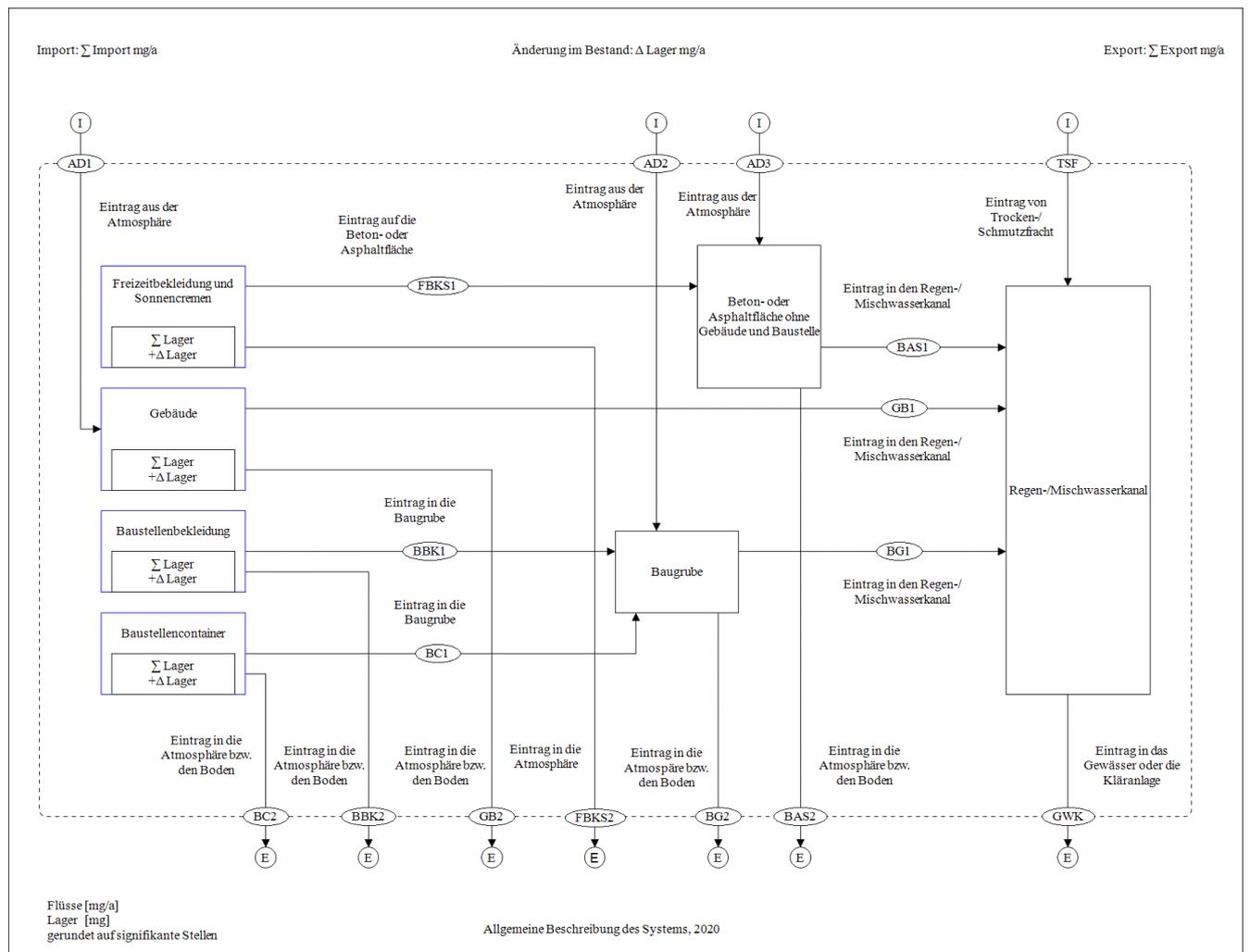


Abbildung 6: allgemeine Darstellung der Stoffflussanalyse für Niederschlagskanäle und den Mischkanal aller betrachteten Eintragspfade und -quellen

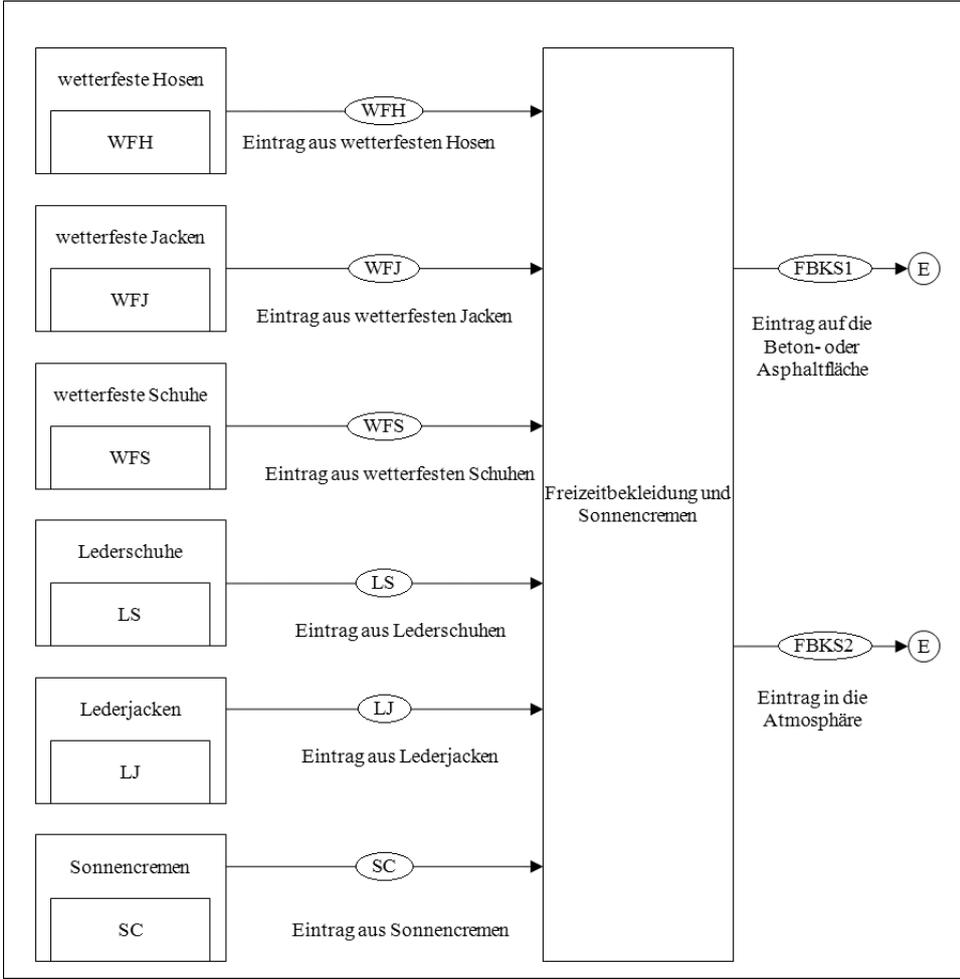


Abbildung 7: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Freizeitbekleidung und Sonnencremen

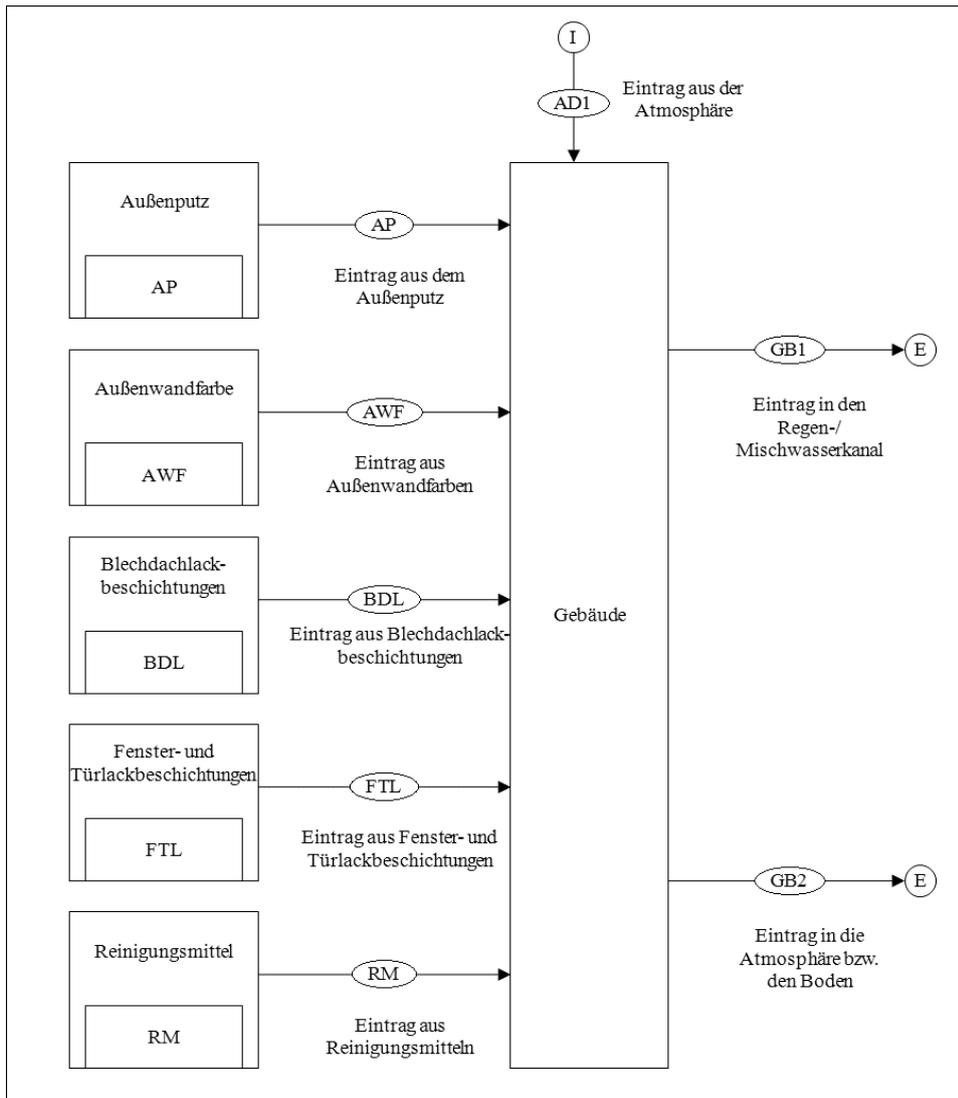


Abbildung 8: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Gebäude

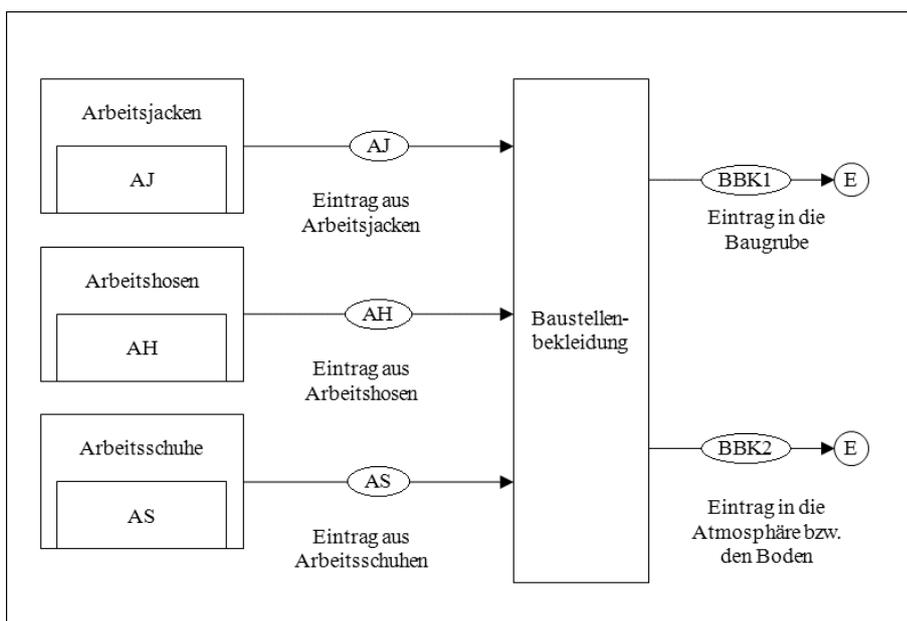


Abbildung 9: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Baustellenbekleidung

Nachfolgend werden die sieben Hauptprozesse samt deren Subprozesse und Güter aufgelistet.

Tabelle 6: Güterliste und Definition für den Prozess "Freizeitbekleidung und Sonnencremen (FBKS)"

<b>Güterliste und Definitionen für den Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen (FBKS)“</b>				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche PFOA- und PFOS-Frachten, welche durch das Tragen von wetterfester Freizeitbekleidung <sup>2</sup> und Sonnencremen verursacht werden.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlichen, aus verschiedener wetterfester Freizeitbekleidung und durch die Nutzung von Sonnencremen, anfallenden Emissionen betrachtet.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind wetterfeste Schuhe, wetterfeste Hosen, wetterfeste Jacken, Lederjacken, Lederschuhe und Sonnencremen, deren Eintrag an PFOA und PFOS mit dem Regen auf Beton- oder Asphaltflächen ohne Berücksichtigung von Gebäude- und Baustellenflächen erfolgt.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	wetterfeste Schuhe (WFS)	Outdoor-Schuhe	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Outdoor-Schuhen
	wetterfeste Hosen (WFH)	Outdoor-Hosen	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Outdoor-Hosen
	wetterfeste Jacken (WFJ)	Outdoor-Jacken	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOA- und PFOS-Frachten aus Outdoor-Jacken
	Lederjacken (LJ)	verschiedene Lederjacken	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOS-Frachten aus LJ
	Lederschuhe (LS)	verschiedene Lederschuhe	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOS-Frachten aus LS
	Sonnencremen (SC)	verschiedene Sonnencremen	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	PFOA-Frachten aus SC

Sonnencremen werden zu dem Prozess „Freizeitbekleidung“ gezählt, da derselbe Abflussbeiwert (siehe Abschnitt 2.4.) wie bei allen anderen Freizeitbekleidungsprodukten wirksam wird. Ebenfalls wird angenommen, dass sich BewohnerInnen bei Regenergüssen auf der selben Teilfläche (Beton- oder Asphaltfläche) befinden und Sonnencremen direkt auf den Körper aufgetragen werden.

Tabelle 7: Güterliste und Definitionen für den Prozess "Gebäude (GB)"

<b>Güterliste und Definitionen für den Prozess „Gebäude (GB)“</b>	
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche Frachten, welche durch die Nutzung ausgewählter Baumaterialien und verschiedener alkalischer Reinigungsmittel entstehen.
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlich aufgrund unterschiedlicher Gebäude und eingesetzter alkalischer Reinigungsmittel anfallenden Emissionen betrachtet. Einträge aus der Atmosphäre werden ebenfalls berücksichtigt.
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind Außenwandfarben, Außenputz, Blechdachlackbeschichtungen, Fenster- und Türackbeschichtungen sowie alkalische Reinigungsmittel, welche mit dem Regen in den Regen-/Mischwasserkanal eingetragen werden.

<sup>2</sup> Wetterfeste Freizeitbekleidung ist als Synonym für Outdoor-Freizeitbekleidung zu verstehen.

Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	Außenwandfarben (AWF)	verschiedene Farbanstriche von Außenwänden	Regen-/Mischwasserkanal	PFOS-Fracht von Gebäuden aus AWF
	Außenputz (AP)	verschiedene Außenputzmaterialien	Regen-/Mischwasserkanal	PFOS-Fracht von Gebäuden aus dem AP
	Blechdachlackbeschichtungen (BDL)	verschiedene Lackbeschichtungen von Blechdächern	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA-Frachten von Gebäuden aus BDL
	Fenster- und Türlackbeschichtungen (FTL)	verschiedene Lackbeschichtungen von Fenstern, Fensterbänken und Türen	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA-Frachten von Gebäuden aus FTL
	alkalische Reinigungsmittel (RM)	RM für Fenster und Türen, Bodenreiniger für Terrassen und Loggien	Regen-/Mischwasserkanal	PFOS-Fracht aus RM

Tabelle 8: Güterliste und Definition für den Prozess "Baustellenbekleidung (BBK)"

Güterliste und Definitionen für den Prozess „Baustellenbekleidung (BBK)“				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche PFOA- sowie PFOS-Frachten, welche durch das Tragen von wetterfester Arbeitskleidung verursacht werden.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlich aufgrund verschiedener Arbeitsbekleidung anfallenden Emissionen betrachtet.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind Arbeitsschuhe, Arbeitshosen, Arbeitsjacken, deren Eintrag an PFOA und PFOS mit dem Regen in die Baugrube eingeleitet wird.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	Arbeitsjacken (AJ)	Outdoor-Jacken	Baugrube	PFOA- und PFOS-Frachten aus Arbeitsjacken
	Arbeitshosen (AH)	Outdoor-Hosen	Baugrube	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Arbeitshosen
	Arbeitsschuhe (AS)	Outdoor-Schuhe	Baugrube	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Arbeitsschuhen

Tabelle 9: Güterliste und Definition für den Prozess "Baustellencontainer (BC)"

Güterliste und Definitionen für den Prozess „Baustellencontainer (BC)“				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche Verschmutzungen, welche aufgrund von Baustellencontainern entstehen.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlich aufgrund von Baustellencontainern anfallenden Emissionen betrachtet.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind PFOA-Frachten der Lackbeschichtungen der Außenwände von Baustellencontainern, welche mit dem Regen in die Baugrube eingeleitet werden.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	Baustellencontainer (BC)	PFOA-Frachten von BC	Baugrube	Einträge von PFOA-Lackfrachten aus den Außenwänden der Baustellencontainern

Bei dem Prozess „Baugrube“ wurde die Annahme getroffen, dass das mit PFOA und PFOS belastete, abfließende Regenwasser der Baustellen in ein Absetzbecken, welches auf der Baustelle platziert wurde, eingeleitet wird. Weiters wird angenommen, dass der Bauablauf schon soweit fortgeschritten ist, dass das Absetzbecken in Betrieb genommen und an den Niederschlagswasserkanal angeschlossen wurde. Von der mit PFOA und PFOS belasteten Regenwasserfracht versickern 5% in den Boden bzw. in die Atmosphäre. Die restlichen 95% werden in den Regen-/Mischwasserkanal eingeleitet. Bei der Analyse wird davon ausgegangen, dass es sich bei dem enthaltenen

Niederschlagswasser um lediglich durch PFOA und PFOS belastetes Wasser handelt und keine anderen Stoffe zu Verunreinigungen geführt haben.

Tabelle 10: Güterliste und Definition für den Prozess "Baugrube"

<b>Güterliste und Definitionen für den Prozess „Baugrube (BG)“</b>				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche Frachten, welche durch die Nutzung von Arbeitsbekleidung und Lackbeschichtungen von Baustellencontainern entstehen.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlich aufgrund der Nutzung von Arbeitsbekleidung auf Baustellen und Baustellencontainern anfallenden Emissionen betrachtet. Einträge aus der Atmosphäre werden ebenfalls betrachtet.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind Arbeitsjacken, Arbeitshosen, Arbeitsschuhe und Baustellencontainer, welche mit dem Regen in den Regenwasserkanal eingeleitet werden.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	Arbeitsjacken (AJ)	Outdoor-Jacken	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA- und PFOS-Frachten aus Arbeitsjacken
	Arbeitshosen (AH)	Outdoor-Hosen	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Arbeitshosen
	Arbeitsschuhe (AS)	Outdoor-Schuhe	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA- sowie PFOS-Frachten aus Arbeitsschuhen
	Baustellencontainer (BC)	Lackbeschichtungen von Baustellencontainern	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA-Frachten aus BC

Tabelle 11: Güterliste und Definition für den Prozess "Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle (BAS)"

<b>Güterliste und Definitionen für den Prozess „Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle (BAS)“</b>				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche Frachten, welche durch das Tragen von Freizeitbekleidung sowie Sonnencremen entstehen. Ebenfalls werden Einträge aus der Atmosphäre betrachtet.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlich aus Freizeitbekleidung, Sonnencremen sowie der Atmosphäre anfallenden Emissionen betrachtet.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Güter sind WFS, WFH, WFJ, LJ, LS, Sonnencremen und die atmosphärische Deposition, welche mit dem Regen in den Regen-/Mischwasserkanal eingeleitet werden.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozesse	Beschreibung
	Freizeitbekleidung (FBK)	WFS, WFH, WFJ, LJ, LS	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA- und PFOS- Frachten aus wetterfester Bekleidung
	Sonnencremen (SC)	verschiedene Sonnencremetuben	Regen-/Mischwasserkanal	PFOA-Fracht aus SC

Tabelle 12: Güterliste und Definition für den Prozess "Regen-/Mischwasserkanal (RMWK)"

<b>Güterliste und Definitionen für den Prozess „Regen-/Mischwasserkanal (RMWK)“</b>				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses</u> Der Prozess beinhaltet sämtliche Verschmutzungen, welche durch menschliche Aktivitäten, atmosphärische Einträge, Trockenwettereinträge sowie Einträge von Schmutzwasser entstehen.			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses</u> Innerhalb des Prozesses werden die jährlichen, aus Freizeitbekleidung, Reinigungsmittel, Sonnencremen, Baumaterialien sowie von Baustellenbekleidung und -containern anfallenden Emissionen betrachtet. Ebenfalls spielen die Einträge aus der Atmosphäre und von Trockenwetter- bzw. Schmutzfrachten eine Rolle.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Die untersuchten Inputgüter sind WFS, WFH, WFJ, LJ, LS, SC, AWF, AP, BDL, FTL, RM, AJ, AH, AS, BC, Einträge der atmosphärischen Deposition und von Trockenwetter-/Schmutzfrachten.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zieleintrag	Beschreibung
	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle (BAS)	WFS, WFH, WFJ, LJ, LS, SC, AD	Emissionspfad in das Gewässer bzw. die Kläranlage	Eintrag von PFOA- und PFOS-Frachten aus wetterfester Freizeitbekleidung, Eintrag von PFOA-Fracht aus SC, Einträge der AD

Gebäude (GB)	AWF, AP, BDL, TFL, RM, AD	Emissionspfad in das Gewässer bzw. die Kläranlage	PFOA- und PFOS- Frachten aus Außenwandfarben, dem Außenputz, Blechdachlaken, Fenster- und Türlackbeschichtungen und Reinigungsmittel, Einträge der AD
Baugrube (BG)	AJ, AH, AS, BC, AD	Emissionspfad in das Gewässer bzw. die Kläranlage	PFOA- und PFOS- Frachten aus Arbeitsjacken, Arbeitshosen, Arbeitsschuhen und Baustellencontainern, Einträge der AD

### 2.1.3. Erläuterung der methodischen Analysetools

#### 2.1.3.1. Befragungen verschiedener Organisationen bzw. Institutionen

Um neben den literaturbasierten Daten noch weitere Informationen zu generieren, wurde im Laufe der Arbeit mit nachstehenden Organisationen bzw. Institutionen Kontakt aufgenommen:

- ❖ der österreichischen Umweltbundesamt GmbH,
- ❖ der Wiener Umweltschutzabteilung,
- ❖ der Abteilung Wiener Gewässer,
- ❖ Greenpeace Österreich,
- ❖ Greenpeace Deutschland,
- ❖ der ASFINAG Service GmbH,
- ❖ dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus,
- ❖ der Wiener Wirtschaftskammer,
- ❖ der Österreichischen Wirtschaftsverband GmbH,
- ❖ dem Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs,
- ❖ der Hochschule Fresenius gemeinnützige GmbH,
- ❖ dem VCÖ,
- ❖ DIE UMWELTBERATUNG,
- ❖ GLOBAL 2000,
- ❖ der IBO Verein und GmbH,
- ❖ dem deutschen Umweltbundesamt,
- ❖ der ETH Zürich,
- ❖ der ifectis Innovationsförderung,
- ❖ der IFUA- Projekt-GmbH,
- ❖ dem Environmental and Climate Change Department in Kanada und
- ❖ dem Verband der Chemischen Industrie e.V.

#### 2.1.3.2. Messungen mit dem Programm QGIS 3.8.1.

Mithilfe des Programms *QGIS* 3.8.1. wurden sämtliche Gebäude- und Dachflächen der Siedlungsgebiete Ziegelstraße, Langackerweg, Siedlungsgebiet\_Ost sowie Graz-R05 vermessen. Dadurch konnte sich von Beginn an ein Überblick über die Einzugsgebiete verschafft werden. Ebenfalls konnten Informationen zu Gebäude- und Dachflächen gewonnen werden, bei denen Datenlücken vorlagen. Weiters half die Bestimmung einzelner Gebäudeflächen und Umfänge dabei Rückschlüsse bezüglich des verbauten Materials, welches perfluorierte Tenside enthalten könnte, zu ziehen. Die Ergebnisse der Flächenvermessungen bilden die Datengrundlage nachfolgender Gebäude- und Dachflächenberechnungen der vier Siedlungsgebiete in Microsoft Excel.

Die unterhalb angeführten Abbildungen zeigen die Vorgangsweise der einzelnen Messschritte. Für die Ermittlung der Grundfläche jedes Gebäudes (in m<sup>2</sup>) wurde das Vermessungstool von *QGIS* verwendet. Lediglich bei dem

Untersuchungsgebiet Graz-R05 wurden gröbere Annahmen getroffen, um nicht jedes einzelne Gebäude vermessen zu müssen.

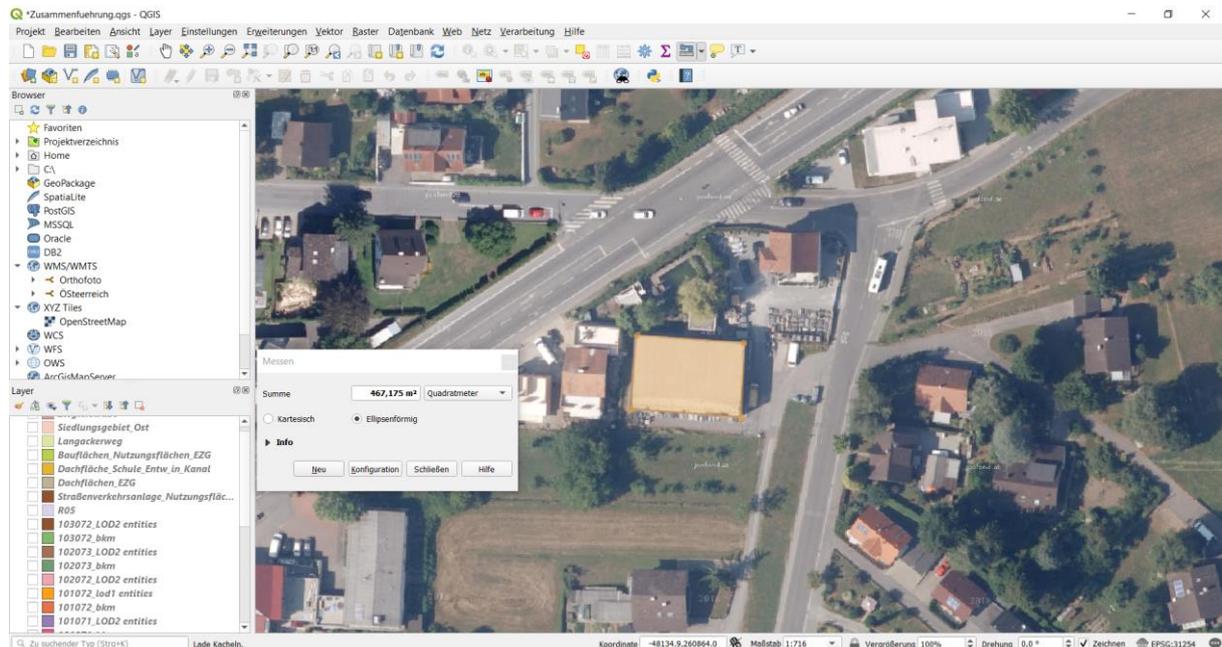


Abbildung 10: Darstellung der Flächenermittlung mittels des QGIS-Programms (basemap.at)

Um die Gebäudeflächen bestmöglich ermitteln zu können, wurden die projizierten Dachflächen einzelner Gebäude, wie in Abbildung 10 ersichtlich, zu Beginn grob mittels QGIS vermessen. Zur besseren Bestimmung der Dachkonstruktion wurde im Anschluss mit der 3D-Funktion von Google Maps (siehe Abbildung 11) gearbeitet. Nach Erlangen eines Überblicks in beiden Programmen konnte die Dachoberfläche mit dem Vermessungstool von QGIS berechnet werden. Um die Stockwerke und Fassadenfläche abzüglich der vorhandenen Fenster, Türen und Balkone bestimmen zu können, wurde mit Google Maps gearbeitet. Unter anderem wurden diese Informationen für die Berechnung der Menge an Außenwandfarbe aller Gebäude benötigt.

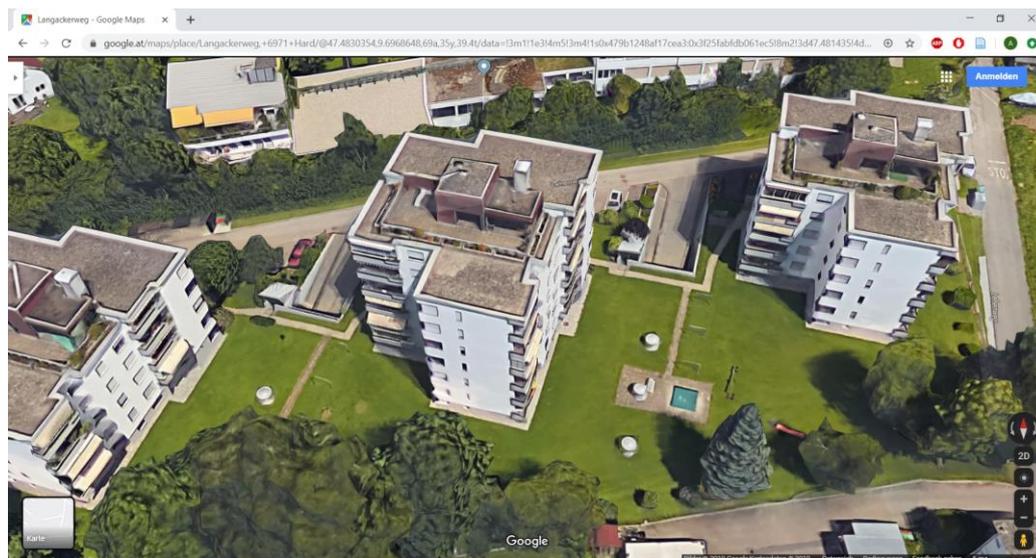


Abbildung 11: Darstellung der für den Umfang bzw. sämtliche Baumaterialien relevante Google Maps Abbildung (Google, 2019)

Um die Menge und den Anteil an perfluorierten Tensiden der einzelnen Gebäude bestimmen zu können (Vermessung der Außenfassadenfläche eines Hochhauses), musste zuerst der Umfang für alle gleichhohen

Geschoße ermittelt werden. Im Anschluss wurden die einzelnen Geschoße, welche über die gleichhohen Geschoße hinausragten, mithilfe des Messtools genauer betrachtet.

Aufgrund der Darstellung der verwendeten Programme *QGIS* sowie *Google Maps* kann es zu Abweichungen der Mantelfläche, der Gesamtanzahl an Fenstern und Türen sowie der Beschichtungsbreite von Fenster-, Türrahmen, Fensterbänken und Dachflächen kommen. Als Beispiel wird ein Hochhaus angeführt, bei dessen Vermessung der Anzahl an Fenstern und Türen, aufgrund der Sichtbehinderung durch Bäume, Abschätzungen getroffen werden mussten. Daher wurde bei der Quantifizierung der SFA für alle standardisierten Einfamilienhäuser und Hochhäuser eine Unsicherheit von 30% festgelegt. Ein weiterer Grund ist die wie in Abschnitt 2.2.1.4. angeführte Abschätzung der Beschichtungsbreite von Fenstern und Türen.

#### 2.1.3.3. Erstellung der Online-Umfrage

Im Zuge der Erstellung der Massenbilanzen mussten Abschätzungen bezüglich der jährlichen Verwendungshäufigkeit ausgewählter chemischer Konsumentenprodukte getroffen werden. Um diese abschätzen zu können, wurde eine Online-Umfrage mit 337 ProbandInnen durchgeführt. Die Anzahl an Befragten entspricht dabei 56% des Bewohneranteils des zweitkleinsten Siedlungsgebiets. Anhand der Umfrageergebnisse konnten Rückschlüsse für jedes einzelne Gut im Zuge der Berechnungen für die einzelnen Siedlungsgebiete getroffen werden.

Outdoor-Jacken werden demnach von 80% der ProbandInnen bei 54% aller Regenereignisse getragen. Outdoor-Hosen haben laut 89% der TeilnehmerInnen mit 14% einen geringeren Einsatz. Outdoor-Schuhe sind bei 90% an 34% aller Regentage in Verwendung. Die Verwendungshäufigkeit von Lederjacken ist laut 90% der Befragten am geringsten. Diese wird bei 9,3% aller jährlichen Niederschläge getragen. Der Gebrauch von Lederschuhen bei Regenereignissen ist ebenfalls sehr gering ausgefallen, da 84% der TeilnehmerInnen angaben diese bei 30% der Ereignisse zu tragen. Von einer 500g Sonnencremetube verwenden 72% der Befragten 70% (350g). Der Bedarf an Putzmitteln (für Glas-, Fenster-, Türen-, Terrassen-, Loggiereiniger) wurde von 91% der ProbandInnen mit drei Flaschen pro Haushalt angegeben.

#### 2.1.3.4. Erstellung der Stoffflussanalysen mittels STAN 2.6

Zur Darstellung und Analyse der Einträge an PFOA und PFOS in das Niederschlagskanalsystem bzw. den Mischwasserüberlauf wurde mit der Software für Stoffflussanalysen (STAN 2.6) gearbeitet. Als erster Schritt mussten die verschiedenen Prozesse wie beispielsweise „Gebäude“ samt Subsystemen (Außenputz etc.) sowie deren Stoffflüsse definiert werden, um im Anschluss die Frachten an PFOA und PFOS für das Trennkanalisationssystem bzw. den Mischkanal charakterisieren zu können. Nachdem alle Prozesse und Stoffflüsse bestimmt wurden, konnten die Ergebnisse der Massenbilanzen von Microsoft Excel in STAN 2.6 übertragen werden. Die Grundlage aller Stoffflussanalysen bilden die Resultate der Massenbilanzen von Microsoft Excel sowie die Analyseergebnisse des Projekts TEMPEST.

Mithilfe des Programms konnten Unsicherheiten mittels Standardabweichungen bzw. Schwankungsbreiten zwischen den Minimal- und Maximalgehalten von PFOA sowie PFOS berücksichtigt werden. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass es sich bei unsicheren Daten um normalverteilte Zufallsgrößen handelt, welche durch die Parameter Standardabweichung und Mittelwert gegeben sind. Diese Annahme gestattete die Anwendung von Methoden wie der Ausgleichsrechnung und Fehlerfortpflanzung. Die angewandte Standardabweichung drückt die Streuung des Mittelwerts aus.

Aufgrund der Berücksichtigung der empirischen Messergebnisse (erhobene Jahresfrachten an PFOA und PFOS in den Kanälen) durch deren Ergänzung in dem Outputpfad (Eintrag in das Gewässer bzw. die Kläranlage) konnte das Programm als Analysetool verwendet werden. Als Analysetool führte STAN 2.6 Ausgleichsrechnungen zur Quantifizierung der Abflussfracht mit dem vorhandenen Datenmaterial durch.

## 2.1.4. Beschreibung der Berechnungen und Annahmen eines standardisierten Einfamilienhauses sowie Abbildung der Vermessungsergebnisse von Hochhäusern

Bei den Berechnungen der Baumaterialien wurde in den Siedlungsgebieten Ziegelstraße, Langackerweg sowie Graz-R05 zwischen Einfamilienhäusern und Hochhäusern unterschieden. Das Siedlungsgebiet\_Ost ist ein fast ausschließlich gewerblich genutztes Gebiet, welches lediglich aus Hochhäusern besteht. Bei dem Straßenabschnitt L202 handelt es sich um eine Strecke ohne Bebauung.

Zur Berechnung eines durchschnittlichen Einfamilienhauses wurden sechs privat zugängliche Baupläne aus ländlichen und städtischen Bereichen zu Rate gezogen. Aufbauend auf deren Abmessungen wurde ein Einfamilienhaus definiert, welches sich im mittleren Bereich sämtlicher Baupläne befand. Dieses wird als „standardisiertes Einfamilienhaus“ in dieser Arbeit bezeichnet und als Referenz für alle Einfamilienhäuser sämtlicher Siedlungsgebiete herangezogen. Die nachfolgenden Abmessungen bilden die Grundlage für das standardisierte Einfamilienhaus. Dieses besteht aus zwei Geschoßen samt Dachgiebel und weist eine Außenwandfläche von insgesamt 285 m<sup>2</sup> auf. Die Länge des Hauses ist 11 m. Die Breite entspricht 8 Metern. Das Gebäude hat im Durchschnitt zwei Türen (0,95 m Breite \* 2 m Höhe = 1,9 m<sup>2</sup> \* 2 = 3,8 m<sup>2</sup>) und 15 Fenster (1,20 m Breite \* 1,10 m Höhe = 1,32 m<sup>2</sup> \* 15 = 19,8 m<sup>2</sup>). Die gerundete Gesamtfläche der Fassade abzüglich der Fenster und Türen beträgt 261 m<sup>2</sup>. Der Umfang aller Außentüren und Fenster umfasst 80,8 m. Die Außenglasfläche beträgt 21,7 m<sup>2</sup>. Eingangstüren mit Verglasungen wurden bei der Betrachtung der Außenglasflächen vernachlässigt, zum einen, da ein Eintrag dieser Flächen mit dem Niederschlag aufgrund von Überdachungen vernachlässigbar klein eingestuft wird. Zum anderen war eine Quantifizierung der Verglasungselemente verbauter Eingangstüren nicht möglich.

Unter dem Begriff „Hochhäuser“ sind alle mehrstöckigen Parteihäuser, Schulen, Bürogebäude, Sport- oder Industriehallen zu verstehen, welche in den verschiedenen Einzugsgebieten ausgewiesen sind. Die angenommene Höhe pro Stockwerk beläuft sich bei diesen Gebäuden auf 3,10 m. Im Zuge der Vermessungen in QGIS wurde die Mantelfläche sämtlicher Hochhäuser sowie die Gesamtanzahl an Fenstern und Türen bestimmt. Tabelle 13 bildet die mittels QGIS erhobenen Messergebnisse der Hochhäuser für alle Siedlungsgebiete ab.

Tabelle 13: Übersicht über die Messergebnisse der Hochhausabmessungen für jedes Siedlungsgebiet

Messergebnisse der Hochhausabmessungen				
	Mantelfläche aller Gebäude [m <sup>2</sup> ]	Gesamtanzahl Fenster	Gesamtanzahl Türen	Gesamtfläche Fenster [m <sup>2</sup> ]
Ziegelstraße	15.131	1.009	295	1.332
Langackerweg	14.035	948	194	1.493
Siedlungsgebiet_Ost	44.677	2.814	132	4.487
Graz-R05	702.613	37.694	8.548	49.757

In den Gebieten Langackerweg, Siedlungsgebiet\_Ost sowie Graz-R05 wiesen einige Hochhäuser Fenster und Türen auf, die nicht dem Standard des definierten Einfamilienhauses entsprachen. Die verschiedenen Arten wurden einzeln ermittelt und deren Anzahl sowie Abmessungen in der Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Darstellung der Anzahl und Abmessungen unterschiedlicher Tür- und Fensterarten je Siedlungsgebiet

	Langackerweg	Siedlungsgebiet_Ost	Graz-R05
Türe 3 m x 5 m	1	12	2
Fenster 3 m x 1,2 m	106	0	0
Fenster 2,5 m x 1,1 m	0	165	0
Fenster 1,8 m x 1,2 m	0	116	0
Fenster 5,5 m x 3,1 m	0	4	0

Tabelle 15 veranschaulicht die berechnete Gesamtfläche der Lackbeschichtungen für Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänke aller Einfamilien- und Hochhäuser und die Messergebnisse der Gesamtfläche an Blechdächern des Projekts TEMPEST (2019a) aller Siedlungsgebiete.

*Tabelle 15: Gesamtfläche an Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken sowie Gesamtfläche an Blechdächern aller Siedlungsgebiete (TEMPESTa, 2019)*

	<b>Gesamtfläche an Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Gesamtfläche Blechdächer [m<sup>2</sup>]</b>
Ziegelstraße	516	4.950
Langackerweg	362	1.104
Siedlungsgebiet_Ost	524	3.753
Graz-R05	11.089	83.204

## 2.2. Identifikation und Quantifizierung von perfluorierten Tensiden in Produkten

In den meisten Anwendungsbereichen wurden PFOS und PFOA aufgrund einschränkender gesetzlicher Rahmenbedingungen bereits durch andere perfluorierte Tenside ersetzt. Die anhand verschiedener Publikationen quantifizierte Menge an PFOA sowie PFOS stammt somit aller Voraussicht nach aus den vor dem Jahr 2010 eingesetzten oder aktuellen Anwendungen, welche gemäß den spezifischen Ausnahmeregelungen zugelassen sind. Tabelle 1 bildet sämtliche Quellen perfluorierter Tenside ab. Im Zuge der Identifizierung wichtiger abflussrelevanter Produkte wurden die angeführten Güter für die Niederschlagswasserkanäle bzw. für den Mischwasserkanal in vier Kategorien gegliedert. Anhand der Gliederung soll gezeigt werden, welche Produkte in Betracht gezogen bzw. ausgeschlossen wurden. Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Kategorien im Detail beschrieben.

Jene Anwendungsgebiete, welche mit einem Stern markiert wurden, konnten im Zuge der Stoffflussanalyse aufgrund des vorhandenen Datenmaterials und deren Relevanz für die Niederschlagswasserkanäle der vier Untersuchungsgebiete und des Mischwasserkanals berücksichtigt werden. Dies sind Bekleidung/Textilien, Lederwaren, Tenside in Alkali-Reinigungsmitteln, Sonnencremen, Außenputz sowie Farben- und Lackbeschichtungen. Für versiegelte Flächen bzw. Einträge aus dem Boden könnten die Inputs jener Anwendungsgebiete von Bedeutung sein, welchen drei Sterne zugewiesen wurden. Zur Quantifizierung dieser Eintragspfade bedarf es jedoch verfügbarem Datenmaterial und der Konzeptionierung von Quantifizierungspfaden. Diese Markierung trifft für Tenside in Feuerlöschschäumen, Hydraulikflüssigkeiten, Additive in KFZ-Treibstoffen, Beschichtungen bei Automobilen, Pestizid-Wirkstoffe und Wirkstoffe für Ameisenlockfallen zu. Nachdem zwei Siedlungsgebiete Baustellen aufweisen, könnten Baustellenhelme, welche vermutlich mit einem PFOS-Trennmittel (Wachs auf Kunststoffformen) beschichtet wurden, eine mögliche weitere Eintragsquelle dieser Flächenkategorie darstellen. Zur Quantifizierung dieses Produkts wären jedoch Konzentrationsmessungen vonnöten.

Die Fracht von Bekleidung/Textilien, Stoff/Polster, Teppichen, Shampoos, Glas-/Metallprodukten wären aufgrund der Nutzung von Waschmaschinen und Geschirrspülern für die Schmutzfracht im Mischkanal des Gebiets Graz-R05 wesentlich. Nachdem sich diese Arbeit jedoch nur mit dem Niederschlag in Verbindung gebrachten Eintragsquellen beschäftigt, wurde die Quantifizierung der Indoor-Quellen vernachlässigt. Demzufolge wird auch der Eintrag von Auto-Innenausstattung in die Kanäle gänzlich ausgeschlossen. Nachdem sich kein entsprechender Industriebetrieb in den Untersuchungsgebieten befindet, ist der Eintrag von Metallplattierungsbädern, Minen- und Ölquellentensiden und Prothesenreinigern ebenfalls auszuschließen. Einträge von Papierschutzanwendungen wie bei Teller und Nahrungsmittelbehältern, Taschen und Verpackungsmaterialien, Faltpapieren, karbonfreien Formen und Abdeckpapieren werden aufgrund ihres zweifelhaften Kontakts mit Wasser sowohl für den Niederschlagskanal, als auch für den Mischkanal ausgeschlossen. Gleichfalls wird der Eintrag von Antistatikum, Beschichtungen für Halbleiter und wasserdichten Gipsverbänden/Wundverbänden mit Regenwasser ausgeschlossen.

Im Laufe der Durchsicht der Publikationen von Wang (2015), Wefers und Cameron (2015), Schucknecht (2007), Buck et. al. (2011), Fricke und Lahl (2005), Janousek et. al. (2019), Krafft und Riess (2015), Skutlarek et. al. (2006), Butt et. al. (2010), Schulte und Vierke (2016), Biegel-Engler et. al. (2017), Schulte (2006), Stahl et. al. (2007), UMWELTBUNDESAMT (2009), Prevedouros et. al. (2006), Hillenbrand et. al. (2015), OECD (2013) und Post et. al. (2012) konnte immer wieder festgestellt werden, dass die Anwendungsgebiete der untersuchten Stoffe erwähnt werden. Angaben der PFOA- und PFOS-Konzentrationen in verschiedenen Produkten bzw. Materialien waren jedoch nur in wenigen Publikationen gegeben. Der Datenbedarf wird durch die Komplexität der Verwendungsstruktur des jeweiligen Stoffes bestimmt, sodass bei Stoffen mit vielfältigen und ggf. miteinander in Wechselwirkung stehenden Einsatzgebieten nur eine bedingte Erfassung aller Stoffflüsse möglich ist (Hillenbrand et. al., 2015). So konnten selbst nach Kontaktaufnahme mit den in Abschnitt 2.1.3.1. genannten Organisationen und Institutionen keine genaueren Auskünfte zu deren Vorkommen in verschiedenen Gütern eingeholt werden. Die Literatur zu diffusen PFT-Quellen erwies sich demnach als äußerst lückenhaft. Primär ist dies auf die fehlende Herstellerinformationspflicht zurückzuführen. Nach längerer Suche konnten die Resultate der Publikationen von Kallee und Santen (2012), Kallee und Santen (2013), Kotthoff et. al. (2015), Herzke et. al. (2012), Scheckenbach und Walter (2014), Becanova et. al. (2016) sowie KEMI (2015), welche Konzentrationen an PFOS und PFOA in verschiedenen Anwendungsgebieten anführten, zur Quantifizierung genutzt werden. Diese empirischen Untersuchungen zeigten jedoch oft große Unsicherheiten bzw. Schwankungsbreiten bezüglich der Minimal- und Maximalkonzentration von PFOA sowie PFOS auf. Buser und Morf (2009) zufolge gibt es mehrere Probleme, welche die chemische Analyse perfluorierter Tenside betreffen. Einerseits hat diese Stoffgruppe einzigartige physiochemische Eigenschaften. Andererseits herrscht ein Mangel an zuverlässigen Messstandards. Ebenfalls können bereits vor der Messung Verunreinigungen der Stoffgruppe bestehen oder während aller Phasen der analytischen Verfahren zu Kontaminationen kommen. Eine Kontamination, insbesondere von PFOA, tritt am wahrscheinlich während der Probenahme (Bekleidung wie Regenmäntel oder Schuhe) und durch Verunreinigungen im Labor auf (Buser und Morf, 2009).

Einige Publikationen wiesen lediglich eine Maximalkonzentration an PFOA oder PFOS auf. Eine andere Publikation gab eine generelle produktspezifische PFT-Konzentration an. Aufgrund der fehlenden Information, ob es sich bei diesen Angaben um PFOS oder PFOA handelt, bzw. der generellen Datenlücke bezüglich diffuser Quellen und um keine Eintragsquellen vernachlässigen zu müssen, wurden diese Angaben für die Berechnung beider Stoffe verwendet. Eine gemeinsame PFT-Konzentration bedeutet, dass die Konzentration von PFOA und PFOS für beide Stoffe mit der gleichen Konzentration angenommen wird. Folglich mussten angesichts der lückenhaften Datenlage Abschätzungen mit Hilfe von Literaturangaben getroffen, oder, sofern die Quantifizierung der PFOA- oder PFOS-Konzentration eines Gutes nicht möglich war, dieses vernachlässigt werden. Die literaturbasierten Massenbilanzen beruhen somit auf vielen Annahmen und unterschiedlichen Datenquellen. Um alle Unsicherheiten (siehe Abschnitt 2.6.) in den Kalkulationen der PFOA- sowie PFOS-Frachten zu berücksichtigen, wurden Schwankungsbreiten angegeben.

Gemäß Buser und Morf (2009) haben chemische Analysen gezeigt, dass eine bestimmte Konzentration an PFOA und PFOS bei Textilprodukten im Gut verbleibt. Diese Konzentration wird wahrscheinlich im Laufe der Lebensdauer gasförmig, weshalb Emissionen in die Hydrosphäre und den Boden nicht auszuschließen sind (z. B. Auswaschen durch Regen). Aufbauend auf der Annahme, dass ein spezifischer Anteil sämtlicher Güter in die Atmosphäre bzw. den Boden und ein spezifischer Anteil pro Jahr aus den Gütern ausgewaschen wird (Buser und Morf, 2009), wurde die Quantifizierung für sämtliche Güter durchgeführt.

Im Zuge der Massenbilanzen wurde ein Emissionsfaktor zur Quantifizierung der jährlichen Frachten an PFOA sowie PFOS für sämtliche Güter der Untersuchungsgebiete erstellt. Die Vorgehensweise erfolgte anhand mehrerer Schritte:

- I. Ermittlung der Stoffkonzentration an perfluorierten Tensiden in einem neuwertigen Gut

- II. Bestimmung der Produktlebensdauer
- III. Berechnung der logarithmischen Emissionsmenge
- IV. Ermittlung der eingesetzten Menge an verwendeten Baumaterialien, chemischen Konsumentenprodukten und Baustellenmaterialien und -produkten
- V. Bestimmung der exponierten Lagermenge
- VI. Berechnung der kumulierten Jahresfracht an perfluorierten Tensiden abzüglich der Verdunstung und unter Berücksichtigung der relativen Verwendungshäufigkeit der Güter bei Regenereignissen

Der Emissionsfaktor bildet die kumuliert emittierte Stoffmasse eines Gutes (in  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  oder  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) als Funktion des kumulierten Volumens an Ablaufwasser (in  $\text{l}/\text{m}^2$ ) ab. Die zeitliche Dynamik des Stofftransports (in den Regenwasserkanal, den Boden und die Atmosphäre) ist abhängig von der zeitabhängigen Emission aus dem Gut (gegeben mittels dem Emissionsfaktor) abzüglich der Abflussrate und einer möglichen Abbaurate (Tietje et. al., 2018).

Zur Berechnung der kumulativen abgeflossenen Frachten an perfluorierten Tensiden eines Gutes wurde der logarithmische Emissionsfaktor  $E_{\log,ik}$  in Anlehnung an die logarithmische Emissionsfunktion von Tietje et. al. (2018) gebildet. Die Funktion stellt die Abhängigkeit der Stoffemission mit dem natürlichen Logarithmus der kumulativen Wassermenge  $q$  (t) (in  $\text{l}/\text{m}^2$ ) dar. In der Publikation wurde die logarithmische Emissionsfunktion lediglich für Bauprodukte angewandt. Nachdem sich die logarithmische Abnahme der Stoffkonzentration perfluorierter Tenside in einem neuwertigen Gut pro Jahr Annahmen zufolge für alle analysierten Güter gleich verhalten müsste, wird die Funktion in dieser Arbeit auch für alle anderen Güter angewandt. Diese lautet wie folgt:

$$E_{\log,ik} = c_{0,jk} * a_{char,j} * \ln\left(1 + 1,72 * \frac{q_i}{q_{char}}\right) \quad (1)$$

$c_{0,jk}$  = Stoffkonzentration an perfluorierten Tensiden (j) in einem neuwertigen Gut (k) [ $\mu\text{g}/\text{kg}$  oder  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ];  $q_i$  = kumulierte Wassermenge pro Gebiet (i) [ $\text{l}/\text{m}^2$ ];  $a_{char,j}$  = jener Stoffanteil (j), der aus dem Gut (k) ausgewaschen wird, wenn die charakteristische Abflussmenge  $q_{char}$  erreicht wurde [ $\text{a}^{-1}$ ].  $a_{char,j}$  wird auch nachfolgend als charakteristischer Stoffanteil bezeichnet. Um den Zusammenhang dieser Parameter zu verdeutlichen, lässt sich Folgendes sagen: Ist  $a_{char,j} = 0,5$ , dann ist  $q_{char}$  ( $\text{l}/\text{m}^2$ ) der Halbwertsabfluss, also jene Wassermenge nach deren Abfluss an beispielsweise der Fassade die Hälfte der applizierten Stoffmenge emittiert ist. Um die jährliche Abnutzung der unterschiedlichen Güter durch Regenereignisse zu charakterisieren, wurde  $a_{char,j}$  mithilfe des Kehrwerts der Produktlebensdauer abgeschätzt. Aus diesem Grund wird die Einheit der charakteristischen Stoffmenge nicht in % ausgewiesen, sondern in  $\text{a}^{-1}$ . Die Einheit von  $E_{\log,ik}$  ist folglich nicht mehr  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  bzw.  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , diese wird nun in  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{a}$  bzw.  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{a}$  angegeben. Die Konstante 1,72 ist der gerundete Wert von  $e - 1$  ( $e$  = Eulersche Zahl). Als  $q_i$  wurde der gebietsspezifische Jahresniederschlag definiert. Dadurch konnte eine gebietsabhängige Auswaschung berücksichtigt werden. Für  $q_{char}$  wurde der mittlere österreichische Jahresniederschlag mit  $1.103 \text{ l}/\text{m}^2$  aufgrund des Vergleichs der letzten zehn österreichischen hydrographischen Jahrbücher bestimmt (BMNT, 2019; BMNT, 2018; BMNT, 2017; BMNT, 2015; BMNT, 2014; BMNT, 2013; BMNT, 2012; BMNT, 2011; BMNT, 2010; BMNT, 2009).

In einem nächsten Schritt wurde die exponierte Lagermenge pro Gut ( $E_{ijk}$ ), das theoretisch ermittelte Stofffrachtpotential aller Kategorien außer der Baumaterialien mithilfe der Einwohner- oder Bauarbeiteranzahl sowie dem logarithmischen Emissionsfaktor wie folgt berechnet:

$$E_{ijk} = E_{\log,ik} * m_{ik} \quad (2)$$

$E_{ijk}$  = Gesamtemissionen perfluorierter Tenside (j) eines Gebiets (i) pro Gut (k) [ $\text{mg}/\text{a}$ ];  $E_{\log,ik}$  = logarithmischer Emissionsfaktor [ $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{a}$ ];  $m_{ik}$  = Gesamtmenge pro Gut (k) im Gebiet (i) [ $\text{kg}$ ].

Für Baumaterialien kann analog folgende Formel angewendet werden:

$$E_{ijk} = E_{log,ik} * A_{ki} \quad (3)$$

$E_{ijk}$  = Gesamtemissionen perfluorierter Tenside (j) eines Gebiets (i) pro Baumaterial (k) [mg/a];  $A_{ki}$  = Quadratmeter an verbautem Baumaterial (k) pro Gebiet (i) [m<sup>2</sup>];  $E_{log,ik}$  = logarithmischer Emissionsfaktor [ $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{a}$ ].

Aufgrund der Berücksichtigung der Abbaurate als Verdunstung werden 10% der exponierten Lagermenge pro Produkt in die Atmosphäre eingetragen, außer bei alkalischen Reinigungsmitteln, da bei diesem Gut keine Verdunstung berücksichtigt wird. Die Berechnung erfolgt folgendermaßen:

$$E_{At,ijk} = E_{ijk} * 10\% \quad (4)$$

$E_{At,ijk}$  = kumulierte Abbaurate an perfluorierten Tensiden (j) pro Gut (k) pro Gebiet (i) [mg/a].

Die verbleibenden 90% gelangen unter Berücksichtigung der relativen Verwendungshäufigkeit der Produkte bei Regenereignissen ( $h_k$ ) [%] wie folgt zum Abfluss:

$$E_{R,ijk} = E_{ijk} * 90\% * h_k \quad (5)$$

$E_{R,ijk}$  = kumulierte Abflussrate an perfluorierten Tensiden (j) pro Gut (k) [mg/a].

Die kumulierte Jahresfracht an perfluorierten Tensiden (j) pro Gut (k) pro Gebiet ( $E_{A,jk}$ ) [mg/a] berechnet sich wie folgt:

$$E_{A,ijk} = E_{R,ijk} + E_{At,ijk} \quad (6)$$

Im Rahmen der Quantifizierung wurden sämtliche Ergebnisse auf mindestens drei signifikante Stellen gerundet, während bei der Stoffflussanalyse auf zwei signifikante Stellen gerundet wurde. Allgemein wurde, sofern eine Wertespanne der literaturbasierten Konzentration angegeben war, der Mittelwert aus dem Minimal- und Maximalwert der Messergebnisse für die Quantifizierung definiert. Wenn also z.B. die PFOS-Konzentration der Außenwandfarbe von 4,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  bis 5,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  reichte, wurde ein Wert von 5,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  definiert. Sofern lediglich eine Maximalkonzentration gegeben war, wurde der Mittelwert zwischen dieser und dem Wert Null gebildet. War die Konzentration ohne einen Wertintervall angegeben, so wurde dieser Wert direkt übernommen.

Im Zuge der Identifikation konnten insgesamt sieben verschiedene Kategorien klassifiziert werden, von denen ausgegangen wird, dass sie bei Regenereignissen in die unterschiedlichen Kanäle eingewaschen werden. Diese sind: Baumaterialien, Freizeitbekleidung, Sonnencremen, alkalische Reinigungsmittel, Baustellen, Reste von Feuerlöschschäumen und Straßenstaub.

### 2.2.1. Baumaterialien

Zur Bestimmung der Konzentrationen an perfluorierten Tensiden in Baumaterialien wurde zunächst die im Juni 2019 veröffentlichte Publikation von Janousek et. al. (2019) zurate gezogen. Diese listet sämtliche Baumaterialien ohne Konzentrationsangaben auf, sodass eine Quantifizierung auf Basis dieser Publikation nicht möglich gewesen wäre. Nach Auskunft eines mitwirkenden Autors werden die ermittelten Daten erst nach Fertigstellung dieser Arbeit veröffentlicht werden, da zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch an der Quantifizierung sowie Existenz der einzelnen Stoffe in verschiedenen Baumaterialien geforscht wird. Tabelle 16 schlüsselt alle eingesetzten Baumaterialien auf, welche gemäß Janousek et. al. (2019) PFOA enthalten sollten.

Tabelle 16: Überblick der nachgewiesenen Perfluortensidverbindungen in Baumaterialien (Janousek et. al., 2019)

Baumaterial	nachgewiesene Stoffgruppe
Teflonbeschichtungen für architektonische Zwecke	PFCAs (C4–C14)
Folien (ETFE/PTEE für Fassaden oder Glassubstitute)	PFCAs (C4–C14)

Für die Quantifizierung der Kategorie „Baumaterialien“ wurden daher die Forschungsergebnisse von Becanova et. al. (2016), Scheckenbach und Walter (2014) und Herzke et. al. (2012) verwendet. Becanova et. al. (2016) zufolge gibt es keinerlei Beschränkungen für PFOS in Gebäudematerialien. Die berücksichtigten Baumaterialien sind Außenputz, Außenwandfarben sowie Lackbeschichtungen von Blechdächern, Fenster- und Türrahmen und Fensterbänken. Im Allgemeinen wurde die Unsicherheit der Konzentration perfluorierter Tenside in Baumaterialien aufgrund der gegebenen Vermessungsungenauigkeit die im Abschnitt 2.1.3.2. erwähnt wurde und der Ungewissheit ob bei weiteren Messungen die Konzentrationen ähnlich ausfallen würden, da lediglich die Publikation von Becanova et. al. (2016) Konzentrationen in Baumaterialien aufwies, mit  $\pm 30\%$  angenommen.

Tabelle 17 zeigt die Stoffkonzentrationen der unterschiedlichen Baumaterialien und deren charakteristische Stoffanteile.

Tabelle 17: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen und der charakteristischen Stoffanteile der Kategorie „Baumaterialien“

Baumaterialien		
	PFOA-Konzentrationen in einem neuwertigen Gut [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	charakteristischer Stoffanteil
Lackbeschichtungen von Blechdächern (Scheckenbach und Walter, 2014)	$14,71 \pm 30\%$	0,050
Lacke für Fenster- und Türenbeschichtung (Scheckenbach und Walter, 2014)	$3,75 \pm 30\%$	0,060
	PFOS-Konzentrationen in einem neuwertigen Gut [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	charakteristischer Stoffanteil
Außenputz (Becanova et. al., 2016)	$36,90 \pm 40\%$	0,043
Außenwandfarben (Herzke et. al., 2012)	$12,99 \pm 30\%$	0,043

Der Stoffgehalt in einem neuwertigen Gut ( $c_{0,jk}$ ) [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ] wurde aus der literaturbasierten Konzentration ( $c_{l,jk}$ ) [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] wie folgt berechnet:

$$c_{0,jk} = c_{l,jk} * u_k \quad (7)$$

$u_k$  = produktspezifische Herstellerangabe an benötigtem Material pro  $\text{m}^2$  [ $\text{kg}/\text{m}^2$  oder  $1/\text{m}^2$ ].

Bei Außenwandfarben musste neben den Herstellerangaben die Dichte des Baustoffes ( $\rho_k$ ) [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ] multiplikativ berücksichtigt werden:

$$u_k = u_H * \rho_k \quad (8)$$

#### 2.2.1.1. Außenputz

Bei dem Außenputz ist davon auszugehen, dass nur dieser mit dem Regen in Berührung kommt. Aufgrund der darüber aufgetragenen Wandfarbe wird jedoch angenommen, dass nur ein bestimmter Anteil exponiert wird. Der Anteil an exponiertem Außenputz wurde mit 20% der Gesamtfläche aller gebietspezifischen Gebäude festgelegt. Laut Herstellerangaben kann bei einem Außenputz von 2 mm mit einer Menge von 25 kg eine Fläche von 8,3  $\text{m}^2$  aufgetragen werden (Werkmit beotol Werkzeuge GmbH, 2019). Zum Verputz eines Quadratmeters werden 3,01 kg an Außenputz benötigt. Zur Quantifizierung der PFOS-Konzentration wurde der Mittelwert aus Minimum und Maximum der empirischen Untersuchungen von Becanova et. al. (2016) (0 - 24,5  $\mu\text{g}$  PFOS/kg) gebildet. Die berücksichtigte Konzentration an PFOS entspricht somit 12,25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Die allgemeine Unsicherheit

für Baumaterialien wurde mit 30% bestimmt. Nachdem der Anteil an exponiertem Außenputz abgeschätzt ist, wurde eine zusätzliche 10-prozentige Unsicherheit berücksichtigt. Pro m<sup>2</sup> Außenputz konnten daher 36,90 µg ± 40% an PFOS bestimmt werden.

#### 2.2.1.2. Außenwandfarbe

Hochfluorierte Substanzen wie u.a. PFOS können KEMI (2015) zufolge als Bestandteil von Farben auftreten. Diese sollen eine Verbesserung der Benetzung und Glätte sowie des Fließens bewirken. Weiters sorgen perfluorierte Tenside dafür, dass die Oberflächenspannung in den Farben verringert wird, sodass die gesamte Oberfläche, auf welcher die Farbe aufgetragen wird, benetzt wird (KEMI, 2015). Nachweise der Stoffe wurden beispielsweise in Wetterschutzfarben und -lacken zum Schutz vor Verschmutzung von Häuserfassaden gefunden (UMWELTBUNDESAMT, 2018). Für den Anstrich von 6 m<sup>2</sup> Außenwand werden 10 l an Wandfarbe benötigt (Hornbach, 2019). Um einen Quadratmeter zu streichen sind folglich 1,67 l vonnöten. Insgesamt müssen 2,45 kg an Farbe pro m<sup>2</sup> Außenwandanstrich bei einer durchschnittlichen Dichte von 1,47 kg/dm<sup>3</sup> (Hornbach, 2019) aufgebracht werden. Laut Herzke et. al. (2012) beträgt die Menge an PFOS in den Wandfarben 4,8 - 5,8 µg/kg. Für die Kalkulationen wurde der Mittelwert von 5,3 µg/kg gewählt. Dieser wurde mit dem Gewicht der Farbe multipliziert. Dadurch wurde eine PFOS-Konzentration von 12,99 µg ± 30% pro m<sup>2</sup> Außenwandfarbe bestimmt.

#### 2.2.1.3. Lackbeschichtungen von Blechdächern

Harada et. al. (2005) zufolge wird Teflon, welches PFOA im Herstellungsprozess enthält, für Farbversiegelungsbehandlungen verwendet. Im Zuge der Quantifizierung wird festgelegt, dass die Oberflächen sämtlicher Blechdächer (z.B. Dachverblechungen von Hochhäusern, standardisierten Einfamilienhäusern oder auch Terrassen) in allen Untersuchungsgebieten mit einem Lackstoff beschichtet wurden. Gemäß Herstellerangaben können mit 12,5 l Lackstoff 42,5 m<sup>2</sup> gestrichen werden (Hornbach, 2019). Für einen Quadratmeter werden somit 0,29 l benötigt. Scheckenbach und Walter (2014) sowie Washburn et. al. (2005) zufolge entspricht der PFO<sup>3</sup>-Latexwert von verkaufsfertigen Lackfarben 0,02 - 0,08 mg/l. Mittels der Multiplikation von 0,05 mg/l und der Menge an Lackbeschichtungen pro Quadratmeter konnte eine PFOA-Konzentration von 14,71 µg ± 30% pro m<sup>2</sup> Blechdach ermittelt werden.

#### 2.2.1.4. Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken

Auch bei Türen, Fenstern sowie Fensterbänken werden Lackbeschichtungen zur Farbversiegelungsbehandlung bei Metallfenstern und -türen als Witterungsschutz eingesetzt (Harada et. al., 2005). Gemäß Herstellerangaben (Alpina Farben, 2019) können mit 300 ml an Weißlack 4 m<sup>2</sup> gestrichen werden. Zur Beschichtung eines Quadratmeters werden somit 0,075 l Lack benötigt. Bei der Quantifizierung der PFOA-Konzentration wurde der PFO-Latexwert von verkaufsfertigen Lackfarben von 0,05 mg/l von Scheckenbach und Walter (2014) verwendet. Analog zu den vorherigen Rechnungen konnte somit auf eine PFOA-Konzentration von 3,75 µg/m<sup>2</sup> ± 30% in Lack geschlossen werden.

Zur Abschätzung der verbauten Fenster- und Türmaterialien wurde die Konjunkturstatistik im produzierenden Bereich (Hirsch und Milota, 2008) herangezogen. Anhand der veröffentlichten Absatzzahlen der unterschiedlichen Materialien konnte auf einen Anteil von 18% an verkauften Metallfenster und -türen geschlossen werden. Bei der Emissionsabschätzung der Baumaterialien wurde angenommen, dass sich die meisten Gebäude schon seit einigen Jahren im Bestand der einzelnen Gebiete befinden. Nachdem die Nutzung von Gebäuden üblicherweise über lange Zeiträume erfolgt, bedarf es nach einigen Jahren aufgrund der Witterungsbeanspruchung verschiedener Umwelteinflüsse wie beispielsweise Regen oder Schnee einer umfassenden Sanierung im Zuge der Instandhaltung von Gebäuden (Schranz und Jodl, 2012). Zur Abschätzung der Produktlebensdauer der verwendeten Baumaterialien wurde nach der durchschnittlichen Häufigkeit von Gebäudesanierungen recherchiert. Der Zeitpunkt der Sanierung unterscheidet sich für jedes verwendete Baumaterial. Im Durchschnitt wird gemäß dem KfW, Energie-Effizienz-Experten, Das Haus, Dena, verbraucherzentrale.de und daemmen-und-sanieren.de die

---

<sup>3</sup> PFO ist das Anion der Perfluoroktansäure PFOA (Scheckenbach und Walter, 2014)

Gebäudefassade nach 20 Jahren sanierungsfällig (Sparkasse-Leben, 2019). Der Quelle Immobilienscout24 (2020) zufolge wird erst nach 20-30 Jahren ein neuer Außenputz sowie Anstrich benötigt. Für die Berechnung des charakteristischen Stoffanteils wird ein mittlerer Wert der beiden Quellen von 23 Jahren verwendet. Wartungen an Fenstern sollten Schranz und Jodl (2012) zufolge durchschnittlich alle 4 Jahre erfolgen. Gemäß der Sparkasse-Leben (2019) sollte die Wartung von Türen alle 30 Jahre durchgeführt werden. Für die abgeschätzte Lebensdauer der Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken wurde anhand der vorliegenden Informationen der Mittelwert von 17 Jahren gewählt. Erfahrungen aus der Praxis haben gemäß Stahr und Hinz (2011) gezeigt, dass Blechdachflächen nach etwa 20 Jahren sanierungsbedürftig werden. Der charakteristische Stoffanteil von Außenputz und Außenwandfarben beträgt 0,043. Für Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken wurde dieser mit 0,060 angenommen. Der charakteristische Stoffanteil der Lackbeschichtungen von Blechdächern wurde mit 0,050 bestimmt.

Im nächsten Schritt wurde die Menge an verwendeten Baumaterialien für jedes Siedlungsgebiet bestimmt.

Basierend auf der mittels *QGIS* ermittelten Anzahl an Einfamilienhäusern und standardisierten Gesamtfläche der Fassade, welche 261 m<sup>2</sup> abzüglich Fenster und Türen beträgt, konnte mit den vermessenen Quadratmetern aller Hochhäuser die Gesamtfläche an Außenputz und Außenwandfarbe gemäß folgender Formel errechnet werden:

$$A_{M,i} = \sum A_{MH,i} + (n_{E,i} * A_{ME,i}) \quad (9)$$

$A_{M,i}$  = Gesamtmantelfläche des Außenputz und der Außenwandfarbe [m<sup>2</sup>] aller Einfamilienhäuser und Hochhäuser pro Gebiet (i);  $A_{MH,i}$  = Gesamtmantelfläche aller Hochhäuser pro Gebiet (i) [m<sup>2</sup>];  $n_{E,i}$  = Gesamtanzahl aller Einfamilienhäuser pro Gebiet (i) [-];  $A_{ME,i}$  = Gesamtmantelfläche eines standardisierten Einfamilienhauses pro Gebiet (i) [m<sup>2</sup>].

Bei der Quantifizierung der Blechdachlackbeschichtungen wurde ausschließlich mit den Flächen der Blechdächer gerechnet. So konnte anhand der *QGIS*-Vermessungen die Gesamtfläche an Blechdachlackbeschichtungen wie folgt berechnet werden:

$$A_{DHE,i} = \sum A_{DH,i} + (n_{E,i} * A_{DE,i}) \quad (10)$$

$A_{DHE,i}$  = Gesamtdachfläche aller Einfamilienhäuser und Hochhäuser pro Gebiet (i) der Blechdachlackbeschichtungen [m<sup>2</sup>];  $A_{DH,i}$  = Gesamtdachfläche aller Hochhäuser pro Gebiet (i) [m<sup>2</sup>];  $n_{E,i}$  = Gesamtanzahl aller Einfamilienhäuser pro Gebiet (i) [-];  $A_{DE,i}$  = Gesamtdachfläche eines standardisierten Einfamilienhauses pro Gebiet (i) [m<sup>2</sup>].

Die Beschichtungsbreite der Fensterbeschichtung aller Gebäude wurde mit 0,1 m angenommen. Für die Abmessungen eines standardisierten Einfamilienhauses ergeben sich folgende Resultate: Aufgrund der Höhe von 1,2 m und der Breite von 1,1 m eines Fensters beträgt die Beschichtungsfläche 0,5 m<sup>2</sup> pro Fenster. Pro Fensterbank mit einer Breite von 1,1 m und einer Länge von 0,3 m wird eine Lackflächenbeschichtung von 0,33 m<sup>2</sup> berechnet. Die Breite von Türen wurde mit 0,95 m, die Höhe mit 2 m und die Beschichtungsbreite mit 0,1 m festgelegt. Die beschichtete Fläche von Türen entspricht somit 0,315 m<sup>2</sup>. Tabelle 18 zeigt die ermittelten Türen-, Fenster- und Fensterbanklackbeschichtungen unterschiedlicher Tür- und Fensterarten aller Hochhäuser:

Tabelle 18: Darstellung der Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbankbeschichtungen unterschiedlicher Tür- und Fensterarten

	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Türrahmenbeschichtung	5,0	3,0	0,82
Fensterrahmenbeschichtung	1,2	3,0	0,88
Fensterbankbeschichtung	1,2	0,3	0,36
Fensterrahmenbeschichtung	1,1	2,5	0,76
Fensterbankbeschichtung	1,1	0,3	0,33
Fensterrahmenbeschichtung	1,2	1,8	0,64
Fensterbankbeschichtung	1,2	0,3	0,36
Fensterrahmenbeschichtung	3,1	5,5	1,76
Fensterbankbeschichtung	3,1	0,3	0,93

Die Ermittlung der Fläche an Lackbeschichtungen für Türrahmen eines Gebiets  $A_{TR,i}$  [m<sup>2</sup>] berechnet sich wie folgt:

$$A_{TR,i} = 2 * h_i * b_B + (b_i + 2 * b_B) * b_B \quad (11)$$

$A_{TR,i}$  = zu lackierende Fläche der Türrahmen (i) [m<sup>2</sup>];  $h_i$  = Höhe eines Fensters, einer Türe oder Fensterbank (i) [m];  $b_i$  = Breite eines Fensters, einer Türe oder Fensterbank (i) [m];  $b_B$  = Beschichtungsbreite [m].

Die Berechnung der Fläche an Lackbeschichtungen für Fensterrahmen eines Gebiets  $A_{FR,i}$  [m<sup>2</sup>] erfolgt anhand folgender Formel:

$$A_{FR,i} = ((h_i + 2 * b_B) * (b_i + 2 * b_B)) - (h_i * b_i) \quad (12)$$

Die Ermittlung der Fläche an Lackbeschichtungen für Fensterbänke eines Gebiets  $A_{FB,i}$  [m<sup>2</sup>] erfolgt gemäß:

$$A_{FB,i} = h_i * (b_i + 2 * b_B) \quad (13)$$

Insgesamt konnte so die Gesamtfläche an Lackbeschichtungen für Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänke  $A_{FT}$  [m<sup>2</sup>] folgendermaßen berechnet werden:

$$A_{FT} = \sum A_{TR,i} * n_{T,i} + \sum A_{FR,i} * n_{Fi} + \sum A_{FB,i} * n_{Fi} \quad (14)$$

$n_{T,i}$  = Anzahl an Fenstern in Gebiet (i) [-];  $n_{Fi}$  = Anzahl an Türen in Gebiet (i) je Türart [-].

### 2.2.2. Freizeitbekleidung

Im Jahr 2006 verpflichteten sich acht große Fluorchemiehersteller dazu, sämtliche PFOA-Emissionen und Rückstände in ihren Produkten bis 2010 um 95 % zu senken (Kallee und Santen, 2012). Trotz deren Reduktionsverpflichtungen konnten von 2012 bis 2015 bei unterschiedlichen empirischen Untersuchungen in Outdoor-Jacken, Outdoor-Hosen sowie Outdoor-Schuhen und Lederwaren immer wieder PFOA und PFOS in Kleidungsstücken nachgewiesen werden. So wurden die beiden Stoffe beispielsweise im Jahr 2012 in sämtlichen von Kallee und Santen untersuchten Schuhen, Hosen und in neun der elf getesteten Jacken nachgewiesen. Die gemessenen Konzentrationen lagen ausnahmslos über dem Grenzwert von 1 µg/m<sup>2</sup> und dies obwohl bei dem Produkttest festgestellt werden konnte, dass Jacken auch ohne perfluorierte Tenside hergestellt werden könnten (Kallee und Santen, 2012). Produkttests von Kotthoff et. al. (2015) ermittelten 35,37 µg/kg an PFOS und 41,03 µg/kg an PFOA in Outdoor-Textilien. Eine weitere Studie von Knepper et. al. (2014) wies bei 14 von 16 untersuchten Jacken einen durchschnittlichen PFOA-Gehalt von 4,7 µg/kg nach. Es ist davon auszugehen, dass alle BewohnerInnen in den Untersuchungsgebieten diese Kleidungsstücke besitzen und sie bei Regenereignissen tragen. Daher ist deren Betrachtung als potentielle Eintragsquelle für alle vier Siedlungsgebiete von entscheidender Bedeutung.

Für die Quantifizierung musste  $a_{char,j}$  mithilfe der Produktlebensdauer der einzelnen Bekleidungsstücke ermittelt werden. Dönnebrink (1998) zufolge wurde die durchschnittliche Nutzungsdauer von Mänteln mit 6,5 Jahren und jene von Anoraks und Blousons mit 5 Jahren festgelegt. Gemäß der Umfrage von Wiesner et. al. (2015) beträgt die Nutzungsdauer von Winterjacken und Mänteln 3,9 Jahre. Die Nutzungsdauer von Outdoor-Jacken wurde folglich mit 5 Jahren bestimmt. Für Outdoor-Hosen wurde die Nutzungsdauer von Hosen außer Jeans von 3,7 Jahren übernommen (Dönnebrink, 1998). Die Nutzungsdauer von Schuhen wurde mithilfe von Abschätzungen mit 3 Jahren bestimmt. Die Lebensdauer von Lederwaren wird etwas höher abgeschätzt. Diese beträgt bei Lederschuhen 5 Jahre und bei Lederjacken 7 Jahre. Im Allgemeinen wurde für wetterfeste Bekleidung eine geringe Unsicherheit von 5% gewählt. Diese Annahme basiert auf den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen, denen zufolge von 2012 bis 2015 immer wieder PFOA sowie PFOS in den analysierten Produkten nachgewiesen wurden. Die höhere Unsicherheit von Lederwaren (30%) wurde aufgrund der erhöhten Konzentration von PFOS im Gegensatz zu jener Konzentration von wetterfester Bekleidung bestimmt. Infolge fehlender Konzentrationsmessungen von Lederjacken und -schuhen könnte die durch empirische Untersuchungen nachgewiesene Menge von Lederbekleidung eventuell geringer ausgefallen sein als bisher angenommen. Nach Briemann et. al. (2018) sollte sich der PFT-Anteil in Kleidungsstücken zukünftig wesentlich verringern, da voraussichtlich 2020 neue Regulierungen in Kraft treten werden.

Tabelle 19 listet die berechneten PFOA- und PFOS-Konzentrationen aller untersuchten Freizeitbekleidungsstücke sowie die charakteristischen Stoffanteile auf. Um die Resultate besser nachvollziehen zu können, werden die ermittelten PFOA- und PFOS-Konzentration im nächsten Abschnitt für jedes Gut einzeln beschrieben.

*Tabelle 19: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen in neuwertigen Freizeitbekleidungsgegenständen und deren charakteristische Stoffanteile*

<b>Freizeitbekleidung</b>		
	<b>PFOA-Konzentration in einem neuwertigen Gut [µg/kg]</b>	<b>charakteristischer Stoffanteil</b>
Outdoor-Jacken (Kallee und Santen, 2013)	36,61 ± 5%	0,2000
Outdoor-Hosen (Kotthoff et. al., 2015)	41,03 ± 5%	0,2703
Outdoor-Schuhe (Kotthoff et. al., 2015)	41,03 ± 5%	0,3333
	<b>PFOS-Konzentration in einem neuwertigen Gut [µg/kg]</b>	<b>charakteristischer Stoffanteil</b>
Outdoor-Jacken (Kallee und Santen, 2013)	36,61 ± 5%	0,2000
Outdoor-Hosen (Kotthoff et. al., 2015)	35,37 ± 5%	0,2703
Outdoor-Schuhe (Kotthoff et. al., 2015)	35,37 ± 5%	0,3333
Lederjacken (EU-VO 2019/1021)	5.000 ± 30%	0,1400
Lederschuhe (EU-VO 2019/1021)	5.000 ± 30%	0,2000

#### 2.2.2.1. Outdoor-Jacken

Infolge empirischer Untersuchungen von Kallee und Santen (2013) sowie Knepper et. al. (2014) konnte gezeigt werden, dass sich perfluorierte Tenside bei der gegenwärtigen Produktpraxis in Outdoor-Jacken wie u.a. in Regenjacken, Softshell-Jacken und regenabweisenden Winterjacken offenbar schwer vermeiden lassen. Der Grund dafür ist, dass eine saubere Produktion ohne den Einsatz PFT-kontaminierter Produktionsstätten oder Chemikalien eine Herausforderung darstellt. Dies bestätigen 17 Produktproben der Marken Salewa, Kaikkialla, Northland, Mammut, Jack Wolfskin, The North Face, Vaude, Patagonia, Schöffel, Seven Summits, Columbia und Adidas aus dem Jahr 2013, in denen allesamt PFT nachgewiesen wurden. Im Durchschnitt betrug die gesamte PFT-Konzentration der untersuchten Outdoor-Jacken 36,61 µg/kg (Kallee und Santen, 2013). Im Laufe der Recherche wurden weitere empirische Resultate von Knepper et. al. (2014) mit einer durchschnittlichen PFOA-Konzentration von 4,7 µg/kg in Outdoor-Jacken erhoben. Nachdem diese Studie jedoch lediglich die PFOA-Konzentration auflistet, werden die Untersuchungsergebnisse von Kallee und Santen (2013) für die Quantifizierung der Outdoor-Jacken berücksichtigt. Um das Gewicht von Outdoor-Jacken abschätzen zu können, wurden sechs unterschiedliche Outdoor-Jacken derselben Marken wie jene der Produktproben mittels zwei verschiedenen Online-

Shoppingportalen (Globetrotter und Bergfreunde) verglichen. Tabelle 42 zeigt die ermittelten Gewichte verschiedener Kinder-, Damen- und Herrenübergangs- sowie Winterjacken. Bei diesem Vergleich wurde ein durchschnittliches Gewicht von 0,87 kg ermittelt. Anhand der Online-Umfrage konnte gezeigt werden, dass 80% der Befragten bei 54% aller Regenereignisse Outdoor-Jacken tragen.

#### 2.2.2.2. Outdoor-Hosen

Für Outdoor-Hosen wie u.a. Wander-, Regen- und Schihosen konnte unter Berücksichtigung sechs verschiedener Produkte der Marken Vaude, Mammut, The North Face, wie in Tabelle 42 ersichtlich, auf ein durchschnittliches Gewicht von 0,50 kg geschlossen werden. Zur Berechnung der Konzentrationen an perfluorierten Tensiden in Outdoor-Hosen wurden die Konzentrationen von 35,37 µg/kg an PFOS und 41,03 µg/kg an PFOA von Kotthoff et. al. (2015) übernommen. Der Einsatz von Outdoor-Hosen ist laut 89% der ProbandInnen marginal, da diese lediglich bei 14% aller Niederschläge getragen werden.

#### 2.2.2.3. Outdoor-Schuhe

Auch für Outdoor-Schuhe wurde angenommen, dass diese perfluorierte Tenside enthalten. Nachdem u.a. erhöhte PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen in dem Textilobermaterial von Fußballschuhen in der von Greenpeace durchgeführten Studie nachgewiesen wurden (Cobbing und Brodde, 2014). Zur Bestimmung der produktspezifischen Frachten wurden die Konzentrationen von Outdoor-Textilien von 35,37 µg/kg an PFOS und 41,03 µg/kg an PFOA übernommen (Kotthoff et. al., 2015). Anhand des Vergleichs sechs verschiedener Outdoor-Schuhpaare (Wanderschuhe und Gummistiefel) der Onlineanbieter Globetrotter (2019) und Bergfreunde (2019) wurde auf ein durchschnittliches Gewicht von 1,32 kg geschlossen. Outdoor-Schuhe kommen bei 90% aller Befragten der Online-Umfrage an 34% aller Regentage zur Anwendung.

#### 2.2.2.4. Lederwaren

PFOS wurden lange Zeit zur Imprägnierung von Möbelleder, Schuhleder, Bekleidungs- und Taschenleder (jeweils zu Anteilen von 70, 20 und 10 Prozent) gegen Flecken verwendet. Nach dem freiwilligen Ausstieg des Unternehmens 3M (Hauptproduzent von PFOS-Produkten) aus der PFOS-Erzeugung im Jahr 2002 ist anzunehmen, dass die Oberflächenbehandlung von Lederwaren in Europa in den darauffolgenden Jahren keine bis sehr geringe Mengen an PFOS aufweist. Allerdings werden Schuhe und Jacken zu einem großen Teil in Asien hergestellt. Daher ist es möglich, dass bei deren Produktion PFOS noch immer zum Einsatz kommt (Zangl et. al., 2012). Im Zuge der Messungen von Kissa (2001) wurden PFOS-Konzentrationen von 0,025-0,05 Gew.-% bei Lederwaren nachgewiesen. Für die Ermittlung der PFOS-Konzentration eines Lederschuhs sowie einer Lederjacke wurde der Mittelwert zwischen Minimum und Maximum von 0,0375 Gew.-% genommen. Eine Lederjacke wiegt im Durchschnitt 2,1 kg. Diese Annahme resultiert aus den Vergleichen zweier Produkttests (Motorradonline, 2019) und der Auskunft einer Wiener Ledermanufaktur. Angesichts der Rücksprache mit der Wiener Ledermanufaktur konnte bestimmt werden, dass diese in etwa zu 50% aus Leder und zu 50% aus anderen Stoffmaterialien bestehen. Um den tatsächlichen Lederanteil von Lederjacken berücksichtigen zu können, wurde für nachfolgende Berechnungen das Gewicht um die Hälfte reduziert. Dieses beträgt somit nur noch 1,05 kg. Grundsätzlich besteht ein Lederschuh aus vielen verschiedenen Materialien, dessen Lederanteil je nach Schuhtyp stark variieren kann (Schröter, 1995). Auch bei diesem Gut wurde Rücksprache mit der Wiener Ledermanufaktur gehalten und auf ein durchschnittliches Gewicht von einem Kilogramm pro Schuhpaar geschlossen.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die PFOS-Konzentration in den letzten Jahren drastisch reduzierte. Einerseits, da die empirischen Messungen aus dem Jahr 2001 stammen. Andererseits ist von einer Reduktion angesichts des Ausstiegs des Unternehmens 3M sowie der Neufassung der Verordnung für persistente organische Schadstoffe (EG-VO Nr. 850/2004), welche am 20. Juni 2019 im gesamten europäischen Raum in Kraft trat auszugehen. Weiters weist gemäß Buser und Morf (2009) nicht jeder Lederschuh PFOS auf. Daher wird angenommen, dass nur noch jedes zehnte Lederprodukt PFOS enthält und Produzenten versuchen, den Gehaltsangaben der PFOS-Konzentration von weniger als 0,001 Gew.-% gerecht zu werden (EU-VO 2019/1021).

Nachdem diese Gewichtsangabe den Maximalwert bildet, wird davon ausgegangen, dass der Minimalwert bei 0 liegt. Für die Kalkulationen wurden daher 0,0005 Gew.-% verwendet. Unter Berücksichtigung dieser Information wurden die empirisch ermittelten Ergebnisse von Kissa (2001) vernachlässigt und die PFOS-Konzentration sämtlicher Lederwaren mit  $5.000 \mu\text{g}/\text{kg} \pm 30\%$  berechnet. Die Verwendungshäufigkeit von Lederjacken ist im Vergleich zu allen anderen Produkten laut 90% aller Befragten am marginalsten. Der Umfrage zufolge sind die ProbandInnen lediglich bei 9,3% aller jährlichen Niederschläge mit dieser bekleidet. Der Gebrauch von Lederschuhen ist etwas höher ausgefallen, da 84% der ProbandInnen angaben, diese bei 30% der Regenereignisse zu tragen.

### 2.2.3. Sonnencremen

Im Zuge der empirischen Untersuchungen des KEMI (2015) wurde bei acht von neun Sonnencremen eine maximale PFOA-Konzentration von  $19 \mu\text{g}/\text{g}$  an perfluorierten Tensiden nachgewiesen. Daher wurde der Eintrag von Sonnencremen als potentielle Quelle der vier Siedlungsgebiete angesehen. Für die Berechnungen der PFOA-Konzentration wurden zur Bestimmung der Dichte fünf verschiedene Sonnencremen von Skinci (2016) mit unterschiedlichen Lichtschutzfaktoren und Viskositäten verglichen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Dichte sehr stark von den beiden Faktoren (Lichtschutzfaktor und Viskosität) abhängt. Mithilfe dieser Information wurde der Mittelwert der Dichte mit  $1,338 \text{ g}/\text{ml}$  aus den einzelnen Dichten ( $1,65 \text{ g}/\text{ml}$ ;  $1,34 \text{ g}/\text{ml}$ ;  $1,49 \text{ g}/\text{ml}$ ;  $1,27 \text{ g}/\text{ml}$ ;  $0,94 \text{ g}/\text{ml}$ ) berechnet (Skinci, 2016). Die Minimalkonzentration wurde mit Null festgelegt, wodurch sich ein Konzentrations-Mittelwert zwischen Minimum und Maximum von  $9,5 \text{ mg}/\text{kg}$  ergibt. Das durchschnittliche Volumen wurde mit  $500 \text{ ml}$  festgelegt. Mittels der Multiplikation mit der Dichte konnte auf ein Gesamtgewicht von  $669 \text{ g}$  geschlossen werden. 72% der Befragten geben an, jährlich etwa 70% einer Sonnencremetube ( $468 \text{ g}$ ) zu verbrauchen. Es wurde angenommen, dass die verbrauchten Mengen zu 95% außerhalb des Siedlungsgebiets aufgetragen werden und lediglich 5% der Sonnencremen von der Hälfte der Bevölkerung im Siedlungsgebiet verbraucht wird. Bei einmaligem Auftragen wurde angenommen, dass 30% in die Haut aufgenommen werden, 10% mit dem Schweiß in die Atmosphäre verdampfen und die verbliebenen 60% mit dem Regen vollständig ausgewaschen werden. Die Unsicherheit dieses Produkts wird mit  $\pm 15\%$  angenommen, da eine Schwankungsbreite aufgrund der Aufnahme der Sonnencreme in die Haut sowie der Verwendungshäufigkeit der BewohnerInnen gegeben ist. Tabelle 20 listet die PFOA-Konzentrationen von neuwertigen Sonnencremetuben sowie deren charakteristischen Stoffanteil auf.

Tabelle 20: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA-Konzentrationen von neuwertigen Sonnencremetuben und deren charakteristischer Stoffanteil

Sonnencremen		
Produkt	PFOA-Konzentration in einem neuwertigen Gut [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	charakteristischer Stoffanteil
Sonnencremen (KEMI, 2015)	$9,5 \pm 15\%$	0,700

### 2.2.4. Alkalische Reinigungsmittel

Im Rahmen einer deutschen Studie untersuchten Kotthoff et. al. (2015) neun verschiedene alkalische Reinigungsmittel. Buser und Morf (2009) untersuchten in deren Publikation ebenfalls den Eintrag von alkalischen Reinigungsmitteln. Für deren Stoffflussanalyse zogen die Autoren die Konzentrationsangaben ausgewählter Haushaltsreiniger von Washburn et. al. (2005) von  $0,05\text{-}0,005 \text{ ppm}$  zurate. Im Zuge dieser Stoffflussanalyse mussten die Ergebnisse vernachlässigt werden, da diese Messwerte v.a. aufgrund veränderter gesetzlicher Regulierungen nicht mehr dem aktuellen Stand der Forschung entsprechen. Bei der Untersuchung von Kotthoff et. al. (2015) zeigte sich, dass die Konzentration an perfluorierten Tensiden in Putzmitteln vor der gesetzlichen Regulierung im Jahr 2010 mit  $547,1 \mu\text{g}/\text{kg}$  wesentlich erhöht ausfiel. Nach der Begrenzung wiesen nur noch 10% der untersuchten Produkte PFOS mit einer Maximalkonzentration kleiner als  $0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$  auf. Die Ausnahme bildete ein Produkt, bei welchem die PFOS-Konzentration  $1,1 \mu\text{g}/\text{kg}$  betrug. Prinzipiell konnte keine oder nur eine geringere Konzentration an PFOA gemessen werden. Aufgrund der vernachlässigbar kleinen Konzentration

wurden die Einträge an PFOA nicht berücksichtigt. Als potentielle Eintragsquelle sind für nachfolgende Abschätzungen zwei Arten von Putzmittel relevant, von welchen ausgegangen wird, dass sie sich mit dem Regenwasser vermischen und in den Kanal abfließen. Dies wären alkalische Reinigungsmittel für Fenster und Türen, ebenso wie Bodenreinigungsmittel für Terrassen und Loggien. Das durchschnittliche Gewicht für Fenster- und Türenreinigungsmittel sowie Bodenreiniger wurde anhand fünf verschiedener Produkte unterschiedlicher Hersteller (Frosch, Henkel und Ajax) ermittelt und beträgt 900 g (Billa, 2019). Die Dichte alkalischer Reinigungsmittel ließ sich aufgrund der Division der Mittelwerte des Volumens und der Mittelwerte des Gewichts der fünf unterschiedlichen Produkte ermitteln und beträgt im Mittel 1,063 g/ml. Der Bedarf an Putzmittel (für Glas-, Fenster-, Türen-, Terrassen-, Loggienreiniger) wurde von 91% der ProbandInnen mit 2,70 Liter pro Haushalt angegeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass BewohnerInnen noch Reinigungsmittel in Gebrauch haben, welche aus den Jahren vor 2010 stammen, ist nicht gegeben, nachdem davon ausgegangen wird, dass die meisten innerhalb eines Jahres verbraucht werden und es keine Überschreitung der gesetzlichen Begrenzung gibt. Dies kann durch die Untersuchungen von Kotthoff et. al. (2015) bestätigt werden, da in der Publikation keine erhöhten Werte ausgewiesen wurden. Daher ist zu erwarten, dass sich die Reinigungsmittelhersteller an die vorgegebenen Regulierungen halten.

Für nachfolgende Kalkulationen wurde, Kotthoff et. al. (2015) folgend, eine Maximalkonzentration von PFOS mit 0,5 µg/kg angenommen. Die Minimalkonzentration wurde mit Null bestimmt. Dadurch konnte auf den Mittelwert zwischen diesen beiden Werten von 0,25 µg/kg PFOS in alkalischen Reinigungsmitteln geschlossen werden. Der Gesamtverbrauch eines durchschnittlichen Haushaltes beträgt 2.700 ml pro Jahr bei einer Gesamtglasfläche von 21,7 m<sup>2</sup>. Daher ergibt sich ein Gesamtverbrauch an alkalischen Reinigungsmitteln von 124,42 ml pro Quadratmeter. Mithilfe der Multiplikation mit der Dichte konnte auf eine PFOS-Konzentration von 0,0331 µg/m<sup>2</sup> geschlossen werden.

Zur Bestimmung der exponierten Lagermenge pro Gut wurde die jährlich zu reinigende Außenglasfläche aller gebietspezifischen Einfamilienhäuser mit den Außenglasflächen der Hochhäuser summiert. Dabei wird angenommen, dass die Hälfte der Einwohner alkalische Reinigungsmittel verwenden. Bei der Verwendung von Reinigungsmittel wird weiters angenommen, dass 90% an PFOS mit dem Reinigungstuch über das häusliche Waschbecken in den Mischwasserkanal gelangen und somit aus der Betrachtung aller Gebiete fallen. Die verbleibenden 10% an PFOS werden vollständig mit dem Regen ausgewaschen. Eine weitere Annahme ist, dass nur noch 10% aller alkalischen Reinigungsmittel in den Untersuchungsgebieten, basierend auf den Messergebnissen von Kotthoff et. al. (2015) PFOS aufweisen und es eine geringe Unsicherheit von ± 5% gibt. Tabelle 21 listet die PFOS-Konzentrationen von neuwertigen alkalischen Reinigungsmitteln sowie den charakteristischen Stoffanteil auf.

*Tabelle 21: Aufschlüsselung der ermittelten PFOS-Konzentration von neuwertigen alkalischen Reinigungsmitteln und deren charakteristischer Stoffanteil*

<b>Alkalische Reinigungsmittel</b>		
	<b>PFOS-Konzentration in einem neuwertigen Gut [µg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>charakteristischer Stoffanteil</b>
Alkalische Reinigungsmittel (Kotthoff et. al., 2015)	0,0331 ± 5%	0,250

### 2.2.5. Baustellen

Den Flächennutzungskategorien zufolge weisen die Untersuchungsgebiete Ziegelstraße und Langackerweg jeweils eine Baustelle auf. In der Ziegelstraße hat diese eine Größe von 6.173 m<sup>2</sup>. Bei dem Langackerweg ist jene mit 3.440 m<sup>2</sup> ausgewiesen. Im Zuge der Quantifizierung der Baustelle werden folgende Positionen als potentielle Eintragsquellen perfluorierter Tenside in den Niederschlagswasserkanal angesehen:

- a. Baustellencontainer
- b. Arbeitshosen

- c. Arbeitsjacken
- d. Arbeitsschuhe

Tabelle 22 illustriert die ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen und die charakteristischen Stoffanteile der Kategorie „Baustelle“.

Tabelle 22: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen und der charakteristischen Stoffanteile der Kategorie „Baustelle“

Baustellenprodukte		
	PFOA- Konzentration in einem neuwertigen Gut [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	charakteristischer Stoffanteil
Baustellencontainer (ECHA, 2014)	14,71 $\pm$ 10%	0,6670
	PFT- Konzentration in einem neuwertigen Gut [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]	charakteristischer Stoffanteil
PFOA-Konz. in Arbeitsjacken (Kallee und Santen, 2013)	36,61 $\pm$ 5%	0,2000
PFOS-Konz. in Arbeitsjacken (Kallee und Santen, 2013)	35,37 $\pm$ 5%	0,2000
PFOA-Konz. in Arbeitshosen (Kotthoff et. al., 2015)	41,03 $\pm$ 5%	0,2703
PFOS-Konz. in Arbeitshosen (Kotthoff et. al., 2015)	36,61 $\pm$ 5%	0,2703
PFOA-Konz. in Arbeitsschuhen (Kotthoff et. al., 2015)	41,03 $\pm$ 5%	0,3333
PFOS-Konz. in Arbeitsschuhen (Kotthoff et. al., 2015)	35,37 $\pm$ 5%	0,3333

Laut §1 Abs. 4 AStV sind auf Baustellen Baustellenbüros, Werkstätten oder Lagerräume aus mehrgeschossigen Containern einzurichten. Aufgrund der Größe der Ziegelstraße wurde festgelegt, dass acht Baustellencontainer und bei dem Langackerweg vier Baustellencontainer aufgestellt wurden, deren Lackbeschichtungen PFOA-haltige Substanzen enthalten. Diese wurden als „20 Fuß“ Container bestimmt und weisen eine Länge von 6,06 m, eine Breite von 2,44 m und eine Höhe von 2,59 m auf (Containerbasis, 2019). Die Fläche eines Containers beträgt, ohne Berücksichtigung der Grundfläche, 58,82 m<sup>2</sup>. Zur Berechnung der PFOA-Konzentration wurden die gleichen Annahmen wie bei den Lackbeschichtungen von Blechdächern getroffen. Demzufolge werden für den Anstrich eines Quadratmeters 0,29 l an Lackfarbe benötigt (Hornbach, 2019). Der Mittelwert des PFO-Latexwertes von verkaufsfertigen Lackfarben ist Scheckenbach und Walter (2014) zufolge 0,05 mg/l. Die Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut beträgt auch bei Baustellencontainern 14,71  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ .

Zur Quantifizierung der PFT-Konzentration in Arbeitsschutzkleidung wurde die Annahme getroffen, dass 50 Arbeiter in der Ziegelstraße und 25 Arbeiter in dem Langackerweg tätig sind. Unter Berücksichtigung von Wochenenden, Schönwetter und der Eventualität, dass eine verringerte Arbeitstätigkeit bei Regenereignissen stattfindet, tragen die Baustellenarbeiter während 25% der jährlichen Niederschlagsereignisse Arbeitsschutzkleidung. Zur Abschätzung des Gewichts wurden unterschiedliche Arbeitsschutzkleidungen von zwei Onlineanbietern (Arbeitsbedarf24 und Kaiserkraft) verglichen und deren Angaben zu einem Mittelwert für jedes einzelne Gut zusammengefasst. Gemäß dem BAYRISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELT (2018) ist eine Übergangsfrist bezüglich der Reduktion von PFOA bei Arbeitsschutzkleidung bis 04.07.2023 gegeben. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Produkte PFOA und PFOS enthalten sehr hoch und wurde mit 95% angenommen. Die Unsicherheit wird folglich mit 5% als sehr gering eingeschätzt.

Für Arbeitsschuhe und Arbeitshosen wurde eine PFT-Konzentration von Outdoor-Schuhen sowie Outdoor-Hosen gemäß Kotthoff et. al. (2015) von 35,37  $\mu\text{g}/\text{kg} \pm 5\%$  an PFOS und 41,03  $\mu\text{g}/\text{kg} \pm 5\%$  an PFOA herangezogen. Arbeitshosen haben aufgrund des Vergleichs vier verschiedener Produkte ein durchschnittliches Gewicht von 1,04 kg (Arbeitsbedarf24, 2019; Kaiserkraft, 2019). Gemäß der Auskunft eines österreichischen Baubüros werden auf Baustellen Stahlkappenschuhe getragen. Der Vergleich von zwei unterschiedlichen Stahlkappenschuhmodellen zeigt, dass das Gewicht dieser im Durchschnitt 2,43 kg beträgt (Arbeitsbedarf24, 2019; Kaiserkraft, 2019). Trotz des höheren Gewichts wird davon ausgegangen, dass dieses keinen Einfluss auf die PFT-Konzentration hat und demselben wie jenem von Arbeitsschuhen entspricht. Deswegen wird aufgrund des Vergleichs vier verschiedener Arbeitsschuhmodelle mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1,34 kg pro

Schuhpaar gerechnet. Outdoor-Jacken weisen gemäß Kallee und Santen (2013) im Durchschnitt 36,61 µg/kg an PFT auf. Dieser Wert  $\pm$  5% wurde als Konzentration für Arbeitsjacken herangezogen. Anhand des Vergleichs von vier verschiedenen Arbeitsjacken konnte ein Gewicht von 1,14 kg im Mittel bestimmt werden (Kaiserkraft, 2019).

Die beiden nachfolgenden Kategorien „Reste von Feuerlöschschäumen“ sowie „Straßenstaub“ konnten aufgrund fehlender Informationen für die Stoffflussanalyse nicht berücksichtigt werden. Nachdem diese jedoch potentielle Eintragsquellen darstellen könnten, wird in den nächsten Abschnitten die Identifikation von Parametern zur Quantifizierung nach der Vorgehensweise von Abschnitt 2.2. beschrieben.

#### 2.2.6. Reste von Feuerlöschschäumen

Es wird angenommen, dass zur Brandbekämpfung schmelzender Feststoffe und brennbarer Flüssigkeiten in sämtlichen Untersuchungsgebieten fluorhaltige Schaumlöschmittel eingesetzt wurden. Mit Inkrafttreten der europäischen Richtlinie 2006/122/EG vom 27. Juni 2008 wurde das Inverkehrbringen und Verwenden von PFOS-haltigen Feuerlöschmitteln (mit  $>0,001$  Gew.-% PFOS) verboten. Aufgrund dieser Vorschrift mussten sämtliche Lagerbestände, welche vor dem 27. Dezember 2008 auf dem Markt kamen, bis zum 27. Juni 2011 aufgebraucht werden. In allen Untersuchungsgebieten wird der Besitz von Feuerlöschmitteln auf PFOS-Basis im Betrachtungszeitraum folglich ausgeschlossen. Da es sich bei PFOS jedoch um einen persistenten Stoff handelt, welcher zu 100% direkt in die Umwelt emittiert wird (ECHA, 2015), ist davon auszugehen, dass Spurenelemente des perfluorierten Tensids noch in allen Untersuchungsgebieten sowie dem Straßenabschnitt vorhanden sein könnten. Obwohl der Einsatz von PFOS-haltigen Feuerlöschschäumen bereits seit sechs Jahren verboten ist, ist deren Existenz nicht auszuschließen, da die eingesetzten Feuerlöschschäume PFOS in sehr hohen Konzentrationen enthielten (Zangl et. al., 2012). Gemäß Buser und Morf (2009) wurden ebenfalls PFOA-Konzentrationen in Feuerlöschschäumen im Jahr 2008 in verschiedenen Studien nachgewiesen.

Zangl et. al. (2012) zufolge wiesen österreichische Feuerlöschschäume 1,5 Gew.-% an PFOS auf. PFOA konnte in dieser Untersuchung nicht nachgewiesen werden, weshalb für nachfolgende Annahmen die Konzentrationen an PFOA in Feuerlöschschäumen vernachlässigt wurde. Pro Brand kam im Durchschnitt ein Feuerlöscher mit etwa 9,17 kg zur Anwendung. Bei einem PFOS-Anteil von 1,5 Gew.-% wurden somit 15.000 mg/kg an PFOS durch den Einsatz von Feuerlöschern freigesetzt. Bei deren Gebrauch kann davon ausgegangen werden, dass ca. 70% über das Abwasser in die Abwasserbehandlungsanlagen eingeleitet und der restliche Anteil an Feuerlöschschäumen direkt in naheliegende Gewässer oder in den Boden emittiert wird. Diese Abschätzung muss jedoch differenziert betrachtet werden, da je nach Einsatzort auch mit vollständigen Einträgen in den Boden zu rechnen ist (Zangl et. al., 2012).

In Anbetracht der fehlenden Datengrundlage konnte die tatsächlich ausgewaschene PFOS-Fracht nicht ermittelt werden. Zur Quantifizierung dieser bedarf es sowohl gebietspezifischer Informationen zu den eingesetzten Feuerlöschern, als auch Messungen der aktuellen Konzentration im Boden.

#### 2.2.7. Straßenstaub

Straßenstaub wird als potentielle Eintragsquelle der Flächennutzungskategorie „Straße“ angesehen. Murakami und Takada (2008) zufolge setzt sich dieser vor allem aus Materialien von Gehsteigen, Lacken, ausgetretenem Kraftstoff, Reifen- und Bremsbelagsverschleiß, Abgaspartikeln und anderen Fahrzeugkomponenten zusammen. Einige dieser verkehrsbedingten Materialien werden von Bodenmineralpartikeln absorbiert oder verbleiben auf Straßenoberflächen (Murakami und Takada, 2008). Hinsichtlich fehlender Messdaten der Konzentrationen von PFOA sowie PFOS im Straßenbereich konnten nur die beiden zu erwartenden Verschmutzungskomponenten (Treibstoff und Lackbeschichtungen), zu welchen Konzentrationsangaben aufgrund der Publikationen von Harada et. al. (2005) sowie Murakami und Takada (2008) vorlagen, als mögliche Quantifizierungspfade in Betracht gezogen werden.

#### 2.2.7.1. Treibstoffemissionen

In der empirischen Untersuchung von Harada et. al. (2005) wurden PFOA sowie PFOS in luftgetragenen Partikeln nachgewiesen. Daher wird der Verkehr als potentielle, diffuse Quelle für PFT-Einträge angesehen. Besonders relevant für zukünftige Stoffflussanalysen werden jene durch das Verkehrsaufkommen mit den Treibstoffadditiven in Verbindung gebrachten perfluorierten Tenside eingestuft (Murakami et. al., 2009). Im Zuge der Studie wurde festgestellt, dass die PFT-Konzentration in Straßenstaub von stark befahrenen Gebieten signifikant höher, als jene von Wohnstraßen war (Harada et. al., 2005). Diese Ergebnisse wurden durch die Messungen hoher PFT-Konzentrationen im Oberflächenabfluss von stark befahrenen Straßen und Parkplätzen gestützt (Murakami et. al., 2009). Laut der Untersuchung von Murakami et. al. (2009) waren die PFT- Konzentrationen höher, sofern in den Untersuchungsgebieten eine längere Trockenheitsperiode vorlag.

Die PFOA-Konzentration von luftgetragenen Partikeln betrug gemäß den empirischen Messungen von Harada et. al. (2005) 19,7 - 168 ng/g. Die PFOS-Konzentration der Messungen machte 469 - 9.049 ng/g aus (Harada et. al., 2005). Um eine Quantifizierung durchführen zu können, müssen erneut die Mittelwerte aus Minimum und Maximum als Referenz für alle nachfolgenden Berechnungen gebildet werden. Die PFOA-Konzentration beträgt demnach im Mittel 93,85 ng/g. Die mittlere PFOS-Konzentration wurde mit 4.759 ng/g errechnet. Auffallend ist der wesentliche Unterschied zwischen der PFOA- und PFOS-Konzentration. Die ermittelten Daten beziehen sich lediglich auf japanische Städte, wodurch das Problem der Standortabhängigkeit auftritt. Nachdem die Messungen von Harada et. al. (2005) jedoch die einzigen zur Verfügung stehenden Daten sind, müssen diese im Zuge zukünftiger Quantifizierungen herangezogen werden.

Für die Berechnung müsste der Anteil in den luftgetragenen Partikeln bestimmt werden, welcher aus dem Treibstoffverbrauch resultiert. Weiters müsste abgeklärt werden, um welche Treibstoffadditive es sich handelt und in welchen Treibstofftypen diese vorkommen. Ein weiterer ungeklärter Aspekt ist, wie sich die luftgetragenen Partikel in der Umwelt verhalten (Eintrag in den Boden, die Atmosphäre oder auf versiegelte Flächen). Zuletzt sollte ermittelt werden, wie die PFT-Anteile aus luftgetragenen Partikeln in den Niederschlagswasserkanal eingetragen werden. Sofern diese Zusammenhänge geklärt sind, kann eine Quantifizierung dieser möglichen, diffusen Eintragsquelle durchgeführt werden.

#### 2.2.7.2. Fahrzeuglackbeschichtungen

Es ist bekannt, dass Teflon welches bei der chemischen Herstellung PFOA enthält, in großem Umfang für die Automobilherstellung eingesetzt wird. In diesem Sektor wird es unter anderem für Lackversiegelungen, Öladditive, Bremssteile, Fette und Bodenverklebungsmittel, bei dem es zu einer wesentlichen Verbesserung insbesondere der Staubbekämpfung beitragen sollen, verwendet (Harada et. al., 2005). Um die Menge an perfluorierten Tensiden in Autolacken quantifizieren zu können, wird die eingesetzte Lackmenge pro Fahrzeugtyp benötigt.

Angesichts der Rücksprache mit einigen österreichischen Lackierbetrieben konnten Rückschlüsse auf die verwendeten Lackmengen der unterschiedlichen Fahrzeugtypen PKW, Bus und LKW getroffen werden. Prinzipiell kann bei sämtlichen Abschätzungen zwischen kleinen und großen PKWs sowie LKWs samt Fahrerhaus, Rahmen, Planen und Boardwänden unterschieden werden. Bei kleineren PKWs kann mit einer Lackbeschichtung von 4 l/Fahrzeug und bei den größeren PKWs mit einem Wert von 6,9 l/Fahrzeug gerechnet werden. Zur Bestimmung der Lackbeschichtung können die Lackmengen von kleinen, mittleren sowie größeren PKWs verglichen und anschließend deren Mittelwert gebildet werden. Bei Bussen kann der Wert von 15 l/Fahrzeug genutzt werden. Für die gesamte LKW-Lackierung werden laut Auskunft diverser Lackierbetriebe insgesamt 24 l/Fahrzeug benötigt. Für die Ermittlung der Konzentration an perfluorierten Tensiden können die empirischen Ergebnisse von Scheckenbach und Walter (2014) von 0,02 - 0,08 mg/l berücksichtigt werden. Folglich könnte der Mittelwert aus Minimum und Maximum von 0,05 mg/l gebildet werden.

Zur Ermittlung der gesamten Lackbeschichtungsmenge ( $m_{\text{Beschichtung},i}$ ) [kg] muss die Gesamtanzahl an Fahrzeugtypen (j) in den einzelnen Untersuchungsgebieten (i) ( $n_{\text{KFZ},ij}$ ) [-] ermittelt werden und könnten wie folgt berechnet werden:

$$m_{\text{Beschichtung},i} = \sum n_{\text{KFZ},ij} * V_{\text{Lack},j} * \delta_{\text{Lack}} \quad (15)$$

$V_{\text{Lack},j}$  = benötigte Lackmenge eines KFZ (j) [l];  $\delta_{\text{Lack}}$  = Dichte von Lack [kg/l].

Für genauere Quantifizierungen der PFOA- sowie PFOS-Frachten muss ermittelt werden, wie die Verbindung zwischen dem Lack und dem Eintrag in den Regenwasserkanal geklärt werden. Ein möglicher Ansatz wäre, dass durch Steinschläge Lack absplittert, auf die Straße gelangt und durch den Niederschlag in den Regenwasserkanal eingewaschen wird. Dieser mögliche Zusammenhang müsste untersucht werden, um dabei den Anteil der durchschnittlich freigesetzten Lackmenge sowie jährlichen Häufigkeit an Steinschlägen bestimmen zu können.

### 2.3. Atmosphärische Deposition

Zur Quantifizierung der PFOA- sowie PFOS-Frachten an atmosphärischer Deposition in den einzelnen Untersuchungsgebieten wurden die Mittelwerte der in Tabelle 23 abgebildeten Analyseergebnisse der Messkampagne von TEMPEST (2019d) berücksichtigt. Bei der Analyse der Proben waren PFT in einigen Proben nicht nachweisbar. Die Abkürzung „n.n.“ steht stellvertretend für „nicht nachweisbar“ und wurde bei der Minimalbewertung mit „Null“ angenommen. Die Nachweisgrenze sowohl für PFOA als auch für PFOS lag bei 0,0005 µg/l. Die Bestimmungsgrenze der beiden Stoffe war bei 0,001 µg/l. Für die einzelnen Gebiete bedeutet dies Folgendes: Sofern die Messwerte nicht nachweisbar waren, wurde „Null“ als Minimalwert und die Nachweisgrenze von 0,0005 µg/l als Maximalwert angesetzt. War der Messwert von PFOA eindeutig, wurde dieser sowohl als Minimal-, als auch Maximalwert übernommen. Dies trifft bei den Gebieten Siedlungsgebiet\_Ost und Graz-R05 zu. Nachdem der Wert in der Ziegelstraße kleiner als 0,0010 µg/l war, wurde „Null“ als Minimalwert und die Nachweisgrenze als Maximalwert gewählt. Für die atmosphärische Deposition von PFOS sämtlicher Siedlungsgebiete wurde die Nachweisgrenze als Minimalwert und die Bestimmungsgrenze als Maximalwert berücksichtigt. Mithilfe der Minimal- sowie der Maximalwerte konnte der Mittelwert je Stoff und Gebiet bestimmt werden.

Tabelle 23: Analyseergebnisse sowie die Minimal- und Maximalwerte von PFOA und PFOS der atmosphärischen Deposition (TEMPEST, 2019d)

	PFOA				PFOS			
	Analyse- ergebnis [ng/l]	Minimal- wert [ng/l]	Maximal- wert [ng/l]	Mittel- wert [ng/l]	Analyse- ergebnis [ng/l]	Minimal- wert [ng/l]	Maximal- wert [ng/l]	Mittel- wert [ng/l]
Ziegelstraße	<1	0,5	1	0,75	n.n.	0	0,5	0,25
Langackerweg	n.n.	0	0,5	0,25	n.n.	0	0,5	0,25
Siedlungsgebiet_Ost	1,8	1,8	1,8	1,8	n.n.	0	0,5	0,25
Graz-R05	1,1	1,1	1,1	1,1	n.n.	0	0,5	0,25
L202	n.n.	0	0,5	0,25	n.n.	0	0,5	0,25

Bei der Berechnung wurde die Annahme berücksichtigt, dass 5% der atmosphärischen Depositionsfrachten verdampfen und einen Eintrag in die Atmosphäre bilden. Die Berechnung basiert auf folgender Formel:

$$E_{AD,ij} = N_i * A_{VF,i} * c_j * 95\% \quad (16)$$

$E_{AD,ij}$  = atmosphärische Depositionsfrachten pro Gebiet (i), PFT (j) und Jahr [mg/a];  $N_i$  = Jahresniederschlag des Untersuchungsgebiets (i) pro Jahr [l/m<sup>2</sup>/a];  $c_j$  = PFT-Konzentration (j) je atmosphärische Deposition pro Untersuchungsgebiet (i) [µg/l];  $A_{VF,i}$  = versiegelte Flächen pro Siedlungsgebiet (i) [m<sup>2</sup>].

Tabelle 24 zeigt die berechneten jährlichen atmosphärischen Depositionseinträge der versiegelten Gesamtflächen pro Gebiet.

Tabelle 24: Übersicht der atmosphärischen Depositionsfrachten der versiegelten Gesamtflächen je Untersuchungsgebiet

	PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]
Ziegelstraße	47,3	15,8
Langackerweg	16,3	16,3
Siedlungsgebiet_Ost	189	26,2
Graz-R05	2.016	458
L202	1,04	1,04

Die in Tabelle 25 gelisteten Einträge aus der Atmosphäre wurden für die Stoffflussanalysen herangezogen und teilen sich für die einzelnen Flächenkategorien wie folgt auf:

Tabelle 25: Übersicht über die atmosphärischen Depositionswerte je Flächenkategorie und Untersuchungsgebiet

Ziegelstraße			Langackerweg		
	PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]		PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]
VSF ohne GuB <sup>4</sup>	23,75	7,92	VSF ohne GuB	8,37	8,37
Gebäude	20,24	6,75	Gebäude	6,82	6,82
Baustelle	3,34	1,11	Baustelle	1,08	1,08
	47,33	15,78		16,27	16,27
Siedlungsgebiet_Ost			Graz-R05		
	PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]		PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]
VSF ohne Geb.	122,41	17,00	VSF ohne Geb.	1.405,29	319,38
Gebäude	66,46	9,23	Gebäude	611,54	138,99
	188,87	26,23		2.016,83	458,37
L202					
	PFOA [mg/a]	PFOS [mg/a]			
Straßenabschnitt	1,04	1,04			

## 2.4. Transferkoeffizienten

Allgemein wurde die Annahme getroffen, dass sämtliche Siedlungsgebiete und der untersuchte Straßenabschnitt an den Regen-/Mischwasserkanal angeschlossen sind. Nachdem die Eintragsquellen von PFOA und PFOS und deren exponierte Lagermenge ermittelt wurden, konnten in einem nächsten Schritt deren Eintragspfade mithilfe von Transferkoeffizienten bestimmt werden. Unter dem Begriff des „Transferkoeffizienten“ wird jener Anteil des gesamten in den Prozess eingeführten Stoffes oder Gutes, welcher in den Output x transferiert wird verstanden (ÖNORM S 2096-1, 2005).

Zur Bestimmung der Transferkoeffizienten für die einzelnen Prozesse wurde auf Basis der Einträge der exponierten Lagermenge pro Gut der Abflussbeiwert von Gujer (2007) für die Prozesse „Beton- und Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustellen“, „Gebäude“ sowie „Baustellenkleidung und -container“ berücksichtigt. Bei den Prozessen „Freizeitbekleidung“ und „Baugrube“ wurden hingegen eigene Annahmen getroffen. Im Allgemeinen wurde für sämtliche Transferkoeffizienten die Unsicherheit mit 10% angenommen.

Aufgrund der im Zuge der Quantifizierung beschriebenen Annahmen verzeichnet der Prozess „Freizeitbekleidung“ einen 90-prozentigen Eintrag auf Asphalt- und Betonflächen (ohne Gebäude- und Baustellenflächen). Die restlichen 10% verdampfen in die Atmosphäre. Das mit PFOA und PFOS belastete Regenwasser der Baustellen wird in den Gebieten Ziegelstraße und Langackerweg zu 95% in den Regenwasserkanal eingeleitet. Die restlichen 5% verdampfen in die Atmosphäre. Bei allen anderen Prozessen wird der Abflussbeiwert dem Transferkoeffizienten gleichgesetzt.

<sup>4</sup> VSF ohne GuB = versiegelte Fläche ohne Gebäude und Baustelle

Unter dem Begriff des Abflussbeiwerts  $\Psi$  ist eine Konstante zu verstehen, welche angibt, dass nur ein bestimmter Anteil des Niederschlags zum Abfluss gelangt (Gujer, 2007). Der restliche Niederschlag gelangt in die Atmosphäre oder den Boden. Tabelle 26 listet typische Abflussbeiwerte für unterschiedliche Siedlungsflächen und Abflussbeiwerte  $\alpha$  der infrage kommenden befestigten Teilflächen der Siedlungsgebiete nach Gujer (2007) auf.

Tabelle 26: Typische Abflussbeiwerte für unterschiedliche Siedlungsflächen und Abflussbeiwerte  $\alpha$  der infrage kommenden befestigten Teilflächen der Siedlungsgebiete nach Gujer (2007)

Abflussbeiwerte $\alpha$ der infrage kommenden Teilflächen		
<b>Befestigte Teilflächen</b>	$\alpha_i$	
Asphalt, Beton	0,80	
Schotterdecke	0,25	
Kiesklebedach	0,25	
Typische Abflussbeiwerte für unterschiedliche Siedlungsflächen		
Art und Überbauung und Dichte	Steildächer	Flachdächer
Einfamilienhäuser, freistehend, locker	0,30	0,20
Wohn- und Gewerbezone	0,70	0,45

Die Berechnung des Abflussbeiwerts verläuft gemäß:

$$\Psi_i = \alpha_i * \gamma_i \quad (17)$$

$\Psi_i$  = Abflussbeiwert eines strukturierten Siedlungsgebiets (i) [-];  $\alpha_i$  = Abflussbeiwert der einzelnen Teilflächen (i) nach Tabelle 26 [-];  $\gamma_i$  = Anteil der Teilflächen an der gesamten Untersuchungsgebietsfläche (i) [-].

Um den Abflussbeiwert für die Prozesse Freizeit-, Baustellenbekleidung, Baustellencontainer und Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle zu berechnen, musste zu Beginn  $\gamma_i$  ermittelt werden. Nachdem in allen Untersuchungsgebieten nur versiegelte Flächen betrachtet werden, ist der Anteil der Teilflächen gleich der versiegelten Flächen. Daraus resultiert, dass  $\gamma_i = 1$  ist.

Der Abflussbeiwert von Beton- und Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustellen wurde mit 0,800 definiert. Der Abflussbeiwert von Baustellenbekleidung wurde ebenfalls mit 0,800 festgelegt, da angenommen wurde, dass sich alle Baustellenarbeiter bei Niederschlägen auf Betonflächen befinden. Der Abflussbeiwert der Baustellencontainer wurde mit 0,250 bestimmt, da Baustellencontainer oft auf einer Schotterdecke aufgestellt werden. Der typische Abflussbeiwert wurde für Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet einzeln berechnet. Zum einen, da der typische Abflussbeiwert für Wohn- und Gewerbezone wesentlich höher als jener von Einfamilienhäusern ausfällt. Zum anderen mussten die in *QGIS* ermittelten Gebäude aufgrund deren Dachform (Flach- und Steildach) unterschieden werden. Die typischen Abflussbeiwerte für die jeweiligen Dachformen aus Tabelle 26 wurden mit der Verteilung der Dachform je Untersuchungsgebiet aus Tabelle 47 gewichtet und in Tabelle 48 dargestellt. Nachdem der Prozess „Gebäude“ aus dem Eintrag von Einfamilien- und Hochhäusern besteht, wurde für die Berechnung der in Tabelle 27 dargestellten Abflussbeiwerte, eine Gewichtung nach dem Mantelflächenanteil der Einfamilien- und Hochhäuser für die Ergebnisse aus Tabelle 48 durchgeführt. Dafür wurde die Anzahl der Einfamilienhäuser je Untersuchungsgebiet aus Abschnitt 2.1.1. mit der Mantelfläche eines standardisierten Einfamilienhauses multipliziert. Für die Mantelfläche der Hochhäuser wurden die Werte aus Abschnitt 2.1.4. übernommen.

Tabelle 27 gibt einen Überblick zu den ermittelten Transferkoeffizienten.

Tabelle 27: Darstellung der ermittelten Transferkoeffizienten

Abflussbeiwert und Transferkoeffizient für einzelne Kategorien und Gebiete		
	Eintrag in den Regenwasserkanal	Einträge in den Boden bzw. die Atmosphäre
Freizeitbekleidung	0,900 ± 0,10	0,100 ± 0,10
Gebäude_Ziegelstraße	0,398 ± 0,10	0,602 ± 0,10
Gebäude_Langackerweg	0,383 ± 0,10	0,617 ± 0,10
Gebäude_Siedlungsgebiet_Ost	0,513 ± 0,10	0,488 ± 0,10
Gebäude_Graz-R05	0,435 ± 0,10	0,565 ± 0,10
Baustellenbekleidung	0,800 ± 0,10	0,200 ± 0,10
Baustellencontainer	0,250 ± 0,10	0,750 ± 0,10
Beton- und Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	0,800 ± 0,10	0,200 ± 0,10
Baugrube	0,950 ± 0,10	0,050 ± 0,10

## 2.5. Gemessene Jahresfrachten an PFOA und PFOS in den Kanälen

In Hinblick auf die Validierung der Abschätzung der über die SFA ermittelten Frachten mit den gemessenen Frachten in Abwasserproben bildet der nachfolgende Abschnitt die gemessenen Jahresfrachten an PFOA sowie PFOS in den Kanälen ab. Dazu ist anzumerken, dass das Gebiet Ziegelstraße neben den gemessenen Jahresfrachten einen Trockenwetterabfluss und das Gebiet Graz-R05 aufgrund der Beprobung des Mischwasserkanals einen zusätzlichen Abfluss an Schmutzwasser verzeichnen. Die kontinuierliche Probenahme in den Kanälen erfolgte mittels Durchflussmessungen und entsprechenden Probenahmegeräten über einen längeren Zeitraum, um eine mengenproportionale Probenahme von Abflussereignissen und Einleitungen zu ermöglichen. Dazu war es notwendig möglichst alle abflusswirksamen Niederschlagsereignisse eines Jahres vollständig mengenproportional zu beproben. In einem weiteren Schritt wurden entsprechende Aliquote eines jeden beprobten Ereignisses auch mengenproportional zu einer Jahresmischprobe vereinigt, welche durch kumulatives Einfrieren der Ereignis-Aliquote erzeugt wurde. Mithilfe der Jahresmischproben wurden die Spurenstoffkonzentrationen bestimmt (Gruber et. al., 2020).

Tabelle 28 stellt die im Zuge des Projekts TEMPEST erhobenen messtechnischen Abschätzungen der Jahresfrachten an PFOA sowie PFOS der vier Niederschlagstrennkanalesysteme und des Mischkanalsystems dar. Zum Vergleich der Resultate wurden für jeden Stoff und jedes Gebiet der Mittelwert aus der Minimal- und Maximalfracht und die Unsicherheit gebildet. Um die Abweichung der literaturbasierten Berechnung und der Messergebnisse zu bestimmen, wurden der Mittelwert und die Unsicherheit bei allen Stoffflussanalysen in den Outputpfad des Regen- bzw. Mischwasserkanals eingesetzt.

Tabelle 28: Überblick über die gemessenen Jahresfrachten an PFOA sowie PFOS der vier Niederschlagskanäle und des Mischkanals (TEMPEST, 2019c)

	PFOA [mg/a]				PFOS [mg/a]			
	Minimalfracht	Maximalfracht	Mittelwert	Unsicherheit	Minimalfracht	Maximalfracht	Mittelwert	Unsicherheit
Ziegelstraße	178,15	973,94	576,05	397,90	8,24	283,23	145,73	137,50
Langackerweg	75,15	83,37	79,26	4,11	36,83	55,89	46,36	9,53
Siedlungsgebiet_Ost	575,98	863,96	719,97	143,99	195,63	332,59	264,11	68,48
Graz-R05	3.417,12	5.516,16	4.466,64	1.049,52	321,68	1.684,80	1.003,24	681,56
L202	4,18	5,61	4,90	0,71	1,08	3,49	2,29	1,20

Um den Input des Trockenwettereintrags in der Ziegelstraße zu quantifizieren, wurde der jährliche Abfluss von 103.260 m<sup>3</sup>/a mit der gemessenen PFOA-Konzentration von 0,0017 µg/l und PFOS-Konzentration von 0,0005 µg/l multipliziert (TEMPEST, 2019c).

Tabelle 29: Darstellung des berechneten Trockenwetterabflusses an PFOA und PFOS im Niederschlagskanal der Ziegelstraße (TEMPEST, 2019c)

<b>Ziegelstraße Trockenwetterabfluss</b>	
<b>PFOA</b>	<b>PFOS</b>
0,0017 µg/l	0,0005 µg/l
175.542 µg/a	51.630 µg/a
<b>176 mg/a</b>	<b>52 mg/a</b>

Nachdem es sich bei dem Gebiet Graz-R05 um einen Mischwasserkanal handelt, musste die Schmutzfracht in diesem Gebiet berechnet werden. Dazu wurde der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen von zwei Mischwasserproben und einer Trockenwetterprobe bestimmt. Für PFOA entspricht dieser 0,0019 µg/l und für PFOS 0,0029 µg/l. Auch bei diesen Berechnungen wurde die Bestimmungsgrenze für Konzentrationen welche kleiner als 0,0010 waren herangezogen. Sofern eindeutige Konzentrationen vorlagen wurden die Messergebnisse angewandt. Für nicht nachweisbare Konzentrationen wurde die Nachweisgrenze als verwendete Konzentration bestimmt.

Tabelle 30: Darstellung des berechneten Schmutzwasserabflusses an PFOA und PFOS im Mischwasserkanal von Graz-R05 (TEMPEST, 2019c)

<b>Graz-R05 Schmutzwasserabfluss</b>	
<b>PFOA</b>	<b>PFOS</b>
0,0019 µg/l	0,0029 µg/l
3.462.489 µg/a	5.379.225 µg/a
<b>3.462 mg/a</b>	<b>5.379 mg/a</b>

## 2.6. Berücksichtigung von Datenunsicherheiten im Zuge der Quantifizierung

Die Emissionsfrachtenabschätzungen der mittels SFA quantifizierten Frachten basieren auf vielen Annahmen. Diese führen zu Unsicherheiten in den Berechnungen. Nachfolgend werden die einzelnen Fälle aufgelistet, die einen Einfluss auf die Datenunsicherheit im Zuge der Quantifizierung ausüben. Insgesamt konnten sechs Fälle unterschieden werden.

### I. Abschätzungen eingesetzter Güter

Es ist ungewiss, ob die Auswaschung mittels einer Logarithmusfunktion abgebildet werden kann. Ebenfalls stellt sich die Frage, ob die Abschätzung des charakteristischen Stoffanteils mithilfe des Kehrwerts der Produktlebensdauer geeignet ist. Eine Abweichung bezüglich der Abschätzungen der Gewichtsgehalte von Gütern könnte ebenfalls auftreten. Weiters könnte die Verdunstung der exponierten Lagermenge pro Gut mit 10% für ein Jahr anders ausfallen. Eine Unsicherheit dieser Annahme wurde im Zuge der SFA nicht berücksichtigt.

### II. Abschätzung literaturbasierter Konzentrationen

- a. Sofern eine Wertspanne zwischen dem Minimal- und Maximalwert einer Konzentration vorlag, wurde der arithmetische Mittelwert der beiden Konzentrationen gebildet;
- b. Sofern der Maximalwert einer Konzentration angegeben war, wurde der Minimalwert mit Null angesetzt und der Mittelwert aus dem Maximalwert und Null berechnet;
- c. Sofern eine gemessene Konzentration ohne Wertebereich vorlag, wurde dieser Wert übernommen.

### III. Abschätzungen der vorhandenen Infrastruktur

Bei den mittels QGIS erhobenen Daten kann es zu Abweichungen der vermessenen Quadratmeter sowie der Anzahl an Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken kommen. Bei der Bestimmung der unterschiedlichen Flächen je Einfamilienhaus wurde für alle Gebiete der Durchschnitt von sechs Einfamilienhäusern

herangezogen. Nachdem das standardisierte Einfamilienhaus als Referenz für alle Einfamilienhäuser sämtlicher Siedlungsgebiete dient, können auch hier Abweichungen aufgrund der unterschiedlichen Größen der gebietsspezifischen Einfamilienhäuser entstehen. Eine Ungewissheit besteht ebenfalls bei der Abschätzung des in Abschnitt 2.2.1.1. definierten exponierten Außenputzes, welche mit einer zusätzlichen 10-prozentigen Unsicherheit berücksichtigt wurde.

#### IV. Unsicherheiten und Abflussbeiwerte

Die Unsicherheit für die Stoffflussanalyse wurde für jedes Gut abgeschätzt. Eine Abweichung der ermittelten Abflussbeiwerte des Abschnitts 2.4. ist ebenfalls denkbar, weshalb diese eine Unsicherheit von  $\pm 10\%$  aufweisen.

#### V. Analytische Messergebnisse

Eine Variation der mittels empirischer Untersuchungen ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen ist ebenfalls gegeben. Der Umgang mit der Variation wurde in Abschnitt 2.3. und 2.5. beschrieben.

#### VI. Anschlussgrad der Kanalisationssysteme

Im Zuge der Quantifizierung wird von einem 100-prozentigen Anschluss aller versiegelten Flächen an das Kanalisationssystem ausgegangen. Gemäß Fenzl (2011) ist ein 100-prozentiger Anschlussgrad unrealistisch. Aufgrund der nicht ausreichenden Datenlage konnte jedoch keine bessere Abschätzung getroffen werden.

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der SFA liefern Jahresfrachten für die Stoffe PFOA und PFOS und bilden die relevantesten Emissionspfade sowie -quellen der untersuchten Gebiete ab. Dabei werden im Folgenden das Gesamtsystem sowie die beiden größten Subprozesse durch Abbildungen dargestellt.

#### 3.1. Untersuchungsgebiet 1: „Ziegelstraße“

##### 3.1.1. Stoffflussanalyse zu PFOA

Abbildung 12 stellt die PFOA-Stoffflussanalyse für das Untersuchungsgebiet Ziegelstraße dar. Diese veranschaulicht, dass der größte Input in den Regenwasserkanal vom Trockenwetterabfluss aus Fehlan schlüssen stammt. An zweiter Stelle, wenn auch wesentlich geringer, sind die Frachten die vom Prozess „Beton- und Asphaltflächen ohne Gebäude und Baustelle“ in den Regenwasserkanal gelangen. Der Input durch Gebäude ist noch deutlich kleiner ausgefallen. Am wenigsten trägt die Baustellengrube zu Einträgen in den Regenwasserkanal bei. Die errechneten Einträge auf „Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle“ werden durch den Eintrag aus Freizeitbekleidung und Sonnencremen dominiert. Der Eintrag aus der atmosphärischen Deposition ist vergleichsweise geringer. Abbildung 13 zeigt den Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“. Den höchsten Eintrag in diesen Prozess haben Sonnencremen. Der zweitgrößte Input stammt von wetterfesten Schuhen, gefolgt von wetterfesten Jacken und wetterfesten Hosen. Wie anhand von Abbildung 14 ersichtlich wird, kommen die größten Einträge des Prozesses „Gebäude“ aufgrund der Auswaschung von Blechdachlackbeschichtungen zustande. Einträge von Fenster- und Tür lackbeschichtungen, Baustellenbekleidung und -containern sind vergleichsweise gering. Atmosphärische Einträge sind bei den Prozessen „Beton- und Asphaltflächen ohne Gebäude und Baustelle“ und „Gebäude“ am größten. Bei der Baustelle sind die Einträge aus der Atmosphäre verhältnismäßig gering.

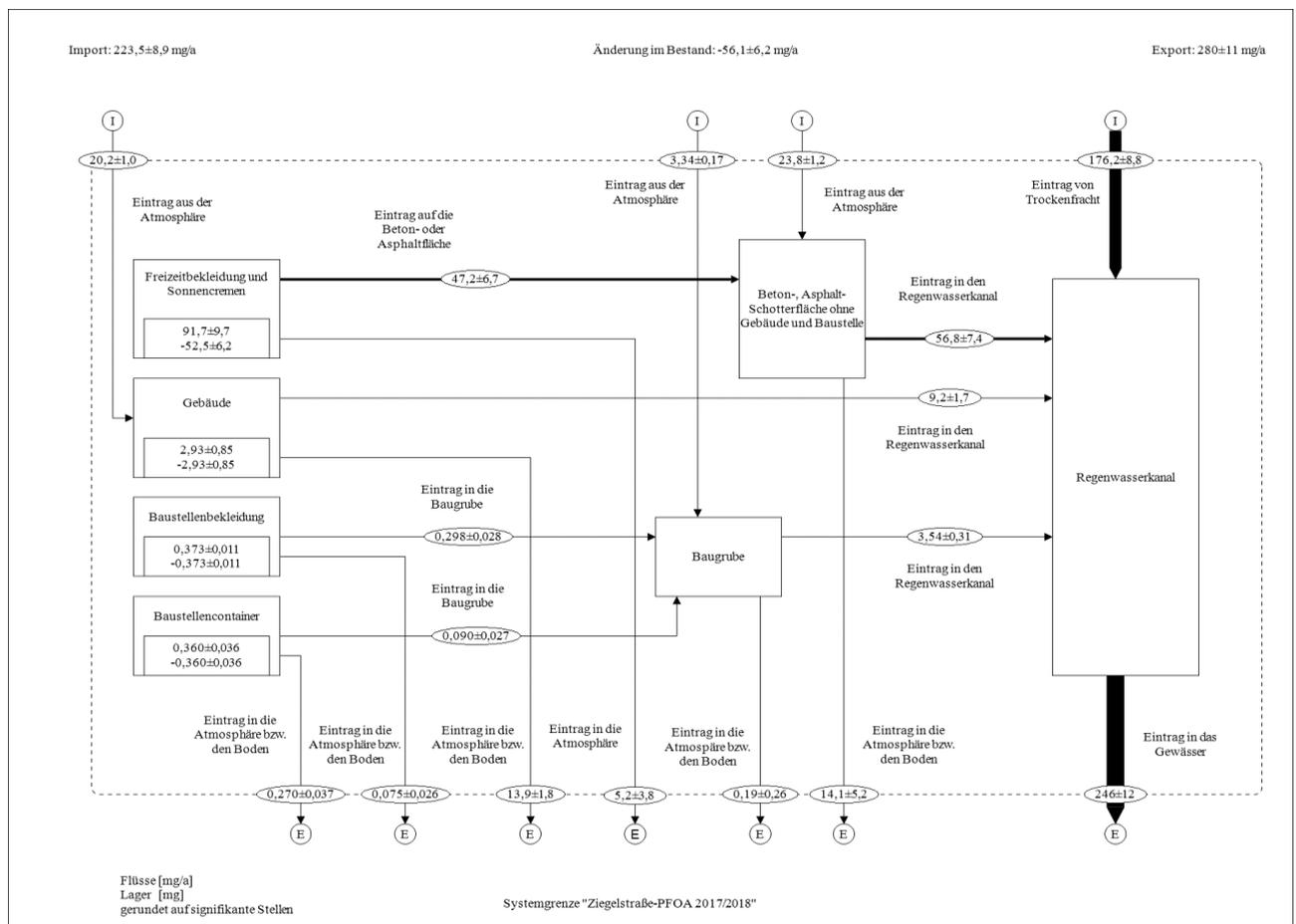


Abbildung 12: Darstellung der PFOA-Stoffflussanalyse der Ziegelstraße

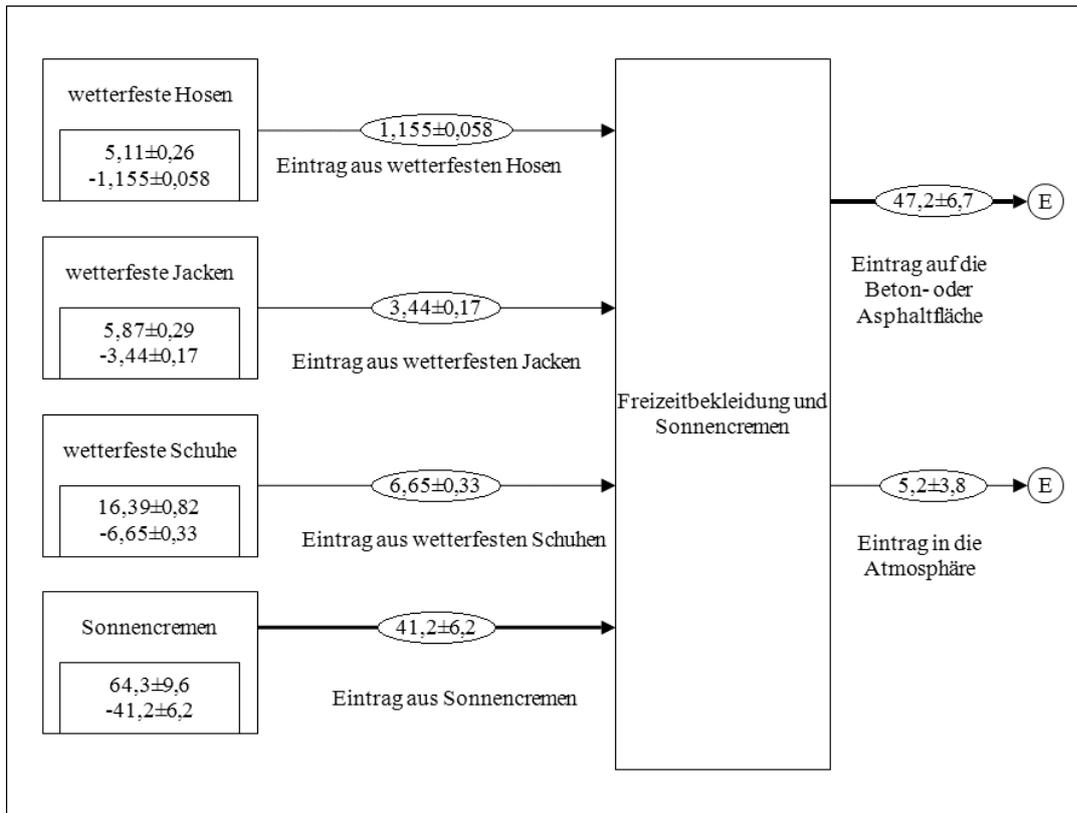


Abbildung 13: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ in der Ziegelstraße

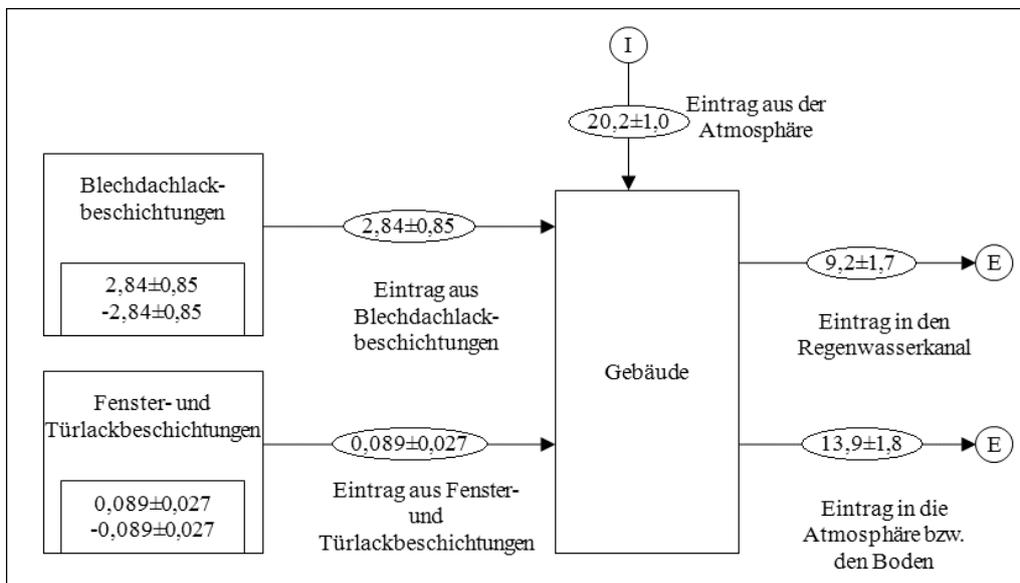


Abbildung 14: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ in der Ziegelstraße

### 3.1.2. Stoffflussanalyse zu PFOS

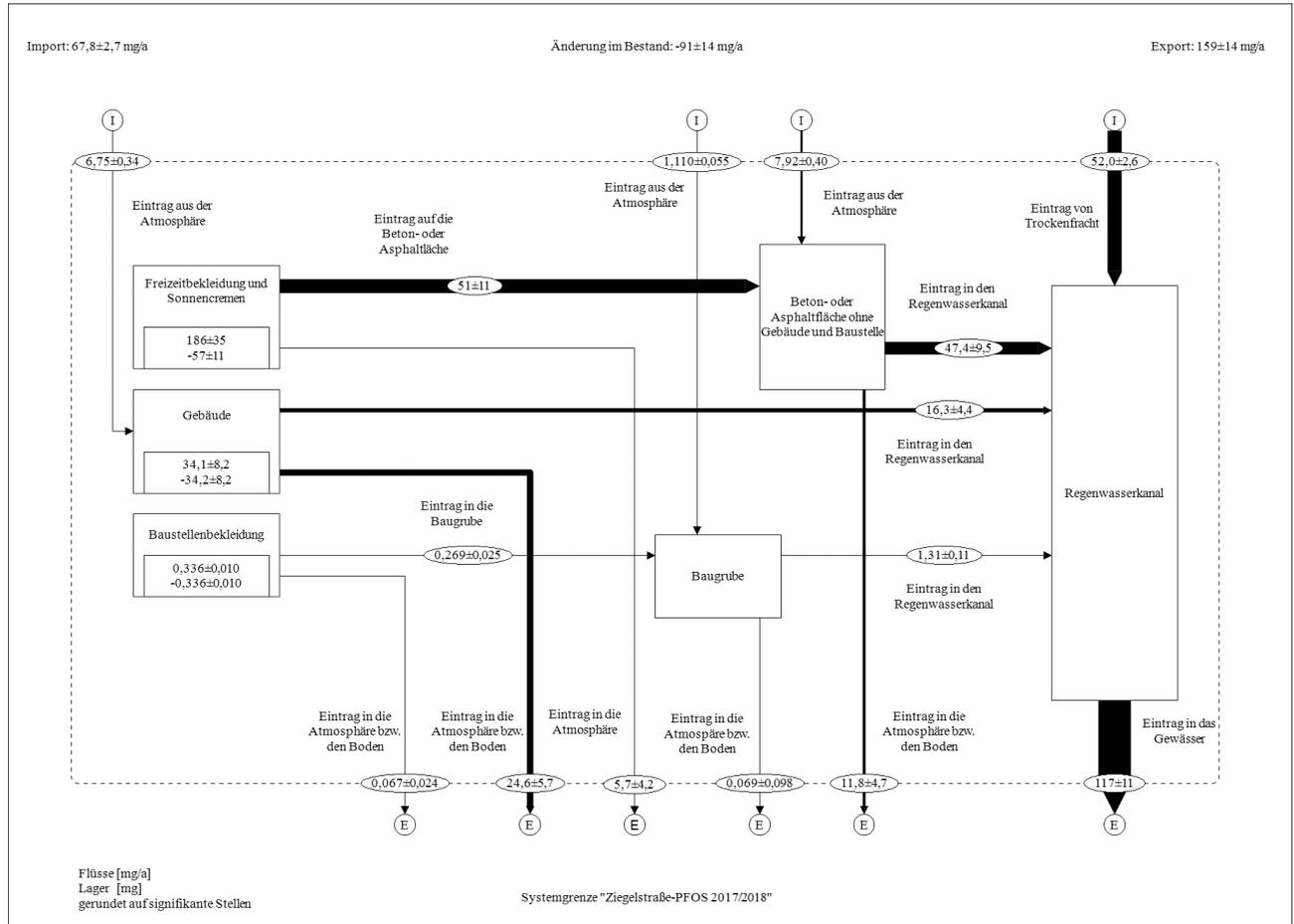


Abbildung 15: PFOS-Stoffflussanalyse der Ziegelstraße

Abbildung 15 zeigt, dass der größte Eintrag an PFOS in den Regenwasserkanal in der Ziegelstraße, wie auch bei PFOA, von dem Trockenwetterabfluss aus Fehllanschlüssen stammt. Die Einträge vom Prozess „Beton- und Asphaltflächen ohne Gebäude und Baustelle“ sind geringer ausgefallen und stehen an zweiter Stelle. Der Input von Gebäuden ist deutlich geringer. Für die kleinsten Einträge in den Regenwasserkanal sorgt die Fracht der Baugrube. Weiters ist zu erkennen, dass die PFOS-Einträge der atmosphärischen Deposition in dem Gebiet wesentlich geringer als jene von PFOA ausfallen. Abbildung 16 und Abbildung 17 stellen die zwei größten Subprozesse dar. Bei dem Vergleich aller Eintragsquellen lässt sich auf den ersten Blick erkennen, dass im Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ der Eintrag aus Lederschuhen für den höchsten Eintrag in den Regenwasserkanal sorgt. Der Eintrag aus Außenwandfarben ist am zweitgrößten. Der Input aus Lederjacken und dem Außenputz ist etwas geringer, aber annähernd gleich groß ausgefallen. Für minimale Einträge sorgen alle anderen Güter.

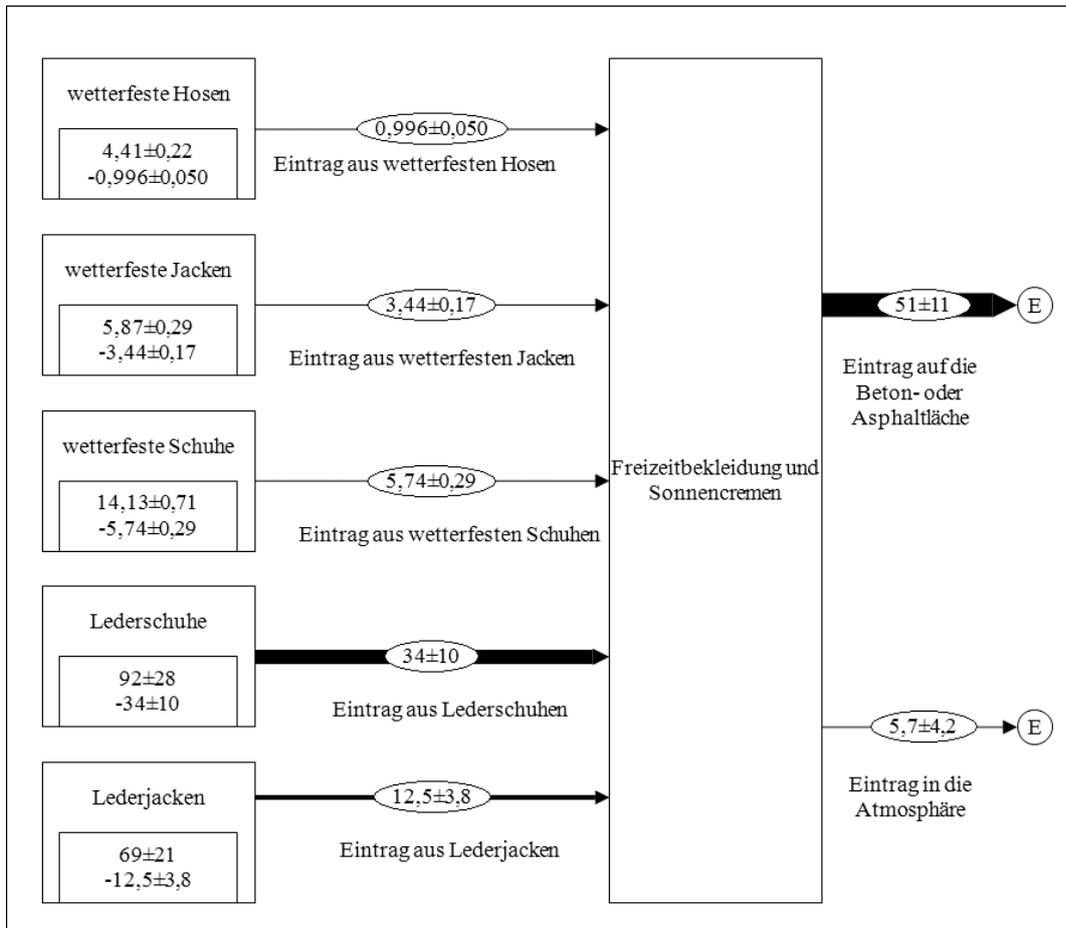


Abbildung 16: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ der Ziegelstraße

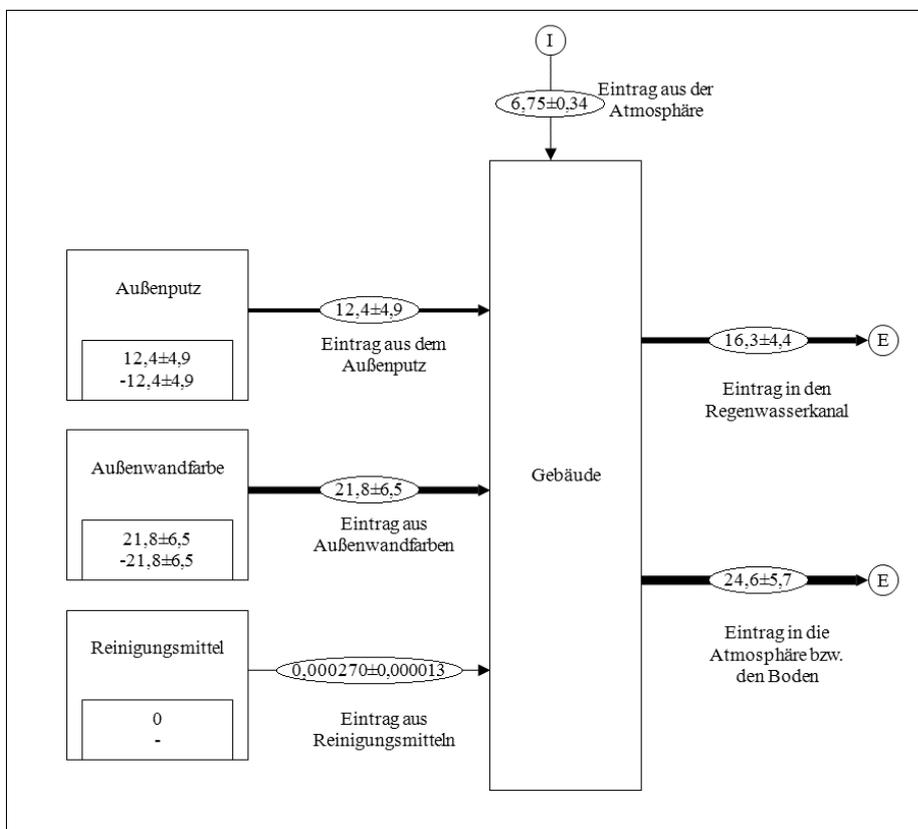


Abbildung 17: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ der Ziegelstraße

## 3.2. Untersuchungsgebiet 2: „Langackerweg“

### 3.2.1. Stoffflussanalyse zu PFOA

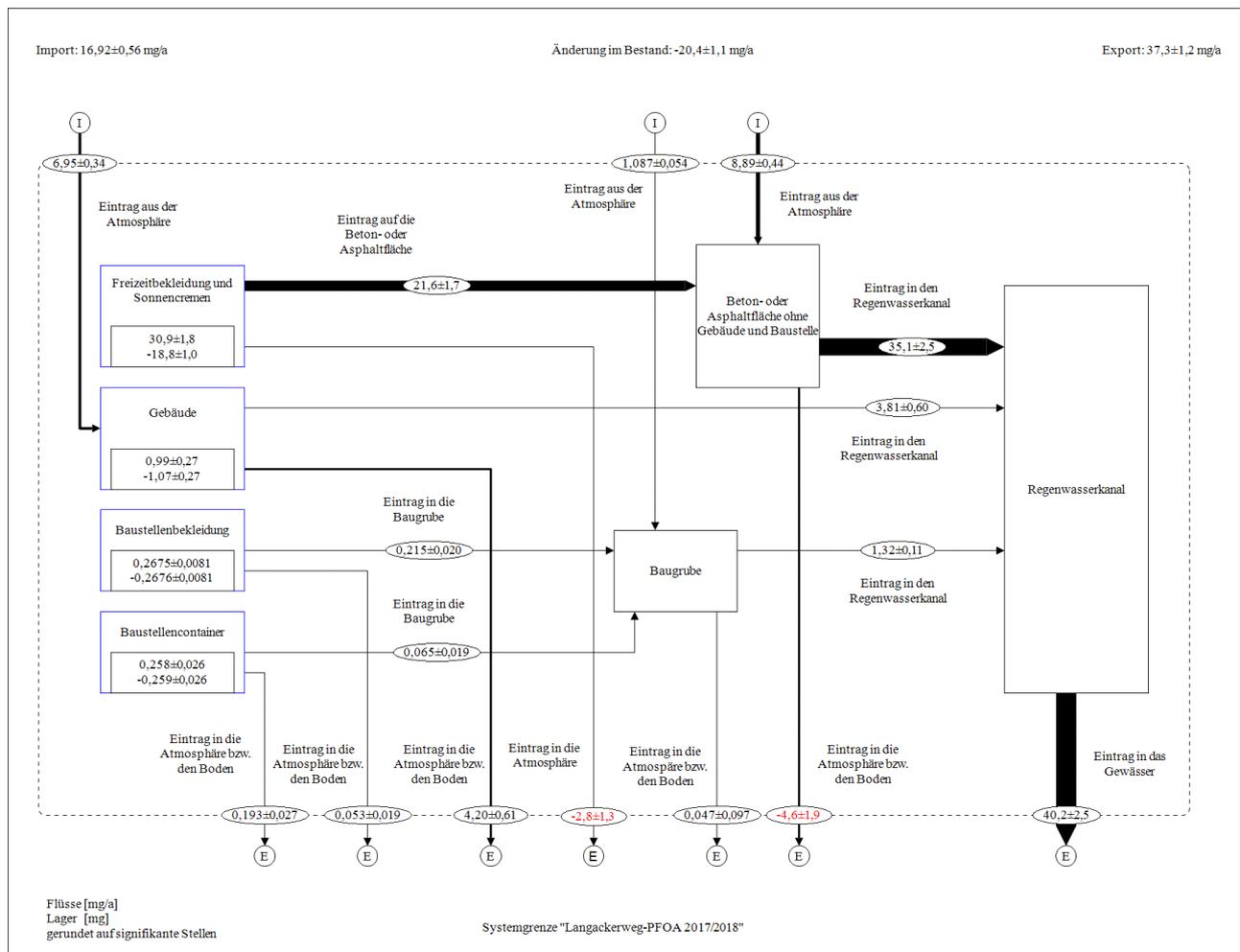


Abbildung 18: PFOA-Stoffflussanalyse des Langackerwegs

Abbildung 18 stellt die mittels SFA ermittelten PFOA-Eintragsquellen sowie -pfade des Niederschlagswasserkanals des Langackerwegs dar. Aufgrund eines bei der Berechnung auftretenden Fehlers (siehe Negativeinträge) ist eine fehlerfreie Bilanzierung mit dem vorhandenen Datenmaterial derzeit nicht möglich. Die Ergebnisse der Stoffflussanalyse wurden trotz des aufgetretenen Fehlers berücksichtigt und werden deswegen nachfolgend beschrieben:

Der Prozess „Beton- und Asphaltflächen ohne Gebäude und Baustelle“ sorgt für die größten PFOA-Einträge in den Regenwasserkanal. Wesentlich geringer ist der Input von Gebäuden. Für die kleinsten Einträge sorgt die Baugrube. Abbildung 19 stellt den Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ dar. Den höchsten Input in diesen Prozess haben Sonnencremen. Der zweitgrößte Eintrag stammt von wetterfesten Schuhen, gefolgt von wetterfesten Jacken und wetterfesten Hosen. Wie anhand der Abbildung 20 ersichtlich wird, kommen die größten Einträge des Prozesses „Gebäude“ durch die Auswaschung von Blechdachlackbeschichtungen zustande. Der Input aller anderen Güter in den Niederschlagswasserkanal ist wesentlich kleiner.

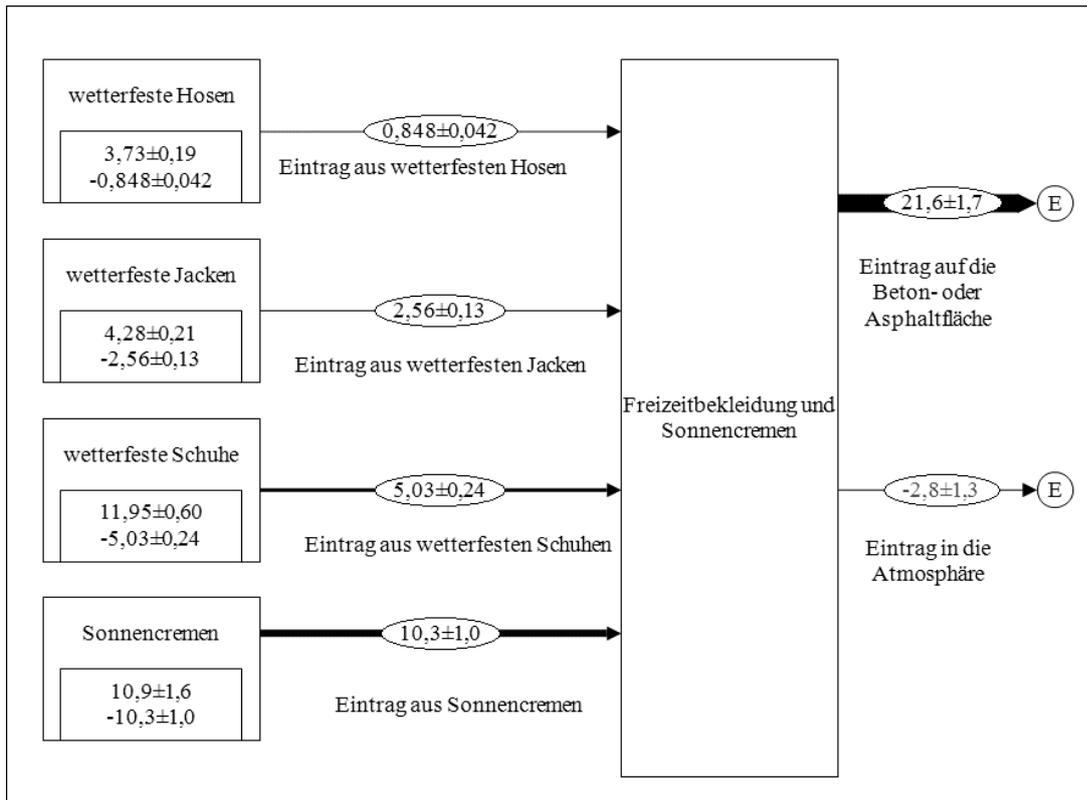


Abbildung 19: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Langackerwegs

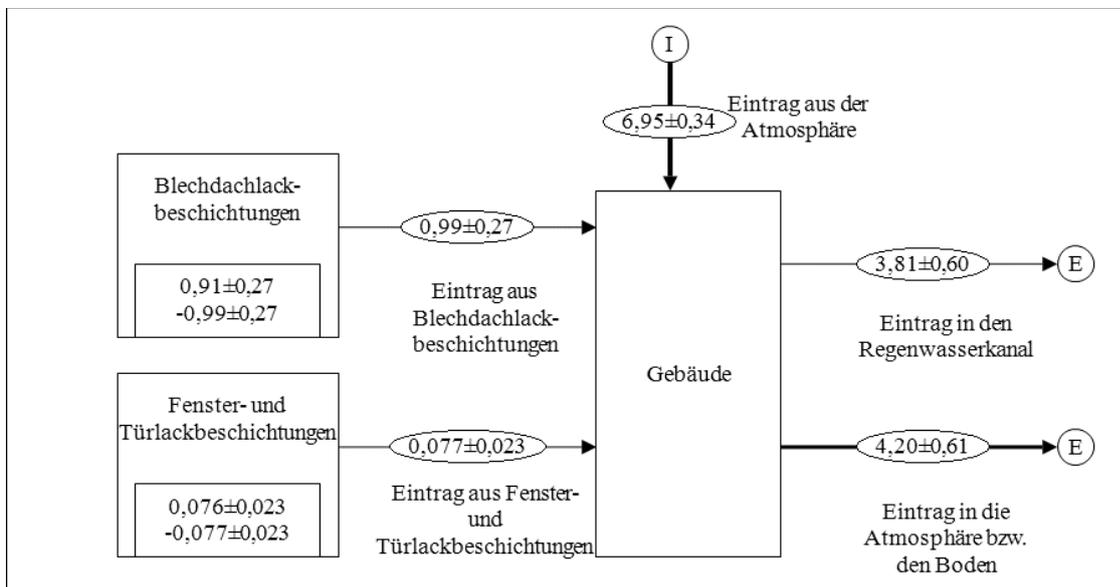


Abbildung 20: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Langackerwegs

### 3.2.2. Stoffflussanalyse zu PFOS

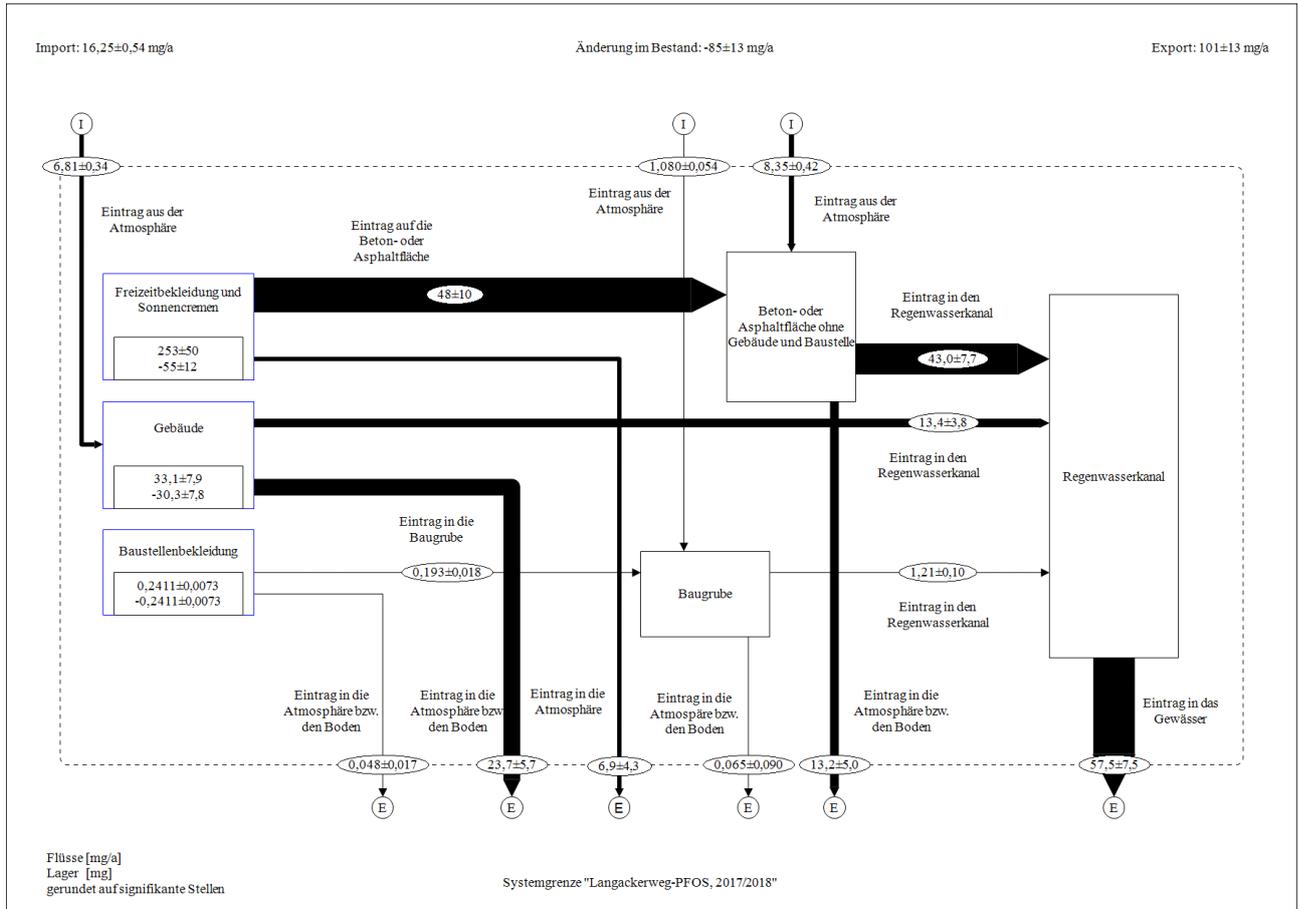


Abbildung 21: PFOS-Stoffflussanalyse des Langackerwegs

Abbildung 21 zeigt die PFOS-SFA des Langackerwegs. Der größte Eintrag in den Regenwasserkanal stammt vom Prozess „Beton- oder Asphaltflächen ohne Gebäude und Baustellen“. Der Input von Gebäuden stellt die zweitgrößte Eintragsquelle dar. Die Frachten der Baustellengrube sind wesentlich geringer und tragen zu den geringsten Einträgen in den Regenwasserkanal bei. Wie Abbildung 22 zeigt, ist der höchste Input aller Subprozesse durch die Auswaschung im Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ aus Lederschuhen gegeben. An zweiter Stelle sorgen Abbildung 23 zufolge die errechneten Außenwandfarben für einen Eintrag in den Regenwasserkanal. Der Eintrag aus Lederjacken bildet die drittgrößte Fracht, gefolgt von dem Input aus dem Außenputz. Die Einträge von wetterfesten Schuhen und wetterfesten Jacken sind wesentlich geringer. Die kleinsten Frachten stammen aus dem Prozess „Baustellenbekleidung“ und aus den Gütern wetterfeste Hosen sowie alkalischen Reinigungsmitteln. Der Eintrag aus der Atmosphäre fällt für PFOS nahezu gleich wie für PFOA aus.

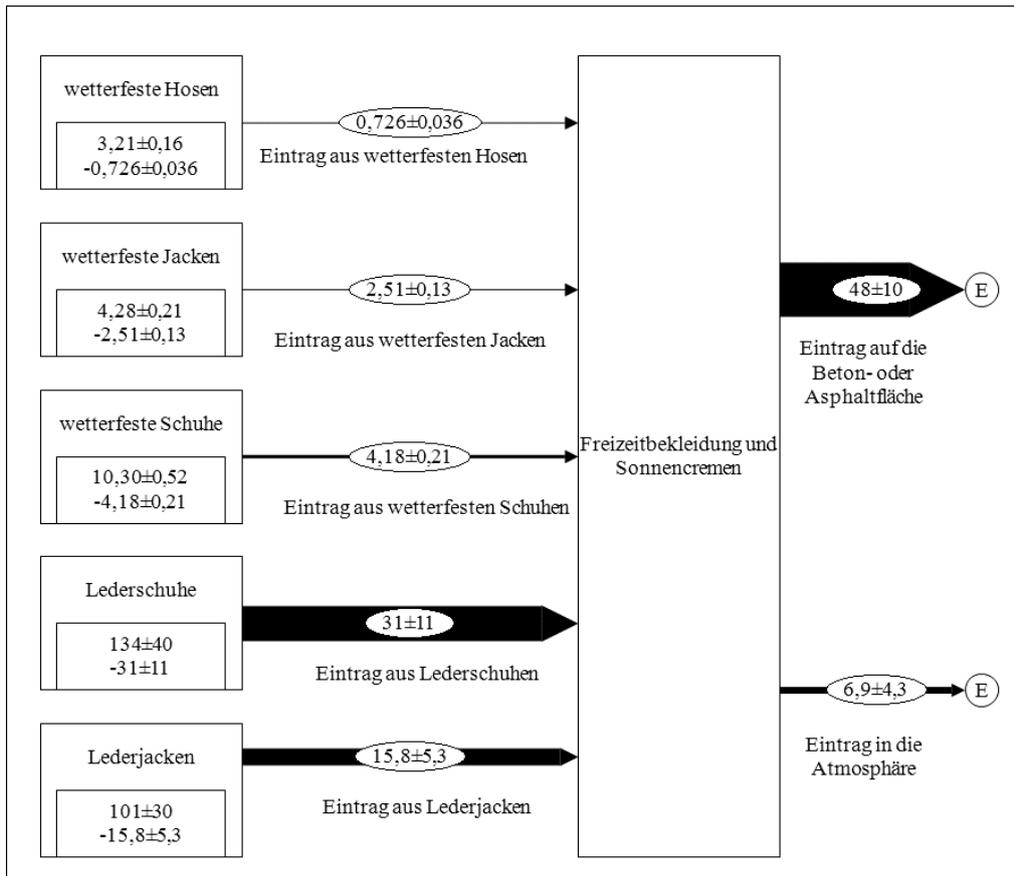


Abbildung 22: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Langackerwegs

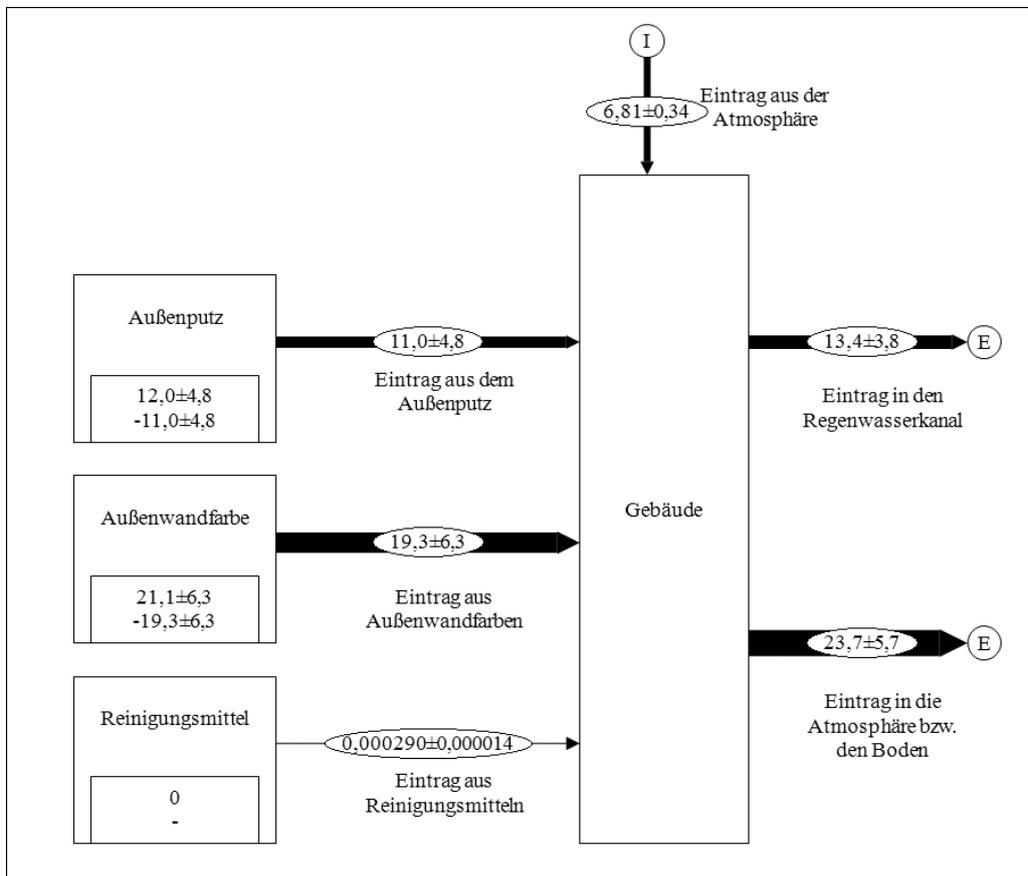


Abbildung 23: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Langackerwegs

### 3.3. Untersuchungsgebiet 3: „Siedlungsgebiet\_Ost“

#### 3.3.2. Stoffflussanalyse zu PFOA

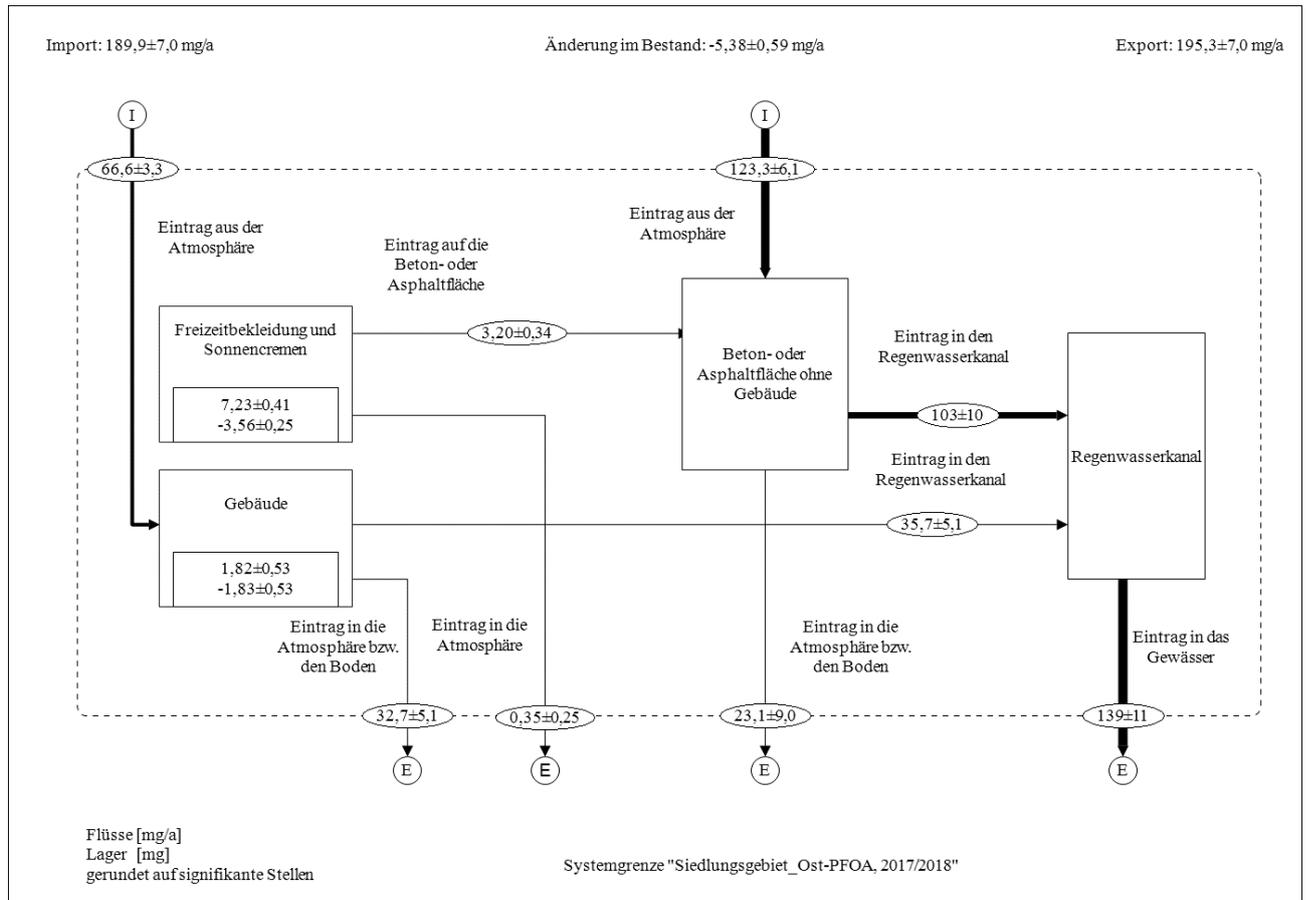


Abbildung 24: PFOA-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet\_Ost

Abbildung 24 zeigt die PFOA-SFA für den Niederschlagskanal des Siedlungsgebiet\_Ost. In diesem Gebiet kommen die größten Frachten aus der Atmosphäre. Den zweitgrößten Input liefert der Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“. Die Fracht die vom Prozess „Gebäude“ stammt ist am kleinsten. Abbildung 25 zeigt, dass die größten errechneten Einträge bei dem Prozess „Gebäude“ aus Blechlackbeschichtungen stammen. Etwas geringer fällt der in Abbildung 26 dargestellte Eintrag aus Sonnencremen in den Regenwasserkanal aus. Der drittgrößte Input stammt aus wetterfesten Schuhen. Wesentlich kleiner sind die Einträge aus wetterfesten Jacken und wetterfesten Hosen. Für minimale Einträge sorgen Fenster- und Türlackbeschichtungen.

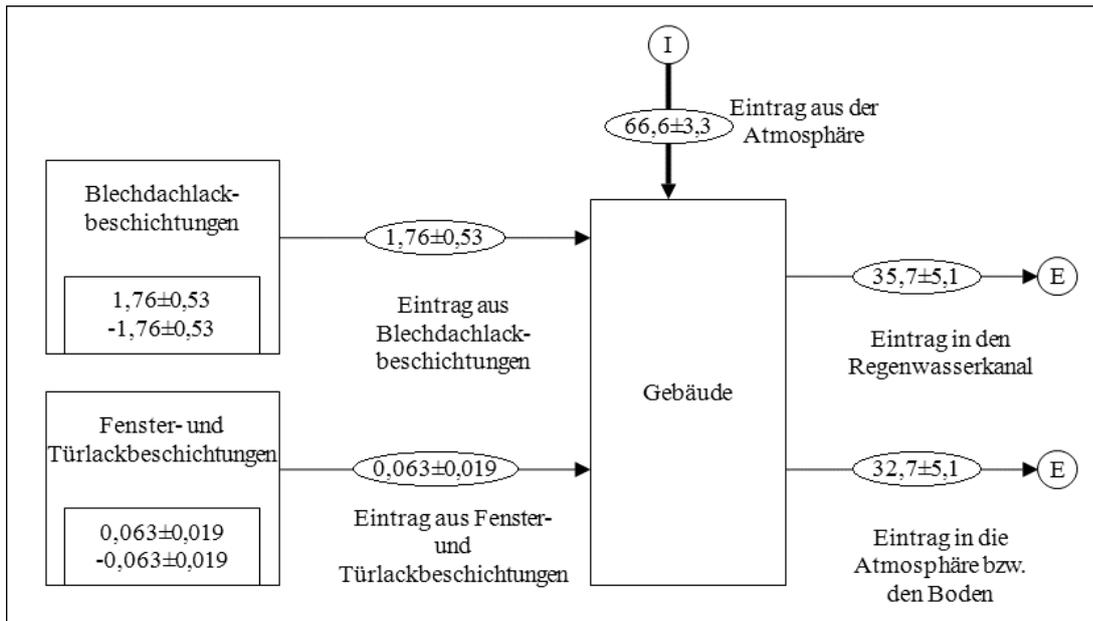


Abbildung 25: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet\_Ost

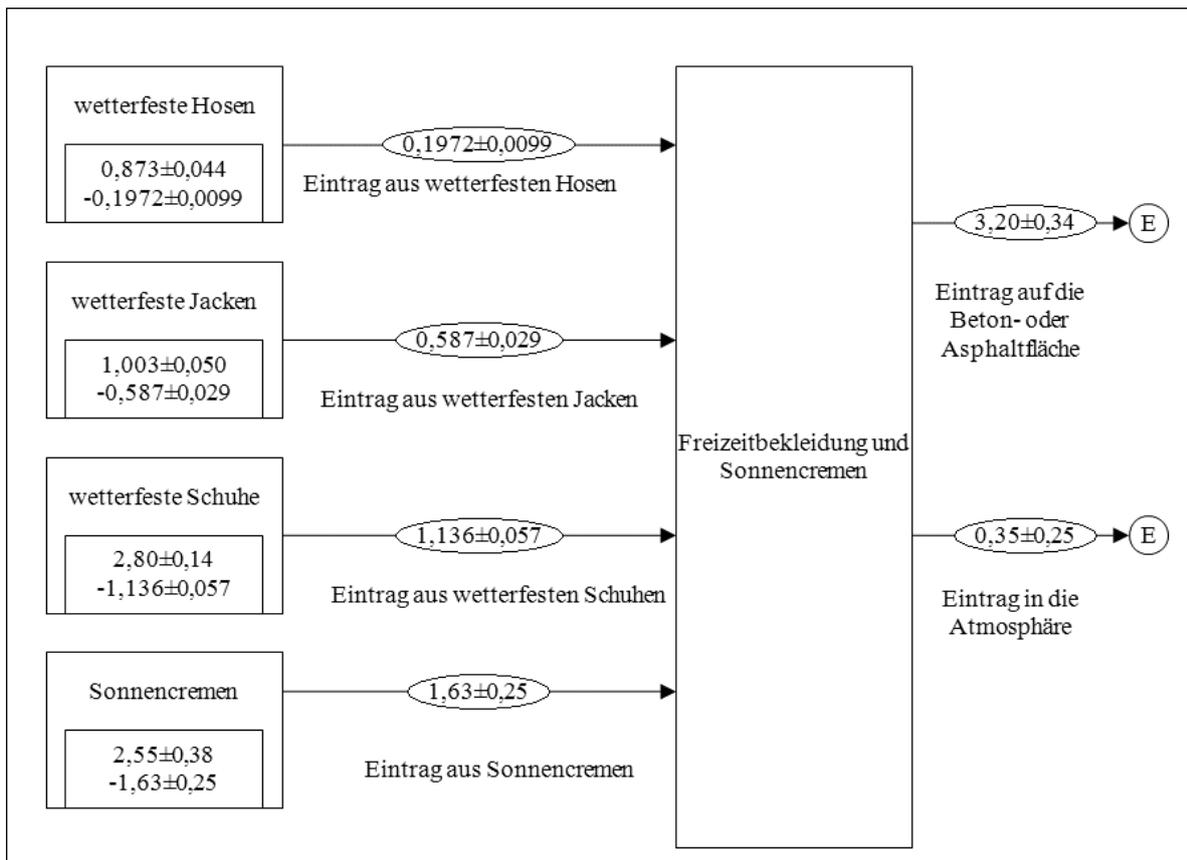


Abbildung 26: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet\_Ost

### 3.3.3. Stoffflussanalyse zu PFOS

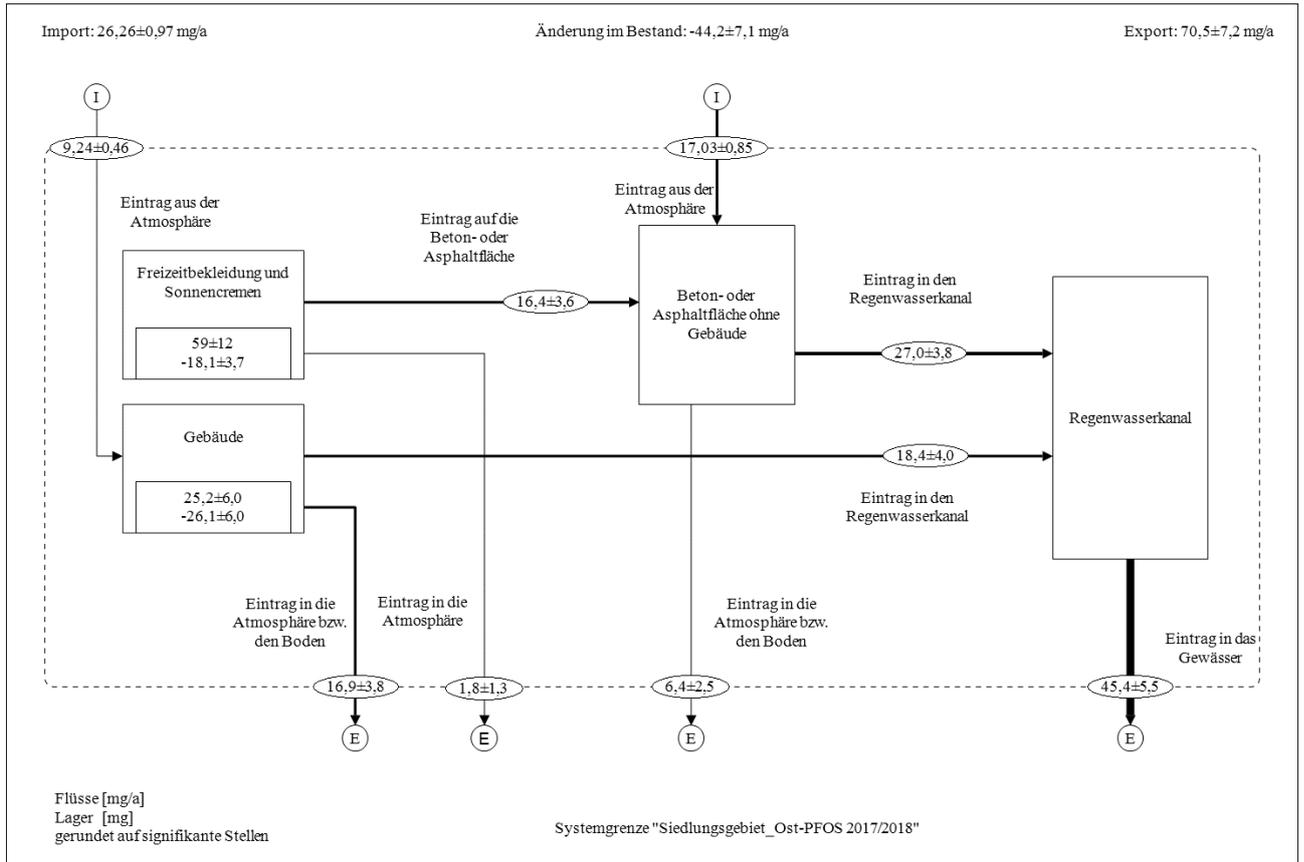


Abbildung 27: PFOS-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet\_Ost

Abbildung 27 verdeutlicht, dass die größten PFOS-Einträge in den Regenwasserkanal von dem Prozess „Beton- oder Asphaltflächen ohne Gebäude“ hervorgerufen werden. Der Input durch Gebäude ist geringer und steht an zweiter Stelle. Abbildung 28 zeigt, dass die errechneten Frachten durch den Eintrag aus dem Prozess „Außenwandfarben“ dominieren. Wie in Abbildung 29 ersichtlich ist der Eintrag aus Lederschuhen am zweitgrößten. Mit geringfügiger Differenz bildet der Außenputz die drittgrößte Quelle. Etwas geringer ist der Input aus wetterfesten Schuhen ausgefallen. Deutlich kleiner sind die Einträge aus wetterfesten Jacken und wetterfesten Hosen in den Regenwasserkanal. Den geringsten Input haben alkalische Reinigungsmittel. Die Frachten aus der Atmosphäre sind deutlich kleiner als jene von PFOA ausgefallen.

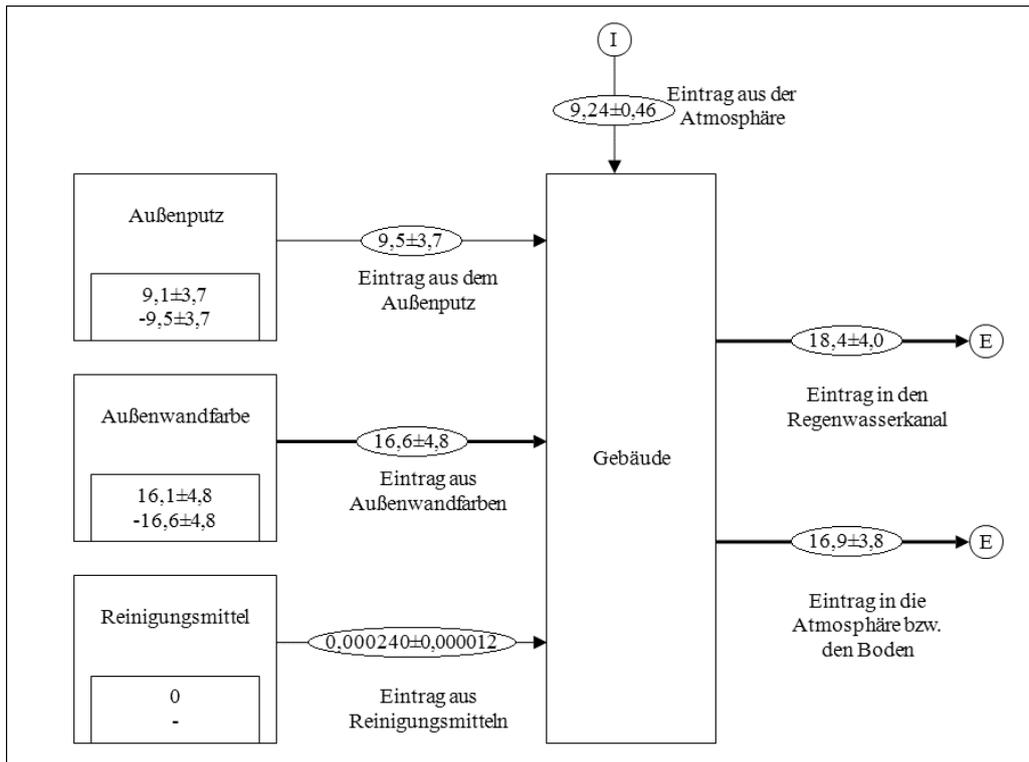


Abbildung 28: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet\_Ost

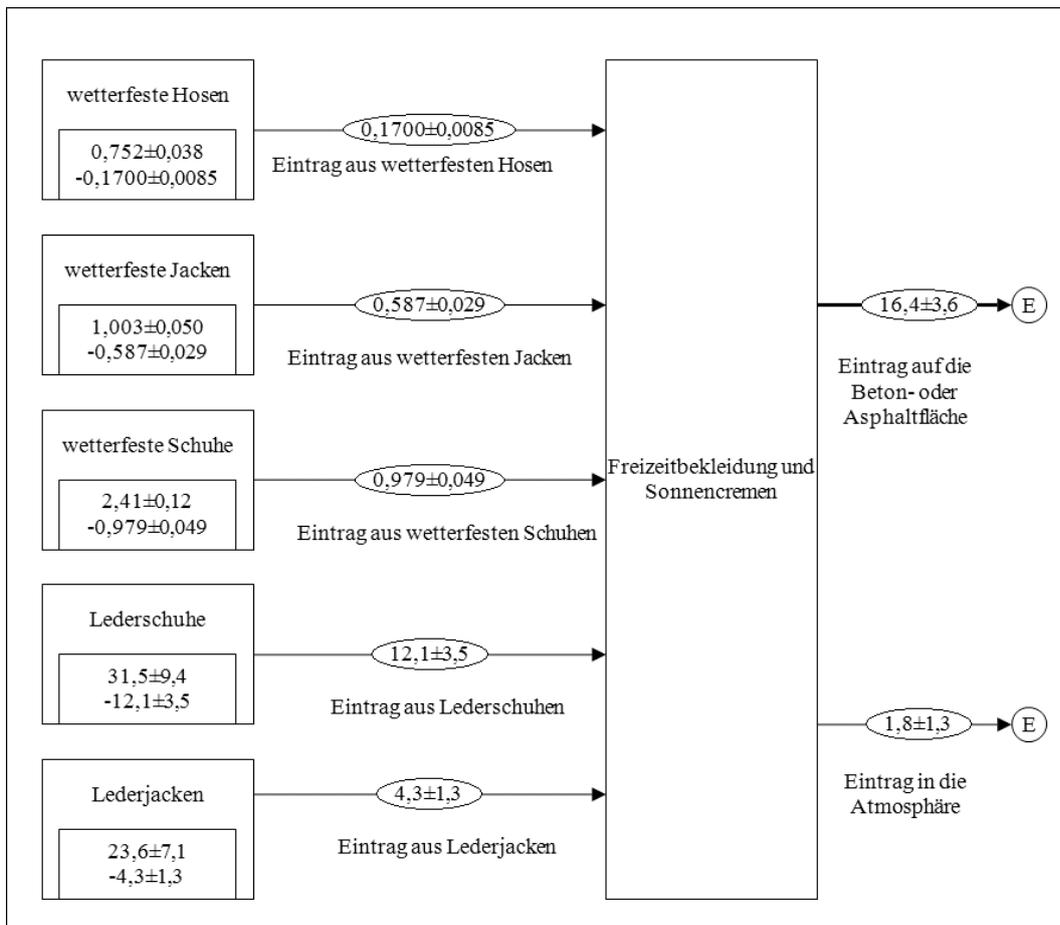


Abbildung 29: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet\_Ost

### 3.4. Untersuchungsgebiet 4: „Graz-R05-Mischwasser“

#### 3.4.2. Stoffflussanalyse zu PFOA

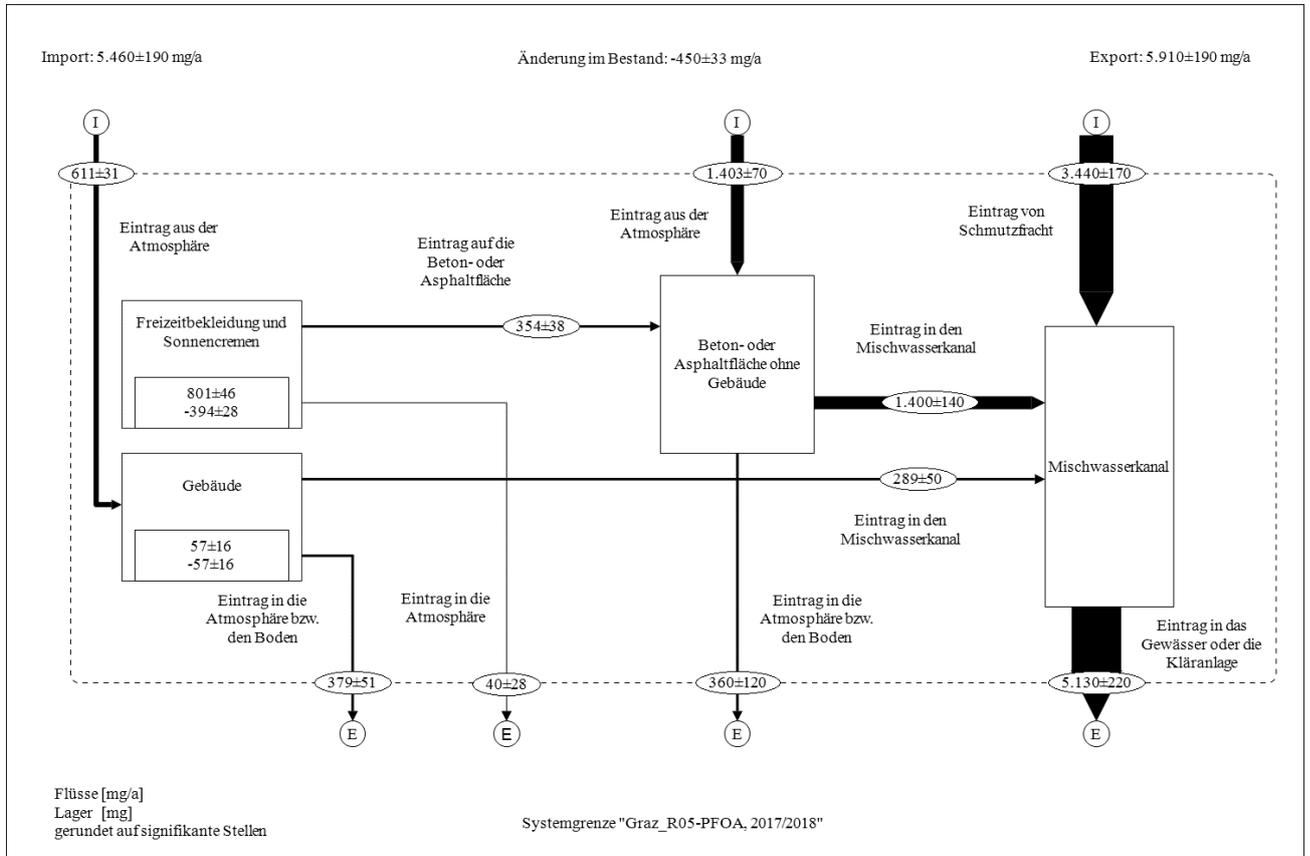


Abbildung 30: PFOA-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet Graz-R05

Abbildung 30 zeigt, dass der Schmutzwasserabfluss im Siedlungsgebiet Graz-R05 für die größten PFOA-Frachten im Mischwasserkanal sorgt. An zweiter Position, wenn auch wesentlich geringer, sind die Einträge aus der Atmosphäre. Die berechneten Frachten von Gütern sind verhältnismäßig klein ausgefallen, wobei von dem Prozess „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ ein größerer Input, als von dem Prozess „Gebäude“ in den Mischwasserkanal anfällt. Gemäß Abbildung 31 sind die Einträge aus Sonnencremen, wetterfesten Schuhen sowie wetterfesten Jacken höher, als jene Einträge der in Abbildung 32 abgebildeten Lackbeschichtungen von Blechdächern. Der Eintrag aus wetterfesten Hosen ist deutlich geringer. Am wenigsten tragen Fenster- und Türlackbeschichtungen zu Einträgen in den Mischwasserkanal bei.

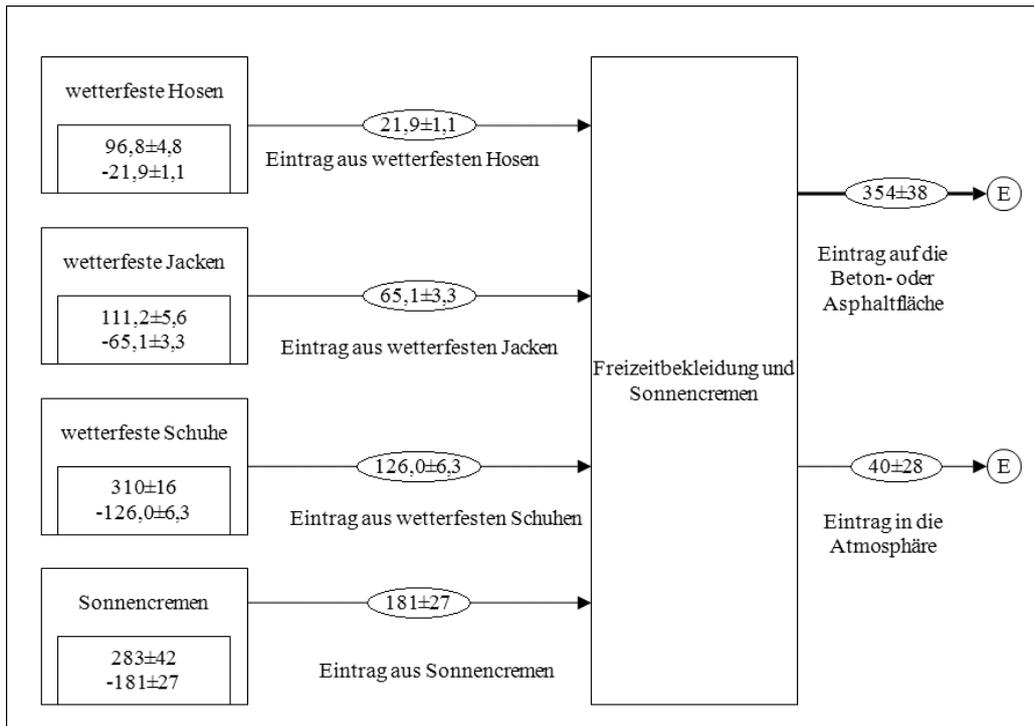


Abbildung 31: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet Graz-R05

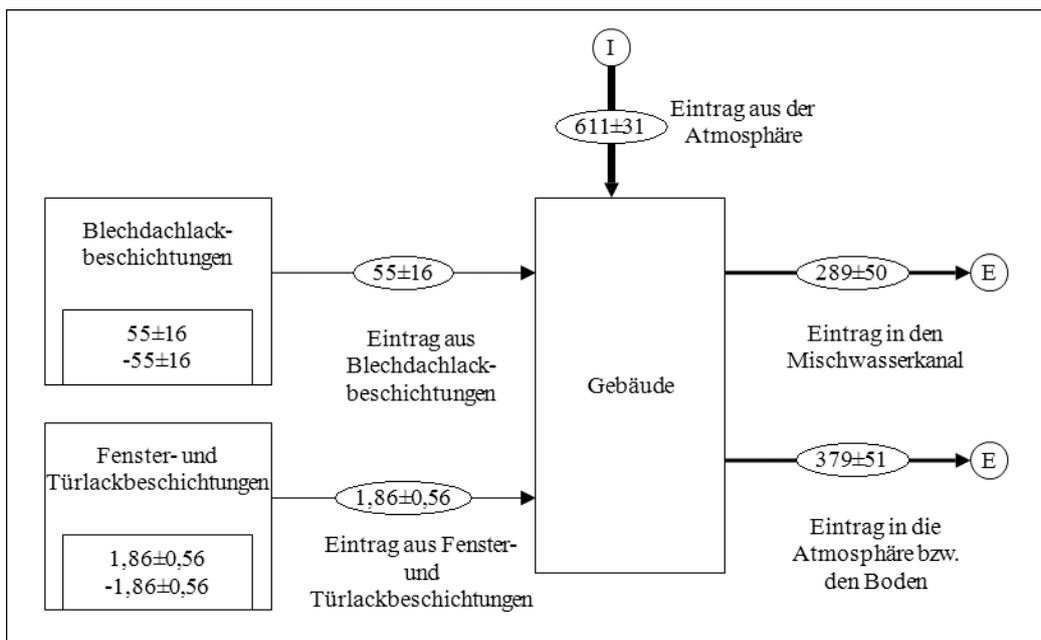


Abbildung 32: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet Graz-R05

### 3.4.3. Stoffflussanalyse zu PFOS

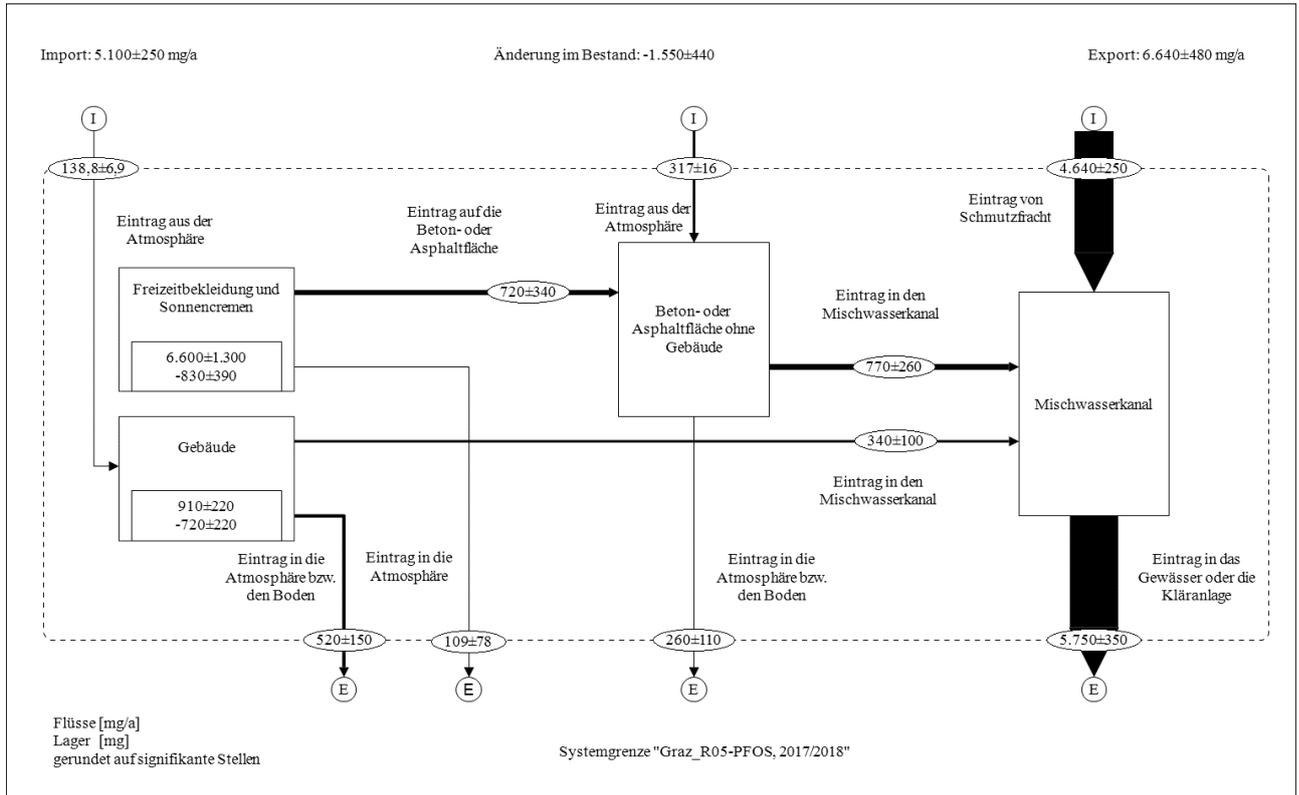


Abbildung 33: PFOS-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebietes Graz-R05

Wie Abbildung 33 entnommen werden kann, dominieren im Gebiet Graz-R05, wie auch bei der SFA von PFOA, die PFOS-Einträge vom Schmutzwasserabfluss in den Mischwasserkanal. Die zweitgrößte Fracht, wenn auch wesentlich geringer, bilden die Einträge von dem Prozess „Beton- oder Asphaltflächen ohne Gebäude“. Der Input durch Gebäude ist am geringsten. Abbildung 35 zeigt, dass der Input aus dem Prozess „Außenwandfarben“ von allen berechneten Frachten am größten ist. Für die nächstgrößten Einträge sorgen laut Abbildung 34 Lederjacken. Die drittgrößte Eintragsquelle ist der Außenputz, gefolgt von den Einträgen aus Lederschuhen und wetterfesten Schuhen. Der Input aus wetterfesten Hosen und wetterfesten Schuhen fällt etwas geringer aus. Auch in diesem Gebiet sorgen alkalische Reinigungsmittel für die minimalsten Einträge an PFOS. Einträge aus der Atmosphäre in den Mischkanal sind im Gegensatz zu der PFOA-SFA wesentlich geringer.

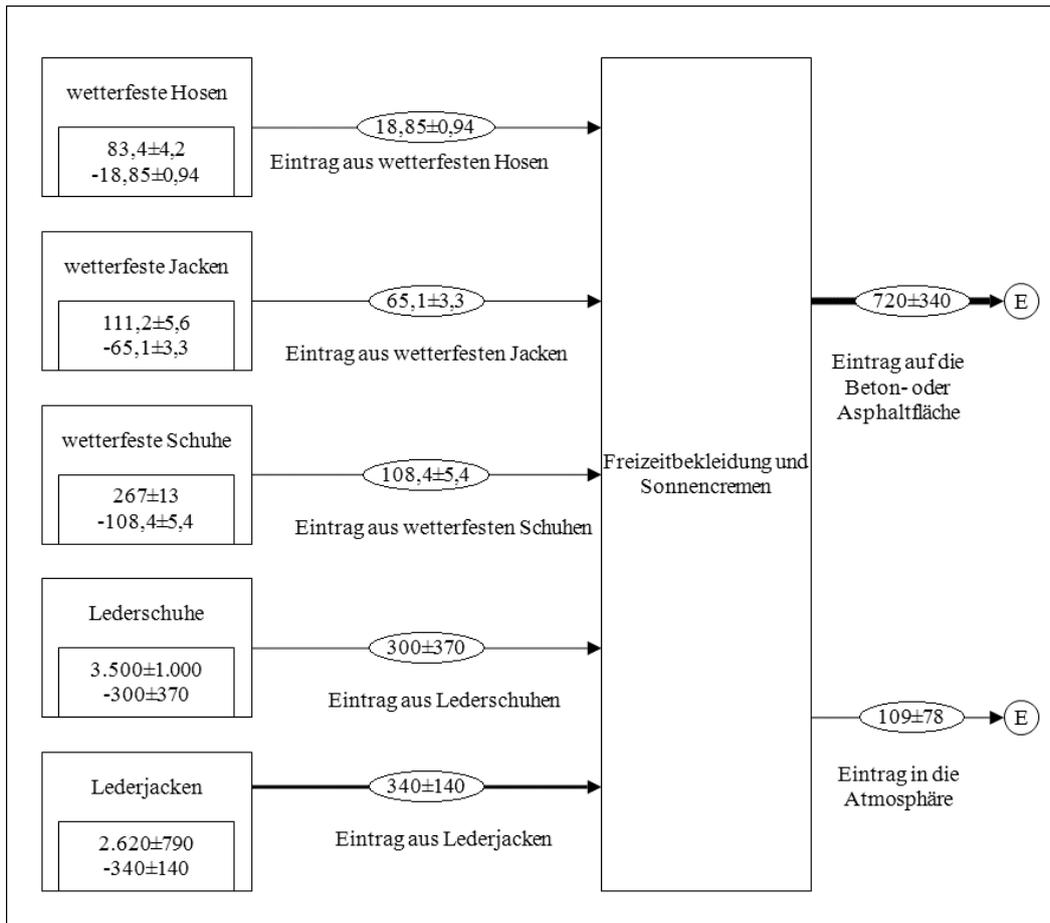


Abbildung 34: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet Graz-R05

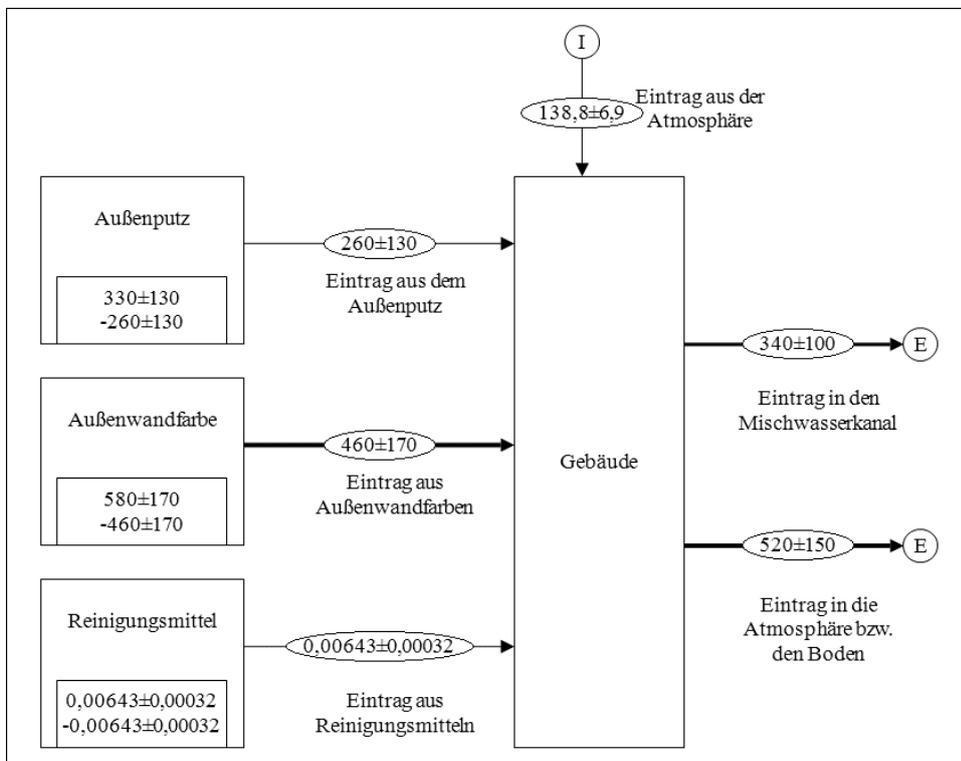


Abbildung 35: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet Graz-R05

### 3.5. Straßenabschnitt 1: „L202 - Hard/Lauterach“

#### 3.5.2. Stoffflussanalyse zu PFOA

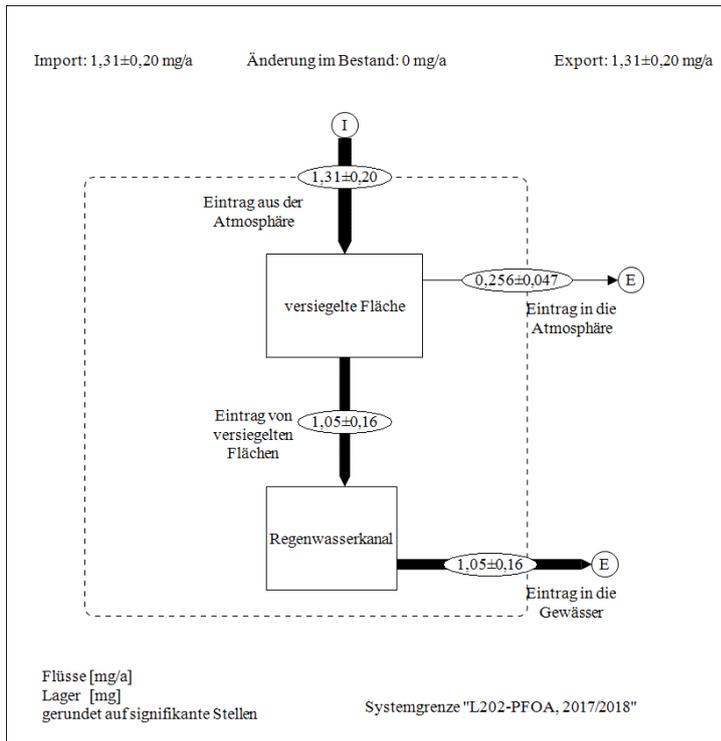


Abbildung 36: PFOA-Stoffflussanalyse des Straßenabschnitts L202

Abbildung 36 zeigt, dass im Zuge der PFOA-SFA lediglich Einträge aus der Atmosphäre, welche von versiegelten Flächen stammen, für den Streckenabschnitt L202 als Eintragsquelle von Bedeutung sind.

#### 3.5.3. Stoffflussanalyse zu PFOS

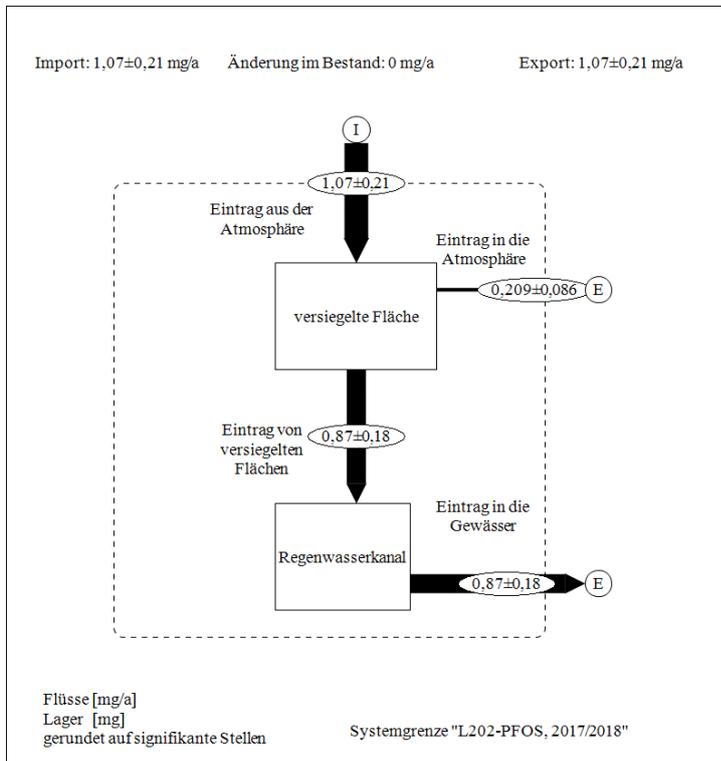


Abbildung 37: PFOS-Stoffflussanalyse des Straßenabschnitts L202

Abbildung 37 veranschaulicht, dass die von versiegelten Flächen stammenden Einträge aus der Atmosphäre die PFOS-Haupteintragsquelle für den Regenwasserkanal des Straßenabschnitts L202 bilden.

### 3.6. Normierter Vergleich der SFA-Ergebnisse mit den Validierungsfrachten

Um die Ergebnisse der Stoffflussanalysen untereinander sowie mit den Resultaten der Messungen vergleichen zu können, wurde eine Normierung auf 1.000 m<sup>2</sup> durchgeführt. Dabei wurde der Minimal- bzw. Maximalwert der Messergebnisse auf die versiegelte Fläche des jeweiligen Untersuchungsgebiets bezogen. Für die SFA-Frachten wurde der Outputpfad des Regen-/Mischwasserkanals ebenfalls auf die versiegelte Fläche bezogen. Damit konnte ein frachtbasierter Vergleich unabhängig von der Größe der Untersuchungsgebiete ermöglicht werden. Tabelle 31 stellt die normierten Resultate der Minimal- und Maximalwerte der Messungen sowie die berechneten Jahresfrachten mit und ohne Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfracht der Stoffflussanalysen dar.

Tabelle 31: Überblick über die normierten Minimalwerte ( $F_{Mess.Min.}$ ) und Maximalwerte ( $F_{Mess.Max.}$ ) der Messergebnisse sowie die berechnete Jahresfracht ohne TWF/SWF<sup>5</sup> ( $F_{o. TWF/SWF}$ ) und die berechnete Jahresfracht mit TWF/SWF<sup>6</sup> ( $F_{m. TWF/SWF}$ ) der PFOA- und PFOS-Stoffflussanalysen je Untersuchungsgebiet

PFOA [ $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ]				
	$F_{Mess.Min.}$	$F_{Mess.Max.}$	$F_{m. TWF/SWF}$	$F_{o. TWF/SWF}$
Ziegelstraße	2.038	11.114	2.811	796
Langackerweg	779	1.613	-	778
SGO	2.983	4.474	-	718
Graz-R05	1.645	2.655	2.469	813
L202	1.268	1.700	-	318
PFOS [ $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ]				
	$F_{Mess.Min.}$	$F_{Mess.Max.}$	$F_{m. TWF/SWF}$	$F_{o. TWF/SWF}$
Ziegelstraße	94	3.240	1.338	744
Langackerweg	712	1.081	-	1.114
SGO	1.013	1.722	-	235
Graz-R05	155	811	2.768	534
L202	329	1.057	-	264

Die tabellarische Gegenüberstellung zeigt, dass unter Berücksichtigung der Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfrachten pro Fläche im Untersuchungsgebiet Ziegelstraße mit 2.811  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  die jährlichen Einträge an PFOA im Gegensatz zu allen anderen Untersuchungsgebieten überwiegen. Durch die Normierung wird sichtbar, dass trotz der geringeren Größe der Ziegelstraße gegenüber dem Gebiet Graz-R05 (ca. 24-mal größer) und dem SGO (in etwa 2-mal größer) die jährlichen Frachten an PFOA pro Fläche dominieren. Die zweitgrößte Jahresfracht verzeichnet mit 2.469  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  das Gebiet Graz-R05. Wesentlich kleiner fällt der Input in den Gebieten Langackerweg (778  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) und Siedlungsgebiet\_Ost (718  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) aus. Der Straßenabschnitt L202 hat die geringsten jährlichen PFOA-Einträge pro Fläche. Um die niederschlagsbasierten Einträge zu vergleichen, wurden die Resultate ohne TWF/SWF in Tabelle 31 dargestellt. Dabei fallen die PFOA-Einträge pro Fläche in allen anderen Gebieten außer dem Straßenabschnitt L202 annähernd ähnlich aus. Die höchsten PFOA-Einträge pro Fläche hat das Gebiet Graz-R05.

Den höchsten flächenspezifischen Input an PFOS verzeichnet mit Berücksichtigung der Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfracht das Gebiet Graz-R05 mit 2.768  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ . Die zweitgrößten Einträge, wenn auch wesentlich geringer, hat die Ziegelstraße (1.338  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Einen kleineren Input hat der Langackerweg mit 1.114  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ . Die beiden geringsten PFOS-Frachten pro Fläche verzeichnen die Gebiete L202 (264  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) und SGO (235  $\mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Der Vergleich ohne TWF/SWF zeigt im Gegensatz dazu, dass die Einträge pro Fläche im Langackerweg am größten sind. Die zweithöchsten Einträge an PFOS hat die

<sup>5</sup> ohne TWF/SWF = ohne Berücksichtigung der Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfracht

<sup>6</sup> mit TWF/SWF = mit Berücksichtigung der Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfracht

Ziegelstraße, gefolgt von dem Gebiet Graz-R05. Für die geringsten PFOS-Einträge pro Fläche sorgt der Straßenabschnitt L202 und das Siedlungsgebiet\_Ost.

Der Vergleich der Resultate der Messungen mit den SFA-Ergebnissen aus Tabelle 31 wird in der nachfolgenden Abbildung 38 gezeigt.

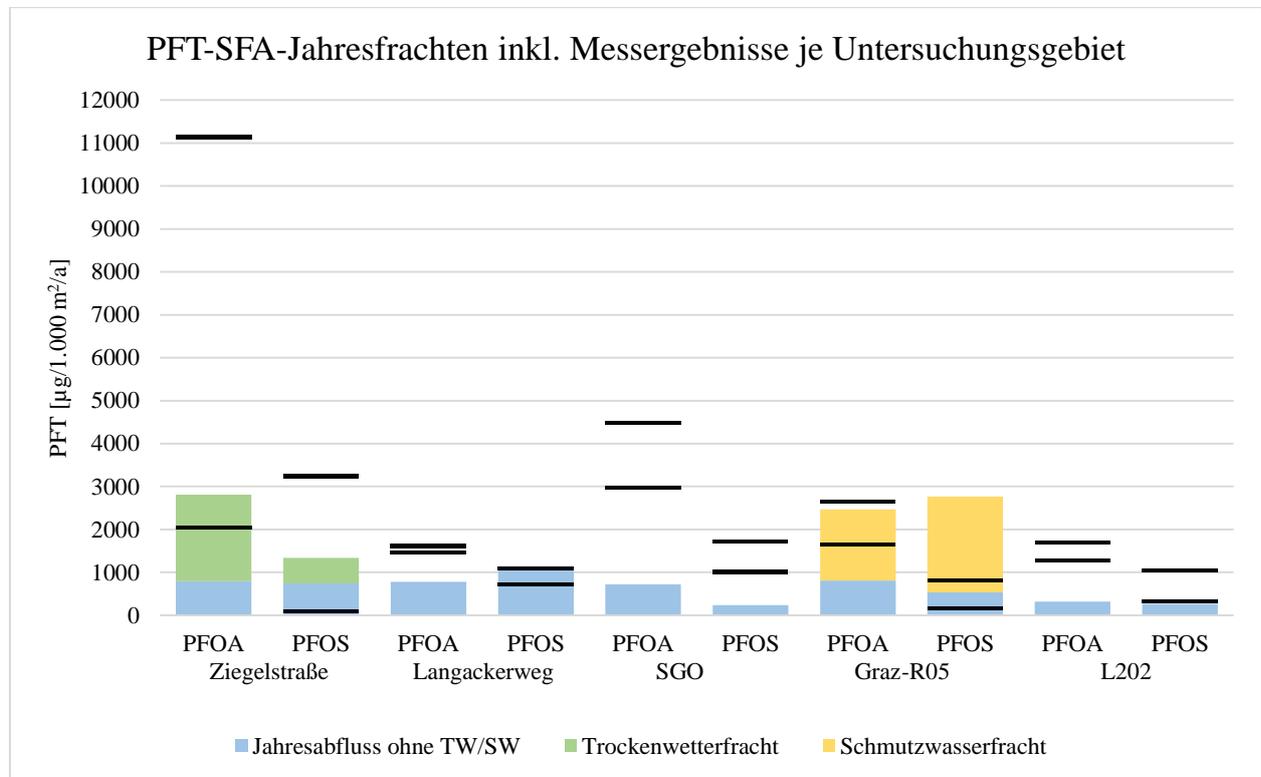


Abbildung 38: Darstellung der normierten PFT-Jahresfrachten je Untersuchungsgebiet

Die graphische Gegenüberstellung zeigt, dass die Jahresfrachten an PFOA in drei (Ziegelstraße, Siedlungsgebiet\_Ost, L202) von fünf Untersuchungsgebieten größer ausgefallen sind als die Jahresfrachten an PFOS. In den Gebieten Langackerweg und Graz-R05 überwiegen die Einträge an PFOS. Am deutlichsten ist der Unterschied zwischen den beiden Stoffen in der Ziegelstraße. Ebenso ist der Input an PFOA im Siedlungsgebiet\_Ost (SGO) bedeutend höher als an PFOS. Weiters lässt sich erkennen, dass die PFOA-Einträge ohne Berücksichtigung der Trockenwetter- bzw. Schmutzwasserfracht unter den Minimalwert der Messergebnisse fallen würden. Bei PFOS hat die Trockenwetter- und Schmutzwasserfracht nicht dazu geführt, dass die SFA-Jahresfracht über dem Minimalwert liegt. Für PFOA entsprechen die TWF/SWF bereits beinahe dem Minimalwert der Empirie. Allgemein hat der Straßenabschnitt L202 deutlich geringere Jahresfrachten, da nur ein Eintragspfad (Einträge aus der Atmosphäre) quantifiziert wurde. Auffällig ist, dass der Input beider Stoffe nahezu von gleichem Ausmaß ist.

Nachfolgend werden die SFA-Jahresfrachten mit den Messergebnissen für die einzelnen Untersuchungsgebiete verglichen:

#### a. Ziegelstraße

Die PFOA-SFA der Ziegelstraße zeigt, dass die Jahresfracht zwischen den Minimal- und Maximalwert der Messungen fällt. Der Wert liegt näher beim Minimalwert der Empirie. Wird der Jahresabfluss ohne Trockenwettereintrag betrachtet, so liegt der Eintrag deutlich unter dem Minimalwert. Die berechneten Eintragsquellen sind somit geringer als die Messergebnisse. Der Vergleich der PFOS-SFA mit den Validierungsfrachten zeigt, dass die SFA-Jahresfracht auch für PFOS zwischen dem Minimal- und Maximalwert

der Messungen liegt. Der Wert entspricht annähernd dem Mittelwert der Messgrößen. Deutlich zu sehen ist, dass der Jahresabfluss ohne Trockenwettereintrag höher als der Minimalwert der Messergebnisse ist und die berechneten Eintragsquellen somit im Bereich der Messergebnisse liegen. Es ist jedoch anzumerken, dass der Bereich zwischen dem Minimal- und Maximalwert für PFOA sowie PFOS sehr stark streut.

#### b. Langackerweg

Im Zuge der Validierung der Ergebnisse der PFOA-SFA des Langackerwegs mit den Messergebnissen konnte festgestellt werden, dass die errechnete Jahresfracht unter den Minimalwert der Messungen fällt. Bei dem Vergleich der PFOS-SFA mit den Messergebnissen liegt die SFA-Jahresfracht geringfügig über dem gemessenen Maximalwert.

#### c. Siedlungsgebiet\_Ost

Die PFOA-SFA-Jahresfracht befindet sich deutlich unter dem Minimalwert der Messungen und fällt somit wesentlich geringer als die Messergebnisse der Empirie aus. Die Gegenüberstellung der PFOS-SFA mit den Validierungsfrachten zeigt, dass sich der Messwert, wie bei der PFOA-SFA, ebenfalls unter der berechneten Jahresfracht befindet. Die Jahresfracht der SFA liegt somit unter dem gemessenen Minimalwert.

#### d. Graz-R05

Die Validierung zeigt, dass sich die Jahresfracht der PFOA-SFA zwischen dem Minimal- und Maximalwert der Messungen befindet und nahe dem Maximalwert ist. Wird lediglich der berechnete Input betrachtet, fällt dieser deutlich unter den Minimalwert der Messungen. Die Jahresfracht der PFOS-SFA ist im Vergleich zu den Messungen deutlich über dem Maximalwert. Die kalkulierte SFA-Jahresfracht hingegen liegt nahezu im Mittel zwischen dem Minimal- und Maximalwert der Messungen.

#### e. Straßenabschnitt L202

Bei der Validierung der PFOA-SFA mit den Messergebnissen zeigt sich, dass die SFA-Jahresfracht deutlich geringer als die Messwerte ausfällt. Ebenfalls ist die Jahresfracht der PFOS-SFA geringfügig kleiner als der minimale Messwert.

### 3.7. Flächengewichtete Normierung der Haupteintragungspfade von PFOA und PFOS je Untersuchungsgebiet

Tabelle 32 zeigt die normierten Frachten aller Prozesse, die in den Regen-/Mischwasserkanal fließen sowie den Outputpfad in das Gewässer bzw. die Kläranlage (Jahresfracht). Nachfolgend werden die berechneten niederschlagsbasierten Frachten ohne TWF/SWF näher erläutert:

Tabelle 32: Gegenüberstellung der Ergebnisse der frachtbasierten SFA-Normierung je Untersuchungsgebiet

PFOA [ $\mu\text{g}/1.000\text{m}^2/\text{a}$ ]						
	Trockenwetterfracht	Schmutzwasserfracht	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	Gebäude	Baugrube	Jahresfracht
Ziegelstraße	2.016		650	105	40	2.811
Langackerweg			679	74	26	778
SGO			533	185		718
Graz-R05		1.656	674	139		2.469
L202						318
PFOS [ $\mu\text{g}/1.000\text{m}^2/\text{a}$ ]						
	Trockenwetterfracht	Schmutzwasserfracht	Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle	Gebäude	Baugrube	Jahresfracht
Ziegelstraße	595		542	186	15	1.338
Langackerweg			832	259	23	1.114
SGO			140	95		235
Graz-R05		2.233	371	164		2.768
L202						264

Durch die Normierung hat sich gezeigt, dass der PFOA-Input des Prozesses „Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle“ bei dem Langackerweg mit  $679 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  und im Gebiet Graz-R05 mit  $674 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  pro Fläche nahezu ident und am höchsten ist. An dritter Stelle, wenn auch geringfügig kleiner, stehen die Einträge der Ziegelstraße ( $650 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Für das Siedlungsgebiet\_Ost sind die Einträge von Beton- oder Asphaltflächen ( $533 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) unter allen Gebieten am geringsten ausgefallen, während die jährliche PFOA-Fracht von den Gebäuden pro Fläche im dem Siedlungsgebiet mit  $185 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  dominieren. Der PFOA-Input von Gebäuden ist bei dem Gebiet Graz-R05 am zweitgrößten ( $139 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) und in der Ziegelstraße am drittgrößten ( $105 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Die Einträge von dem Prozess „Gebäude“ sind beim Langackerweg mit  $74 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  am kleinsten. Minimale Einträge aufgrund der Baugrube verzeichnet die Ziegelstraße ( $40 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ), gleichermaßen wie der Langackerweg mit  $26 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ .

Bei der Gegenüberstellung der PFOS-Fracht des Prozesses „Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle“ zeigt sich, dass die Frachten pro Fläche nicht annähernd gleich groß ausfallen. So hat der Langackerweg den höchsten errechneten Eintrag sämtlicher Prozesse ( $832 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Die Fracht der Ziegelstraße ist am zweitgrößten ( $542 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Mit  $371 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$  ist die Fracht dieses Pfades für Graz-R05 wesentlich kleiner. Den geringsten Input verzeichnet das Siedlungsgebiet\_Ost ( $140 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Obwohl der Eintrag von Gebäuden beim Langackerweg ( $259 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) überwiegt, ist dieser im Verhältnis zu dem Input der Beton- oder Asphaltflächen gering. Die Ziegelstraße hat pro Fläche die zweitgrößte Fracht, die von Gebäuden verursacht wird. Der Input von Gebäuden ist im Gebiet Graz-R05 ( $164 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) größer als in dem Siedlungsgebiet\_Ost ( $95 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ). Die jährliche Fracht an PFOS von Baustellen überwiegt in dem Langackerweg ( $23 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ) gegenüber der Ziegelstraße ( $15 \mu\text{g}/1.000 \text{ m}^2/\text{a}$ ).

## 4. Diskussion der Ergebnisse

### 4.1. Vergleich der SFA-Ergebnisse mit den Validierungsfrachten

Der Vergleich der PFOA- und PFOS-Jahresfrachten der SFA mit den Messergebnissen aus Abschnitt 3.6. zeigt, dass die Einträge an PFOA im Gegensatz zu PFOS in allen Untersuchungsgebieten deutlich höher ausfallen. Im Zuge der Validierung der Stoffe konnten drei Fälle unterschieden werden. So waren die SFA-Jahresfrachten:

- I. kleiner als der empirisch ermittelte Minimalwert,
- II. zwischen dem Minimal- und Maximalwert,
- III. über dem gemessenen Maximalwert.

Für die PFOA-Jahresfrachten trifft der erste und zweite Fall zu. Bei der Validierung der PFOS-Jahresfrachten spielen alle drei Fälle eine Rolle.

Kleinere SFA-Jahresfrachten als der empirisch ermittelte Minimalgehalt könnten auf einen fehlenden Input deuten. Fehlende Einträge könnten von bisher nicht berücksichtigten Bodeneinträgen, zu geringen Einträgen aus der Atmosphäre oder diffusen Quellen stammen (siehe Tabelle 1). Demzufolge könnten die Jahresfrachten der Niederschlags-/Mischwasserkanäle deutlich höher ausfallen. Ein weiterer Grund, dass die berechneten Frachten unterhalb des Minimalwerts liegen, könnte aus überhöhten Konzentrations- bzw. Jahresabflussmessungen resultieren.

Bei SFA-Jahresfrachten, welche über dem gemessenen Maximalgehalt liegen, besteht ist die Möglichkeit, dass der Input der literaturbasierten Quellen geringer ist als quantifiziert. Als Beispiel wäre die Versickerung von Niederschlag in angrenzende Grünflächen zu nennen. Weiterhin könnten Einträge in die Atmosphäre höher ausfallen als vermutet, wodurch die anhand der Theorie ermittelten Jahresfrachten ebenfalls von kleinerem Ausmaß wären. Eine weitere Begründung könnten zu geringe Konzentrations- bzw. Jahresabflussmessungen sein.

Bei dem Vergleich der PFOS-Jahresfrachten hat sich herausgestellt, dass die niederschlagsbasierten Frachten außer für das Siedlungsgebiet\_Ost und den Straßenabschnitt L202 auch ohne TWF/SWF mit den Messwerten

korrelieren. Daher sollten die PFOS-SFA keine oder nur einen geringen zusätzlichen Input von bisher unbekanntem diffusen Quellen aufweisen.

Der Vergleich sämtlicher Gebiete unter Berücksichtigung aller Trockenwetterabflüsse wäre besonders interessant, um die bisherigen Resultate mit den tatsächlichen Frachten an PFOA und PFOS gegenüberzustellen. Da in den drei Untersuchungsgebieten Langackerweg, SGO und L202 eine Beprobung der Trockenwetterabflüsse jedoch nicht möglich war, sollten die Jahresfrachten im Zuge zukünftiger TWF-Beprobungen für diese Gebiete ebenfalls höher ausfallen. Werden zukünftige TWF-Beprobungen für nachfolgende PFOA-SFA berücksichtigt, könnte der berechnete Wert ebenso zwischen dem Minimal- und Maximalwert der Messungen liegen. Die PFOS-SFA könnten durch die Berücksichtigung von TW-Einträgen, wie ebenfalls im Siedlungsgebiet Graz-R05, den Maximalwert der Messung überschreiten. Vor allem da die berechneten Werte schon beinahe dem Minimalwert der Empirie (L202) sowie Maximalwert der Empirie (Langackerweg) entsprechen.

Nachfolgend wird der Vergleich je Untersuchungsgebiet detaillierter aufgeschlüsselt:

#### **a. Ziegelstraße**

Der Vergleich mit den Validierungsfrachten zeigt, dass die Messwerte für PFOA und PFOS in der Ziegelstraße am größten sind. Allgemein korrelieren die SFA-Jahresfrachten beider Stoffe mit den Messergebnissen, da diese in den Bereich zwischen dem Minimal- und Maximalwert der Messungen fallen. Der Maximalwert von PFOA streut von allen gemessenen Werten am meisten. Folglich ist der Wert mit einer hohen Unsicherheit verbunden und sehr kritisch zu betrachten. Wie bei der PFOA-SFA-Jahresfracht hat auch die PFOS-SFA-Jahresfracht eine hohe Streuung. So ist der PFOS-Messwert zugleich der niedrigste, als auch der höchste aller gemessenen Werte. Demnach ist eine hohe Variabilität der Messdaten in diesem Gebiet gegeben.

#### **b. Langackerweg**

Bei dem Vergleich beider Stoffe hat sich gezeigt, dass eine Korrelation der SFA-Jahresfrachten mit den Messergebnissen des Regenwasserkanals nicht gegeben ist, da die Jahresfracht der PFOA-SFA unter den Messwerten und die Jahresfracht der PFOS-SFA geringfügig über den Messwerten lagen. Der Langackerweg verzeichnet ebenfalls einen großen Input an PFOS, wobei der Maximalwert der Empirie bereits durch die niederschlagsbasierten Einträge erreicht wird. Zusätzliche Einträge an PFOS würden über dem gemessenen Maximalwert liegen. Trotz der fehlerhaften Bilanzierung der PFOA-SFA des Langackerwegs wurden die SFA-Ergebnisse bei der Validierung der Ergebnisse berücksichtigt. Die Ursache für die fehlerhafte Bilanzierung dürfte sein, dass der ausgeglichene Wert außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls liegt und daher eine fehlerhafte Ausgleichrechnung resultiert. Dies könnte einerseits zu geringe literaturbasierte Einträge bedeuten, wodurch ein zusätzlicher Input benötigt werden würde. Andererseits könnte die empirisch ermittelte Fracht überhöht angesetzt worden sein, sodass der Outputpfad aus dem System eine größere Menge als die im System befindliche aufweist.

#### **c. Siedlungsgebiet\_Ost**

Eine Korrelation der SFA-Jahresfrachten der beiden Stoffe mit den Messergebnissen des Regenwasserkanals ist nicht gegeben, da beide SFA-Jahresfrachten unterhalb der empirisch ermittelten Jahresfrachten liegen. In dem Gebiet überschreiten die gemessenen PFT-Werte die berechneten SFA-Jahresfrachten bei weitem. Dies ist ein Indiz für fehlende diffuse Quellen (Einträge aus der Atmosphäre, dem Boden sowie von Gütern oder Trockenwetterfrachten).

#### **d. Graz-R05**

Der Vergleich der SFA-Jahresfrachten von PFOA und PFOS zeigt, dass nur die PFOA-SFA mit den Messwerten korreliert. Eine Übereinstimmung der PFOS-SFA-Jahresfrachten mit den Messwerten ist nicht gegeben. In dem Gebiet Graz-R05 sind die berechneten Jahresfrachten für PFOA und PFOS annähernd gleich ausgefallen. Die

Normierung stellt dar, dass in dem Gebiet Graz-R05 die PFOS-SFA-Jahresfracht inklusive der SWF den höchsten Wert hat und doppelt so groß, wie jener der Ziegelstraße ausgefallen ist. Grund dafür ist der Wert der Schmutzwasserfracht, welcher sogar den Maximalwert der Messungen überschreitet. Die selbst berechnete Schmutzwasserfracht dürfte somit zu hoch angesetzt worden sein. Für das Gebiet Graz-R05 sind weitere unberücksichtigte Pfade unwahrscheinlich.

#### e. Straßenabschnitt L202

Bei dem Straßenabschnitt L202 wurde nur der Input der atmosphärischen Deposition berücksichtigt, da es sich um einen Straßenabschnitt ohne Verbauung handelt. Einträge durch menschliche Aktivitäten, Gebäude und Baustellen wurden somit ausgeschlossen. Die Messungen zeigen, dass die Einträge an PFOS nahezu der atmosphärischen Deposition entsprechen. Bei PFOA werden, wie in allen anderen Gebieten, weitere diffuse Einträge vermutet. Die Messwerte der beiden Stoffe korrelieren im Allgemeinen nicht mit den SFA-Jahresfrachten, da bei beiden SFA die Jahresfrachten unterhalb des gemessenen Minimalwerts fallen.

### 4.2. Gegenüberstellung der Haupteintragspfade der SFA von PFOA mit PFOS je Untersuchungsgebiet

Mithilfe der Abbildung 39 werden die Ergebnisse der normierten Gegenüberstellung der einzelnen niederschlagsbedingten Einträge für die drei Hauptprozesse „Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle“, „Gebäude“ sowie „Baugrube“ aus Tabelle 32 dargestellt.

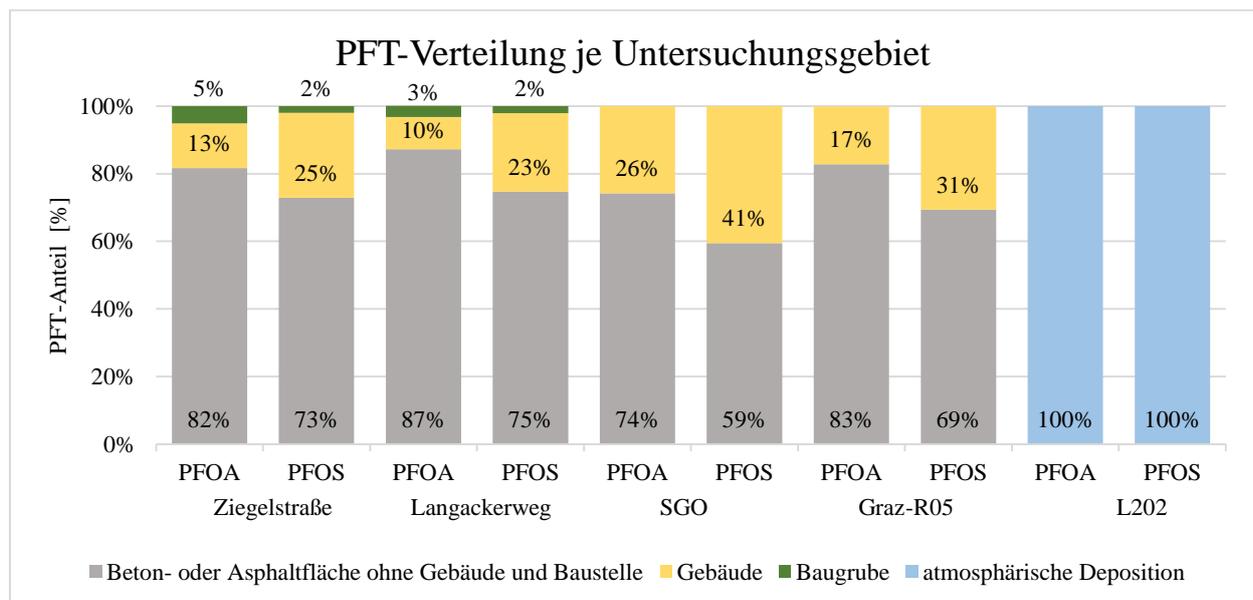


Abbildung 39: Darstellung der prozentualen PFT-Verteilung je Prozess und Untersuchungsgebiet

Die Abbildung 39 zeigt, dass der Anteil des Eintrages von Beton- oder Asphaltflächen in die Kanäle sowohl für PFOA als auch PFOS dominiert. Grund dafür ist einerseits der höhere Transferkoeffizient ( $0,800 \pm 0,10$ ) von Asphalt- und Betonflächen im Gegensatz zu den Gebäuden ( $0,513 \pm 0,10$  -  $0,383 \pm 0,10$ ). Andererseits haben Beton- oder Asphaltflächen den größten Anteil aller versiegelten Flächen. Der Transferkoeffizient (TK) von Gebäuden fällt wesentlich geringer aus, da ein Großteil des Niederschlags in angrenzende Grünflächen oder Drainagen von Häusern versickert. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Gebiete hinsichtlich der Dachformen sowie des Anteils der Hochhäuser zu Einfamilienhäuser führt dazu, dass der TK für jedes Siedlungsgebiet einzeln berechnet wurde. Daraus resultiert die Schwankung des Transferkoeffizienten von Gebäuden. Wie in Abbildung 39 ersichtlich, beträgt der Anteil der PFOA-Frachten von Beton- und Asphaltflächen für die Untersuchungsgebiete von 87% bis 74% der Jahresfrachten. Im Gegensatz dazu liegen der Anteil der PFOS-Frachten zwischen 75% und 59%. Im Umkehrschluss tragen Emissionen aus Gebäuden an der Zusammensetzung der PFOS-Jahresfracht in den Niederschlags-/Mischwasserkanal zu einem

größeren Anteil (41% bis 23%), als für die Zusammensetzung der PFOA-Jahresfrachten, bei. Der PFOA-Anteil liegt zwischen 26% und 10%.

Tabelle 27 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Transferkoeffizienten und der Zusammensetzung der Jahresabflüsse. Der größte Transferkoeffizient von Gebäuden ( $0,513 \pm 0,10$ ) des Siedlungsgebiets\_Ost resultiert in den höchsten PFOA-Anteil mit 26% und den größten PFOS-Anteil mit 41% des Prozesses „Gebäude“. Der Vergleich des kleinsten Transferkoeffizienten ( $0,383 \pm 0,10$ ) des Langackerwegs zeigt, dass der geringste Anteil der PFOA-Einträge mit 10% und der kleinste Anteil der PFOS-Einträge mit 23% von Gebäuden aus diesem Gebiet stammen.

Einträge der Baugrube sind am geringsten, da diese den kleinsten Flächenanteil aller versiegelten Flächen aufweisen. Die PFOA-Einträge der Baugrube betragen an der Zusammensetzung der Jahresfracht in der Ziegelstraße 5% und beim Langackerweg 3%, während bei PFOS der Anteil in beiden Gebieten 2% ausmacht. Für die höheren PFOA-Einträge sorgen Lackbeschichtungen von Baustellencontainern, welche als diffuse PFOA-Eintragsquelle berücksichtigt werden konnten. Die Einträge an PFOA und PFOS des Straßenabschnitts L202 stammen ausschließlich, wie in Abschnitt 4.1. erläutert, aus der Atmosphäre.

### 4.3. Vergleich literaturbasierter Eintragsquellen

Bei sämtlichen Siedlungsgebieten sorgen PFOS-haltige alkalische Reinigungsmittel für die geringsten Einträge in die gebietspezifischen Kanäle. Unter anderem trägt die geringe verbleibende Menge der zu reinigenden Flächen (10%, siehe Abschnitt 2.2.4.) zu dem kleinen Input bei. Außerdem ist die berechnete Konzentration in alkalischen Reinigungsmitteln von allen Gütern am geringsten.

In der Ziegelstraße und dem Langackerweg stammen die zweitkleinsten Einträge beider Stoffe von Baustellen. Aufgrund der kleineren Anzahl an Baustellenmitarbeitern fallen (siehe Abschnitt 2.2.5.) im Vergleich zu den Einwohnern geringe Einträge durch die Arbeitsbekleidung an. Der PFOA-Input durch Baustellencontainer ist im Gegensatz zu der Arbeitsbekleidung größer und fällt höher aus, als die Fracht von Fenster- und Türackbeschichtungen. Ebenfalls könnten die geringere Konzentration an PFOA sowie der kleinere charakteristische Stoffanteil zu den geringeren Einträgen führen. Laut dem BAYRISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELT (2018) gibt es bis 04.07.2023 eine Übergangsfrist für PFOA in Arbeitsschutzkleidung. Die Einträge für dieses Gut fallen in den Gebieten zwar gering aus, werden aber noch über Jahre bestehen und sind daher nicht zu vernachlässigen.

Tabelle 33 stellt den Vergleich der drei größten literaturbasierten Eintragsquellen perfluorierter Tenside für alle Siedlungsgebiete der Reihe nach dar.

Tabelle 33: Vergleich der drei größten literaturbasierten Eintragsquellen

	PFOA			PFOS		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Ziegelstraße	SC	WFS	WFJ	LS	AWF	LJ
Langackerweg	SC	WFS	WFJ	LS	AWF	LJ
Siedlungsgebiet_Ost	BDL	SC	WFS	AWF	LS	AP
Graz-R05	SC	WFS	WFJ	AWF	LJ	LS

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die größten PFOA-Frachten der Ziegelstraße, dem Langackerweg und des Gebiets Graz-R05 von denselben Gütern stammen. So steht der Eintrag von Sonnencremen (SC) in diesen Gebieten an erster Stelle. Dies könnte an der deutlich höheren PFOA-Konzentration (9,5 mg/kg) der Sonnencremen gegenüber allen anderen Gütern liegen. Wetterfeste Schuhe (WFS) und wetterfeste Jacken (WFJ) bilden die zweite und dritte Position der frachtbasierten Einträge der Ziegelstraße, des Langackerwegs und des Gebiets Graz-R05. WFS haben zwar eine geringere Verwendungshäufigkeit gegenüber WFJ, jedoch hat dieses Gut die höchste Stoffkonzentration, den zweitgrößten charakteristischen Stoffanteil und das meiste Gewicht der Kategorie Freizeitbekleidung. Daher überwiegt der Eintrag von Outdoor-Schuhen gegenüber jenem von Outdoor-Jacken. Wie in Abschnitt 2.1.1. dürfte die Einwohnerzahl der Ziegelstraße, des Langackerwegs und von Graz-R05

im Gegensatz zu dem SGO ausschlaggebend für die Reihung der Güter sein. So ist die Bevölkerungszahl der Ziegelstraße gegenüber der des Siedlungsgebiet\_Ost um einen Faktor 2,4 höher. Die Einwohnerzahl des Langackerwegs ist rund 4,8-mal höher als die des SGO und die Bewohnerzahl des Gebiets Graz-R05 79-mal größer als jene des Siedlungsgebiet\_Ost. Das SGO verortet keine Einfamilienhäuser und hat eine geringe Anzahl an Hochhäusern. Da die jährliche Fracht an PFOA von den Gebäuden im Siedlungsgebiet\_Ost überwiegt und die Einwohnerzahl sehr gering ist, überwiegen die Einträge von Blechdachlackbeschichtungen (BDL) gegenüber den von der Bevölkerungszahl abhängigen Einträgen. Diese könnte jedoch höher als 247 Personen ausfallen, zumal diese Anzahl lediglich die durchschnittlichen Hotelgäste pro Tag ohne Hotelpersonal und ArbeitnehmerInnen umliegender Gebäude berücksichtigt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sofern die Bevölkerungszahl in dem SGO höher ausgefallen wäre, Sonnencremen an erste Stelle der theoretischen Jahresfrachten fallen würden. Im Umkehrschluss wird konkludiert, dass, falls die Bevölkerungszahl der Ziegelstraße, des Langackerwegs und des Gebiets Graz-R05 wesentlich geringer ausgefallen wäre, der Eintrag von Blechdachlackbeschichtungen (BDL) aufgrund der verhältnismäßig großen Menge an verbauten Blechdächern in diesen Gebieten überwiegen würde.

Der Vergleich der PFOS-Frachten zeigt, dass dieselbe Reihenfolge für die Güter in der Ziegelstraße und den Langackerweg zutrifft. Die Erklärung dürfte die verhältnismäßig gleiche Einwohnerzahl sein. So beträgt diese in der Ziegelstraße 1.180 und bei dem Langackerweg 600 Personen. Lederschuhe machen in den Gebieten Ziegelstraße und Langackerweg die größten Frachten aus. Der Input von Lederwaren ist allgemein wesentlich höher als jener von wetterfester Bekleidung ausgefallen. Trotz des marginalen Gewichtsunterschieds von Lederschuhen gegenüber Lederjacken überwiegen die PFOS-Einträge von Lederschuhen. Grund dafür ist die unterschiedliche Verwendungshäufigkeit der Produkte. Auf Basis der Online-Umfrage werden Lederschuhe mit einer 30-prozentigen Wahrscheinlichkeit bei Regenereignissen getragen. Die Nutzung von Lederjacken bei Niederschlägen beträgt im Vergleich nur 9%. Ebenfalls fällt der charakteristische Stoffgehalt von Lederschuhen höher als bei Lederjacken aus (siehe Abschnitt 2.2.2.4.). Es lässt sich schlussfolgern, dass, sofern in Lederwaren ebenfalls PFOA-Konzentrationen nachgewiesen wären, diese in allen Gebieten vor den Sonnencremen an erster Position stehen würden, vor allem da die Nutzung von Sonnencremen über das Jahr gesehen deutlich geringer ist.

In den Gebieten Siedlungsgebiet\_Ost und Graz-R05 überwiegt der Anteil der Außenwandfarbe gegenüber dem Input durch Lederschuhe oder Lederjacken. Grund dafür ist, dass bei Außenwandfarben die Fläche an verwendetem Baumaterial trotz deren geringerer Stoffkonzentration überwiegt. Der Außenputz bildet die zweitgrößten Einträge von Baumaterialien im Siedlungsgebiet\_Ost. Ausschlaggebend dafür ist, dass der Anteil an exponiertem Außenputz mit 20% der Gesamtfläche aller gebietspezifischen Gebäude festgelegt wurde. Allgemein ist der charakteristische Stoffanteil von Außenwandfarben und Außenputz ident. Bei dem Gebiet Graz-R05 unterscheidet sich die Reihenfolge der Eintragsquellen aufgrund der Lederwaren. So überwiegt die Fracht von Lederjacken im Gegensatz der Fracht durch Lederschuhe. Eine Begründung dürfte die Ausgleichsrechnung liefern. Nachdem die gewählte Unsicherheit von Lederwaren mit 30% sehr hoch ausfiel, konnte im Zuge der Berechnung der Wert für Lederjacken den Wert für Lederschuhe in dem Gebiet Graz-R05 übersteigen.

## 5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Aufbereitung von Wasser ist teuer, deswegen sind für dessen Gewinnung unbelastete Oberflächengewässer sowie Grundwasser besonders essentiell (Wildner, 2012). Da gemäß Schulte und Vierke (2016) die stabilen Stoffe PFOA sowie PFOS über weite Distanzen mit den Gewässerströmen transportiert werden und perfluorierte Tenside aufgrund ihrer Mobilität sowie Persistenz als wasserwerks- und trinkwasserrelevante Stoffe anzusehen sind (Skutlarek et. al., 2006), sollten ihre Einträge bestmöglich vermieden werden (Biegel-Engler et. al., 2017; UMWELTMINISTERIUM VON BADEN-WÜRTTEMBERG, 2008). So findet Hillenbrand et al. (2015) zufolge bei PFOS weder unter aeroben noch anaeroben Bedingungen ein nennenswerter biotischer Abbau statt. Im Zuge der Literaturrecherche wurde ersichtlich, dass perfluorierte Tenside sowohl in kurzfristig, als auch in langfristig ersetzbaren Gütern enthalten sind. Nachdem PFOA und PFOS sowohl in Baumaterialien und auch in chemischen

Konsumentenprodukten in verschiedenen Publikationen nachgewiesen wurden, ist deren jährlicher Eintrag in das Gewässer eine aktuelle Problematik. So konnten die beiden Stoffe in allen Regenwasserkanälen, in dem Mischwasserkanal und in der atmosphärischen Deposition der untersuchten Gebiete nachgewiesen werden. Vor allem, da die Mikroschadstoffe zu Belastungen in dem gewählten Untersuchungszeitraum geführt haben, wird stark davon ausgegangen, dass diese auch weiterhin mit dem Niederschlag in die Kanäle eingetragen werden.

Um die Quantifizierung der Eintragsquellen und -pfade von PFOA bzw. PFOS in die Niederschlagskanalisationssysteme durchführen zu können, wurden viele Hypothesen aufgestellt und Abschätzungen getroffen (siehe Abschnitt 2.6.). Diese kamen mithilfe ausgewählter Publikationen, Rücksprachen mit Personen unterschiedlicher Organisationen bzw. Institutionen und Online-Umfragen zustande. Die Literaturrecherche zu diffusen Quellen perfluorierter Tenside war besonders herausfordernd, zumal sich die meisten Publikationen nicht mit deren Quantifizierung beschäftigten und somit nur wenige Vergleichsdaten vorlagen. Zur Identifizierung und in Folge zur verbesserten Quantifizierung wäre daher weitere Forschung nötig. Vor allem, da es zur Durchführung einer detaillierten Stoffflussanalyse genauere Informationen bezüglich der infrage kommenden Güter (siehe Abschnitt 2.2.) bedarf. Beispielsweise wären zur Abschätzung der Frachten an Feuerlöschschäumen eine detaillierte Dokumentation der Feuerlöscheinsätze sowie Untersuchungen an allen Einsatzorten an denen Feuerlöscheinsätze stattgefunden haben durchzuführen. Gleichermäßen sollten Untersuchungen bezüglich der mit dem Straßenstaub in Verbindung gebrachten Menge an perfluorierten Tensiden stattfinden. Eine Analyse zur Konzentration von Pestizid-Wirkstoffen als nicht berücksichtigte diffuse Quelle, könnte ebenfalls für Einträge aus dem Boden von Bedeutung sein.

Im Allgemeinen sollten Messungen zu den Bodeneinträgen stattfinden, um die bisher vernachlässigte Fracht perfluorierter Tenside aus dieser Quelle quantifizieren zu können. Der Input aus dem Boden könnte nach Ansicht der Autorin dieser Arbeit einen großen Einfluss auf die bisherige Analyse haben und eine große potentielle Eintragsquelle für den Regen-/Mischwasserkanal darstellen. Daher sollten die Stoffflussanalysen infolge der fehlenden empirischen Messungen dieses Pfades kritisch betrachtet werden. Ebenfalls zu erwähnen sind die im Zuge des Projekts TEMPEST (2019c) erhobenen Jahresfrachten perfluorierter Tenside in verschiedenen Kanalisationssystemen, welche bloß für ein Jahr ermittelt wurden. Zur besseren Vergleichbarkeit der Stoffflüsse sollten kontinuierliche Messungen über einen längeren Zeitraum als den Untersuchungszeitraum (01.10.2017 bis 30.09.2018) durchgeführt werden. Für eine verbesserte Analyse ist weiterhin die Kenntnis des Anschlussgrades der Regenwasserkanäle bzw. des Mischwasserkanals der einzelnen Gebiete von Bedeutung.

Anhand der SFA hat sich gezeigt, dass die Emissionen von PFOA und PFOS aus Baumaterialien und chemischen Konsumentenprodukten einen wesentlichen Beitrag an dem Eintrag in den Niederschlags-/ bzw. Mischwasserkanal haben. Der Input aus Baumaterialien wird zukünftig schwierig zu unterbinden sein, da diese eine lange Lebensdauer haben. Eine Reduktion von PFOA und PFOS kann nur auf lange Sicht umgesetzt werden. Emissionen chemischer Konsumartikel sollten leichter gegen PFT-freie Produkte zu ersetzen sein, zumal Konsumartikel im Gegensatz zu den Baumaterialien eine wesentlich geringere Lebensdauer haben. Für einen allgemein geringeren Einsatz perfluorierter Tenside wären weltweit verschärfte gesetzliche Regulierungen und vermehrte Kontrollen vonnöten, um eine Kontaminierung der Gewässer aufgrund dieser Stoffe auf lange Sicht zu verringern. Bei der Stoffflussanalyse von Buser und Morf (2009) hat sich gezeigt, dass die Emissionen an PFOA und PFOS in den letzten Jahren aufgrund gesetzlicher Regulierungen zurückgegangen sind. Gegenwärtig werden Ritscher et. al. (2018) zufolge im Rahmen der REACH-Verordnung einige perfluorierte Tenside geprüft und Risikominimierungsmaßnahmen erarbeitet. Allerdings tragen WissenschaftlerInnen und BehördenvertreterInnen aus verschiedenen Ländern dem „Zürcher Statement on Future Actions on Per- and Polyfluoralkyl Substances“ zufolge Sorge, dass die aktuellen Maßnahmen nicht ausreichend sind. Zur Reduzierung der Schadstoffe bedarf es unter anderem der Überarbeitung der europäischen Trinkwasserrichtlinie, da diese derzeit keine Grenzwerte für PFOA und PFOS vorsieht (Ritscher et. al., 2019). Weiters sollte an einer besseren Charakterisierung der Stoffe und an unbedenklichen Alternativen, welche wirtschaftlich und technisch vertretbar sind, gearbeitet werden

(Fricke et. al., 2015). Ebenso sollte PFOA in der Europäischen Union schnellstmöglich als PBT-Stoff ausgewiesen werden, um zukünftige Kontaminationen zu verringern.

Kallee und Santen (2013) zufolge korreliert mehr Funktionalität in Outdoor-Bekleidung mit einem höheren Chemikalieneinsatz. Dabei stellt sich die Frage, ob PFT-freie wasserdichte und wasserabweisende Alternativen für den privaten Nutzen genügen, oder ob die neue Jacke tatsächlich ölabweisende Eigenschaften besitzen muss? (Kalle und Santen, 2013)

Einen weiteren bedeutsamen Aspekt sollte die gesteigerte Öffentlichkeitsarbeit zu dieser Thematik bilden. Infolge der Bekanntheitssteigerung dieser Mikroschadstoffe werden ProduzentInnen gezwungen sein PFT-Kontaminationen in den Produktionsstätten zu unterbinden und auf umweltschädigende Stoffe in ihren Produktionsverfahren zu verzichten (Kallee und Santen, 2013). Häufigere Überprüfungen sollten ProduzentInnen zwingen, die vorgeschriebenen Regulierungen einzuhalten.

Aufgrund der geringen Datengrundlage sollte für produzierende Unternehmen der Anreiz geschaffen werden, Informationen der eingesetzten Stoffe für Dritte bereitzustellen. Damit könnten beispielsweise mithilfe von staatlichem und konsumentenbedingtem Druck Güter nur noch mit genauer Information über die Stoffzusammensetzung der Waren verkauft werden. Dieses System wurde bereits für Lebensmittel eingeführt und würde eine verbesserte Grundlage zur Quantifizierung diffuser Quellen schaffen, da für zukünftige Stoffflussanalysen genauere Informationen über das Vorkommen von PFOA sowie PFOS in einzelnen Gütern sowie deren Gewichtsanteile nötig wären. Abschließend lässt sich festhalten, dass der Eintrag perfluorierter Tenside auch noch in Zukunft zu Problemen für die Ökosysteme der aufnehmenden Gewässer führen wird und es daher weiterer Aufklärung zu diffusen Eintragspfaden und -quellen bedarf.

## 6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unterteilung der PFT-Stoffklassen.....	- 3 -
Abbildung 2: Strukturformeln von a) PFOA und b) PFOS .....	- 4 -
Abbildung 3: Übersichtsplan des Untersuchungsgebiets Ziegelstraße.....	- 10 -
Abbildung 4: Übersichtsplan des Untersuchungsgebietes Langackerweg .....	- 12 -
Abbildung 5: Übersichtsplan des Untersuchungsgebiets Graz-R05-Mischwasser.....	- 14 -
Abbildung 6: allgemeine Darstellung der Stoffflussanalyse für Niederschlagskanäle und den Mischkanal aller betrachteten Eintragspfade und -quellen.....	- 15 -
Abbildung 7: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Freizeitbekleidung und Sonnencremen .....	- 16 -
Abbildung 8: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Gebäude .....	- 17 -
Abbildung 9: Darstellung der Inputprozesse sowie In- und Outputpfade der Baustellenbekleidung.....	- 17 -
Abbildung 10: Darstellung der Flächenermittlung mittels des QGIS-Programms.....	- 22 -
Abbildung 11: Darstellung der für den Umfang bzw. sämtliche Baumaterialien relevante Google Maps Abbildung.....	- 22 -
Abbildung 12: Darstellung der PFOA-Stoffflussanalyse der Ziegelstraße .....	- 46 -
Abbildung 13: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ in der Ziegelstraße .....	- 47 -
Abbildung 14: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ in der Ziegelstraße .....	- 47 -
Abbildung 15: PFOS-Stoffflussanalyse der Ziegelstraße.....	- 48 -
Abbildung 16: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ der Ziegelstraße ..	- 49 -
Abbildung 17: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ der Ziegelstraße .....	- 49 -
Abbildung 18: PFOA-Stoffflussanalyse des Langackerwegs .....	- 50 -
Abbildung 19: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Langackerwegs....	- 51 -
Abbildung 20: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Langackerwegs .....	- 51 -
Abbildung 21: PFOS-Stoffflussanalyse des Langackerwegs .....	- 52 -
Abbildung 22: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Langackerwegs ....	- 53 -
Abbildung 23: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Langackerwegs.....	- 53 -
Abbildung 24: PFOA-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet_Ost .....	- 54 -
Abbildung 25: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet_Ost .....	- 55 -
Abbildung 26: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet_Ost.....	- 55 -
Abbildung 27: PFOS-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet_Ost .....	- 56 -
Abbildung 28: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet_Ost.....	- 57 -
Abbildung 29: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet_Ost.....	- 57 -
Abbildung 30: PFOA-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 58 -
Abbildung 31: Darstellung des PFOA-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 59 -
Abbildung 32: Darstellung des PFOA-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 59 -
Abbildung 33: PFOS-Stoffflussanalyse des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 60 -
Abbildung 34: Darstellung des PFOS-Prozesses „Freizeitbekleidung und Sonnencremen“ des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 61 -
Abbildung 35: Darstellung des PFOS-Prozesses „Gebäude“ des Siedlungsgebiet Graz-R05 .....	- 61 -
Abbildung 36: PFOA-Stoffflussanalyse des Straßenabschnitts L202 .....	- 62 -

Abbildung 37: PFOS-Stoffflussanalyse des Straßenabschnitts L202.....	- 62 -
Abbildung 38: Darstellung der normierten PFT-Jahresfrachten je Untersuchungsgebiet .....	- 64 -
Abbildung 39: Darstellung der prozentualen PFT-Verteilung je Prozess und Untersuchungsgebiet.....	- 68 -

## 7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten Anwendungsbereiche und Endprodukte von PFOS und PFOA .....	7 -
Tabelle 2: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien der Ziegelstraße .....	11 -
Tabelle 3: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Langackerwegs .....	12 -
Tabelle 4: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Siedlungsgebiets_Ost .....	13 -
Tabelle 5: Überblick der analysierten Flächennutzungskategorien des Siedlungsgebiets Graz-R05 .....	14 -
Tabelle 6: Güterliste und Definition für den Prozess "Freizeitbekleidung und Sonnencremen (FBKS)" .....	18 -
Tabelle 7: Güterliste und Definitionen für den Prozess "Gebäude (GB)" .....	18 -
Tabelle 8: Güterliste und Definition für den Prozess "Baustellenbekleidung (BBK)" .....	19 -
Tabelle 9: Güterliste und Definition für den Prozess "Baustellencontainer (BC)" .....	19 -
Tabelle 10: Güterliste und Definition für den Prozess "Baugrube" .....	20 -
Tabelle 11: Güterliste und Definition für den Prozess "Beton- oder Asphaltfläche ohne Gebäude und Baustelle (BAS)" .....	20 -
Tabelle 12: Güterliste und Definition für den Prozess "Regen-/Mischwasserkanal (RMWK)" .....	20 -
Tabelle 13: Übersicht über die Messergebnisse der Hochhausabmessungen für jedes Siedlungsgebiet .....	24 -
Tabelle 14: Darstellung der Anzahl und Abmessungen unterschiedlicher Tür- und Fensterarten je Siedlungsgebiet .....	24 -
Tabelle 15: Gesamtfläche an Lackbeschichtungen von Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbänken sowie Gesamtfläche an Blechdächern aller Siedlungsgebiete .....	25 -
Tabelle 16: Überblick der nachgewiesenen Perfluortensidverbindungen in Baumaterialien .....	29 -
Tabelle 17: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen und der charakteristischen Stoffanteile der Kategorie „Baumaterialien“ .....	29 -
Tabelle 18: Darstellung der Fenster- und Türrahmen sowie Fensterbankbeschichtungen unterschiedlicher Tür- und Fensterarten .....	32 -
Tabelle 19: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen in neuwertigen Freizeitbekleidungsartikeln und deren charakteristische Stoffanteile .....	33 -
Tabelle 20: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA-Konzentrationen von neuwertigen Sonnencremetuben und deren charakteristischer Stoffanteil .....	35 -
Tabelle 21: Aufschlüsselung der ermittelten PFOS-Konzentration von neuwertigen alkalischen Reinigungsmitteln und deren charakteristischer Stoffanteil .....	36 -
Tabelle 22: Aufschlüsselung der ermittelten PFOA- sowie PFOS-Konzentrationen und der charakteristischen Stoffanteile der Kategorie „Baustelle“ .....	37 -
Tabelle 23: Analyseergebnisse sowie die Minimal- und Maximalwerte von PFOA und PFOS der atmosphärischen Deposition .....	40 -
Tabelle 24: Übersicht der atmosphärischen Depositionsfrachten der versiegelten Gesamtflächen je Untersuchungsgebiet .....	41 -
Tabelle 25: Übersicht über die atmosphärischen Depositionswerte je Flächenkategorie und Untersuchungsgebiet .....	41 -
Tabelle 26: Typische Abflussbeiwerte für unterschiedliche Siedlungsflächen und Abflussbeiwerte $\alpha$ der infrage kommenden befestigten Teilflächen der Siedlungsgebiete nach Gujer (2007) .....	42 -
Tabelle 27: Darstellung der ermittelten Transferkoeffizienten .....	43 -
Tabelle 28: Überblick über die gemessenen Jahresfrachten an PFOA sowie PFOS der vier Niederschlagskanäle und des Mischkanals .....	43 -
Tabelle 29: Darstellung des berechneten Trockenwetterabflusses an PFOA und PFOS im Niederschlagskanal der Ziegelstraße .....	44 -
Tabelle 30: Darstellung des berechneten Schmutzwasserabflusses an PFOA und PFOS im Mischwasserkanal von Graz-R05 .....	44 -

Tabelle 31: Überblick über die normierten Minimalwerte ( $F_{\text{Mess.Min.}}$ ) und Maximalwerte ( $F_{\text{Mess.Max.}}$ ) der Messergebnisse sowie die berechnete Jahresfracht ohne TWF/SWF ( $F_{\text{o. TWF/SWF}}$ ) und die berechnete Jahresfracht mit TWF/SWF ( $F_{\text{m. TWF/SWF}}$ ) der PFOA- und PFOS-Stoffflussanalysen je Untersuchungsgebiet.....	- 63 -
Tabelle 32: Gegenüberstellung der Ergebnisse der frachtbasierten SFA-Normierung je Untersuchungsgebiet.....	- 65 -
Tabelle 33: Vergleich der drei größten literaturbasierten Eintragsquellen.....	- 69 -
Tabelle 34: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für die Ziegelstraße.....	- 89 -
Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für den Langackerweg.....	- 89 -
Tabelle 36: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für das Siedlungsgebiet_Ost.....	- 90 -
Tabelle 37: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für Graz-R05.....	- 91 -
Tabelle 38: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für die Ziegelstraße.....	- 91 -
Tabelle 39: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für den Langackerweg.....	- 92 -
Tabelle 40: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für das Siedlungsgebiet_Ost.....	- 93 -
Tabelle 41: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für Graz-R05.....	- 93 -
Tabelle 42: Übersicht über das ermittelte Gewicht verschiedener Outdoor-Jacken-Marken, Outdoor-Hosen-Marken, Outdoor-Schuhe-Marken sowie von Arbeitsjacken, -hosen, -schuhen und Stahlkappenschuhen.....	- 94 -
Tabelle 43: Jahresniederschläge je Untersuchungsgebiet.....	- 95 -
Tabelle 44: Depositions- und Konzentrationsanalyseergebnisse einer Messkampagne.....	- 95 -
Tabelle 45: PFOA- sowie PFOS-Konzentrations- und Jahresfrachtmessergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete.....	- 97 -
Tabelle 46: Gebietsspezifische Flächenauswertungen in $\text{m}^2$ .....	- 98 -
Tabelle 47: Zusammensetzung der Flach- und Steildachanteile einzelner Siedlungsgebiete.....	- 99 -
Tabelle 48: Abflussbeiwerte der Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet.....	- 99 -

## 8. Glossar

„Amphile Substanzen“ können sich sowohl in polaren als auch in unpolaren Lösungsmitteln lösen. Sie haben damit sowohl lipophile, als auch hydrophile Eigenschaften (Muller, 2009).

Der Begriff „Tensid“ bezeichnet generell Substanzen, welche die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit oder die Grenzflächenspannung zwischen zwei Phasen herabsetzen und somit die Bildung von Dispersionen unterstützen oder ermöglichen (Stahl et. al, 2007). Zumal sich der Begriff Tensid vom lateinischen „tensus“ ableiten lässt und spannen bzw. straff anziehen bedeutet.

„Bioakkumulation“ bedeutet eine „Konzentrationszunahme (Anreicherung) in einem Organismus gegenüber der Substratkonzentration im umgebenden Milieu“. Bioakkumulation beinhaltet die Anreicherung über alle möglichen Aufnahmewege beispielsweise über Sedimente, das Wasser oder über die Nahrung (Stahl et. al., 2007).

Die systematische Nomenklatur „Derivat“ bedeutet auch Abkömmlinge und bezeichnet acyclische Verbindungen (Verbindungen mit offener Kohlenstoffkette) der n-Alkane, wobei man sich vorstellt, dass im n-Alkan die Wasserstoffe durch entsprechende Atome oder Gruppen ersetzt worden sind (Wollrab, 2014).

„Polymere“ sind sehr große Moleküle, welche aus vielen chemisch miteinander verknüpften Untereinheiten bestehen (Wefers und Cameron, 2015).

Unter „funktioneeller Einheit“ ist die Bezugsgröße, auf welche die Flüsse des betrachteten Systems rückgeschlossen werden können, zu verstehen (ÖNORM S 2096-1, 2005).

Der „Emissionsfaktor“ ist ein Wert, welcher die Beziehung zwischen der Aktivität und der Menge des freigesetzten Schadstoffes, welche der Freisetzung des entsprechenden Schadstoffes zugeordnet ist, darstellt (ÖNORM EN ISO 11771, 2011).

Unter „Aktivitäten“ werden laut Baccini und Bader (1996) Handlungen des Menschen verstanden, welche der Bedürfnisbefriedigung gelten.

Der „Transferkoeffizient ( $k_x$ )“ beschreibt der ÖNORM S 2096-1 (2005) zufolge jenen Anteil des gesamten in den Prozess eingeführten Stoffes oder Gutes, welcher in den Output x transferiert wird. Dabei muss die Summe der Transferkoeffizienten sämtlicher Outputs eines Materials immer 1 ergeben. Der Koeffizient wird über die Transferfunktion beschrieben und ist dimensionslos.

Unter der „Transferfunktion“ wird die Verteilung eines Inputs an Stoffen oder Gütern inkl. Lagerveränderungen innerhalb eines Prozesses auf verschiedene Outputs des Prozesses verstanden (ÖNORM S 2096-1, 2005).

Die „Datenunsicherheit“ beschreibt eine Bandbreite möglicher Werte, in welcher der tatsächliche Wert einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (z.B. 95 % Konfidenz-Intervall) hineinfällt (ÖNORM S 2096-1, 2005).

## 9. Quellenverzeichnis

3M Company (1999) The Science of Organic Fluorochemistry. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.fluoridealert.org/wp-content/pesticides/pfos.fr.final.docket.0006.pdf>.

Alpina Farben (2019) Weißlack für Fenster und Türen – Spezial-Lack mit integrierter Grundierung. Online. [Abgerufen am 28.12.2019]. Verfügbar unter: <https://alpina-farben.de/produkt/alpina-weisslack-fuer-fenster-tueren/>.

Amann, A., Clara, M., Gabriel, O., Hochedlinger, G., Humer, M., Humer, F., Kittlaus, S., Kulcsar, S., Scheffknecht, C., Trautvetter, H., Zessner, M. und Zoboli, O. (2019) STOBIMO Spurenstoffe – Stoffbilanzmodellierung für Spurenstoffe auf Einzugsgebietsebene Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Arbeitsbedarf24 (2019) Arbeitslatzhose HELIOS Schwarz/Rot 46. [Online]. [Abgerufen am 20.08.2019]. Verfügbar unter: [https://www.arbeitsbedarf24.de/Arbeitslatzhose-HELIOS-Schwarz-Rot-46?gclid=EAIAIQobChMIIO\\_QqraX5wIViOF3Ch0lqQxtEAYYByABEGx\\_vD\\_BwE](https://www.arbeitsbedarf24.de/Arbeitslatzhose-HELIOS-Schwarz-Rot-46?gclid=EAIAIQobChMIIO_QqraX5wIViOF3Ch0lqQxtEAYYByABEGx_vD_BwE).

Arbeitsbedarf24 (2019) Profi-Arbeitshose grau/schwarz (neo). [Online]. [Abgerufen am 20.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.arbeitsbedarf24.de/Profi-Arbeitshose-grau-schwarz-neo>.

Arbeitsbedarf24 (2019) Kurze Arbeitshose HELIOS in versch. Farben. [Online]. [Abgerufen am 20.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.arbeitsbedarf24.de/Bundhose>.

Arbeitsbedarf24 (2019) Gummistiefel S5 gelb mit Stahlkappe. [Online]. [Abgerufen am 20.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.arbeitsbedarf24.de/S5-Gummistiefel-gelb-mit-Stahlkappe>.

Baccini, P. und Bader, H. (1996) Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung und Steuerung. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

Bayrisches Landesamt für Umwelt (2018) Detaillierte Information zu Beschränkungen von PFOS und PFOA in der EU. [Online]. [Abgerufen am 09.09.2019]. Verfügbar unter: [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/doc/eu\\_beschraenkungen\\_pfos\\_pfoa.pdf](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/eu_beschraenkungen_pfos_pfoa.pdf).

Becanova, J., Melymuk, L., Vojta, S., Komprdova, K. und Klanova, J. (2016) Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. Chemosphere. Vol. 164, p. 322-329.

Bergfreunde (2019) VAUDE – Mineo Parka Winterjacke [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.bergfreunde.de/vaude-mineo-parka-winterjacke/>.

Bergfreunde (2019) VAUDE - Kid's Snow Cup Pants III - Skihose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.bergfreunde.de/vaude-kids-snow-cup-pants-iii-skihose/>.

Bergfreunde (2019) THE NORTH FACE - Speedlight II Pant - Trekkinghose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.bergfreunde.de/the-north-face-speedlight-ii-pant-trekkinghose/>.

Bergfreunde (2019) SALOMON - Kid's Xa Pro 3D Mid CSWP - Wanderschuhe [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.bergfreunde.de/salomon-kids-xa-pro-3d-mid-cswp-wanderschuhe/>.

Bergfreunde (2019) LOWA - GARMONT - Vetta MNT GTX - Approachschuhe [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.bergfreunde.de/garmont-vetta-mnt-gtx-approachschuhe/?cnid=327724550b781a8fa67f7a902d5a2>.

BGBI. II 96/2006 Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG [CELEX-Nr.: 31976L0464, 31982L0176, 31983L0513, 31984L0156, 31984L0491, 31986L0280, 32000L0060]. [Online]. [Abgerufen am 27.04.2020]. Verfügbar in: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2006/96>.

Biegel-Engler, A., Vierke, L., Apel, P., Fetter, E. und Staude, C. (2017) Mitteilungen des Umweltbundesamt zu per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Trinkwasser. Bundesgesundheitsblatt 2017. p. 1-6.

Billa (2019) Frosch Essig Reiniger. [Online]. [Abgerufen am 08.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.billa.at/produkte/frosch-essig-reiniger/00-649509>.

Billa (2019) Clin Anti-Glasbeschlag Pistole Streifenfrei Reiniger. [Online]. [Abgerufen am 08.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.billa.at/produkte/clin-anti-glasbeschlag-pistole-streifenfrei-reiniger/00-856968>.

Billa (2019) Ajax Glasrein. [Online]. [Abgerufen am 08.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.billa.at/produkte/ajax-glasrein/00-860707>.

Billa (2019) Ajax Aroma Sensations Allzweckreiniger Lavendel & Magnolie. [Online]. [Abgerufen am 08.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.billa.at/produkte/ajax-aroma-sensations-allzweckreiniger-lavendel-und-magnolie/00-886518>.

Billa (2019) Frosch Allzweckreiniger Lavendel. [Online]. [Abgerufen am 08.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.billa.at/produkte/frosch-allzweckreiniger-lavendel/00-649467>.

Brielmann, H., Wemhöner, U., Clara, M., Scharf, S., Grath, J., Zieritz, I., Kulcsar, S., Schuhmann, A. und Philippitsch, R. (2018) Spurenstoffe im Grundwasser – Untersuchungen zum Vorkommen von Quecksilber und 30 ausgewählten organischen Substanzen anthropogener Herkunft. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Brunner, P. und Rechberger, H. (2004) Practical Handbook of Material Flow Analysis. Boca Raton: CRC Press LLC.

Buck, R., Franklin, J., Berger, U., Conder, J., Cousins, I., de Voogt, P., Jensen, A., Kannan, K., Mabury, S., and van Leeuwen, S. (2011) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification and origins. Integrated Environmental Assessment and Management. Vol. 7. p. 513-541.

BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR) (2019) Neue gesundheitsbezogene Richtwerte für die Industriechemikalie PFOS und PFOA. [Online]. [Abgerufen am 17.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/neue-gesundheitsbezogene-richtwerte-fuer-die-industriechemikalien-pfos-und-pfoa.pdf>.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2019) Trinkwasser und Wasserverbrauch. [Online]. [Abgerufen am 23.07.2019]. Verfügbar unter: <https://www.bmnt.gv.at/wasser/nutzung-wasser/Trinkwasser.html>.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2019) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2016 – 124. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2018) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2015 – 123. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2017) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2014 – 122. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2015) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2013 – 121. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2014) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2012 – 120. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2013) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011 – 119. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2012) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2010 – 118. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2011) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2009 – 117. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2010) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2008 – 116. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (BMNT) (2009) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2007 – 115. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Buser, A. und Morf, L. (2009) Substance Flow Analysis of PFOS and PFOA - Perfluorinated surfactants perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in Switzerland. Bern: Federal Office for the Environment.

Butt, C., Berger, U., Bossi, R. und Tomy, G. (2010) Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the arctic environment. Science of the Total Environment. Vol. 408. p. 2.936-2.965.

Clara, M., Scheffknecht, C., Kretschmer, F., Kolla, L., Weiß, S., Köhler-Vallant, B., Gruber, G., Hofer, T., Giselbrecht, G., Ertl, T. und Windhofer, G. (2014) Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen (SCHTURM). Wien: BMLFUW.

Clara, M., Gruber, G., Humer, F., Hofer, T., Kretschmer, F., Ertl, T., Scheffknecht, C. und Windhofer, G. (2014) Spurenemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. (SCHTURM) Wien: Umweltbundesamt.

Clara, M., Gabriel, O., Strenn, B., Trautvetter, H. und Zessner, M. (2015) Emissionsabschätzung für prioritäre Stoffe. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Clara, M., Hartmann, C. und Scheffknecht, C. (2016) Klärschlamm und Boden – Eintrag von Suorenstoffen auf landwirtschaftlich genützte Böden. Bregenz: Amt der Vorarlberger Landesregierung.

Cobbing, M. und Brodde, K. (2014) Rote Karte für Sportmarken – Giftige Chemikalien in WM-Produkten. Hamburg: Greenpace e.V.

Containerbasis (2019) Containermaße im Überblick. [Online]. [Abgerufen am 15.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.containerbasis.de/containermasse/>.

DIN EN 228:2014-10 (2014) Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Unverbleite Ottokraftstoffe – Anforderungen und Prüfverfahren. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/en/standard/din-en-228/216567883>.

DIN EN 590:2017-10 (2017) Kraftstoffe – Dieselmotorkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-590/278413784>.

Dönnebrink, H. (1998) Die Sammlung und Verwertung von Alttextilien: eine empirische Analyse vor dem Hintergrund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes. Münster.

ECHA (EUROPEAN CHEMICALS AGENCY) (2014) Annex XV Restriction Report Proposal for a Restriction – Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/e9cddee6-3164-473d-b590-8fcf9caa50e7>.

ECHA (EUROPEAN CHEMICALS AGENCY) (2015) Committee for Risk Assessment (RAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related substances. [Online]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/3d13de3a-de0d-49ae-bfbd-749aea884966>.

Ellis, D., Mabury, S., Martin, J. und Muir, D. (2001) Thermolysis of fluoropolymers as a potential source of halogenated organic acids in the environment. Nature 412. p. 321-324.

Engelman, R., Dye, B. und LeRoy, P. (2000) Mensch, Wasser!. Stuttgart: Balance Verlag.

EU-VO 2019/1021 (2019) Verordnung (EU) 2019/2021 des Europäischen Parlaments und Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung). [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1021>.

Fenzl, R. (2011) Im Spiegel der Statistik: Die öffentliche Kanalisation in Österreich. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau. Betreuer: Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. G., Gruber. Graz: Diss. Technische Universität Graz.

Fricke, M. und Lahl, U. (2005) Risikobewertung von Perfluortensiden als Beitrag zur aktuellen Diskussion zum REACH-Dossier der EU-Kommission. Düsseldorf: AWISTA.

Frömel, T., Gremmel, C., Dimzon, I., Weil, H., Knepper, P. und de Voogt, P. (2016) Investigations on the presence and behavior of precursors to perfluoroalkyl substances in the environment as a preparation of regulatory measures. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Giesy, J. und Kannan, K. (2002) Perfluorochemical surfactants in the environment. Environmental Science & Technology. Vol. 36 (7). p. 146-152.

Globetrotter (2019) Columbia WILDSTAR JACKET Kinder - Skijacke. [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/columbia-skijacke-kinder-wildstar-jacket-super-blue-collegiate-navy-he-1003943/>.

Globetrotter (2019) Vaude KIDS HYLAX 2L JACKET Kinder - Regenjacke. [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/vaude-regenjacke-kinder-kids-hylax-2l-jacket-bright-pink-1205139/>.

Globetrotter (2019). Mammut CHAMUERA HS THERMO HOODED PARKA WOMEN Frauen – Winterjacke [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/mammut-winterjacke-frauen-chamuera-hs-thermo-hooded-parka-women-deer-1219579/>.

Globetrotter (2019) Jack Wolfskin KYOTO COAT M Männer – Wintermantel [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/jack-wolfskin-wintermantel-maenner-kyoto-coat-m-black-1219347/>.

Globetrotter (2019) The North Face M BRITISH MILERN JKT Männer – Übergangsjacke [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/the-north-face-uebergangsjacke-maenner-m-british-milern-jkt-british-khaki-urban-navy-1225342/>.

Globetrotter (2019) Vaude KIDS SNOW CUP PANTS III Kinder - Thermohose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/vaude-thermohose-kinder-kids-snow-cup-pants-iii-black-1029179/>.

Globetrotter (2019) Mammut NORDWAND PRO HS PANTS WOMEN Frauen - Regenhose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/mammut-regenhose-frauen-nordwand-pro-hs-pants-women-sunset-1219592/>.

Globetrotter (2019) Mammut CASANNA HS THERMO PANTS WOMEN Frauen - Skihose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/mammut-skihose-frauen-casanna-hs-thermo-pants-women-wing-teal-1219651/>.

Globetrotter (2019) The North Face M CHAKAL PANT Männer - Skihose [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/the-north-face-skihose-maenner-m-chakal-pant-blue-wing-tealnf-black-1220785/>.

Globetrotter (2019) Viking ULTRA 2.0 Kinder - Gummistiefel [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/viking-gummistiefel-kinder-ultra-20-limenavy-1028422/>.

Globetrotter (2019) Lowa RENEGADE GTX MID WS Frauen - Wanderstiefel [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/lowa-wanderstiefel-frauen-renegade-gtx-mid-ws-navy-1216568/>.

Globetrotter (2019) Aigle PARC2 BOTT ISO BRUN Unisex – Gummistiefel [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/aigle-gummistiefel-unisex-parc2-bott-iso-brun-brun-1001954/>.

Globetrotter (2019) Aigle PARCOURS 2 ISO Unisex - Gummistiefel [Online]. [Abgerufen am 11.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.globetrotter.de/aigle-gummistiefel-unisex-parcours-2-iso-noir-1001916/>.

Google (2019) Google, Kartendaten © 2020. [Online]. [Abgerufen am 14.02.2020]. Verfügbar in: <https://goo.gl/maps/EXbyji6ST949aQ4u6>.

Gujer, W. (2007) Siedlungswasserwirtschaft. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Gruber, G., Pichler, M., Hofer, T., Maier, R. und Clara, M. (2020) Die Beprobung von Jahresschmutzfrachten in einem Misch- und einem Niederschlagskanal bei Regenwetter. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. p. 1-9.

Harada, K., Nakanishi, S., Saito, N., Tsutsui, T. und Koizumi, A. (2005) Airborne perfluorooctanoate may be a substantial source contamination in Kyoto Area, Japan. Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 74. p. 64-69.

Herzke, D., Olsson, E. und Posner, S. (2012) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in consumer products in Norway – A pilot study. Chemosphere. Vol. 88. p. 980-987.

Hillenbrand, T., Tettenborn, F., Fuchs, S., Toshovski, S., Metzger, S., Tjoeng, I., Wermter, P., Kersting, M., Hecht, D., Werbeck, N. und Wunderlin, P. (2015) Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2. p. 235.

Hirsch, M. und Milota, L. (2008) Konjunkturstatistik im produzierenden Bereich. Wien: Statistik Austria.

Hornbach (2019) Silikonfarbe Silikon-Fassadenfarbe Plus weiß 10 l. [Online]. [Abgerufen am 12.09.2019]. Verfügbar unter: [hornbach.de/shop/Silikonfarbe-Silikon-Fassadenfarbe-Plus-weiss-10-l/10006237/artikel.html#](http://hornbach.de/shop/Silikonfarbe-Silikon-Fassadenfarbe-Plus-weiss-10-l/10006237/artikel.html#).

Hornbach (2019) Dachbeschichtung Dachfarbe anthrazit 12,5 l. [Online]. [Abgerufen am 12.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.hornbach.de/shop/Dachbeschichtung-Dachfarbe-anthrazit-12-5-l/5850906/artikel.html#artikeldetails>.

Immobilienscout24 (2020) Sanierung von Haus oder Wohnung – Warum es sich lohnt, das Haus zu sanieren. [Online]. [Abgerufen am 25.01.2020]. Verfügbar unter: <https://www.immobilienscout24.at/baulexikon/sanierung.html>.

Janousek, R., Lebertz, S. und Knepper, T. (2019) Previously unidentified sources of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances from building materials and industrial fabrics. Environmental Science. Processes & Impacts. p. 1-10.

Kaiserkraft (2019) Multifunktions-Pilotjacke TOKAPI [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/arbeitsschutzkleidung/multifunktions-pilotjacke-tokapi/p/M1175428/>.

Kaiserkraft (2019) Softshell-Warnschutzjacke MERAPI [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/arbeitsschutzkleidung/softshell-warnschutzjacke-merapi/p/M1175438/>.

Kaiserkraft (2019) Strickfleece-Warnschutzjacke LANIN [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/arbeitsschutzkleidung/strickfleece-warnschutzjacke-lanin/p/M1175454/>.

Kaiserkraft (2019) Bundjacke PROFI-X [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/arbeitsschutzkleidung/bundjacke-profi-x/p/M1175836/>.

Kaiserkraft (2019) Latzhose PROFI-X. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/arbeitsschutzkleidung/latzhose-profi-x/p/M1175464/>.

Kaiserkraft (2019) S5 Sicherheitsstiefel SAFETY. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/sicherheitsschuhe-arbeitsschuhe/s5-sicherheitsstiefel-safety/p/M1176024/>.

Kaiserkraft (2019) S3 Halbschuhe TRANI. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/sicherheitsschuhe-arbeitsschuhe/s3-halbschuhe-trani/p/M2609965/>.

Kaiserkraft (2019) S3 Schnürstiefel SONDRIO. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/sicherheitsschuhe-arbeitsschuhe/s3-schnuerstiefel-sondrrio/p/M1176015/>.

Kaiserkraft (2019) S3 Halbschuhe SAVONA. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/sicherheitsschuhe-arbeitsschuhe/s3-halbschuhe-savona/p/M1176013/>.

Kaiserkraft (2019) Arbeitsschuhe S3 Halbschuhe COMO. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar unter: <https://www.kaiserkraft.at/arbeitschutz/sicherheitsschuhe-arbeitsschuhe/s3-halbschuhe-como/p/M1175937/>.

Kallee, U. und Santen, M. (2012) Chemie für jedes Wetter. Greenpeace untersucht Outdoor-Kleidung auf perfluorierte Schadstoffe. Hamburg: Greenpeace e.V.

- Kallee, U. und Santen, M. (2013) Chemie für Gipfelstürmer. Greenpeace untersucht Outdoor-Kleidung auf fluorierte Schadstoffe. Hamburg: Greenpeace e.V.
- Knepper, T., Frömel, T., Gremmel, C., Driezum, I., Weil, H., Vestergren, R. und Cousins, I. (2014) Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoralkyl substances (PFASs) via use of PFASs-containing products – risk estimation for man and environment. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Kotthoff, M., Müller, J., Jüring, H., Schlummer, M. und Fiedler, D. (2015) Perfluoralkyl and polyfluoralkyl substances in consumer products. *Environmental Science and Pollution Research International*. Vol. 22 (19). p. 14.546-14.559.
- Krafft, P. und Riess, J. (2015) Selected physicochemical aspects of poly- and perfluoroalkylated substances related to performance, environment and sustainability – Part one. *Chemosphere*. Vol. 129. p. 4-19.
- Lau, C., Butenhoff, L. und Rogers, M. (2004) The developmental toxicity of perfluoroalkyl acids and their derivatives. *Toxicology and Applied Pharmacology*. Vol. 198 (2) p. 231-241.
- Lampen, A. (2010) Perfluorierte Tenside als Kontaminanten in Lebensmitteln. *Aktuelle Ernährungsmedizin*. Vol. 35. p. 18-21.
- Motorradonline (2019) Sportliche Motorrad Lederjacken im Produkttest. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.motorradonline.de/bekleidung/sportliche-motorrad-lederjacken-im-produkttest-bequem-und-sicher/>.
- Motorradonline (2019) Produkttest: Lederjacken ab 300 Euro. [Online]. [Abgerufen am 10.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.motorradonline.de/bekleidung/produkttest-lederjacken-ab-300-euro-the-wild-one-reloaded/>.
- Muller, P. (2009) Glossary of terms used in physical organic chemistry. *Pure and Applied Chemistry*. Vol. 66. p. 1.077-1.184.
- Murakami, M. und Takada, H. (2008) Perfluorinated surfactants (PFSs) in size-fractionated street dust in Tokio. *Chemosphere*. Vol. 73. p. 1.172-1.177.
- Murakami, M., Shinohara, H. und Takada, H. (2009) Evaluation of wastewater and street runoff as sources of perfluorinated surfactants (PFSs). *Chemosphere*. Vol. 74. p. 487-493.
- OECD (2013) Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). (Hrsg.): OECD/UNEP Global PFC Group. Environment, Health and Safety. Environment Directorate. OECD.
- ÖNORM S 2096-1 (2005) Stoffflussanalyse - Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft - Begriffe. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM S 2096-2 (2005) Stoffflussanalyse - Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft - Methodik. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN ISO 11771 (2011) Luftbeschaffenheit - Ermittlung von zeitlich gemittelten Massenemissionen und Emissionsfaktoren - Allgemeine Vorgehensweise. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- Post, G., Cohn, P. und Cooper, K. (2012) Perfluorooctanoic acid, an emerging drinking water contaminant – A critical review of recent literature. *Environmental Research*. Vol. 116. p. 93-117.
- Prevedouros, K., Cousins, I., Buck, R. und Korzeniowski, H. (2006) Sources, Fate and Transport of perfluorocarboxylates. *Environmental Science & Technology*. Vol. 40. p. 1-13.
- Richtlinie 2013/39/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. [Online].

[Abgerufen am 27.04.2020]. Verfügbar in: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:DE:PDF>.

Riss, A. und Weiß, S. (2013) Perfluorierte Substanzen – Regelungen und österreichische Daten. Wien: Umweltbundesamt.

Ritscher, A., Zhanyun W., Scheringer, M., Boucher, J., Ahrens, L., Berger, U., Bintein, S., Bopp, S., Borg, D., Buser, A., Cousins, I., DeWitt, J., Fletcher, T., Green, C., Herzke, D., Higgins, C., Huang, J., Hung, H., Knepper, T., Lau, C., Leinala, E., Lindstrom, A., Liu, J., Miller, M., Ohno, K., Perkola, N., Shi, Y., Haug, L., Trier, X., Valsecchi, S., van der Jagt, K. und Vierke, L. (2018) Zürich Statement on Future Actions on Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs). Environmental Health Perspectives. Vol. 126 (8). p. 1-5.

Santen, M. (2016) Gefährliche Chemikalien in Outdoor-Ausrüstungen – Greenpeace Produkttest 2016. Hamburg: Greenpeace e.V.

Scheckenbach, H. und Walter, F. (2014) Berücksichtigung von Perfluorierten Chemikalien in der Altlastenerfassung - Pilotstudie im Landkreis Sigmaringen. Sigmaringen: Landratsamt Sigmaringen.

Schranz, C. und Jodl, H. (2012) Lebenszykluskosten von Fenstern – Einfluss der Wartungskosten. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift. Vol. 157. p. 1-7.

Schröter, A. (1995) Versuch einer Wertung der Lederherstellung und Untersuchung wichtiger Schuhkomponenten unter ökologischen Aspekten. Mönchengladbach: Diplomarbeit. Hochschule Niederrhein. ISBN: 9783832403058.

Schucknecht, A. (2007) Gefährden perfluorierte Verbindungen unsere Trink- und Grundwässer?. [Online]. [Abgerufen am 15.10.2019]. Verfügbar in: [http://www.geo.tu-freiberg.de/~hasche/S\\_Grundwasserschutz/Paper\\_GWS\\_Anne%20Schucknecht.pdf](http://www.geo.tu-freiberg.de/~hasche/S_Grundwasserschutz/Paper_GWS_Anne%20Schucknecht.pdf).

Schulte, C. (2006) In-Thema: Perfluorierte Verbindungen. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Vol. 18. p. 149-150.

Schulte, C. und Vierke, L. (2016) Fluorchemikalien: Funktionalität und Umweltschutz. Nachrichten aus der Chemie. Vol. 64. p. 969-971.

Skinci (2016) Mit Sonnenschutz durch dick und dünn. [Online]. [Abgerufen am 29.08.2019]. Verfügbar in: <https://www.skinci.de/2016/05/sonnenschutz-konsistenz-auftragsmenge.html>.

Skutlarek, D., Exner, M. und Färber, H. (2006) Perfluorierte Tenside (PFT) in der aquatischen Umwelt und im Trinkwasser. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Vol. 18. p. 151-154.

Sparkasse-Leben (2019) So lange hält ein Haus. [Online]. [Abgerufen am 22.02.2020]. Verfügbar in: <https://www.sparkasse-leben.de/news/so-lange-haelt-ein-haus>.

Stahl, T., Ackmann, R., Geogii, S., Wohlfarth, R. und Brunn, H. (2007) Perfluorierte Tenside – Verwendung, Vorkommen und Aufnahme mit Trinkwasser und Nahrung. Ernährung – Wissenschaft und Praxis. Vol. 1. p. 27-35.

Stahr, M. und Hinz, D. (2011) Sanierung und Ausbau von Dächern - Grundlagen - Werkstoffe – Ausführung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Statistik Austria (2018) Fahrzeugleistungen und Treibstoffeinsatz privater PKW nach Bundesländern. [Online]. [Abgerufen am 27.10.2019]. Verfügbar in: [https://www.statistik.at/web\\_de/nomenu/suchergebnisse/index.html](https://www.statistik.at/web_de/nomenu/suchergebnisse/index.html).

SWEDISH CHEMICAL AGENCY (2006) Perfluorinated substances and their uses in Sweden. [Online]. Verfügbar in: <https://www.kemi.se/global/rapporter/2006/rapport-7-06.pdf>.

TEMPEST (2019a) Datensatz zur Flächennutzung in den Einzugsgebieten des TEMPEST-Projektes. Excel-Datei zur Verfügung gestellt durch S. Kittlaus am 25.08.2019. Unveröffentlicht.

TEMPEST (2019b) Datensatz zur Auswertung der Jahresniederschläge in den Einzugsgebieten des TEMPEST-Projektes. Excel-Datei zur Verfügung gestellt durch S. Kittlaus am 25.08.2019. Unveröffentlicht.

TEMPEST (2019c) Datensatz zur Konzentration und dem Jahresabfluss perfluorierter Tenside in den Niederschlagskanälen und des Mischwasserkanals in den Einzugsgebieten des TEMPEST-Projektes. Excel-Datei zur Verfügung gestellt durch S. Kittlaus am 25.08.2019. Unveröffentlicht.

TEMPEST (2019d) Datensatz zur Messkampagne der atmosphärischen Deposition in den Einzugsgebieten des TEMPEST-Projektes. Excel-Datei zur Verfügung gestellt durch S. Kittlaus am 25.08.2019. Unveröffentlicht.

TEMPEST (2020) Datensatz zur graphischen Abbildung der Einzugsgebiete. PNG-Dateien zur Verfügung gestellt durch S. Kittlaus am 04.03.2020. Unveröffentlicht.

Tietje, O., Burkhardt, M., Rohr, M., Borho, N. und Schoknecht, U. (2018) Emissions- und Übertragungsfunktionen für die Modellierung der Auslaugung von Bauprodukten. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Trinkwasserverordnung (TWV): BGBl. II 304/2001: Verordnung der Bundesminister für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

TU Graz (2019) Einwohneranzahl [Persönliche Mitteilung] (Erhalten im August 2019).

UMWELTBUNDESAMT (2009) Per- und Polyfluorierte Chemikalien – Einträge vermeiden – Umwelt schützen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

UMWELTBUNDESAMT (2018) Dokumentation der Emissionsfaktoren [Online]. [Abgerufen am 12.10.2019].

Verfügbar unter:

[https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/verkehr/1\\_verkehrsmittel/EKZ\\_Doku\\_Verkehrsmittel.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/verkehr/1_verkehrsmittel/EKZ_Doku_Verkehrsmittel.pdf).

UMWELTMINISTERIUM VON BADEN-WÜRTTEMBERG (2008) Zwischenbericht – Perfluorierte Tenside (PFT) in Baden-Württemberg – Ergebnisse und Perspektiven. Selbstverlag.

UMWELTINSTITUT VORARLBERG (2019) Einwohneranzahl [Persönliche Mitteilung] (Erhalten im August 2019).

Wang, T., Wang, P., Meng, J., Liu, S., Lu, Y., Khim, J. und Giesy, J. (2015) A review of sources, multimedia distribution and health risks of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in China. Chemosphere. Vol. 129. p. 87-99.

Washburn, T., Bingman, S., Braithwaite, K., Buck, C., Buxton, W., Clewell, J., Haroun, A., Kester, E., Rickard, W. und Shipp, M. (2005) Exposure assessment and risk characterization for perfluorooctanoate in selected consumer articles. Environmental Science & Technology. Vol. 39 (11).

WRRL – Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. Nr. L 327 vom 22/12/2020). p. 1-73.

Wefers, H. und Cameron, P. (2015) Praktisch, langlebig und giftig – Organische Fluorverbindungen in Alltagsprodukten, in der Umwelt und im Menschlichen Körper: Bewertung und Konsequenzen für Politik und VerbraucherInnen. Berlin: Natur & Umwelt Verlags GmbH.

Werkmit beotol Werkzeuge GmbH (2019) Capatect SI-Reibputz 25kg [Online]. [Abgerufen am 11.09.2019].

Verfügbar unter: <https://www.werkmit.at/fassade/fassadenputze/capatect-si-reibputz-25kg.html>.

Wiesner, H., Tröger, N. und Hübner, R. (2015) Die Nutzungsdauer und Obsoleszenz von Gebrauchsgütern im Zeitalter der Beschleunigung. Wien: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien.

Wildner, L. (2012) Perfluorierte Tenside – Bedeutung für Mensch und Umwelt. Trier: LUBW.

Wollrab, A. (2014) Organische Chemie – Eine Einführung für Lehramts und Nebenfachstudenten. 4. Auflage. Berlin: Springer Spektrum.

Zangl, S., Blepp, M., Marquardt, M., Moch, K. und Wirth, O. (2012) Nationale Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs) – PBDE und PFOS in Erzeugnissen und im Recyclingkreislauf. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Zessner, M. (2008) The combined approach—a challenge for border crossing water quality issues in Austria. *Water Science and Technology*. Vol. 58. p. 1.917-1.923.

Zoboli, O., Clara, M., Gabriel, O., Scheffknecht, C., Humer, M., Brielmann, H., Kulcsar, S., Trautvetter, H., Kittlaus, S., Amann, A., Saracevic, E., Krampe, J. und Zessner, M. (2018) Occurrence and levels of micropollutants across environmental and engineered compartments in Austria. *Journal of Environmental Management*. Vol. 232. p. 636-653.

## 10. Anhang

### 10.1. Auswertung der Online-Umfrage

#### **1. Leben Sie in einem Haus oder einer Wohnung?**

202 ProbandInnen leben in einer Wohnung, 135 ProbandInnen leben in einem Haus

#### **2. Wie oft tragen Sie Ihre Outdoor-Jacke wenn es regnet (z.B. Regenjacke, Softshelljacken, regenabweisende Winterjacken)?**

47 ProbandInnen Immer, 87 ProbandInnen in 25% der Regenereignisse, 91 ProbandInnen in 50% der Regenereignisse, 90 ProbandInnen in 75 % der Regenereignisse, 22 ProbandInnen Nie

#### **3. Wie oft tragen Sie Ihre Outdoor-Hose wenn es regnet (z.B. Regen-, Schi-, oder Wanderhosen)?**

4 ProbandInnen Immer, 98 ProbandInnen in 25% der Regenereignisse, 21 ProbandInnen in 50% der Regenereignisse, 11 ProbandInnen in 75 % der Regenereignisse, 203 ProbandInnen Nie

#### **4. Wie oft tragen Sie Ihre wasserabweisenden Schuhe wenn es regnet? (z.B. imprägnierte Sneakers, Wanderschuhe, Gummistiefel)**

35 ProbandInnen Immer, 104 ProbandInnen in 25% der Regenereignisse, 74 ProbandInnen in 50% der Regenereignisse, 67 ProbandInnen in 75 % der Regenereignisse, 57 ProbandInnen Nie

#### **5. Wie oft imprägnieren Sie Ihre Kleidung inkl. Schuhe, um diese wasserabweisend zu machen?**

166 ProbandInnen 1x jährlich, 39 ProbandInnen 2x jährlich, 11 ProbandInnen 3x jährlich, 15 ProbandInnen öfter als 3x pro Jahr, 106 ProbandInnen Nie

#### **6. Wie oft tragen Sie Ihre Lederjacken wenn es regnet?**

2 ProbandInnen Immer, 51 ProbandInnen in 25% der Regenereignisse, 26 ProbandInnen in 50% der Regenereignisse, 5 ProbandInnen in 75 % der Regenereignisse, 253 ProbandInnen Nie

#### **7. Wie oft tragen Sie Ihre Lederschuhe, wenn es regnet?**

18 ProbandInnen Immer, 90 ProbandInnen in 25% der Regenereignisse, 65 ProbandInnen in 50% der Regenereignisse, 37 ProbandInnen in 75 % der Regenereignisse, 127 ProbandInnen Nie

#### **8. Wie viel Sonnencreme verwenden Sie durchschnittlich jährlich bei einer Tube von 500 ml?**

148 ProbandInnen 0,5 Tuben, 94 ProbandInnen 1 Tube, 24 ProbandInnen 1,5 Tuben, 21 ProbandInnen 2 Tuben, 9 ProbandInnen mehr als 2 Tuben, 40 ProbandInnen Keine

#### **9. Wie hoch ist der jährliche Putzmittelbedarf an Glas-, Fenster-, Türen-, Terrassen- und Loggiereiniger in dem Haushalt in dem Sie leben (800 ml)?**

229 ProbandInnen 0-3 Flaschen pro Jahr, 6 ProbandInnen 10-12 Flaschen pro Jahr, 77 ProbandInnen 4-6 Flaschen pro Jahr, 20 ProbandInnen 7-9 Flaschen pro Jahr, 5 ProbandInnen mehr als 12 Flaschen pro Jahr

## 10.2. Quantifizierungsergebnisse von Microsoft Excel

### 10.2.1. Tabellen der PFOA-Berechnungen

Tabelle 34: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für die Ziegelstraße

Ziegelstraße										
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt
		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]
<b>Textilien</b>										
wetterfeste Hosen	41,03 µg/kg	0,2703	0,211117313	8,662143367 µg/kg	590 kg	5,11066	0,51107	14%	0,64394	1,15501
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,156226812	5,719463583 µg/kg	1026,6 kg	5,87160	0,58716	54%	2,85360	3,44076
wetterfeste Schuhe	41,03 µg/kg	0,3333	0,26037802	10,68331015 µg/kg	1534 kg	16,38820	1,63882	34%	5,01479	6,65361
<b>Baumaterialien</b>										
Fenster- und Türlackbeschichtungen	3,75 µg/m <sup>2</sup>	0,0600	0,045949062	0,172308984 µg/m <sup>2</sup>	515,925 m <sup>2</sup>	0,08890	0,00889	100%	0,08001	0,08890
Blechdachlackbeschichtungen	14,71 µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,039056703	0,574524101 µg/m <sup>2</sup>	4950 m <sup>2</sup>	2,84387	0,28439	100%	2,55949	2,84387
<b>Konsumentenprodukte</b>										
Sonnencremen	9,5 mg/kg	0,7000	0,7	6,65 mg/kg	9,67 kg	64,30813	6,43081	60%	34,72639	41,15720
<b>Baustelle</b>										
Arbeitshosen	41,03 µg/kg	0,2703	0,211117313	8,662143367 µg/kg	13 kg	0,11261	0,01126	100%	0,10135	0,11261
Arbeitsjacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,156226812	5,719463583 µg/kg	14,25 kg	0,08150	0,00815	100%	0,07335	0,08150
Arbeitsschuhe	41,03 µg/kg	0,3333	0,26037802	10,68331015 µg/kg	16,75 kg	0,17895	0,01789	100%	0,16105	0,17895
Container	14,71 µg/m <sup>2</sup>	0,0667	0,052075604	0,766032134 µg/m <sup>2</sup>	470,4 m <sup>2</sup>	0,36034	0,03603	100%	0,32431	0,36034

Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für den Langackerweg

Langackerweg										
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt

<b>Textilien</b>			[a <sup>-1</sup> ]					[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]	
wetterfeste Hosen	41,03	µg/kg	0,2703	0,302775248	12,42286843	µg/kg	300	kg	3,72686	0,37269	14%	0,46958	0,84227
wetterfeste Jacken	36,61	µg/kg	0,2000	0,224053684	8,202605357	µg/kg	522	kg	4,28176	0,42818	54%	2,08094	2,50911
wetterfeste Schuhe	41,03	µg/kg	0,3333	0,373422806	15,32153773	µg/kg	780	kg	11,95080	1,19508	34%	3,65694	4,85202
<b>Baumaterialien</b>													
Fenster- und Türlackbeschichtungen	3,75	µg/m <sup>2</sup>	0,0600	0,056013421	0,210050328	µg/m <sup>2</sup>	362	m <sup>2</sup>	0,07614	0,00761	100%	0,06852	0,07614
Blechdach-lackbeschichtungen	14,71	µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,056013421	0,823957422	µg/m <sup>2</sup>	1104	m <sup>2</sup>	0,90999	0,09100	100%	0,81899	0,90999
<b>Konsumentenprodukte</b>													
Sonnencremen	9,5	mg/kg	0,7000	0,233389254	2,217197911	mg/kg	4,91715	kg	10,90229	1,09023	60%	5,88724	6,97747
<b>Baustelle</b>													
Arbeits-hosen	41,03	µg/kg	0,2703	0,302775248	12,42286843	µg/kg	6,5	kg	0,08075	0,00807	100%	0,07267	0,08075
Arbeits-jacken	36,61	µg/kg	0,2000	0,224053684	8,202605357	µg/kg	7,125	kg	0,05844	0,00584	100%	0,05260	0,05844
Arbeits-schuhe	41,03	µg/kg	0,3333	0,373422806	15,32153773	µg/kg	8,375	kg	0,12832	0,01283	100%	0,11549	0,12832
Container	14,71	µg/m <sup>2</sup>	0,0667	0,074684561	1,098609895	µg/m <sup>2</sup>	235,2	m <sup>2</sup>	0,25839	0,02584	100%	0,23255	0,25839

Tabelle 36: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für das Siedlungsgebiet\_Ost

<b>Siedlungsgebiet_Ost</b>													
	Stoff-konzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungs-häufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt			
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]								[mg/a]			
wetterfeste Hosen	41,03	µg/kg	0,2703	0,172201665	7,065434314	µg/kg	124	kg	0,87258	0,08726	14%	0,10995	0,19720
wetterfeste Jacken	36,61	µg/kg	0,2000	0,127429232	4,665184186	µg/kg	215	kg	1,00250	0,10025	54%	0,48722	0,58747
wetterfeste Schuhe	41,03	µg/kg	0,3333	0,212382053	8,714035654	µg/kg	321	kg	2,79808	0,27981	34%	0,85621	1,13602
<b>Baumaterialien HH</b>													
Fenster- und Türlackbeschichtungen	3,75	µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,031857308	0,119464905	µg/m <sup>2</sup>	524	m <sup>2</sup>	0,06257	0,00626	100%	0,05631	0,06257
Blechdach-lackbeschichtungen	14,71	µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,031857308	0,468621001	µg/m <sup>2</sup>	3753	m <sup>2</sup>	1,75886	0,17589	100%	1,58298	1,75886
<b>Konsumentenprodukte</b>													
Sonnencremen	9,5	mg/kg	0,2083	0,132738783	1,261018442	mg/kg	2,02422675	kg	2,55259	0,25526	60%	1,37840	1,63366

Tabelle 37: Tabellarische Darstellung der PFOA-Berechnungen für Graz-R05

Graz-R05											
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt	
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]	
wetterfeste Hosen	41,03 µg/kg	0,2703	0,2418791	9,9243003 µg/kg	9750 kg	96,76193	9,67619	14%	12,19200	21,86820	
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,1789905	6,5528440 µg/kg	16965 kg	111,16900	11,11690	54%	54,02813	65,14503	
wetterfeste Schuhe	41,03 µg/kg	0,3333	0,2983176	12,2399704 µg/kg	25350 kg	310,28325	31,02832	34%	94,94667	125,97500	
<b>Baumaterialien</b>											
Fenster- und Türlackbeschichtungen	3,75 µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,0447476	0,1678036 µg/m <sup>2</sup>	11089 m <sup>2</sup>	1,86078	0,18608	100%	1,67470	1,86078	
Blechdachlackbeschichtungen	14,71 µg/m <sup>2</sup>	0,0500	0,0447476	0,6582377 µg/m <sup>2</sup>	83204 m <sup>2</sup>	54,76822	5,47682	100%	49,29140	54,76822	
<b>Konsumentenprodukte</b>											
Sonnencremen	9,5 mg/kg	0,2083	0,1864485	1,7712606 mg/kg	159,807375 kg	283,06051	28,30605	60%	152,85268	181,15873	

### 10.2.2. Tabellen der PFOS-Berechnungen

Tabelle 38: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für die Ziegelstraße

Ziegelstraße											
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt	
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]	
wetterfeste Hosen	35,37 µg/kg	0,2703	0,211117	7,467219 µg/kg	590 kg	4,40566	0,44057	14%	0,55511	0,99568	
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,156227	5,719464 µg/kg	1027 kg	5,87160	0,58716	54%	2,85360	3,44076	
wetterfeste Schuhe	35,37 µg/kg	0,3333	0,260378	9,209571 µg/kg	1534 kg	14,12748	1,41275	34%	4,32301	5,73576	
Lederschuhe	0,0005 Gew-%	0,2000	0,156227	0,000078 µg/kg	118 kg	92,17382	9,21738	30%	24,88693	34,10431	
Lederjacke	0,0005 Gew-%	0,1400	0,111591	0,000056 µg/kg	124 kg	69,13036	6,91304	9%	5,59956	12,51260	
<b>Baumaterialien</b>											
Außenputz	36,90 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,033962	1,253211 µg/m <sup>2</sup>	9864 m <sup>2</sup>	12,36216	1,23622	100%	11,12594	12,36216	
Außenwandfarbe	12,985 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,033962	0,441001 µg/m <sup>2</sup>	49322 m <sup>2</sup>	21,75103	2,17510	100%	19,57593	21,75103	

Reinigungsmittel	0,0331	µg/m <sup>2</sup>	0,0250	0,019528	0,000646	µg/m <sup>2</sup>	417	m <sup>2</sup>	0,00027		100%	0,00027	0,00027
<b>Baustelle</b>													
Arbeitsjacken	35,37	µg/kg	0,2000	0,156227	5,525742	µg/kg	13	kg	0,07183	0,00718	100%	0,06465	0,07183
Arbeitshosen	36,61	µg/kg	0,2703	0,211117	7,729005	µg/kg	14	kg	0,11014	0,01101	100%	0,09912	0,11014
Arbeitsschuhe	35,37	µg/kg	0,3333	0,260378	9,209571	µg/kg	17	kg	0,15426	0,01543	100%	0,13883	0,15426

Tabelle 39: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für den Langackerweg

Langackerweg												
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungs- häufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt		
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]		
wetterfeste Hosen	35,37 µg/kg	0,2703	0,302775248	10,70916053 µg/kg	300 kg	3,21275	0,32127	14%	0,40481	0,72608		
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,224053684	8,202605357 µg/kg	522 kg	4,28176	0,42818	54%	2,08094	2,50911		
wetterfeste Schuhe	35,37 µg/kg	0,3333	0,373422806	13,20796465 µg/kg	780 kg	10,30221	1,03022	34%	3,15248	4,18270		
Lederschuhe	0,001 Gew-%	0,2000	0,224053684	0,000224054 µg/kg	60 kg	134,43221	13,44322	30%	36,29670	49,73992		
Lederjacke	0,001 Gew-%	0,1400	0,160038345	0,000160038 µg/kg	63 kg	100,82416	10,08242	9%	8,16676	18,24917		
<b>Baumaterialien</b>												
Außenputz	36,90 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,048707323	1,797300201 µg/m <sup>2</sup>	6670 m <sup>2</sup>	11,98746	1,19875	100%	10,78872	11,98746		
Außenwandfarbe	12,985 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,048707323	0,632464583 µg/m <sup>2</sup>	33349 m <sup>2</sup>	21,09176	2,10918	100%	18,98259	21,09176		
Reinigungsmittel	0,0331 µg/m <sup>2</sup>	0,0250	0,02800671	0,000925907 µg/m <sup>2</sup>	310 m <sup>2</sup>	0,00029		100%	0,00029	0,00029		
<b>Baustelle</b>												
Arbeitsjacken	35,37 µg/kg	0,2000	0,224053684	7,92477879 µg/kg	6,5 kg	0,05151	0,00515	100%	0,04636	0,05151		
Arbeitshosen	36,61 µg/kg	0,2703	0,302775248	11,08460183 µg/kg	7,125 kg	0,07898	0,00790	100%	0,07108	0,07898		
Arbeitsschuhe	35,37 µg/kg	0,3333	0,373422806	13,20796465 µg/kg	8,375 kg	0,11062	0,01106	100%	0,09956	0,11062		

Tabelle 40: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für das Siedlungsgebiet\_Ost

Siedlungsgebiet_Ost										
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]	[mg/a]	[mg/a]	[mg/a]
wetterfeste Hosen	35,37 µg/kg	0,2703	0,172201665	6,09077289 µg/kg	124 kg	0,75221	0,07522	14%	0,09478	0,17000
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,127429232	4,665184186 µg/kg	215 kg	1,00250	0,10025	54%	0,48722	0,58747
wetterfeste Schuhe	35,37 µg/kg	0,3333	0,212382053	7,511953231 µg/kg	321 kg	2,41209	0,24121	34%	0,73810	0,97931
Lederschuhe	0,001 Gew-%	0,2000	0,127429232	0,000127429 µg/kg	25 kg	31,47502	3,14750	30%	8,49826	11,64576
Lederjacke	0,001 Gew-%	0,1400	0,09102088	9,10209E-05 µg/kg	26 kg	23,60627	2,36063	9%	1,91211	4,27273
<b>Baumaterialien</b>										
Außenputz	36,90 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,027702007	1,022204057 µg/m <sup>2</sup>	8935,39 m <sup>2</sup>	9,13379	0,91338	100%	8,22041	9,13379
Außenwandfarbe	12,985 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,027702007	0,359710561 µg/m <sup>2</sup>	44676,93 m <sup>2</sup>	16,07077	1,60708	100%	14,46369	16,07077
Reinigungsmittel	0,0331 µg/m <sup>2</sup>	0,0250	0,015928654	0,000527238 µg/m <sup>2</sup>	448,70 m <sup>2</sup>	0,00024		100%	0,00024	0,00024

Tabelle 41: Tabellarische Darstellung der PFOS-Berechnungen für Graz-R05

Graz-R05										
	Stoffkonzentration in einem neuwertigen Gut	$a_{char,j}$	$E_{log,ik}$	logarithmische Emissionsmenge	Einwohner-, Bauarbeiteranzahl inkl. Gewicht des Produkts oder Fläche an verwendetem Baumaterial	exponierte Lagermenge pro Gut	Atmosphäre	Verwendungshäufigkeit bei Regenereignissen	Abfluss	Gesamtemissionen perfluorierter Tenside pro Produkt
<b>Textilien</b>		[a <sup>-1</sup> ]				[mg/a]	[mg/a]		[mg/a]	[mg/a]
wetterfeste Hosen	35,37 µg/kg	0,2703	0,241879102	8,55526448 µg/kg	9750 kg	83,41383	8,34138	14%	10,51014	18,85153
wetterfeste Jacken	36,61 µg/kg	0,2000	0,178990549	6,55284400 µg/kg	16965 kg	111,16900	11,11690	54%	54,02813	65,14503
wetterfeste Schuhe	35,37 µg/kg	0,3333	0,298317582	10,5514928 µg/kg	25350 kg	267,48034	26,74803	34%	81,84899	108,59702
Lederschuhe	0,001 Gew-%	0,2000	0,178990549	0,00017899 µg/kg	1950 kg	3490,316	349,03157	30%	942,38524	1291,41681
Lederjacke	0,001 Gew-%	0,1400	0,127850392	0,00012785 µg/kg	2048 kg	2617,737	261,77368	9%	212,03668	473,81036
<b>Baumaterialien</b>										
Außenputz	36,90 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,038910989	1,43581549 µg/m <sup>2</sup>	229576 m <sup>2</sup>	329,62840	32,96284	100%	296,66556	329,62840
Außenwandfarbe	12,985 µg/m <sup>2</sup>	0,0430	0,038910989	0,50525919 µg/m <sup>2</sup>	1147879 m <sup>2</sup>	579,97626	57,99763	100%	521,97863	579,97626
Reinigungsmittel	0,0331 µg/m <sup>2</sup>	0,0250	0,022373819	0,00074057 µg/m <sup>2</sup>	8678 m <sup>2</sup>	0,00643		100%	0,00709	0,00643

### 10.3. Übersicht über das ermittelte Gewicht verschiedener Outdoor-Jacken-Marken, Outdoor-Hosen-Marken, Outdoor-Schuhe-Marken sowie von Arbeitsjacken, -hosen, -schuhen und Stahlkappenschuhen

Tabelle 42: Übersicht über das ermittelte Gewicht verschiedener Outdoor-Jacken-Marken, Outdoor-Hosen-Marken, Outdoor-Schuhe-Marken sowie von Arbeitsjacken, -hosen, -schuhen und Stahlkappenschuhen

	Marke	Gewicht [kg]
<b>Outdoor-Jacken</b>		
Kinderübergangsjacke (Globetrotter, 2019)	Columbia	0,33
Kinderwinterjacke (Globetrotter, 2019)	Vaude	0,71
Damenübergangsjacke (Bergfreunde, 2019)	Vaude	0,86
Damenwinterjacke (Globetrotter, 2019)	Mammut	1,14
Herrenübergangsjacke (Globetrotter, 2019)	The North Face	0,88
Herrenwinterjacke (Globetrotter, 2019)	Jack Wolfskin	1,27
<b>Outdoor-Hosen</b>		
Kinderregenhose (Globetrotter, 2019)	Vaude	0,40
Kinderschihose (Bergfreunde, 2019)	Vaude	0,40
Damenregenhose (Globetrotter, 2019)	Mammut	0,64
Damenschihose (Globetrotter, 2019)	Mammut	0,56
Herrenregenhose (Bergfreunde, 2019)	The North Face	0,33
Herrenschihose (Globetrotter, 2019)	The North Face	0,65
<b>Outdoor-Schuhe</b>		
Kinderwanderschuhe (Globetrotter, 2019)	Salomon	0,60
Kindergummistiefel (Bergfreunde, 2019)	Viking	0,60
Damenwanderschuhe (Globetrotter, 2019)	Lowa	0,96
Damengummistiefel (Globetrotter, 2019)	Aigle	2,05
Herrenwanderschuhe (Bergfreunde, 2019)	Lowa	1,23
Herrengummistiefel (Globetrotter, 2019)	Aigle	2,46
<b>Arbeitsjacken</b>		
Arbeitsjacke (Kaiserkraft, 2019)	Tokapi	1,65
Arbeitsjacke (Kaiserkraft, 2019)	Merapi	0,90
Arbeitsjacke (Kaiserkraft, 2019)	Lanin	0,96
Arbeitsjacke (Kaiserkraft, 2019)	Profi-X	1,03
<b>Arbeits-hosen</b>		
Arbeitshose (Arbeitsbedarf24, 2019)	Helios	0,75
Arbeitshose (Kaiserkraft, 2019)	Profi-X	1,35
Arbeitshose (Arbeitsbedarf24, 2019)	grau/schwarz	1,55
Arbeitshose (Arbeitsbedarf24, 2019)	Helios	0,50
<b>Arbeits-schuhe</b>		
Arbeitsschuhe (Kaiserkraft, 2019)	S3 Halbschuhe COMO	1,10
Arbeitsschuhe (Kaiserkraft, 2019)	S3 Halbschuhe SAVONA	1,55

Arbeitsschuhe (Kaiserkraft, 2019)	S3 Schnürstiefel SONDRIO	1,65
Arbeitsschuhe (Kaiserkraft, 2019)	S3 Halbschuhe TRANI	1,04
<b>Stahlkappenschuhe</b>		
Stahlkappenschuhe (Arbeitsbedarf24, 2019)	Gummistiefel S5 gelb mit Stahlkappe	2,25
Stahlkappenschuhe (Kaiserkraft, 2019)	S5 Sicherheitstiefel SAFETY	2,60

#### 10.4. Jahresniederschläge je Untersuchungsgebiet

Tabelle 43: Jahresniederschläge je Untersuchungsgebiet (TEMPEST, 2019b)

	Jahresniederschlag [l/m <sup>2</sup> ]
Ziegelstraße	760
R05	929
Siedlungsgebiet_Ost	572
Langackerweg	1326
L202	1326

#### 10.5. Depositions- und Konzentrationsanalyseergebnisse einer Messkampagne

Tabelle 44: Depositions- und Konzentrationsanalyseergebnisse einer Messkampagne (TEMPEST, 2019d)

Proben_ID	Nachweisgrenze	Bemessungsgrenze	Einheit	Parameter	Wert	kleiner_ng	kleiner_bg	Stoffgruppe	UGB	Matrix
AD_Bregenz_UI	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	n.n.	true	false	PFT	Bregenz	Deposition
AD_Bregenz_UI	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	Bregenz	Deposition
AD_Graz_TU	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0011	false	false	PFT	TU-Graz	Deposition
AD_Graz_TU	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	TU-Graz	Deposition
AD_Graz_Ziegelstraße	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	< 0.0010	false	true	PFT	TK Ziegelstraße	Deposition
AD_Graz_Ziegelstraße	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	TK Ziegelstraße	Deposition
AD_SG_Ost_EZG	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0018	false	false	PFT	TK SG Ost	Deposition
AD_SG_Ost_EZG	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	TK SG Ost	Deposition
AD_SG_Ost_UBA	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	< 0.0010	false	true	PFT	UBA Wien	Deposition
AD_SG_Ost_UBA	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	UBA Wien	Deposition
MUE_R05_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	< 0.0010	false	true	PFT	MÜ R05	Mischwasser
MUE_R05_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	0,0014	false	false	PFT	MÜ R05	Mischwasser
MUE_R05_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0024	false	false	PFT	MÜ R05	Mischwasser
MUE_R05_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	MÜ R05	Mischwasser
MUE_R05_Trocken	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0022	false	false	PFT	MÜ R05	Trockenwetterabfluss

MUE_R05_Trocken	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	MÜ R05	Trockenwetterabfluss
STR_L202_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	< 0.0010	false	true	PFT	Straße L202	Straßenabfluss
STR_L202_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	Straße L202	Straßenabfluss
STR_L202_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0014	false	false	PFT	Straße L202	Straßenabfluss
STR_L202_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	Straße L202	Straßenabfluss
TK_Langackerweg_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0017	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	0,001	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0011	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_3	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0011	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_3	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_4	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0038	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_Langackerweg_4	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	0,0017	false	false	PFT	TK Langackerweg	Trennkanal
TK_SG_Ost_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0035	false	false	PFT	TK SG Ost	Trennkanal
TK_SG_Ost_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	TK SG Ost	Trennkanal
TK_SG_Ost_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0058	false	false	PFT	TK SG Ost	Trennkanal
TK_SG_Ost_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	0,0025	false	false	PFT	TK SG Ost	Trennkanal
TK_Ziegelstraße_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,002	false	false	PFT	TK Ziegelstraße	Trennkanal
TK_Ziegelstraße_1	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	TK Ziegelstraße	Trennkanal
TK_Ziegelstraße_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0036	false	false	PFT	TK Ziegelstraße	Trennkanal
TK_Ziegelstraße_2	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	< 0.0010	false	true	PFT	TK Ziegelstraße	Trennkanal
TK_Ziegelstraße_ Trocken	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansäure (PF8C)	0,0017	false	false	PFT	TK Ziegelstraße	Trockenwetterabfluss
TK_Ziegelstraße_ Trocken	0,0005	0,001	µg/l	Perfluorooctansulfonsäure (PF8S)	n.n.	true	false	PFT	TK Ziegelstraße	Trockenwetterabfluss

## 10.6. PFOA- sowie PFOS-Konzentrations- und Jahresfrachtmessergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete

Tabelle 45: PFOA- sowie PFOS-Konzentrations- und Jahresfrachtmessergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete (TEMPEST, 2019c)

Ziegelstraße	Straße L202	Straße L202	SG Ost	SG Ost	MÜ R05	MÜ R05	MÜ R05	Langackerweg	Langackerweg
PFT	PFT	PFT	PFT	PFT	PFT	PFT	PFT	PFT	PFT
Perfluorheptan- säure (PF7C)	Perfluorocentan- sulfonsäure (PF8S)	Perfluorheptan säure (PF7C)	Perfluorocentan sulfonsäure (PF8S)	Perfluorheptan säure (PF7C)	Perfluorocentan- sulfonsäure (PF8S)	Perfluorheptan säure (PF7C)	Perfluorocentan- sulfonsäure (PF8S)	Perfluorheptan- säure (PF7C)	Perfluorocentan- sulfonsäure (PF8S)
PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA	PFOA
0,00170	0,00000	0,00000	0,00050	0,00050	0,00000	0,00000	0,00050	0,00110	0,00050
0,0036	0,001	0,0021	0,0025	0,0045	0,0014	0,0018	0,0017	0,0038	0,0017
28289	4918	4918	111792	111792	405540	405540	53975,802	53975,802	53975,802
363	386	386	231	231	369	369	389	389	389
103260	4463	4463	120000	120000	1854905	1854905	45941,808	45941,808	45941,808
103260	4696	4696	180000	180000	1854905	1854905	50965,432	50965,432	50965,432
0,17815046	0,001084442	0,004183495	0,195631172	0,575975848	3,417124546	3,417124546	0,03683013	0,075149906	0,03683013
178 150	1 084	4 183	195 631	575 976	3 417 125	3 417 125	36 830	75 150	36 830
0,97394332	0,003489057	0,005608846	0,332585069	0,863963772	5,516163712	5,516163712	0,055885293	0,083367363	0,055885293
973 943	3 489	5 609	332 585	863 964	5 516 164	5 516 164	55 885	83 367	55 885

Untersuchungsgebiet	Ziegelstraße
Stoffgruppe	PFT
Parameter	Perfluorocentan-sulfonsäure (PFSS)
Anmerkungen	PFOS
Konz_min_ug_L	0,00000
Konz_max_ug_L	0,001
Abfluss_beprobt_m3	28289
Beprobungsdauer_d	364
Jahresabfluss_min_m3	103260
Jahresabfluss_max_m3	103260
Fracht_Jahr_min_g	0,00823588
in µg	8 236
Fracht_Jahr_max_g	0,283229349
in µg	283 229

## 10.7. Gebietsspezifische Flächenauswertungen in m<sup>2</sup>

Tabelle 46: Gebietsspezifische Flächenauswertungen in m<sup>2</sup> (TEMPEST, 2019a)

Zeilenbeschriftungen	L202	Langackerweg	Graz-R05	Siedlungsgebiet Ost	Ziegelstraße
Ascheplatz		1 977		5 709	
Asphalt	3 300	22 517	499 936	134 193	33 492
Beton					2 849
Betongittersteine					661
Bitumen		1 306		6 382	364
Blech		1 104		3 753	4 950
Boden		111 956	2 452 457	424 943	198 554
CU-Blech?		445			
Dach_Unbekannt					926
Ethernit		1 787		324	17 182
Flachdach_?		728			3 486
Glas				77	648
Gründach		74		4 959	
Gummimatte				1 257	
Holz				179	53
Kies		11 885		43 134	11 976
Kunstrasen				13 461	
Pflaster				10 123	4 402
Plastik					279
Rasen		2 965		15 314	
Sand				1 011	
Schotter				5 767	
Stein				3	19
Unbekannt		1 078	1 577 546	15 268	8 287
Wasser		7	8 293	6 136	906
Ziegel		7 327		7 653	9 154
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>3 300</b>	<b>165 159</b>	<b>4 538 232</b>	<b>699 648</b>	<b>298 188</b>

## 10.8. Übersicht über die Zusammensetzung der Flach- und Steildachanteile sowie der Abflussbeiwerte der Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet

Table 47: Zusammensetzung der Flach- und Steildachanteile einzelner Siedlungsgebiete

<b>Zusammensetzung der Flach- und Steildachanteile einzelner Siedlungsgebiete</b>		
	Steildachanteil	Flachdachanteil
Einfamilienhäuser_Ziegelstraße	0,97	0,03
Einfamilienhäuser_Langackerweg	0,70	0,30
Einfamilienhäuser_Graz-R05	0,85	0,15
Hochhäuser_Ziegelstraße	0,70	0,30
Hochhäuser_Langackerweg	0,35	0,65
Hochhäuser_Siedlungsgebiet_Ost	0,25	0,75
Hochhäuser_Graz-R05	0,32	0,68

Table 48: Abflussbeiwerte der Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet

<b>Abflussbeiwerte der Einfamilien- und Hochhäuser je Siedlungsgebiet</b>		
	Eintrag in den Regenwasserkanal	Einträge in den Boden bzw. die Atmosphäre
Einfamilienhäuser_Ziegelstraße	0,297	0,703
Einfamilienhäuser_Langackerweg	0,270	0,730
Einfamilienhäuser_Graz-R05	0,285	0,715
Hochhäuser_Ziegelstraße	0,625	0,375
Hochhäuser_Langackerweg	0,538	0,462
Hochhäuser_Siedlungsgebiet_Ost	0,513	0,487
Hochhäuser_Graz-R05	0,530	0,470