



Kaiser Ferdinand, BSc

Variabilität der CSB-Fractionen im Mischwasserfall sowie deren Einfluss auf die Kläranlagensimulation

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur/In

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing Dirk Muschalla

Mitbetreuender Assistent:

Dipl. Ing. Roman Maier

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, April 2020

Kontakt:
Ferdinand Kaiser
ferdinand.kaiser@hotmail.at

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used anything other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or contextually from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums und bei der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zu allererst gilt ein großer Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla für die Ermöglichung und Betreuung dieser Masterarbeit.

Ein besonderer Dank gilt Dipl.-Ing. BSc Roman Maier, der mich durch den gesamten Prozess zur Erstellung der Masterarbeit begleitet hat und geduldig unterstützt hat.

Ich möchte mich auch beim Laborteam des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz, besonders beim Laborleiter Bernd Stojanovic, für die Unterstützung der Messkampagne bedanken. Ganz besonders möchte ich Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber für seine Expertise danken.

Dem Laborteam des Instituts für Felsmechanik und Tunnelbau, an dem ich als studentischer Projektmitarbeiter angestellt war, möchte ich für die schöne und lehrreiche Zeit meinen Dank aussprechen.

Im Besonderen möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, vor allem bei meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben. Großer Dank gebührt meinem Bruder Christian Kaiser und meiner Schwester Margarita Eibisberger für den Rückhalt und die finanzielle Unterstützung während meiner gesamten Studienzzeit.

Bei meinem Onkel Wolfgang Breitler und Martin Eibisberger möchte ich mich für die Korrektur der Masterarbeit bedanken.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all meinen Kommilitonen und vor allem bei Laura Herbst, Philipp Petschar und David Sapper für die schöne und erfolgreiche Studienzzeit bedanken. Natürlich möchte ich auch all meinen Freunden danken, die indirekt für einen erfolgreichen Abschluss meines Studiums mitverantwortlich sind. Einen großen Dank auch an Bernhard Stadlbauer, der mir bei diversen Fragestellungen zur Programmiersprache „Python“ weitergeholfen hat.

Kurzfassung

Angesichts ständiger anthropogener Aktivitäten und einem gesellschaftlichen sowie wirtschaftlichen Wachstum sind vermehrt größere und verstärkt verunreinigte Abwassermengen vorzufinden. Der Summenparameter CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) dient als verlässlicher Indikator für das Vorkommen von organischen Kohlenstoffverbindungen im Abwasser. Die Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs ermöglicht einen sehr guten Überblick über die Abwassercharakteristik und informiert über die unterschiedlichen biologischen Abbauformen: gelöst (schnell- und inert-) bzw. partikulär (schwer- und inert-) abbaubar. Die CSB-Fraktionierung von Abwasser ist ein grundlegender Parameter für die Erstellung von Kläranlagensimulationsmodellen.

Ziel der Masterarbeit ist es die Variabilität der CSB-Fractionen bei Trockenwetterbedingungen und im Mischwasserfall zu analysieren sowie den Einfluss der CSB-Fraktionierung bei der Kläranlagensimulation von Mischwasserszenarien zu klären. Die Literaturrecherche gibt einen Überblick über die Abwasserbeschaffenheit und Herkunft der CSB-Fractionen des kommunalen Abwassers und Mischwassers. Ein genaues Augenmerk wird auf die Variabilität der CSB-Fractionen im Mischwasserfall gelegt und im Speziellen wird der Einfluss von Oberflächenabflüssen auf die Abwasserbeschaffenheit des Mischwassers beschrieben.

Im Zuge der Auswertung, bereits vorhandener analytisch bestimmter CSB-Fractionen des Grazer Abwasser in den Jahren 2016 und 2017 im Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, wurde für diese Arbeit eine einwöchige Messkampagne durchgeführt. Ziel war es CSB-Fractionen von Trockenwetter- sowie Mischwassertagen einzubeziehen und miteinander zu vergleichen. Ein Vergleich mit Werten international gesammelter CSB-Fractionierungen wurde angestellt. Durch die in Summe 29 Tage mit analytisch bestimmten CSB-Fractionierungen des Grazer Abwassers ergibt sich ein sehr großer kaum vergleichbarer Datensatz.

Es wurden Simulationen mit dem bereits vorhandenen Model der Kläranlage Graz Gössendorf durchgeführt. In erster Linie wurde unter konstanten Eingangsparametern geprüft, ob die Änderung der CSB-Fractionierung einen Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat. Des Weiteren wurden Mischwasserszenarien mit den gewonnenen Erkenntnissen der Messkampagne entwickelt und die damit verbunden Simulationsergebnisse ausgewertet.

Die Ergebnisse der Messkampagne haben gezeigt, dass es Änderungen der CSB-Fractionen bei Mischwasserereignissen gibt und in weitere Folge bei der Simulation von Mischwasserszenarien die CSB-Fractionierung einen Einfluss auf die Modellergebnisse hat.

Abstract

Due to constant anthropogenic activities and social and economic growth, larger volumes of wastewater are produced. The sum parameter COD (chemical oxygen demand) serves as a reliable indicator in wastewater management and provides information on the occurrence of organic carbon compounds in wastewater. The fractionation of COD allows an overview of the wastewater characteristics and provides information about the different forms of biological degradation: dissolved (fast and inert) or particulate (difficult and inert) degradation. The COD fractionation of wastewater is also a crucial input parameter for wastewater treatment plant simulation models, and subsequently, for the optimization their control processes.

The aim of this study is to display the variability of the COD fractions in combined sewage as well as the influence of the COD fractionation on the simulation of combined sewage scenarios for wastewater treatment plants. The literary research provides an overview of the wastewater quality and the origins of the COD fractions of municipal wastewater and mixed combined sewage. Various influences on the waste-water quality of the combined sewer through surface runoff are described in particular.

In addition to the evaluation of existing COD fractionations of wastewater in Graz from 2016 to 2017 a one-week measurement campaign was conducted in the laboratory of the institute for Urban Water Management and Landscape Water Engineering. The aim was to include and compare COD fractions from dry weather flow as well as combined sewage days. The analysis of the COD fractionations of the Graz wastewater over a period of 29 days resulted in a large and hardly comparable dataset.

The COD fractions determined at different daily inflow rates to the wastewater treatment plant Graz Gössendorf can be used for a simulation model for further investigation of the influence of the COD fractionation on the existing wastewater treatment plant. Primarily, it was checked with constant input parameters whether or not the change of the COD fractions has an influence on the simulation results. Furthermore, combined sewage scenarios were developed with the knowledge gained from the measurement campaign. The associated simulation results were analyzed.

Finally, a short outlook on future developments is given for this broad research topic.

The results of the measurement campaign have shown that there are changes in the COD fractions during combined sewage events and the COD fractionation has an influence for the model results.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung und Motivation	2
1.2	Ziele	3
2	Grundlagen	5
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen und Begrifflichkeiten	5
2.1.1	Abwasser	5
2.1.2	Kommunales (häusliches) Abwasser	5
2.1.3	Niederschlagswasser	5
2.1.4	Mischwasser	5
2.1.5	Indirekteinleiter	5
2.1.6	Verdünnungseffekt	6
2.1.7	Einwohnerwert (EW)	6
2.1.8	Mechanische und biologische Reinigungsstufe	6
2.1.9	Spülstoß bzw. „first flush“	6
2.2	Abwasserzusammensetzung	6
2.3	Charakterisierung von Abwässern	7
2.3.1	BSB - biochemischer Sauerstoffbedarf bzw. BSB ₅	7
2.3.2	CSB - chemischer Sauerstoffbedarf	7
2.3.3	Verhältnis von CSB/BSB ₅ bzw. BSB ₅ /CSB	9
2.3.4	TOC (Total Organic Carbon)	9
2.3.5	TKN (Kjeldahlstickstoff)	9
2.3.6	AFS bzw. TSS und Glührückstand	9
2.3.7	Stickstoff (N)	10
2.3.8	Phosphor (P)	10
2.3.9	Spurenstoffe	10
2.4	CSB-Fraktionierung nach ASM (Activated Sludge Model)	10
2.5	Kläranlagensimulation	12
2.5.1	Allgemeine Beschreibung des Kläranlagen Simulationsmodells Graz Gössendorf	12
3	Quellen und Einflüsse der CSB-Fraktionen	14

3.1	Allgemeines	14
3.2	Abwasserbeschaffenheit bei Trockenwetter	15
3.2.1	Abwasserbeschaffenheit von häuslichem Abwasser	16
3.2.2	Abwasserbeschaffenheit von Industrie bzw. Gewerbe Abwässern	19
3.3	Abwasserbeschaffenheit von kommunalem Abwasser im Mischwasserfall	22
3.3.1	Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall - Fallstudie M. Zawilski & A. Brzezińska (2008)	22
3.3.2	Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall - Fallstudie Zhou et al. (2008)	23
3.4	Einfluss der urbanen Oberflächenabflüsse auf die Abwasserbeschaffenheit im Mischwasserfall	25
3.4.1	Einfluss der Luftverschmutzung und Deposition von Schadstoffen	26
3.4.2	Einfluss verkehrsbelasteter Oberflächenabflüsse	27
3.4.3	Einfluss von Stoffeinträge aus Baumaterialien	28
3.4.4	Einfluss des Spülstoßes bzw. „first flush“	29
3.4.5	Herkunft der biologisch nicht abbaubarer CSB-Fraktionen Si und Xi speziell im Mischwasserfall	30
3.5	Situation der Stadt Graz	32
3.5.1	Zuflusskomponenten der Kläranlage Graz Gössendorf	33
3.6	Zusammenfassende Betrachtung	37
4	Methodik	38
4.1	Beschreibung der Messkampagne nach Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB-Fraktionierung	38
4.1.1	Beschreibung des Versuchsablaufes	39
4.1.2	Überarbeitung der Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB- Fraktionierung	40
4.1.3	Anpassung der täglichen Q _{ARA} -Zulaufmenge	40
4.2	Beschreibung der Datenauswertung	40
4.2.1	Beschreibung der Trockenwettermittel-Ermittlung	40
4.2.2	Auswahl von Mischwassertagen und deren Vergleiche mit dem Trockenwettermittel	42
4.3	Vorgehensweise für Simulationen	43

4.3.1	Einfluss auf Simulationsergebnisse infolge unterschiedlicher CSB-Fraktionierung	44
4.3.2	Anpassung des Modells an die aktuell ermittelte CSB-Fraktionierung.....	44
4.3.3	Simulation von Mischwasserszenarien.....	44
5	Ergebnisse und Diskussion	46
5.1	Beschreibung der Messkampagnen in den Jahren 2016, 2017 und 2019	47
5.2	Alle Ergebnisse	49
5.2.1	Betrachtung aller Trocken- und Regenwettertage	54
5.3	Trockenwetter	57
5.3.1	Darstellung aller Trockenwettertage	60
5.3.2	Trockenwettermittel „Arbeitstag“	63
5.3.3	Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“.....	66
5.3.4	Vergleich der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“	72
5.3.5	Vergleich der Trockenwettermittel der Messreihen M1, M2 und M3	73
5.3.6	Internationaler Vergleich.....	80
5.4	Mischwasserfall.....	81
5.4.1	Darstellung der vorhandenen Regendaten.....	85
5.4.2	Vergleich ausgewählter Mischwasserereignisse mit dem dazu passenden Trockenwettermittel	88
5.5	Simulationsergebnisse	100
5.5.1	Simulation mit konstantem Zufluss und konstanten Parametern.....	101
5.5.2	Simulation eines Trockenwettertages.....	103
5.5.3	Simulationsergebnisse der drei Mischwasserszenarien ..	105
6	Schlussfolgerungen.....	112
6.1	Literaturrecherche	112
6.2	Messkampagne.....	112
6.3	Simulation	113
	Literaturverzeichnis	115

Anhang A.....	ii
Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB Fraktionierung –	ii
Überarbeitung	ii
Anhang B.....	xxvii
Ergebnisse der CSB Messungen (HACH).....	xxvii
Anhang C.....	xxxvii
Ergebnisse der BSB₈ Messungen (Oxi Top)	xxxvii
Ergebnisse der 8 tägigen Messkampagne an der.....	xxxvii
ARA Graz Gössendorf.....	xxxvii
Anhang D.....	ii
Berechnung der CSB Fraktionen	ii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Darstellung der einzelnen CSB-Fractionen am CSB und Verbleib am Kläranlagenablauf (Pluciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019).....	12
Abbildung 2-2: Bestandteile des Simulationsmodells der ARA Graz (Hofer et al., 2018)	13
Abbildung 2-3: Die CSB-Fractionierung mit den dazugehörigen Parametern bzw. Zustandsvariablen des Belebtschlammmodells (Hofer et al., 2018)	13
Abbildung 3-1: Überblick über die verschiedenen Eintragspfade der Verschmutzung aus Abwasser	15
Abbildung 3-2: CSB-Fractionen der Industrie-Kläranlage („Reciclagua“) von der Fallstudie von (Fall et al., 2012)	20
Abbildung 3-3: Durchschnittliche CSB-Fractionen der zwei Mischwasserzuläufe bei Trockenwetter (Zhou et al., 2008)	24
Abbildung 3-4: Zufluss zur Kläranlage „Bailonggang“ während des Taifuns und die analytisch bestimmten CSB-Fractionen von drei Abwasserproben unterschiedlicher Zeitpunkte (Zhou et al., 2008)	25
Abbildung 3-5: COD und TSS Konzentrationsspitzen zu Beginn des Abflusses angesichts eines Niederschlagsereignisses (Li et al., 2007)	30
Abbildung 3-6: Zufluss-Komponenten zur Kläranlage (Meindl et al., 2017)	33
Abbildung 4-1: Ablaufschritte der Masterarbeit	38
Abbildung 4-2: Luftbild der ARA Graz (Simić, 2016)	39
Abbildung 4-3: Unterschiede der jeweiligen Wochentage (Pichler, 2018)	42
Abbildung 5-1: Q_{ARA} -Zulaufvolumen der Trockenwettertage	54
Abbildung 5-2: Q_{ARA} -Zulaufvolumen der Regenwettertage	54
Abbildung 5-3: Q_{ARA} -Zuläufe und CSB_{ges} -Konzentrationen aller Messergebnisse sortiert nach den Zulaufmengen.....	56
Abbildung 5-4: CSB_{ges} -Konzentrationen der Trockenwettertage: $CSB_{Mittel} = 705 \text{ mg/L}$	56
Abbildung 5-5: CSB_{ges} -Konzentrationen der Regenwettertage: $CSB_{Mittel} = 606 \text{ mg/L}$	57
Abbildung 5-6: CSB_{ges} und zugehörige Tagezuflussmengen Q_{ARA} der gemessenen Trockenwettertage. Links umrandet an Arbeitstagen; Rest an Wochenend- und Feiertagen.....	58
Abbildung 5-7: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen sortiert nach den Q_{ARA} -Zulaufmengen der Trockenwettertage	61

Abbildung 5-8: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} sortiert nach den Q_{ARA} -Zulaufmengen der Trockenwettertage.....	62
Abbildung 5-9: Q_{ARA} -Zulaufmenge und CSB_{ges} -Konzentrationen der Trockenwettertage für das Trockenwettermittel des Tagestyps „Arbeitstag“	63
Abbildung 5-10: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen	64
Abbildung 5-11: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen	65
Abbildung 5-12: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} mit den Konfidenzintervallen des 0,95 Quantil für einen zweiseitigen Vertrauensbereich des Trockenwettermittels „Arbeitstag“	66
Abbildung 5-13: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen vom Trockenwettermittel „Arbeitstag“	66
Abbildung 5-14: Q_{ARA} -Zulaufmenge und CSB_{ges} -Konzentrationen der Trockenwettertage für die Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	67
Abbildung 5-15: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen	68
Abbildung 5-16: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen	69
Abbildung 5-17: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} mit den Konfidenzintervallen des 0,95 Quantil für einen zweiseitigen Vertrauensbereich des Trockenwettermittels „Wochenend- und Feiertag“	70
Abbildung 5-18: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen von Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	71
Abbildung 5-19: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen von Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“	73
Abbildung 5-20: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} von Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“	73
Abbildung 5-21: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ M1 vs. M3	75
Abbildung 5-22: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ M1 vs. M3	76

Abbildung 5-23: CSB _{ges} -Konzentrationen der Trockenwettermittel des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ der drei Messkampagnen M1, M2 und M3	77
Abbildung 5-24: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB- Fraktionen zwischen den Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ der Messkampagnen M1, M2 und M3	79
Abbildung 5-25: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} zwischen den Trockenwetter-Mittel „Wochenend- und Feiertag“ der Messkampagnen M1, M2 und M3.....	79
Abbildung 5-26: Q _{ARA} -Zulaufmengen und CSB _{ges} -Konzentrationen von Mischwasserereignissen	82
Abbildung 5-27: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen von Mischwasserereignissen sortiert nach der Zulaufmenge Q _{ARA}	84
Abbildung 5-28: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} von Mischwasserereignissen sortiert nach der Zulaufmenge Q _{ARA}	85
Abbildung 5-29: Mischwasserzuläufe während M1	86
Abbildung 5-30: Mischwasserzuläufe während M3	87
Abbildung 5-31: Vergleich der Q _{ARA} -Zulaufmengen und CSB _{ges} - Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ mit dem Mischwasserereignis MWG 19	89
Abbildung 5-32: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB- Fraktionen vom Mischwasserereignis MWG19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	91
Abbildung 5-33: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} vom Mischwasserereignis MWG 19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	91
Abbildung 5-34: Vergleich der Q _{ARA} -Zulaufmengen und CSB _{ges} - Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ mit dem Mischwasserereignis MWM 17	92
Abbildung 5-35: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB- Fraktionen vom Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	93
Abbildung 5-36: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} vom Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	94
Abbildung 5-37: Vergleich der Q _{ARA} -Zulaufmengen und CSB _{ges} - Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Arbeitstag“ mit dem Mischwasserereignis MWKM 16 und MWKM 19.2	95
Abbildung 5-38: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB- Fraktionen vom Mischwasserereignis MWKM 16 und	

MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	97
Abbildung 5-39: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} vom Mischwasserereignis MWKM 16 und MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	97
Abbildung 5-40: Vergleich der Q _{ARA} -Zulaufmengen und CSB _{ges} -Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Arbeitstag“ mit dem Mischwasserereignis MWM 16.2	98
Abbildung 5-41: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen vom Mischwasserereignis MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“	99
Abbildung 5-42: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} vom Mischwasserereignis MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“	100
Abbildung 5-43: Simulationsergebnisse des Trockenwetters mit den angepassten CSB-Fraktionierungen des Trockenwettermittels „Arbeitstag“	104
Abbildung 5-44: Zuläufe des Trockenwetter und der drei Mischwasserszenarien (10-Minutenintervalle).....	105
Abbildung 5-45: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Groß: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende	107
Abbildung 5-46: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Mittel: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende	109
Abbildung 5-47: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Klein: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Biologische Abbaubarkeit von organischen Verbindungen (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)	9
Tabelle 3-1: Zusammensetzung der suspendierten organischen Bestandteile in häuslichen Abwässern (aus: Benn und McAuliffe).....	17
Tabelle 3-2: Zusammensetzung der gelösten organischen Bestandteile in häuslichen Abwässern (aus: Benn und McAuliffe).....	17
Tabelle 3-3: Durchschnittlicher Verbrauch (L) und Verschmutzungskonzentration (g/m ³) unterschiedlicher Haushaltsgeräte (M.C. Almeida et al., 1999)	18
Tabelle 3-4: CSB-Fraktionen von kommunalen Abwasser und kommunalen Abwasser mit Industrie Abwasser (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)	20
Tabelle 3-5: Charakteristische Abwassereigenschaften von Brauereiabwasser (S. Simate et al., 2010)	21
Tabelle 3-6: CSB-Fraktionen der Fallstudie (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)	23
Tabelle 3-7: Vergleich von CSB-Fraktion bei Trockenwetter (Fallstudie Zhou) mit Literaturwerten (Zhou et al., 2008).....	24
Tabelle 3-8: Stoffgruppen aus häufig vorkommenden Bauwerkskomponenten (DWA, 2016).....	29
Tabelle 3-9: Stoffgruppen der Spurenstoffe (Clara et al., 2014)	31
Tabelle 3-10: Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden (Clara et al., 2014)	31
Tabelle 3-11: Zusammenfassung der anwesenden Bevölkerung in Graz (Meindl et al., 2017)	34
Tabelle 3-12: Gesamtbelastung durch Groß- und Kleinbetriebe mit Einwohnergleichwert (Meindl et al., 2017)	34
Tabelle 3-13: Zusammenfassung der statistischen Daten 2016 (Meindl et al., 2017).....	36
Tabelle 4-1: Trockenwetter Zulaufvolumen (Pichler, 2018)	41
Tabelle 4-2: CSB Trockenwetter-Frachten (Pichler, 2018)	42
Tabelle 4-3: Bezeichnungen der Simulationsergebnisse des Softwareprogrammes „Simba#water“ (ifak, 2016)	44
Tabelle 5-1: Ergebnisse der Messkampagne im Zeitraum von 16. Juni 2019 bis 23. Juni 2019.....	48
Tabelle 5-2: Eigenschaften der Messkampagnen.....	49
Tabelle 5-3: Anzahl der Trocken- und Regenwettertage	49
Tabelle 5-4: Anzahl der Arbeitstage und Wochenend- und Feiertage	50
Tabelle 5-5: Messergebnisse der drei Messkampagnen	51

Tabelle 5-6: CSB/BSB ₅ Verhältnisse und Einwohnerwerte	52
Tabelle 5-7: Q _{ARA} der Trockenwettertage.....	55
Tabelle 5-8: Q _{ARA} der Regenwettertage	55
Tabelle 5-9: CSB _{ges} und CSB Summe für Trocken- (rechts) und Regenwettertage (links)	57
Tabelle 5-10: Gemessene Trockenwettertage mit Angaben der Zuflussmengen Q _{ARA} , CSB _{ges} -Konzentrationen und CSB Summen.....	59
Tabelle 5-11: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen an Trockenwettertagen.....	61
Tabelle 5-12: Relative Anteile der CSB Fraktionen am CSB _{ges} an Trockenwettertagen.....	62
Tabelle 5-13: Standardabweichung der Relative Anteile der CSB- Fraktionen am CSB _{ges} der Trockenwettertage	62
Tabelle 5-14: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen.....	64
Tabelle 5-15: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen.....	64
Tabelle 5-16: Standardabweichung der relativen Anteile der CSB- Fraktionen am CSB _{ges} des Trockenwettermittels „Arbeitstag“	65
Tabelle 5-17: Absolute Konzentrationen der CSB-Fraktionen der Tagestyp-Gruppe „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen.....	68
Tabelle 5-18: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} der Tagestyp-Gruppe „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen.....	69
Tabelle 5-19: Standardabweichung der relativen Anteile der CSB- Fraktionen am CSB _{ges} des Trockenwettermittels „Wochenend- und Feiertag“	70
Tabelle 5-20: Genüberstellung der Mittelwerte von den Gruppen „Arbeitstag“ und „Wochenend- und Feiertag“	72
Tabelle 5-21: Messdaten der Tagestyp-Gruppe „Arbeitstag“ 2016 – „TW Arb. M1“	75
Tabelle 5-22: Messdaten der Tagestyp-Gruppe „Arbeitstag“ 2019 – „TW Arb. M3“	75
Tabelle 5-23: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M1	78
Tabelle 5-24: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M2	78
Tabelle 5-25: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M3	79
Tabelle 5-26: Literaturwerte von CSB-Fraktionen (Pasztor et al., 2009)	80

Tabelle 5-27: Trockenwettermittel für die Tagestypen „Arbeitstag“ und „Wochenend- und Feiertag“	81
Tabelle 5-28: Angaben über die Q _{ARA} -Zulaufmengen, CSB _{ges} -Konzentrationen und CSB Summen aller Messungen von Mischwasserereignissen	83
Tabelle 5-29: Absolute Konzentrationen der Mischwasserzuläufe	83
Tabelle 5-30: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB _{ges} der Mischwasserzuläufe	84
Tabelle 5-31: Niederschlag während M1	86
Tabelle 5-32: Niederschlag während M2	87
Tabelle 5-33: Niederschlag während M3	87
Tabelle 5-34: Eigenschaften der ausgewählten Mischwasserzuläufe	88
Tabelle 5-35: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis des MWG 19	89
Tabelle 5-36: Angaben von CSB _{ges} -Konzentrationen und CSB Summen	90
Tabelle 5-37: Vergleich des Mischwasserereignis MWG 19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	91
Tabelle 5-38: Vergleich des Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“	93
Tabelle 5-39: Vergleich des Mischwasserereignis MWKM 16 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“	96
Tabelle 5-40: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWKM 16	96
Tabelle 5-41: Vergleich des Mischwasserereignisses MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“	96
Tabelle 5-42: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWKM 19.2	96
Tabelle 5-43: Vergleich des Mischwasserereignisses MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“	99
Tabelle 5-44: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWM 16.2	99
Tabelle 5-45: Relevante Eingabedaten für die Kläranlagensimulation im „Simba#water“	101
Tabelle 5-46: CSB-Fraktionierungen aller Simulationen	102
Tabelle 5-47: Simulationsergebnisse mit konstantem Zufluss und konstanten Parametern	103
Tabelle 5-48: Simulationsergebnisse mit Eingangsparametern des Trockenwettertages	104
Tabelle 5-49: Parameter für die Erstellung der Mischwasserabflüsse	105
Tabelle 5-50: CSB-Fraktionierung für MW-Groß	106
Tabelle 5-51: Modifizierte Eingangsparameter für das MW-Groß	106
Tabelle 5-52: Vergleich der Simulationsergebnisse des MW-Groß	106

Tabelle 5-53: Abweichung der Simulationsergebnisse angesichts hoch aufgelöster Eingangsparameter	108
Tabelle 5-54: CSB-Fraktionierung für MW-Mittel.....	108
Tabelle 5-55: Modifizierte Eingangsparameter für das MW-Mittel.....	108
Tabelle 5-56: Vergleich der Simulationsergebnisse mit MW-Mittel	109
Tabelle 5-57: CSB-Fraktionierung für MW-Klein	110
Tabelle 5-58: Modifizierte Eingangsparameter für das MW-Klein	110
Tabelle 5-59: Vergleich der Simulationsergebnisse mit MW-Klein	110

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BOD	Biochemical oxygen demand
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSD	Chemical oxygen demand
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
EWG	Einwohnergleichwert
GIS	Geographisches Informationssystem
MW	Mischwasser
MÜB	Mischwasserüberlaufbecken
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
RW	Regenwetter
Si	Biologisch inert abbaubare CSB-Fraktion
Ss	Biologisch schnell abbaubare CSB-Fraktion
TKN	Kjeldahlstickstoff
TW	Trockenwetter
TSS bzw. AFS	Total suspended solids bzw. abfiltrierbare Stoffe
WWTP	Wastewater treatment plant
Xi	Partikulär biologisch langsam abbaubare CSB-Fraktion
Xs	Partikulär biologisch inert abbaubare CSB-Fraktion
ZSK	Zentraler Speicherkanal

1 Einleitung

Seit der Entstehung von gesellschaftlichen Siedlungszentren ist der sorgsame Umgang mit Abwasser eine unumgängliche Notwendigkeit und es treten ständig neue Herausforderungen in diesem Tätigkeitsbereich auf. Für die auf der Welt beheimateten Lebewesen ist Wasser eine der wichtigsten Lebensgrundlagen und daher sollte die Abwasserreinigung in der Gesellschaft einen hohen Stellenwert einnehmen. Die Menschheit sollte stets bestrebt sein jegliche Problemstellungen in dieser Thematik zu lösen. Vor allem im Fachbereich der Abwasserreinigung wurden in den letzten 60-Jahren große technische Fortschritte forciert. Unter anderem wird Abwassersammlung in Kanalnetzen sowie das Weiterleiten des Wassers in Abwasserreinigungsanlagen zur Säuberung angestrebt.

Durch die derzeit rasanten technologischen Fortschritte sowie einem ständigen Aufkommen neuer wasserbelastender Schmutzstoffe kommt es vermehrt zu neuen Verunreinigungen des Wassers. Derzeit wird versucht das Abwasser zu charakterisieren, um herauszufinden, welche Reinigungsmethode vorzuziehen ist. In der zurzeit verwendeten Abwassertechnik werden organische Verbindungen, wie Stickstoff und Phosphor, beseitigt. Es kommen aber auch anorganische Verbindungen im Abwasser vor, die mit dem heutigen Stand der Technik in Abwasserreinigungsanlagen biologisch nicht abbaubar sind. Für die Beseitigung anorganischer und biologisch nicht abbaubarer Mikroschadstoffe braucht es andere Verfahren.

Um die Qualität des Wassers zu beschreiben wird es chemisch, physikalisch und mikrobiologisch charakterisiert. Im Wasser, insbesondere im Abwasser, findet man ein Gemisch von vielen Einzelstoffen, welche schwierig zu erfassen sind. Anstelle aufwendiger Einzelstoffanalysen, deren resultierende Informationen für den Betrieb einer Kläranlage nicht notwendig sind, verwendet man Summenparameter, die unterschiedliche Stoffe mit gemeinsamen Eigenschaften zusammenfassen.

Organische Stoffe können mit den Summenparametern CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) und BSB (biologischer Sauerstoffbedarf) bestimmt werden. Der CSB (COD im Eng.) drückt aus, wieviel Sauerstoff für die vollständige Oxidation der organischen Verbindungen benötigt wird. Der BSB ist ein Maß für den Gehalt an biologisch abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, die mit Hilfe von Mikroorganismen aerob abgebaut werden. Auch der TOC (gesamte organische Kohlenstoff) ist ein Summenparameter, der seine Anwendung in der Abwassertechnik findet. Er erfasst alle organischen Verbindungen und beschreibt den Kohlenstoffanteil unabhängig vom Oxidationszustand. (Gujer, 2008)

In der Abwassertechnik gilt der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) seit geraumer Zeit als Indikator für alle Stoffe, die oxidierbar sind. (Gujer, 2008) Die CSB-Fraktionierung ermöglicht eine weitere Unterteilung der durch den CSB quantifizierten

Stoffe. Die CSB-Anteile lassen sich in gelöste und partikuläre Fraktionen unterscheiden. Des Weiteren sind sie biologisch leicht, schwer oder inert abbaubar.

In der Abwasserreinigung ist man bestrebt dem Abwasser unerwünschte Inhaltsstoffe zu entziehen oder in ungefährliche Stoffeigenschaften zu überführen. Dies erfolgt in den unterschiedlichen Reinigungsstufen einer Abwasserreinigungsanlage, wobei die biologische Abwasserreinigungsstufe den größten Leistungsbeitrag erzielt. Die in der Abwasserreinigungsanlage gezüchteten Bakterien und Mikroorganismen benötigen die im Abwasser enthaltenen Stoffmengen zur Vermehrung und reinigen das Abwasser. Dieser Vorgang wird auch als „Belebtschlammverfahren“ bezeichnet. Für die Kläranlagenbetreiber sind die im Belebungsbecken lebenden Bakterien die wichtigsten und auch sensibelsten „Mitarbeiter“. Es wird versucht die Bakterien immer mit genügend Sauerstoffzufuhr und Biomasse, also Nahrung, zu versorgen. Es gibt viele Faktoren, die die Lebensgrundlage der Bakterien negativ beeinflussen können. Zum Beispiel kann es vorkommen, dass durch eine temporäre starke zusätzliche Zuflussmenge, Teilmengen der Bakterien aus dem Belebungsbecken abgeschwemmt werden oder diese zu wenig Nährstoffe zum Überleben bekommen. Bei starken Niederschlagsereignissen kann eine derart starke zusätzliche Betriebsbelastung auftreten.

Mit Hilfe dynamischer Simulationsmodelle lassen sich Kläranlagen gut steuern und ungünstige Einwirkungen bereits im Vorhinein besser abfangen. Eine gewisse Variabilität der Zuflussmenge ist auf Grund von Trockenwetterperioden und Niederschlagsereignissen keine Seltenheit. Mit stabilen gut konstruierten Simulationsmodellen einer Abwasserreinigungsanlage können mögliche Szenarien simuliert werden und anhand der gewonnenen Information kann prospektiv in Steuerungsmechanismen des Reinigungsprozesses einer Kläranlage eingegriffen werden um die gewünschte Reinigungsleistung zu gewährleisten. Die Kläranlagensimulation ist damit in der Zukunft ein nicht mehr wegzudenkendes Steuerungselement.

1.1 Aufgabenstellung und Motivation

Aufgrund der kontinuierlichen Veränderungen der Abwasserbeschaffenheiten durch anthropogene Einflüsse ist es von großer Bedeutung einen Überblick über die vorhandene Abwasserqualität zu erlangen. Die CSB-Fraktionierung und ihre Unterteilung in unterschiedlich biologisch abbaubare Anteile, gibt im Großen und Ganzen eine gute überschaubare Darstellung der Abwasserbeschaffenheiten. Es gibt viele unterschiedliche und teils auch sehr einfache Bestimmungsmethoden der CSB-Fraktionierung im Labor. Ein Nachteil ist, dass es noch keine international standardisierte laboranalytische Bestimmungsmethode zur Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs gibt, was die Vergleichbarkeit der CSB-Fraktionen unterschiedlicher Abwässer erschwert. Bei Mischwasser ist die Variabilität

der Abwasserqualität größer, da der Einfluss durch stark schwankende Abflussmengen gegeben ist. Der Einfluss der verschmutzten Oberflächenabflüsse bzw. Niederschlagswässer bekommt daher eine immer größer werdende Bedeutung. Um eben diese Phänomene aufzuzeigen bietet die CSB-Fraktionierung mit der Zuteilung verschiedener biologisch abbaubarer Eigenschaften zu Fraktionen einen guten Überblick über das Abwasser.

Ein Teil der Aufgabenstellung dieser Arbeit ist es, über Herkunft bzw. Ursachen des chemischen Sauerstoffbedarfs sowie Schmutzstoffquellen für die unterschiedlichen CSB-Fraktionen zu recherchieren. Angesichts einer Messkampagne zur Bestimmung der CSB-Fraktionen des Grazer Abwassers soll der Einfluss von Mischwasserereignissen aufgezeigt werden und Mithilfe einer Literaturrecherche sollen die erworbenen Erkenntnisse über die Variabilität der CSB-Fraktionen im Falle eines Mischwasserereignisses bekräftigt werden. Die in der Messkampagne erworbenen Daten werden mit internationalen gesammelten CSB-Fraktionen unterschiedlicher Abwässer verglichen.

Simulationen sind zur Optimierung von Kläranlagenreinigungsprozessen in Anwendung. Im Zuge dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die unterschiedlichen CSB-Fraktionen aufgrund eines Mischwasserereignisses einen Einfluss auf die Modellergebnisse haben. Angesichts einer Änderung der Modellergebnisse ist es sinnvoll genau ermittelte CSB-Fraktionen bei der Kläranlagensimulation anzuwenden.

Es erfolgt die Simulation von Mischwasserszenarien um mögliche Veränderungen der Modellergebnisse aufgrund erhöhter hydraulischer Belastung und Änderung der CSB-Fraktionierung zu klären.

1.2 Ziele

- Literaturrecherche zu Einflussfaktoren bzw. Schmutzstoffquellen welche die CSB-Fraktionen beeinflussen.
 - Recherche über Abwasser-Verursacher und deren Einfluss auf den CSB und die CSB-Fraktionierungen.
 - Recherche über die Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall.
- Durchführung einer Messkampagne: Analytische Bestimmung der CSB-Fraktionen des Grazer Abwassers.
 - Erarbeitung einer Methodik für die Datenauswertung der in Summe 29-tägigen Messkampagne von analytisch bestimmten CSB-Fraktionen des Grazer Abwassers.
 - Vergleich der CSB-Fraktionen mit internationalen Abwässern

- Interpretation der Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall des Grazer Abwassers
- Kläranlagensimulation
 - Anpassung der Kläranlagensimulation an die neu ermittelten CSB-Fraktionen.
 - Überprüfung des Einflusses auf die bestehende Kläranlagensimulation bei Änderungen der CSB-Fraktionen.
 - Erstellung von Mischwasserszenarien mit angepassten hoch aufgelösten Messdaten und den real gemessenen CSB-Fraktionen von Mischwasserereignissen.

2 Grundlagen

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf Grundlagen, die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind, näher eingegangen.

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Begrifflichkeiten

Nach den Begriffsdefinitionen der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV) werden die in der Siedlungswasserwirtschaft (Fachsparte Abwasser) notwendigen Begriffe beschrieben. Die Abwasseremissionsverordnung gilt für die Einleitung von Abwasser, Mischwasser, Niederschlagswasser, Grundwasser oder Tiefengrundwasser, Sickerwasser aus Abfalldeponien und wässrige Kondensate ausgenommen Niederschlagswasser. (RIS, 1996b)

2.1.1 Abwasser

„Wasser, das infolge der Verwendung in Aufbereitungs-, Veredelungs-, Weiterverarbeitungs-, Produktions-, Verwertungs-, Konsumations- oder Dienstleistungs- sowie in Kühl-, Lösch-, Reinigungs-, Desinfektions- oder sonstigen nicht natürlichen Prozessen in seinen Eigenschaften derart verändert wird, dass es Gewässer in ihrer Beschaffenheit (§ 30 WRG 1959) zu beeinträchtigen oder zu schädigen vermag.“ (RIS, 1996b)

2.1.2 Kommunales (häusliches) Abwasser

Abwasser aus Küchen, Waschküchen, Waschräumen, sanitär oder ähnlich genutzten Räumen in Haushalten oder mit diesem hinsichtlich seiner Beschaffenheit vergleichbares Abwasser aus öffentlichen Gebäuden oder Gewerbe-, Industrie-, landwirtschaftlichen oder sonstigen Betrieben.(RIS, 1996b)

2.1.3 Niederschlagswasser

Wasser, das zufolge natürlicher oder künstlicher hydrologischer Vorgänge als Regen, Tau, Hagel, Schnee oder ähnliches auf ein bestimmtes Einzugsgebiet fällt und an der Landoberfläche dieses Einzugsgebietes zu einem Gewässer abfließt oder durch technische Maßnahmen abgeleitet wird.(RIS, 1996b)

2.1.4 Mischwasser

Mischung aus Niederschlagswasser und Wässern gemäß Abs. 1 Z 1 oder 4 bis 6 (Abwasser, Grundwasser oder Tiefengrundwasser, Sickerwasser aus Abfalldeponien und wässrigen Kondensaten ausgenommen Niederschlagswasser). (RIS, 1996b)

2.1.5 Indirekteinleiter

Wer Einleitungen in eine wasserrechtlich bewilligte Kanalisationsanlage eines anderen vornimmt, hat die gemäß § 33b Abs. 3 vom Bundesminister für Land-

und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erlassenen Emissionsbegrenzungen einzuhalten. Abweichungen von diesen Anforderungen können vom Kanalisationsunternehmen zugelassen werden, soweit dieses sein bewilligtes Maß der Wasserbenutzung einhält. Einleitungen bedürfen der Zustimmung des Kanalisationsunternehmens. (RIS, 1959)

2.1.6 Verdünnungseffekt

Das bei Trockenwetterabfluss stark verschmutzte Abwasser erfährt im Mischwasserfall bei zusätzlichem Anfall von Regenwasserabfluss einen sogenannten „Verdünnungseffekt“. Das im Verhältnis saubere Regenwasser vermischt sich mit dem stark konzentrierten Trockenwetterabfluss und ist dann in Summe geringer hoch konzentriert. (Geißler-Dresden, 1945)

2.1.7 Einwohnerwert (EW)

Der Einwohnerwert (EW) ermöglicht die Vergleichbarkeit unterschiedliche Abwässer und wird vor Allem für die Bemessung von Kläranlagen herangezogen. Der EW_{60} bezieht sich auf den BSB_5 und der EW_{120} auf den CSB. Es wird die Schmutzfracht in g pro Tag und Einwohnerwert angegeben. (Landesregierung Steiermark,) *„Zum Beispiel wird die für einen Einwohner pro Tag erzeugte organische Schmutzfracht bei der Abwassermenge von 200 L/d mit 60 BSB_5 ermittelt.“* (RIS, 1996a)

2.1.8 Mechanische und biologische Reinigungsstufe

In der mechanischen Reinigungsstufe (erste Reinigungsstufe) wird das Abwasser einem mechanische (Rechen) und physikalischen (Sedimentation, Flotation) Reinigungsprozess unterzogen. Bei der biologischen Reinigungsstufe wird das Abwasser von Mikroorganismen gereinigt. (Gujer, 2007)

2.1.9 Spülstoß bzw. „first flush“

Der Spülstoß, im Englischen bekannt unter „first flush“, ist ein Phänomen der Abspülung von abgelagerten Feststoffen auf Oberflächen- und in Kanalsohlen. (Dorfer, 2005)

2.2 Abwasserzusammensetzung

Die Abwasserzusammensetzung besteht aus einer komplexen Matrix an zusammengemischten Stoffen. Das kommunale Abwasser besteht vereinfacht aus organischen Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffen und Phosphor. Die organischen Kohlenstoffverbindungen sind die Basis für den chemischen Sauerstoffbedarf. (Benneouala, 2017) Eine weitere Kategorie stellen Keime bzw. Krankheitserreger wie Viren, Würmer, Parasiten, Bakterien und Protozoen dar. Wasser ist daher auch immer ein potenzieller Krankheitsverbreiter, da es Lebensraum für Keime schafft. Biologisch inerte Anteile im Abwasser wie Arzneimittel, Salze,

Säuren und giftige Metalle bilden auch eine Kategorie im Abwasser. (Tesfalem, 2017)

2.3 Charakterisierung von Abwässern

Die Charakterisierung von Abwasser kann man über allgemeine Kenngrößen, Angaben zu organischen Verunreinigungen und Nährstoffen definieren. Bei den allgemeinen Kenngrößen werden Abwassertemperatur, absetzbare bzw. abfiltrierbare Stoffe und Glührückstände ermittelt. Kenngrößen wie absetzbare und abfiltrierbare Stoffe geben Hinweise auf die Sedimentationswirkung von Schmutzfraktionen, welche in der mechanischen Reinigungsstufe vom Abwasser entfernt werden können. Zur Ermittlung der organischen Verunreinigung werden die Summenparameter CSB (chemischer Sauerstoffbedarf), BSB (biochemischer Sauerstoffbedarf), TOC (gesamter organischer Kohlenstoff) und der TKN (totaler Kjeldahl-Stickstoff) herangezogen. Für die Ermittlung wichtiger Nährstoffe im Abwasser wie Stickstoff (N) und Phosphor (P) können nur Einzelstoffe analysiert werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden diverse Summenparameter sowie Kenngrößen, die in der Abwassertechnik verwendet werden, beschrieben.

2.3.1 BSB - biochemischer Sauerstoffbedarf bzw. BSB₅

Der biochemische Sauerstoffbedarf BSB (BOD in Eng.) gibt an, wieviel Sauerstoff für die Oxidierung von biologisch abbaubaren Stoffen in einer Wasserprobe benötigt wird. Der Sauerstoffverbrauch bezieht sich auf die Mikroorganismen, die biologische Stoffe abbauen. Maßgeblich für den Sauerstoffverbrauch ist die Veratmung von Kohlenstoffverbindungen. Der BSB ist demnach ein Summenparameter für die Belastung des Wassers mit biologisch abbaubaren Stoffen. Der BSB₅ gibt an, wieviel Sauerstoff von Mikroorganismen für die Kohlenstoffoxidation innerhalb von 5 Tagen bei einer Wassertemperatur von 20 °C verbraucht wird. (Fuchs-Hanusch et al., 2014)

2.3.2 CSB - chemischer Sauerstoffbedarf

Der chemische Sauerstoffbedarf CSB (COD in Eng.) gibt an, wieviel Sauerstoff für die Oxidation der organischen Verbindungen im Abwasser verbraucht werden muss, um diese mikrobiologisch abzubauen. Erfasst werden chemisch oxidierbare organische Verbindungen sowie Inhaltstoffe, die biologisch nicht abbaubar und anorganisch oxidierbar sind. Die spezifischen Konzentrationen von organischen Substanzen lassen sich mit dem CSB nicht bestimmen. Er gibt also keine Auskunft über die Zusammensetzung der Abwasserinhaltsstoffe und enthält auch keine Angaben über die biologische Abbaubarkeit. Es kann nur der gesamte Sauerstoffverbrauch der im Wasser gelösten organischen Verbindungen erfasst werden und somit gibt das Ergebnis einer CSB-Bestimmung den Gehalt organischer

Substanzen nur indirekt wieder. (Fuchs-Hanusch et al., 2014; analytikjena, 2015; Pohling, 2015)

Bei der Analyse wird das Oxidationsmittel Kaliumdichromat verwendet und es kann ein Oxidationsgrad von 95-100 Prozent erreicht werden. Die Angabe erfolgt in mg O₂ pro Liter Wasserprobe. Bei dieser Methode werden Pyridin, lineare aliphatische Verbindungen und aromatische Kohlenwasserstoffe nicht quantitativ oxidiert. Durch die Zugabe von Silbersulfat als Katalysator kann die Oxidation geradliniger aliphatischer Verbindungen zwar erleichtert werden, jedoch die Oxidation von aromatischen Kohlenwasserstoffen nicht beschleunigt werden. (Pohling, 2015)

Der CSB ermöglicht ähnliche Informationen wie der TOC (total organic carbon) und beide erfassen viele Inhaltsstoffe wie:

- *Biologisch leicht abbaubare, im BSB₅ erfasste Stoffe*
- *Biologisch schwer abbaubare, natürliche Stoffe (Huminstoffe, Zellulosefasern, ...)*
- *Biologisch schwer oder nicht abbaubare, künstlich hergestellte organische Stoffe (Pestizide, Lösungsmittel, ...)*

(Fuchs-Hanusch et al., 2014)

Der Summenparameter CSB kann mit der gängigen analytischen Bestimmungsmethode (Kaliumdichromat) beinahe alle organischen Kohlenstoffverbindungen erfassen. Anorganische Stoffe, zu welchen Elemente und Verbindungen zählen, die keinen Kohlenstoff enthalten, können nicht mit dem CSB erfasst werden. Bestimmte anorganische Verbindungen oxidieren zu einfachen mineralischen Verbindungen und unter den anorganischen Stoffen gibt es Kohlenwasserstoffe, die wie typische Kohlenwasserstoffe aufgebaut sind aber historisch der Anorganik angehören. Dazu zählen die Kohlenstoffverbindungen: Kohlenmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Schwefelkohlenstoff (wasserstofffreie Chalkogenide), Kohlensäure, Carbonate, Carbide, ionische Cyanide, Cyanate und Thiocyanate und Blausäure (Grenzfall zwischen organisch und anorganisch). (Latscha & Klein, 2002; Pluciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Quecksilber, die im Abwasser und in Gewässern vorkommen, sind Verbindungen bzw. Elemente anorganischer Natur und somit vom CSB nicht erfassbar. Es gibt aber auch metallorganische Verbindungen, wie zum Beispiel Dimethylquecksilber, die zum Teil erfassbar sind.

In der ÖNORM M 6265 (1991) findet sich eine genaue Beschreibung für die methodische CSB Bestimmung, die sich an einer ARA vor Ort sehr gut und einfach

bestimmen lässt. Da sich der CSB auf den erforderlichen Sauerstoffbedarf bezieht, eignet er sich gut als Parameter um die biologische Reinigung zu bewerten.

2.3.3 Verhältnis von CSB/BSB₅ bzw. BSB₅/CSB

Das Verhältnis zwischen CSB und BSB₅ ermöglicht eine Abschätzung der biologischen Abbaubarkeit von Schadstoffen. Ein hoher Wert für das CSB/BSB₅ Verhältnis (>2,5) deutet auf einen hohen Anteil biologisch langsam abbaubarer organischer Verbindungen hin. Hingegen weist ein CSB/BSB₅ Verhältnis von <2,5 auf Abwässer mit einem großen Gehalt an biologisch abbaubaren Verunreinigungen hin. Die Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über den Zusammenhang der CSB/BSB₅ Verhältnisse und der dazugehörigen biologischen Abbaubarkeit. (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

Tabelle 2-1: Biologische Abbaubarkeit von organischen Verbindungen (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

COD/ BOD ₅	Value decrease COD, [%]	Assessment of Susceptibility to Biochemical Biodegradation
<2.0	>90	easily biodegradable
2.0–2.5	50–90	Biodegradable
2.5–5.0	10–50	slowly biodegradable
>5.0	<10	resistant to biodegradation

2.3.4 TOC (Total Organic Carbon)

Der TOC (Total Organic Carbon) ist als Summenparameter für den gesamten organischen Kohlenstoff zu verstehen. Verwendet wird dieser Summenparameter in der Umweltüberwachung, der Wasseraufbereitung und auch in der Qualitätskontrolle der Reinigungsvalidierung. Das wohl bedeutendste Messverfahren funktioniert mit einer nasschemischen oder thermokatalytischen Oxidation der Kohlenstoffverbindungen zu Kohlendioxid, welches anschließend mit NDIR (Nicht dispersive IR-Detektoren) erfasst wird. (analytikjena, 2015)

2.3.5 TKN (Kjeldahlstickstoff)

Kjeldahlstickstoff ist ein Summenparameter, der alle organischen gebundenen Stoffe gemeinsam mit Ammonium analysiert. (Gujer, 2007)

2.3.6 AFS bzw. TSS und Glührückstand

Die abfiltrierbaren Stoffe AFS werden in der Maßeinheit mg/L angegeben und sind jene getrockneten Rückstände, die bei der Filtration von einem Liter Abwasser durch Papier oder Membrane mit definierten Porenöffnungen zurückbleiben. Meistens werden Filter mit Porengrößen von 0,45 µm verwendet. Die Trocknung erfolgt unter 105 °C während zwei Stunden. Danach wird der Filterrückstand gewogen, bei 550 °C verglüht und wiederum gewogen. Dieser Rückstand wird als

Glührückstand bezeichnet. Er gibt Rückschlüsse über den anorganischen Anteil der ungelösten Stoffe. (Fuchs-Hanusch et al., 2014)

2.3.7 Stickstoff (N)

Stickstoff kann in elementarer und reduzierter Form im Abwasser vorkommen. In reduzierter Form kommt er als Ammonium und Ammoniak vor und löst den Sauerstoffverbrauch aus. In der biologischen Reinigung wird der Stickstoff zuerst (meistens schon im Kanalnetz) zu Ammonium hydrolysiert, über die Nitrifikation in Nitrat umgewandelt und bei der Denitrifikation in elementaren Stickstoff N_2 überführt. (Gujer, 2007)

2.3.8 Phosphor (P)

Phosphor ist wie Stickstoff ein Nährstoff und gelangt in organisch gebundener Form ins Abwasser. Phosphor kommt im häuslichen Abwasser mit ca. 5 bis 10 mg/L vor. Durch das Verbot von Phosphaten in der Textilindustrie 1986 gab es einen deutlichen Rückgang der Phosphatkonzentrationen. (Gujer, 2007)

2.3.9 Spurenstoffe

Spurenstoffe, auch bekannt unter den Begriffen Mikroschadstoffe und Mikroverunreinigung, kommen in anorganischer und organischer Form vor und sind als Sammelbegriff vor allem für im Wasser gelöste mikroskopisch vorkommende Stoffe zu verstehen. In diesem Sinne ist es kein Summenparameter, sondern als der Sammelbegriff zu verstehen. (Ruhrverband, 2020) Für die Ermittlung verschiedener Spurenstoffe im Abwasser gibt es bislang noch keinen Summenparameter, der Spurenstoffe mit gleichen Eigenschaften vereinigt.

Es gibt eine Unzahl an Chemikalien, die sich als Spurenstoffe im Abwasser finden lassen. Anthropogen verursachte organische Substanzen, die zu den Spurenstoffen zählen und als Rückstände im Abwasser zu finden sind, wären zum Beispiel Wirkstoffe in Medikamenten, Duftstoffen, Reinigungsmitteln, Weichmachern (Phthalate und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), Industriechemikalien, Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Flammschutzmitteln, Korrosionsschutzmitteln und noch viele weitere. Zu den anorganischen Spurenstoffen zählen Schwermetalle wie Cadmium, Nickel, Kupfer, Zink und Quecksilber. (Clara et al., 2014; Bleckmann et al., 2016)

2.4 CSB-Fraktionierung nach ASM (Activated Sludge Model)

Alle Abwässer besitzen eine unterschiedliche Abwassermatrix, da sie von den verschiedensten Einflussfaktoren bestimmt werden. Zum Beispiel unterscheiden sich die Inhaltsstoffe von industriellem Abwasser zum kommunalen Abwasser. Die Charakterisierung von Abwässern beschäftigt sich mit der Erörterung und Analyse dieser unterschiedlichen Abwassermatrizen. Wie schon oben erwähnt,

werden dafür im größeren Rahmen Summenparameter wie CSB und BSB herangezogen. Für eine genauere Betrachtung der Eigenschaften von Abwässern kann man die CSB-Fraktionierung anwenden.

Die Charakterisierung von Abwasser ist für eine Kläranlagensimulation sehr wichtig, da sich die unterschiedlichen kommunalen und industriellen Abwässer sehr stark in der Zusammensetzung der Inhaltstoffe unterscheiden. Für eine gut angepasste Simulation einer Kläranlage ist es daher von großer Bedeutung, dass eine wahrheitsgetreue Abwassermatrix des vorhandenen Schmutzwassers vorliegt. Die CSB-Fraktionierung eines Schmutzwasserzulaufes beruht auf dem ASM. Der CSB des Schmutzwassers wird in Fraktionen mit unterschiedlichen Eigenschaften eingeteilt.

Abwässer sind ein Gemisch aus organischen und anorganischen Bestandteilen und lassen sich daher in eine biologische und biologisch nicht abbaubare Komponente unterteilen. Im biologisch abbaubaren Teil unterscheidet man in der Abwassermatrix zwischen schnell und schwer abbaubaren Teilen. Der schnell abbaubare Teil besteht aus kleinen einfachen Molekülen, der schwer abbaubare hingegen aus Teilchen mit einer großen und komplexen Molekülstruktur. Die physikalische Definition dieser Gruppierung beschreibt die schnell abbaubaren Bestandteile als gelöste Fraktionen und die schwer abbaubaren als partikuläre Fraktionen. Stoffe, die auf die biologische Abbaubarkeit nicht oder nur sehr langsam reagieren, weil die vorhandene Durchlaufzeit der Abwasserreinigung für einen Abbauprozess nicht ausreicht, werden als inerte Fraktionen verbucht. Die inerte Fraktion ist auch in gelöster Form vorhanden und kommt in gleichen Mengen sowohl im Zulauf als auch im Ablauf vor, da sie in der biologischen Stufe des Reinigungsprozesses nicht abgebaut werden kann. Der inerte partikuläre Anteil befindet sich Großteils im Ablaufschlamm und wird auch mit diesem vom Abwasser abgesondert. (WERF, 2004)

Kenntnisse über die Anteile an organischen Schadstoffen, die biologisch abbaubar oder resistent sind, sind entscheidend für die Gestaltung der biologischen Reinigungsstufen, da der Nährstoff-Abbau von Stickstoff und Phosphaten davon abhängig ist. Die unterschiedlichen Anteile der biologischen Abbaubarkeit beeinflussen die Dynamik des Belebtschlammprozesses, den Sauerstoffbedarf, die Aufrechterhaltung des konstanten Schlammalters und die Parameter des biologischen Reaktorbetriebes. Die Abbildung 2-1 zeigt die einzelnen Bestandteile der CSB-Fraktionierung. Darin enthalten sind die Bestandteile der gelösten biologisch leicht abbaubaren CSB-Fraktion Ss, sowie die gelösten inert abbaubaren CSB-Fraktion Si und die partikulär biologisch schwer abbaubaren und inert abbaubaren CSB-Faktionen mit den Bezeichnungen Xs und Xi. Rechts im Bild der Abbildung 2-1 sind die Endformen bzw. Abbauformen oder der Verbleib der CSB-Faktionen in der Kläranlage bzw. im Kläranlagenablauf dargestellt. (IWA Publishing, 2013; Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

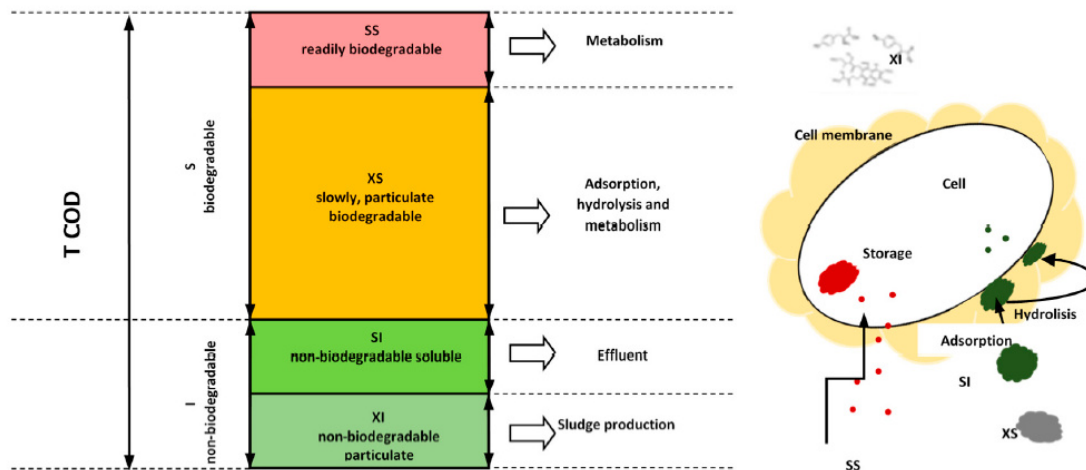


Abbildung 2-1: Darstellung der einzelnen CSB-Fractionen am CSB und Verbleib am Kläranlagenablauf (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

2.5 Kläranlagensimulation

Eine Simulation von stattfindenden Reinigungsprozessen einer Kläranlage bietet viele Möglichkeiten zur Optimierung und Verbesserung der realen Reinigungsleistungen. Mit einer guten Steuerung der Parameter, die für die Klärung der Abwässer zuständig sind, ist es möglich, die Effizienz einer Kläranlage zu steigern. Um dies zu ermöglichen, bietet die Simulation ein optimales „Tool“.

2.5.1 Allgemeine Beschreibung des Kläranlagen Simulationsmodells Graz Gössendorf

Das in dieser Arbeit verwendete Kläranlagensimulationsprogramm „Simba#water“ baut auf den entwickelten ASM Modellen der IWA Group (International Water Association) auf. Das bereits erstellte Simulationsnetz wurde von Hofer et al. (2018) entwickelt. Die Bestandteile des Simulationsmodells der ARA Graz werden in der Abbildung 2-2 dargestellt. Das ARA Modell wurde mit dem Belebtschlammmodell des „Typ ASM3+BioP“ simuliert. Die Abbildung 2-3 zeigt die CSB-Fraktionierung mit den dazugehörigen Parametern bzw. Zustandsvariablen des Belebtschlammmodells. (Hofer et al., 2018)

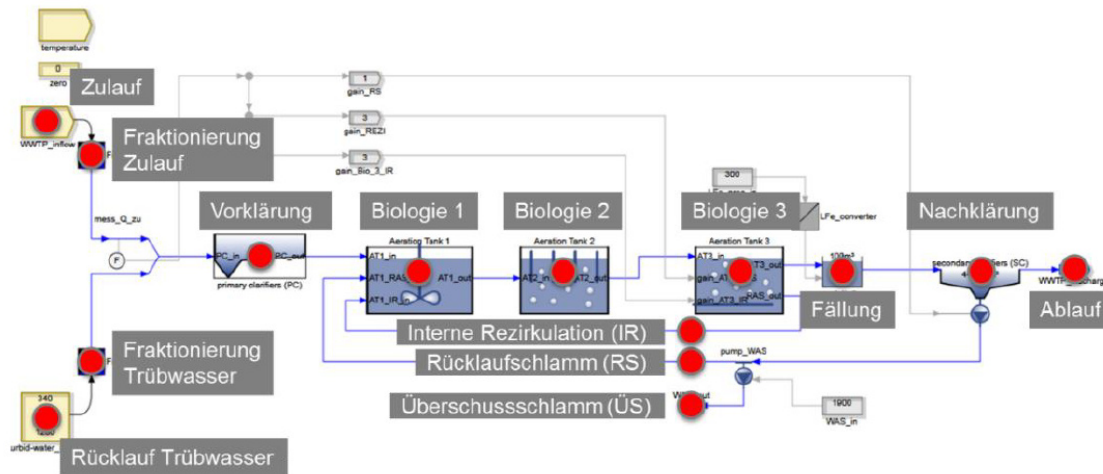


Abbildung 2-2: Bestandteile des Simulationsmodells der ARA Graz (Hofer et al., 2018)

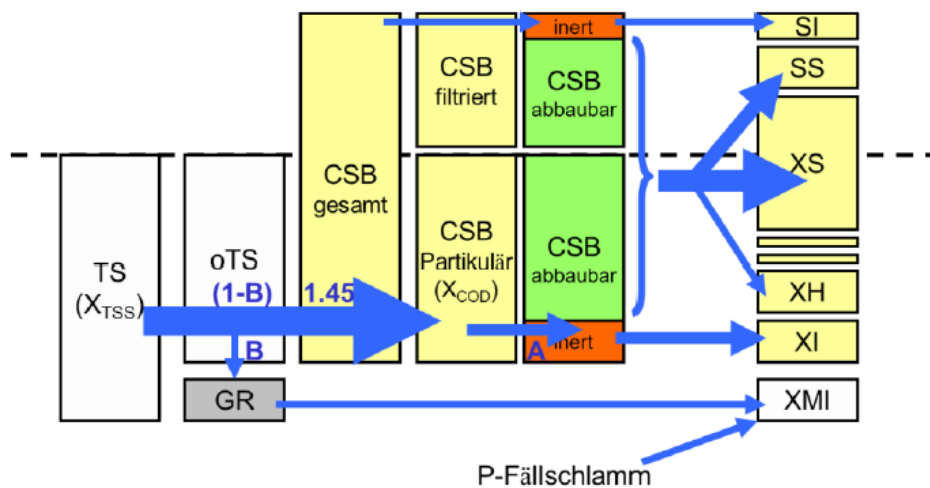


Abbildung 2-3: Die CSB-Fraktionierung mit den dazugehörigen Parametern bzw. Zustandsvariablen des Belebtschlammmodells (Hofer et al., 2018)

Im Zuge der Erstellung des Modellkonzepts und der Simulation der ARA-Reinigungsleistung von Trockenwetterabflüssen sowie Entleerungsereignisse des ZSKs (Zentraler Speicherkanal) von Hofer et al. (2018) ist ein Sensornetzwerk für die Messung von zeitlich hoch aufgelösten Parametern für Hydraulik und Wasserqualität auf der Kläranlage Graz installiert worden. Während eines Untersuchungszeitraums von über einem Jahr, wurden zeitlich hoch aufgelöste Messdaten für Zufluss Q_{ARA} (m^3/d), CSB (mg/L), BSB_5 (mg/L), AFS (mg/L), NH_4-N (mg/L) ermittelt. Genauer ist aus dem Bericht „Projekt ZSK-Monitoring“ von Hofer et al. (2018) zu entnehmen.

Für die verwendeten Modelle der Hydraulik und Schmutzfracht des Grazer Kanalnetzes, des hydrodynamischen Abflussmodells des ZSK sowie des dynamischen Kläranlagenmodells von Hofer et al. (2018) wurden sowohl Kalibrierung als auch Validierung durchgeführt. Abweichungen des dynamischen Kläranlagenmodells ergaben bei Trockenwetter 15 % und bei Regenwetter 25 %. (Hofer et al., 2018)

3 Quellen und Einflüsse der CSB-Fraktionen

Im Zuge dieses Kapitels wird über mögliche Einflüsse und Ursachen, die den CSB und die CSB-Fraktionen von Abwässern bestimmen eingegangen. Des Weiteren erfolgt eine Beschreibung möglicher Quellen, welche die einzelnen CSB-Fraktionen Ss, Xs, Xi und Si beeinflussen können.

Allgemein gilt, dass die Hauptverschmutzung von Abwasser infolge von anthropogenen Einflüssen passiert. Die DIN EN 1085 (2007) definiert Abwasser als: „Wasser bestehend aus jeglicher Kombination von abgeleitetem Wasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbegrundstücken, Oberflächenabfluss und Fremdwasser“. Laut des Chemical Abstract Service (CAS) gibt es zurzeit mehr als 90 Millionen organische und anorganische Substanzen, die im Umlauf sind und das kommunale Abwasser beeinträchtigen. (A.Schaum, 2016)

Die unterschiedlichen Abwassermatrizen von kommunalem Abwasser und Mischwasser haben Auswirkung auf die Anteile der einzelnen CSB-Fraktionen. Im Zuge der Betrachtung des Mischwassers wird auch auf die Variabilität der CSB-Fraktionen innerhalb eines Mischwasserfalles durch den Einfluss von Oberflächenabfluss bzw. Niederschlagswasser untersucht. Die Beobachtung dieser Anteile ist für die Entwicklung der Abwasserreinigung wichtig, da die Größenordnungen der CSB-Fraktionen wichtig für den biologischen Reinigungsprozess in der Kläranlage sind. Zum Beispiel sind die inerten gelösten Bestandteile Si als jene Inhaltsstoffe im Abwasser zu verstehen, die mit dem derzeitigen Stand der Technik der Abwasserreinigung nicht abgebaut werden können und zum Teil ungereinigt in den natürlichen Wasserkreislauf geführt werden.

3.1 Allgemeines

Die Charakterisierung des Abwassers über einen Summenparameter, wie zum Beispiel dem CSB oder BSB, ist einfacher handzuhaben als die Charakterisierung mittels Einzelstoffanalyse. Die CSB-Fraktionierung gibt einen guten Überblick über unterschiedliche Abbaubarkeiten von Kohlenstoffverbindungen. Inerte gelöste Stoffe sind organische Verbindungen und unter anderem auch Spurenstoffe organischer Natur. Anorganische Verbindungen werden vom CSB nicht erfasst. Diese könnten im Zuge einer Laboruntersuchung als Glührückstand verstanden werden. Jedoch fallen sowohl partikuläre als auch gelöste Stoffe unter den Glührückstand. Es gibt auch organisch schwer abbaubare Kohlenstoffverbindungen, die eventuell durch eine zu kurze Verweildauer des Abwassers in der biologischen Reinigungsphase nicht vollkommen abgebaut werden können. Inerte partikuläre Stoffe setzen sich im Nachklärbecken ab und werden Großteils im Schlamm gebunden. Mit Hilfe der Schlammbehandlung können sie dann vom Abwasser entfernt werden.

Urbane Siedlungsgebiete können Misch- oder Trennkanalisationssystem haben womit Abwasser in eine Kläranlage geleitet wird. Neben kommunalem Abwasser spielen in den Mischsystemen auch Niederschlagswässer bei der Verunreinigung von Abwässern eine große Rolle. Bei Mischwassersystemen, oftmals vorhanden im städtischen urbanen Gebieten, haben verschmutzte Oberflächen einen Einfluss auf die Abwassercharakteristik, da sich während Trockenwetterphasen Stoffe auf Oberflächen wie Straßen, Dächern, Fassaden, öffentlichen Plätzen, Fußwegen und sonstigen urbanen Nutzflächen ablagern und bei Niederschlagsereignissen in das Kanalnetz gespült werden. Auch durch die Luftverschmutzung wird Regenwasser verunreinigt. Bei Niederschlagsereignissen kann es am Kläranlagenzulauf zu einem sogenannten „first flush“ kommen, der bei den ankommenden Abwassermengen für einen höheren chemischen Sauerstoffbedarf verantwortlich ist, da sich in diesem Abwasser ein höherer Anteil an Schmutzstoffen befindet. (Clara et al., 2014)

In Abbildung 3-1 wird ein Überblick über die verschiedenen Eintragspfade der Verschmutzung aus Abwasser dargestellt, auf die in den weiteren Kapiteln näher eingegangen wird.

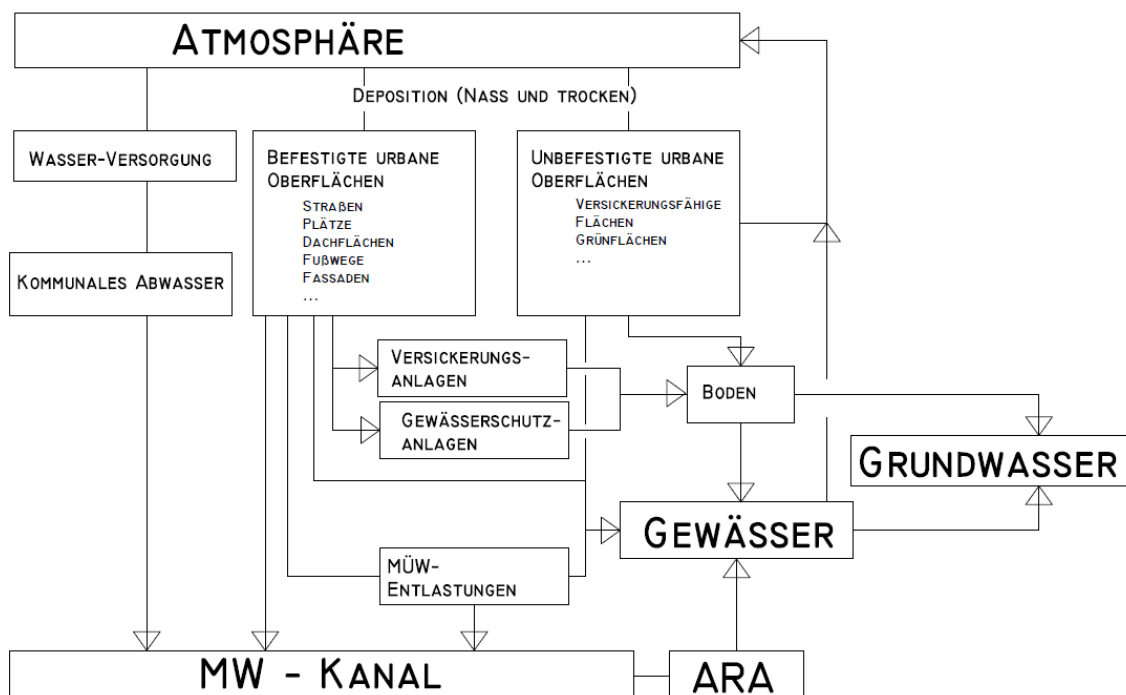


Abbildung 3-1: Überblick über die verschiedenen Eintragspfade der Verschmutzung aus Abwasser

3.2 Abwasserbeschaffenheit bei Trockenwetter

Es wird versucht Erkenntnisse über mögliche Verursacher bzw. eine mögliche Herkunft der CSB-Fraktionen im kommunalen Abwasser zu finden. Dazu werden separat Informationen über den CSB und die CSB-Fraktionen von häuslichen und industriellen bzw. gewerblichen Abwasserquellen gesammelt.

3.2.1 **Abwasserbeschaffenheit von häuslichem Abwasser**

Das kommunale Abwasser umfasst eine sehr große Palette an verschiedenen Stoffen, die durch die natürlichen Ausscheidungen des Menschen sowie verschiedene Abfallprozesse und im Alltag verbrauchter Substanzen in die Abwasserentsorgung geleitet werden.

Organische Kohlenstoffverbindungen, Ammonium, Harnstoff, organischen Stickstoffverbindungen, organisch gebundener Phosphor, Fette, Eiweiß, Kohlenhydrate, Kalium und etc. sind typische Stoffe, die in den natürlichen Ausscheidungen des Menschen vorkommen. Auch Metalle und Schwermetalle wie Eisen, Kupfer und Zink werden vom menschlichen Organismus ausgeschieden. Krankheitserreger wie z.B. Viren, Keime und sonstige Mikroorganismen stammen überwiegend aus den menschlichen Ausscheidungen. (A.Schaum, 2016).

Durch Waschmittel, Geschirrspülmittel, Reinigungsmittel, Desinfektionsmittel kommen Salzkonzentrationen (Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium) und Aluminium in das Abwasser. (A.Schaum, 2016)

Wegen ihrer ökotoxikologischen Relevanz reichen geringe Konzentrationen aus, um bedenklich zu sein. Die Begriffe Spurenstoffe und Mikroverunreinigungen können äquivalent verwendet werden (siehe Kapitel 2.3.9). Bisher bekannte Quellen dieser Stoffe sind Arzneimittel, Industriechemikalien, Haushalts- und Pflegemittel. Ein Großteil dieser Mikroverunreinigungen kommt neben den Haushaltsabwässern aus der Industrie, dem Gewerbe und durch Krankenhausabwasser. Neue Forschungsbereiche gibt es auch zum Thema Mikroplastik, das vermehrt durch den Waschprozess von Textilien und durch diverse Kosmetikartikeln im häuslichen Abwasser vorkommt. (A.Schaum, 2016)

In Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 werden die Zusammensetzungen von rohem- und filtriertem Abwasser nach Pohling (2015) bzw. Benn und McAuliffe dargestellt.

Tabelle 3-1: Zusammensetzung der suspendierten organischen Bestandteile in häuslichen Abwässern (aus: Benn und McAuliffe)

Bestandteile	Konzentration in mg/l	% Gehalt über den Gesamtkohlenstoff
Fette	140	50
Proteine	42	10
Kohlenhydrate	34	6,4
Anionische Tenside	5,9	1,8
Aminozucker	1,7	0,3
Amide	2,7	0,6
Gelöste Säuren	12,5	2,3
Nicht unterscheidbare Substanzen	60	28,6
Organischer Kohlenstoff	211 ^a	100

^a Der organische Kohlenstoffanteil von 211 mg/l entspricht der Summe von 298,8 mg/l der aufgelisteten organischen Substanzen

Tabelle 3-2: Zusammensetzung der gelösten organischen Bestandteile in häuslichen Abwässern (aus: Benn und McAuliffe)

Bestandteile	Konzentration mg/l	%-Gehalt über den Gesamtkohlenstoff
Zucker	70	31,3
Nichtflüchtige Säuren	34	15,2
Flüchtige Säuren	25	11,3
Freie Aminosäuren	5	3,1
Proteine	13	7,6
Anionische Tenside	17	11,2
Harnsäure	1	0,5
Phenole	0,2	0,2
Kreatin-Kreatinin	6	3,9
Nicht unterscheidbare Substanzen	–	15,7
Organischer Kohlenstoff	90 ^a	100

^a Der Gehalt an organischem Kohlenstoff entspricht der Summe von 171,2 mg/l der aufgelisteten Substanzen. Der größte Teil des Stickstoffs in häuslichen Abwässern stammt aus dem menschlichen Urin in Form von Harnstoff $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$. In Abwasserrohrleitungssystemen und in folgenden Abwasseraufbereitungsanlagen hydrolysiert der Harnstoff langsam zu Ammoniumcarbonat unter katalytischer Mitwirkung des Enzyms Urease

Tabelle 3-3 zeigt eine Zusammenstellung der CSB-Quellen in einer nach M.C. Almeida (1999) entwickelten Darstellung über Abwässer aus Haushaltsbereichen. Die Ermittlung der CSB-Anteile (COD_t) der Abflüsse von Haushalts- bzw. Sanitärinstallationen und Haushaltsgeräten basiert auf Umfragedaten über den Gebrauch von Haushaltsgeräten mit zusätzlichen Messungen der durchschnittlichen Belastungen und Durchflussmenge des einzelnen Geräts nach Butler und

Graham (1995). Die dokumentierten Daten in der Abbildung bestehen aus den Aufzeichnungen der Häufigkeit und Dauer der Nutzung sowie den Messungen des Durchflussvolumens der Installationen. Die dokumentierten Abflüsse der Haushaltseinrichtungen sind bath (Badezimmerabfluss), wash basin (Waschbecken), shower (Dusche), kitchen sink (Küchenabwaschbecken), washing machine (Waschmaschine). (M.C. Almeida et al., 1999)

Tabelle 3-3: Durchschnittlicher Verbrauch (L) und Verschmutzungskonzentration (g/m³) unterschiedlicher Haushaltgeräte (M.C. Almeida et al., 1999)

Appliance	Bath	Wash basin	Shower	Kitchen sink	Washing machine
Volume	61.4 (32–95) ^a	1.8 (7.9)	42.3 (32–95)	11.6 (13–27)	95.2 (28–151)
COD _t	210 (280–300)	298 (380–400)	501 (280–300)	1079 (1380–1400)	1815 (700–725)
COD _d	184 (–)	221 (–)	221 (–)	644 (–)	1164 (–)
NH ₃ –N	1.1 (1.3–2.0)	0.3 (1.15)	1.2 (1.3–2.0)	0.3 (5.4–6.0)	2.0 (2–11)
NO ₃ –N	4.2 (0.3–0.4)	6.0 (0.3)	6.3 (0.3–0.4)	5.8 (0.3–0.6)	2.0 (0.4–1.3)
PO ₄ –P	5.3 (1–2)	13.3 (49–50)	19.2 (1–2)	26.0 (10–74)	21.0 (23–200)
TSS	54 (119–120)	181 (–)	200 (119–120)	235 (222–720)	165 (120–195)
VSS	9 (24–85)	72 (–)	153 (24–85)	196 (188–670)	97 (108–155)

Die „washing machine“ und „kitchen sink“ Abwässer haben einen erhöhten CSB, da größere Anteile an organischem verschmutztem Wasser vorhanden sind. Besonders beim Reinigungsprozess in einer Waschmaschine („washing machine“) ist mit erhöhten Verschmutzungen zu rechnen. Bei der Betrachtung der Tabelle 3-3 sind die CSB Mengenangaben (COD_t) immer zusammen mit dem Volumen zu betrachten.

Zusammengefasst bestehen häusliche Abwässer, die organische und anorganische Bestandteile enthalten, zu einem Großteil aus Küchen-, Toiletten-, Waschmaschinen und Spülmaschinenabwasser. Die Zusammensetzung der anorganischen mineralischen Anteile des häuslichen Abwassers unterscheiden sich nur sehr gering von den Anteilen der häuslichen Trinkwasserversorgung. (Pohling, 2015)

Häusliches Schmutzwasser ist weniger stark verschmutzt als industriell verschmutztes Abwasser und ein Großteil der Verunreinigung besteht aus organischen Kohlenstoffverbindungen, die in der biologischen Reinigungsstufe der Kläranlagen gut abgebaut werden können. Säuren und Mikroschadstoffe von Kosmetikartikeln und Textilstoffen sind die derzeitigen Problemstoffe in diesen Abwässern. In Tabelle 3-4 (Siehe Seite 20) sind relative Anteile der CSB-Fraktionen aus literarischen Daten gesammelt worden.

3.2.2 Abwasserbeschaffenheit von Industrie bzw. Gewerbe Abwässern

Viele Industrieanlagen verursachen infolge diverser Herstellungsprozesse erhebliche Abwasserverunreinigungen und leisten daher einen großen Beitrag zur Verunreinigung von Wasser und Abwasser. Viele Industriebetriebe betreiben jedoch eigene Vorreinigung und belasten damit die öffentliche Abwasserreinigungsanlagen nicht so stark. Üblich kann auch eine Vorklärung der Industrieabwässer sein, bevor sie in das öffentliche Abwasserreinigungsnetz eingeleitet werden. Auch durch ständige Weiterentwicklungen in der Verfahrenstechnik bei Industrieprozessen konnte die Schmutzstoffbelastung von Abwässern in den letzten Jahrzehnten stark reduziert werden. Industrieabwässer haben dennoch einen großen Einfluss auf die Mengen und die Beschaffenheit der Abwässer.

Literaturdokumentationen über protokollierte Daten von analytisch bestimmten CSB-Fraktionen unterschiedlicher Industrieabwässer sind selten vorhanden. Es gibt wenige Aufzeichnungen über im Labor bestimmte CSB-Fraktionen von Lebensmittel-, Gerberei- und Molkerei-Betrieben, sowie der Papier-, Textil- und Ölindustrie. Häufiger sind entnommene Abwasserproben von Schmutzwasserabläufen großer Industrieparks unterschiedlicher Industriezweige. Durch die große Anzahl verschiedener Industrien und den unterschiedlichen Produktionsprozessen ist anzunehmen, dass sich für jeden Industriezweig unterschiedliche Verteilungen der CSB-Fraktionen ergeben. Eine genaue Untersuchung bzw. Recherche über die Anteile der einzelnen CSB-Fraktionen von Industrieabwässern würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

Die CSB-Fraktionierung nach der physikalisch-chemischen Methode STOWA wurde bei einer gemeinsamen Abwasserleitung von 160 Industrieanlagen nördlich von Mexico City in der Arbeit von Fall (2012) durchgeführt. Es handelt sich um einen großen Industriepark mit unterschiedlichen Herstellern aus der Lebensmittel-, Chemie-, Pharmazie-, Textil- und Automobilindustrie. Bei dem untersuchten Abwasserzufluss zur Kläranlage WWTP „Reciclagua“ (400L/s) handelt es sich um vorgereinigte Abwässer der einzelnen Industriebetriebe. (Fall et al., 2012)

Der mittlere CSB-Gehalt beträgt 2 595 mg/L und der mittlere BSB-Gehalt beträgt 568 mg/L. Das hohe CSB/BSB₅-Verhältnis von 4,6 deutet auf einen niedrigen biologisch abbaubaren Anteil des Abwassers hin. Die schlussendliche modifizierte CSB-Fraktionierung ergibt drei Hauptkomponenten mit den Anteilen: 39 % Si, 37 % Sh und 23 % Xi. Der biologisch schnell abbaubare Anteil Ss war kaum messbar, da dieser Anteil schon in den Vorreinigungen der Industrieabwässer abgebaut wurde. Die biologisch langsam abbaubare Fraktion Sh kam hauptsächlich gelöst mit einem sehr geringen partikulären Anteil (Xs) vor. Der kritische Anteil der Komponenten ist der gelöst inerte Anteil Si mit 1 000 mg/L und einem Anteil von 39 % (siehe Abbildung 3-2). (Fall et al., 2012)

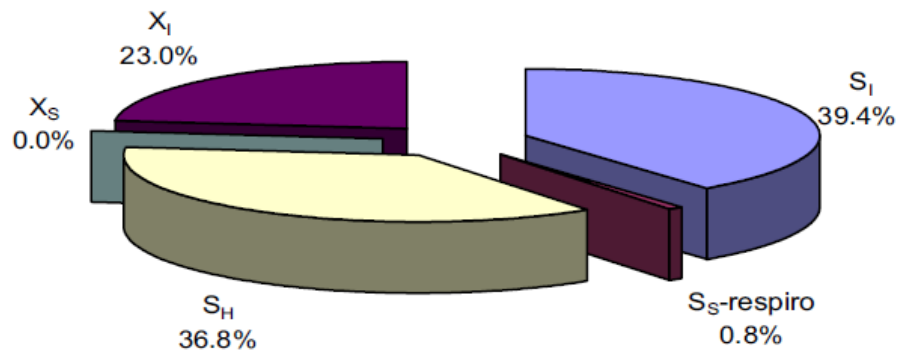


Abbildung 3-2: CSB-Fractionen der Industrie-Kläranlage („Reciclagua“) von der Fallstudie von (Fall et al., 2012)

Tabelle 3-4 zeigt literarische Daten von gesammelten CSB-Fractionen unterschiedlicher Abwässer nach Płuciennik-Koropczuk & Myszograj (2019). Zum einen werden die CSB-Fractionen vom kommunalen Abwasser, ohne den Einfluss von Industrieabwässern, dargestellt und zum anderen gibt es eine Auflistung beeinflusster Abwässer durch unterschiedliche Industrieabwässer.

Tabelle 3-4: CSB-Fractionen von kommunalen Abwasser und kommunalen Abwasser mit Industrie Abwasser (Płuciennik-Koropczuk & Myszograj, 2019)

		COD fractions, %		
S_S	S_I	X_S	X_I	
Municipal wastewater				
10–20	7–11	53–60	7–15	Kappeler, Gujer, 1992 [19]
9.0	4.0	77.0	10.0	Sozen, 1998 [22]
50.0–61.7	2.2–6.0	22.0–34.4	8.0–16.2	Płuciennik-Koropczuk, Myszograj, 2017 [23]
20–25	8–10	60–65	5–7	Ekama, 1986 [15]
24–32	8–11	43–49	11–20	Henze, 2002 [17]
Municipal wastewater with a significant share of industrial wastewater				
Textile industry wastewater				
25.0	14.0	59.0	2.0	Baban et al. 2004 [24]
Dairy industry wastewater (10%)				
38.8	2.3	45.5	14.8	Struk-Sokołowska, 2015 [25]
Baking industry wastewater (10%)				
38.8	1.0	44.2	15.2	Struk-Sokołowska, 2017 [26]
Oil processing wastewater				
29.2	9.9	37.4	23.5	Chiavola 2014 [27]
Paper industry wastewater (25%)				
4.2	39.5	43.1	13.2	Choi 2017 [14]

Zu erkennen ist, dass bei der Papiererzeugung (paper industry wastewater) ein großer Anteil an gelöst inerten (S_I) Bestandteilen im Abwasser analytisch bestimmt worden ist. Auch die Textilindustrie erzeugt größere Anteile an gelösten biologisch nicht abbaubaren Stoffen (S_I). Ein hoher Anteil an partikulär inerten

(Xi) Anteilen ist auch durch den Einfluss von Ölaufbereitungsanlagen (oil processing wastewater) im Abwasser zu erkennen.

Höhere Anteile der CSB-Fraktion Ss sind bei Industrie- bzw. Gewerbeabwässern von Bäckerei- und Molkerei-Betrieben zu verbuchen. Die dominierenden CSB-Fraktionen in Bäckerei Rohabwässern sind die biologisch abbaubaren Ss und Xs Fraktionen mit einem ungefähren Anteil von 83 % am CSB_{ges} des Abwassers. Bäckereiabwässer aus kleinen bis mittlere Betriebsgrößen können durch ihren hohen Anteil an biologisch schnell abbaubaren CSB-Fraktion Ss von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen gut behandelt werden. (Struk-Sokolowska & Tkaczuk, 2018)

Hier anzuführen ist auch die Abwasserbeschaffenheit von Brauereien, da sie zum Beispiel für das Grazer Abwasser durch die Einleitung einer großen Brauerei eine wichtige Rolle spielen. Literatur zu CSB-Fraktionen in Brauereiabwasser ist nicht existent. Mit dem Wissen, dass Brauabwasser in das Kanalnetz eingeleitet wird und das Abwasser größere Mengen an biologisch schnell abbaubaren Anteilen enthält, könnte man die Annahme treffen, dass Brauabwasser eine ähnliche CSB-Fraktionierung wie das Abwasser von Bäckerei- und Molkereibetrieben hat.

In Tabelle 3-5 sind charakteristische Abwassermessdaten zu Brauereiabwässern angegeben. Das CSB/BSB₅ Verhältnis von 1,67 deutet auf einen hohen Anteil biologisch schnell abbaubarer organischer Verbindungen hin.

Tabelle 3-5: Charakteristische Abwassereigenschaften von Brauereiabwasser (S. Simate et al., 2010)

Parameter	Value
pH	3–12
Temperature (°C)	18–40
COD (mg L ⁻¹)	2000–6000
BOD (mg L ⁻¹)	1200–3600
COD:BOD ratio	1.667
VFA (mg L ⁻¹)	1000–2500
Phosphates as PO ₄ (mg L ⁻¹)	10–50
TKN (mg L ⁻¹)	25–80
TS (mg L ⁻¹)	5100–8750
TSS (mg L ⁻¹)	2901–3000
TDS (mg L ⁻¹)	2020–5940

Anzumerken ist, dass in der Abwassermatrix von Industrieabwässern erhöhte Anteile der partikulären und gelösten inert abbaubaren CSB-Fraktionen vorkommen. Der hohe Anteil an gelösten inerten Stoffen deutet auf anorganische sowie biologisch nicht abbaubare Stoffe hin. Es könnten auch jene Stofffraktionen interpretiert werden, die einem langen biologisch Abbauprozess unterliegen und während der Aufenthaltszeit in der Kläranlage nicht abgebaut werden können. Gewisse Abwassermatrizen von Industriebetrieben können aber auch positive Effekte für die kommunalen Abwasseranlagen bewirken, wie zum Beispiel jene

einer Brauerei oder Bäckerei. Durch die erhöhte Einleitung biologisch leicht abbaubar Stofffrachten können sich, die in der Kläranlage lebenden, Organismen gut vermehren. (Siehe Kapitel 3.5.1.7)

3.3 Abwasserbeschaffenheit von kommunalem Abwasser im Mischwasserfall

Bei einem Mischwasserkanalsystem wird bei Regenwetter auch Niederschlagswasser durch den Kanal abgeführt. Die nicht versickernden Regenmengen werden auf den versiegelten Flächen im urbanen Siedlungsbereich gesammelt und über Kanalstränge und Speicherbauwerke direkt zur Kläranlage befördert oder an Mischwasserbauwerken direkt ins Gewässer abgeschlagen. Es kommt zu einer Vermischung des kommunalen Abwassers mit Niederschlagswasser, was zu einer Verdünnung des Schmutzwassers führt. Mit der Veränderung der kommunalen Abwassermatrix durch die Vermischung mit Niederschlagswasser kann es zu Änderungen der CSB-Fraktionen kommen. Die Änderungen sind von mehreren Faktoren abhängig, die durch Regenwetter beeinflusst werden. Zu diesem Thema findet man in der marginal vorhandenen Literatur Aufzeichnungen zu CSB-Fraktionierungen infolge von Trocken- und Niederschlagsereignissen.

Eine Variabilität der CSB-Fraktionierung hinsichtlich von Trocken- und Regenwetter beeinflusst die biologische Reinigungseffizienz einer Kläranlage. Die Entfernung von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen hängt von den Anteilen der CSB-Fraktionen ab und durch eine genaue Bestimmung der Variabilität der CSB-Fraktionen kann die Wirkung des biologischen Behandlungsprozesses richtig eingeschätzt werden. Kenntnisse über die einzelnen Komponenten der CSB-Fraktionen, vor allem der gelösten schnell abbaubaren CSB-Fraktion S_s, sind hilfreich für die Abschätzung der Nitrifikation und Denitrifikation. (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)

3.3.1 Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall - Fallstudie M. Zawilski & A. Brzezińska (2008)

M. Zawilski & A. Brzezińska (2008) untersuchen die Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserzufluss der Kläranlage im polnischen Lodz, welche für einen Trockenwetterzufluss von 180 000 m³/d ausgelegt ist. Es gibt eine Einteilung der Wetterereignisse in vier Gruppen: Trockenwetter, die Übergruppe Nasswetter mit den Unterteilungen: Regen-, Sturm- und Schmelzwasser. Die CSB-Fraktionierung erfolgt nach dem ASM1 Modell. Bei den Messungen an Trockenwettertagen wurden alle zwei Stunden Proben aus dem Abwasserzufluss entnommen. Diese sind mit Daten aus der Literatur auf Plausibilität positiv überprüft worden. Für die Nasswetterproben wurden zeitgleich mit dem Anstieg des Zuflusses zur Kläranlage innerhalb von 24 Stunden, alle ein bis zwei Stunden Proben entnommen. Für jedes Wetterereignis wurde ein Event gemessen. (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)

Sehr deutlich ist ein Anstieg der gelöst inerten CSB-Fraktionen S_i und der schwer abbaubaren Fraktion X_i bei Nasswetter zu erkennen. Es wird eine erhöhte Abschwemmung biologisch nicht abbaubarer Stoffe von den urbanen Oberflächen vermutet. Bei Sturmwetter nimmt der Anteil, der biologisch leicht abbaubaren gelösten CSB-Fraktion S_s ab und ein Anstieg der inerten Anteile ist bemerkbar. Wiederum lässt sich dies durch eine Abschwemmung der urbanen Oberflächen aufgrund der im Sturmwetter sehr starken Regenintensität erklären. Auch mitverantwortlich für einen Anstieg der inerten CSB-Fraktion kann die Abschwemmung von bereits ausgefaulten abgelagerten Stofffrachten auf der Kanalsohle sein (Siehe Tabelle 3-6).

Die Untersuchung der CSB-Fraktionen im Schmelzwasserfall zeigt einen deutlichen Anstieg der partikulär inerten Stoffe. Dies erklärt man sich mit einer sehr großen Ansammlung von Partikeln in den Schneemassen, welche beim Schmelzen freigesetzt werden und im Abfluss zur Kläranlage landen. (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)

Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass die Unterarten der Nasswetterereignisse unterschiedliche Einflüsse auf die CSB-Fraktionierung haben. In allen drei Nasswetterfällen (Regen, Sturm und Schmelzwasser) ist ein Anstieg der inerten Stoffe und eine Abnahme der biologisch schnell abbaubaren CSB-Fraktion S_s zu erkennen. (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)

Ein Nachteil dieser Studie ist, dass die durchgeführten Messungen nicht durch mehrere Messungen der unterschiedlichen Wettersituationen durchgeführt worden sind.

Tabelle 3-6: CSB-Fraktionen der Fallstudie (M. Zawilski & A. Brzezińska, 2008)

Wetterereignis		CSB Fraktionierung nach ASM1			
		S_s [%]	S_i [%]	X_s [%]	X_i [%]
Trocken		22	5,5	56	16,5
Nasswetter	Regen	21,3	5,8	49,5	23,3
	Sturm	14	7	47,6	31,2
	Schmelzwasser	21,1	8	26,6	44,3

3.3.2 Variabilität der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall - Fallstudie Zhou et al. (2008)

In Schanghai (China) beschäftigte man sich mit dem Einfluss auf die CSB-Fraktionierung eines Mischwasserzuflusses zur Kläranlage „Bailonggang“ infolge eines extremen Wetterereignisses. Es handelt sich dabei um den Taifun „Wipha“, der mit einer Regenintensität von 47,7 – 172,7 mm innerhalb von zwei Tagen wütete. Das Mischwasserkanalsystem bringt Abwasser aus umliegenden Wohngebieten sowie angrenzender Industrien zur Kläranlage „Bailonggang“. (Zhou et al., 2008)

Für die analytische Bestimmung der einzelnen CSB-Fraktionen und der kinetischen Parameter wurden vier Batch Tests durchgeführt und mit numerischen Berechnungen nach den Grundlagen des Activated Sludge Modells (ASM) berechnet. Die Messungen der CSB-Fraktionierung zum Zeitpunkt des Taifuns „Wipa“ variieren sehr stark im Vergleich zu den Messungen von Trockenwetterbedingungen. Es wird vermutet, dass der erhöhte Anteil des inert gelösten S_i sowie S_H auf „overflows“ der Industrieabwässer angesichts der starken Niederschlagsereignisse zurückzuführen ist. In Abbildung 3-4 sind die Fraktionsanteile und Zuflussmengen zum Zeitpunkt des Taifuns zu sehen. Aus Abbildung 3-3 und Tabelle 3-7 sind die CSB-Fraktionen bei Trockenwetter zu entnehmen. (Zhou et al., 2008)

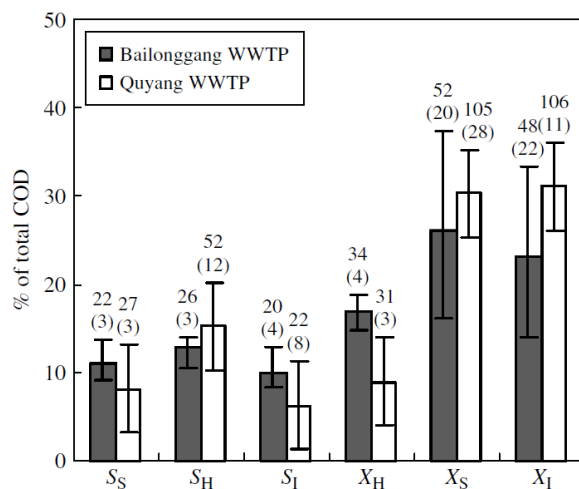


Abbildung 3-3: Durchschnittliche CSB-Fraktionen der zwei Mischwasserzuläufe bei Trockenwetter (Zhou et al., 2008)

Tabelle 3-7: Vergleich von CSB-Fraktion bei Trockenwetter (Fallstudie Zhou) mit Literaturwerten (Zhou et al., 2008)

	COD (mg L ⁻¹)	S_S (%)	S_H (%)	S_I (%)	X_S (%)	X_I (%)	X_H (%)	Reference
Quyang	300 ~ 396	6.9 ~ 10.3	11.8 ~ 17.5	3.6 ~ 8.4	23.9 ~ 37.0	28.3 ~ 32.8	7.7 ~ 10.2	This paper
Bailonggang	176 ~ 220	9.0 ~ 13.8	10.5 ~ 14.0	8.4 ~ 12.8	16.1 ~ 37.3	13.9 ~ 33.4	14.7 ~ 18.9	This paper
Denmark	400	27	–	15	40*	17	8	Henze ⁹
Switzerland	250 ~ 430	7 ~ 11	–	12 ~ 20	53 ~ 60*	8 ~ 10	7 ~ 15	Kappeler and Gujer ¹⁰
Sweden	183	10	17	15	33	17	8	Xu and Hultman ¹¹
Turkey	520	5.8	13.5	5.8	21.4	17.3	18	Okutman <i>et al.</i> ¹²
France	502 ~ 697	0.4 ~ 6.6	11.7 ~ 22.7	0.6 ~ 6.2	7.2 ~ 32.4	29.1 ~ 57.1	6.4 ~ 16.7	Ginestet <i>et al.</i> ¹³

* The fraction of total hydrolysable COD (namely, $S_H + X_S$).

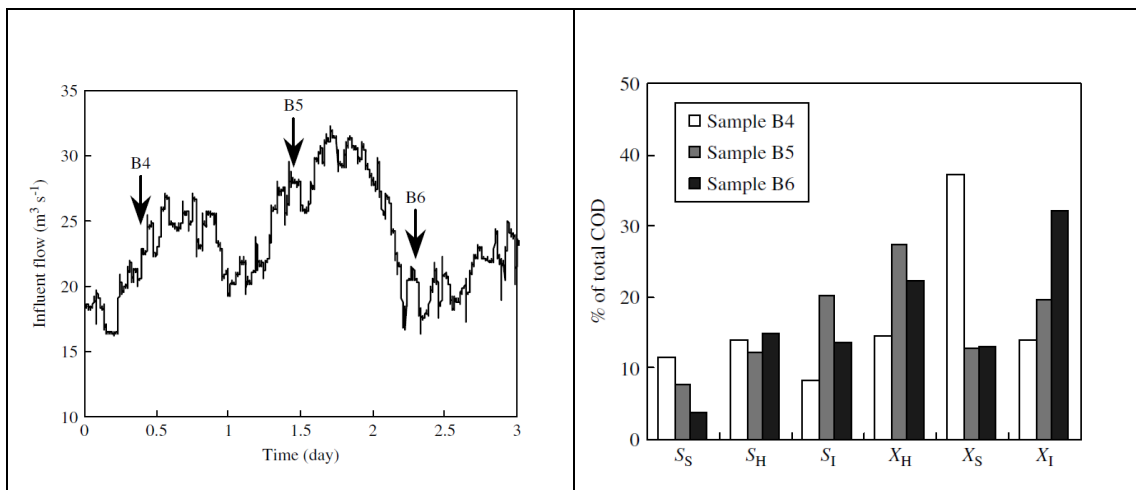


Abbildung 3-4: Zufluss zur Kläranlage „Bailonggang“ während des Taifuns und die analytisch bestimmten CSB-Fractionen von drei Abwasserproben unterschiedlicher Zeitpunkte (Zhou et al., 2008)

3.4 Einfluss der urbanen Oberflächenabflüsse auf die Abwasserbeschaffenheit im Mischwasserfall

Anhand der zuvor angeführten Fallstudien ist zu erkennen, dass es eine Änderung der CSB-Fractionen im Mischwasserfall gibt. In diesem Kapitel soll vertiefend darauf eingegangen werden.

In ländlichen Bereichen haben vor allem die Landnutzung, die Versiegelung und die Schmutzstofferzeuger einen großen Einfluss auf die Abwässer und Fließgewässer. Ein erhöhtes Risiko von Schmutzfrachteinträgen in den ökologischen Wasserkreislauf besteht durch die Versickerung der verschmutzten Abwässer und den Oberflächenabfluss in Gewässer infolge von Erosion durch landwirtschaftliche Nutzung.

Im urbanen Raum herrschen andere Umgebungsbedingungen als in den ländlichen Strukturen. Angesichts der höheren Bebauungsdichte in urbanen Gebieten steigt die Anzahl an lebenden und arbeitenden Menschen und somit auch die Belastung der Abwässer. Mitverantwortlich für die Wasserverschmutzung können auch eine Zunahme von Gewerbe- und Industrieunternehmen sowie ein genereller Anstieg an lokalen Aktivitäten sein. In urbanen Gebieten steigt auch die Anzahl abgelagerter Schmutzstoffe auf versiegelten Oberflächen, die durch emittierende Stoffe aus dem Straßenverkehr, auf Fassaden, Dächern und bei sonstigen anthropogenen Aktivitäten, wie zum Beispiel bei Staubbildungen in Folge von Baustellenprozessen, erzeugt werden. Hinzu kommt, dass in städtischen Ballungszentren oft Mischwasserkanalsysteme zu finden sind, in die auch Regenwasser, verschmutzt durch die Aufnahme von Schmutzschadstoffen bei der Abschwemmung von Oberflächen und der nassen Deposition aus der Atmosphäre, in das Abwassersystem gelangt. Ein großer Anteil des Niederschlagswassers versickert aber auch über Grünflächen und Sickerschächte.

Dieses Kapitel befasst sich unter anderem mit dem Einfluss der verschmutzten Oberflächenabflüsse auf die Abwasserbeschaffenheit.

Die Hauptbestandteile der Verschmutzung von Oberflächenabflüssen sind Sedimente, organische Stoffverbindungen, Bakterien, Schwermetalle, Pestizide und Nährstoffe. (Gastaldini & Silva, 2013)

3.4.1 Einfluss der Luftverschmutzung und Deposition von Schadstoffen

In erster Linie ist die Art und Weise des Zustandekommens von Verschmutzung auf urbanen Oberflächen zu klären. Gelöste oder partikulär gebundene Stoffe werden durch trockene oder nasse Deposition aus der Atmosphäre entnommen und lagern sich auf Oberflächen ab. Trockendeposition beschreibt die Stoffe, die sich während Trockenperioden auf den Oberflächen ablagern und sich je nach Partikelgröße verbreiten. Unter dem Begriff „nasse Deposition“ versteht man den Stoffaustrag aus der Atmosphäre bei Niederschlagsereignissen. (Clara et al., 2014)

Die Ursachen für Luftverschmutzung und auch die Aufnahme von Schadstoffpartikeln in die Luftmassen sind von vielen Einflussfaktoren abhängig. Die Verbreitung der verschmutzten Luftmassen in der Atmosphäre hängt wiederum von komplexen Naturprozessen ab. Emittierende Luftschadstoffe kommen aus Industrieabgasen, Wärmegewinnungsprozessen fossiler Energieträger, Autoabgasen, Reifenabrieb und aus vielen anderen Abgasquellen. Genauere Erläuterungen zu verschmutzten Oberflächenabflüssen infolge von Verkehrsbelastungen erfolgen im Kapitel 3.4.2 „Einfluss verkehrsbelasteter Oberflächenabflüsse“.

Emittierende Luftschadstoffe der Industrien können wegen ungünstiger Witterungsverhältnisse, im Zuge der Bewegung von Luftströmungen, über weite Strecken transportiert werden. Für den Gehalt von Schwermetallen gilt zum Beispiel, dass er mit abnehmender Staubteilchengröße zunimmt und daher in höhere Luftschichten transportiert und großflächiger verteilt werden kann. Bei lokalen Entladungen gesättigter Luftmassen in Form von Niederschlagsereignissen kann es zur nassen Deposition in urbanen Stadtgebieten, weit entfernt von der Schwermetallquelle, kommen. Durch diese erhöhte Schmutzstoffbelastung der Luftmassen gelangen jene Stoffe indirekt über Oberflächenabflüsse in den Wasserkreislauf. (Harres, 1998)

Somit kann sich bei erhöhter Luftverschmutzung eine größere Anzahl an Stoffen auf Oberflächen ablagern und auch bei Niederschlagsereignissen eine größere Anzahl an Schadstoffen aus der Luft gelöst werden. Zusätzlich erfolgt eine Abschwemmung der deponierten Partikelstoffe von Oberflächen durch Niederschläge, welche somit in das Abwassernetz gelangen. Im Stadtgebiet herrscht meistens ein großer Versiegelungsgrad, wodurch viele Ablagerungsmöglichkeiten für diverse Stoffpartikel existieren. Ablagerungsflächen im urbanen Stadtbe-

reich können alle erdenklichen Flächen wie Straßen, Parkplätze, Fuß und Radwege, Gebäudefassaden, Dächer und viele andere Flächen sein. Auch die täglichen Straßen- und Platzreinigungen im Zuge der örtlichen Straßendienstreinigungen, trägt bei der Abschwemmung der deponierten Stoffe bei.

Bei der Qualitätsuntersuchung von Mischwasserabflüssen eines urbanen Einzugsgebietes konnten höhere Verschmutzungsmengen nach längeren Trockenperioden gemessen werden. Im Verlauf einer Trockenperiode können sich Schadstoffe aus der Luft auf den Oberflächen ablagern und bei Niederschlagsereignissen kommt es zu erhöht verschmutzten Oberflächenabflüssen. (Ma et al., 2010)

3.4.2 Einfluss verkehrsbelasteter Oberflächenabflüsse

Einige Forschungsarbeiten befassen sich mit der Auswirkung von Niederschlagsabflüssen von befestigten bzw. verkehrsbelasteten Oberflächen auf das Abwasser. Manche Studien zielen darauf ab Schadstoffe zu quantifizieren, die mit Sedimenten unterschiedlicher Größe auf undurchlässigen Oberflächen auftreten. Forscher haben entdeckt, dass die Menge der verschiedenen Schadstoffe mit der Sedimentgröße verbunden ist. (Gastaldini & Silva, 2013)

Interessant sind Studien über stark verkehrsbelastete Autostraßen und die Anbringung von Gewässerschutzanlagen. Im urbanen Raum sind große Verkehrsbelastungen vorhanden, die den Eintrag von Schmutzstoffen im Mischwasserfall beeinflussen. Aufgrund der Fragestellung des Einflusses verkehrsbelasteter Oberflächenabflüsse auf den Mischwasserfall haben die nachstehenden genannten Erkenntnisse aus Oberflächenabflussproben hier eine größere Bedeutung.

In Straßenabflüssen sind durch die Abschwemmung der verschmutzten Oberflächen Sedimentpartikel bzw. deponierte Partikel in unterschiedlichen Größen vorhanden. Sedimente sind keine Hauptverursacher der Wasserverschmutzung, aber sie fungieren als Transport- und Befestigungsträger für diverse Schadstoffe. Untersuchte Sedimentgrößen bzw. Partikel werden üblicherweise in die Größenordnungen von kleiner 63 µm, 63 µm- 250 µm, 250 µm- 500 µm und größer 500 µm unterteilt. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Adhäsion der Schadstoffe mit den unterschiedlichen Korngrößen und Kornstrukturen der Sedimente. Für Sedimentgrößen kleiner 500 µm sind ein höherer CSB und höhere Phosphat-Konzentrationen zu erwarten. Größere Konzentrationen von Ammonium, Nitrat, Zink und Blei gibt es bei den Sedimentgrößen zwischen 63 µm und 250 µm. Bei Partikelgrößen bzw. Sedimentgrößen zwischen 11 – 150 µm sind größere Anteilswerte von partikulären Stickstoffen und Phosphaten gemessen worden. (Gastaldini & Silva, 2013)

In Abflussproben von Straßenabwässern sind höhere Schwermetallkonzentrationen an Sedimenten kleiner 63 µm nachgewiesen worden. Der Schwermetallgehalt steigt bei kleineren Korngrößen von 63 µm und generell ist eine höhere

Schadstoffbelastung an feineren Partikeln zu erkennen. In Sydney Harbour (Australien) sind erhöhte Konzentrationen von Kupfer, Blei und Zink im Abwasser gemessen worden, die durch Straßenabflüsse verursacht worden sind. Es kann auf höhere Schwermetallkonzentrationen in Straßenabflüssen durch Verkehrsmittel und andere anthropogene Aktivitäten rückgeschlossen werden. Die Herkunft der Schadstoffe verkehrsbelasteter Oberflächen ist auf den Abrieb von Reifen- und Straßenbelag, vor allem aber auch auf die Bindung der Autoabgaspartikel an Sedimentpartikel zurückzuführen. (Ma et al., 2010; Gastaldini & Silva, 2013)

Auch der Bahn bzw. Straßenbahnbetrieb hat einen großen Einfluss auf den diffusen Stoffeintrag im Mischwasser. Es kommt zu starkem Materialabrieb an Gleisen, Bremsen und Oberleitungen. Es entstehen große Metallemissionen von Eisen, Kupfer, Zink, Mangan und Chrom.

Zur Straßen- und Gleisreinigung sowie zur Reinigung von allgemeinen urbanen Nutzungsflächen werden sehr oft Herbizide, unter anderem Flumioxazin, Glyphosat und Flazasulfuron, für die Verhinderung von Bewuchs verwendet. (DWA, 2016)

Die Einteilung der Sedimente anhand ihrer Korngröße mit den dazugehörigen Schadstoffbelastungen ist ebenso interessant für die Betrachtung der Abwasserreinigung. Bei der mechanischen Reinigung des Sandfangs werden Partikel zwischen 0,1-0,2 mm bzw. 100 – 200 µm abgetrennt. Sedimentgrößen ≤ 63 µm gehen durch den Sandfang und werden im Vorklärbecken über die Absetzung des Schlammes abgesondert. Der höhere Anteil von angehafteten Schwermetallen sind Sedimentgrößen ≤ 63 µm und könnte durch eine Desorption der Schwermetalle in der Vorklärung zu einer Weiterleitung der Schwermetalle in die biologische Reinigung führen. Aufgrund des Berichts von Clara et al. (2014) kommt es zu erhöhten Anteilen von Schwermetallen im Kläranlagenabfluss (Siehe Kapitel 3.4.5).

3.4.3 Einfluss von Stoffeinträge aus Baumaterialien

Der diffuse Stoffeintrag in die Abwässer der Mischwasserkanalisation infolge von überbauten Flächen hat vor allem bei Niederschlagsereignissen eine Relevanz. Bei baulichen Strukturen handelt es sich um horizontale sowie vertikal versiegelte Flächen (Dächer, Fassaden). Bei der Verwendung der verschiedensten Materialien werden unterschiedliche Stoffe aufgrund von Verwitterung und der natürlichen Freisetzung innerhalb der gesamten Lebensdauer abgegeben. Häufige Eintragsquellen sind Baustellenabfallprodukte, Staubbildungen und Baustellenabwässer bei Bauarbeiten, Biozide in Produkten, Antifouling- und Holzschutzmittel sowie Abfallprodukte bei Gebäudereinigungen. Die nachstehende Abbildung zeigt mobilisierbare Stoffgruppen aus häufig vorkommenden Bauwerkskomponenten (Siehe Tabelle 3-8). (DWA, 2016)

Tabelle 3-8: Stoffgruppen aus häufig vorkommenden Bauwerkskomponenten (DWA, 2016)

Bauwerkskomponenten	Mobilisierbare Stoffgruppen	Ausgewählte Quellen
Dächer, Regenrinnen und Fallrohre	Biozide, Metalle, Phthalate, Durchwurzelungsschutzmittel, Flammenschutzmittel, UV-Filter, Phenole	LANGBEIN et al. 2005, HILLENBRAND et al. 2005, JUNGNICKELE et al. 2008
Fassaden	Biozide, Metalle, Emulgatoren	BURKHARDT et al. 2011, BURKHARDT et al. 2012, SCHOKNECHT et al. 2009
Hochbau allgemein	Metalle, Flammenschutzmittel, Phthalate, Kohlenwasserstoffe	ENGELSEN et al. 2012, BJÖRKLUND 2010, SCHIOPU et al. 2009
(Grund-)Wasserbau	Biozide, Antifouling, Metalle, Arsen, PAK	GÖTZ et al. 2009, HINGSTON et al. 2001, SCHMUKAT et al. 2013, TIRUTA-BARNA & SCHIOPU 2011

3.4.4 Einfluss des Spülstoßes bzw. „first flush“

Ursache des Spülstoßes bzw. „first flush“ und dessen Abschwemmungen sind die größeren Abflüsse und höheren Schleppspannungen angesichts auftretender Niederschlagsereignisse, vor allem bei Mischwasserkanalnetzen. Der Spülstoß bringt erhöhte Konzentrationsspitzen am Beginn des Abflussereignisses mit sich und nimmt nach dem ersten Abschwemmen der angesammelten Schmutzstoffe wieder rasant ab (siehe Abbildung 3-5). Nach längeren Trockenwetterperioden ist der Spülstoß deutlicher zu erkennen, da eine Ablagerung von Schmutzstoffen über einen längeren Zeitraum stattfinden konnte. Auch in den Nachtstunden, also einem abflussarmen Zeitraum, finden zum Beispiel größere Kanalablagerung statt. Idealerweise werden die abgelagerten Schmutzstoffe mit Hilfe eines Spülstoßes mit der ersten Abflussspitze direkt in die Kläranlage transportiert. Ein Eintrag der höher konzentrierten Schmutzwässer über Mischwasserüberlaufbauwerke in die Gewässer soll vermieden werden. (Dorfer, 2005; Li et al., 2007; 2012)

Ein wichtiger Einflussfaktor für die Ablagerung von Schmutz- und Feststoffen in der Kanalsohle ist die Neigung des Kanalnetzes. Geringere Neigungen tendieren zu schneller Ablagerung. (Dorfer, 2005; Li et al., 2012)

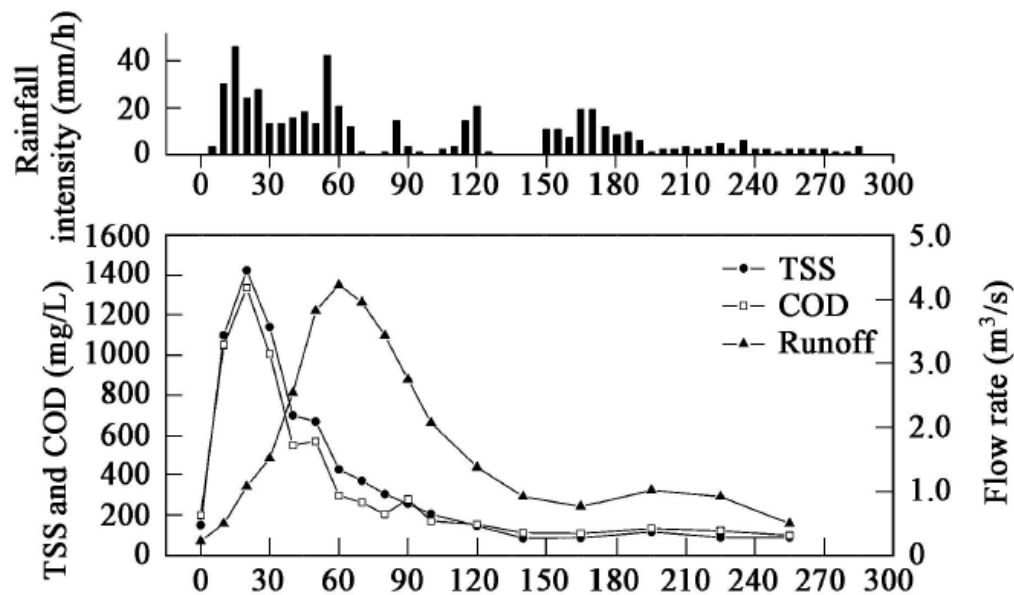


Abbildung 3-5: COD und TSS Konzentrationsspitzen zu Beginn des Abflusses angesichts eines Niederschlagsereignisses (Li et al., 2007)

3.4.5 Herkunft der biologisch nicht abbaubarer CSB-Fractionen Si und Xi speziell im Mischwasserfall

Es wird versucht gewisse Stoffgruppen den CSB-Fractionen Si und Xi zuzuteilen. In Anbetracht der Komplexität dieser Thematik wird nur auf ein paar wenige Stoffgruppen eingegangen.

Der Bericht Clara et al. (2014) befasst sich hauptsächlich mit dem Emissionseintrag in Gewässer durch Kläranlagenabläufe, Mischwasserüberläufe, Niederschlagswassereinleitungen, Straßenabläufe und diffusen Eintragspfaden wie der Deposition. Aufgrund dieser Informationen können Zusammenhänge, für die biologisch nicht abbaubaren Stoffe hergestellt werden. In der Tabelle 3-9 sind nennenswerte gemessene Spurenstoffe von den genannten Eintragspfaden aufgelistet. Es sind anorganische sowie organische Spurenstoffe in der Auflistung zu finden (siehe dazu Kapitel 2.3.9 Spurenstoffe).

Tabelle 3-9: Stoffgruppen der Spurenstoffe (Clara et al., 2014)

Stoffgruppe	Ausgewählte Stoffe
Schwermetalle	Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Quecksilber
Industriechemikalien	Nonylphenole, Nonylphenoethoxylate (NP _{1,2} EO), Nonylphenolcarboxylate (NP _{1,2} EC), Octylphenole, Bisphenol-A
Phthalate	Dimethylphthalat, Diethylphthalat, Dibutylphthalat, Butylbenzylphthalat, Bis(2-ethylbenzyl)phthalat, Dioctylphthalat, Di-iso-decylphthalat, Di-iso-nonylphthalat, Bis(2-methoxyethyl)phthalat, Dicyklohexylphthalat (DCHP), Di-iso-butylphthalat (DiBP), Di-iso-heptylphthalat, Di-iso-pentylphthalat, Di-n-pentylphthalat, Dipropylphthalat, n-Pentylisopentylphthalat
Polybromierte Diphenylether	20 verschiedene Kongenere (28, 47, 49, 66, 77, 85, 99, 100, 118, 126, 139, 153, 154, 181, 183, 196, 197, 203, 207, 209)
Organozinnverbindungen	Dibutyl-, Tributyl-, Tetrabutyl-, Diphenyl-, Triphenylzinnverbindungen
PAKs	Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Dibenzo(a,h)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren
Perfluorierte Tenside	Perfluoroktansulfonsäure (PFOS), Perfluoroktansäure (PFOA)
Hormone	17 α -Ethinylöstradiol (EE2), 17 β -Östradiol (E2), Östriol (E3), Östron (E1)
Pflanzenschutzmittel PSM	Diuron, Chloridazon, Chloridazon-desphenyl, Chloridazon-methyl-desphenyl, Carbendazim, Clothianidin, Ethofumesate, Isoproturon, Metazachlor, Metolachlor, N,N-Dimethylsulfamide, Terbutylazine, Terbutylazine-desethyl, Propazin, Terbutylazine-2-hydroxy-desethyl, Terbutylazine-2-hydroxy, Thiamethoxam
Referenzparameter	Abfiltrierbare Stoffe (AFS), CSB (roh, filtriert), TOC, N _{ges} , NH ₄ -N, NO ₃ -N, P _{ges} , PO ₄ -P, KW-Index oder Summe KW, pH und Leitfähigkeit

Die untersuchten Spurenstoffe in den Abwasserproben der unterschiedlichen Eintragspfade (siehe Tabelle 3-10) wie Metalle, Industriechemikalien. Nonylphenole und Bisphenol A sind aufgrund der höheren Konzentrationswerte hervorzuheben. Dies gilt auch für Weichmacher wie Phthalate und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, die vor allem bei Kläranlagenabläufen und Straßenablaufproben zu finden sind. (Clara et al., 2014)

Tabelle 3-10: Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden (Clara et al., 2014)

Haupteintragspfade			
Kläranlagenablauf	Niederschlagswasser aus Trennkanalisationen	Mischwasserentlastungen	Straßenabwasser
Nickel	Cadmium	Tributylzinn	Chrom
Nonylphenolmonocarboxylat	Zink	Diphenylzinn	Triphenylzinn
PFOA	Nonylphenole	Bis(2-methoxyethyl)phthalat	Dibutylzinn
PFOS	Bisphenol-A	Diisobutylphthalat (DiBP)	Di-n-octylphthalat (DOP)
Östron	Tetrabutylzinn	Östriol	Diethylphthalat (DEP)
17 β -Östradiol	Diisodecylphthalat (DiDP)		Diisoheptylphthalat
Dimethylphthalat (DMP)	Acenaphthen		Dicyklohexylphthalat
Di-n-butylphthalat (DBP)	Terbutylazine-2-hydroxy-desethyl		Diisononylphthalat
Fluoren	Terbutylazine-desethyl		Benzo(a)pyren
Diuron			Benzo(k)fluoranthren
Thiamethoxam			Dibenzo(a,h)anthracen
Chloridazon-methyl-desphenyl			Benzo(b)fluoranthren
Chloridazon-desphenyl			Fluoranthren
Terbutylazine-2-hydroxy			Benzo(a)anthracen
Carbendazim			Benzo(g,h,i)perylene
Isoproturon			Indeno(1,2,3-c,d)pyren
N,N-Dimethylsulfamide			Chrysen

Ein Großteil der gemessenen Spurenstoffe in Gewässern ist auf den Eintragspfad der Kläranlagenabläufe zurückzuführen. Bei einer Spurenstoffmessung am Auslauf einer Kläranlage sind einige anorganische und organische Spurenstoffe zu finden. Man könnte nun die Annahme treffen, dass die gemessenen organischen Spurenstoffe aufgrund sehr langsam und schwer abbaubarer biologischer Eigenschaften im biologischen Reinigungsprozess der Kläranlage nicht abgebaut werden können. Die CSB-Fraktion Si könnte daher jene Spurenstoffe quantifizieren. In Tabelle 3-10 sind Spurenstoffe, die in Kläranlagenabläufen gemessen worden sind, genannt.

Einzelne Zuordnungen von Stoffgruppen zu den CSB-Fractionen Si und Xi werden angeführt:

Phthalate gelangen durch den Abrieb und die Auswaschung von Unterbodenschutz, Planen, PVC-Böden, Dachfolien usw. in das Abwasser. In den Kläranlagen lagern sie sich im Klärschlamm ab. (Umweltbundesamt, 2007)

Man kann davon ausgehen, dass Phthalate auf Grund ihrer schwer abbaubaren Eigenschaften zur partikulär inerten CSB-Fraktion Xi verbucht werden können. Viele organische und anorganische Stoffe bzw. Spurenstoffe werden über Adsorption an den Klärschlamm gebunden.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe werden vom CSB nicht erfasst. Nur durch zusätzliche Bestimmungsmethoden können sie mit dem CSB bestimmt werden. Da sie sehr kleine Partikelgrößen aufweisen, könnte man sie in der CSB-Fraktion Si verzeichnen.

PAKs sind Luftschadstoffe, die bei einer unvollständigen Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle oder Öl entstehen. Auch über den Abrieb von Gummiprodukten (Autoreifenabrieb) gelangen PAKs in die Umgebungsluft und über die atmosphärische Ablagerung in die Gewässer. Sie sind persistent und für Mensch und Organismen toxisch. (Umweltbundesamt, 2016)

Organische Chemikalien oder Spurenstoffe sind Wirkstoffe in Medikamenten, Duftstoffen, Kosmetika, Reinigungsmitteln und Weichmacher in Plastik. Auch Industriechemikalien, Korrosionsschutzmittel, Pflanzenschutzmittel und Biozide zählen zu organischen Chemikalien. Diese zum Teil biologisch nicht abbaubaren Stoffe, können der CSB Fraktion Si und Xi zugeschrieben werden. (BSB & CSB Behandlung mit Ozon | Ozonotech; Bleckmann et al., 2016)

3.5 Situation der Stadt Graz

Das Kanalnetz in Graz besteht bis zu 70 % aus einem Mischwasserkanalsystem. Es gibt einige Überlaufbauwerke, die bei starken Niederschlagsereignissen die überschüssigen Abwassermengen in den Gewässerlauf „Mur“ entlasten. Durch den Vollausbau des ZSK (ZSK1 + ZSK2) stehen nun zusätzlich zu den 12 000 m³ des MÜBs vor der ARA Graz 94 000 m³ Speichervolumen zur Verfügung.

3.5.1 Zuflusskomponenten der Kläranlage Graz Gössendorf

Es folgt eine kurze Beschreibung der Kläranlage Graz Gössendorf und des damit verbundenen Kanalnetz der Stadt Graz. Nach dem Bericht von Meindl et al. (2017) werden fünf verschiedene Zufluss-Komponenten, die die ARA Graz beeinflussen, definiert: Einwohner, Indirekteinleiter, Umlandgemeinden, Trinkwasserverkauf, Eigenwasserversorgung, Fremdwasserzufluss. (siehe Abbildung 3-6)

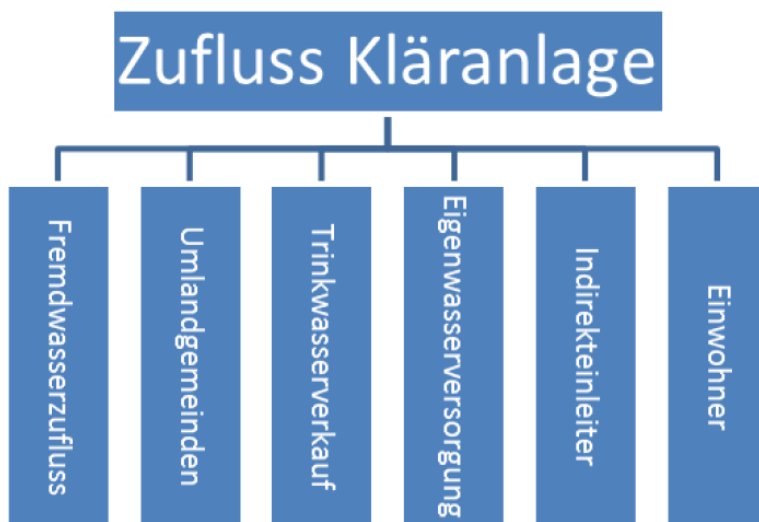


Abbildung 3-6: Zufluss-Komponenten zur Kläranlage (Meindl et al., 2017)

3.5.1.1 Einwohner

Die relevante Einwohneranzahl, welche die Kläranlage Graz Gössendorf beeinflusst, beinhaltet alle Personen, die alltägliche Funktionen im Einflussgebiet der ARA durchführen. Die Anzahl sogenannter natürlicher Einwohner belaufen sich für das Jahr 2016 auf 315 464 Einwohner. Natürliche Einwohner sind Personen mit einem Haupt- und Nebenwohnsitz sowie Personen ohne festen Wohnsitz. Hinzu kommen noch 70 000 Personen als Pendler und Studenten. Durch Touristen werden 1 733 Nächtigungen verzeichnet. Damit ergibt sich eine anwesende Bevölkerungsanzahl von 387 200 Einwohnern (siehe Tabelle 3-11). Für die Zukunft wird eine steigende Einwohnerzahl prognostiziert. Die theoretische Belastung für den CSB₁₂₀ der Einwohner im Jahr 2016 beträgt 46 464 kg/d. (Meindl et al., 2017)

Tabelle 3-11: Zusammenfassung der anwesenden Bevölkerung in Graz (Meindl et al., 2017)

Einwohner Graz	1999	2012	2013	2014	2015	2016
registrierte Einwohner	240.513	296.758	299.988	303.716	309.323	315.464
Pendler/Studenten	65.051	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Nächtigungen	k.A.	1.390	1.464	1.557	1.657	1.733
EW Summe gesamt	305.564	368.148	371.452	375.273	380.980	387.197
anwesende Bevölkerung	305.600	368.100	371.500	375.300	381.000	387.200

3.5.1.2 Indirekteinleiter

Für die Ermittlung der Frachten für Groß- und Kleinbetriebe werden Daten aus dem Indirekteinleiterkataster der Stadt Graz verwendet. Die Gesamtbelastung wird in Einwohnerwerten (EW) angegeben. Sie beinhalten Großbetriebe, Kleinbetriebe und Gewerbe. Der EW für CSB₁₂₀ für alle Betriebe beträgt 68 748 (siehe Tabelle 3-12). Für die Berechnung der Frachten von Kleinbetrieben bzw. restlichen Betrieben wird eine Ermittlung über Prozentsatz angewendet. (Meindl et al., 2017)

Die Indirekteinleiter für die Abwasserentsorgung der Stadt Graz im Jahr 2017 waren Krankenhäuser, eine Brauerei, eine Mälzerei, ein Schlachthof, Großwäschereien sowie Industriebetriebe der Metallbranche und Abfallentsorgungsbetriebe. Weitere Indirekteinleiter waren Kfz-Betriebe, Einkaufszentren, Supermärkte und gastgewerbliche Betriebsstätten. Die Abwässer beinhalten einige umwelttoxische Stoffe wie Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, chlorhaltige Desinfektionsmittel und waren fett- oder tensidhaltig. Die Abwasseremissionsverordnung definiert Abwasserinhaltsstoffe und begrenzt die zulässigen Konzentrationen. Daher haben einige Indirekteinleiter betriebliche Vorreinigungsmaßnahmen vorgeschaltet. (Rechnungshof, 2017)

Tabelle 3-12: Gesamtbelastung durch Groß- und Kleinbetriebe mit Einwohnergleichwert (Meindl et al., 2017)

Parameter	Gesamtbelastung Großbetriebe [kg/d]	Anteil restliche Betriebe [%]	restliche Betriebe [kg/d]	Gesamt Gewerbe [kg/d]	Index	EGW [Anzahl]
CSB	6.346	30%	1.904	8.250	0,12	68.748
BSB ₅	2.517	28%	705	3.222	0,06	53.696
N _{ges}	310	36%	112	422	0,011	38.327
P _{ges}	25	30%	8	33	0,0018	18.200

3.5.1.3 Eigenwasserversorgung und Trinkwasserverbrauch

Bei den Zuflusskomponenten Eigenwasserversorgung und Trinkwasserverkauf wird davon ausgegangen, dass die Wassermengen als Abwasser der Kläranlage zugeführt werden.

3.5.1.4 Umlandgemeinden

Ein Anteil der Abwassermengen kommt auch aus den Umlandgemeinden Hart, Kainbach, Laßnitzhöhe, Raaba, Stattegg, Thal und Weinitzen, welche für das Jahr 2016 eine gesamte Bevölkerung von 5 809 hatten. Prognosen deuten auch hier auf einen Bevölkerungswachstum in den nächsten 15-20 Jahre hin. Indirekteinleiter aus Industrie und Gewerbe haben keine signifikante Relevanz bei der Einleitung. Sie werden anhand prozentueller Zuschläge ermittelt. Der EW für CSB₁₂₀ der Umlandgemeinden beträgt für das Jahr 2016 27 900 kg/d. Dieser wird durch den Bevölkerungswachstum in den nächsten Jahren steigen. (Meindl et al., 2017)

3.5.1.5 Fremdwasserzufluss

Der Fremdwasserzufluss ist als Zufluss von befestigten Flächen zu verstehen. Aus dem Arbeitsblatt DWA-Arbeitsblatt 198 der ATV-DVWK (2003) geht hervor, dass pro Hektar befestigter Fläche ein Fremdwasserzufluss von 0,05-0,15 L/s * ha berechnet werden kann. Bei einer Gesamtfläche der Stadt Graz von 12 757 ha sind nach Versiegelungsberechnungen mit GIS im Jahr 2011 ca. 28,86 % versiegelte Flächen berechnet worden. Damit ergibt sich eine versiegelte Fläche von 3 659 ha. Im Mischwasserentsorgungsbereich ergeben sich ca. 48,67 % Versiegelung mit einer Fläche von 2 826 ha. Es ist auch möglich den Fremdwasseranteil über einen ermittelten Prozentsatz vom Trockenwetterzufluss zu berechnen. Für die Grazer Abwasserentsorgung wird im Bericht von Hofer et al. (2018) ein Fremdwasseranteil von 35 Prozent angenommen. Für das Jahr 2016 ergibt sich eine tägliche Fremdwassermenge von 25 372 m³/d. Hinzu kommt noch eine Spülwassereinleitung der Trinkwasserversorgungsleitungen und Schmutzwasserkanäle (Spülwasser Trinkwasser: 150 000 m³ und Spülwasser Schmutzwasser: 40 000 m³). (Meindl et al., 2017)

3.5.1.6 Zusammenfassung der Gesamtbelastung

In der Tabelle 3-13 werden laut Meindl et al. (2017) die ermittelten Werte für Abwassermenge, Frachten und Einwohner dargestellt.

Tabelle 3-13: Zusammenfassung der statistischen Daten 2016 (Meindl et al., 2017)

Parameter	Dim.	natürliche Einwohner	Gewerbebetriebe	Umlandgemeinden	Fremdwasser	ermittelte Belastung
Abwassermenge	m ³ /d	44.559	4.435	4.030	25.372	78.396
	l/s	516	51	47	294	907
BSB ₅	kg/d	23.232	3.222	1.674	-	28.128
CSB	kg/d	46.464	8.250	3.348	-	58.062
N _{ges}	kg/d	4.259	422	307	-	4.988
P _{ges}	kg/d	697	33	50	-	780
EW+EGW	EW ₆₀	387.197	53.696	27.900	-	468.793

Die hydraulische Auslastung der Anlage, nach dem wasserrechtlichen Bewilligungsbescheid aus dem Jahr 2001, ist mit einem maximalen Zufluss $Q_{\max} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ definiert. Daraus ergibt sich eine maximale Tageszuflussmenge von 276 480 m³/d. Für die Grenze zwischen Trocken- und Regenwettertage gelten zwei Kriterien für die Definition eines Trockenwettertages: Die maximale Durchflussrate zur ARA Graz muss kleiner als 1 400 L/s betragen und gleichzeitig muss die Tageszulaufmenge kleiner 80 000 m³/d sein. (Meindl et al., 2017)

Die stofflichen Bemessungsgrenzwerte sind laut Meindl et al. (2017) wie folgt festgelegt: CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) = 60 000 kg/d, BSB₅ (biochemischer Sauerstoffbedarf) = 30 000 kg/d, TKN (totaler Kjeldahlstickstoff) = 4 750 kg/d und Ges-P (Gesamt-Phosphor) = 750 kg/d. Der Ausbauwert der Kläranlage Graz Gössendorf beträgt derzeit 500 000 EW. Nach Meindl et al. (2017) gibt es im Jahr 2016 Überschreitungen des Ausbauwertes auf der Basis des CSB von 150 Tagen und auf Basis des BSB₅ von 246 Tagen.

3.5.1.7 Nennenswerte Eigenschaften des Grazer Abwassersystems

Durch das geringe CSB/BSB₅ Verhältnis zwischen 1,6 und 2,0 ist das Grazer Abwasser als biologisch leicht abbaubar anzusehen (Siehe Tabelle 2-1). Dieser Umstand erklärt sich durch den geringen Anteil an eingeleiteten Industrieabwässern und der Abwassereinleitung einer Brauerei (siehe Kapitel 3.2.2). Deutliche Unterschiede bei den CSB-Frachten bzw. -Belastungen gibt es zwischen den Sommer- und Wintermonaten. Im Sommer ist der chemische Sauerstoffbedarf des Grazer Abwassers geringer als in den Wintermonaten. Dieses Phänomen lässt sich auf eine geringere Einwohnerzahl in den Sommermonaten aufgrund der fehlenden Studierenden und der verstärkten Urlaubszeit zurückführen. In den Wintermonaten, vor allem im Dezember, werden sehr starke CSB-Belastungen

gemessen, was auf die konsumstarke Weihnachtszeit zurückzuführen sein könnte.

Ein wichtiges Merkmal eines Kanalnetzes ist das Gefälle der Abflussrohre, da die Ablagerung von Schmutzstoffen an der Kanalsohle bei geringeren Neigungen zunimmt. Das Grazer Abwassersystem hat aufgrund der topographischen Situation und dem natürlich geformten Gefälle in Richtung Mur (dem tiefsten Punkt) hohe Kanalneigungen. Damit ergeben sich kaum Ablagerungen von Schmutzstoffen an der Kanalsohle, was zu einem geringeren Schmutzstoffanteil bei einem „first flush“ im Mischwasserfall beiträgt. Auch eine Vermeidung der Gestanksbildung hinsichtlich abgelagerter Schmutzstoffe im Kanalstrang, wird durch eine kontinuierliche Abflusssituation der Kanalsohlen mit erhöhten Gefällen erzielt. (siehe auch Kapitel 3.4.4).

3.6 Zusammenfassende Betrachtung

All die im Abwasser enthaltenen Inhaltsstoffe beeinflussen den chemischen Sauerstoffbedarf CSB und die Anteile der CSB-Fraktionen. Je nach Gegebenheit werden Abwässer unterschiedlich beeinflusst und es ist nicht immer sinnvoll häusliches und industrielles Abwasser extra zu betrachten, da in Ballungszentren Industrie- und Siedlungsgebiete gemeinsam das kommunale Abwasser bilden. Viele Industrieanlagen reinigen ihre Abwässer vollständig selbst oder betreiben zumindest eine gewisse Vorreinigung der Abwässer bevor sie in das kommunale Abwassersystem einleiten. Die Abwassercharakteristik ist sehr individuell und sollte daher immer gesondert untersucht werden. Die zuvor erläuterten Zahlen zu Abwässern sollten nur als Richtwerte gelten. Länder und Regionen haben unterschiedliche Abwassercharakteristiken, da die Zusammensetzung der Verunreinigungen sehr unterschiedlich ist (siehe Kapitel 5.3.6 Internationaler Vergleich). Es gibt zum Beispiel Regionen mit erhöhter Einleitung von Industrieabwässern. Es sollte auch bedacht werden, dass Entwicklungsländer ein anderes kommunales Abwasser hervorbringen als Industrieländer, da das Alltagsverhalten der Menschen sehr unterschiedlich ist. Viele Stoffe, die wir in westlichen Industrieländern verwenden, sind in Dritte-Welt-Ländern nicht vorhanden und umgekehrt. Der Einfluss eines Mischwasserereignisses hat auch einen Einfluss auf die CSB-Fraktionen und ist vor allem in der städtischen Abwassersituation und in der Mischwasserskanalisation von großer Bedeutung.

4 Methodik

In diesem Kapitel werden die einzelnen Ablaufschritte der Masterarbeit zusammengefasst und die methodischen Vorgänge beschrieben. In Abbildung 4-1 werden die wesentlichen Schritte der Masterarbeit dargestellt.

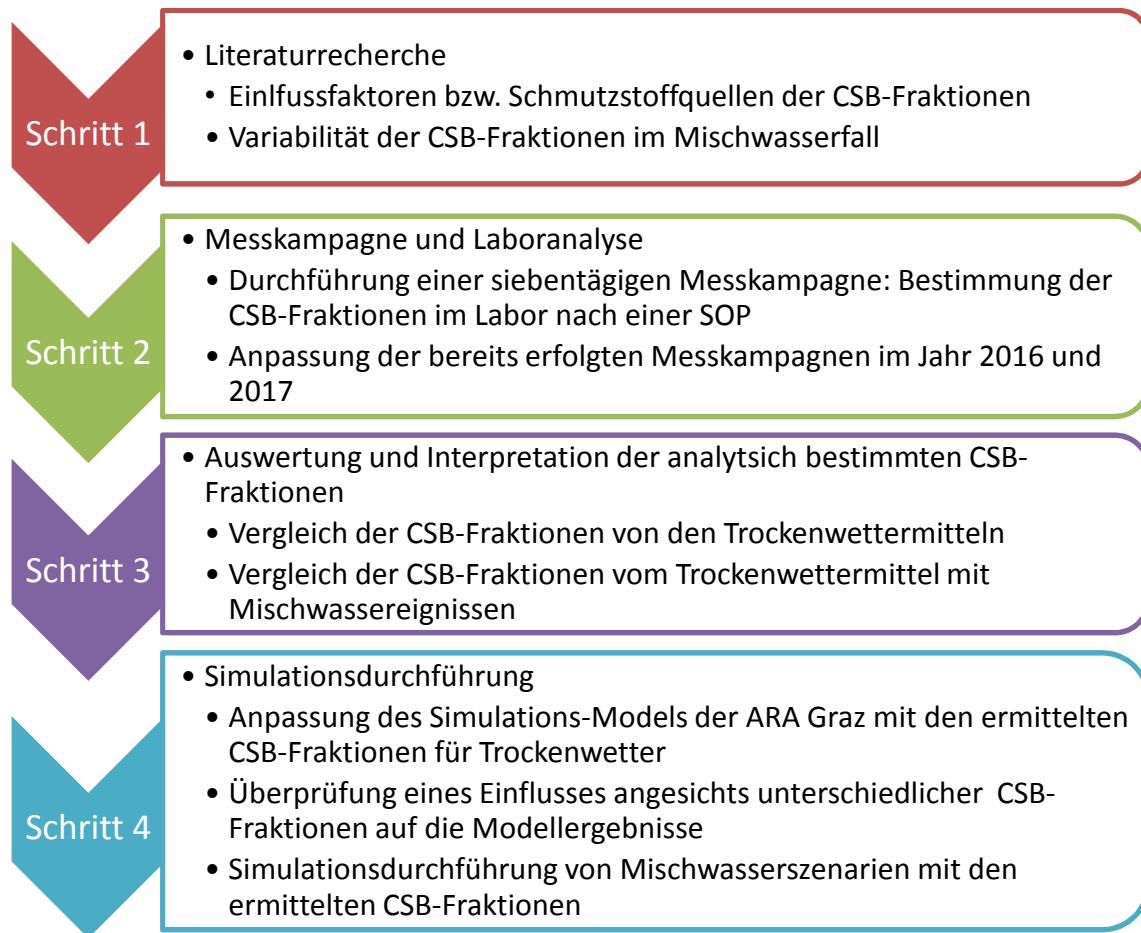


Abbildung 4-1: Ablaufschritte der Masterarbeit

4.1 Beschreibung der Messkampagne nach Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB-Fraktionierung

Die analytische Bestimmung der CSB-Fractionen wird nach der Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB-Fraktionierung, die im Zuge der Masterarbeit von Simic (2016) erstellt worden ist, durchgeführt. Diese SOP ist für eine technische Durchführung im Labor für Siedlungswasserwirtschaft anwendbar. Die SOP beinhaltet eine detaillierte Anleitung für die analytische Bestimmung der CSB-Fractionen: Ss (biologisch schnell abbaubar), Si (inert abbaubar), Xs (partikulär langsam abbaubar), Xi (partikulär nicht abbaubar).

Im Zuge dieser Masterarbeit wurde eine Überarbeitung der SOP durchgeführt, welche im Kapitel 4.1.2 näher erläutert wird. Die überarbeitete Version der SOP wird im Anhang A angeführt. Die Berechnung der analytisch bestimmten CSB-

Fractionen nach der modifizierten SOP sind im Anhang D zu finden. Die Berechnungen der CSB- Werte und BSB-Werte sind dem Anhang B und C zu entnehmen.

4.1.1 Beschreibung des Versuchsablaufes

Bei den Messmethoden, welche an den Zu- und Abflüssen der zu untersuchenden Kläranlage angewendet wurden, handelt es sich um 24 Stunden Tagesmischproben, welche im Zeitraum von 07:30 bis 07:30 Uhr des darauffolgenden Tages gemessen wurden.

Die Art der Probenahme ist sowohl diskontinuierlich als auch volumenproportional, wobei je ein konstantes Teilprobenvolumen nach einem ebenfalls konstanten vorbestimmten Abflussvolumen entnommen wird (Parametrierung des automatischen Probenahmesystems: 70 mL/550 m³).

Die reale Verweilzeit des Abwassers in der Kläranlage beträgt ca. 19 Stunden. Aus organisatorischen Gründen werden die Zu- und Ablaufproben jedoch 24 Stunden zeitversetzt entnommen. Bei der Auswertung der Proben wurde eine duale Bestimmung durchgeführt um mögliche Abweichungen und Unsicherheiten feststellen zu können.

In der Abbildung 4-2 sind die Probenahmestellen in der ARA Graz Gössendorf gekennzeichnet.

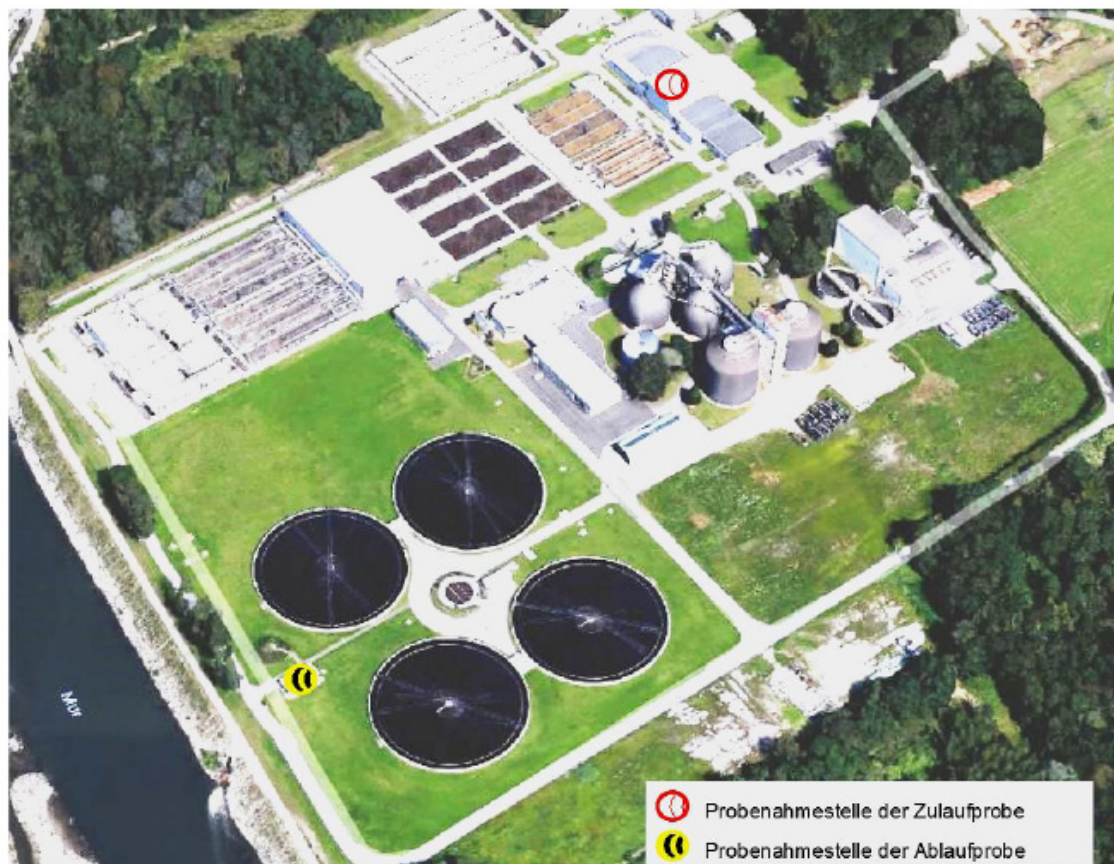


Abbildung 4-2: Luftbild der ARA Graz (Simić, 2016)

4.1.2 Überarbeitung der Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB-Fraktionierung

Bei der Überarbeitung der SOP sind folgende Punkte geändert worden:

- Durchführung von Zweifachbestimmungen anstatt von Dreifachbestimmungen aller Beprobungen
- Analytische Bestimmung des Glührückstandes (anorganischer Anteil)
- BSB₈ Bestimmung für die Berechnung des BSB_∞
- Die Ermittlung des k_{bsb} Wertes mittels Python-Code

4.1.3 Anpassung der täglichen Q_{ARA}-Zulaufmenge

Im Zuge der Messdatenauswertung im Kapitel 5 „Ergebnisse und Diskussion“, wurde eine Anpassung der Tageszuflussmengen zur Kläranlage durchgeführt. Diese Anpassung bezieht sich auf einen für den Zulauf der Kläranlage Graz entwickelten Algorithmus von Pichler (2018).

Bei den untersuchten Probenahmen handelt es sich laut SOP um 24-Stunden-Tagesmischproben. Mit der Aufsummierung der Zuflussmengen zur Kläranlage, gemessen in L/s, können die Tageszuflussmengen zur Kläranlage Q_{ARA} [m³/d] berechnet werden. Bis zum Jahresbeginn 2019 sind die Q_{ARA} -Zulaufmengen [L/s] von 00:00 bis 24:00 Uhr zu Tageszulaufmengen aufsummiert und im Betriebstagebuch festgehalten worden. Ab Jänner 2019 werden die Zulauftagessummen nun vom Zeitraum 07:30 bis 07:30 Uhr des Folgetages aufsummiert. Da die CSB-Bestimmung und die analytische Bestimmung der CSB-Fractionen auf einer diskontinuierlichen volumenproportionalen Probenahme im Zeitraum von 07:30 bis 07:30 Uhr des Folgetages basieren, sollten auch die Tageszuflussmengen für diesen Zeitraum bestimmt werden. Da die Tageszuflussmengen für die Messkampagnen im Jahr 2016 und 2017 von 00:00 bis 00:00 berechnet wurden, wurden sie im Zuge dieser Arbeit nachträglich korrigiert.

Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage treffen zu können, ist es wichtig, dass die Tageszuflussmengen zeitgleich mit den CSB-Mischproben bestimmt werden, um auch Trocken- und Regenwettertage bzw. Mischwasserfälle über die Tageszuflussmengen bestimmen zu können

4.2 Beschreibung der Datenauswertung

Es wird die Vorgehensweise der Datenauswertung ausführlich beschrieben.

4.2.1 Beschreibung der Trockenwettermittel-Ermittlung

Um Änderungen der CSB-Fractionen von Trockenwetterphasen mit Mischwasserereignissen vergleichen zu können, wird ein Trockenwettermittel generiert. Zunächst ist es notwendig Trockenwetter mithilfe von Kriterien von Regenwetter

zu unterscheiden. Dies erfolgt ausschließlich anhand des Volumens des Tageszulaufes Q_{ARA} zur Kläranlage.

Aufgrund diverser Forschungsarbeiten und Erfahrungswerte gelten Tageszuflussmengen zur Kläranlage Graz bis 80 000 m³/d als Trockenwettertage. In der Masterarbeit von Pichler (2018) „Automatisierte Quantifizierung der Schmutzfrachtdynamik des Zentralen Speicherkanals im Zulauf zur Kläranlage Graz“, sind Tagesganglinien für den Q_{ARA} -Zulauf der Kläranlage Graz Gössendorf generiert worden, die in der Tabelle 4-1 mit den minimalen, mittleren und maximalen Werten einzusehen sind.

Da die Tageszulaufmengen innerhalb einer Trockenwetterphase Arbeitstage (Werktage), Samstag oder Sonn- und Feiertage sein können, muss dies bei der Berechnung des Trockenwettermittels in Form einer Gruppierung berücksichtigt werden. Aufgrund der nicht allzu großen Datenmenge von 29 Messtagen, davon 15 Trockenwettertage, wird in dieser Arbeit zwischen den beiden Tagestypen „*Arbeitstag*“, der die Werktage beinhaltet, und „*Wochenend- und Feiertag*“, welcher die Wochenendtage, Samstag und Sonntag sowie auch die Feiertage beinhaltet, unterschieden. In Abbildung 4-3 sind die Tagesganglinien im Vergleich der einzelnen Wochentage, Samstag, Sonn- und der Feiertage dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass die Wochentage einen nahezu gleichen TW-Tagesgang haben und die Generierung des Tagestypen „*Wochenend- und Feiertag*“ wird damit bestärkt. (Pichler, 2018)

Tabelle 4-1: Trockenwetter Zulaufvolumen (Pichler, 2018)

			Samstag	Sonn- und Feiertag	Arbeitstag
Volumen	[m ³]	Min	53 000	50 000	62 000
		Mittel	63 000	61 000	73 000
		Max	75 000	73 000	84 000
Mittlerer Durchfluss	[L/s]	Min	610	580	720
		Mittel	730	710	840
		Max	860	850	980

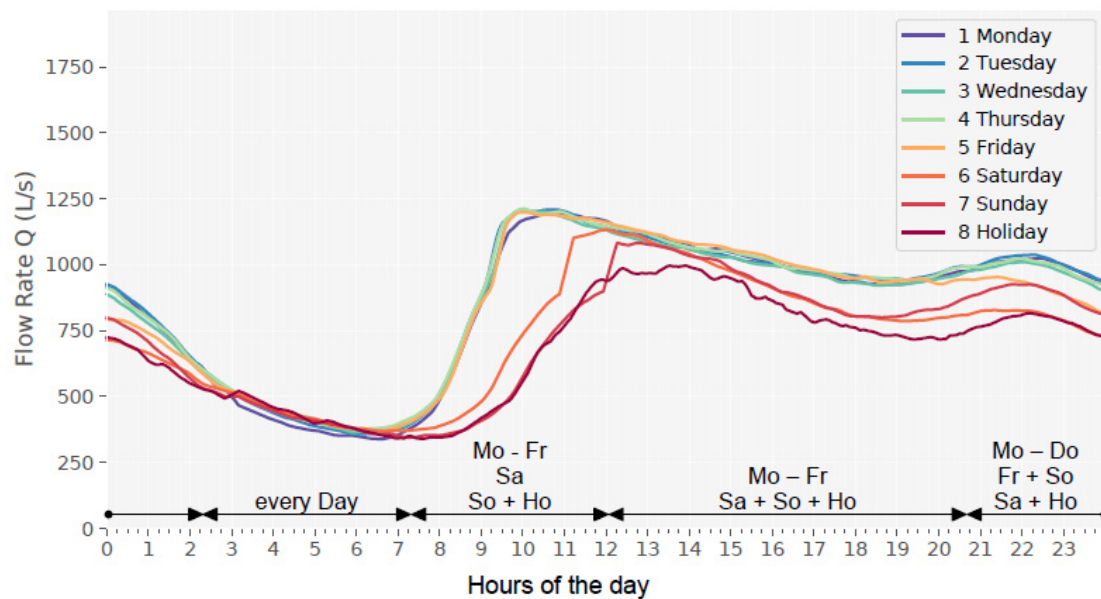


Abbildung 4-3: Unterschiede der jeweiligen Wochentage (Pichler, 2018)

Zusätzlich kann man über die CSB_{ges}-Konzentrationen und die CSB Summen zwischen den gruppierten Werktagen (Arbeitstag), Samstagen, Sonn- und Feiertagen unterscheiden. In der Tabelle 4-2 sind die absoluten mittleren Konzentrationen in mg/L sowie die minimalen, mittleren und maximalen CSB Summenwerte in Tonnen [t] laut Pichler (2018) angegeben.

Tabelle 4-2: CSB Trockenwetter-Frachten (Pichler, 2018)

			Samstag	Sonn- und Feiertag	Arbeitstag
Konzentrationen	[mg/L]	Mittel	750	760	810
Summen	[t]	Min	39	38	51
		Mittel	52	51	66
		Max	65	65	81
Mittlere Frachtraten	[kg/min]	Min	27	26	36
		Mittel	36	36	46
		Max	45	45	56

4.2.2 Auswahl von Mischwassertagen und deren Vergleiche mit dem Trockenwettermittel

Da die Änderungen der CSB-Fractionen im Mischwasserfall vom Niederschlagsereignis und dessen Intensität abhängig sind, kann nicht wie im Kapitel 4.2.1 „Beschreibung der Trockenwettermittel-Ermittlung“ vorgegangen werden. Das Ziel hierbei ist der Vergleich der CSB-Fractionen fünf ausgewählter Mischwasserzuläufe, unterschiedlich hoher Zuflussmengen, mit denen des Trockenwettermittels. Da die Mischwasserzuläufe zur Kläranlage vom Regenwetter abhängig sind,

werden in dieser Arbeit zusätzlich die Niederschlagsmengen der benötigten Zeiträume im Einzugsgebiet der Kläranlage Graz ausgewertet. Die Daten hierfür stammen von 19 Niederschlagsmessstationen.

Bei dieser Vergleichsstudie werden Mischwasserereignisse, mit Zulaufmengen größer als 100 000 m³/d, mit dem jeweilig dazu passenden Trockenwettermittel einander gegenübergestellt. Primär sollen größere Mischwasserzuläufe für einen Vergleich herangezogen werden. Es werden grundsätzlich jene Regentage betrachtet, bei denen der Vortag ein Trockenwettertag war. Man versucht dabei Unterschiede in der CSB-Fraktionsverteilung zu erkennen, wobei die besagten Regenwettertage nicht von zuvor stattgefundenen Niederschlagsereignissen beeinflusst wurden. Weiters wurde ein überdurchschnittlich großes Mischwasserereignis trotz davor aufgetretener Regentage ausgewählt. Für die Interpretation der Messergebnisse wurden Erkenntnisse der Literaturrecherche, über mögliche Ursachen für Veränderungen der CSB-Fraktionen im Mischwasserfall, herangezogen.

4.3 Vorgehensweise für Simulationen

Anhand der nachstehenden Beschreibungen soll die Methodik beschrieben werden, die untersucht, welchen Einfluss die CSB-Fraktionierung auf die Simulationsergebnisse hat. Bei dem von Hofer et al. (2018) erstellten Simulations-Modell der Kläranlage Graz Gössendorf werden folgende Simulationsergebnisse diskutiert: CSB, TSS (AFS), Ges-N, NH₄-N, NO₃-N, Ges-P und die CSB-Fraktionen: Ss, Si, Xh, Xs und Xi. Die Änderung dieser Simulationsergebnisse hinsichtlich unterschiedlicher CSB-Fraktionen, hydraulischer Belastungen und CSB_{ges} Belastungen werden untersucht.

Die Bezeichnungen für die Simulationsergebnisse in der Simulationssoftware „Simba#water“ sind in Tabelle 4-3 dargestellt.

Bei den Simulationen von Hofer et al. (2018) handelt es sich bei den Eingangsdaten für den Zulauf Q_{ARA}, den CSB_{ges}, den Phosphor (P) und Kjeldahlsickstoff (TKN) um zeitlich hoch aufgelöste Messdatensätze. Die Messungen sind an der Kläranlage über einen Zeitraum von ca. einem Jahr aufgezeichnet worden (siehe auch Kapitel 2.5 „Kläranlagensimulation“).

Tabelle 4-3: Bezeichnungen der Simulationsergebnisse des Softwareprogrammes „Simba#water“ (ifak, 2016)

	Description
SO	Dissolved oxygen in g /m ³
SS	Readily biodegradable substrate in g CSB/m ³
SNH	NH ₄ ⁺ and NH ₃ nitrogen in g N/m ³
SNO	nitrate and nitrite nitrogen in g N/m ³
SN2	Dinitrogen N ₂ in g N/m ³
SALK	Alkalinity (assumed as H ₂ CO ₃) in mol/m ³
SI	Soluble inert organic matter in g CSB/m ³
XI	Particulate inert organic matter in g CSB/m ³
XS	Slowly biodegradable substrate in g CSB/m ³
XH	Heterotrophic biomass in g CSB/m ³
XSTO	Internal organic storage products of heterotrophic biomass in g CSB/m ³
XA	Autotrophic biomass (nitrifiers) in g CSB/m ³
XMI	particulate mineralic fration in g /m ³
Q	Flow rate in m ³ /d

4.3.1 Einfluss auf Simulationsergebnisse infolge unterschiedlicher CSB-Fraktionierung

Es wird untersucht, ob bei der Simulation mit unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen mit konstanten Eingangsparametern- (konstanter Zufluss Q_{ARA} zur Kläranlage, konstante Stofffrachten Phosphor (P) und Kjeldahlstickstoff (TKN) sowie konstanter CSB) - Abweichungen der Simulationsergebnisse auftreten. Bei Eintreten von Änderungen in den Ergebnissen unter diesen Bedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Änderung der CSB-Fraktionierung auch einen Einfluss auf andere Simulationsergebnisse hat.

Zusätzlich wird untersucht, ob bei der Simulation mit unterschiedlicher CSB-Fraktionierungen mit den zeitlich hoch aufgelösten Trockenwetter Messdaten von Hofer et al. (2018) Abweichungen in den Simulationsergebnissen auftreten.

4.3.2 Anpassung des Modells an die aktuell ermittelte CSB-Fraktionierung

Es erfolgt eine Anpassung der CSB-Fraktionierung des erstellten Simulations-Modells der ARA Graz Gössendorf von Hofer et al. (2018). Dafür werden wie bei Hofer et al. (2018) die CSB-Fraktionierungen des ermittelten Trockenwettermittels des Tagestyps „Arbeitsstag“ herangezogen.

4.3.3 Simulation von Mischwasserszenarien

Für die Simulation der Mischwasserszenarien werden drei künstliche Niederschlagszuläufe erstellt, da für die in dieser Arbeit behandelten Messungen weder zeitlich hoch aufgelöste Zulaufdaten noch zeitlich hoch aufgelöste Messungen

für CSB_{ges} , Kjeldahlstickstoff (TKN) und Phosphor (P) vorhanden sind. Die Niederschlagszuläufe richten sich nach den in der Messkampagne ermittelten Tagessummen. Dies erfolgt anhand der Addition eines konstanten Durchflusses zum vorhandenen Trockenwetterabfluss. Dieser Durchfluss wird aus der Differenz der Tagessumme zur Tagessumme eines mittleren Trockenwettertages gebildet. Der Zeitraum, in dem der zusätzliche Durchfluss eines Mischwasserereignisses aufaddiert wird, wird mit Hilfe der Messdaten der Niederschlagsmessstationen ermittelt. Der Trockenwetterzulauf ist eine Trockenwettertagesganglinie, die in der Arbeit von Hofer et al. (2018) mit hoch aufgelösten Messungen in 10-Minutenintervallen erstellt worden ist.

Der CSB_{ges} wird über eine Verhältnisrechnung der hoch aufgelösten CSB_{ges} -Belastungen und dem CSB_{ges} -Median von Hofer et al. (2018) sowie dem mittleren CSB_{ges} der drei Messkampagnen (M1, M2 und M3) bestimmt (siehe Formel). Die CSB -Fraktionen werden anhand ihrer ermittelten relativen Anteile am CSB_{ges} der drei gewählten Mischwasserereignisse bestimmt. Kjeldahlstickstoff (TKN) und Phosphor (P) werden nicht angepasst sondern von den Trockenwetterdaten aus Hofer et al. (2018) übernommen.

Die Simulationsergebnisse der 20-tägigen Trockenwettervorlaufzeit bilden die Basis für alle weiteren Simulationen. Die Mischwasserszenarien mit unterschiedlichen Ereignisdauern werden jeweils als ganze Tage simuliert. Das heißt die Simulationsergebnisse, in Form von mittleren Ablaufkonzentrationen, werden tageweise ausgegeben. Danach wird wieder mit dem Trockenwettertagesgang weiter simuliert um die erforderliche Zeit bis zur vollständigen Einstellung des Trockenwetterzustands bestimmen zu können.

$$\frac{CSB_{ges} \text{ Messung}}{CSB_{ges} \text{ Median}} = \frac{CSB_{ges} X}{CSB_{ges} \text{ Mittelwert}}$$

CSB_{ges} -Messung...	Zeitlich hoch aufgelöste CSB_{ges} Messungen des Trockenwettertagesganges von Hofer et al. (2018)
CSB_{ges} -Median...	CSB_{ges} Median von den hoch aufgelösten Messdaten von Hofer et al. (2018) über einen Zeitraum von ca. einem Jahr
$CSB_{ges} X$...	Gesuchter angenäherter CSB_{ges} Wert für die Simulierung der Mischwasserszenarien
CSB_{ges} -Mittelwert...	Mittelwert der analytisch bestimmten CSB_{ges} -Konzentrationen der Messreihen M1, M2 und M3

5 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel erfolgt eine Auswertung und Darstellung der CSB-Fraktionen Ss, Xs, Si und Xi nach einer 29-tägigen Messkampagne, die in drei verschiedenen Zeiträumen in den Jahren 2016, 2017 und 2019 stattgefunden hat. Mithilfe der ermittelten CSB-Fraktionen ergeben sich neue Aufschlüsse über die jeweilig vorhandene Abwassermatrix, welche für die Optimierung in der Abwasserreinigung genutzt werden können.

Die CSB-Fraktionierung wird nach der „Arbeitsanweisung (SOP) für die analytische Bestimmung von CSB-Fraktionen“ nach Simic (2016), geprüft von Dipl. Ing Günther Gruber, ausgeführt. Die SOP nach Simic (2016) entstand im Zuge einer zweiwöchigen Messkampagne im Jahr 2016, die während der Masterarbeit „Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs im Zulauf zur Abwasserreinigungsanlage Graz“ abgewickelt worden ist. Eine weitere Messkampagne, im Umfang einer Woche, wurde von Frau Huizi Sun, einer Doktorandin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz, im Jahr 2017 ausgeführt. Diese Messkampagne wurde anhand einer modifizierten SOP ausgewertet. Die Anpassung bezog sich auf den BSB_∞. Im Kapitel 4.1.2 „Überarbeitung der Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB-Fraktionierung“ wurden die Änderungen näher behandelt. Bei der letzten Messkampagne handelt es sich um die Ermittlung von CSB-Fraktionen über einen Zeitraum von acht Tagen, die im Zuge dieser Masterarbeit an der Kläranlage Graz vom 16. Juni 2019 bis 23. Juni 2019 durchgeführt wurde. Im Fokus dieser Arbeit liegt eine Messkampagne, in der auch die Beprobung und die analytische Bestimmung im Labor sowie die Auswertung der CSB-Fraktionen genau erläutert werden.

In diesem Kapitel werden alle drei ausgewerteten Messkampagnen der Jahre 2016, 2017 und 2019 miteinander verglichen und interpretiert. Mit den ausgewerteten Daten sollen Vergleichsstudien über die Verteilung der vier CSB-Fraktionen Ss, Xs, Si und Xi in Hinblick auf Trocken- und Regenwetter durchgeführt werden. Außerdem werden die Trockenwettermittel der drei Messkampagnen miteinander verglichen. Um eine gute und strukturierte Veranschaulichung zu ermöglichen werden die Daten mit dem Softwareprogramm „Python“ und dem Tabellenkalkulationsprogramm „Excel“ ausgewertet.

Zudem erfolgt eine Anpassung des bereits vorhandenen Simulationsmodells der Kläranlage Graz Gössendorf an die in der Messkampagne gewonnen CSB-Fraktionen für den Trockenwetterabfluss. Es erfolgt eine Überprüfung ob die CSB-Fraktionierung der Mischwasserzuläufe einen Einfluss auf die Ergebnisse der Kläranlagesimulation haben. Hierzu werden Mischwasserszenarien generiert und mit den dazu passenden CSB-Fraktionierungen, aus den Messkampagnen, simuliert.

5.1 Beschreibung der Messkampagnen in den Jahren 2016, 2017 und 2019

Um die bereits ausgewerteten Ergebnisse der Messkampagnen 2016 und 2017 von Simic (2016) bzw. Huizi für weitere Vergleichsstudien und Interpretationen verwenden zu können, müssen die analytisch bestimmten Auswertungen an die neu ermittelten Q_{ARA} Tageszuflussmengen, wie im Kapitel 4.1.3 „Anpassung der täglichen QARA-Zulaufmenge“ erläutert, angepasst werden.

Die Ergebnisse der Laboranalyse und die ausgewerteten CSB-Fractionen der Messkampagne von 2019 sind in Tabelle 5-1 angegeben. Da es am ersten Tag der Messreihe einen Absturz des Kläranlagenservers gab und die diskontinuierliche, volumenproportionale Probenahme nicht durchgeführt werden konnte, ist dieser Messtag für die weitere Analyse nicht geeignet. Die Angabe der Q_{ARA} -Tageszuflussmenge des nicht verwendbaren Messtages wurde bis zum Zeitpunkt des Serverabsturzes gerechnet.

Tabelle 5-1: Ergebnisse der Messkampagne im Zeitraum von 16. Juni 2019 bis 23. Juni 2019

Datum:	16.06.2019	17.06.2019	18.06.2019	19.06.2019	20.06.2019	21.06.2019	22.06.2019	23.06.2019
Wetter	Trockenwetter	Trockenwetter	Trockenwetter	Trockenwetter	Trockenwetter	Regenwetter	Trockenwetter	Regenwetter
CSB _{ges} [mg/L]	776,5	738,5	799,5	754,5	515	775	414,5	267,5
CSB _{ges,Zul,0,1} [mg/L]	161	244,5	291,5	233,5	163	205	106	87,9
BSB _{5,Zul} [mg/L]	422,5	439,5	493	414	254	431	200	146,5
BSB _{8,Zul} [mg/L]	501,5	512,5	591,5	524	312,5	513	237	177,5
CSB _{ges,Abl,0,1} [mg/L]	23,9	32,35	26	30,05	24,9	19,95	16,9	19,4
BSB _∞ [mg/L]	537,39	564,59	652,32	602,61	347,5	576,45	262,2	198,89
CSB/BSB _{5,Zul} [mg/L]	1,8	1,7	1,6	1,8	2,0	1,8	2,1	1,8
AFS _{Zul} [mg/L]	363,5	322	350	354	277	354	249	148
GV	39,2	34,75	86,55	84,75	79,75	80,8	79,55	79,55
Ss [mg/L]	139,49	215,39	268,1	206,46	140,59	187,05	90,79	70,44
Xs [mg/L]	397,9	349,21	384,22	396,16	206,91	389,41	171,41	128,45
Si [mg/L]	21,51	29,12	23,4	27,05	22,41	17,96	15,21	17,46
Xi [mg/L]	217,6	144,80	123,78	124,85	145,09	180,60	137,09	51,15
Ss [%]	17,96	29,17	33,53	27,36	27,30	24,13	21,90	26,33
Xs [%]	51,24	47,29	48,06	52,51	40,18	50,25	41,35	48,02
Si [%]	2,77	3,94	2,93	3,58	4,35	2,32	3,67	6,53
Xi [%]	28,02	19,61	15,48	16,55	28,17	23,30	33,07	19,12
Q _{ARA} (m³/d)	57184	77144	68741	68242	71477	104613	65744	160172

5.2 Alle Ergebnisse

Die analytisch bestimmten Auswertungen der drei Messreihen im Umfang von 29 Messtagen werden in Tabelle 5-5 aufgelistet. Die ermittelten CSB-Fraktionen S_s , X_s , S_i und X_i werden in absoluten Konzentrationen in mg/L und in prozentuellen relativen Anteilen am CSB_{ges} angegeben. Außerdem sind die jeweils zugehörigen Tageszuflussmengen Q_{ARA} und der CSB_{ges} zusammen mit der Unterscheidung zwischen Trocken- oder Regenwetter sowie Informationen über den Tagestypen in den Daten zu finden. Informationen des Tagestyps, der Wochentage und des Wetters sind Grundlagendaten, die bei der Ermittlung des Trockenwettermittels ausschlaggebend sind. In der Tabelle 5-6 werden die CSB/BSB₅ Verhältnisse und die Einwohnerwerte (EW) der einzelnen Messtage aufgelistet um einen Überblick über die Abwasserbeschaffenheit und die Auslastung der Kläranlage Graz zu bekommen.

Die 29-tägige Messkampagne beinhaltet 15 Regen- und 14 Trockenwettertage. Die Definition eines Trockenwettertags wurde im Kapitel 4.2.1 „Beschreibung der Trockenwettermittel-Ermittlung“ verdeutlicht. Im weiteren Verlauf werden die drei Messkampagnen mittels der Akronyme M1, M2 und M3 bezeichnet. Eine Auflistung der Grundinformationen zu den einzelnen Messreihen erfolgt in Tabelle 5-2, Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4.

Tabelle 5-2: Eigenschaften der Messkampagnen

Messreihe	Akronym	Jahr	Zeitraum	Art	Messtage
Messreihe 1	M1	2016	Juni und Juli	Durchlaufend	15
Messreihe 2	M2	2017	Jänner– März	Einzelmessungen	7
Messreihe 3	M3	2019	Juni	Durchlaufend	7

Tabelle 5-3: Anzahl der Trocken- und Regenwettertage

Messreihe	Trockenwetter	Regenwetter
M1	4	11
M2	6	1
M3	5	2
Gesamt	15	14

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-4: Anzahl der Arbeitstage und Wochenend- und Feiertage

Messreihe	Arbeitstage	Wochenend- und Feiertage
M1	10	5
M2	0	7
M3	4	3
Gesamt	14	15

Tabelle 5-5: Messergebnisse der drei Messkampagnen

	Datum	Wochentage	Tagestyp	Q _{ARA} -Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]	Wetter
0	26.06.2016	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	86827	590	72	339	16	163	12	58	3	28	Regenwetter
1	27.06.2016	Montag	Arbeitstag	129264	556	61	328	18	150	11	59	3	27	Regenwetter
2	28.06.2016	Dienstag	Arbeitstag	82148	831	140	491	16	184	17	59	2	22	Regenwetter
3	29.06.2016	Mittwoch	Arbeitstag	80961	699	119	422	15	143	17	60	2	21	Regenwetter
4	30.06.2016	Donnerstag	Arbeitstag	127985	602	98	271	15	218	16	45	3	36	Regenwetter
5	01.07.2016	Freitag	Arbeitstag	103848	562	83	288	15	176	15	51	3	31	Regenwetter
6	02.07.2016	Samstag	Wochenend- und Feiertag	113168	511	66	305	15	125	13	60	3	25	Regenwetter
7	03.07.2016	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	86281	535	79	281	19	157	15	53	4	29	Regenwetter
8	04.07.2016	Montag	Arbeitstag	85592	675	106	382	15	172	16	57	2	26	Regenwetter
9	05.07.2016	Dienstag	Arbeitstag	80358	643	93	360	16	175	14	56	3	27	Regenwetter
10	06.07.2016	Mittwoch	Arbeitstag	76640	763	118	438	22	184	16	58	3	24	Trockenwetter
11	07.07.2016	Donnerstag	Arbeitstag	74909	736	142	389	20	184	19	53	3	25	Trockenwetter
12	08.07.2016	Freitag	Arbeitstag	104327	644	129	329	22	165	20	51	3	26	Regenwetter
13	09.07.2016	Samstag	Wochenend- und Feiertag	66953	608	108	301	22	177	18	50	4	29	Trockenwetter
14	10.07.2016	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	64349	645	89	351	24	182	14	54	4	28	Trockenwetter
15	29.01.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	60460	812	221	439	22	131	27	54	3	16	Trockenwetter
16	05.02.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	114137	588	156	260	18	155	27	44	3	26	Regenwetter
17	12.02.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	65206	785	188	437	30	131	24	56	4	17	Trockenwetter
18	19.02.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	61941	669	180	367	21	102	27	55	3	15	Trockenwetter
19	26.02.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	63930	686	183	383	21	100	27	56	3	15	Trockenwetter
20	05.03.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	73067	892	179	615	23	75	20	69	3	8	Trockenwetter
21	12.03.2017	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	63810	760	180	408	22	150	24	54	3	20	Trockenwetter
22	17.06.2019	Montag	Arbeitstag	77144	739	215	349	29	145	29	47	4	20	Trockenwetter
23	18.06.2019	Dienstag	Arbeitstag	68741	800	268	384	23	124	34	48	3	16	Trockenwetter
24	19.06.2019	Mittwoch	Arbeitstag	68242	755	206	396	27	125	27	53	4	17	Trockenwetter

Ergebnisse und Diskussion

25	20.06.2019	Donnerstag	Wochenend- und Feiertag	71477	515	141	207	22	145	27	40	4	28	Trockenwetter
26	21.06.2019	Freitag	Arbeitstag	104613	775	187	389	18	181	24	50	2	23	Regenwetter
27	22.06.2019	Samstag	Wochenend- und Feiertag	65744	414	91	171	15	137	22	41	4	33	Trockenwetter
28	23.06.2019	Sonntag	Wochenend- und Feiertag	160172	268	70	128	17	51	26	48	7	19	Regenwetter

Tabelle 5-6: CSB/BSB₅ Verhältnisse und Einwohnerwerte

Datum	Q _{ARA} - Zulaufmenge	CSB _{ges} - Zulauf	BSB ₅ - Zulauf	BSB ₈ - Zulauf	BSB _∞	CSB/BSB ₅ Zulauf	EW ₁₂₀	EW ₆₀	Mittelwert CSB/BSB ₅
26.06.2016	86827	590	344		410	1,7	426899	497808	
27.06.2016	129264	556	315		389	1,8	598923	678636	
28.06.2016	82148	831	537		631	1,5	568875	735225	
29.06.2016	80961	699	434		520	1,6	471598	585618	
30.06.2016	127985	602	311		368	1,9	642058	663389	
01.07.2016	103848	562	287		371	2,0	486355	496740	
02.07.2016	113168	511	310		371	1,6	481907	584701	
03.07.2016	86281	535	321		359	1,7	384669	461603	
04.07.2016	85592	675	432		488	1,6	481455	616262	
05.07.2016	80358	643	383		453	1,7	430585	512952	
06.07.2016	76640	763	468		556	1,6	487303	597792	
07.07.2016	74909	736	456		531	1,6	459442	569308	
08.07.2016	104327	644	359		457	1,8	559888	624223	
09.07.2016	66953	608	345		409	1,8	339229	384980	
10.07.2016	64349	645	383		440	1,7	345876	410761	1,7
29.01.2017	60460	812	498,5	543,5	659,5	1,6	409113	502332	
05.02.2017	114137	588	332	355	415,5	1,8	559271	631558	
12.02.2017	65206	785	484,5	527	624,2	1,6	426556	526538	
19.02.2017	61941	669	422,5	459,5	546,3	1,6	345321	436168	
26.02.2017	63930	686	442	492,5	565,8	1,6	365467	470951	

05.03.2017	73067	892	611,5	644,5	794	1,5	543131	744675	
12.03.2017	63810	760	456	493	587,6	1,7	404130	484956	1,6
17.06.2019	77144	739	439,5	512,5	564,59	1,7	475078	565080	
18.06.2019	68741	800	493	591,5	652,32	1,6	458273	564822	
19.06.2019	68242	755	414	524	602,32	1,8	429356	470870	
20.06.2019	71477	515	254	312,5	602,61	2,0	306755	302586	
21.06.2019	104613	775	431	513	347,5	1,8	675626	751470	
22.06.2019	65744	414	200	237	567,45	2,1	226817	219147	
23.06.2019	160172	268	146,5	177,5	262,2	1,8	357717	391087	1,8

5.2.1 Betrachtung aller Trocken- und Regenwettertage

In diesem Kapitel soll eine Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den Trocken- und Regenwetterdaten stattfinden um mögliche Unterschiede der CSB-Fractionen im Mischwasserfall aufzuzeigen. Es erfolgt noch keine genaue Aufschlüsselung und Gruppierung der einzelnen Daten, wie es in den künftigen Kapiteln erfolgen wird. Die Unterscheidung zwischen Trocken- und Regenwetterdaten erfolgt ausschließlich über die Zulaufmenge der Kläranlage.

In Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 wird eine Gegenüberstellung der Q_{ARA} -Zuläufe in m^3/d von Trocken- zu Regenwettertagen dargestellt (siehe auch Tabelle 5-7 bzw. Tabelle 5-8). Ab einer Zulaufmenge von 80 000 m^3/d wird von einem Regenwettertag ausgegangen.

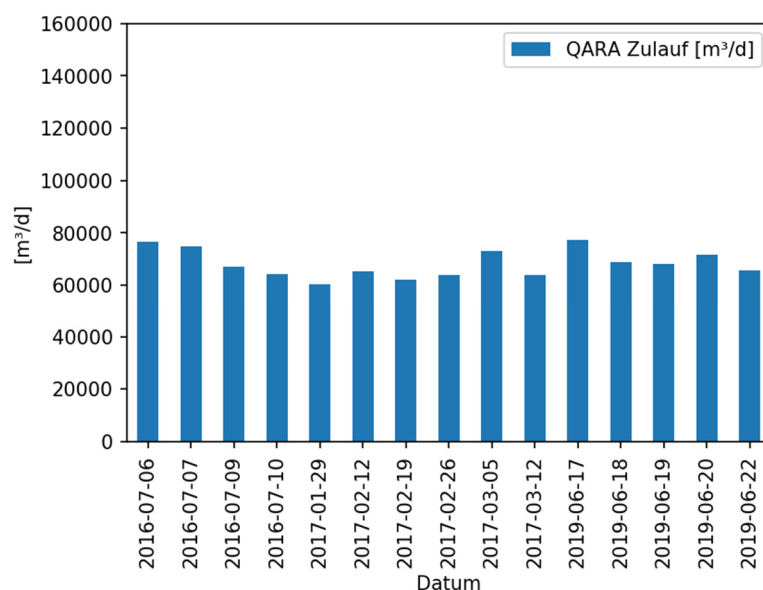


Abbildung 5-1: Q_{ARA} -Zulaufvolumen der Trockenwettertage

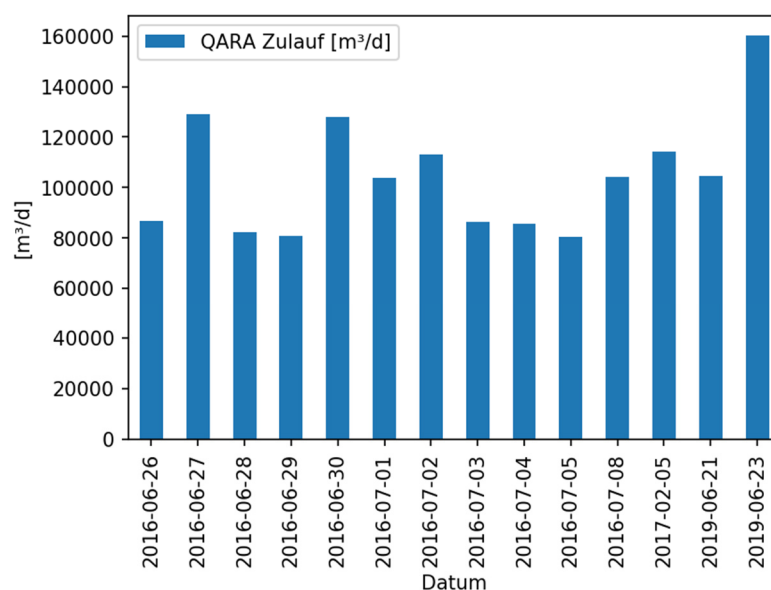


Abbildung 5-2: Q_{ARA} -Zulaufvolumen der Regenwettertage

Tabelle 5-7: Q_{ARA} der Trockenwettertage

Datum	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]
06.07.2016	76640
07.07.2016	74909
09.07.2016	66953
10.07.2016	64349
29.01.2017	60460
12.02.2017	65206
19.02.2017	61941
26.02.2017	63930
05.03.2017	73067
12.03.2017	63810
17.06.2019	77144
18.06.2019	68741
19.06.2019	68242
20.06.2019	71477
22.06.2019	65744

Tabelle 5-8: Q_{ARA} der Regenwettertage

Datum	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]
26.06.2016	86827
27.06.2016	129264
28.06.2016	82148
29.06.2016	80961
30.06.2016	127985
01.07.2016	103848
02.07.2016	113168
03.07.2016	86281
04.07.2016	85592
05.07.2016	80358
08.07.2016	104327
05.02.2017	114137
21.06.2019	104613
23.06.2019	160172

Im Zuge der Betrachtung aller analytisch bestimmten Messungen wird die Gegenüberstellung der einzelnen Zulaufmengen Q_{ARA} , gereiht von minimal bis maximal, mit den jeweilig gemessenen CSB_{ges} -Konzentrationen in mg/L zusammen für Trocken- und Regenwettertage in der Abbildung 5-3 dargestellt. Bei den CSB_{ges} -Konzentrationen sind starke Schwankungen zu erkennen. Durch die Vermischung von Ab- und Regenwasser kommt es an Regentagen zu einem Verdünnungseffekt. Dementsprechend sinken die CSB_{ges} -Konzentrationen. Es ist eine leichte Abnahme der CSB_{ges} -Konzentrationen unter Zunahme der Q_{ARA} -Zulaufmengen infolge des Regenwetters zu erkennen, es gibt jedoch vereinzelte Ausreißer.

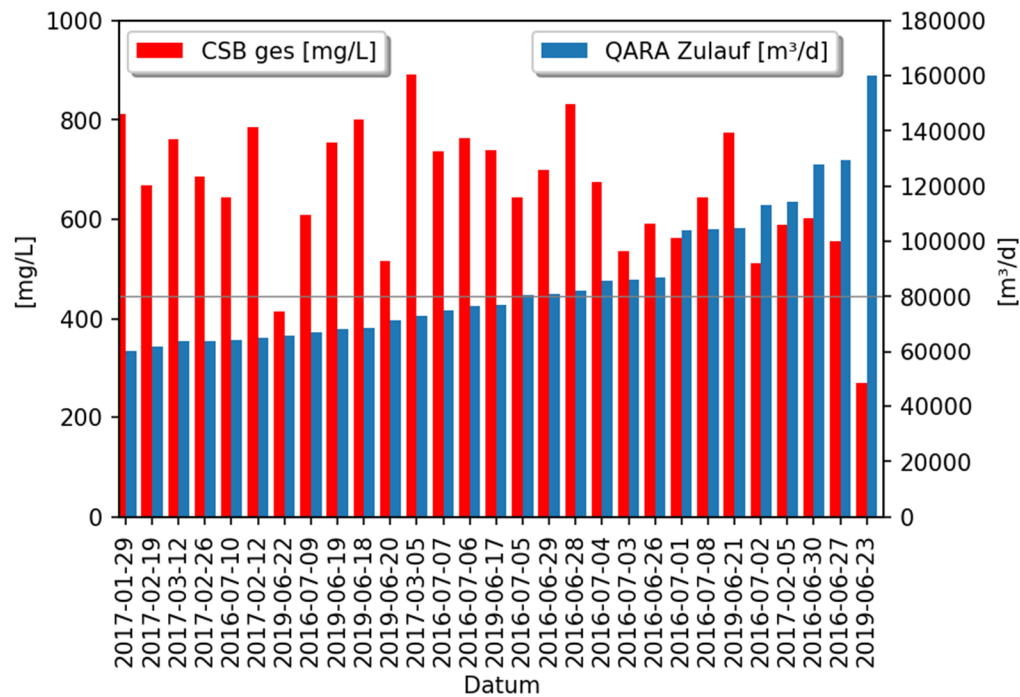


Abbildung 5-3: QARA-Zuläufe und CSB_{ges}-Konzentrationen aller Messergebnisse sortiert nach den Zulaufmengen

Es werden in den Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 die CSB_{ges}-Konzentrationen nach Trocken- und Regenwetter unterteilt um eine bessere Visualisierung zu erreichen. Der CSB_{ges}-Mittelwert der Trockenwettertage beträgt 705 mg/L und ist somit um 100 mg/L größer als der CSB_{ges}-Mittelwert der Regenwettertage mit 606 mg/L. Hinzuzufügen ist, dass die CSB_{ges} Summen pro Tag im Mittel für Regenwettertage wiederum höher sind. Sie werden in Tonnen gemessen und ergeben sich durch die Multiplikation der CSB_{ges}-Konzentrationen mit der jeweiligen QARA-Zulaufmenge.

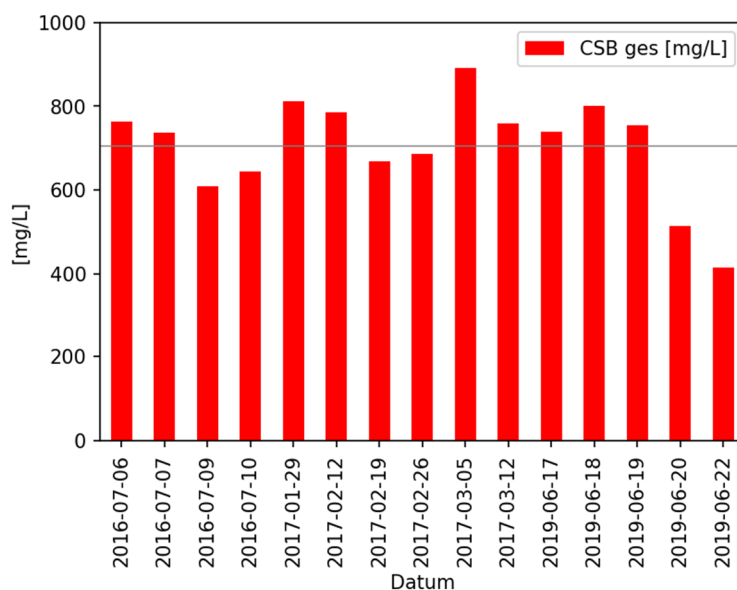


Abbildung 5-4: CSB_{ges}-Konzentrationen der Trockenwettertage: CSB-Mittel = 705 mg/L

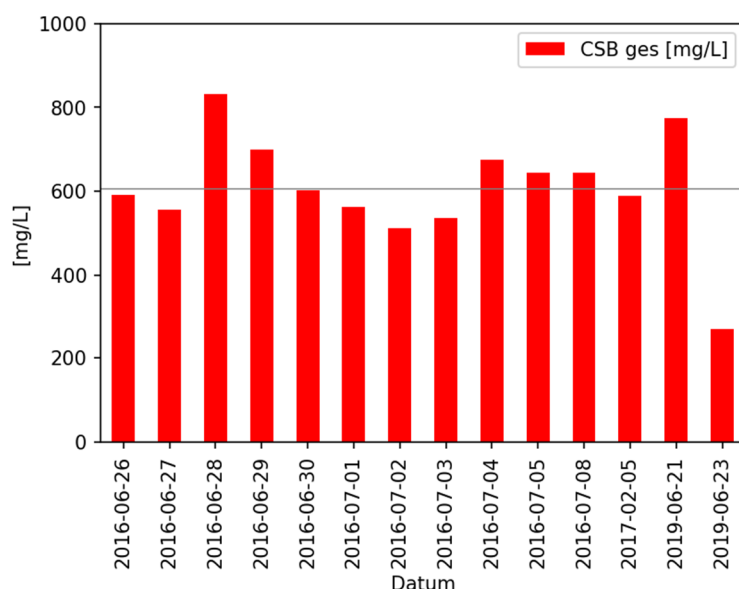


Abbildung 5-5: CSB_{ges}-Konzentrationen der Regenwettertage: CSB-Mittel = 606 mg/L

Tabelle 5-9: CSB_{ges} und CSB Summe für Trocken- (rechts) und Regenwettertage (links)

Datum	Q _{ARA} ⁻ Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Summe CSB [to]	Datum	Q _{ARA} ⁻ Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Summe CSB [to]
05.07.2016	80358	643	52	06.07.2016	76640	763	58
29.06.2016	80961	699	57	07.07.2016	74909	736	55
28.06.2016	82148	831	68	17.06.2019	77144	739	57
04.07.2016	85592	675	58	18.06.2019	68741	800	55
03.07.2016	86281	535	46	19.06.2019	68242	755	52
26.06.2016	86827	590	51	09.07.2016	66953	608	41
01.07.2016	103848	562	58	10.07.2016	64349	645	42
08.07.2016	104327	644	67	29.01.2017	60460	812	49
21.06.2019	104613	775	81	12.02.2017	65206	785	51
02.07.2016	113168	511	58	19.02.2017	61941	669	41
05.02.2017	114137	588	67	26.02.2017	63930	686	44
27.06.2016	127985	602	77	05.03.2017	73067	892	65
30.06.2016	129264	556	72	12.03.2017	63810	760	48
23.06.2019	160172	268	43	20.06.2019	71477	515	37
Mittelwert	104263	606	61	22.06.2019	65744	414	27
				Mittelwert	68174	705	48

5.3 Trockenwetter

Nach Pichler (2018) bewegen sich die Trockenwetter Zulaufvolumen Q_{ARA} an Arbeitstagen zwischen 62 000 m³/d und 84 000 m³/d und an Sonn- und Feiertagen bzw. Samstagen zwischen 50 000 m³/d und 75 000 m³/d. Die Größenordnungen

der gemessenen Tageszulaufmengen, zu entnehmen aus Abbildung 5-6 und Tabelle 5-10, die von den Kläranlagenbetreibern der ARA Graz Gössendorf übermittelt worden sind, befinden sich zwischen den vorgegeben Grenzwerten laut Pichler (2018) (siehe Tabelle 4-1). Die minimalen und maximalen Tageszulaufmengen innerhalb der drei Messkampagnen M1, M2 und M3 sind am 29. Jänner 2017 mit 60 460 m³/d und am 17. Juni 2019 mit 77 144 m³/d gemessen worden. Die gemessenen Zulaufvolumen der einzelnen Tage innerhalb der Gruppen „Arbeitstag“ und „Wochenend- und Feiertag“ unterscheiden sich dadurch, dass die Zulaufmengen in der Gruppe „Wochenend- und Feiertag“ etwas geringer sind (siehe dazu Kapitel 4.2.1.).

Die Abbildung 5-6 illustriert, dass die CSB_{ges}-Konzentrationen der Einzelmessungen des Tagestyps „Arbeitstag“ höher konzentriert sind und geringere Schwankungen aufweisen, als jene CSB_{ges}-Konzentrationen des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ (siehe auch Tabelle 5-10). Bei den ermittelten CSB_{ges}-Summen der einzelnen Trockenwettertage befinden sich mit Ausnahme zweier Messungen alle innerhalb des vorgegebenen minimalen und maximalen Wertes. Die beiden Messungen am 20. Juni 2019 und 22. Juni 2019 des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ mit den CSB_{ges}-Summen von 27 t und 37 t liegen unter dem minimalen Summenwert laut Pichler (2018) (Tabelle 4-2). Der 20. Juni 2019 ist ein Donnerstag, bei dem es sich um den Feiertag Fronleichnam handelt. Der 22. Juni 2019 ist kein typischer Samstag, da der Donnerstag davor ein Feiertag ist und es üblich ist, dass der darauffolgende Freitag, ein sogenannter „Fenstertag“, von vielen Menschen als Urlaubstag genutzt wird.

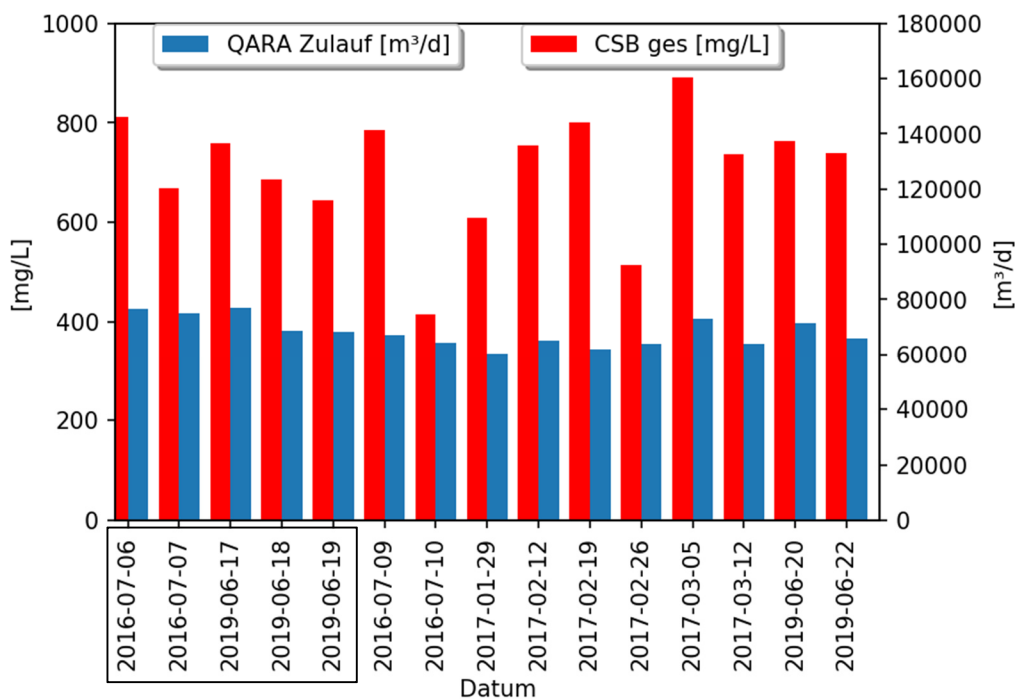


Abbildung 5-6: CSB_{ges} und zugehörige Tagezuflussmengen Q_{ARA} der gemessenen Trockenwettertage. Links umrandet an Arbeitstagen; Rest an Wochenend- und Feiertagen

Tabelle 5-10: Gemessene Trockenwettertage mit Angaben der Zuflussmengen Q_{ARA} , CSB_{ges} -Konzentrationen und CSB Summen

Datum	Tagestyp	Datum	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]	CSB_{ges} [mg/L]	Summe CSB [t]
06.07.2016	Arbeitstag	06.07.2016	76640	763	58
07.07.2016	Arbeitstag	07.07.2016	74909	736	55
17.06.2019	Arbeitstag	17.06.2019	77144	739	57
18.06.2019	Arbeitstag	18.06.2019	68741	800	55
19.06.2019	Arbeitstag	19.06.2019	68242	755	52
09.07.2016	Wochenend- und Feiertag	09.07.2016	66953	608	41
10.07.2016	Wochenend- und Feiertag	10.07.2016	64349	645	42
29.01.2017	Wochenend- und Feiertag	29.01.2017	60460	812	49
12.02.2017	Wochenend- und Feiertag	12.02.2017	65206	785	51
19.02.2017	Wochenend- und Feiertag	19.02.2017	61941	669	41
26.02.2017	Wochenend- und Feiertag	26.02.2017	63930	686	44
05.03.2017	Wochenend- und Feiertag	05.03.2017	73067	892	65
12.03.2017	Wochenend- und Feiertag	12.03.2017	63810	760	48
20.06.2019	Wochenend- und Feiertag	20.06.2019	71477	515	37
22.06.2019	Wochenend- und Feiertag	22.06.2019	65744	414	27
Mittelwert			68174	705	48
Std. Abweichung			5538	122	10

Aufgrund der unterschiedlichen Q_{ARA} -Zulaufmengen und der damit verbundenen CSB_{ges} -Konzentrationen zwischen den zwei Tagestyp-Gruppen erfolgt die Erstellung der Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“ und „*Wochenend- und Feiertag*“. Die Ermittlung wird in den Kapiteln 5.3.2 und 5.3.3 erläutert. Im Kapitel 5.3.4 wird auf mögliche Gründe der unterschiedlichen CSB-Fraktionsverteilungen zwischen den Tagestyp-Gruppen näher eingegangen.

Weiters kann auch über die Änderung der CSB-Fractionen aufgrund der jeweiligen Jahreszeiten diskutiert werden. Wegen der kleinen Datenmenge der Messkampagne im Sommer und mehrerer Einzelmessungen im Winter kann jedoch kein Vergleich über alle Jahreszeiten erfolgen. Im Kapitel 5.3.5.2 „Vergleich der Trockenwettermittel M1, M2 und M3 der Tagestypen Gruppe „*Wochenend- und Feiertag*“ werden die zwei Messkampagnen M1 und M3, die innerhalb von Sommermonaten durchgeführt worden sind, mit der Messkampagne M2, die aus Einzelmessungen innerhalb der Wintermonate entstanden ist, miteinander verglichen. Aufgrund der ausschließlich an Sonntagen im Winter 2017 (Messkampagne M2) durchgeführten Messungen kann eine Gegenüberstellung der ermittelten CSB-Fractionen von Sommer und Winter nur über die Trockenwettermittel Gruppe „*Wochenend- und Feiertag*“ erfolgen.

5.3.1 Darstellung aller Trockenwettertage

Es folgt eine Auflistung aller Trockenwettertage der drei Messkampagnen M1, M2 und M3 um die Gruppenbildung der Trockenwettermittel zwischen den zwei Tagestyp-Gruppen nochmals zu untermauern. Die Tabelle 5-11 beinhaltet die absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen und in der Tabelle 5-12 werden die relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} aufgelistet.

Es sind Schwankungen in den CSB-Fraktionsverteilungen der einzelnen Mess-tage zu erkennen, die auch über die berechneten Standardabweichungen in der Tabelle 5-13 ersichtlich werden. Es erfordert daher eine Gruppierung des Trockenwettermittels, welches im Kapitel 4.2.1 „Beschreibung der Trockenwettermittel-Ermittlung“ beschrieben wird.

Äquivalent zu den höheren CSB_{ges} -Konzentrationen der einzelnen Trockenwettertage sind ebenfalls höhere absolute CSB-Fraktionskonzentrationen an Trockenwettertagen gegenüber Regenwettertagen zu erkennen. Deutlich zu erkennen sind die höheren absoluten Konzentrationen der Trockenwettertage für die CSB-Fraktionen Xs und Ss. Höhere Konzentrationen der CSB-Fraktion Xi sind hingegen an Regenwettertagen zu finden. Die maximale Konzentration der partikulär inerten CSB-Fraktion Xi tritt am 30. Juni 2016 auf.

Sowohl bei den Trocken- als auch bei den Regenwettertagen nimmt die Fraktion Xs gegenüber den anderen CSB-Fraktionen den größten Anteil am CSB_{ges} ein. Die CSB-Fraktion Ss scheint an Trockenwettertagen mit höheren Anteilen vertreten zu sein, wohingegen die Fraktion Xi bei Regenwettertagen stärker zu Tragen kommt.

Tabelle 5-11: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen an Trockenwettertagen

Datum	Tagestyp	Q _{ARA} -Zu- lauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]
06.07.2016	Arbeitstag	76640	763	118	438	22	184
07.07.2016	Arbeitstag	74909	736	142	389	20	184
09.07.2016	Wochenend- und Feiertag	66953	608	108	301	22	177
10.07.2016	Wochenend- und Feiertag	64349	645	89	351	24	182
29.01.2017	Wochenend- und Feiertag	60460	812	221	439	22	131
12.02.2017	Wochenend- und Feiertag	65206	785	188	437	30	131
19.02.2017	Wochenend- und Feiertag	61941	669	180	367	21	102
26.02.2017	Wochenend- und Feiertag	63930	686	183	383	21	100
05.03.2017	Wochenend- und Feiertag	73067	892	179	615	23	75
12.03.2017	Wochenend- und Feiertag	63810	760	180	408	22	150
17.06.2019	Arbeitstag	77144	739	215	349	29	145
18.06.2019	Arbeitstag	68741	800	268	384	23	124
19.06.2019	Arbeitstag	68242	755	206	396	27	125
20.06.2019	Wochenend- und Feiertag	71477	515	141	207	22	145
22.06.2019	Wochenend- und Feiertag	65744	414	91	171	15	137
Mittelwert		68174	705,3	167,3	375,7	22,9	139,5
Std. Abweichung		5338	122	52	103	4	33

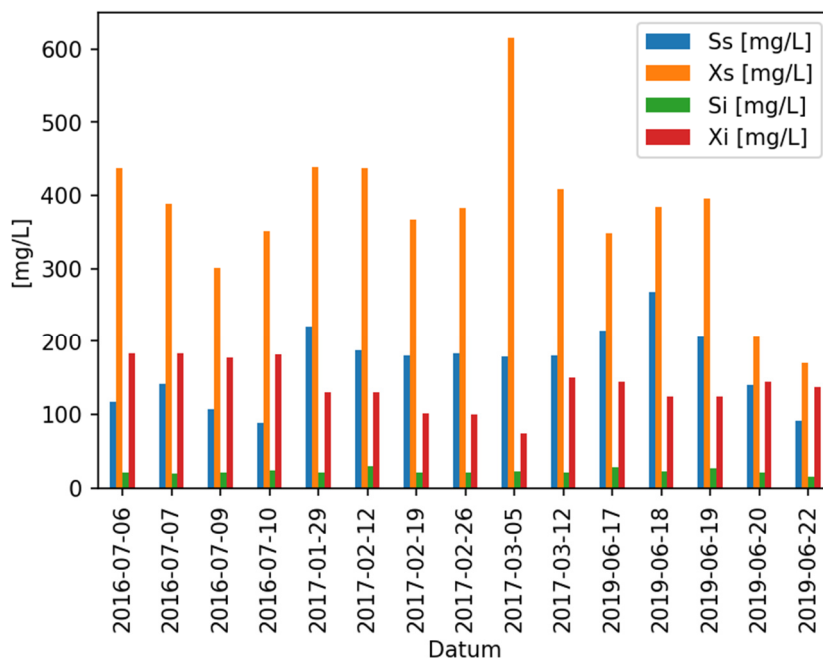


Abbildung 5-7: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen sortiert nach den Q_{ARA}-Zulaufmengen der Trockenwettertage

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-12: Relative Anteile der CSB Fraktionen am CSB_{ges} an Trockenwettertagen

Datum	Tagestyp	Q_{ARA} -Zulauf [m³/d]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
06.07.2016	Arbeitstag	76640	16	58	3	24
07.07.2016	Arbeitstag	74909	19	53	3	25
09.07.2016	Wochenend- und Feiertag	66953	18	50	4	29
10.07.2016	Wochenend- und Feiertag	64349	14	54	4	28
29.01.2017	Wochenend- und Feiertag	60460	27	54	3	16
12.02.2017	Wochenend- und Feiertag	65206	24	56	4	17
19.02.2017	Wochenend- und Feiertag	61941	27	55	3	15
26.02.2017	Wochenend- und Feiertag	63930	27	56	3	15
05.03.2017	Wochenend- und Feiertag	73067	20	69	3	8
12.03.2017	Wochenend- und Feiertag	63810	24	54	3	20
17.06.2019	Arbeitstag	77144	29	47	4	20
18.06.2019	Arbeitstag	68741	34	48	3	16
19.06.2019	Arbeitstag	68242	27	53	4	17
20.06.2019	Wochenend- und Feiertag	71477	27	40	4	28
22.06.2019	Wochenend- und Feiertag	65744	22	41	4	33
Mittelwert		68174	23,7	52,5	3,5	20,7
Std. Abweichung		5338	5	7	1	7

Tabelle 5-13: Standardabweichung der Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} der Trockenwettertage

Fraktion	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
Standardabweichung	5,4	7,0	0,5	6,8

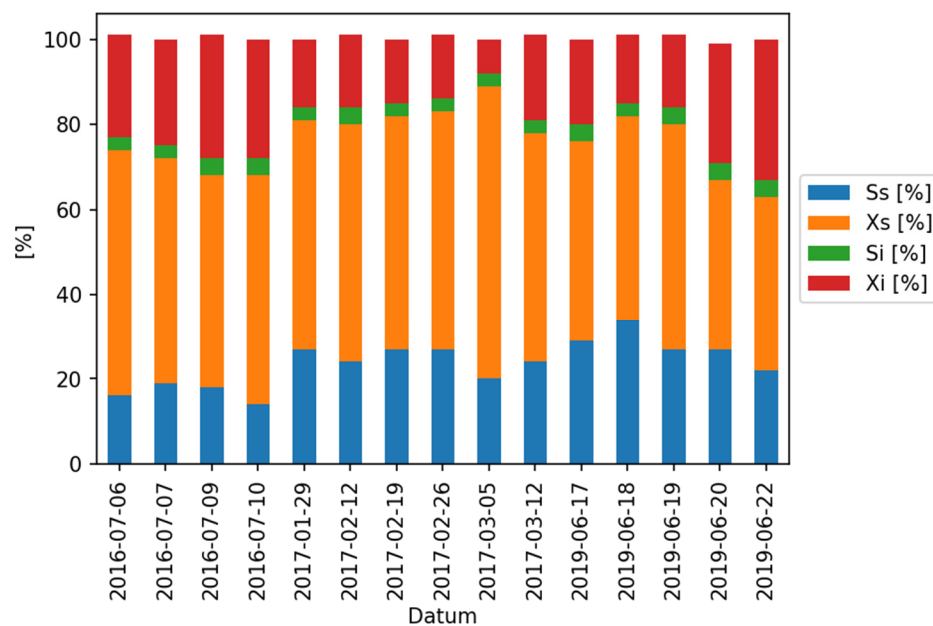


Abbildung 5-8: Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} sortiert nach den Q_{ARA} -Zulaufmengen der Trockenwettertage

5.3.2 Trockenwettermittel „Arbeitstag“

In diesem Kapitel werden die analytisch bestimmten CSB-Fractionen der einzelnen Trockenwettertage an Arbeitstagen gemittelt und zum Trockenwettermittel „Arbeitstag“ zusammengefasst. Die einzelnen Zulaufmengen Q_{ARA} , dargestellt in der Abbildung 5-9, bewegen sich zwischen den Volumenmengen von 68 242 und 77 144 m³/d. Die empfohlenen minimalen, maximalen und mittleren Tageszulaufvolumen laut Pichler (2018)“ stimmen mit den Zuläufen der Einzelmessungen gut überein. Die CSB_{ges}-Konzentrationen, aus der Abbildung 5-9 zu entnehmen, befinden sich leicht unter den durchschnittlichen Werten von 810 mg/L der CSB-Trockenwetter-Frachten laut Pichler (2018).

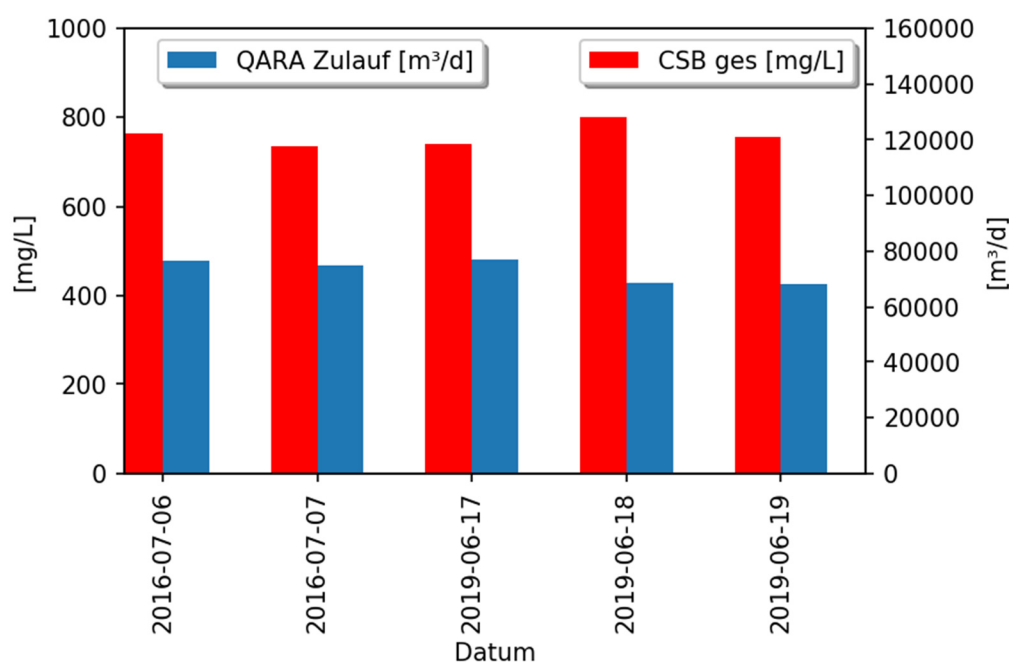


Abbildung 5-9: Q_{ARA} -Zulaufmenge und CSB_{ges}-Konzentrationen der Trockenwettertage für das Trockenwettermittel des Tagestyps „Arbeitstag“

In Tabelle 5-14 und Tabelle 5-15 werden Angaben über die relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges}, über die absoluten Konzentrationen, deren Mittelwerte und Streumaße, sowie der CSB_{ges} und die Q_{ARA} -Zulaufmengen aller Einzelmessungen aufgelistet. Die Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11 stellt die CSB-Fractionen in ihren relativen und absoluten Mengenangaben der Einzelmessungen über Balkendiagramme dar.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-14: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]
06.07.2016	76640	763	118	438	22	184
07.07.2016	74909	736	142	389	20	184
17.06.2019	77144	739	215	349	29	145
18.06.2019	68741	800	268	384	23	124
19.06.2019	68242	755	206	396	27	125
Mittelwert	73135	759	190	391	24	152
Std. Abweichung	4323	26	60	32	4	30

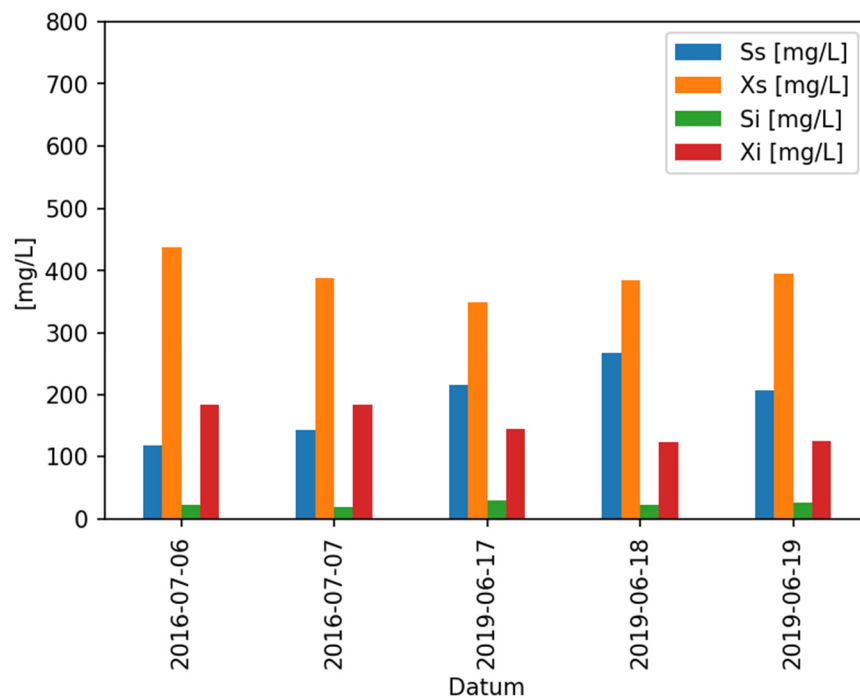


Abbildung 5-10: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen

Tabelle 5-15: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} des Tagestyps „Arbeitstag“ an Trockenwettertagen

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
06.07.2016	76640	16	58	3	24
07.07.2016	74909	19	53	3	25
17.06.2019	77144	29	47	4	20
18.06.2019	68741	34	48	3	16
19.06.2019	68242	27	53	4	17
Mittelwert	73135	25,0	51,8	3,4	20,4
Std. Abweichung	4323	7,4	4,4	0,5	4,0

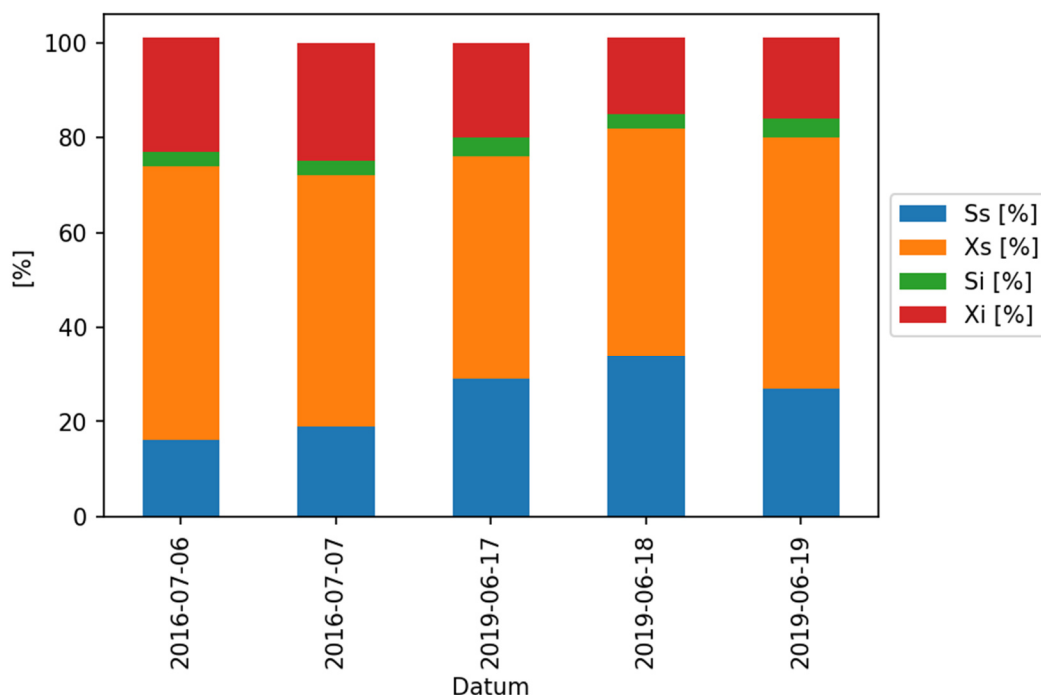


Abbildung 5-11: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} des Tagestyps „Arbeits-tag“ an Trockenwettertagen

Die Standardabweichungen für das Trockenwettermittel „*Arbeitsstag*“ (siehe Tabelle 5-16) sind für die CSB-Fractionen Xs und Xi mit 4,1 % und 4,3 % geringer als jene Standardabweichungen für das Mittel aller Trockenwettertage mit 6,8 % für Xs und 6,9 % für Xi (siehe Tabelle 5-13, Seite 62). Für die CSB-Fraktion Si ist die Standardabweichung für die Trockenwettertage mit 5,5 % geringer als jene des Trockenwettermittels „*Arbeitsstag*“ mit 7,4 %.

Tabelle 5-16: Standardabweichung der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} des Trockenwettermittels „*Arbeitsstag*“

CSB-Fractionen	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
Standardabweichung	7,4	4,4	0,5	4,0

Mit den vorhandenen Daten der Einzelmessungen aus der Tabelle 5-14 bzw. Tabelle 5-15 wird das Trockenwettermittel „*Arbeitsstag*“ generiert. Die relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} werden mit einem Kreisdiagramm in Abbildung 5-12 und die absoluten Konzentrationen über ein Balkendiagramm in Abbildung 5-13 dargestellt.

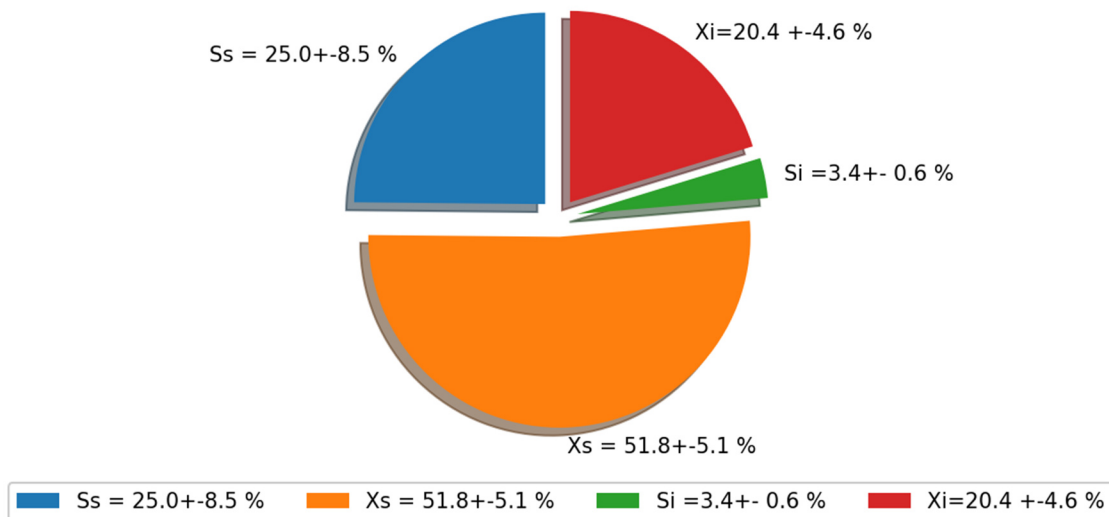


Abbildung 5-12: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} mit den Konfidenzintervallen des 0,95 Quantil für einen zweiseitigen Vertrauensbereich des Trockenwettermittels „Arbeitstag“

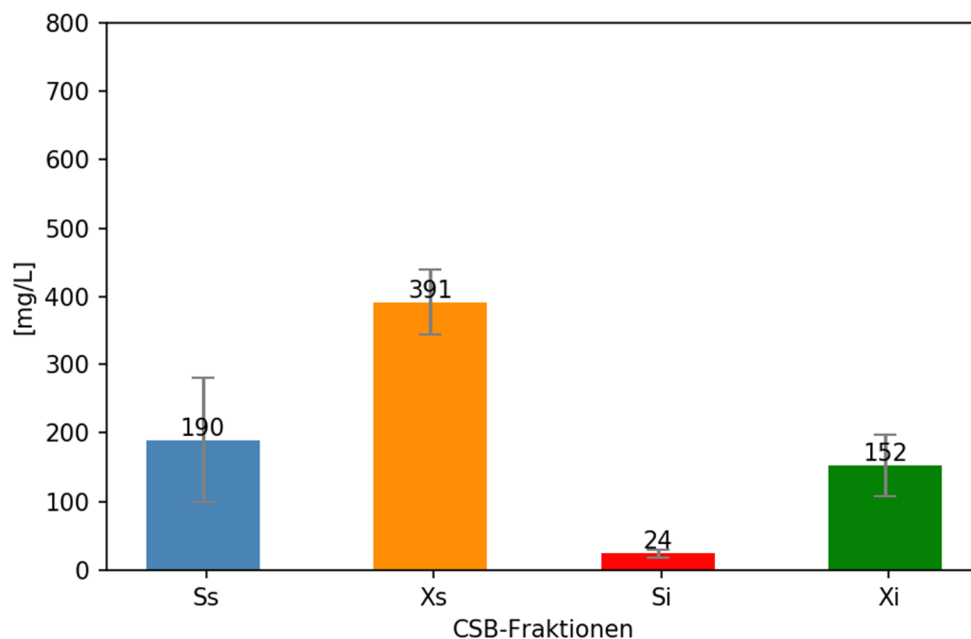


Abbildung 5-13: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen vom Trockenwettermittel „Arbeitstag“

5.3.3 Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

Für die Ermittlung des Trockenwettermittels „*Wochenend- und Feiertag*“ wird gleich wie im Kapitel 5.3.2 Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vorgegangen. Jedoch mit der Ausnahme, dass die analytisch bestimmten CSB-Fractionen der Einzelmessungen aus Samstagen, Sonn- und Feiertagen bestehen. In Tabelle 5-17 und Tabelle 5-18 werden Angaben über die absoluten Konzentrationen, über die

relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} , deren Mittelwerte und Streumaße, sowie der CSB_{ges} und die Q_{ARA} -Zulaufmengen aller Einzelmessungen aufgelistet.

Die einzelnen Zulaufmengen Q_{ARA} , dargestellt in der Abbildung 5-14, bewegen sich zwischen Volumenmengen von 60 460 m^3/d und 73 067 m^3/d . Laut Pichler (2018) befinden sich die Zulaufvolumen der Messkampagnen in den vorgegeben Bereichen. Die CSB_{ges} -Konzentrationen, wie aus Abbildung 5-14 zu entnehmen ist, schwanken mit einer Standardabweichung von 143 mg/L etwas stärker.

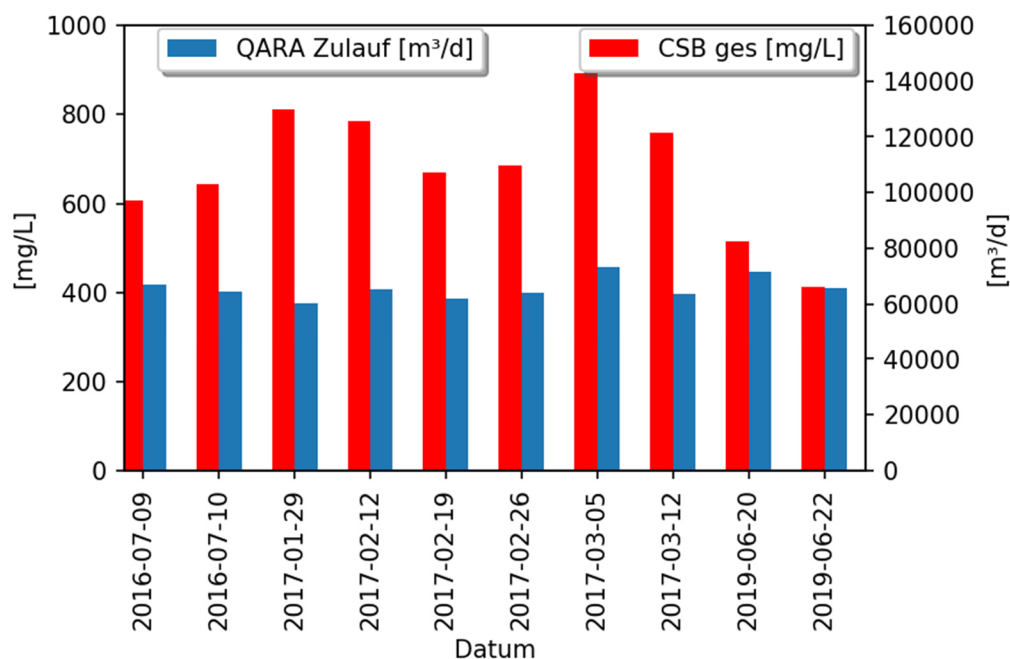


Abbildung 5-14: Q_{ARA} -Zulaufmenge und CSB_{ges} -Konzentrationen der Trockenwettertage für die Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

Abbildung 5-15 und Abbildung 5-16 zeigen die CSB-Fraktionen in ihren relativen und absoluten Mengenangaben der Einzelmessungen mit Hilfe von Balkendiagrammen.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-17: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen der Tagestyp-Gruppe „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]
09.07.2016	66953	608	108	301	22	177
10.07.2016	64349	645	89	351	24	182
29.01.2017	60460	812	221	439	22	131
12.02.2017	65206	785	188	437	30	131
19.02.2017	61941	669	180	367	21	102
26.02.2017	63930	686	183	383	21	100
05.03.2017	73067	892	179	615	23	75
12.03.2017	63810	760	180	408	22	150
20.06.2019	71477	515	141	207	22	145
22.06.2019	65744	414	91	171	15	137
Mittelwert	65694	679	156	368	22	133
Std. Abweichung	3938	143	46	126	4	34

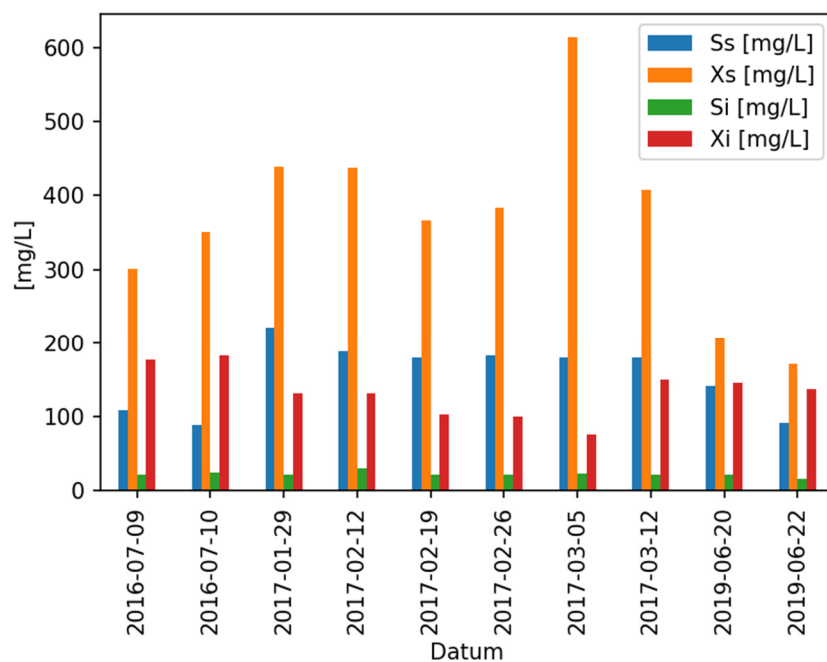


Abbildung 5-15: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen

Tabelle 5-18: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} der Tagestyp-Gruppe „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen

Datum	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]	S_s [%]	X_s [%]	S_i [%]	X_i [%]
09.07.2016	66953	18	50	4	29
10.07.2016	64349	14	54	4	28
29.01.2017	60460	27	54	3	16
12.02.2017	65206	24	56	4	17
19.02.2017	61941	27	55	3	15
26.02.2017	63930	27	56	3	15
05.03.2017	73067	20	69	3	8
12.03.2017	63810	24	54	3	20
20.06.2019	71477	27	40	4	28
22.06.2019	65744	22	41	4	33
Mittelwert	65694	23,0	52,9	3,5	20,9
Std. Abweichung	3938	4,4	8,2	0,5	8,1

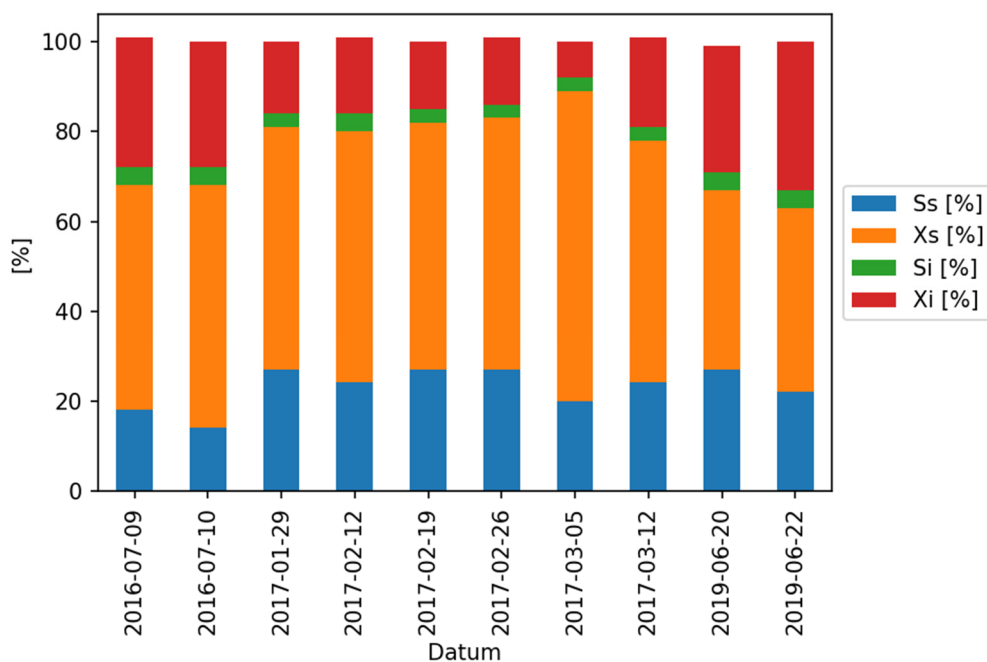


Abbildung 5-16: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ an Trockenwettertagen

Die Standardabweichungen für die CSB-Fractionen X_s und X_i sind bei dem Trockenwettermittel „*Wochenend- und Feiertag*“ mit 8,2 % und 8,1 % größer als jene Standardabweichungen aller Trockenwettertage mit 6,8 % für X_s und 6,9 % für X_i . Für die CSB-Fraction S_i ist die Standardabweichung für die Trockenwettertage mit 5,5 % größer als jene des Trockenwettermittels „*Wochenend- und Feiertag*“ mit 4,6 %. Die Standardabweichungen für das Trockenwettermittel „*Wochenend- und Feiertag*“ werden in der folgenden Tabelle 5-19 angegeben.

Tabelle 5-19: Standardabweichung der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} des Trockenwettermittels „*Wochenend- und Feiertag*“

CSB-Fractionen	S_s [%]	X_s [%]	S_i [%]	X_i [%]
Standardabweichung	4,5	8,2	0,5	8,1

Abermals wird mit den vorhandenen Daten der Einzelmessungen aus Tabelle 5-17 und Tabelle 5-18 das Trockenwettermittel „*Wochenend- und Feiertag*“ generiert, welches in Abbildung 5-17 und Abbildung 5-18 mit Hilfe eines Balkendiagramms und eines Kreisdiagramms dargestellt wird.

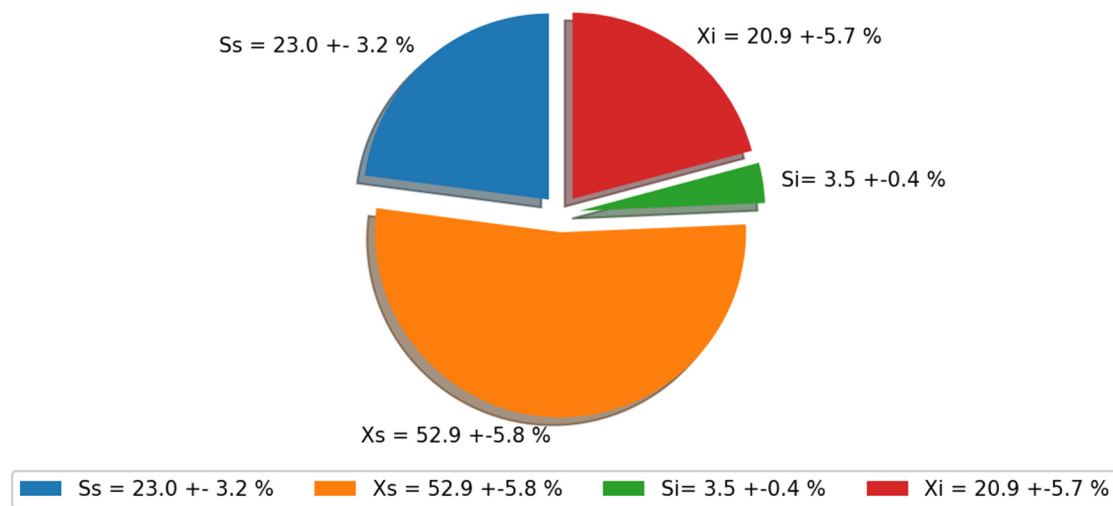


Abbildung 5-17: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} mit den Konfidenzintervallen des 0,95 Quantil für einen zweiseitigen Vertrauensbereich des Trockenwettermittels „*Wochenend- und Feiertag*“

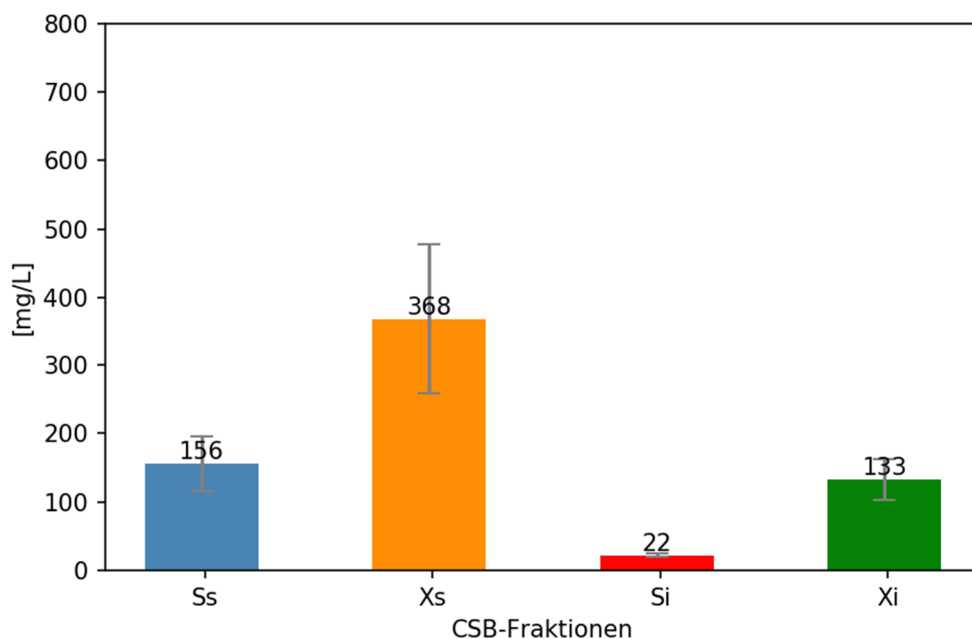


Abbildung 5-18: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen von Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

5.3.3.1 Ausreißer

In der Darstellung der CSB_{ges} -Konzentrationen aller Einzelmessungen an Wochenend- und Feiertagen, zu entnehmen aus der Abbildung 5-14, sind drei Ausreißer am 5. März 2017, am 20. Juni 2019 und am 22. Juni 2019 in Bezug auf deren Konzentrationen zu erkennen. Die mittlere CSB_{ges} -Konzentrationshöhe der Wochenend- und Feiertage liegt mit 679 mg/L (siehe Tabelle 5-17) unter der vorgegebenen mittleren Konzentrationsfracht von 750 bzw. 760 mg/L nach Pichler (2018) (siehe auch Tabelle 4-2).

Die CSB_{ges} -Konzentrationen der drei genannten Ausreißer über bzw. unterschreiten etwas diesen Mittelwert. Auch bei den relativen und absoluten CSB-Fractionen, die im Zusammenhang mit dem CSB_{ges} stehen, sind diese Ausreißer zu erkennen.

Der Grund für die geringeren CSB_{ges} -Konzentrationen am 20. Juni 2019 und am 22. Juni 2019 könnte an dem langen Wochenende liegen. Der Feiertag könnte von vielen Bewohnern als Urlaubstag genutzt worden sein und zusammen mit dem Freitag, Samstag und Sonntag zu einem Vier-Tage Urlaub ausgeweitet worden sein. Dies hätte zur Folge, dass sich in diesem Zeitraum weniger Menschen im Einzugsgebiet der Kläranlage Graz befunden haben, da sie für einen Urlaub in diverse Freizeitregionen ausgewichen sind. Hinzu kommt auch, dass weniger Arbeitsleistungen an freien Tagen stattfinden und dies ebenfalls zu einer geringeren CSB_{ges} -Konzentration beiträgt.

Für die höchste gemessene CSB_{ges}-Konzentration am 05. März 2017 von 892 mg/L und einer deutlich unterschiedlichen prozentuellen CSB-Fraktionsverteilung konnte bislang keine Erklärung gefunden werden.

5.3.4 Vergleich der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“

Bei dem Vergleich der beiden Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“ und „*Wochenend- und Feiertag*“ ergeben sich keine großen Unterschiede, was besonders beim Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} gut zu erkennen ist (siehe Abbildung 5-20 und Tabelle 5-20).

An Wochenend- und Feiertagen ergeben sich im Vergleich zu Arbeitstagen geringere Trockenwetterzulaufvolumen zur Kläranlage Graz Gössendorf. Die CSB_{ges}-Konzentrationen liegen beim Tagestyp „*Arbeitstag*“ im Mittel bei 759 mg/L und beim Tagestyp „*Wochenend- und Feiertag*“ bei 679 mg/L (siehe Tabelle 5-20).

Die ermittelten CSB_{ges}-Summen, die sich durch die Multiplikation der mittleren CSB_{ges}-Konzentrationen und der mittleren Q_{ARA}-Zulaufmenge ergeben, sind für Wochenend- und Feiertage mit ca. 45 t geringer als für Arbeitstage mit ca. 55 t.

Die mittleren absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen, aus der Abbildung 5-19 zu entnehmen, sind für das Trockenwetter Mittel „*Wochenend- und Feiertag*“ geringer. Dies ist auf die geringeren Q_{ARA}-Zulaufmengen und CSB_{ges}-Konzentrationen an Samstagen, Sonn- und Feiertagen zurückzuführen. In der Arbeit von Pichler (2018) gibt es dazu Messergebnisse, die auf eine geringere CSB_{ges}-Konzentration und Q_{ARA}-Zulaufvolumen an Wochenend- und Feiertagen hinweisen.

Tabelle 5-20: Genüßerstellung der Mittelwerte von den Gruppen „Arbeitstag“ und „Wochenend- und Feiertag“

Tagestyp-Gruppe		Q _{ARA} -Zu- lauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
Arbeitstag		73135	759	190	391	24	152	25,0	51,8	3,4	20,4
Arbeitstag	Std. Abweichung	4323	26	60	32	4	30	7,4	4,4	0,5	4,0
Wochenend- und Feiertag		65694	679	156	368	22	133	23,0	52,9	3,5	20,9
Wochenend- und Feiertag	Std. Abweichung	3938	143	46	126	4	34	4,4	8,2	0,5	8,1

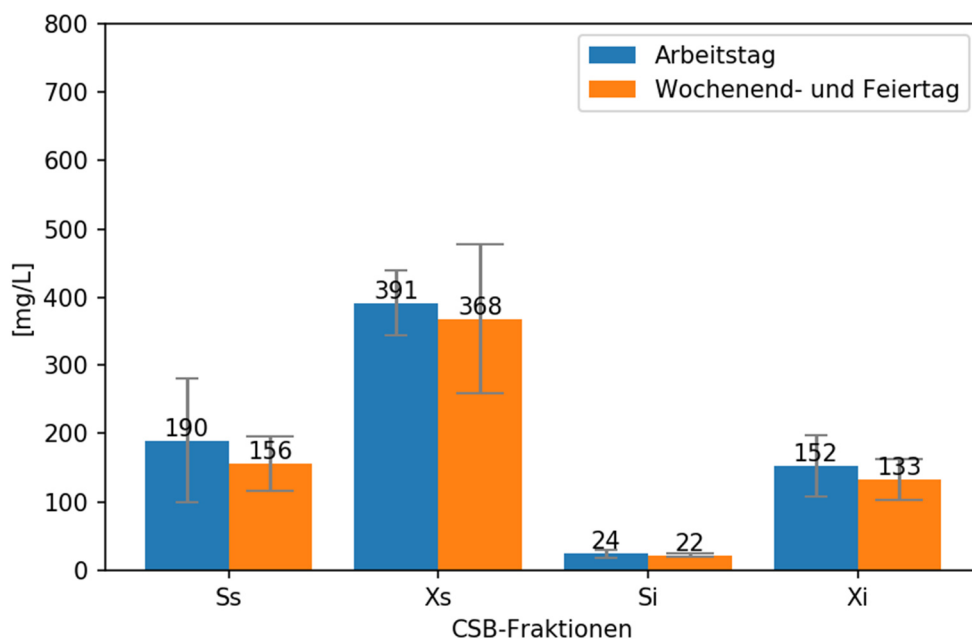


Abbildung 5-19: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen von Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“

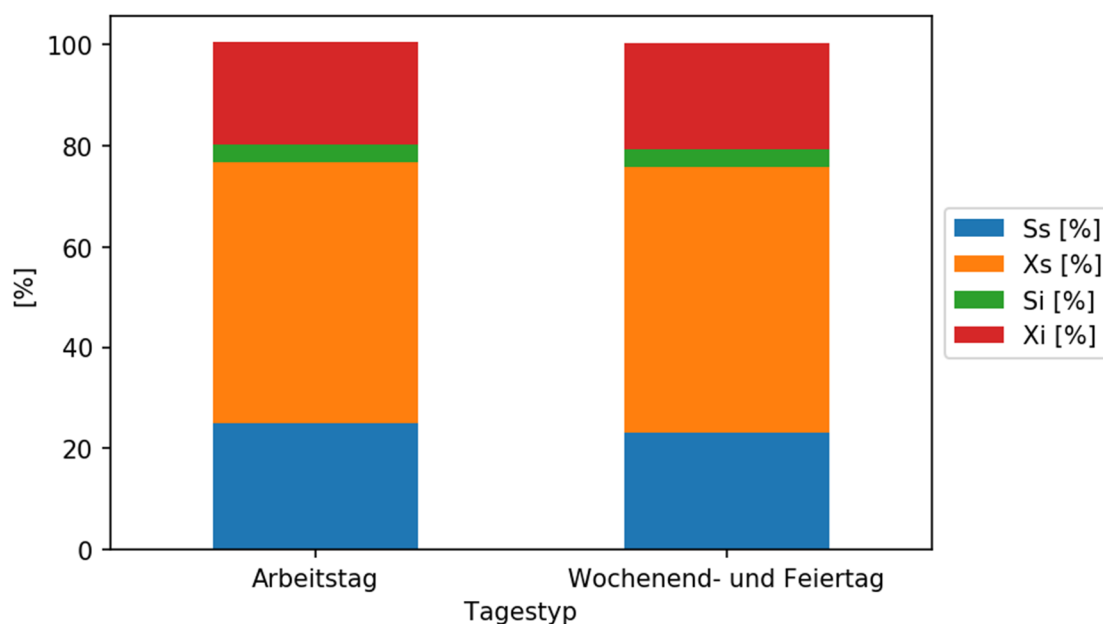


Abbildung 5-20: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} von Trockenwettermittel „Arbeitstag“ vs. „Wochenend- und Feiertag“

5.3.5 Vergleich der Trockenwettermittel der Messreihen M1, M2 und M3

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die drei Messkampagnen M1, M2 und M3 und deren Trockenwetterdaten einander gegenüberzustellen. Es werden die Trockenwettermittel der Gruppe „*Arbeitstag*“ und der Gruppe „*Wochenend- und Feiertag*“ miteinander verglichen. Aufgrund der geringen Datenmenge sind diese Vergleiche und die daraus folgenden Schlüsse allerdings nur bedingt aussagekräftig.

5.3.5.1 Vergleich der Trockenwettermittel M1 und M3 der Tagestypen Gruppe „Arbeitsstag“

Damit die Änderung der CSB-Fraktionen der beiden Messreihen M1 und M3 vergleichbar ist, müssen für beide Messreihen Mittelwerte gebildet werden. Zu unterscheiden sind das Trockenwettermittel der Messreihe M1 mit dem Akronym „TW Arb. M1“ und das der Messreihe M3 mit dem Akronym „TW Arb. M3“.

Die Einzelmessungen beinhalten die Trockenwettertage des Tagestyps „*Arbeitsstag*“. Die Messreihe M1 beinhaltet zwei und die Messreihe M3 drei Trockenwettertage (siehe Tabelle 5-21 und Tabelle 5-22). Aus der Messreihe M2 im Jahr 2017 sind keine Trockenwettertage an Arbeitstagen zu entnehmen, da ausschließlich Bestimmungen der CSB-Fraktionierungen an Sonntagen (in dieser Masterarbeit als Tage des Tagestyps „*Wochenend- und Feiertage*“) durchgeführt worden sind. Problematisch an dieser Vergleichsstudie ist die geringe Anzahl von nur fünf Messtagen.

Die Gegenüberstellung der Trockenwettermittel der Messkampagnen M1 und M3 in Bezug auf die relativen und absoluten Verteilungen sind in Abbildung 5-21 und Abbildung 5-22 dargestellt.

Da die mittleren CSB_{ges}-Konzentrationen der zwei zu untersuchenden Messkampagnen mit 749,5 mg/L der Messung M1, und 764,7 mg/L der Messung M3 annähernd ident sind, können die relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} in der Abbildung 5-22 gut miteinander verglichen werden. Die CSB_{ges}-Konzentrationen sind für den Zeitraum der Sommerferien wegen der fehlenden Studentinnen geringer. Die Messkampagne im Juli 2016 erfolgte bereits im Zeitraum der Sommerferien.

Relative Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} und die absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen für Xs und Xi ergeben bei der Messkampagne M3 geringere Werte gegenüber den Messungen der Kampagne M1. Die gelöste schnell abbaubare CSB-Fraktion Ss steigt hingegen im Jahr 2019 in ihren Konzentrationen sowie in ihrer relativen Verteilung gegenüber den anderen CSB-Fraktionen innerhalb der Anteile am CSB_{ges}.

Das Fazit der Vergleichsstudie der zwei Messkampagnen ist eine Zunahme des relativen Anteils der CSB-Fraktion Si (gelöst schnell abbaubare Stoffe) und eine Abnahme der CSB-Fraktionen Xs und Xi des Trockenwettermittels M3. Dies würde bedeuten, dass ein größerer Anteil an gelöst schnell abbaubaren Stoffen (Ss) in der Abwassermatrix der Messung M3 vorliegt. Wegen der geringen Anzahl an Messergebnissen ist es jedoch unsicher ob diese Aussage tatsächlich zutrifft.

Tabelle 5-21: Messdaten der Tagestyp-Gruppe „Arbeitstag“ 2016 – „TW Arb. M1“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
06.07.2016	76640	763	118	438	22	184	16	58	3	24
07.07.2016	74909	736	142	389	20	184	19	53	3	25
Mittelwert	75775	750	130	414	21	184	17,5	55,5	3,0	24,5

Tabelle 5-22: Messdaten der Tagestyp-Gruppe „Arbeitstag“ 2019 – „TW Arb. M3“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
17.06.2019	77144	739	215	349	29	145	29	47	4	20
18.06.2019	68741	800	268	384	23	124	34	48	3	16
19.06.2019	68242	755	206	396	27	125	27	53	4	17
Mittelwert	71376	765	230	376	26	131	30,0	49,3	3,7	17,7

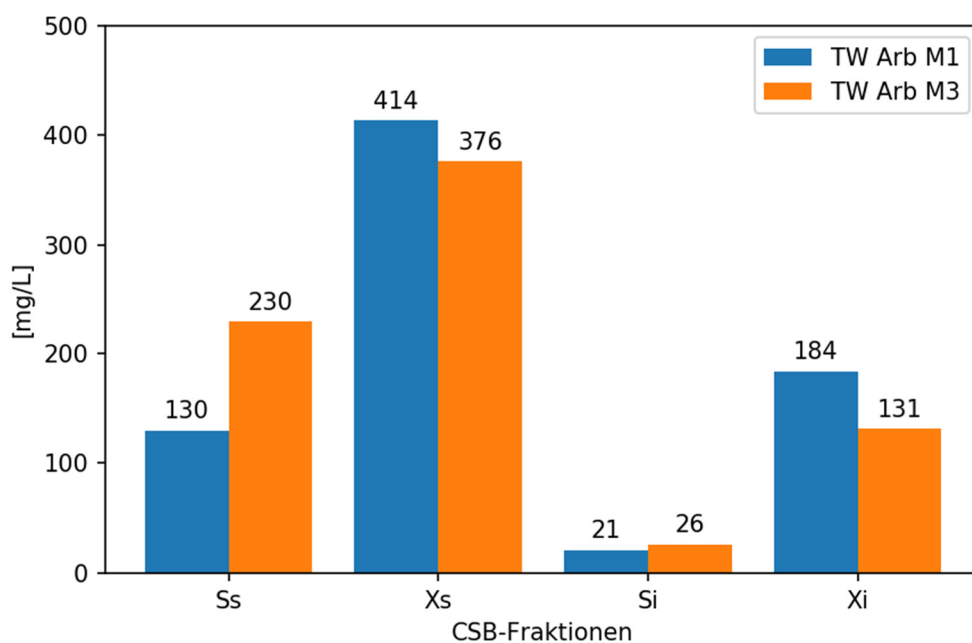


Abbildung 5-21: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ M1 vs. M3

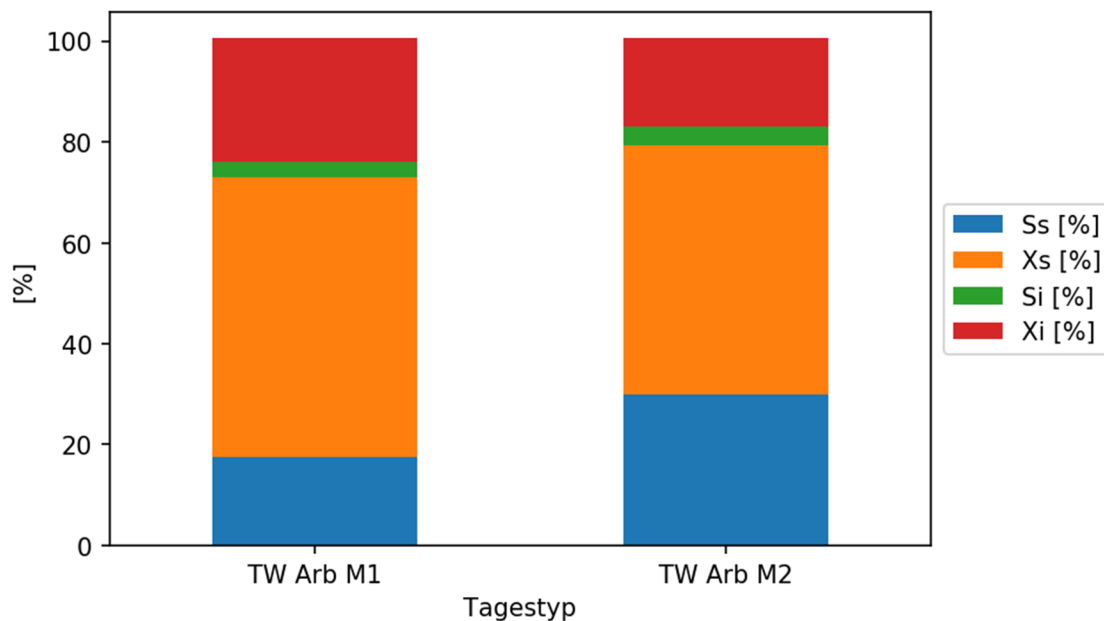


Abbildung 5-22: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} der Trockenwettermittel „Arbeitstag“ M1 vs. M3

5.3.5.2 Vergleich der Trockenwettermittel M1, M2 und M3 der Tagestypen Gruppe „Wochenend- und Feiertag“

Da es innerhalb aller drei Messkampagnen M1, M2 und M3 analytische Bestimmungen der CSB-Fraktionen an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen bzw. an Tagen der Tagestyp-Gruppe „*Wochenend- und Feiertag*“ gegeben hat, können alle drei innerhalb dieser Gruppe verglichen werden. Problematisch erweist sich wiederum die geringe und unterschiedliche Anzahl an Messungen. Für das Jahr 2016 und 2019 erfolgten insgesamt vier Auswertungen der CSB-Fraktionen von Trockenwettertagen an Wochenend- und Feiertagen.

Betrachtet man die Abbildung 5-25 (siehe Seite 79), welche die prozentuellen relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} darstellt, sind große Schwankungen bei den Fraktionen Ss, Xs und Xi zu erkennen. Unter den absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen, aus der Abbildung 5-24 (siehe Seite 79) und den Tabelle 5-23, Tabelle 5-24 und Tabelle 5-25 (siehe Seite 79) zu entnehmen, gibt es ebenfalls große Mengenunterschiede bei den Fraktionen Ss, Xs und Xi.

Für die gemittelten CSB_{ges} -Konzentrationen der Einzelmessungen ergeben sich der höchste gemittelte Wert mit 767 mg/L bei der Messkampagne M2, gefolgt von 626,5 mg/L der Messreihe M1 im Juni bzw. Juli 2016 und dem kleinsten gemittelten Konzentrationswert der Messreihe M3 im Juni mit 464,5 mg/L. In Abbildung 5-23 sind die CSB_{ges} -Konzentrationen dargestellt.

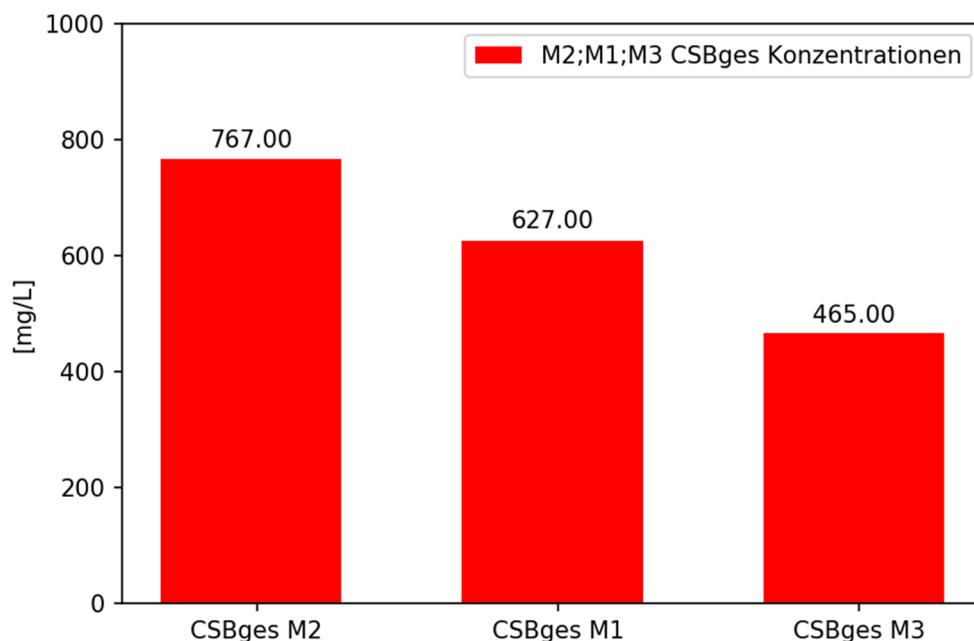


Abbildung 5-23: CSB_{ges}-Konzentrationen der Trockenwettermittel des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ der drei Messkampagnen M1, M2 und M3

Die Mittelwerte der Q_{ARA} -Zulaufmengen weisen sehr ähnliche Größenordnungen auf. Somit kann über die CSB_{ges}-Konzentration und die ermittelten CSB-Fraktionen die Abwasserbeschaffenheit miteinander verglichen werden. Daraus lässt sich schließen, dass Vergleiche der Messkampagnen über die relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} und die absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen aussagekräftig sind.

Betrachtet man in Abbildung 5-25 und Abbildung 5-24 das Trockenwettermittel TW M1, dargestellt in orange, und das Trockenwettermittel TW M3, dargestellt in grün, so ist ein höherer Konzentrationsanteil der Fraktion Ss für das TW M3 zu erkennen.

Die geringere CSB_{ges}-Konzentration der Messreihe TW M3 hat auch eine geringe Konzentration der leicht abbaubaren partikulären Fraktion Xs zur Folge. Die Xs-Konzentration aus TW M3 ist mit 189,2 mg/L deutlich geringer als die TW M1 mit 326,0 mg/L.

Die CSB Fraktion Xi des Trockenwettermittels TW M1 hat eine höhere Konzentration als die des TW M3.

Beide Messkampagnen wurden in der Ferienzeit bzw. Urlaubszeit durchgeführt. TW M1 im Juli 2016 war während den Sommerferien der Studierenden und TW M3 im Juni 2019 fand über ein verlängertes Wochenende statt.

Zusammengefasst gilt, dass sich die relativen Anteile der CSB-Fraktionen am CSB_{ges} der beiden Messkampagnen TW M1 und TW M3 in ihren prozentuellen Verteilungen sehr ähnlich bewegen. Wie bereits erwähnt, sind nur bei den Fraktionen Ss und Xs nennenswerte Unterschiede zu erkennen.

Die in Abbildung 5-25 und Abbildung 5-24 in grün dargestellten Balkendiagramme dienen der Darstellung des Trockenwettermittels TW M2, welches sich aus den Trockenwetterdaten innerhalb der Wintermonate Jänner, Februar und März ergibt. Wie vorher genannt nimmt die Konzentrationshöhe des CSB_{ges} den höchsten Wert mit 767 mg/L ein und hat damit auch höhere absolute CSB-Konzentrationen der CSB-Fraktionen zur Folge. Es stellen sich die größten Fraktionsmengen bei den Ss und Xs Fraktionen ein.

Bei einem Vergleich der Trockenwettermittel **TW M1 mit TW M2 und TW M2 mit TW M3** könnte man jeweils einen Sommer – Winter Vergleich erstellen. Die relativen Anteile der CSB-Fraktionen Ss und Xs am CSB_{ges} sind für das Mittel der Messkampagne M2 höher. Würde man aus dieser Datenaufbereitung einen Unterschied in Bezug auf die Verteilung der Fraktionierung deuten wollen, so müsste man zu dem Entschluss kommen, dass die CSB-Fraktionen Ss und Xs einen höheren Anteil im Winter als im Sommer einnehmen.

Trotz der Vergleiche von Messdaten gleicher Tagestypen ist zu beachten, dass die Messdaten der Messkampagne TW M1 und TW M3 an Ferientagen bestimmt wurden und daher nochmals geringere CSB_{ges}-Konzentrationen aufweisen. In den Wintermonaten, vor allem um die Weihnachtszeit, herrschen die höchsten CSB-Belastungen im Abwasser. Generell sind die Belastungen im Winter höher als in der Urlaubszeit der Sommermonate.

Tabelle 5-23: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M1

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
09.07.2016	66953	608	108	301	22	177	18	50	4	29
10.07.2016	64349	645	89	351	24	182	14	54	4	28
Mittelwert										
TW M1	65651	627	98	326	23	180	16,0	52,0	4,0	28,5

Tabelle 5-24: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M2

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
29.01.2017	60460	812	221	439	22	131	27	54	3	16
12.02.2017	65206	785	188	437	30	131	24	56	4	17
19.02.2017	61941	669	180	367	21	102	27	55	3	15
26.02.2017	63930	686	183	383	21	100	27	56	3	15
05.03.2017	73067	892	179	615	23	75	20	69	3	8
12.03.2017	63810	760	180	408	22	150	24	54	3	20
Mittelwert TW										
M2	64736	767	188	442	23	115	24,8	57,3	3,2	15,2
Std. Abweichung	4410	83	16	90	3	27	2,8	5,8	0,4	4,0

Tabelle 5-25: Messdaten des Tagestyps „Wochenend- und Feiertag“ M3

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
20.06.2019	71477	515	141	207	22	145	27	40	4	28
22.06.2019	65744	414	91	171	15	137	22	41	4	33
Mittelwert TW M3	68611	465	116	189	18	141	24,5	40,5	4,0	30,5

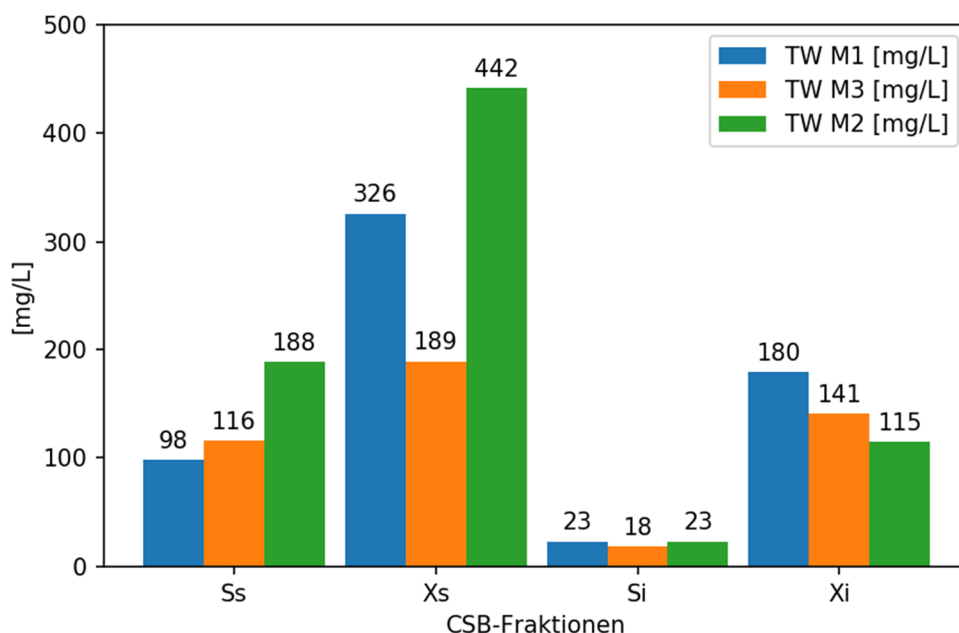


Abbildung 5-24: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen zwischen den Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ der Messkampagnen M1, M2 und M3

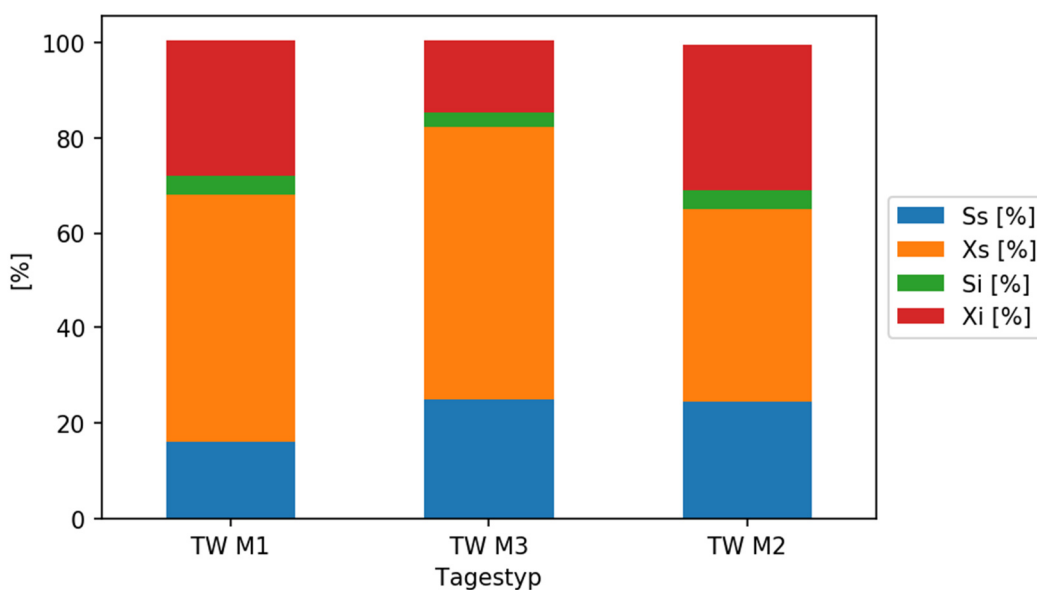


Abbildung 5-25: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} zwischen den Trockenwetter-Mittel „Wochenend- und Feiertag“ der Messkampagnen M1, M2 und M3

5.3.6 Internationaler Vergleich

Ein internationaler Vergleich analytisch bestimmter CSB-Fraktionen von Kläranlagenzuläufen mehrerer Länder wurde bereits von Simic (2016) durchgeführt und im Zuge dieser Masterarbeit erfolgt eine Aktualisierung. Es werden mehrere CSB-Fraktionen von Zuläufen bzw. Rohabwässern diverser Kläranlagen aus der ganzen Welt mit den in dieser Arbeit ermittelten Daten verglichen.

Für den Vergleich mit den recherchierten internationalen CSB-Fraktionen werden die ermittelten CSB-Fraktionen der Trockenwettermittelgruppe „*Arbeitsstag*“ herangezogen. Durch den Vergleich mit den Trockenwettermitteln „*Arbeitsstag*“ kann ohne Einfluss eines Mischwasserfalles durch Regenwettertage ein neutraler Vergleich mit den international recherchierten Daten erfolgen. Die international recherchierten CSB-Fraktionen der ARAs weisen aufgrund der unterschiedlichen Verunreinigungen des Abwassers starke Unterschiede auf. Auch die Bestimmungungsverfahren können sich unterscheiden, weswegen beim direkten Vergleich Vorsicht geboten ist. Herausgeber internationaler Sammlungen von CSB-Fraktionen sind: (Orhon & Çokgör, 1997; Pasztor et al., 2009; Szaja & Aguilar, 2015)

Tabelle 5-26: Literaturwerte von CSB-Fraktionen (Pasztor et al., 2009)

Land/Region	S _i [%]	S _s [%]	X _i [%]	X _s [%]	X _s +X _H [%]**
Nordamerika	10,5	14,1	27,9	-	44,3
Südafrika	5,0	20,0	13,0	-	62,0
Schweiz	14,0	9,0	9,0	56,0	68,0
Dänemark	2,0	20,0	18,0	40,0	60,0
Schweden	15,0	27,0	17,0	33,0	41,0
Dänemark	7,6	20,3	13,0	51,5	58,7
Dänemark	5,0	35,0	10,0	35,0	50,0
Nordamerika	12,0*	15,0	14,5*	-	59,0
Holland	6,0	26,0	39,0	-	28,0
Nordamerika	5,0	16,0	13,0	-	66,0
Frankreich	4,1	3,0	19,0	-	73,9
Deutschland	6,4	18,3	11,3	49,3	64,0
Deutschland	6,1	14,8	13,0	55,4	66,2
Italien	6,0	15,0	8,0	56,0	71,0
Spanien	8,5	18,3	24,9	33,3	48,3
Dänemark	10,0*	15,0*	20,0	40,0*	55,0*
Schweiz	4,0	10,0	20,0	54,1	66,0
Mittelwert	7	18	17	46	58

*auf Fachzeitschriften basierte Schätzungen, ** X_s-Anteil + heterotropher Biomassenanteil X_H

Tabelle 5-27: Trockenwettermittel für die Tagestypen „Arbeitstag“ und „Wochenend- und Feiertag“

Tagestyp-Gruppe	Si [%]	Ss [%]	Xi [%]	Xs + Xh [%]
Arbeitstag	3,4	25,0	20,4	51,8
Wochenend- und Feiertag	3,5	23,0	20,9	52,9

Die Mittelwerte der international gesammelten CSB-Fraktionen unterscheiden sich gegenüber jenen der Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“. Signifikante Unterschiede sind in den Fraktionen Si und Ss zu bemerken. Die Fraktion Si der gemittelten internationalen Daten beträgt 7 % und ist somit um 4 % höher als jene für die in dieser Arbeit ermittelten Trockenwettermittel. Im Grazer Abwasser gibt es einen größeren Anteil für die gelösten leicht abbaubaren Fraktion Ss, was auf weniger stark verschmutztes Abwasser hindeutet. Mit ein Grund dafür kann auch die Abwassereinleitung einer großen Brauerei sein.

Die partikulär inerte CSB-Fraktion Xi liegt für das Grazer Rohabwasser mit 20,4 % und einer Standardabweichung von 4,0 % über dem Mittelwert der international gesammelten mit 17 %. Jedoch haben europäische Länder inklusive der Nachbarländer, wie die Schweiz aber auch Dänemark und Frankreich, ähnlich hohe Anteile für die CSB-Fraktion Xi. Die CSB-Fraktion Xs bzw. Xs+Xh ist für das Grazer Abwasser mit 51,8 % (Std = 4,4 %) niedriger als die international gemittelten mit 58 %. Bei einem internationalen Vergleich wie diesem, sollte man sich jedoch darüber im Klaren sein, dass die untersuchten Abwässer von unterschiedlichen Schmutzquellen beeinflusst werden und in jedem Land eine sehr individuelle Abwassermatrix herrscht. An der Auflistung der gesammelten CSB-Fraktionen internationaler ARAs ist aber zu bemerken, dass die Größenordnungen der CSB-Fraktionen ähnlich sind.

5.4 Mischwasserfall

In diesem Kapitel soll eine klare Darstellung der analytisch bestimmten CSB-Fraktionen einzelner unterschiedlicher Zuläufe im Mischwasserfall erfolgen und diskutiert werden.

Es werden die analytisch bestimmten Parameter der durch Regenwetter beeinflussten Zuläufe aller drei Messreihen M1, M2 und M3 in Tabelle 5-29 und Tabelle 5-30 aufgelistet. Als visuelle Unterstützung für die Veranschaulichung der einzelnen Daten dienen die Abbildung 5-26, Abbildung 5-28 und Abbildung 5-27.

Im Zuge der Messkampagne M3 wurde bewusst versucht starke Niederschlagsereignisse miteinzubeziehen. Die gemessenen Q_{ARA} -Zulaufmengen, dargestellt in Abbildung 5-26 und aufgelistet in Tabelle 5-29, befinden sich zwischen dem Minimal- und Maximalwerten von 80 341 m³/d und 160 172 m³/d.

Aus dem Kapitel 5.2.1 „Betrachtung aller Trocken- und Regenwettertage“ ist bekannt, dass die CSB_{ges} -Konzentration der Zuläufe an Trockenwettertagen im Mittel höher sind als jene an Regenwettertagen. Zurückzuführen ist dies auf den sogenannten Verdünnungseffekt, der ebenfalls im Kapitel 2.1.6 „Verdünnungseffekt“ erläutert wurde. Durch die niedrigeren CSB_{ges} -Konzentrationen, die von der Intensität eines Niederschlagsereignisses und dadurch größeren Q_{ARA} -Zulaufmenge abhängig sind, ergeben sich auch niedrigere Konzentrationen der einzelnen CSB-Fractionen. Die absolute CSB-Summe über die gesamte Zulaufmenge ist bei den höheren Zulaufmengen trotzdem größer. (siehe Tabelle 5-28 und Tabelle 5-9 von Kapitel 5.2.1).

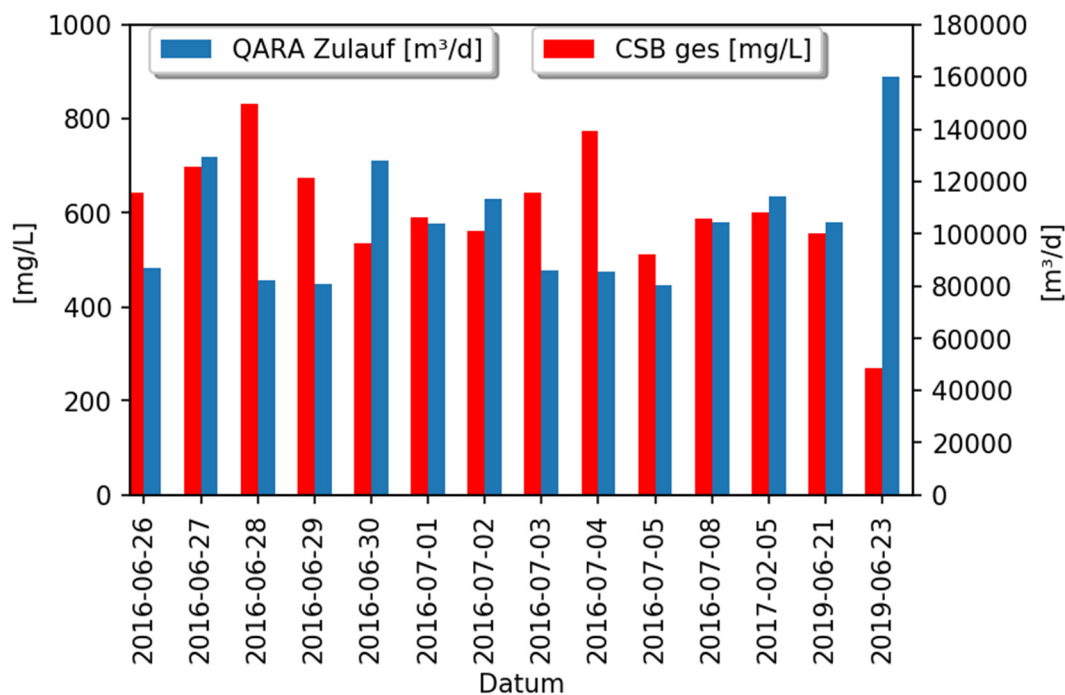


Abbildung 5-26: Q_{ARA} -Zulaufmengen und CSB_{ges} -Konzentrationen von Mischwasserereignissen

Tabelle 5-28: Angaben über die Q_{ARA} -Zulaufmengen, CSB_{ges} -Konzentrationen und CSB Summen aller Messungen von Mischwasserereignissen

Datum	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]	CSB_{ges} [mg/L]	Summe CSB [to]
05.07.2016	80358	643	52
29.06.2016	80961	699	57
28.06.2016	82148	831	68
04.07.2016	85592	675	58
03.07.2016	86281	535	46
26.06.2016	86827	590	51
01.07.2016	103848	562	58
08.07.2016	104327	644	67
21.06.2019	104613	775	81
02.07.2016	113168	511	58
05.02.2017	114137	588	67
27.06.2016	127985	602	77
30.06.2016	129264	556	72
23.06.2019	160172	268	43

Die unterschiedlichen Verteilungen der relativen CSB -Fraktionen am CSB_{ges} bzw. die absoluten Konzentrationen der CSB -Fraktionen sollen analysiert werden. Gereiht nach den Q_{ARA} -Zulaufmengen werden die CSB -Fraktion relativ und absolut in Abbildung 5-27 sowie Abbildung 5-28 dargestellt.

Tabelle 5-29: Absolute Konzentrationen der Mischwasserzuläufe

Datum	Tagestyp	Q_{ARA} -Zu- lauf [m^3/d]	CSB_{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]
26.06.2016	Wochenend- und Feiertag	86827	590	72	339	16	163
27.06.2016	Arbeitstag	129264	556	61	328	18	150
28.06.2016	Arbeitstag	82148	831	140	491	16	184
29.06.2016	Arbeitstag	80961	699	119	422	15	143
30.06.2016	Arbeitstag	127985	602	98	271	15	218
01.07.2016	Arbeitstag	103848	562	83	288	15	176
02.07.2016	Wochenend- und Feiertag	113168	511	66	305	15	125
03.07.2016	Wochenend- und Feiertag	86281	535	79	281	19	157
04.07.2016	Arbeitstag	85592	675	106	382	15	172
05.07.2016	Arbeitstag	80358	643	93	360	16	175
08.07.2016	Arbeitstag	104327	644	129	329	22	165
05.02.2017	Wochenend- und Feiertag	114137	588	156	260	18	155
21.06.2019	Arbeitstag	104613	775	187	389	18	181
23.06.2019	Wochenend- und Feiertag	160172	268	70	128	17	51
Mittelwert		104263	606	104,2	326,6	16,8	158,2
Std. Abweichung		23321	133	38	86	2	38

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-30: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} der Mischwasserzuläufe

Datum	Tagestyp	Q_{ARA} -Zulauf [m^3/d]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
26.06.2016	Son- und Feiertag	86827	12	58	3	28
27.06.2016	Arbeitstag	129264	11	59	3	27
28.06.2016	Arbeitstag	82148	17	59	2	22
29.06.2016	Arbeitstag	80961	17	60	2	21
30.06.2016	Arbeitstag	127985	16	45	3	36
01.07.2016	Arbeitstag	103848	15	51	3	31
02.07.2016	Son- und Feiertag	113168	13	60	3	25
03.07.2016	Son- und Feiertag	86281	15	53	4	29
04.07.2016	Arbeitstag	85592	16	57	2	26
05.07.2016	Arbeitstag	80358	14	56	3	27
08.07.2016	Arbeitstag	104327	20	51	3	26
05.02.2017	Son- und Feiertag	114137	27	44	3	26
21.06.2019	Arbeitstag	104613	24	50	2	23
23.06.2019	Son- und Feiertag	160172	26	48	7	19
Mittelwert		104263	17	53,6	3,1	26,1
Std. Abweichung		23321	5,1	5,6	1,3	4,3

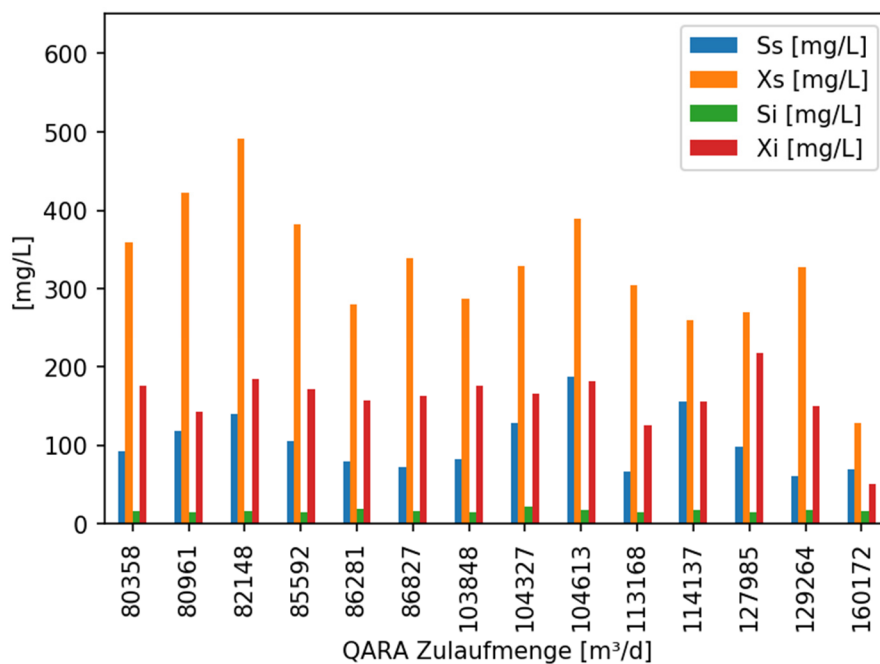


Abbildung 5-27: Absolute Konzentrationen der CSB-Fractionen von Mischwasserereignissen sortiert nach der Zulaufmenge Q_{ARA}

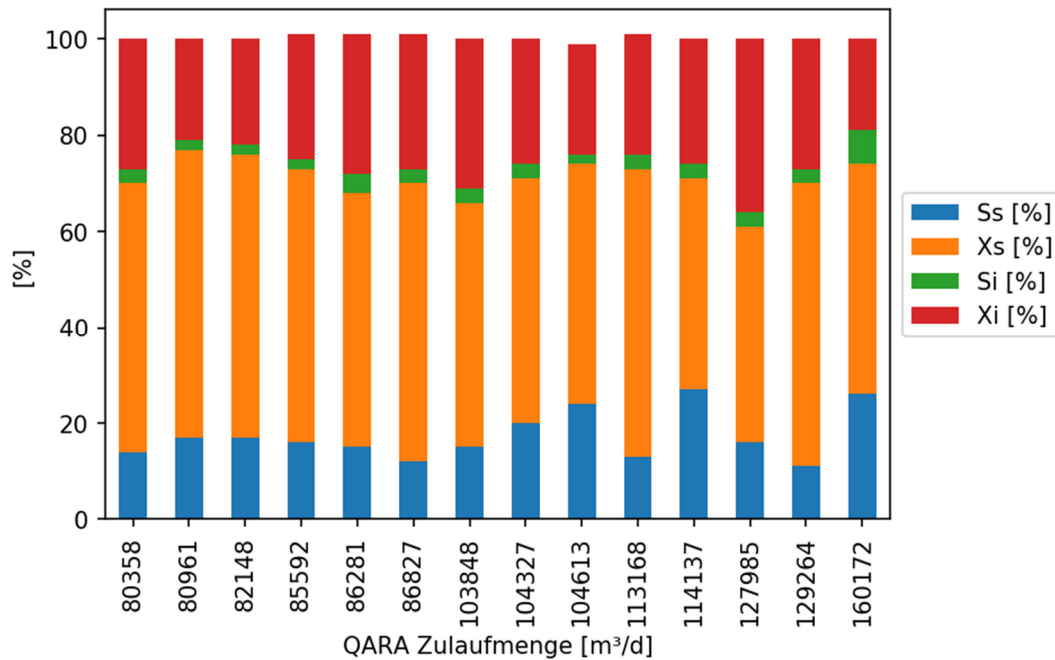


Abbildung 5-28: Relative Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} von Mischwasserereignissen sortiert nach der Zulaufmenge Q_{ARA}

In den nachfolgenden Kapiteln werden ausgewählte Regenwettertage mit den dazu passenden Trockenwettermitteln (TW „*Arbeitstag*“ oder „*Wochenend- und Feiertag*“) verglichen.

5.4.1 Darstellung der vorhandenen Regendaten

Im Zuge dieser Arbeit wurden auch die Niederschlagsdaten für die relevanten Zeiträume gesammelt. Die Regendaten wurden vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz bereitgestellt. Für alle drei Messkampagnen wurden die Niederschlagsmengen zu den jeweiligen Zulaufmengen ausgewertet (siehe Tabelle 5-31, Tabelle 5-32, Tabelle 5-33).

Nach hydrologischen Ansätzen gibt es einen Zeitversatz von ca. 3 Stunden bis ein Niederschlag einen Ablauf zur Kanalisation generiert und in weiterer Folge den Zulauf zur Kläranlage beeinflusst. Für Messungen erhöhter Tageszulaufmengen ist das Niederschlagsereignis am Tag zuvor bzw. im Zeitraum von 24 Stunden zuvor verantwortlich. Wie am Beispiel des Zulaufes vom 21. Juni 2019 um 07:30 Uhr wurde der Zulaufwert von dem Stunden zuvor aufgetretenen Niederschlag generiert (2019-06-20 07:30 – 2019-06-21 07:30).

Bei manchen Messungen der Messkampagne M3 hat sich herausgestellt, dass trotz aufgezeichneter Niederschlagsmessungen kein Mischwasserzulauf über 80 000 m³/d generiert wurde, da die Ereignisse nicht genug Oberflächenabfluss auslösten. Bei diesen kleinen Niederschlagsereignissen wird davon ausgegangen, dass der Niederschlag direkt in die Oberflächen versickert und auf versiegelten Flächen verdunstet, sodass es zu keinem Abfluss in die Mischwasserkanalisation kommt.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5-31: Niederschlag während M1

Datum und Zeitraum des Niederschlagsereignisses	Niederschlagsmenge [mm]	Datum und Zeitpunkt des Zulaufes	Zulaufmenge [m³]
From 2016-06-25 07:30 to 2016-06-26 07:30	0,29	26.06.2016 um 07:30	86.827
From 2016-06-26 07:30 to 2016-06-27 07:30	5,08	27.06.2016 um 07:30	129.268
From 2016-06-27 07:30 to 2016-06-28 07:30	2,45	28.06.2016 um 07:30	82.148
From 2016-06-28 07:30 to 2016-06-29 07:30	0	29.06.2016 um 07:30	80.961
From 2016-06-29 07:30 to 2016-06-30 07:30	18,29	30.06.2016 um 07:30	127.985
From 2016-06-30 07:30 to 2016-07-01 07:30	0,66	01.07.2016 um 07:30	103.848
From 2016-07-01 07:30 to 2016-07-02 07:30	11,81	02.07.2016 um 07:30	113.168
From 2016-07-02 07:30 to 2016-07-03 07:30	0	03.07.2016 um 07:30	86.281
From 2016-07-03 07:30 to 2016-07-04 07:30	0	04.07.2016 um 07:30	85.592
From 2016-07-04 07:30 to 2016-07-05 07:30	0,35	05.07.2016 um 07:30	80.358
From 2016-07-05 07:30 to 2016-07-06 07:30	0	06.07.2016 um 07:30	76.640
From 2016-07-06 07:30 to 2016-07-07 07:30	0	07.07.2016 um 07:30	74.909
From 2016-07-07 07:30 to 2016-07-08 07:30	0	08.07.2016 um 07:30	104.327
From 2016-07-08 07:30 to 2016-07-09 07:30	0	09.07.2016 um 07:30	66.953
From 2016-07-09 07:30 to 2016-07-10 07:30	0	10.07.2016 um 07:30	64.349

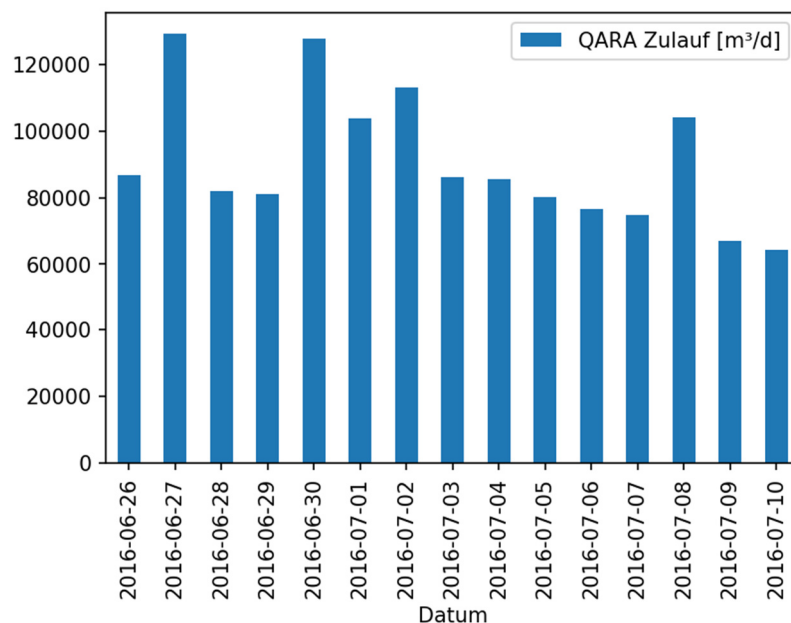


Abbildung 5-29: Mischwasserzuläufe während M1

Tabelle 5-32: Niederschlag während M2

Datum und Zeitraum des Niederschlagsereignisses	Niederschlagsmenge [mm]	Datum und Zeitpunkt des Zulaufes	Zulaufmenge [m³]	CSB-Fraktionierung
From 2017-02-01 07:30 to 2017-02-02 07:30	0,00	02.02.2017 um 07:30	71.620	Nein
From 2017-02-02 07:30 to 2017-02-03 07:30	0,01	03.02.2017 um 07:30	80.626	Nein
From 2017-02-03 07:30 to 2017-02-04 07:30	1,86	04.02.2017 um 07:30	80.968	Nein
From 2017-02-04 07:30 to 2017-02-05 07:30	13,20	05.02.2017 um 07:30	114.137	Ja
From 2017-02-05 07:30 to 2017-02-06 07:30	9,53	06.02.2017 um 07:30	136.800	Nein
From 2017-02-06 07:30 to 2017-02-07 07:30	0,00	07.02.2017 um 07:30	76.297	Nein

Tabelle 5-33: Niederschlag während M3

Datum und Zeitraum des Niederschlagsereignisses	Niederschlagsmenge [mm]	Datum und Zeitpunkt des Zulaufes	Zulaufmenge [m³]
From 2019-06-16 07:30 to 2019-06-17 07:30	4,52	17.06.2019 um 07:30	77.144
From 2019-06-17 07:30 to 2019-06-18 07:30	0,00	18.06.2019 um 07:30	68.741
From 2019-06-18 07:30 to 2019-06-19 07:30	0,00	19.06.2019 um 07:30	68.477
From 2019-06-19 07:30 to 2019-06-20 07:30	1,45	20.06.2019 um 07:30	71.477
From 2019-06-20 07:30 to 2019-06-21 07:30	12,86	21.06.2019 um 07:30	104.613
From 2019-06-21 07:30 to 2019-06-22 07:30	0,35	22.06.2019 um 07:30	65.744
From 2019-06-22 07:30 to 2019-06-23 07:30	26,52	23.06.2019 um 07:30	160.172
From 2019-06-23 07:30 to 2019-06-24 07:30	9,53	24.06.2019 um 07:30	

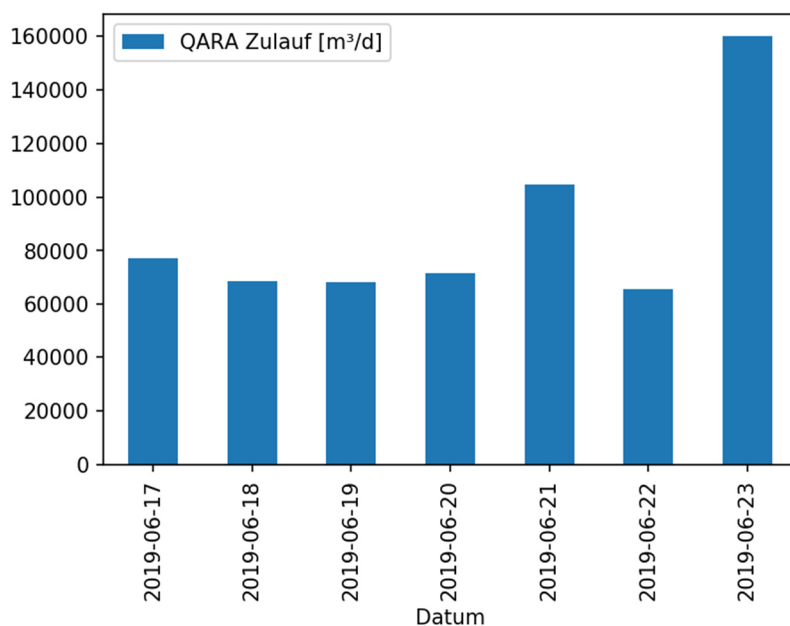


Abbildung 5-30: Mischwasserzuläufe während M3

5.4.2 Vergleich ausgewählter Mischwasserereignisse mit dem dazu passenden Trockenwettermittel

Für die Vergleichsstudie werden fünf repräsentative Mischwasserereignisse (siehe Tabelle 5-34) ausgewählt. Die Vorgangsweise erfolgt wie im Methodik-Teil Kapitel 4.2.2 „Auswahl von Mischwassertagen und deren Vergleiche mit dem Trockenwettermittel“ beschrieben. Die CSB-Fraktionierungen der fünf ausgewählten Mischwasserereignisse werden in dem nachstehenden Kapitel mit den jeweiligen Trockenwettermittel verglichen.

Tabelle 5-34: Eigenschaften der ausgewählten Mischwasserzuläufe

Mischwasserereignis	Akronym	Größe	Zulaufmenge [m³/d]	Niederschlagsmenge für MW Ereignis [mm]
23.06.2019	MWG 19	Groß	160 172	26,52
05.02.2017	MWM 17	Mittel	116 337	13,20
08.07.2016	MWKM 16	Klein-Mittel	104 000	
21.06.2019	MWKM 19.2	Klein-Mittel	104 000	12,86
30.06.2016	MWM 16.2	Mittel	129 000	18,29

5.4.2.1 Mischwasserzulauf MWG 19

Beim Mischwasserzulauf MWG 19 handelt es sich mit 160 172 m³/d bei einem gemessenen Niederschlag von 26.52 mm um die größte gemessene Zulaufmenge der drei durchgeführten Messkampagnen (siehe Tabelle 5-37, Seite 91).

Bei den zwei Messtagen zuvor handelt es sich am 21. Juni 2019 um einen Regenwettertag und bei dem 22. Juni 2019 um einen Trockenwettertag. Freitag der 21. Juni 2019 ist als Regenwettertag mit einer Zulaufmenge von 104 613 m³/d datiert und hat eine CSB_{ges}-Konzentration von 775 mg/L. Die Niederschlagsmenge beträgt 12,86 mm (siehe Tabelle 5-33). Die CSB_{ges} Summe von 81 t gleicht dem Maximalwert laut Pichler (2018). Für Samstag den 22. Juni 2019 beträgt die Q_{ARA}-Zulaufmenge 65 744 m³/d und die CSB_{ges}-Konzentration 414 mg/L. Die CSB_{ges} Summe von 27 Tonnen liegt unter der minimalen Zulaufmenge laut Pichler (2018). Durch den Einfluss unterschiedlicher Witterungsverhältnisse und den Unterschied von Wochenend- zu Wochentag unterschieden sich die vorkommenden Q_{ARA}-Zulaufmengen und CSB_{ges}-Konzentrationen der zwei Tage relativ stark. (siehe Tabelle 5-35)

In Tabelle 5-35 wird auch Donnerstag der 20. Juni 2019 angeführt, da es sich hier um den beweglichen Feiertag Fronleichnam handelt. Wegen dem Feiertag, dem darauffolgenden Wochenende und den dazwischen liegenden Freitag als Fenstertag wurde dieser Zeitraum von vielen Menschen als ein verlängertes Wochenende bzw. Kurzurlaub genutzt. Dieser Umstand kann die Werte von Sonntag dem 23. Juni 2019 beeinflussen (siehe Kapitel 5.3.3.1 „Ausreißer“). Bei

der Zulaufmenge von 71 477 m³/d an Fronleichnam handelt es sich um einen Trockenwetterzulauf mit einer CSB_{ges}-Konzentration von 515 mg/L. Die geringen CSB_{ges}-Konzentrationen am Feiertag und an den Wochenendtagen, Samstag und Sonntag, deuten auf das besagte Urlaubswochenende hin. Der Freitag, ein sogenannter „Fenstertag“, weist jedoch größere CSB_{ges}-Konzentrationen auf, da er für die viele Menschen wiederum ein Arbeitstag ist. In Tabelle 5-36 werden die CSB_{ges}-Konzentrationen und CSB_{ges} Summen verglichen.

Tabelle 5-35: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis des MWG 19

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]	Wetter
20.06.2019	71477	515	141	207	22	145	27	40	4	28	Trockenwetter
21.06.2019	104613	775	187	389	18	181	24	50	2	23	Regenwetter
22.06.2019	65744	414	91	171	15	137	22	41	4	33	Trockenwetter

Die absoluten und relativen Konzentrationen der CSB-Fractionen des Mischwasserfalls MWG 19 werden mit jenen des Trockenwettermittels des Tagestyps „*Wochenend- und Feiertag*“ verglichen. In der Abbildung 5-31 wird die Gegenüberstellung der Zulaufmengen und der CSB_{ges}-Konzentrationen dargestellt.

Die CSB_{ges}-Konzentration des Mischwasserfalls liegen mit 268 mg/L deutlich unter dem Mittelwert des Trockenwettermittels „*Wochenend- und Feiertag*“ mit 679 mg/L. Die für den Mischwasserfall geringe CSB_{ges}-Konzentration und CSB Summe von 43 t ist auf den Einfluss des verdünnenden Regenwassers zurückzuführen (siehe Tabelle 5-36).

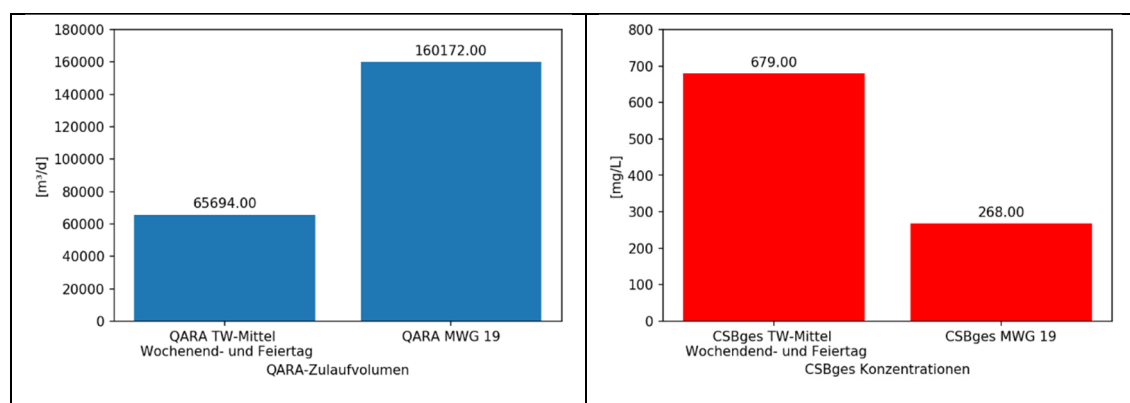


Abbildung 5-31: Vergleich der Q_{ARA}-Zulaufmengen und CSB_{ges}-Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ mit dem Mischwasserereignis MWG 19

Tabelle 5-36: Angaben von CSB_{ges}-Konzentrationen und CSB Summen

Datum	CSB _{ges} [mg/L]	Summe CSB [t]
20.06.2019	515	37
21.06.2019	775	81
22.06.2019	414	27
23.06.2019	268	43

Die Gegenüberstellung der absoluten Konzentrationen und der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} ist in Tabelle 5-37 und Abbildung 5-32 bzw. Abbildung 5-33 zu finden.

Vergleicht man die absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen des Mischwasserereignisses mit jenen der Trockenwettermittel, so sind die Ss- und Xs-Konzentrationen um 55 % bzw. 65 % geringer und die Si- und Xi-Konzentrationen um 23 % bzw. 55 % geringer (siehe Tabelle 5-37 und Abbildung 5-32).

Vergleicht man die relativen Anteile der CSB-Fractionen, bezogen auf die jeweilige CSB_{ges}-Konzentration, unterscheiden sich die CSB-Fractionen anders. Die Anteile der CSB-Fractionen Ss und Si sind für den Mischwasserfall vom 23. Juni 2019 um 3 % bzw. 3,5 % höher als die CSB-Fractionen des Trockenwettermittels. Für die CSB-Fractionen Xs und Xi ergeben sich 5 % bzw. 4 % größere Anteile für das Trockenwettermittel.

Im Gegensatz zu den anderen Mischwasserereignissen, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden, ergibt sich für dieses Mischwasserereignis im Vergleich zum Trockenwettermittel ein höherer relativer Anteil der CSB-Fraktion Ss, welcher mit einem niedrigeren Anteil der CSB-Fraktion Xi am CSB_{ges} einhergeht. Dies könnte auf ein bereits im Vorfeld aufgetretenes kleineres Niederschlagsereignis (wie etwa das Mischwasserereignis am 21. Juni 2019) zurückgeführt werden, wodurch die an den befestigten Oberflächen abgelagerten Partikeln zum Teil schon abgespült worden sind und auch der Abtransport von abgelagerten ausgefaulten Stoffen an der Kanalsohle schon stattgefunden haben könnte. Man könnte auch vermuten, dass bei einem enormen Mischwasserereignis, wie dem in diesem Kapitel behandelten, es durch die großen Niederschlagsmengen und Zulaufmengen innerhalb des Ereignisses zu einer Ausschöpfung der Abschwemmung von abgelagerten Partikeln an der Oberfläche sowie den abgelagerten Partikeln an der Kanalsohle kommen kann. Mit dem Begriff Ausschöpfung ist gemeint, dass es bei derart großen Abflussmengen von Oberflächen schon bei einer Bruchmenge der gesamten Abflussmenge zu einer totalen Abspülung bzw. Abschwemmung kommen kann und bei weiteren Abflussmengen nur mehr eine Verdünnung des Abwassers mit Regenwasser passiert. Das Gleiche gilt für die Abspülung im Kanalstrang. Dadurch kommt es zu einem geringeren Anteil der CSB-Fraktion Xi. Hinzuzufügen ist jedoch, dass es sich hier nur um eine stärkere Änderung der schwer abbaubaren Partikeln Xi handelt.

Tabelle 5-37: Vergleich des Mischwasserereignis MWG 19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
23.06.2019	160172	268	70	128	17	51	26	48	7	19
TW-Mittel Woch.	65694	679	156	368	22	133	23,0	52,9	3,5	20,9

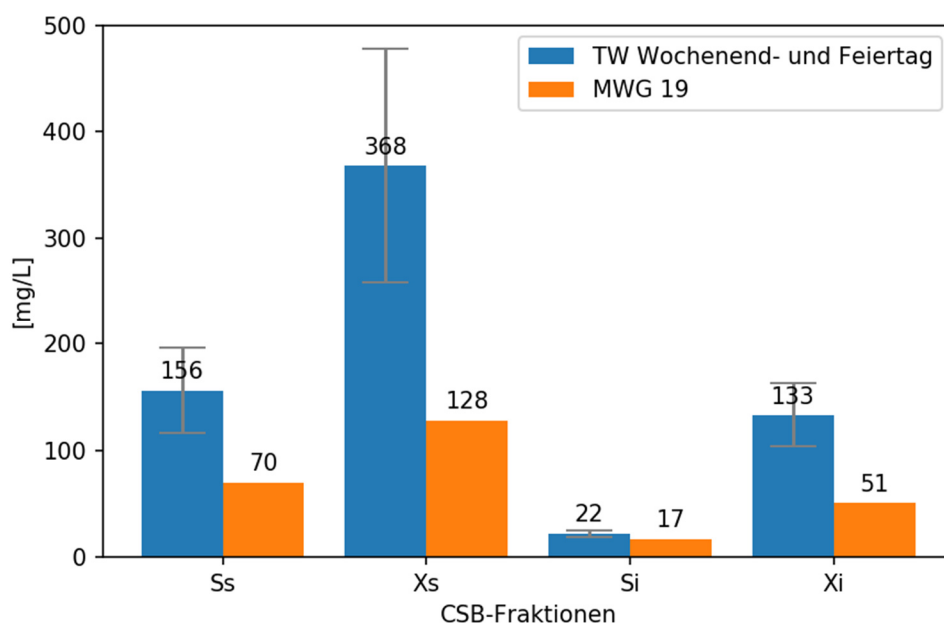
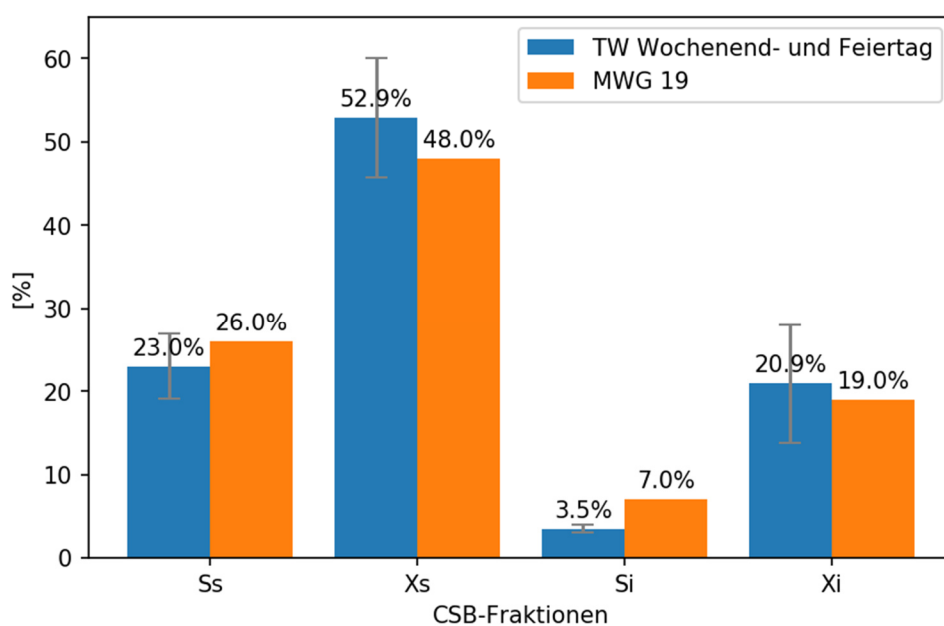


Abbildung 5-32: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen vom Mischwasserereignis MWG19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

Abbildung 5-33: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} vom Mischwasserereignis MWG 19 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

5.4.2.2 Mischwasserzulauf MWM 17

Bei dem Mischwasserzulauf MWM 17 am Sonntag dem 05. Februar 2017 handelt es sich um einen Regenwettertag während einem Wintermonat der Messkampagne M2. Das Niederschlagsereignis (siehe Tabelle 5-33) generiert ein Tageszulaufvolumen zur Kläranlage Graz Gössendorf von 116 337 m³ (siehe Abbildung 5-34).

Es gibt keine analytisch bestimmten CSB-Fractionen der Tage zuvor. Allerdings sind Niederschlagsmengen und Q_{ARA}-Zulaufmengen aus diesem Zeitpunkt bekannt. Für die drei Tage zuvor wurden Niederschlagsereignisse mit nur sehr geringen Regenmengen aufgezeichnet. Eine knapp über 70 000 m³/d hohe Tageszulaufmenge ist für den 02. Februar 2017 aufgezeichnet worden. Am 03. und 04. Februar 2017 sind die Tageszulaufmengen knapp über 80 000 m³/d und gelten somit als Regenwettertage bzw. Mischwasserzuläufe.

Die CSB_{ges}-Konzentrationen liegen für den MWM 17 durch den Einfluss des verdünnten Regenwassers mit 588 mg/L unter dem Mittelwert des Trockenwettermittels für die Gruppe „*Wochenend- und Feiertag*“ mit 679 mg/L (siehe Abbildung 5-34).

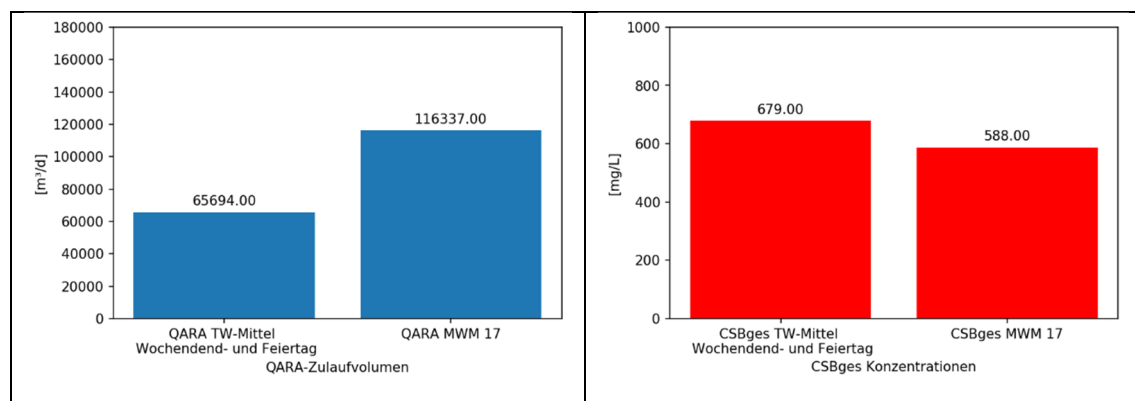


Abbildung 5-34: Vergleich der Q_{ARA}-Zulaufmengen und CSB_{ges}-Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“ mit dem Mischwasserereignis MWM 17

Es gibt eine Gegenüberstellung der absoluten Konzentrationen und der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} in Tabelle 5-38 und in Abbildung 5-35 bzw. Abbildung 5-36.

Vergleicht man die absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen des Mischwasserereignisses MWM 17 mit denen des Trockenwettermittels, so sind die Xs und Si-Konzentrationen um 30 % bzw. 19 % geringer, die der Xi-Konzentrationen um 16 % größer und die Ss-Konzentration unterscheidet sich kaum (siehe Tabelle 5-38 und Abbildung 5-35).

Die relativen Anteile der CSB-Fractionen Ss und Xi sind für den Mischwasserfall am 05. Februar 2017 um 4 % bzw. 5 % höher als die des Trockenwettermittels.

Für die CSB-Fractionen Xs ergibt sich eine höhere Diskrepanz von 9 % gegenüber dem Mittel der Trockenwettertage. Die CSB Fraktion Si ist um 0,5 % größer. (siehe Tabelle 5-38 und Abbildung 5-36)

Wegen der Ablagerung im Kanalstrang von bereits ausgefaulten bzw. organisch nicht abbaubaren partikulären Stoffen während einer Trockenphase kann es beim Mischwasserzulauf zu einem erhöhten Anteil der nicht abbaubaren CSB-Fraktion Xi kommen. Bei einem Niederschlagsereignis dieser Größe könnte dieser Fall eintreffen. (Siehe auch Kapitel 3.5.1.7)

Tabelle 5-38: Vergleich des Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
05.02.2017	114137	588	156	260	18	155	27	44	3	26
TW-Mittel- Woch.	65694	679	156	368	22	133	23,0	52,9	3,5	20,9

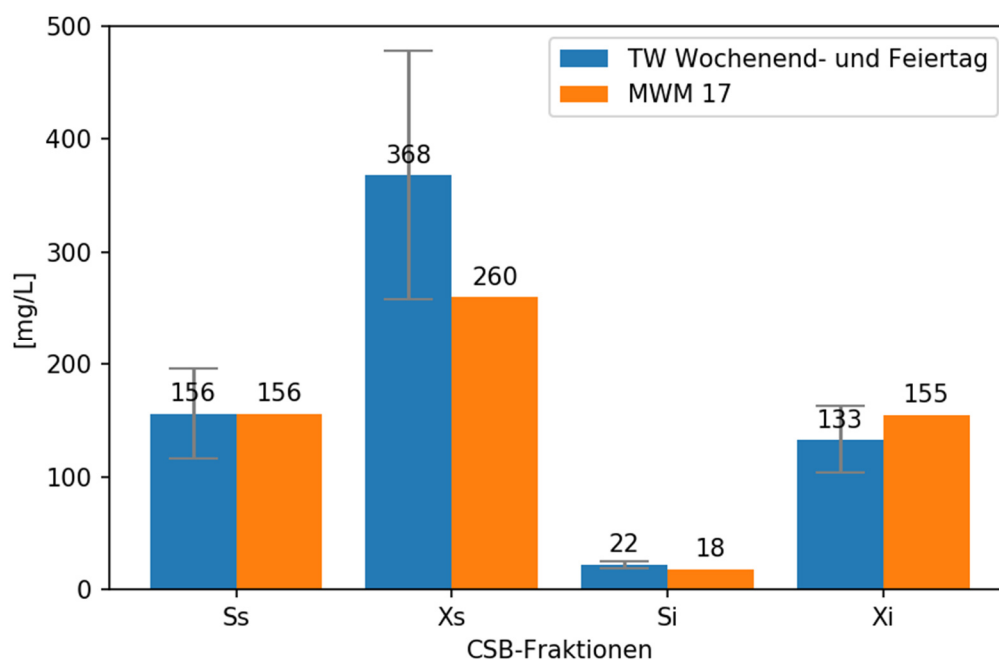


Abbildung 5-35: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen vom Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

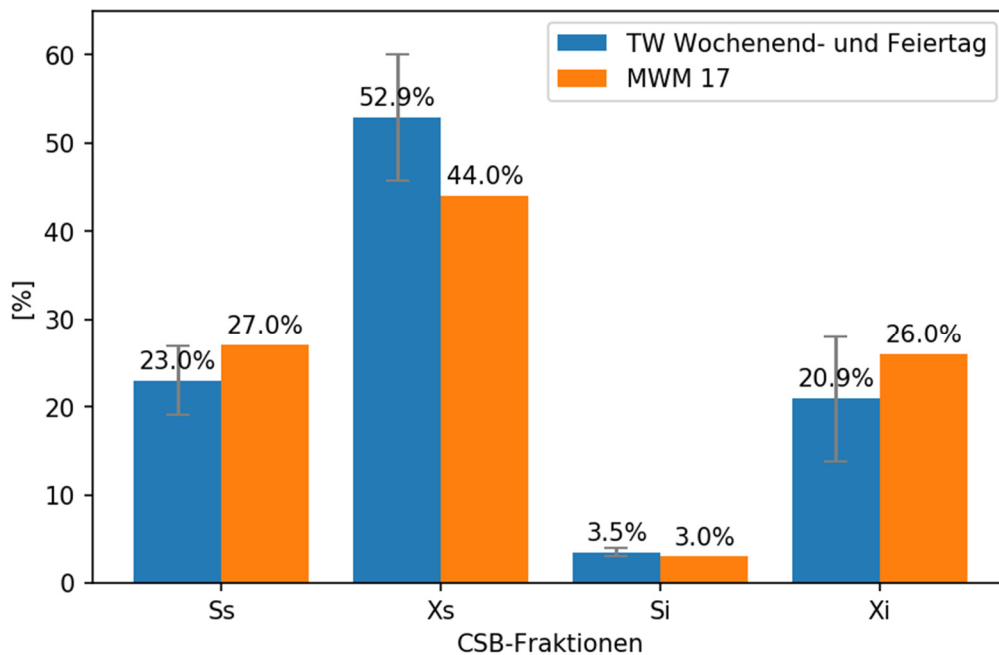


Abbildung 5-36: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} vom Mischwasserereignis MWM 17 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

5.4.2.3 Mischwasserzuläufe am MWKM 16 und MWKM 19.2

Bei den zwei Mischwasserereignissen der Messkampagne M1 am 08. Juli 2016 (MWKM 16) und M3 am 21. Juni 2016 (MWKM 19.2), handelt es sich um zwei sehr ähnliche Tageszulaufmengen von 104 096 m³/d bzw. 104 613 m³/d. Die Zulaufmengen gelten auf ihre Größe bezogen als klein bis mittel („Klein-Mittel“). Bei beiden Messungen waren die zwei Tage zuvor Trockenwettertage. Die Niederschlags- und Zulaufmessdaten sind aus Tabelle 5-31 und Tabelle 5-32 zu entnehmen. Es handelt sich um analytisch bestimmte CSB-Fractionen an Wochentagen, welche mit dem Trockenwettermittel „Arbeitsstag“ verglichen werden. Die Darstellung dieser zwei Messtage, der zwei Messkampagnen M1 und M3, erfolgt angesichts der ähnlich großen Zulaufmengen und gleichen Jahreszeit.

Die CSB_{ges} -Konzentration des Mischwasserereignisses MWKM 16 liegt mit 644 mg/L unter dem Mittelwert des Trockenwettermittels „Arbeitsstag“ mit 759 mg/L Tabelle 5-37. Ein Argument für die geringe CSB_{ges} -Konzentration des Mischwasserfalles MWKM 16 kann auf den Ferienbeginn im Juli zurückzuführen sein. Innerhalb der Ferien ist eine deutliche Abnahme der Bevölkerungsanzahl in Graz, infolge der fehlenden Studierende, zu vermerken. Wieder ist der Einfluss des verdünnten Regenwassers dafür mitverantwortlich. (Siehe auch Kapitel 2.1.6 „Verdünnungseffekt“ und 3.5.1.7 „Nennenswerte Eigenschaften des Grazer Abwassersystems“)

Bei dem Vergleich der Mischwasserfälle MWKM 19.2 und MWKM 16 gibt es annähernd gleich große Zulaufmengen allerdings unterschiedlich hohe CSB_{ges} -

Konzentrationen. Die CSB_{ges} -Konzentration des MWKM 19 mit 775 mg/L ist höher als jene des CSB_{ges} des MWKM 16 mit 644 mg/L. Die CSB_{ges} -Konzentration des MWKM 19 ist etwas größer als die des Trockenwetter-Mittel der Gruppe „Arbeitstag“ mit 759 mg/L (siehe Tabelle 5-41 und Tabelle 5-37).

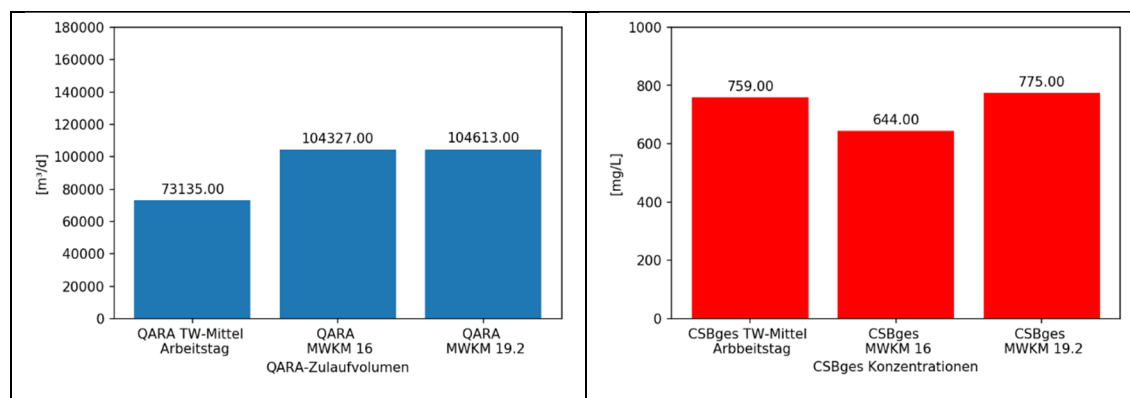


Abbildung 5-37: Vergleich der Q_{ARA} -Zulaufmengen und CSB_{ges} -Konzentrationen vom Trockenwettermittel „Arbeitstag“ mit dem Mischwasserereignis MWKM 16 und MWKM 19.2

Vergleicht man die absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen des Mischwasserereignisses MWKM 16 mit jenen des Trockenwettermittels, so sind die Ss und Xs-Konzentrationen um 30 % bzw. 16 % niedriger. Die Si-Konzentration ist um 10 % geringer und die Xi-Konzentration um 8 % höher als die CSB-Fractionen des Trockenwettermittels (siehe Tabelle 5-39 und Abbildung 5-38)

Die relativen Anteile der CSB-Fractionen Ss und Si sind für den Mischwasserfall MWKM 16 um 5 % bzw. 0,5 % niedriger als jene für das Trockenwettermittel. Für die CSB-Fractionen Xi ergibt sich ein 6 % größerer Anteil im Vergleich zum Mittel der Trockenwettertage. Bei dem Vergleich der CSB-Fraction Xs sind die relativen Verteilungen annähernd gleich groß. (siehe Tabelle 5-39 und Abbildung 5-39).

Vergleicht man die absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen des Mischwasserereignisses MWKM 19.2 mit jenen der Trockenwettermittels, so gibt es nur sehr geringe Abweichungen für die Ss und Xs Fractionen. Die Si und Xi-Konzentrationen des Mischwasserfalls sind um 25 % bzw. 19 % höher als jene für das Trockenwettermittel.

Beim Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen Ss und Xs sind nur sehr geringe Abweichungen zu erkennen. Für den Mischwasserfall MWKM 19.2 ergeben sich um 5 % bzw. 0,5 % niedrigere Anteile als jene für das Trockenwettermittel. Für die CSB-Fraction Si ergibt sich ein um 1,5 % niedrigerer Anteil und für die CSB-Fraction Xi ein 2 % höherer Anteil im Vergleich mit dem Mittel der Trockenwettertage.

Tabelle 5-39: Vergleich des Mischwasserereignis MWKM 16 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
08.07.2016	104327	644	129	329	22	165	20	51	3	26
TW-Mittel Arb.	73135	759	190	391	24	152	25,0	51,8	3,4	20,4

Tabelle 5-40: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWKM 16

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
06.07.2016	76640	763	118	438	22	184	16	58	3	24
07.07.2016	74909	736	142	389	20	184	19	53	3	25

Tabelle 5-41: Vergleich des Mischwasserereignisses MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
21.06.2019	104613	775	187	389	18	181	24	50	2	23
TW-Mittel Arb.	73135	759	190	391	24	152	25,0	51,8	3,4	20,4

Tabelle 5-42: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWKM 19.2

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m³/d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
19.06.2019	68242	755	206	396	27	125	27	53	4	17
20.06.2019	71477	515	141	207	22	145	27	40	4	28

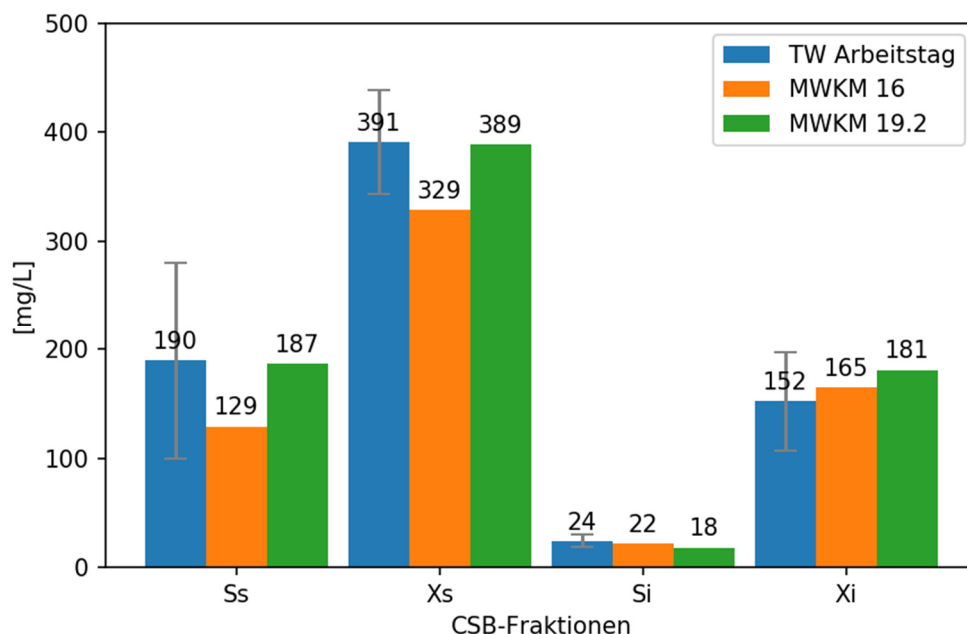


Abbildung 5-38: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen vom Mischwasserereignis MWKM 16 und MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

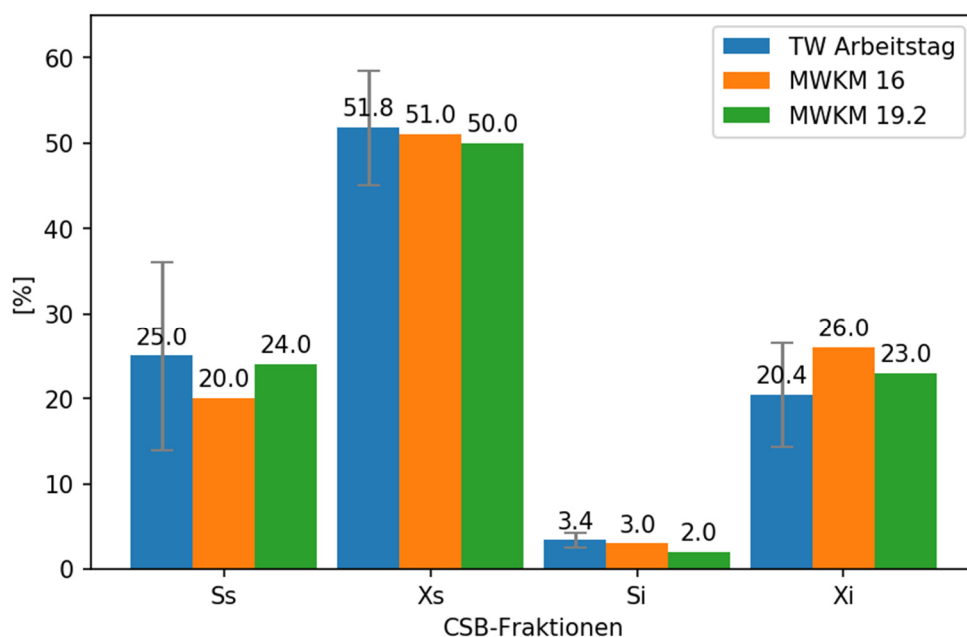


Abbildung 5-39: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} vom Mischwasserereignis MWKM 16 und MWKM 19.2 mit dem Trockenwettermittel „Wochenend- und Feiertag“

5.4.2.4 Mischwasserzulauf MWM 16.2

Bei dem Mischwasserereignis MWM 16.2 handelt es sich mit der Zulaufmenge von 127 985 m³/d um das drittgrößte aufgezeichnete Zulaufvolumen innerhalb aller Messungen der drei Messreihen.

Am 27. Juni 2016 hat es einen größeren Mischwasserzulauf von 129 000 m³/d gegeben. Mischwasserzulaufmengen von knapp über 80 000 m³/d sind für den 28. Juni und den 29. Juni 2016 gemessen worden. Am 29. Juni 2016 sind aber keine Niederschlagsmengen aufgezeichnet worden. Der 30. Juni 2019 wurde für einen Vergleich mit dem Trockenwettermittel der Gruppe „*Arbeitstag*“ herangezogen um ein mittleres Mischwasserereignis, beeinflusst durch zuvor aufgetretene Regenwettertage, zu untersuchen. Die aufgezeichneten Niederschlagsmengen von 07:30 Uhr am 29. Juni 2016 bis um 07:30 Uhr am 30. Juni 2016 betragen 18,29 mm.

Die CSB_{ges}-Konzentrationen liegen für den MWM 16.2 durch den Einfluss des Mischwassers mit 602 mg/L unter dem Mittelwert des Trockenwettermittels für die Gruppe „*Arbeitstag*“ mit 759 mg/L (siehe Abbildung 5-40).

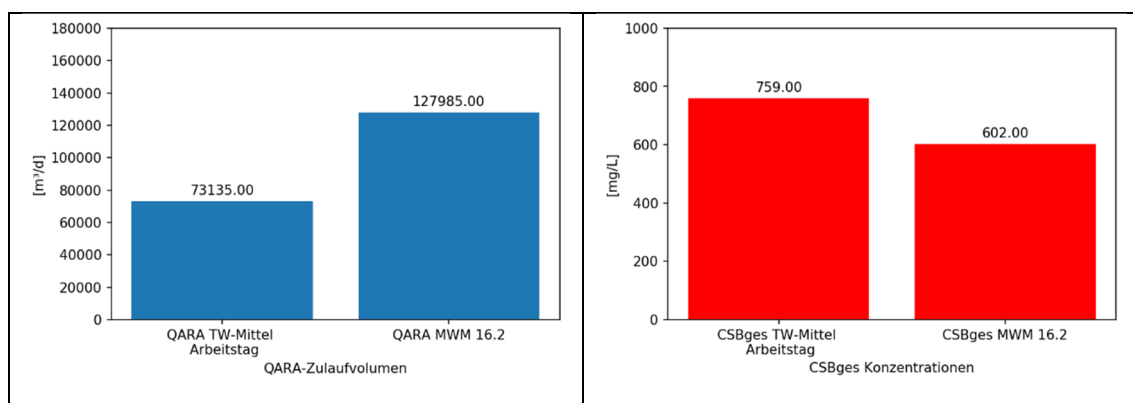


Abbildung 5-40. Vergleich der QARA-Zulaufmengen und CSB_{ges}-Konzentrationen vom Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“ mit dem Mischwasserereignis MWM 16.2

Vergleicht man die absoluten Konzentrationen der CSB-Fraktionen des Mischwasserereignisses mit jenen der Trockenwettermittel, so sind die Ss und Xs-Konzentrationen um 50 % bzw. 30 % geringer. Die Si-Konzentrationen sind um 38 % kleiner und die Xi-Konzentrationen um 40 % höher (siehe Tabelle 5-43 und Abbildung 5-41).

Die Anteile der CSB-Fraktionen Ss und Si sind für den Mischwasserfall am 30. Juni 2016 um 9 % bzw. 0,5 % niedriger ausgefallen als jene des Trockenwettermittels. Für die CSB-Fraktionen Xi ergibt sich ein 16 % größerer Anteil im Vergleich zum Mittel der Trockenwettertage. Die CSB-Fraktion Xs ist um 6 % kleiner für das MWM 16.2.

Wegen der Ablagerung im Kanalstrang von bereits ausgefaulten bzw. organisch nicht abbaubaren partikulären Stoffen während einer Trockenphase kann es unter einem Mischwasserzulauf zu einem erhöhten Anteil der biologisch nicht abbaubaren CSB-Fraktion Xi kommen. Durch die Mischwasserzuläufe der Tage zuvor kann der erhöhte CSB-Fraktionsanteil Xi zu einem größeren Anteil von den verschmutzten Oberflächen abhängig sein, da die Kanalstränge mit größerer Sicherheit schon abgespült worden sind.

Tabelle 5-43: Vergleich des Mischwasserereignisses MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
30.06.2016	127985	602	98	271	15	218	16	45	3	36
TW-Mittel Arb.	73135	759	190	391	24	152	25,0	51,8	3,4	20,4

Tabelle 5-44: Messdaten der Tage vor dem Mischwasserereignis MWM 16.2

Datum	Q _{ARA} -Zulauf [m ³ /d]	CSB _{ges} [mg/L]	Ss [mg/L]	Xs [mg/L]	Si [mg/L]	Xi [mg/L]	Ss [%]	Xs [%]	Si [%]	Xi [%]
26.06.2016	86827	590	72	339	16	163	12	58	3	28
27.06.2016	129264	556	61	328	18	150	11	59	3	27
28.06.2016	82148	831	140	491	16	184	17	59	2	22
29.06.2016	80961	699	119	422	15	143	17	60	2	21

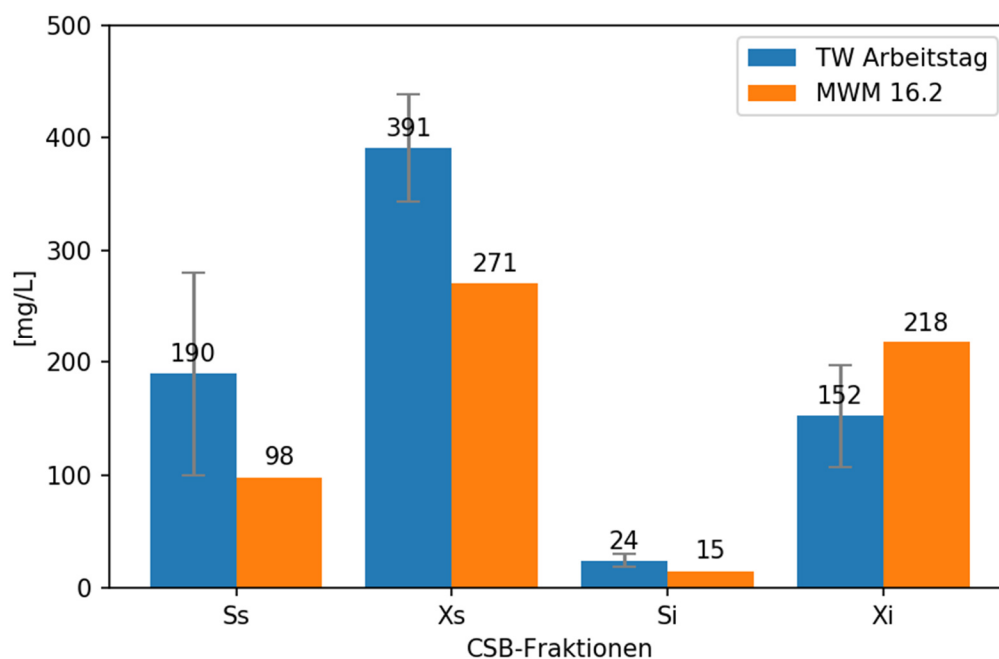


Abbildung 5-41: Vergleich der absoluten Konzentrationen der CSB-Fractionen vom Mischwasserereignis MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“

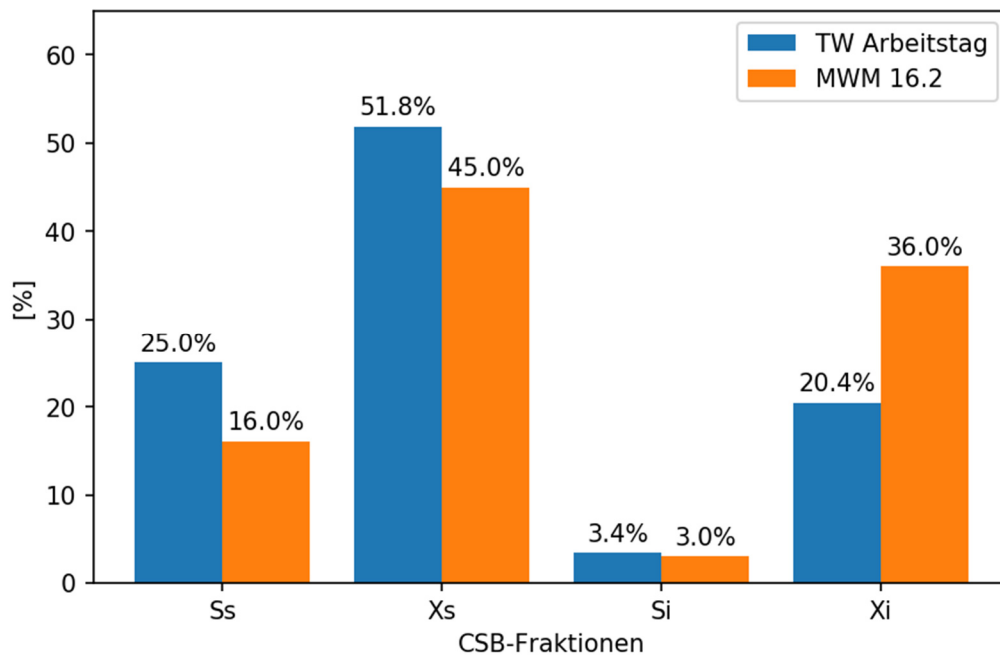


Abbildung 5-42: Vergleich der relativen Anteile der CSB-Fractionen am CSB_{ges} vom Mischwasserereignis MWM 16.2 mit dem Trockenwettermittel „Arbeitstag“

5.5 Simulationsergebnisse

Mit Hilfe eines Kläranlagenmodells können reale Reinigungsleistungen einer ARA nachgestellt werden und optimierte Reinigungswirkungen erzielt werden. Es sollen die Änderungen der Simulationsergebnisse aufgrund der Änderungen der CSB-Fraktionierung untersucht werden. Dabei wird auf Änderungen der relevanten Stofffrachten in den Simulationsergebnissen geachtet. Die Eingangsdaten des „Simba#water“-Modells sind in Tabelle 5-45 aufgelistet.

Es erfolgt, wie im Kapitel Methodik 4.3.1 „Einfluss auf Simulationsergebnisse infolge unterschiedlicher CSB-Fraktionierung“ beschrieben, eine Interpretation der Simulationsergebnisse aufgrund einer Abänderung der CSB-Fraktionierung. Eine Anpassung des simulierten Trockenwetters von Hofer et al. (2018) erfolgt mit den neu ermittelten CSB-Fraktionierungen des Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“. Für eine erste Prüfung des Einflusses unterschiedlicher CSB-Fraktionierungen auf die Simulationsergebnisse werden alle anderen Eingangsparameter konstant gehalten. Auch mit den hoch aufgelösten Zulaufdaten aus Hofer et al. (2018) werden die Simulationsergebnisse mit den drei unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen der Mischwasserereignisse geprüft. Mit den in dieser Arbeit ermittelten CSB-Fraktionierungen von drei Mischwasserereignissen werden mit einer zusätzlichen Anpassung der hydraulischen und stofflichen Eingangsparameter dann drei Mischwasserszenarien simuliert. Die Szenarien werden immer auf Basis einer 20-tägigen Trockenwettervorlaufzeit berechnet.

Tabelle 5-45: Relevante Eingabedaten für die Kläranlagensimulation im „Simba#water“

Datum	Tagestyp	Wetter	TS bzw AFS	CSB _{ges}	Glühv erlust (GV)	Glüh- rück- stand (GR)	TS/ CSB	GR/ CSB
26.06.2016	Wochenend- und Feiertag	Regenwetter	271	590			0,46	
27.06.2016	Arbeitstag	Regenwetter	235	556			0,42	
28.06.2016	Arbeitstag	Regenwetter	439	831			0,53	
29.06.2016	Arbeitstag	Regenwetter	315	699			0,45	
30.06.2016	Arbeitstag	Regenwetter	285	602			0,47	
01.07.2016	Arbeitstag	Regenwetter	259	562			0,46	
02.07.2016	Wochenend- und Feiertag	Regenwetter	244	511			0,48	
03.07.2016	Wochenend- und Feiertag	Regenwetter	297	535			0,56	
04.07.2016	Arbeitstag	Regenwetter	327	675			0,48	
05.07.2016	Arbeitstag	Regenwetter	305	643			0,47	
06.07.2016	Arbeitstag	Trockenwetter	341	763			0,45	
07.07.2016	Arbeitstag	Trockenwetter	279	736			0,38	
08.07.2016	Arbeitstag	Regenwetter	295	644			0,46	
09.07.2016	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	296	608			0,49	
10.07.2016	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	313	645			0,49	
29.01.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	332	221			1,50	
05.02.2017	Wochenend- und Feiertag	Regenwetter	261	156			1,67	
12.02.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	318	188			1,69	
19.02.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	265	180			1,47	
26.02.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	238	183			1,30	
05.03.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	421	179			2,35	
12.03.2017	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	305	180			1,69	
17.06.2019	Arbeitstag	Trockenwetter	322	739	34,8	287,2	0,44	0,39
18.06.2019	Arbeitstag	Trockenwetter	350	800	86,6	263,4	0,44	0,33
19.06.2019	Arbeitstag	Trockenwetter	354	755	84,8	269,2	0,47	0,36
20.06.2019	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	277	515	79,8	197,2	0,54	0,38
21.06.2019	Arbeitstag	Regenwetter	354	775	80,8	273,2	0,46	0,35
22.06.2019	Wochenend- und Feiertag	Trockenwetter	249	414	79,6	169,4	0,60	0,41
23.06.2019	Wochenend- und Feiertag	Regenwetter	148	268	79,6	68,4	0,55	0,26

5.5.1 Simulation mit konstantem Zufluss und konstanten Parametern

Es werden Simulationen mit konstantem Zufluss, Stofffrachten (P und TKN) und CSB mit unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen durchgeführt. Zum einen wird mit der CSB-Fraktionierung des Trockenwettermittels des Tagestyps „*Arbeitstag*“ und zum anderen mit den CSB-Fraktionierungen von drei ausgewählten Mischwasserereignissen simuliert. Der konstante Zufluss Q_{ARA} von 73 000 m³/d ist der mittlere Trockenwetterzufluss für Arbeitstage nach Pichler (2018). Ebenfalls für die Simulation verwendet werden der konstante CSB_{ges} von 810 mg/L, der konstante Gesamte Kjeldahl-Stickstoff (TKN) von 70 mg/L und der konstante Phosphorgehalt (P) von 10 mg/L.

In Tabelle 5-46 werden die CSB-Fraktionierungen von Hofer et al. (2018) des Trockenwettermittels „Arbeitsstag“ und die CSB-Fraktionierungen für die drei Mischwasserereignisse dargestellt. In Tabelle 5-47 gibt es eine Ergebnisgegenüberstellung der simulierten Modelle unter konstanten Eingangsparametern mit den unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen.

Die deutlichsten Änderungen der Simulationsergebnisse zum Trockenwettermittel sind bei den geänderten CSB-Fraktionierungen des Mischwasserereignisses MWG 19 zu erkennen. Durch die große relative Änderung des Anteils der CSB-Fraktion Si am CSB_{ges} von 7 % für das Mischwasserereignis MWG 19 gibt es deutliche mittlere Konzentrationsänderungen bei den Simulationsergebnissen für den CSB_{Ablauf} von 27,6 mg/L gegenüber dem CSB_{Ablauf} für das Trockenwettermittel mit 14,9 mg/L. Auch die simulierte CSB-Fraktion Si hat für das Mischwasserereignis am 23. Juni 2019 eine höhere mittlere Konzentrationsmenge. Die Simulationsergebnisse für Stickstoff (Ges-N) und SNO (NO₃-N) sind für die geänderten CSB-Fraktionen des Mischwasserereignisses MWG 19 um ca. 15 % höher konzentriert. Bei den Konzentrationsergebnissen von Phosphor (Ges-P) und SNH (NH₄-N) gibt es keine Änderungen. Bei den CSB-Fraktionen Xh und Xi sowie dem Kenngrößenparameter TSS (AFS) gibt es nur minimale Änderungen im 0,1 mg/L-Bereich.

Bei dem Vergleich der Simulationsergebnisse der CSB-Fraktionierung des Trockenwettermittels mit den zwei Mischwasserereignissen MWM 16.2 und MWKM 16 gibt es keine Änderungen der CSB_{Ablauf}-Konzentration und der CSB-Fraktion Si, da der Eingangsanteil am CSB_{ges} für die CSB-Fraktion Si unverändert ist. Bei den Simulationsergebnissen für Stickstoffs (Ges-N) und SNO (NO₃-N) gibt es bei beiden Vergleichen eine Änderung zwischen 11 % und 12 %. Bei den Konzentrationsergebnissen für Phosphor (Ges-P) und SNH (NH₄-N) gibt es keine Änderungen. Bei den Simulationsergebnissen der CSB-Fraktionen Xi gibt es größere Unterschiede für das Mischwasserereignis MWM 16.2, da die Eingabe am Beginn der Simulation für die CSB-Fraktion Xi viel höher ist. Das Ergebnis der Konzentrationsmengen Xi ist etwas höher für das Mischwasserereignis MWM 16.2.

Tabelle 5-46: CSB-Fraktionierungen aller Simulationen

CSB-Fraktionierung	Hofer et al. [%]	Trockenwettermittel "Arbeitsstag" [%]	MWG 19 [mg/L]	MWM 16.2 [mg/L]	MWKM 16 [mg/L]
Verhältnis TS/CSB	0,48	0,43	0,55	0,47	0,46
Glührückstand	30	36	0,26	0,36	0,35
Si	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03
Xi	0,25	0,20	0,19	0,36	0,26
Ss	0,16	0,25	0,26	0,16	0,20
Xs	0,56	0,52	0,48	0,45	0,51

Tabelle 5-47: Simulationsergebnisse mit konstantem Zufluss und konstanten Parametern

Simulationsergebnisse	Hofer et al. [mg/L]	Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MWG 19 [mg/L]	MWM 16.2 [mg/L]	MWKM 16 [mg/L]
CSB	14,4	14,9	27,5	14,9	14,9
Ges-N	16,2	13,5	15,5	16,5	14,9
Ges-P	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
SNH (NH ₄ -N)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
TSS (AFS)	4,3	4,6	4,5	4,5	4,5
SNO (NO ₃ -N)	15,5	12,7	14,6	15,7	14,1
Ss	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Si	9,6	9,6	22,2	9,6	9,6
Xs	0	0	0	0	0
Xi	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4

5.5.2 Simulation eines Trockenwettertages

Es erfolgen wiederum Simulationen mit unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen von Hofer et al. (2018) des Trockenwettermittels „*Arbeitstag*“ und der drei Mischwasserereignisse. Jedoch sind die Eingangsparameter für den Trockenwettertagessgang hoch aufgelöste Messergebnisse von Hofer et al. (2018) (siehe Kapitel 2.5 Kläranlagensimulation).

Außerdem erfolgt eine Anpassung der CSB-Fraktionierung für den Trockenwettertagessgang des erstellten Kläranlagensimulationsmodells von Hofer et al. (2018). Dafür werden die CSB-Fraktionierungen des Trockenwettermittels des Tagestyps „*Arbeitstag*“ von Kapitel 5.3.2 „Trockenwettermittel „*Arbeitstag*““ herangezogen (siehe auch Tabelle 5-47). Es sind nur sehr minimale Änderung in den Ergebnissen zu bemerken, da die CSB-Fraktionierungshöhen nur leicht voneinander abweichen. Bei den Stofffrachtmengen Stickstoff (Ges-N) und SNH (NH₄-N) ergeben sich etwas niedrigere Konzentrationen aufgrund der Anpassung der CSB-Fraktionierung für das Trockenwettermittel „*Arbeitstag*“. Für den Nährstoffparameter Phosphor (Ges-P) und den Summenparameter TSS (AFS) ergeben sich im Simulationsergebnis nur minimale Abweichungen. (Siehe Tabelle 5-48). In Abbildung 5-43 werden die Simulationsergebnisse mit den angepassten CSB-Fraktionen dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

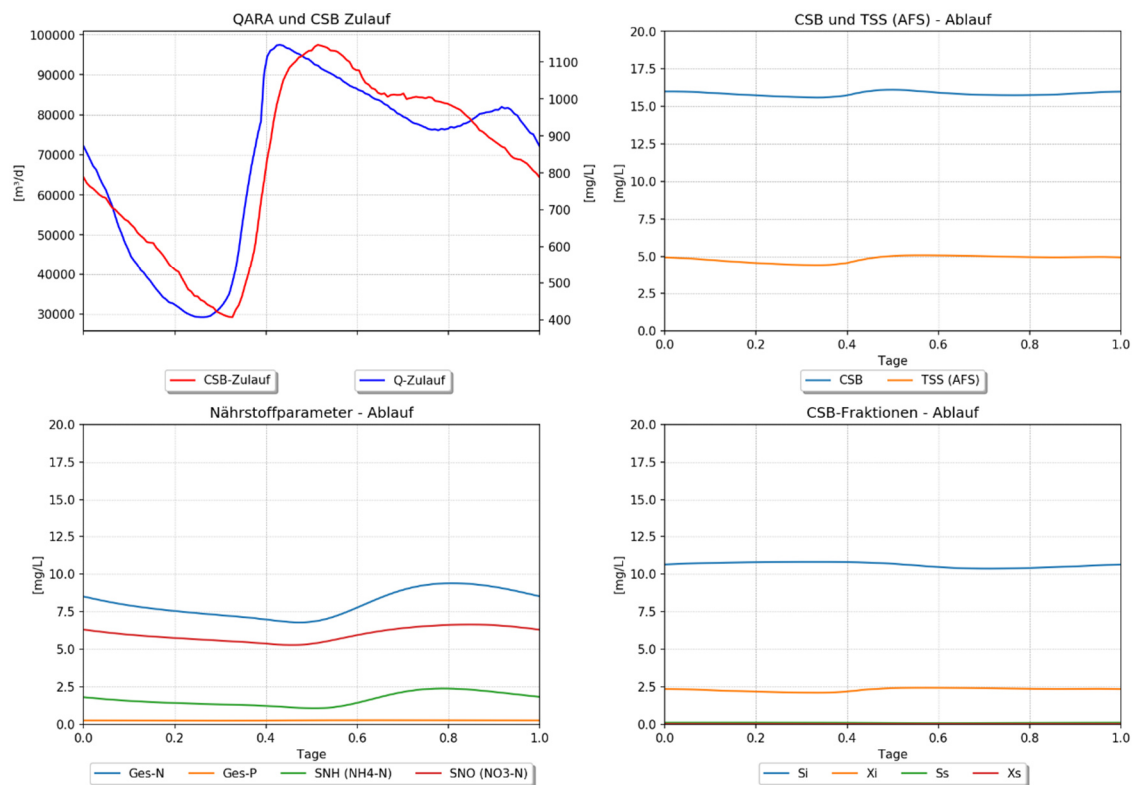


Abbildung 5-43: Simulationsergebnisse des Trockenwetters mit den angepassten CSB-Fraktionierungen des Trockenwettermittels „Arbeitstag“

In Tabelle 5-46 werden die CSB-Fraktionierungen von Hofer et al. (2018), des Trockenwettermittels „Arbeitstag“ und die CSB-Fraktionierungen für die drei Mischwasserereignisse dargestellt. Mit der Tabelle 5-48 gibt es eine Ergebnisgegenüberstellung der simulierten Modelle unter den Eingangsparametern aufgrund des Trockenwettertages nach Hofer et al. (2018) und den unterschiedlichen CSB-Fraktionierungen.

Die Änderungen der Simulationsergebnisse ähneln jenen aus Kapitel 5.5.1 „Simulation mit konstantem Zufluss und konstanten Parametern“. Hinzu kommt, dass sich auch bei den Konzentrationen von Phosphor (Ges-P) und SNH (NH₄-N) Änderungen in den Ergebnissen ergeben.

Tabelle 5-48: Simulationsergebnisse mit Eingangsparametern des Trockenwettertages

Simulationsergebnisse	Hofer et al. [mg/L]	Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MWG 19 [mg/L]	MWM 16.2 [mg/L]	MWKM 16 [mg/L]
CSB	15,7	15,8	29,7	15,6	15,6
Ges-N	9,4	8,0	9,3	9,8	8,8
Ges-P	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3
SNH (NH ₄ -N)	1,6	1,6	1,8	1,7	1,7
TSS (AFS)	4,6	4,8	4,8	4,7	4,8
SNO (NO ₃ -N)	7,3	6,0	7,0	7,8	6,8
Ss	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Si	10,6	10,6	24,7	10,6	10,6
Xs	0	0	0	0	0
Xi	2,5	2,2	2,2	2,6	2,4

Der verminderte Stickstoffabbau (Ges-N) sowie die verminderte Nitrifikation und Denitrifikation „SNO“ ($\text{NO}_3\text{-N}$) ohne zusätzliche hydraulische Belastung und Änderung des CSB_{ges} spricht für einen Einfluss der CSB-Fraktionierung auf die simulierte Reinigungswirkung einer Kläranlage.

5.5.3 Simulationsergebnisse der drei Mischwasserszenarien

Wie im Kapitel 4.3.3 „Simulation von Mischwasserszenarien“ beschrieben, werden drei künstliche Niederschlagsereignisse erstellt und die dazu passenden analytisch bestimmten CSB-Fraktionierungen der Mischwasserzuläufe herangezogen. Tabelle 5-49 bildet die verwendeten Parameter für die Erstellung der Mischwasserabflüsse ab. Der Zulauf Q_{ARA} und der für den Zulauf variable Summenparameter CSB wurden händisch abgeändert (siehe Kapitel 4.3.3 „Simulation von Mischwasserszenarien“). Da die Glührückstände für die Messkampagnen M1 und M2 nicht ermittelt worden sind, werden für die Mischwasserereignisse MWKM 16 der Glührückstand vom 21. Juni 2019 und MWM 16.2 der Glührückstand vom 23. Juni 2019 aufgrund ihrer vergleichbaren Zulaufmenge herangezogen.

Tabelle 5-49: Parameter für die Erstellung der Mischwasserabflüsse

Mischwassergröße	Klein-Mittel	Mittel	Groß
Q_{ARA}-Zulaufmenge	+25 000 m^3/rd +433 L/s	+ 55 000 m^3/rd +850 L/s	85 000 m^3/rd +1 233 L/s
Regendauer (rd)	960 min	1 080 min	1 150 min
CSB-Fraktion am:	08.07.2016	30.06.2016	23.06.2019
Akronym	MW-Klein	MW-Mittel	MW-Groß

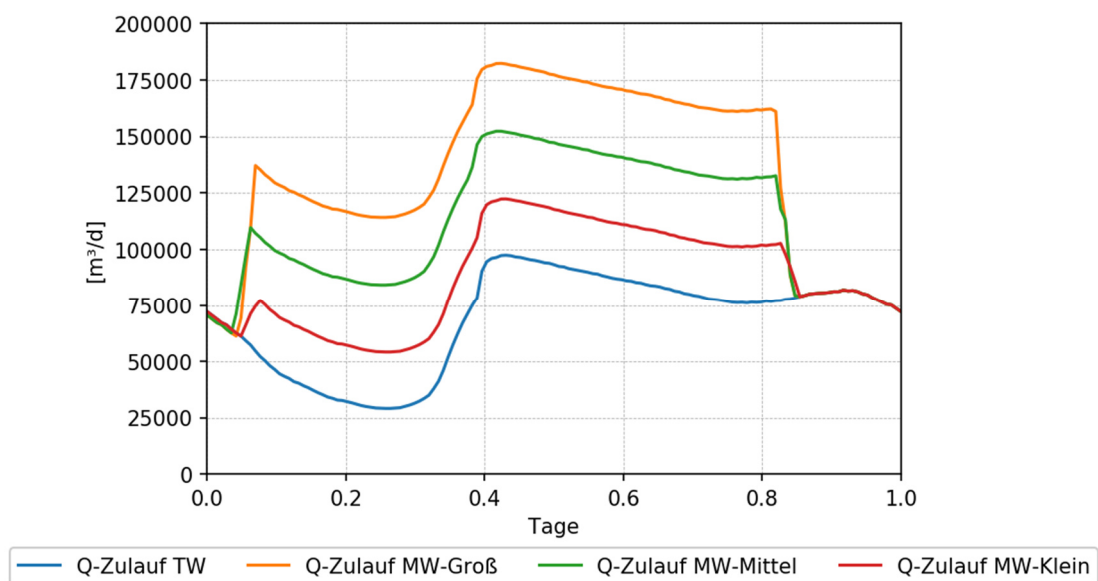


Abbildung 5-44: Zuläufe des Trockenwetter und der drei Mischwasserszenarien (10-Minutenintervalle)

5.5.3.1 Mischwasserszenario-Groß

Es wird ein zusätzlicher konstanter Niederschlagszufluss zu Kläranlage von +85 000 m³ innerhalb einer Regendauer von 1 150 Minuten hinzugefügt. Die Simulationsergebnisse sind in der Tabelle 5-52 abgebildet. Die für die Simulation verwendeten CSB-Fraktionierungen stammen von den analytisch bestimmten Auswertungen des MWG19 (siehe Tabelle 5-50).

Tabelle 5-50: CSB-Fraktionierung für MW-Groß

CSB-Fraktionierung	Trockenwettermittel "Arbeitstag"	MWG19
Verhältnis TS/CSB	0,43	0,55
Glührückstand	36	0,26
Si	0,03	0,07
Xi	0,20	0,19
Ss	0,25	0,26
Xs	0,52	0,48

Tabelle 5-51: Modifizierte Eingangsparameter für das MW-Groß

Mittlerer Q _{ARA} -Zulauf	134 600 m ³ /d
Mittlerer CSB _{ges} -Zulauf	396,0 mg/L

Tabelle 5-52: Vergleich der Simulationsergebnisse des MW-Groß

Simulationsergebnisse	Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MW-Groß [mg/L]
CSB	15,8	17,6
Ges-N	8,0	26,0
Ges-P	0,2	0,5
SNH (NH ₄ -N)	1,6	2,9
TSS (AFS)	4,8	6,7
SNO (NO ₃ -N)	6,0	22,6
Ss	0,1	0,1
Si	10,6	10,4
Xs	0	0
Xi	2,3	3,2

Änderungen in den Simulationsergebnissen während des Mischwasserszenarios sind deutlich zu erkennen. Die mittleren Ablaufkonzentrationen für alle Parameter sind für das Mischwasserereignis höher konzentriert. Hinsichtlich der größeren hydraulischen Belastungen wird der Stickstoffabbau, die Nitrifikation sowie die Denitrifikation gehemmt (zu sehen bei den Ergebnissen Ges-N, SNH und SNO). Auch die Phosphorkonzentration (P) ist höher für das MW-Groß. Die Anpassungen des CSB_{ges} an den hydraulischen Zulauf Q_{ARA} und die Anpassung der CSB-Fraktionierung haben einen großen Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Interessant zu beobachten ist, dass sich die CSB-Fraktion Si im Ablauf für das MW-Groß sogar minimal niedriger konzentriert gegenüber dem Trockenwettermittel

trotz der höheren relativen CSB-Fraktionierung. Dies ist wahrscheinlich auf den gering konzentrierten angepassten CSB_{ges} zurückzuführen. Nach dem Tag eins beginnt für einen ganzen Tag die Simulation mit den Eingangsparametern des Mischwetterszenarios. Erst ab dem Tag fünf, also drei Tage nach dem Mischwasserszenario, stellen sich in den Ablaufkonzentrationen wieder Trockenwetterbedingungen ein (siehe Abbildung 5-45).

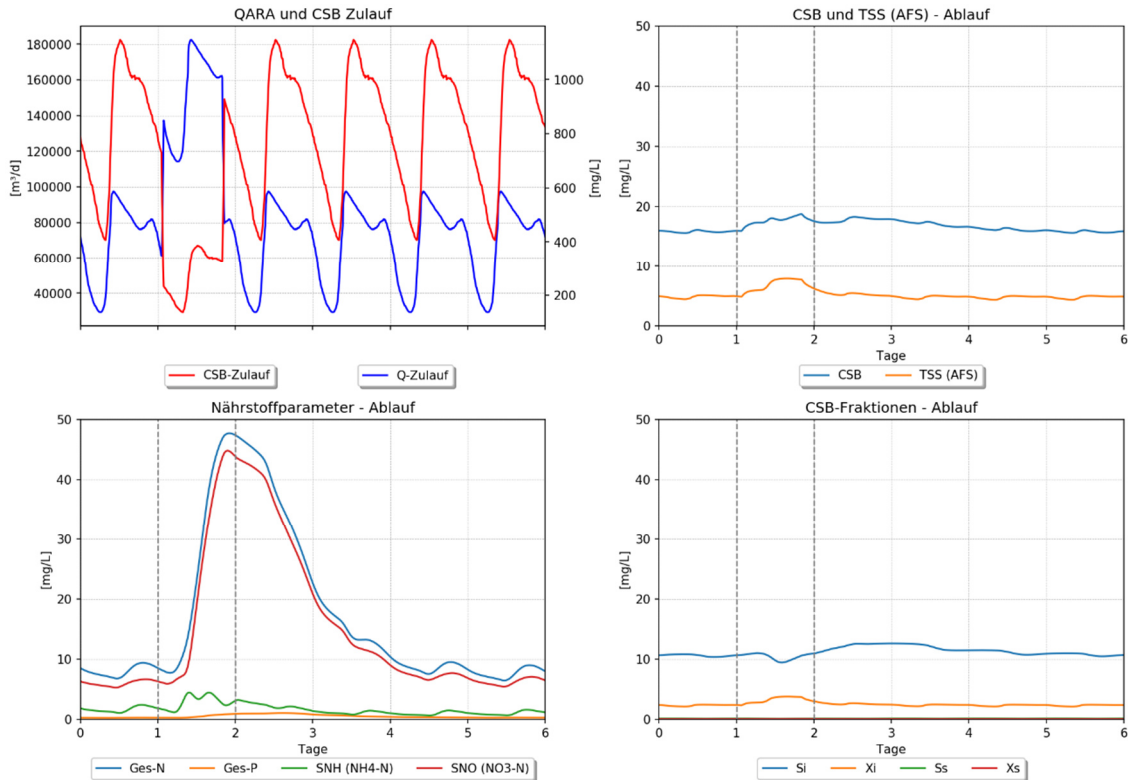


Abbildung 5-45: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Groß: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende

5.5.3.1.1 Hinweis auf den Einfluss der Ergebnisse angesichts der angepassten hoch aufgelösten Eingangsparameter: Q_{ARA} und CSB_{ges}

Die angepassten hoch aufgelösten Eingangsparameter des Q_{ARA} und des CSB_{ges} haben eine große Auswirkung auf die Modellergebnisse. Dies lässt sich am Ergebnisvergleich in Tabelle 5-53 deutlich ablesen. Es erfolgt eine Simulation mit den angepassten hoch aufgelösten Messdaten des MW-Groß, wobei die CSB-Fraktionierung des Trockenwettermittels „Arbeitstag“ beibehalten wird. Die Ergebnisse dieser Simulation werden mit den Ergebnissen der Simulation des MW-Groß verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass die CSB-Fraktionierung keinen großen Einfluss auf die Modellergebnisse hat, da die Simulationsergebnisse nur leicht abweichen. Wiederum muss hinzugefügt werden, dass die Anpassung der hoch aufgelösten Messdaten für Q_{ARA} und CSB_{ges} mit keiner Echtzeitmessung, sondern mit Hilfe einer Verhältnisrechnung ermittelt worden ist.

Tabelle 5-53: Abweichung der Simulationsergebnisse angesichts hoch aufgelöster Eingangsparmeter

Simulationsergebnisse	MW-Groß mit CSB-Fraktionierung des Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MW-Groß [mg/L]
CSB	15,7	17,6
Ges-N	25,6	26,0
Ges-P	0,5	0,5
SNH (NH ₄ -N)	2,9	2,9
TSS (AFS)	6,7	6,7
SNO (NO ₃ -N)	22,3	22,6
Ss	0,1	0,1
Si	8,5	10,4
Xs	0	0
Xi	3,2	3,2

5.5.3.2 Mischwasserszenario-Mittel

Es wird ein zusätzlicher konstanter Niederschlagszufluss zur Kläranlage von +55 000 m³ mit einer Regendauer von 1 080 Minuten hinzugefügt. Die Simulationsergebnisse sind in der Tabelle 5-56 dargestellt. Die für die Simulation verwendeten CSB-Fraktionierungen stammen aus den analytisch bestimmten Auswertungen des MWM16.2 (siehe Tabelle 5-54).

Tabelle 5-54: CSB-Fraktionierung für MW-Mittel

CSB- Fraktionierung	Trockenwettermittel "Arbeitstag"	MWM 16.2
Verhältnis TS/CSB	0,43	0,47
Glührückstand	36	36
Si	0,03	0,03
Xi	0,20	0,36
Ss	0,25	0,16
Xs	0,52	0,45

Tabelle 5-55: Modifizierte Eingangsparmeter für das MW-Mittel

Mittlerer Q _{ARA} -Zulauf	112 000 m ³ /d
Mittlerer CSB _{ges} -Zulauf	668,0 mg/L

Tabelle 5-56: Vergleich der Simulationsergebnisse mit MW-Mittel

Simulationsergebnisse	Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MW-Mittel [mg/L]
CSB	15,8	16,5
Ges-N	8,0	15,3
Ges-P	0,2	0,3
SNH (NH ₄ -N)	1,6	2,3
TSS (AFS)	4,8	6,0
SNO (NO ₃ -N)	6,0	12,6
Ss	0,1	0,1
Si	10,6	10,1
Xs	0	0
Xi	2,3	2,8

Bei den Simulationsergebnissen für das Mischwasserszenario-Mittel ändern sich dieselben Kenngrößen, jedoch im geringeren Ausmaß, wie im Szenario „MW-Groß“, da eine kleinere hydraulische Belastung vorliegt. Der Zeitpunkt für die Einstellung in den ursprünglichen Trockenwetterzustand stellt sich ca. ab dem Tag vier ein. Also drei Tage nach dem Abschluss des Mischwasserszenarios.

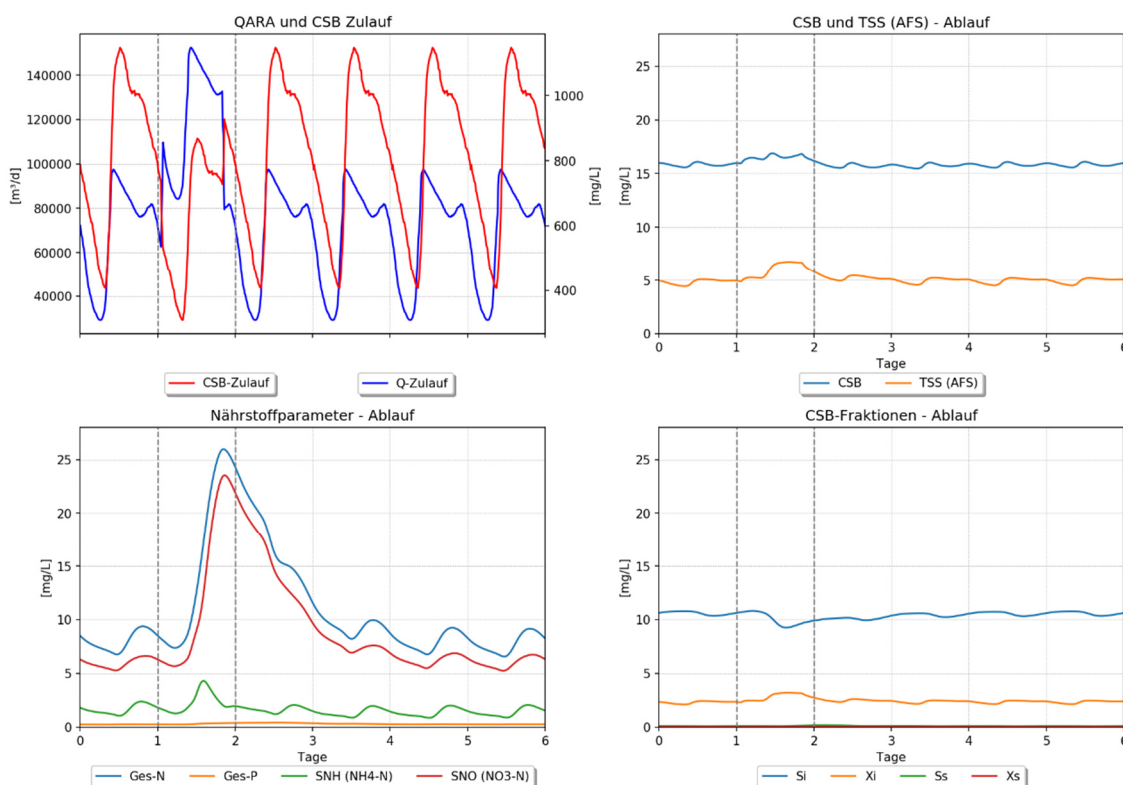


Abbildung 5-46: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Mittel: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende

5.5.3.3 Mischwasserszenario-Klein

Es wird ein zusätzlicher konstanter Niederschlagszufluss zur Kläranlage von +25 000 m³ mit einer Regendauer von 960 Minuten hinzugefügt. Die Simulationsergebnisse sind in der Tabelle 5-59 abgebildet. Die für die Simulation verwendeten CSB-Fraktionierungen stammen aus den analytisch bestimmten Auswertungen des MWKM16 (siehe Tabelle 5-57).

Tabelle 5-57: CSB-Fraktionierung für MW-Klein

CSB-Fraktionierung	Trockenwettermittel "Arbeitstag"	MW-MWKM 16
Verhältnis TS/CSB	0,43	0,46
Glührückstand	36	35
Si	0,03	0,03
Xi	0,20	0,26
Ss	0,25	0,20
Xs	0,52	0,51

Tabelle 5-58: Modifizierte Eingangsparameter für das MW-Klein

Mittlerer Q_{ARA} -Zulauf	88 157 m³/d
Mittlerer CSB_{ges} -Zulauf	703,0 mg/L

Tabelle 5-59: Vergleich der Simulationsergebnisse mit MW-Klein

Simulationsergebnisse	Trockenwettermittel "Arbeitstag" [mg/L]	MW-Klein [mg/]
CSB	15,8	16,0
Ges-N	8,0	11,5
Ges-P	0,2	0,3
SNH (NH4-N)	1,6	2,1
TSS (AFS)	4,8	5,3
SNO (NO3-N)	6,0	9,0
Ss	0,1	0,1
Si	10,6	10,3
Xs	0	0,0
Xi	2,3	2,5

Bei den Simulationsergebnissen für das Mischwasserszenario-Klein ändern sich die gleichen Kenngrößen wie beim Szenario „MW-Groß“, jedoch im geringeren Ausmaß, da eine kleinere hydraulische Belastung vorliegt. Der Zeitpunkt für die Einstellung in den ursprünglichen Trockenwetterzustand, mit einem Tag Trockenwettervorlauf, stellt sich ca. ab dem Tag vier ein, also drei Tage nach dem Abschluss des Mischwasserszenarios.

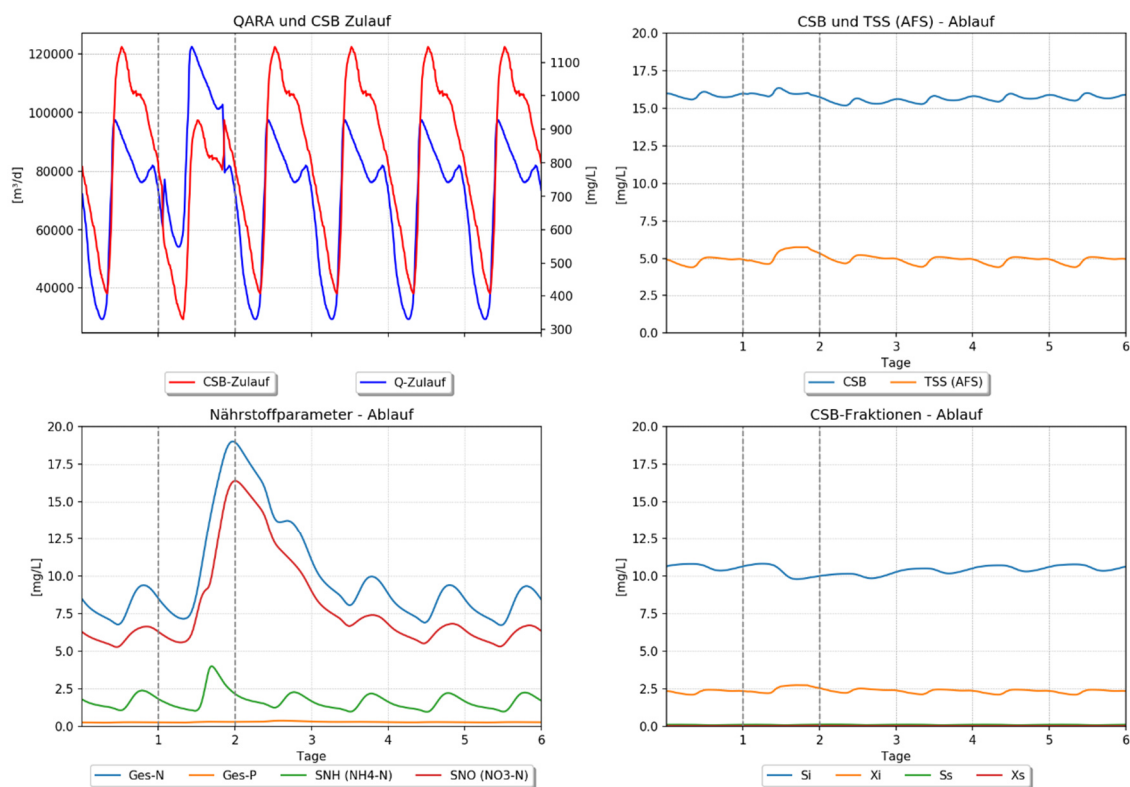


Abbildung 5-47: Simulationsergebnisse des Mischwasserszenarios-Klein: Linke strichliert grauen Line: MW-Beginn bzw. Rechte strichliert grauen Line: MW-Ende

6 Schlussfolgerungen

6.1 Literaturrecherche

Mit Hilfe der CSB-Fraktionierung ist es möglich einen Überblick über die Beschaffenheit sowie eine Vergleichbarkeit verschiedener Abwässer zu erlangen. Die großen Abwasserverschmutzungen sind anthropogener Natur in Form von häuslichem, gewerblichen und industriellem Abwasser. Sehr stark verschmutzte Abwässer stammen von Industriebetrieben, jedoch können gewisse Industriezweige, wie zum Beispiel Bäckereien und Brauereien, auch positive Einflüsse auf die Abwasserqualität haben. Bei Mischwassersystemen haben die verschmutzten Oberflächenabflüsse bzw. Niederschlagswässer einen Einfluss auf die Abwasserqualität und ist diese stark von lokalen Gegebenheiten abhängig.

Es ist wichtig zu wissen, dass der Summenparameter CSB nur organisch abbaubare Kohlenstoffverbindungen erfasst. Das heißt, dass alle anorganischen oder sehr komplex strukturierten organischen Verbindungen (wie zum Beispiel PAKs) vom CSB nicht erfasst werden. Zusätzlich kann die analytische Bestimmung des Glührückstandes erfolgen, welche den Anteil biologisch nicht abbaubarer Stoffe wiedergibt, die vom CSB nicht erfasst werden. Dieser relative Anteil des Glührückstandes wird auch bei der Simulation mit Hilfe des Softwareprogrammes „Simba#water“ herangezogen. Bei einer reinen Quantifizierung der Schmutzstoffe über den CSB werden anorganische und komplexe organische Stoffe jedoch nicht erfasst.

Hinzu sind Recherchen über die Herkunft und Quellen der CSB-Faktionen Ss, Si, Xs und Xi angestellt worden. Unter der gelösten biologisch schnell abbaubaren CSB-Fraktion Ss sind organische Kohlenstoffverbindungen einfacher Struktur zu finden. Die partikulär biologisch schwer abbaubare CSB-Fraktion Xs fasst komplexere Kohlenstoffverbindungen zusammen. Ein Zusammenhang mit der gelösten inerten CSB-Fraktion Si wird den Mikroschadstoffen organischer Natur zugeschrieben. Die CSB-Fraktion Xi beinhalten partikuläre inert abbaubare Stoffe. Diese wiederum können im Klärprozess über den Klärschlamm abgezogen werden.

6.2 Messkampagne

Im Zuge der Messkampagne sind die CSB-Faktionen des Trockenwettermittels mit jenen der Mischwasserereignisse verglichen worden. Deutlich zu erkennen ist ein größerer Anteil der CSB-Fraktion Xi bei kleineren bis mittleren Mischwasserereignissen. Die relativen Anteile der CSB-Faktionen Ss und Xs am CSB_{ges} sind bei den kleinen bis mittleren Mischwasserereignissen immer etwas geringer als jene des Trockenwettermittels. Für das große Mischwasserereignis „MWG 19“ und auch für das Mittlere Ereignis „MWM 17“ ist die CSB-Fraktion Ss in größeren prozentuellen Anteilen vorhanden. Deutlich bemerkbar macht sich

der relative höhere Anteil der CSB-Fraktion Si des Ereignisses „MWG 19“ gegenüber dem Trockenwettermittel.

Der Anstieg der CSB-Fractionen Xi und Si im Mischwasserfall ist auf die Abschwemmung inert abbaubarer bzw. bereits ausgefallter Kohlenstoffverbindungen von Oberflächen und Kanalsohlen zurückzuführen. Luftverschmutzung in Verbindung mit nasser sowie trockener Deposition und abgelagerte verschmutzte Stoffe auf Oberflächen, verursacht durch anthropogene Aktivitäten, sind Mitverursacher für das verschmutzte Abwasser im Mischwasserfall.

Die errechneten mittleren CSB-Fraktionierungen des Trockenwetters der drei Messkampagnen M1, M2 und M3 weisen untereinander deutliche Unterschiede in ihren relativen Verteilungen auf. Die unterschiedlich verteilten relativen Anteile der CSB-Fractionen sind schwer nachzuvollziehen, da die Abwasserzusammensetzung von sehr vielen Faktoren abhängig ist. Es gibt ersichtliche Unterschiede der chemischen Sauerstoffbedarfs-Belastung in Bezug auf Arbeits- und Wochenendtage. An Wochenendtagen ist der CSB_{ges} und sind somit auch die CSB-Fractionen an Trockenwettertagen geringer konzentriert. Die Jahres- und die Urlaubszeiten spielen bei der CSB-Fractionierung eine wichtige Rolle. In den Wintermonaten Dezember und Jänner sind sehr starke CSB-Belastungen vorhanden. In der Urlaubszeit und den Sommermonaten ist hingegen eine schwächere CSB-Belastung des Abwassers zu erkennen.

6.3 Simulation

Bei Simulationen mit dem bereits vorhandenen kalibrierten und validierten Kläranlagenmodell von Hofer et al. (2018) mit unterschiedlichen CSB-Fractionierungen, wurde ein großes Augenmerk auf die Beeinflussung der Modellergebnisse gelegt. Diese wurde durch die Simulationen mit konstanten Eingangsparametern sowie mit hoch aufgelösten Daten eines Trockenwetters mit unterschiedlichen CSB-Fractionierungen überprüft und anhand der Änderungen der Ergebnisse des Stickstoffabbaus und der Nitrifikation bestätigt. Keine bis minimale Änderungen ergaben sich beim Ergebnis der Phosphor Konzentration (Ges-P) und der Ammonium- und Ammoniakkonzentrationen (SNH bzw. NH₄-N). Bei den Simulationen der Mischwasserszenarien ergaben sich deutlich höhere Ablaufkonzentrationen für Stickstoff (Ges-N), SNH (NH₄-N), SNO (NO₃-N), Phosphor (Ges-P) und TSS (AFS) je größer die hydraulischen Belastungen waren. Dies ist zum einen auf die angepasste CSB_{ges}-Belastung und den angepassten Q_{ARA}-Zulauf und zum anderen auf die abgeänderten CSB-Fractionierungen zurückzuführen. Je größer das Mischwasserszenario, desto größere Änderungen sind in den Modellergebnissen zu bemerken. Die größten Konzentrationserhöhungen, innerhalb eines Ereignisses, ergeben sich für die Nährstoffparameter Stickstoff (Ges-N),

Nitrat und Nitrit (SNO bzw. $\text{NH}_3\text{-N}$). Die angepassten hoch aufgelösten Messdaten für den Zulauf haben jedoch einen erheblich größeren Einfluss auf die Modellergebnisse als der Einfluss der CSB-Fraktionen.

Durch die Erkenntnis, dass zum Teil auch die CSB-Fraktionen einen Einfluss auf die Modellergebnisse haben, nimmt die Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs für die Anwendung bei modernen ARA Modellen einen bedeutenden Stellenwert ein. Noch wichtiger sind zeitlich hoch aufgelöste Datensätze, die eine genaue Frachtabschätzung über eine Tagesganglinie zulassen. Gemeinsam mit hoch aufgelösten Datensätzen und den dazu passenden CSB-Fraktionen, ist es möglich sehr gute Modellergebnisse zu erzielen. Oftmals sind die kostenintensiven Messverfahren zur Erlangung von hoch aufgelösten Messungen für Hydraulik und Wasserqualität jedoch nicht möglich. Die Simulation von diversen Szenarien mit geänderter CSB-Fraktionierung, angepassten Zulaufmengen und CSB-Belastungen kann gute Aufschlüsse über Änderungen der Reinigungsleistung geben sofern das Modell ausreichend kalibriert und validiert wurde.

Zur guten Kalibrierung und Validierung eines Modells ist es von Vorteil hoch aufgelöste Daten heranzuziehen. Der dafür verwendete Datensatz sollte mindestens ein Jahr lang sein. Für weitere Optimierungsschritte bzw. Simulationen von diversen Szenarien kann die CSB-Fraktionierung Anwendung finden.

Das Kläranlagenmodell soll der Optimierung der Prozesssteuerungen dienen. Durch die Simulation von Mischwasserszenarien, die zu einer Erhöhung der hydraulischen Belastung führen sowie zu einer erhöhten Schmutzstoffbelastung der Kläranlage führen können, erlangt man Erkenntnisse über die Änderungen der Abbaubarkeit der Schmutzstoffe. Mit diesem Wissen ist es möglich die realen Steuerungselemente an der Kläranlage so abzuändern, dass die negativen Effekte in Bezug auf Nährstoffabbau und Stofffrachtelimination so gering wie möglich gehalten werden. Zum anderen ist auch für Änderungen baulicher Elemente eine Simulation der Kläranlagenprozesse hilfreich.

Gerade bei Mischwasserkanalsystemen ist durch den Einfluss der erhöhten hydraulischen Belastung und der unterschiedlich stark verschmutzten Abwässer, aufgrund des Einflusses des Niederschlagwassers bzw. der Oberflächenabflüsse, die Variabilität der CSB-Fraktionen, also der Abwasserzusammensetzung, sehr groß. Aufgrund der für die Zukunft stärker prognostizierten Niederschlagsereignisse in Städten und einer verstärkten Verschmutzung der Oberflächenabflüsse bedingt durch die im Rahmen der Luftverschmutzung deponierten Schadstoffe, kommt es im Mischwasserfall zu erhöhten Abwasserverschmutzungen. Infolge dieser Entwicklung werden auch Kläranlagen mit erhöhten Belastungen konfrontiert werden, weswegen ARA-Simulationen ein nicht wegzudenkendes Hilfsmittel zur Aufrechterhaltung der Reinigungsleistung sein werden.

Literaturverzeichnis

- analytikjena (2015) Grundlagen Instrumentation und Techniken der Summenparameteranalytik.
- A.Schaum C. (2016) *Schriftenreihe IWRAR 233 - Abwasserbehandlung der Zukunft: Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz*, Verein zur Förderung des Instituts der TU Darmstadt e.V.
- ATV-DVWK (2003) *ATV-DVWK- REGELWERK. Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198. Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen*, [online] <https://docplayer.org/113196993-Atv-dvdk-regelwerk-arbeitsblatt-atv-dvdk-a-198-vereinheitlichung-und-herleitung-von-bemessungswerten-fuer-abwasseranlagen.html> (Zugegriffen 27. Jänner 2020).
- Benneouala M. (2017) *Biodegradation of slowly biodegradable organic matter in wastewater treatment plant (WWTP) : In depth analysis of physical and biological factors affecting hydrolysis of large particles* | *Semantic Scholar*, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- Bleckmann F., Sengl M., Bayer A., Letzl M., Stockerl R., Kopf W., & Klaus W. (2016) *Spurenstoffe im Wasser*, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- BSB & CSB Behandlung mit Ozon | Ozonotech [online] <https://www.ozonotech.com/de/wasseraufbereitung/bsb-csb-behandlung-ozon> (Zugegriffen 24. November 2019).
- Clara M., Gruber G., Humer F., Hofer T., Kretschmer F., Ertl T., Scheffknecht C., & Windhofer G. (2014) *Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- DIN EN 1085 (2007) *Abwasserbehandlung - Wörterbuch; Dreisprachige Fassung*, [online] <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-1085/92061811> (Zugegriffen 10. Dezember 2019).
- Dorfer C. (2005) *Transportvorgänge in Mischwasserkanälen auf Basis von Online-Messungen*, Graz, Austria: Master Thesis, Graz University of Technology.
- DWA (2016) (5) *Diffuse Stoffeinträge in Gewässer aus Siedlungs- und Verkehrsflächen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Fall C., Millán-Lagunas E., Bâ K. M., Gallego-Alarcón I., García-Pulido D., Díaz-Delgado C., & Solís-Morelos C. (2012) COD fractionation and biological treatability of mixed industrial wastewaters. *Journal of Environmental Management*, **113**, 71–77.
- Fuchs-Hanusch D., Gruber G., & Kauch E. P. (2014) *Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft (6., überarb. Auflage)*, MANZ Verlag Schulbuch GmbH.

- Gastaldini M. do C. C. & Silva A. R. V. (2013) Pollutant Distribution on Urban Surfaces: Case Study in Southern Brazil. *Journal of Environmental Engineering*, **139**(2), 269–276.
- Geißler-Dresden W. (1945) *Kanalisation und Abwasserreinigung*, SpringerLink.
- Gujer W. (2007) *Siedlungswasserwirtschaft* | SpringerLink, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gujer W. (2008) *Systems Analysis for Water Technology*, Springer Science & Business Media.
- Harres H. P. (1998) *Schwermetallgehalte in Böden, Pflanzen, Fleisgewässern und Sedimenten unterschiedlich belasteter Regionen Südsardiniens*, Darmstadt: Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Darmstadt.
- Hofer T. F., Gruber G., & Dirk M. (2018) *Projekt ZSK-Monitoring: Abschätzung der Auswirkungen von zusätzlichem Mischwasser aus dem Zentralen Speicherkanal ZSK auf die Reinigungsleistung der Kläranlage Graz — Technische Universität Graz*, Graz, Austria: Graz University of Technology.
- ifak (2016) *Simba Manual 2.0 - Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg*, Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg.
- IWA Publishing (2013) *Guidelines for Using Activated Sludge Models*,
- Kersting M. & Werbeck N. (2013) *Trinkwasser und Abwasser in Zeiten des Wandels : Eine Szenarienbetrachtung für die dynaklim-Region*.
- Landesregierung Steiermark Aufgaben der Abwasserentsorgung. landesregierung.steiermark. [online] <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/ziel/4569935/DE/> (Zugegriffen 12. Februar 2020).
- Latscha H. P. & Klein H. A. (2002) *Anorganische Chemie. Chemie-Basiswissen 1*, Springer.
- Li L., Shan B., & Yin C. (2012) Stormwater runoff pollution loads from an urban catchment with rainy climate in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **6**(5), 672–677.
- Li L., Yin C., He Q., & Kong L. (2007) *First flush of storm runoff pollution from an urban catchment in China*. -, PubMed - NCBI.
- M. Zawilski & A. Brzezińska (2008) Variability of COD and TKN Fractions of Combined Wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*, **18**(3), 501–505.
- Ma J., Ying G., & Sansalone J. J. (2010) Transport and Distribution of Particulate Matter Phosphorus Fractions in Rainfall-Runoff from Roadway Source Areas. *Journal of Environmental Engineering*, **136**(11), 1197–1205.

- M.C. Almeida, D. Butler, & E. Friedler (1999) *At-source domestic wastewater quality*, Urban Water.
- Meindl, Reitter, & Messerschmied (2017) *Kläranlage der Stadt Graz Überprüfung der Ausbaugröße Grundlagenermittlung*, Ingenieursgemeinschaft (IG) Vatter-SAG.
- ÖNORM M 6265 (1991) *ÖNORM M 6265:1991 03 01 - Wasseruntersuchung - Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfes*, [online] https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/14016/OENORM_M_6265_1991_03_01;jsessionid=83FF5F68C574900BF2C08D70F922F441 (Zugegriffen 5. Februar 2020).
- Orhon D. & Çokgör E. U. (1997) COD fractionation in wastewater characterization - The state of the art. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **68**(3), 283–293.
- Pasztor I., Thury P., & Pulai J. (2009) Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science & Technology*, **6**(1), 51–56.
- Pichler M. (2018) *Automatisierte Quantifizierung der Schmutzfrachtdynamik des Zentralen Speicherkanals im Zulauf zur Kläranlage Graz*, Graz, Austria: Master Thesis, Graz University of Technology.
- Pluciennik-Koropczuk E. & Myszograj S. (2019) New Approach in COD Fractionation Methods. *Water*, **11**(7), 1484.
- Pohling R. (2015) *Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)* | SpringerLink, Springer - Berlin Heidelberg.
- Rechnungshof (2017) Bericht des Rechnungshofes: Abwasserentsorgung in Graz. , 70.
- RIS (1996a) *1. AEV für kommunales Abwasser - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 12.02.2020*, [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010980> (Zugegriffen 12. Februar 2020).
- RIS (1996b) *Allgemeine Abwasseremissionsverordnung-17.12.2019*, [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010977> (Zugegriffen 17. Dezember 2019).
- RIS (1959) *Wasserrechtsgesetz 1959 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 26.02.2020*, [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> (Zugegriffen 26. Februar 2020).
- Roeleveld P. J. & Loosdrecht M. C. M. van (2002) Experience with Guidelines for Wastewater Characterization in the Netherlands. *Water Science & Technology*, **45**(6), 77–87.

- Ruhrverband (2020) Spurenstoffe. Ruhrverband. [online] <https://www.ruhrverband.de/wissen/forschung-entwicklung/spurenstoffe/> (Zugegriffen 22. Februar 2020).
- S. Simate G., Cluett J., E. Iyuke S., T. Musapatika E., Ndlovu S., F. Walubita L., & E. Alvarez A. (2010) *The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art*,
- Simić A. (2016) *Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs im Zulauf zur Abwasserreinigungsanlage Graz*, Graz, Austria: Master Thesis, Graz University of Technology.
- Staufer P., Leckebusch G., & Pinnekamp J. (2010) *Die Ermittlung der relevanten Niederschlagscharakteristik für die Siedlungsentwässerung im Klimawandel*, DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Struk-Sokolowska J. & Tkaczuk J. (2018) Analysis of Bakery Sewage Treatment Process Options Based on COD Fraction Changes - Journal of Ecological Engineering - Tom Vol. 19, nr 4 (2018) - BazTech - Yadda. Journal of Ecological Engineering, **19**(4), 226–235.
- Szaja A. & Aguilar J. A. (2015) Estimation of Chemical Oxygen Demand Fractions of Municipal Wastewater by Respirometric Method – Case Study. , 11.
- Tesfalem B. W. (2017) *Study on Physico- Chemical Parameters of Waste Water Effluents from Kombolcha and Debreberhan Industrial Area, Ethiopia*, Central Ethiopia Environment and Forest Research Center Department of Environmental pollution.
- Umweltbundesamt (2007) *Phthalate-Die nützlichen Weichmacher mit den unerwünschten Eigenschaften*, Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2016) *Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe | Umweltbundesamt*, Umweltbundesamt.
- WERF (2004) *Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modelling*, IWA Publishing.
- Zhou Z., Wu Z., Wang Z., Tang S., & Gu G. (2008) COD fractionation and parameter estimation for combined sewers by respirometric tests. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, **83**(12), 1596–1601.

Anhang A

Arbeitsanweisung (SOP) zur CSB Fraktionierung –

Überarbeitung

Es handelt sich um eine Überarbeitung der von Aleksandar Simic erstellten SOP aus dem Jahre 2016.

Arbeitsanweisung für die analytische Bestimmung von CSB-Fraktionen

Geltungsbereich:

Diese Arbeitsvorschrift gilt für die Bestimmung der CSB-Fraktionen in 24 h-Ta-gesmischproben aus dem Zulauf der ARA Graz-Gössendorf.

Verteiler: Institutsvorstand, Laborleiter, Qualitätsbeauftragter, Laborant, Mess-techniker, Lehrlinge

Erstellt: Aleksandar Simić

Bearbeitet: Ferdinand Kaiser

Datum der letzten Bearbeitung: 29.05.2020

Geprüft: Dr. Günter GRUBER

Freigabe ab: 29.05.2020

Inhaltsverzeichnis

1. Zweck und Anwendungsbereich	v
2. Verantwortlichkeit	v
3. Arbeitsschutz und Prüfeinrichtungen	v
4. Vorgehensweise	vi
4.1. Probenahme	vii
4.2. Konservierung der Proben	viii
4.3. Homogenisierung der Probe	viii
4.4. BSB ₈ Ermittlung	ix
4.5. Filtration der Zulaufproben	xiv
4.6. Filtration der Ablaufprobe	xviii
4.7. Bestimmung der CSB-Konzentration der homogenisierten Zulaufprobe und Ermittlung des CSB _{GES}	xviii
4.8. Bestimmung der CSB-Konzentration der doppelt filtrierten Ablaufprobe und Ermittlung der CSB-S _i -Fraktion	xxi
4.9. Bestimmung der CSB-Konzentration der doppelt filtrierten Zulaufprobe und Ermittlung der CSB-S _s -Fraktion	xxii
4.10. Bestimmung der CSB-X _s -Fraktion	xxii
4.11. Bestimmung der X _i -Fraktion	xxv

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BSB $^{\infty}$	Gesamter biologischer Sauerstoffbedarf
BSB ₈	Biologischer Sauerstoffbedarf nach acht Tagen
BSB _{tot}	Abgeschätzter BSB aus Regressionsberechnungen nach Empfehlungen der STOWA nach Roeleveld & Loosdrecht (2002) aus den Ergebnissen der BSB ₈ -Bestimmung
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB _{GES}	Gesamter chemischer Sauerstoffbedarf des Abwassers
S _i	Gelöste inerte Fraktion des CSB
SOP	Verfahrensvorschrift (Standard Operating Procedure)
S _s	Gelöste schnell abbaubare Fraktion des CSB
STOWA	Dutch Foundation for Applied Water Research
X _i	Partikulär inerte Fraktion des CSB
X _s	Partikulär langsam abbaubare Fraktion des CSB

1. Zweck und Anwendungsbereich

Diese SOP beschreibt die Vorgehensweise für die analytische Bestimmung der folgenden vier CSB-Fractionen im Zulauf der ARA Graz-Gössendorf:

- S_s: Gelöste schnell abbaubare CSB-Fraktion
- X_s: Partikulär langsam abbaubare CSB-Fraktion, wobei dabei nach der verwendeten Methode die (X_s+X_H)-Fraktion bestimmt wird.
- S_i: Gelöste inerte CSB-Fraktion
- X_i: Partikulär inerte CSB-Fraktion

2. Verantwortlichkeit

Zuständig für die Durchführung und Qualitätssicherung der Entnahme von Abwasserproben an der ARA-Graz ist der Verantwortliche für diesen Arbeitsbereich.

3. Arbeitsschutz und Prüfeinrichtungen

Für eine sichere und erfolgreiche Durchführung der beschriebenen Vorgehensweise werden folgende Prüfeinrichtungen und Arbeitsschutzeinrichtungen benötigt:

- Schutzbrillen
- Laborbekleidung
- Handschuhe (Hygieneschutz)
- Festes Schuhwerk (Vorschrift der ARA Graz-Gössendorf)
- Sicherheitsweste (Vorschrift der ARA Graz-Gössendorf)
- 2 x 2-Liter Probengefäße mit passendem Trichter (Transportgefäße)
- Kühlbox mit Kühlpatronen (zur Konservierung der Probe)
- Gerät für die Homogenisierung der Proben
- Becherglas (mindestens ein 3 L-Becherglas)
- pH-Wert-Messsonde
- Druckfiltrationsgerät mit dazugehörigen 0,45 µm- bzw. 0,1 µm-Membranfilterblättern (Zellulose-Nitrat-Filter bzw. TOC-freie Filter)
 - Gefäße zur Sammlung des Filtrats (mindestens 2 Stück 150 mL-Bechergläser)

- Bürste bzw. optionales Werkzeug zum Reinigen des Filtrationsgeräts nach jedem Filtrationsschritt
- HACH-Set zur Bestimmung der CSB-Konzentrationen (Küvetten mit Reagenzien, Heizblock, Spektralphotometer)
- Präzisionspipette (Für die Zugabe der Probe zum Reagenz)
- OxiTop IS 12-Set (Firma WTW) zur BSB-Ermittlung (Gefäße, Messköpfe, Gummiköcher, Controller, Magnetstäbe, Magnetrührer)
 - Überlaufmesskolben
 - Thermoschrank zur Sicherstellung einer konstanten Temperatur von 20 °C
 - Natriumhydroxid Plättchen (9 Stück)
- Reinstwasser (2,5 L-Reinstwasser für das Vorwaschen der Filter, um ein Kohlenstoffbluten der Filter zu vermeiden)

4. Vorgehensweise

Sofern die Untersuchungen anhand von 24 h-Tagesmischproben durchgeführt werden sollen, empfiehlt sich eine synchrone Probenahme mit den betriebseigenen beiden automatischen Probenahmegeräten im Zu- und Ablauf der ARA Graz. Die diskontinuierlichen, volumenproportionalen Probenahmen dazu finden zu meist täglich mit einer Parametrierung von 70 mL/550 m³ während des Zeitraumes 08:00 – 08:00 statt. In Abstimmung mit dem Laborpersonal der ARA Graz kann die Probenahme auch mit den betriebseigenen beiden Probenahmegeräten durchgeführt werden. Dafür muss ev. das voreingestellte Teilprobenvolumen erhöht werden. Die Entnahme der Tageszu- und ablaufprobe sollte unmittelbar nach dem Ende der Probenahmen (dzt. 08:00) für einen Tag stattfinden. Nach der Entnahme der Tagesmischproben sollten diese bei 4 °C gekühlt auf schnellstem Wege ins Labor des Institutes transportiert und mit den Laboranalysen begonnen werden, um einen Vorabbau der leicht abbaubaren Fraktionen möglichst zu verhindern. Bei der aktuellen Betriebsweise der ARA kann bei Trockenwetterbedingungen von einer durchschnittlichen Verweilzeit des Abwassers von 19 Stunden ausgegangen werden. Das bedeutet, dass die Entnahme der zugehörigen Ablaufprobe erst ca. 19 Stunden nach der Entnahme der Zulaufprobe stattfinden sollte. Nachdem diese Verzögerung von 19 Stunden mit der beschriebenen Vorgangsweise nicht exakt berücksichtigt werden kann, sollte diese auftretende Verzögerung zumindest dadurch berücksichtigt werden, dass die zu den Zulaufproben korrespondierenden Ablaufproben erst jene des darauffolgenden Tages sein sollten. Bei Regenwetter verringern sich die Verweilzeiten und damit auch die Verzögerungen entsprechend den höheren Zulauftagesmengen. Auch

für diesen Fall wird empfohlen erst die Tags darauffolgenden Ablaufproben für die Bestimmung der CSB-Fractionen zu verwenden.

Alle Schutzmaßnahmen der ARA wie auch die Laborvorschriften müssen bei der Probenahme berücksichtigt und eingehalten werden!

4.1. Probenahme

Abbildung 4-1 zeigt die beiden Stellen, an denen Tagesmischproben (Zulauf- und Ablaufprobe) dzt. gesammelt werden. Die Entnahme der Zulauf- bzw. Ablaufprobe erfolgt mittels stationären Probenahmegeräten im Besitz des Anlagenbetreibers der ARA Graz-Gössendorf. Nach dem Ende der Teilprobenentnahme für eine Tagesmischprobe werden die befüllten Sammelgefäße aus dem Probenehmer geholt. Bevor die Abwasserprobe ins Transportgefäß (2-Liter Gefäß) geleert wird, wird das Sammelgefäß leicht geschüttelt, um die Proben zu homogenisieren und einen ev. sedimentierten Bodensatz in den Sammelbehältern auch wieder homogen in Lösung zu bringen. Die Verwendung eines Trichters sorgt dafür, dass die Entnahme der Probe ohne Materialverlust möglich ist.

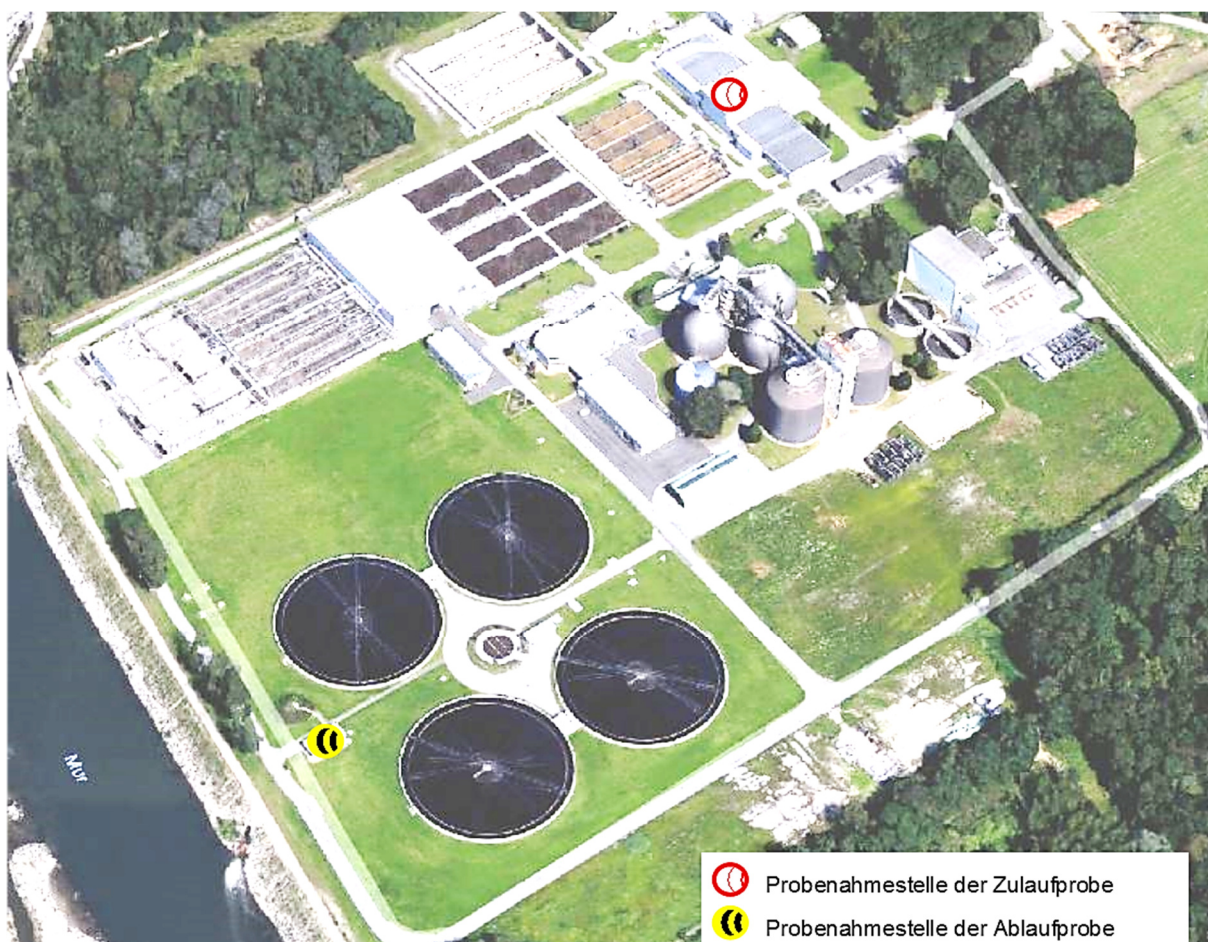


Abbildung 4-1: Probenahmestellen der Zulauf- beziehungsweise Ablaufprobe der ARA Graz-Gössendorf (maps.google.at, letzter Zugriff: 2016-07-31)

4.2. Konservierung der Proben

Das Transportgefäß muss aus einem Material bestehen, dessen Eigenschaften die chemischen und biologischen Vorgänge in den Abwasserproben nicht beeinflussen. Diesbezüglich muss das Gefäß auch über einen luftdichten Verschluss verfügen. Um Vorabbauprozesse schon während des Transports ins Institutslabor zu verhindern, sollten die Proben nach Möglichkeit bei 4 °C gekühlt in einer Kühlbox transportiert werden.

4.3. Homogenisierung der Probe

Da die Abwasserproben zugleich gelöste und ungelöste Stoffe enthalten, ist eine Homogenisierung der Zulauf- bzw. Ablaufprobe vor einer weiteren Behandlung unbedingt erforderlich. Die ganze Menge (2 Liter) der Abwasserprobe wird dafür mit einem Homogenisierungsgerät (Abbildung 4-2) 4 min lang kräftig bei höchster Umdrehungsgeschwindigkeit dispergiert. Danach können alle weiteren Schritte der Analyse an den homogenisierten Proben durchgeführt werden.

Dabei wird der Kopf des Homogenisierungsgeräts (Typ: IKA ULTRA TURRAX T 50 DIGITAL) in das Gefäß mit der Ablauf- bzw. Zulaufprobe eingetaucht und das Gerät im Anschluss daran mit höchstmöglicher Drehzahl (ca. 10.000 Umdrehungen pro Minute) aktiviert. Die Dauer der Homogenisierung beträgt ca. 2 Minute/1 Liter Probe.



Abbildung 4-2: Verwendetes Homogenisierungsgerät IKA ULTRA TURRAX T 50 DIGITAL

4.4. BSB₈ Ermittlung

Die manometrische Methode (OxiTop IS 12-Set, Fa. WTW) zur BSB₈-Bestimmung der Firma WTW basiert auf manometrischen Druckmessungen in einem geschlossenen System. Aufgrund der besseren Anpassung der BSB-Kurve an die Regressionen wird im Rahmen dieser SOP jeweils eine zweifache BSB₈-Bestimmung empfohlen und durchgeführt. Ein Beispiel eines OxiTop-Sets ist in Abbildung 4-3 zu sehen.



Abbildung 4-3: OxiTop-Set: 1) Controller, 2) Messkopf, 3) Gefäß, 4) Magnetrührer, 5) Gummiköcher, 6) Magnetstab (Produktflyer, modifiziert)

Für die Zweifach-Bestimmungen¹ wird zumeist ein Gesamtprobevolumen von 194 mL benötigt. Die homogenisierte Zulaufprobe wird dafür in ein Gefäß gefüllt und zunächst der pH-Wert mit einer kalibrierten pH-Messsonde festgestellt. Da der ideale pH-Wert für die BSB-Bestimmung 7,0 beträgt, wird er entsprechend entweder mit Natronlauge (NaOH) oder mit Schwefelsäure (H₂SO₄) genau auf 7,0 eingestellt. Die Zugabe der entsprechenden Chemikalie soll schrittweise in kleinen Mengen erfolgen bis der pH-Wert in der Probe 7,0 beträgt.

Sobald der pH-Wert richtig eingestellt wurde, wird das erforderliche Probenvolumen für die manometrischen BSB-Bestimmungen in Abhängigkeit der zu erwartenden BSB-Konzentration aus der Tabelle 4-1 ausgewählt. Normalerweise wird

¹ Bei einer Dreifach-Bestimmung ist ein Probevolumen von min 291 mL notwendig.

dafür für den normal belasteten Zulauf einer ARA mit kommunalem Abwasser ein Probevolumen von 97 mL gewählt.

Tabelle 4-1: Bestimmung des Probevolumens und der Menge an ATH

Messbereich BSB ₈ (mg/L)	des	Probenvolumen (mL)	ATH (mL)
0-40		432	1,7
0-80		365	1,5
0-200		250	1,0
0-400		164	0,7
0-800		97	0,4
0-2000		43,5	0,2
0-4000		22,7	0,1

Die genaue Messung und Dosierung des erforderlichen Probenvolumens erfolgt mit einem Überlaufkolben, dessen Volumen mit dem Wert des Probevolumens aus der Tabelle 4-1 übereinstimmt.

4.4.1 Ansetzen der BSB-Flaschen mit Proben

Zuerst wird der Magnetstab ins OxiTop-Gefäß gegeben (Abbildung 4-3). Erst danach wird das mit einem Überlaufkolben genau abgemessene Probenvolumen dem Gefäß des OxiTop-Sets (Abbildung 4-3) ohne Materialverluste zugegeben. Im Anschluss daran wird der Probe noch ATH (Allylthioharnstoff) gemäß Tabelle 4-1 beigemengt. Dieser Stoff dient als Nitrifikationshemmer. Der Gummiköcher aus dem OxiTop-Set (Abbildung 4-3) wird in dem Oxi-Top-Gefäß (im Hals des Gefäßes) positioniert. Nachfolgend werden drei Plättchen des Natriumhydroxids in den Gummiköcher gegeben. Der Messkopf des OxiTop-Sets (Abbildung 4-3) wird abschließend luftdicht auf das OxiTop-Gefäß geschraubt.

4.4.2 Startvorgang der BSB-Messungen

Danach wird der Controller des OxiTop-Sets (Abbildung 4-3) eingeschaltet. Hierfür wird die rechteckige Taste für die „Kommunikation mit den Messköpfen“ betätigt. Mit den Pfeiltasten wird auf dem Bildschirm „Starten“ ausgewählt und mit der Taste „Runenter“ bestätigt. Anschließend kann mit den Pfeiltasten der Messbereich aus der Tabelle 4-1 ausgewählt und mit der „Runenter“-Taste jeweils bestätigt werden. Mit den Pfeiltasten wird eine neue „Identitätsnummer“ zugewiesen und wiederum mit der „Runenter“-Taste bestätigt. Diese Nummer soll für jedes Gefäß neu zugewiesen und notiert werden, weil sie als Verfolgungsnummer der jeweiligen Probe dient. Anschließend wird der Infrarotsensor des Controllers (OxiTop-Set) zum Infrarotsensor des Messkopfs der jeweiligen Probenflasche, wie in Abbildung 4-4 ersichtlich, in eine Entfernung von ca. 40 cm geführt und die Messung mit den Pfeiltasten „Starten“ und mit der „Runenter“-Taste gestartet. Der Controller soll, wie in Abbildung 4-4 dargestellt, solange in dieser Position verharren, bis auf dem Bildschirm des Controllers „Gestartet“ zu lesen ist. Zur

gleichen Zeit sollte auf dem Messkopf die rote Diode aufleuchten. Damit sind die Vorbereitung und der Start der OxiTop-Messungen abgeschlossen. Für jedes weitere Gefäß bzw. jede weitere Probe des OxiTop-Sets sind die Arbeitsschritte Schritte 4.4.1 - 4.4.2 entsprechend zu wiederholen.



Abbildung 4-4: Ausrichtung des Controllers zum Messkopf während des Starts und Datentransfers

4.4.3 Einstellen der Proben in den BSB-Schrank und Aktivieren der Magnetrührer

Nachdem alle OxiTop-Gefäße entsprechend vorbereitet und die BSB-Messungen gestartet wurden, müssen sie umgehend in den Thermoschrank gestellt werden. Die Temperatur im Schrank muss vom Anfang bis zum Ende der Messungen $20 \text{ C} \pm 1 \text{ C}$ betragen. Die OxiTop-Gefäße werden dafür auf die Magnetrührstellplätze in den Schrank gestellt. Für das fortwährende Rühren der Proben während der BSB-Bestimmungen muss das Netzteil des Magnetrührers angeschlossen und aktiviert werden und der Schrank bis zum nächsten Messdatenauslesen bzw. für die nächsten mindestens acht Tage für die BSB₈-Bestimmungen geschlossen bleiben.

4.4.4 Ende der BSB-Messungen und Auslesen der Messdaten

Nach acht Tagen können die Ergebnisse der BSB₈-Messungen ausgelesen und ausgewertet werden. Dafür müssen die Messdaten von den Messköpfen an den Controller übertragen werden. Der Controller wird hierfür eingeschaltet und die rechteckige Taste für „Kommunikation mit den Messköpfen“ wird betätigt. Das Auslesen der Daten der Messköpfe erfolgt dabei nicht einzeln wie bei der Vorbereitung bzw. dem Start der Messungen, sondern für mehrere Köpfe gleichzeitig. Dafür kann der Controller zugleich an mehreren Messköpfen, wie in Abbildung 4-4 ersichtlich ist, in einem Abstand von ca. 80-100 Zentimetern positioniert werden. Für das Übertragen der Messdaten muss mit den Pfeiltasten der Menüpunkt „Alle Daten abrufen“ ausgewählt und mit der „Runenter“-Taste bestätigt werden. Die rote Diode des jeweiligen Messkopfes leuchtet auf, sobald die Übertragung der Messdaten erfolgreich und abgeschlossen ist.

4.4.5 Übertragen der Messdaten vom Controller zum PC

Um Daten vom OxiTop-Controller an den PC zu übertragen, wird das Gerät zuerst per AK 540/B-Kabel über die RS232-Schnittstelle mit dem PC verbunden. Als Übertragungsprogramm wird „ACHAT.EXE“ verwendet. Dieses Programm wurde ausschließlich für WTW-Anwendungen entwickelt. Mit Mausklick auf die Schaltfläche für den Datenabruf (Abbildung 4-5) des Programms wird eine Liste der Ergebnisse eines oder mehrerer Messköpfe generiert, sofern der Controller richtig mit dem PC verbunden ist. Jede dieser Listen enthält die Messdaten über den stündlichen BSB-Verbrauch in mg/L in den einzelnen OxiTop-Flaschen. Die Messergebnisse jeder Probe nach 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 und 192 Stunden werden in der Probenliste aufsteigend dargestellt. Da das OxiTop-Set als Zeiteinheit Minuten verwendet, werden diesbezüglich die BSB-Werte für 1440, 2880, 4320, 5760, 7200, 8640, 10080 und 11520 Minuten ausgegeben. Jede dieser Listen kann anschließend in einem *.OXT-Format gespeichert und später in Microsoft Excel weiterverarbeitet werden.

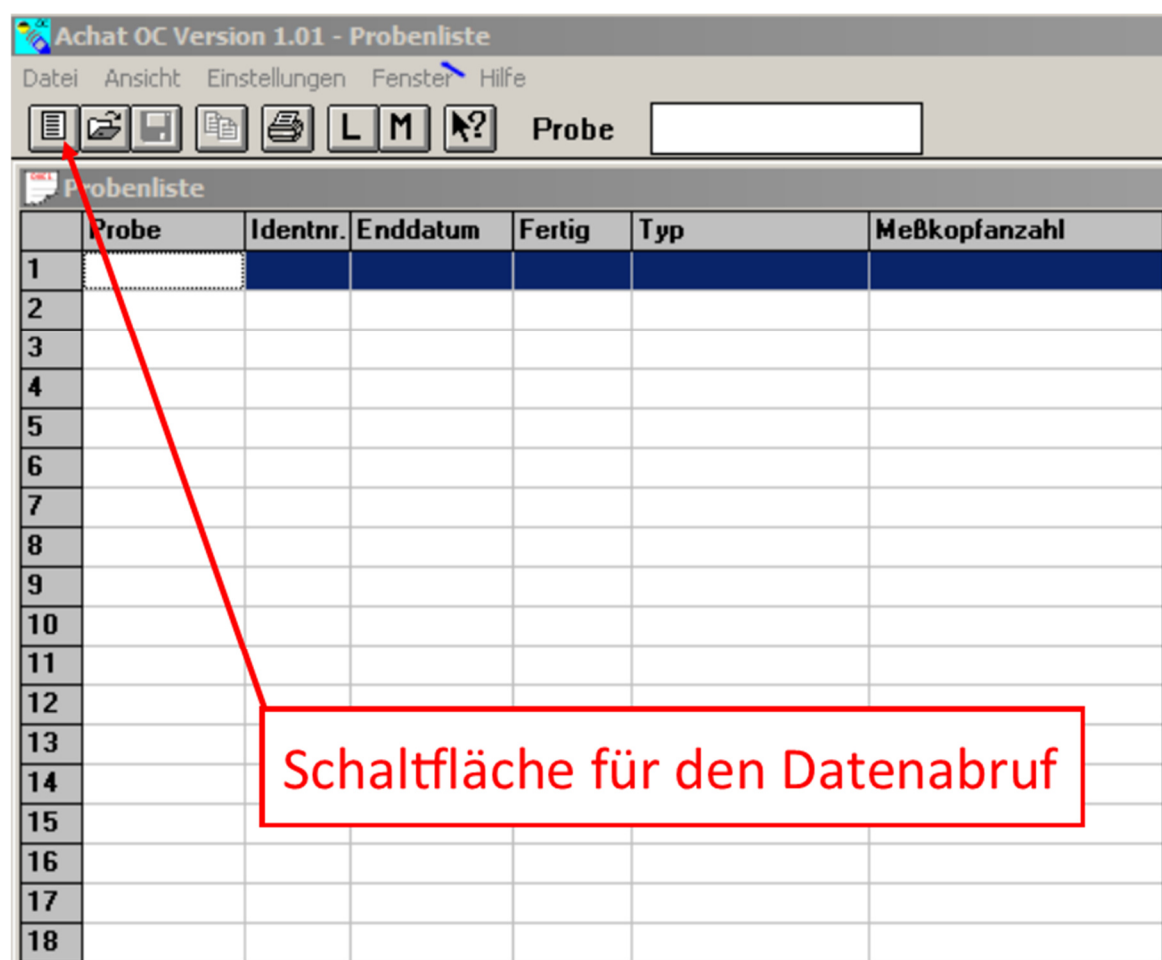


Abbildung 4-5: Das OxiTop-Interfaceprogramm ACHAT der Firma WTW für den Messdatentransfer vom Controller zum PC

4.5. Filtration der Zulaufproben

Für die Filtration der homogenisierten Zulaufproben wird zunächst eine Druckfiltration mittels Edelstahldruckfiltrationsgeräts verwendet (siehe Abbildung 4-6), dessen Druck 8 bar nicht überschreiten darf. Abbildung 4-6 zeigt die vier im Institutslabor vorhandenen Druckfiltrationseinheiten (vier Stahlzylinder), das Hauptabsperrrventil und die Absperrventile der jeweiligen Zylinder. Der Zylinderverschluss, die Siebplatte, das Lochblech, der Dichtring und der Gerätunterteil (Abbildung 4-7) müssen vor jedem Druckvorgang gut abgewaschen und gereinigt werden, damit keine Probenreste die nächste Messung beeinträchtigen können. Da die verwendeten Membranfilter ebenfalls Kohlenstoff enthalten können, der die Ergebnisse der Messungen beeinflussen kann, ist es ratsam, die verwendeten Membranfilter vor dem Filtrationsvorgang gründlich mit Reinstwasser vorzuspülen und damit zu reinigen. Auf diesen Schritt kann verzichtet werden, sofern explizit kohlenstofffreie Filter zur Verfügung stehen.

WICHTIG: Geräte, die mit einem hohen Druck betrieben werden, müssen unter permanenter Aufsicht der bedienenden Laboranten*innen sein!



Abbildung 4-6: Die vier Druckfiltrationszylinder, das Hauptabsperrventil und die vier Sperrventile der jeweiligen Zylinder im Labor des Instituts.



Abbildung 4-7: Vier Paare Unterbau-Schraubverschlüsse zur Aufnahme der Lochbleche, der Siebe, der Filter (nicht dargestellt) und der Dichtringe sowie die vier Zylinderverschlüsse zum Verschließen der Druckfiltrationsgeräte (von unten nach oben aufgelegt)

4.5.1 Vorreinigung der verwendeten 0,45 µm-Membranfilter

Zu Beginn des Versuchs muss sichergestellt werden, dass das Hauptabsperrenteil (Abbildung 4-6) und die separaten Absperrventile der jeweiligen Zylinder alle verschlossen sind. An einem vorgewaschenen und getrockneten Filtrationszylinder wird der Unterbau-Schraubverschluss mit einem eingesetzten 0,45 µm-Membranfilter und allen sonstigen Bestandteilen (siehe Abbildung 4-6) fest von unten angeschraubt. Die Reihenfolge der Einzelteile von unten nach oben ist: Unterbau-Schraubverschluss, Lochblech, Sieb, Membranfilter, Dichtring. Der Druckzylinder wird zunächst zur Vorreinigung des Filtermaterials mit 200 mL Reinstwasser angefüllt und der Zylinderverschluss an der Zylinderoberseite fest verschraubt. Unterhalb der Filtrationseinheit wird zur Aufnahme des Filtrates ein Gefäß positioniert. Das Hauptabsperrenteil kann nun geöffnet werden. Das separate Absperrventil jedes einzelnen Zylinders (Abbildung 4-6) darf danach allmählich und sehr vorsichtig geöffnet werden, damit durch ein plötzliches Öffnen der Ventile nicht der Membranfilter beschädigt wird. Sobald sich die 200 mL Reinstwasser zum Vorreinigen der verwendeten Filter im Sammelgefäß befinden, ist der Filtervorreinigungsprozess abgeschlossen. Der Inhalt des Sammelgefäßes kann entsorgt werden, da er für keine weiteren Versuche mehr verwendet wird. Anschließend können die separaten Absperrventile der 4 Zylinder wieder verschlossen und die oberen Zylinderverschlüsse wieder ganz langsam geöffnet werden, damit der Überdruck aus den Zylindern langsam entweichen kann.

4.5.2 Durchführung der 0,45 µm-Membranfiltration

Der Druckzylinder wird mit exakt 100 mL einer homogenisierten Probe aus dem Zulauf der ARA befüllt. Danach wird der obere Zylinderverschluss fest verschraubt. Zur Aufnahme des Filtrats wird ein gründlich gereinigter und getrockneter Messbecher unter den Filtrationszylinder gestellt. Das separate Absperrventil des Zylinders darf danach allmählich geöffnet werden. Sobald sich die 100 mL Probenvolumen im Sammelgefäß befinden, ist der erste Filtrationsschritt abgeschlossen. Das gewonnene Filtrat wird im Messbecher aufbewahrt, da es in weiterer Folge bei der 0,1 µm-Membranfiltration weiterverwendet werden wird. Danach kann das separate Absperrventil wieder geschlossen und hierauf der Zylinderverschluss wieder langsam geöffnet und abgeschraubt werden, damit der Überdruck aus dem Zylinder wieder allmählich entweichen und die Filtrationseinheit für die nächste Filtration vorbereitet werden kann.

4.5.3 Reinigung der Filtrationseinheiten

Alle Druckzylinderteile (Zylinderverschlüsse, Siebplatte, Lochblech, Geräteunterteil und das Zylinderinnere), welche mit der Probe in Kontakt gekommen sind, müssen nach jedem Filtrationsvorgang sorgfältig gewaschen, gereinigt und getrocknet werden.

4.5.4 Vorreinigung der verwendeten 0,1 µm-Membranfilter

An ein gründlich vorgereinigtes und getrocknetes Gerät wird der Geräteunterteil mit einem eingesetzten 0,1 µm-Membranfilter und allen dazugehörigen Bestandteilen fest angeschraubt. Der Druckzylinder wird mit 200 mL Reinstwasser befüllt und der obere Zylinderverschluss fest angeschraubt. Unterhalb der Filtrationseinheit wird zur Aufnahme des Filtrates ein Gefäß positioniert. Das separate Absperrventil des Druckzylinders kann nun allmählich geöffnet werden. Sobald sich die 200 mL Reinstwasser zum Vorreinigen der verwendeten Filter im Sammelgefäß befinden, ist der Filtervorreinigungsprozess abgeschlossen. Der Inhalt des Sammelgefäßes kann entsorgt werden, da er für keine weiteren Versuche mehr verwendet wird. Anschließend kann das separate Absperrventil wieder verschlossen und der obere Zylinderverschluss ganz langsam geöffnet werden, damit der Überdruck aus dem Zylinder wieder langsam entweichen kann.

4.5.5 Durchführung der 0,1 µm-Membranfiltration

Der Druckzylinder wird mit den 100 mL der mit 0,45 µm vorfiltrierten Probe aus dem Arbeitsschritt 4.5.2 befüllt. Danach wird der obere Zylinderverschluss fest verschraubt. Zur Aufnahme des Filtrats wird ein gründlich gereinigter und getrockneter Messbecher unter den Filtrationszylinder gestellt. Das separate Absperrventil des Zylinders darf danach allmählich geöffnet werden. Sobald sich die 100 mL Probenvolumen im Sammelgefäß befinden, ist der Filtrationsschritt abgeschlossen. Das gewonnene Filtrat wird im Messbecher aufbewahrt, da es für

die nachfolgende CSB-Bestimmung verwendet werden wird. Danach kann das separate Absperrventil wieder geschlossen und hierauf der Zylinderverschluss wieder langsam geöffnet und abgeschraubt werden, damit der Überdruck aus dem Zylinder wieder allmählich entweichen und die Filtrationseinheit für die nächste Filtration vorbereitet werden kann.

4.6. Filtration der Ablaufprobe

Um die Filtration der Ablaufprobe durchzuführen, sind die Arbeitsschritte von 4.5.1 bis 4.5.5 mit der homogenisierten Ablaufprobe zu wiederholen.

4.7. Bestimmung der CSB-Konzentration der homogenisierten Zulaufprobe und Ermittlung des CSB_{GES}

Für die CSB-Bestimmungen kann entweder die konventionelle und genormte Methode nach ÖNORM-M 6265 oder ein CSB-Küvettentest verwendet werden. Aufgrund des geringeren Zeitaufwandes und der deutlich geringeren Kosten wird die Verwendung der HACH-Küvettentests mit Schnellaufschluss empfohlen. Zur Abschätzung der dabei auftretenden Messunsicherheit werden die CSB-Bestimmungen jeweils zweifach oder dreifach durchgeführt.

Das am Institut vorhandene Bestimmungs-Set der Firma „HACH“ besteht aus den folgenden Teilen:

- Spektralphotometer DR 2800
- Heizblock HAT 200 S
- Küvetten mit Reagenzien für die CSB-Bestimmung

4.7.1 Abschätzung des zu erwartenden CSB-Bereiches

Zunächst muss die CSB-Konzentration der homogenisierten Zulaufprobe abgeschätzt werden, da anhand dieser Schätzung der Messbereich der verwendeten Küvette ausgewählt werden muss. Dabei ist die Erfahrung des Laborpersonals bei der Abschätzung des zu erwartenden CSB-Messbereiches unerlässlich. Dabei kann der CSB-Messbereich sehr oft anhand der Farbe der Proben abgeschätzt werden. Eine dunklere Farbe des Abwassers deutet darauf hin, dass das Abwasser stärker mit CSB belastet ist, während ein hellerer Farbton des Abwassers auf das Gegenteil hinweist.

4.7.2 Befüllung und Vorbereitung der CSB-Küvetten für den Aufschluss

Nachdem der Messbereich für die CSB-Bestimmung ausgewählt wurde, wird eine Küvette für den geschätzten Messbereich aus der Packung entnommen und geschüttelt. Der Deckel der Küvette wird entsprechend markiert und beschriftet und danach abgeschraubt. Die Markierung hilft bei der Identifikation und Behandlung mehrerer parallel untersuchter Proben. Mit einer Präzisionspipette wird das

an der Küvetten-Packung angegebene erforderliche Probenvolumen in die Küvette zugegeben. Dies sollte ohne jeglichen Probenverlust erfolgen. Nach der Zugabe des Probenvolumen zu den Reagenzien sollte die Küvette mit dem zugehörigen markierten Verschluss fest verschlossen werden. Für eine möglichst gute Durchmischung der Probe mit den Reagenzien wird die gut verschlossene Küvette hierauf kräftig geschüttelt. Für eine bessere und vor allem gleichmäßigere und vom Laboranten unabhängige Durchmischung der Probe mit dem Reagenz kann dafür optional auch ein automatisches Rüttelgerät (Abbildung 4-8) verwendet werden. Die Küvette wird dabei oben kräftig gehalten, während der untere Teil der Küvette vom Gerät gleichmäßig geschüttelt wird. Damit ist der Vorbereitungsschritt einer Küvette abgeschlossen. Für jede weitere Küvette sind die Arbeitsschritte 4.7.1 - 4.7.2 zu wiederholen.



Abbildung 4-8: Automatisches Rüttelgerät (Produktflyer)

4.7.3 Chemischer Hochtemperatur-Aufschluss der CSB-Küvetten

Nach dem eine möglichst homogene Durchmischung der Proben mit den Reagenzien abgeschlossen ist, werden die Küvetteninhalte im „Heizblock-HAT-200-S“ (Abbildung 4-9) chemisch aufgeschlossen. Dafür sind der Heizblock zunächst

einzuschalten, die Küvetten in den Heizblock einzuführen und der Deckel des Blocks zu schließen. Danach kann das „HT“-Programm per Knopfdruck auf dem Bildschirm des Geräts ausgewählt und gestartet werden.

Das „HT“-Programm dauert 15 Minuten. Nach Ablauf dieser Zeit wird jede Küvette noch einmal mit dem Rüttelgerät behandelt. Abschließend soll die Probe in der Küvette vor der eigentlichen photometrischen CSB-Bestimmung noch für 30 bis 60 Minuten zum Abkühlen und Absetzen ruhen.



Abbildung 4-9: Verwendeter Heizblock zum chemischen Aufschließen der CSB-Küvetten mit geöffnetem und geschlossenem Deckel (Produktflyer der Fa. HACH))

4.7.4 Photometrische Bestimmung der CSB-Konzentrationen

Nach dem chemischen Hochtemperatur-Aufschluss im Heizblock und dem Abkühlen der Küvetten werden die Küvetten mittels Spektralphotometer-DR-2800, wie in Abbildung 4-10 gezeigt, photometrisch vermessen und damit die enthaltenen CSB-Konzentrationen in den Proben bestimmt. Davor werden die Glasoberflächen der Küvetten noch mit einem Tuch gründlich gereinigt, da ev. Verunreinigungen an den Glasoberflächen die Messergebnisse beeinflussen können. Das Spektralphotometer muss dafür nur eingeschaltet und die Küvetten in das Photometer eingeführt werden. Anhand des auf den Küvetten aufgedruckten und

vom Photometer automatisch ausgelesenen Strichcodes erfolgt die Messung und Anzeige des Messergebnisses vollautomatisch.



Abbildung 4-10: Spektralphotometer (Produktflyer der Fa. HACH)

4.7.5 CSB_{GES}-Bestimmung der Zulaufproben

Die CSB-Konzentration der homogenisierten Zulauf-Probe kann damit vom Bildschirm des Spektralphotometers abgelesen und notiert werden. Dieser Wert gibt die gesamte CSB-Konzentration des Abwassers an (CSB_{GES} [mg/L]). Für alle weiteren CSB-Bestimmungen sind die Arbeitsschritte 4.7.4 bis 4.7.5 entsprechend zu wiederholen.

4.8. Bestimmung der CSB-Konzentration der doppelt filtrierten Ablaufprobe und Ermittlung der CSB-Si-Fraktion

4.8.1 CSB-Bestimmung der doppelt filtrierten Ablaufprobe

Um die Konzentration des CSB der doppelt filtrierten Ablaufprobe zu bestimmen, sind die Arbeitsschritte 4.7.1 bis 4.7.4 entsprechend zu wiederholen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass anstatt der homogenisierten Zulaufprobe dafür jetzt die doppelt filtrierte und im Kapitel 4.6 beschriebene Ablaufprobe verwendet werden muss.

4.8.2 Ermittlung der CSB-Si-Fraktion

Der im vorangegangenen Abschnitt 4.8.1 ermittelte CSB-Wert gibt die Konzentration der gelöst inerten Fraktion des CSB im Abwasser an (CSB_{ABL,FILT,0.1} [mg/L]). Aufgrund des Vorhandenseins auch einer schnell abbaubaren Fraktion im Ablauf der ARA, muss noch ein Korrekturfaktor von 0,9 berücksichtigt werden. Damit lässt sich die Si-Fraktion mittels der folgenden Formel berechnen:

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1}$$

Gleichung 4-1

mit:

S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), $CSB_{ABL,FILT,0.1}$... CSB Konzentration des 0,1 µm-Filtrats aus dem Ablauf der ARA (mg/L)

4.9. Bestimmung der CSB-Konzentration der doppelt filtrierten Zulaufprobe und Ermittlung der CSB- S_s -Fraktion

4.9.1 CSB-Bestimmung der doppelt filtrierten Zulaufprobe

Um die Konzentration des CSB der doppelt filtrierten Zulaufprobe zu bestimmen, sind die Arbeitsschritte 4.7.1 bis 4.7.4 entsprechend zu wiederholen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass anstatt der homogenisierten Zulaufprobe jetzt dafür die doppelt filtrierte und im Kapitel 4.5 beschriebene Zulaufprobe verwendet werden muss. Daraus ergibt sich die für die Ermittlung der CSB- S_s -Fraktion erforderliche Summe $CSB_{ZUL,FILT,0.1}$ bestehend aus dem schnell abbaubaren, gelösten S_s und der inert gelösten Fraktionen S_i des CSB in [mg/L].

4.9.2 Ermittlung der CSB- S_s -Fraktion

Da S_i aus dem Abschnitt 4.8.2 und die Summe der gelösten Fraktionen aus dem Abschnitt 4.9.1 bereits bekannt sind, lässt sich die schnell abbaubare, gelöste Fraktion S_s aus der Differenz der beiden gelösten Fraktionen und der inert gelösten Fraktion ermitteln:

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i$$

Gleichung 4-2

mit:

S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), $CSB_{ZUL,FILT,0.1}$... CSB Konzentration des 0,1 µm-Filtrats aus dem Zulauf der ARA bzw. (S_i+S_s) (mg/L), S_s ... gelöst schnell abbaubarer CSB (mg/L)

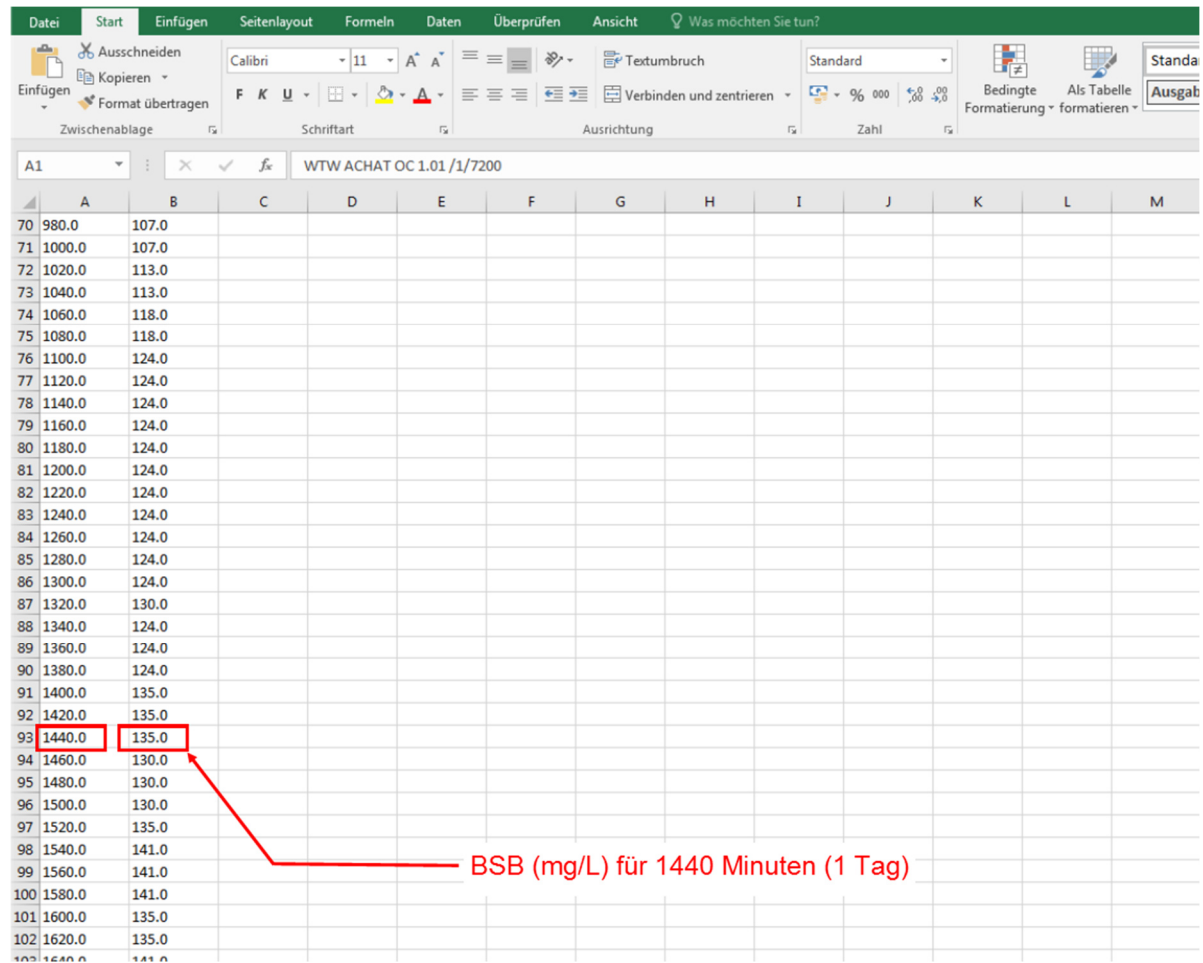
4.10. Bestimmung der CSB- X_s -Fraktion

Diese Bestimmungsvariante stellt eine modifizierte Vorgehensweise der STOWA nach Roeleveld & Loosdrecht (2002) dar. Zur Ermittlung dieser Fraktion werden die Ergebnisse der BSB₈-Ermittlung (OxiTop) verwendet, wodurch im weiteren Verlauf der Bestimmung keine weiteren Prüfvorrichtungen oder Labortätigkeiten benötigt werden.

4.10.1 Ermittlung der BSB-Werte nach 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 Tagen

Wie bereits erwähnt, werden die gemessenen BSB-Werte (mg/L) mit dem ACHAT-Programm (siehe Abschnitt 4.4.5) auf einen PC übertragen und in weiterer Folge zur Bestimmung des X_s verwendet. Damit sind auch die BSB-Werte nach den Tagen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 bekannt. Dafür sollte die von ACHAT generierte *.OXT-ASCII-Ausgangsdatei (siehe Abbildung 4-11) am besten mit Microsoft Excel geöffnet werden und aus den alle 20 min aufgezeichneten BSB-

Werten jene nach 1440, 2880, 4320, 5760, 7200, 8640, 10080 und 11520 Minuten herausgesucht und gespeichert werden. Für die weitere Berechnung werden nur die Mittelwerte der mit den Mehrfachbestimmungen gemessenen täglichen BSB-Konzentrationen verwendet.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
70	980.0	107.0											
71	1000.0	107.0											
72	1020.0	113.0											
73	1040.0	113.0											
74	1060.0	118.0											
75	1080.0	118.0											
76	1100.0	124.0											
77	1120.0	124.0											
78	1140.0	124.0											
79	1160.0	124.0											
80	1180.0	124.0											
81	1200.0	124.0											
82	1220.0	124.0											
83	1240.0	124.0											
84	1260.0	124.0											
85	1280.0	124.0											
86	1300.0	124.0											
87	1320.0	130.0											
88	1340.0	124.0											
89	1360.0	124.0											
90	1380.0	124.0											
91	1400.0	135.0											
92	1420.0	135.0											
93	1440.0	135.0											
94	1460.0	130.0											
95	1480.0	130.0											
96	1500.0	130.0											
97	1520.0	135.0											
98	1540.0	141.0											
99	1560.0	141.0											
100	1580.0	141.0											
101	1600.0	135.0											
102	1620.0	135.0											
103	1640.0	141.0											

Abbildung 4-11: Beispiel einer BSB-Ausgabedatei mit den alle 20 min fortlaufend aufgezeichneten BSB-Werten in Microsoft Excel

4.10.2 Erstellung der 8 Gleichungen zur Berechnung von BSB_{tot} auf Basis der BSB-Tageswerte nach 1, 2, 3, 4 5, 6, 7 und 8 Tagen

Zunächst wird eine leere Arbeitsmappe in Microsoft Excel oder einem beliebigen Tabellenkalkulationsprogramm erstellt. Die Zelle A1 wird für die Konstante erster Ordnung (K_{BSB}) reserviert und frei gelassen.

Anschließend werden 8 Gleichungen für die Berechnung von BSB_{tot} auf Basis der BSB-Messwerte nach 1, 2, 3, 4 5, 6, 7 und 8 Tagen 8 Zellen (Abbildung 4-12) zugewiesen. Dabei berechnet jede der 8 Gleichungen den BSB_{tot} auf Basis der zugeordneten BSB-Messwerte. Gleichung 1 beispielsweise auf Basis des BSB-1440-Minuten-Wertes nach 1 Tag, Gleichung 2 auf Basis des BSB-2880-Minuten-Wertes nach 2 Tagen, Gleichung 3 auf Basis des BSB-4320-Minuten-Wertes nach 3 Tagen, Gleichung 4 auf Basis des BSB-5760-Minuten-Wertes

Überarbeitung

nach 4 Tagen, Gleichung 5 auf Basis des BSB-7200-Minuten-Wertes nach 5 Tagen,... und Gleichung 8 auf Basis des BSB-11520-Minuten-Wertes nach 8 Tagen.

A	B	C	D	E
k_{BSB}				
GLEICHUNG 1				
GLEICHUNG 2				
GLEICHUNG 3				
GLEICHUNG 4				
GLEICHUNG 5				
GLEICHUNG 6				
GLEICHUNG 7				
GLEICHUNG 8				

Abbildung 4-12: Erstellung der 8 Gleichungen für die Berechnung von BSB_{tot}

Die Gleichungen werden wie in Abbildung 4-13 dargestellt eingegeben. Dabei werden die zuvor im Abschnitt 4.10.1 gespeicherten Tageswerte (mg/L) nach 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, und 8 Tagen der BSB-Messung (OxiTop) eingesetzt. Die BSB-Werte in Abbildung 4-13 sollen den Mittelwerten des gemessenen Minimums und Maximums der zugehörigen Probe für den jeweiligen Tag entsprechen (Kapitel 4.4.5), was bei einer Doppelbestimmung dem Mittelwert aus den beiden Messungen entspricht.

	A	B	C	D
1	k_{BSB}			
2				
3	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*1))*\$B\1440			
4	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*2))*\$B\2880			
5	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*3))*\$B\4320			
6	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*4))*\$B\5760			
7	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*5))*\$B\7200			
8	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*6))*\$B\5762			
9	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*7))*\$B\5763			
10	$=1/(1-EXP(-\$A\$1*8))*\$B\5764			
11				
12				
13				

Der Wert "**BSB1440**" entspricht dem Mittelwert der beiden BSB-Messungen (OxiTop) für die Zeit der 1440 Minuten der zugehörigen Probe. Bei einer dreifach Bestimmung entspricht der Wert "BSB1440" dem Mittelwert des Maximums und des Minimums der BSB-Messung (OxiTop).

Abbildung 4-13: Eingabe der 8 Gleichungen für die Berechnung von BSB_{tot} auf Basis der BSB-Werte nach 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 Tagen

4.10.3 Ermittlung des k_{BSB} -Konstante, des BSB^{∞} und des $CSB-X_s$

Nachdem die Erstellung der 8 Gleichungen abgeschlossen wurde, kann mit der manuellen Iteration der Zelle A1 (k_{BSB} -Konstante erster Ordnung) begonnen werden. Die Konstante k_{BSB} ist einheitenlos und variiert laut STOWA nach Roeleveld & Loosdrecht (2002) zwischen 0,15 und 0,8 [-]. Die bisherigen Untersuchungen von Grazer Abwasser ergaben Werte zwischen 0,39 und 0,66 [-].

Bei der manuellen Iteration wird für die k_{BSB} -Konstante zunächst mit dem Wert 0,15 in der Zelle A1 begonnen und diese dann iterativ bis 0,8 vergrößert und zwar

solange bis das Berechnungsergebnis für BSB_{tot} bei allen acht Gleichungen (Abbildung 4-3) weitestgehend identisch ist. Die erzielbare Genauigkeit beschränkt sich dabei auf ganze Zahlen für BSB_{tot} und schließt keine Nachkommastellen ein. Das identische Ergebnis der 8 Gleichungen entspricht schließlich auch dem BSB_{tot} [mg/L] der zugehörigen Probe, der für die Ermittlung des BSB^∞ verwendet wird.

OPTIONAL: Falls der Schritt 4.10.3 allein durch Iteration von k_{BSB} nicht gelingt, wird empfohlen die in den 8 Gleichungen verwendeten BSB -Tageswerte (Abbildung 4-13) innerhalb gewisser Bandbreiten zu variieren (z. B. zwischen dem minimalen und maximalen Wert der Zweifach oder Dreifach-Bestimmungen). Dafür kann auch der von Ferdinand KAISER (2020) in seiner Masterarbeit entwickelten Python Code („bsb-tot.py“) verwendet werden.

Nachdem der BSB_{tot} mittels dieser o. a. Regression ermittelt wurde, kann der gesamte biologische Sauerstoffbedarf BSB^∞ mit der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$BSB^\infty = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} \quad \text{Gleichung 4-3}$$

mit:

BSB^∞ ... gesamter biologischer Sauerstoffbedarf (mg/L), f_{BOD} ... Korrekturfaktor (-), BSB_{tot} ... mittels Regression approximierter Wert aus den BSB -Messungen (mg/L)

Der f_{BOD} ist ein Korrekturfaktor und darf zwischen 0,1 und 0,2 gewählt werden.

Sobald der BSB^∞ ermittelt wurde, kann der X_s aus der Differenz des gesamten biologischen Sauerstoffbedarfs BSB^∞ und der leicht abbaubaren, gelösten CSB-Fraktion S_s mit Hilfe folgender Gleichung errechnet werden:

$$X_s = BSB^\infty - S_s \quad \text{Gleichung 4-4}$$

mit:

X_s ... partikulär langsam abbaubarer CSB (mg/L), BSB^∞ ... gesamter biologischer Sauerstoffbedarf nach Roelleveld & Loosdrecht(2002) (mg/L), S_s ... schnell abbaubarer, gelöster CSB

4.11. Bestimmung der X_i -Fraktion

Da die X_i -Fraktion als einzige Unbekannte der betrachteten CSB-Fractionen übrig bleibt, lässt sie sich leicht aus der Differenz der restlichen Fractionen vom CSB_{GES} (Kapitel 4.7) errechnen. Der partikulär inerte CSB wird daher mit der folgenden Gleichung ermittelt:

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i \quad \text{Gleichung 4-5}$$

mit:

X_s ... partikulär langsam abbaubarer CSB (mg/L), CSB_{GES} ... gesamter chemischer Sauerstoffbedarf, S_s ... schnell abbaubarer, gelöster CSB, S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), X_i ... partikulär inerte CSB (mg/L)

Mit der Beendigung dieses Schrittes sind alle gesuchten CSB-Fractionen ermittelt worden!

Anhang B

Ergebnisse der CSB Messungen (HACH)

CSB Messungen

Ergebnisse der 8 täglichen Messkampagne an der ARA Graz Gössendorf

durchgeführt vom 16.06.2019 bis zum 24.06.2019

am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der
Technischen Universität Graz

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

16.06.2019

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	767	776,5		
		786			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	159	161		
		163			
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	417	422,5		
		428			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	496	501,5		
		507			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	369	363,5		
		358			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	38,5	39,2		
		39,9			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	57184
---------------------------------	--------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

17/18.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	740	738,5	31,7	31,7
		737		31,3	
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	246	244,5	23,1	23,9
		243		24,7	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	434	439,5		
		445			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	507	512,5	10,9	10,9
		518		12,9	
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	320	322		
		324			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	36,4	34,75		
		33,1			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	77114
---------------------------------	--------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

18/19.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	809	799,5	40,3	40,3
		790		40,6	
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	291	291,5	32,3	32,35
		292		32,4	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	496	493		
		490			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	411	414	8,7	8,7
		417		9	
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	350	350		
		350			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	88	86,55		
		85,1			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	68741
---------------------------------	--------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

19/20.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	751	754,5		
		758			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	245	233,5	25,5	26
		222		26,5	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	411	414		
		417			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	524	524		
		524			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	348	354		
		360			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	83,9	84,75		
		85,6			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	68242
---------------------------------	--------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

20/21.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	513	515		
		517			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	165	163	29,9	30,05
		161		30,2	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	254	254		
		254			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	315	312,5		
		310			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	278	277		
		276			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	79,1	79,75		
		80,4			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m ³ /d)	71477
---------------------------------	---------------------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

21/22.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	764	775		
		786			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	206	205	25,1	24,9
		204		24,7	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	428	431		
		434			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	513	513		
		513			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	358	354		
		350			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	79,3	80,8		
		82,3			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	104613
---------------------------------	--------	--------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

22/23.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	415	414,5		
		414			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	105	106	20,1	19,95
		107		19,8	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	203	200		
		197			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	237	237		
		237			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	252	249		
		246			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	75,4	79,55		
		83,7			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m ³ /d)	65744
---------------------------------	---------------------	-------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

23/24.06.19

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]	264	267,5		
		271			
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]	88,3	87,9	17,8	16,9
		87,5		16	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]	141	146,5		
		152			
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]	175	177,5		
		180			
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]	138	148		
		158			
GV (Glühverlust)	[mg/L]	76,8	79,55		
		82,3			

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	160172
---------------------------------	--------	--------

Zulauf + Ablauf = 24h Mischprobe

24/25.06.2019

Probe	Einheit	Zulauf	Zulauf MW	Ablauf	Ablauf MW
CSB homogenisiert	[mg/l]				
CSB 0,1µm membranfiltriert	[mg/l]			19	19,4
				19,8	
BSB 5 homogenisiert	[mg/l]				
BSB 8 homogenisiert	[mg/l]				
AFS 0,45µm membranfiltriert	[mg/l]				
GV (Glühverlust)	[mg/L]				

Zulaufmenge [Q _{ARA}]	(m³/d)	155814
---------------------------------	--------	--------

Anhang C

Ergebnisse der BSB₈ Messungen (Oxi Top)

BSB₅-Messungen (OXITop)

Ergebnisse der 8 tägigen Messkampagne an der

ARA Graz Gössendorf

durchgeführt vom 16.06.2019 bis zum 24.06.2019

am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der
Technischen Universität Graz

BSB8

Bezeichnung	Datum	Q-Mengen [m³]	Tag 1 (mg/L)	Tag 2 (mg/L)	Tag 3 (mg/L)	Tag 4 (mg/L)	Tag 5 (mg/L)	Tag 6 (mg/L)	Tag 7 (mg/L)	Tag 8 (mg/L)
Zulauf	16.-17.06.2019	57184	169	310	377	417	439	468	479	496
Zulauf	16.-17.06.2019		169	321	389	428	451	473	490	507
Zulauf	17.-18.06.2019	77114	197	338	394	434	456	479	490	508
Zulauf	17.-18.06.2019		203	338	406	445	473	490	507	518
Zulauf	18.-19.06.2019	68741	231	372	451	496	535	563	580	603
Zulauf	18.-19.06.2019		231	372	445	490	518	546	569	580
Zulauf	19.-20.06.2019	68242	186	304	361	411	451	490	507	524
Zulauf	19.-20.06.2019		192	315	377	417	456	490	513	524
Zulauf	20.-21.06.2019	714477	101	180	225	254	287	299	310	315
Zulauf	20.-21.06.2019		101	180	225	254	276	293	304	310
Zulauf	21.-22.06.2019	104613	186	310	383	428	451	473	496	513
Zulauf	21.-22.06.2019		197	315	389	434	456	479	501	513
Zulauf	22.-23.06.2019	65744	84,5	152	186	203	220	225	231	237
Zulauf	22.-23.06.2019		78,9	146	180	197	214	220	231	237
Zulauf	23.-24.06.2019	160172	62	107	130	141	158	163	169	175
Zulauf	23.-24.06.2019		67,6	113	135	152	163	169	180	180
	24.-25.06.2019	1558814								

Anhang D

Berechnung der CSB Fraktionen

Berechnung der CSB Fraktionen nach der SOP

Ergebnisse der 8 tägigen Messkampagne an der ARA Graz Gössendorf

durchgeführt vom 16.06.2019 bis zum 24.06.2019

am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der
Technischen Universität Graz

Verwendete Gleichungen:

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:

k_{BSB} ... Konstante erster Ordnung (-), BSB_t ... biochemischer Sauerstoffbedarf nach t -Tagen (mg/L), BSB_{tot} ... mittels Regression approximierter Wert aus den BSB-Messungen (mg/L), t ... Tag der Messung (-)

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

BSB_{∞} ... gesamter biologischer Sauerstoff Bedarf (mg/L), f_{BOD} ... Korrekturfaktor (-), BSB_{tot} ... mittels Regression approximierter Wert aus der BSB-Messung (mg/L)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit:

S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), $CSB_{ABL,FILT,0.1}$... CSB Konzentration des 0,1 μm Filtrats aus dem Ablauf der ARA (mg/L)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i \quad \text{Gleichung 4}$$

mit:

S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), $CSB_{ZUL,FILT,0.1}$... CSB Konzentration des 0,1 μm -Filtrats aus dem Zulauf der ARA (mg/L), S_s ... schnell abbaubarer CSB

$$X_s = X_S + X_H = BSB_{\infty} - S_s \quad \text{Gleichung 5}$$

mit:

X_s ... partikulär schwer abbaubarer-CSB (mg/L), BSB_{∞} ... gesamter biologischer Sauerstoffbedarf nach Roeleveld & Loosdrecht (2002) (mg/L), S_s ... schnell abbaubarer CSB

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i \quad \text{Gleichung 6}$$

mit:

X_i ... partikulär inerte CSB (mg/L), CSB_{GES} ... gesamter chemischer Sauerstoffbedarf, S_s ... schnell abbaubarer CSB, S_i ... gelöst inerte CSB (mg/L), X_s ... partikulär schwer abbaubarer-CSB (mg/L)

Berechnung der CSB Fraktionierung für 16.06.2019

Gegeben:

min. BSB₁₄₄₀=169 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=169 [mg/L]
min. BSB₂₈₈₀=310 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=321 [mg/L]
min. BSB₄₃₂₀=377 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=389 [mg/L]
min. BSB₅₇₆₀=417 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=428 [mg/L]
min. BSB₇₂₀₀=439 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=451 [mg/L]
min. BSB₈₆₄₀=468 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=473 [mg/L]
min. BSB₁₀₀₈₀=479 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=490 [mg/L]
min. BSB₁₁₅₂₀=496 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=507 [mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =169,0 [mg/L]	BSB ₁ =169,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =315,5 [mg/L]	BSB ₂ =315,5 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =383,0 [mg/L]	BSB ₃ =383,0 [mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =422,5 [mg/L]	BSB ₄ =422,5 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =445,0 [mg/L]	BSB ₅ =445,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =470,5 [mg/L]	BSB ₆ =470,5 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =484,5 [mg/L]	BSB ₇ =484,5 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =501,5 [mg/L]	BSB ₈ =501,5 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,43[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,51 \cdot 1}} * 169 = 483,56 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 515,00 = 537,29 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{23,1 + 24,7}{2} = 21,51 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(159 + 163)}{2} - 21,51 = 139,49 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 537,39 - 139,49 = 397,9 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{767 + 786}{2} - 139,49 - 397,9 - 21,51 = 217,6 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 17.06.2019

Gegeben:

min. BSB₁₄₄₀=197 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=203 [mg/L]
 min. BSB₂₈₈₀=338 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=338 [mg/L]
 min. BSB₄₃₂₀=394 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=406 [mg/L]
 min. BSB₅₇₆₀=434 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=445 [mg/L]
 min. BSB₇₂₀₀=456 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=473 [mg/L]
 min. BSB₈₆₄₀=479 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=490 [mg/L]
 min. BSB₁₀₀₈₀=490 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=507 [mg/L]
 min. BSB₁₁₅₂₀=508 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=518 [mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =203,0 [mg/L]	BSB ₁ =203,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =338,0 [mg/L]	BSB ₂ =338,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =404,0 [mg/L]	BSB ₃ =404,0 [mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =445,0 [mg/L]	BSB ₄ =445,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =437,0 [mg/L]	BSB ₅ =473,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =490,0 [mg/L]	BSB ₆ =490,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =501,0 [mg/L]	BSB ₇ =501,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =508,0 [mg/L]	BSB ₈ =508,0 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,51[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,51 \cdot 1}} * 203,0 = 508,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 508,0 = 564,59 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{32,3 + 32,4}{2} = 29,12 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(246 + 243)}{2} - 29,12 = 215,39 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 564,59 - 215,39 = 349,21 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{740 + 737}{2} - 215,39 - 340,86 - 29,12 \\ = 144,80 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 18.06.2019**Gegeben:**

min. BSB₁₄₄₀=231 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=231 [mg/L]
min. BSB₂₈₈₀=372 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=372 [mg/L]
min. BSB₄₃₂₀=445 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=451 [mg/L]
min. BSB₅₇₆₀=490 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=496 [mg/L]
min. BSB₇₂₀₀=518 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=535 [mg/L]
min. BSB₈₆₄₀=546 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=563 [mg/L]
min. BSB₁₀₀₈₀=569 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=580 [mg/L]
min. BSB₁₁₅₂₀=580 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=603 mg/L

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =231,0 [mg/L]	BSB ₁ =231,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =372,0 [mg/L]	BSB ₂ =372,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =451,0 [mg/L]	BSB ₃ =451,0 mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =496,0 [mg/L]	BSB ₄ =496,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =535,0 [mg/L]	BSB ₅ =535,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =555,0 [mg/L]	BSB ₆ =555,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =569,0 [mg/L]	BSB ₇ =569,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =580,0 [mg/L]	BSB ₈ =580,0 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,50[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,49 \cdot 1}} * 231,0 = 587,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 587,0 = 652,32 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{25,5 + 26,5}{2} = 23,4 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(246 + 243)}{2} - 29,12 = 268,1 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 652,32 - 268,1 = 384,22 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{740 + 737}{2} - 268,1 - 396,16 - 29,12 = 123,78 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 19.06.2019**Gegeben:**

min. BSB₁₄₄₀=186 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=192 [mg/L]
min. BSB₂₈₈₀=304 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=315 [mg/L]
min. BSB₄₃₂₀=361 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=377 [mg/L]
min. BSB₅₇₆₀=411 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=417 [mg/L]
min. BSB₇₂₀₀=451 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=456 [mg/L]
min. BSB₈₆₄₀=490 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=490 [mg/L]
min. BSB₁₀₀₈₀=507 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=513 [mg/L]
min. BSB₁₁₅₂₀=524 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=524 mg/L

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =186,0 [mg/L]	BSB ₁ =186,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =304,0 [mg/L]	BSB ₂ =304,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =377,0 [mg/L]	BSB ₃ =377,0 mg/L und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =417,0 [mg/L]	BSB ₄ =417,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =456,0 [mg/L]	BSB ₅ =456,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =490,0 [mg/L]	BSB ₆ =490,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =507,0 [mg/L]	BSB ₇ =507,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =524,0 [mg/L]	BSB ₈ =524,0 [mg/L] und t=8[-]

$$k_{BSB}=0,42[-]$$

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,43 \cdot 1}} * 186,0 = 542,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 542,0 = 602,61 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{29,9 + 30,2}{2} = 27,05 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(245 + 222)}{2} - 27,05 = 206,46 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 556,24 - 215,39 = 396,16 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$\begin{aligned} X_i &= CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{740 + 737}{2} - 215,39 - 340,86 - 29,12 \\ &= 124,85 \left[\frac{mg}{L} \right] \end{aligned}$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 20.06.2019

Gegeben:

min. BSB₁₄₄₀=101 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=101 [mg/L]
 min. BSB₂₈₈₀=180 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=180 [mg/L]
 min. BSB₄₃₂₀=225 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=225 [mg/L]
 min. BSB₅₇₆₀=254 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=254 [mg/L]
 min. BSB₇₂₀₀=276 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=287 [mg/L]
 min. BSB₈₆₄₀=293 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=299 [mg/L]
 min. BSB₁₀₀₈₀=304 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=310 [mg/L]
 min. BSB₁₁₅₂₀=310 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=315 mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =101,0 [mg/L]	BSB ₁ =101,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =180,0 [mg/L]	BSB ₂ =180,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =225,0 [mg/L]	BSB ₃ =225,0 mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =254,0 [mg/L]	BSB ₄ =254,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =278,0 [mg/L]	BSB ₅ =278,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =293,0 [mg/L]	BSB ₆ =293,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =304,0 [mg/L]	BSB ₇ =304,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =310,0 [mg/L]	BSB ₈ =310,0 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,39[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,38 \cdot 1}} * 101,0 = 313,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 354,98 = 347,5 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{25,4 + 24,7}{2} = 22,41 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(165 + 161)}{2} - 22,41 = 140,09 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 354,98 - 140,59 = 206,91 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$\begin{aligned} X_i &= CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{513 + 517}{2} - 140,59 - 214,39 - 22,41 \\ &= 145,09 \left[\frac{mg}{L} \right] \end{aligned}$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 21.06.2019

Gegeben:

min. BSB₁₄₄₀=186 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=197 [mg/L]
 min. BSB₂₈₈₀=310 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=315 [mg/L]
 min. BSB₄₃₂₀=383 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=389 [mg/L]
 min. BSB₅₇₆₀=434 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=428 [mg/L]
 min. BSB₇₂₀₀=451 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=456 [mg/L]
 min. BSB₈₆₄₀=473 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=479 [mg/L]
 min. BSB₁₀₀₈₀=496 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=501 [mg/L]
 min. BSB₁₁₅₂₀=513 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=513 mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =188,0 [mg/L]	BSB ₁ =188,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =310,0 [mg/L]	BSB ₂ =310,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =384,0 [mg/L]	BSB ₃ =384,0 mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =433,0 [mg/L]	BSB ₄ =433,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =456,0 [mg/L]	BSB ₅ =456,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =479,0 [mg/L]	BSB ₆ =479,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =496,0 [mg/L]	BSB ₇ =496,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =513,0 [mg/L]	BSB ₈ =513,0 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,45[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} * t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,46 * 1}} * 188,0 = 519,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: f_{bod}= 0,1[-]

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 519,37 = 576,45 \frac{mg}{L}$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{20,1 + 19,8}{2} = 17,96 \frac{mg}{L}$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(206 + 204)}{2} - 22,41 = 187,05 \frac{mg}{L}$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 354,98 - 140,59 = 389,41 \frac{mg}{L}$$

Gleichung 6)

$$\begin{aligned} X_i &= CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{764 + 786}{2} - 187,05 - 390,04 - 17,96 \\ &= 180,60 \frac{mg}{L} \end{aligned}$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 22.06.2019

Gegeben:

min. BSB₁₄₄₀=78,9 [mg/L]; max. BSB₁₄₄₀=84,5 [mg/L]
 min. BSB₂₈₈₀=146 [mg/L]; max. BSB₂₈₈₀=152 [mg/L]
 min. BSB₄₃₂₀=180 [mg/L]; max. BSB₄₃₂₀=186 [mg/L]
 min. BSB₅₇₆₀=197 [mg/L]; max. BSB₅₇₆₀=203 [mg/L]
 min. BSB₇₂₀₀=214 [mg/L]; max. BSB₇₂₀₀=220 [mg/L]
 min. BSB₈₆₄₀=225 [mg/L]; max. BSB₈₆₄₀=220 [mg/L]
 min. BSB₁₀₀₈₀=231 [mg/L]; max. BSB₁₀₀₈₀=231 [mg/L]
 min. BSB₁₁₅₂₀=237 [mg/L]; max. BSB₁₁₅₂₀=237 mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

BSB ₁₄₄₀ =84,0 [mg/L]	BSB ₁ =84,0 [mg/L] und t=1[-]
BSB ₂₈₈₀ =146,0 [mg/L]	BSB ₂ =146,0 [mg/L] und t=2[-]
BSB ₄₃₂₀ =180,0 [mg/L]	BSB ₃ =180,0 mg/L] und t=3[-]
BSB ₅₇₆₀ =201,0 [mg/L]	BSB ₄ =201,0 [mg/L] und t=4[-]
BSB ₇₂₀₀ =216,0 [mg/L]	BSB ₅ =216,0 [mg/L] und t=5[-]
BSB ₈₆₄₀ =225,0 [mg/L]	BSB ₆ =225,0 [mg/L] und t=6[-]
BSB ₁₀₀₈₀ =231,0 [mg/L]	BSB ₇ =231,0 [mg/L] und t=7[-]
BSB ₁₁₅₂₀ =237,0 [mg/L]	BSB ₈ =237,0 [mg/L] und t=8[-]

k_{BSB}=0,44[-]

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} * t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,44 * 1}} * 84,0 = 236,0 \frac{mg}{L}$$

Gleichung 2)

Gewählt: $f_{\text{bod}} = 0,1[-]$

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{\text{tot}} = \frac{1}{1 - 0,1} * 229,52 = 262,20 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0,1} = 0,9 * \frac{17,8 + 16}{2} = 15,21 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0,1} - S_i = \frac{(105 + 107)}{2} - 15,21 = 90,79 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 519,37 - 90,79 = 171,41 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Gleichung 6)

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{415 + 414}{2} - 90,79 - 164,23 - 15,21 = 137,09 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Berechnung der CSB Fraktionierung für 23.06.2019**Gegeben:**

min. $BSB_{1440} = 62$ [mg/L]; max. $BSB_{1440} = 67,6$ [mg/L]
min. $BSB_{2880} = 107$ [mg/L]; max. $BSB_{2880} = 113$ [mg/L]
min. $BSB_{4320} = 130$ [mg/L]; max. $BSB_{4320} = 135$ [mg/L]
min. $BSB_{5760} = 141$ [mg/L]; max. $BSB_{5760} = 152$ [mg/L]
min. $BSB_{7200} = 158$ [mg/L]; max. $BSB_{7200} = 163$ [mg/L]
min. $BSB_{8640} = 163$ [mg/L]; max. $BSB_{8640} = 169$ [mg/L]
min. $BSB_{10080} = 169$ [mg/L]; max. $BSB_{10080} = 180$ [mg/L]
min. $BSB_{11520} = 175$ [mg/L]; max. $BSB_{11520} = 180$ mg/L]

Gewählt (aus der Regression):

$BSB_{1440} = 66,0$ [mg/L]	$BSB_1 = 64,80$ [mg/L] und $t = 1[-]$
$BSB_{2880} = 108,0$ [mg/L]	$BSB_2 = 108,0$ [mg/L] und $t = 2[-]$
$BSB_{4320} = 134,0$ [mg/L]	$BSB_3 = 134,0$ mg/L] und $t = 3[-]$
$BSB_{5760} = 151,0$ [mg/L]	$BSB_4 = 151,0$ [mg/L] und $t = 4[-]$
$BSB_{7200} = 161,0$ [mg/L]	$BSB_5 = 161,0$ [mg/L] und $t = 5[-]$
$BSB_{8640} = 168,0$ [mg/L]	$BSB_6 = 168,0$ [mg/L] und $t = 6[-]$
$BSB_{10080} = 172,0$ [mg/L]	$BSB_7 = 172,0$ [mg/L] und $t = 7[-]$
$BSB_{11520} = 175,0$ [mg/L]	$BSB_8 = 175,0$ [mg/L] und $t = 8[-]$

$k_{BSB} = 0,46[-]$

Gleichung 1)

$$BSB_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BSB} \cdot t}} * BSB_t = \frac{1}{1 - e^{-0,45 \cdot 1}} * 66,0 = 179,0 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 2)

Gewählt: $f_{bod} = 0,1 [-]$

$$BSB_{\infty} = \frac{1}{1 - f_{BOD}} * BSB_{tot} = \frac{1}{1 - 0,1} * 179,0 = 198,89 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 3)

$$S_i = 0,9 * CSB_{ABL,FILT,0.1} = 0,9 * \frac{19 + 19,8}{2} = 17,46 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 4)

$$S_s = CSB_{ZUL,FILT,0.1} - S_i = \frac{(88,3 + 87,5)}{2} - 15,21 = 70,44 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 5)

$$X_s = BSB_{\infty} - S_s = 198,89 - 90,79 = 108,10 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Gleichung 6)

$$X_i = CSB_{GES} - S_s - X_s - S_i = \frac{264 + 271}{2} - 90,79 - 108,10 - 15,21 = 51,15 \left[\frac{mg}{L} \right]$$

Python code für BSB_{tot} Berechnung

```
import pandas as pd
import os
import numpy as np
import math

# path = os.path.join('C:\\', 'Users', 'roman', 'Desktop')
filename = 'bsb_tot.csv'
df = pd.read_csv(filename, sep=',')
df = df.round(0)
df['Z1'] = pd.to_numeric(df['Z1'], downcast='integer')
df['Z2'] = pd.to_numeric(df['Z2'], downcast='integer')

df_final_stds = pd.DataFrame(columns=['k_bsb', 'd1_meas', 'd1_bsb_tot', 'd2_meas', 'd2_bsb_tot', 'd3_meas', 'd3_bsb_tot',
                                     'd4_meas', 'd4_bsb_tot', 'd5_meas', 'd5_bsb_tot', 'd6_meas', 'd6_bsb_tot',
                                     'd7_meas', 'd7_bsb_tot', 'd8_meas', 'd8_bsb_tot', 'std', 'trial'])

un_t = pd.unique(df['trial'])
trial_size = len(un_t)
for t in range(1, trial_size):
    df_t = df[df['trial'] == un_t[t]]
    results = list()
    for k in np.arange(0.39, 0.67, 0.01):
        for index, day in df_t.iterrows():
            day_number = index+1-t*8
            for x in range(min(day['Z1'], day['Z2']), max(day['Z1'], day['Z2'])+1):
                divisor = 1 - math.exp(-k*day_number)
                if divisor != 0:
                    results.append({'k_bsb': k, 'day': day_number, 'meas': x, 'bsb_tot': 1/divisor*x})

df_results = pd.DataFrame(results)
# print(df_results)
print('Trial results are ready', flush=True)

smallest_std = {'k_bsb': 0, 'd1_meas': 0, 'd1_bsb_tot': 0, 'd2_meas': 0, 'd2_bsb_tot': 0,
                'd3_meas': 0, 'd3_bsb_tot': 0, 'd4_meas': 0, 'd4_bsb_tot': 0,
                'd5_meas': 0, 'd5_bsb_tot': 0, 'd6_meas': 0, 'd6_bsb_tot': 0,
                'd7_meas': 0, 'd7_bsb_tot': 0, 'd8_meas': 0, 'd8_bsb_tot': 0,
                'std': 10000.5}

i = 0
k_s = pd.unique(df_results['k_bsb'])
for k in k_s:
    df_k = df_results[df_results['k_bsb'] == k]
    df_d1 = df_k[df_k['day'] == 1].to_dict(orient='index')
    df_d2 = df_k[df_k['day'] == 2].to_dict(orient='index')
    df_d3 = df_k[df_k['day'] == 3].to_dict(orient='index')
    df_d4 = df_k[df_k['day'] == 4].to_dict(orient='index')
    df_d5 = df_k[df_k['day'] == 5].to_dict(orient='index')
    df_d6 = df_k[df_k['day'] == 6].to_dict(orient='index')
    df_d7 = df_k[df_k['day'] == 7].to_dict(orient='index')
    df_d8 = df_k[df_k['day'] == 8].to_dict(orient='index')
    for _, d1_row in df_d1.items():
        for _, d2_row in df_d2.items():
            for _, d3_row in df_d3.items():
                for _, d4_row in df_d4.items():
                    for _, d5_row in df_d5.items():
                        for _, d6_row in df_d6.items():
                            for _, d7_row in df_d7.items():
                                for _, d8_row in df_d8.items():
                                    std = np.std([d1_row['bsb_tot'], d2_row['bsb_tot'], d3_row['bsb_tot'],
                                                  d4_row['bsb_tot'], d5_row['bsb_tot'], d6_row['bsb_tot'],
                                                  d7_row['bsb_tot'], d8_row['bsb_tot']])
                                    pass
                                    if std < smallest_std['std']:
                                        smallest_std = {'k_bsb': k,
                                                         'd1_meas': d1_row['meas'], 'd1_bsb_tot': d1_row['bsb_tot'],
                                                         'd2_meas': d2_row['meas'], 'd2_bsb_tot': d2_row['bsb_tot'],
                                                         'd3_meas': d3_row['meas'], 'd3_bsb_tot': d3_row['bsb_tot'],
                                                         'd4_meas': d4_row['meas'], 'd4_bsb_tot': d4_row['bsb_tot'],
                                                         'd5_meas': d5_row['meas'], 'd5_bsb_tot': d5_row['bsb_tot'],
                                                         'd6_meas': d6_row['meas'], 'd6_bsb_tot': d6_row['bsb_tot'],
                                                         'd7_meas': d7_row['meas'], 'd7_bsb_tot': d7_row['bsb_tot'],
                                                         'd8_meas': d8_row['meas'], 'd8_bsb_tot': d8_row['bsb_tot'],
                                                         'std': std}
                                i += 1
                                if i % 100000 == 0:
                                    print('This was run ', i, flush=True)
    df_std = pd.DataFrame(smallest_std, index=[0])
    df_std['trial'] = t
    df_final_stds = df_final_stds.append(df_std, sort=False, ignore_index=True)
    print('This trial needed ', i, 'runs', flush=True)
    print(t, df_final_stds, flush=True)

filename = 'final_bsb_tot.csv'
df_final_stds.to_csv(filename)
```