



Thomas Lidl, BSc

Umsetzung einer kombinierten Nachweisführung nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 am Fallbeispiel Weiz

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Umwelt und Verkehr - Bauingenieurwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla

Mitbetreuende Assistenten:

DDI Johannes Leimgruber

DI Roman Maier

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Gleisdorf, Jänner 2016

Kontakt:
Thomas Lidl
t.lidl@hotmail.com

EIDESSTÄTTLICHE 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

Auf dem Weg den man im Zuge eines Studiums zu gehen hat lernt man eine Vielzahl beeindruckender Persönlichkeiten kennen. Einige von ihnen kann ich heute als meine Freunde bezeichnen. Ich bin dankbar, dass ich diesen Weg mit Ihnen gemeinsam bestreiten konnte.

Mein Dank gilt vor allem meiner Familie. Erst durch ihr Vertrauen und ihre Unterstützung war es mir möglich diesen Lebensabschnitt erfolgreich zu meistern.

Außerdem möchte ich mich für die Betreuung durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, insbesondere bei meinen Betreuern Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla, DDI Johannes Leimgruber und DI Roman Maier bedanken. Sie halfen mir die letzten Schritte am Wege meines Studiums zu gehen.

Kurzfassung

Mischwasserkanalsysteme müssen in Österreich einerseits den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 sowie andererseits die Richtlinien für Mischwasserentlastungen nach ÖWAV-Regelblatt 19 erfüllen. Dafür werden, obwohl es sich um dasselbe Entwässerungssystem handelt, oftmals zwei unterschiedliche Modellierungsumgebungen verwendet. Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Systems wird mittels eines hydrodynamischen Modells bestimmt. Die Funktionalität sowie die Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungsbauwerke werden hingegen mit Hilfe eines hydrologischen Modells nachgewiesen.

Auf Grund der Tatsache, dass für das gleiche Entwässerungssystem zwei unterschiedliche Modelle erstellt und verwaltet werden müssen, entsteht ein vermeidbarer Mehraufwand. Das Ministerium für ein Lebenswerteres Österreich hat deshalb das Forschungsprojekt DATMOD in Auftrag gegeben, dessen Ziel es ist eine Methodik zu entwickeln die eine kombinierte Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19 ermöglicht.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine kombinierte Nachweisführung mit dem im Projekt DATMOD entwickelten Leitfaden am Fallbeispiel Weiz umgesetzt. Dazu wurden die erforderlichen Daten verfügbar gemacht und aus ihnen in weiterer Folge ein hydrodynamisches Modell erstellt.

Nachdem das Modell kalibriert wurde, konnte die kombinierte Nachweisführung erfolgreich durchgeführt werden. Dabei wurde eine erhebliche Zeitersparnis, vor allem durch den Einsatz von Regenereignisserien, festgestellt.

Abstract

In Austria it is a legal requirement that combined sewer systems, on the one hand in order to provide evidence of their hydraulic performance, must comply with the regulations as stipulated in the ÖWAV-Regelblatt 11 and on the other the combined sewer overflows must comply with the directives of the ÖWAV-Regelblatt 19. In this process, in general two different modeling environments are applied. Hydrodynamic models serve to determine the hydraulic performance of the system and hydrological models are used to verify the guidelines for combined sewer overflows.

When analyzing this process it becomes clear that the application of two different models for one sewer system creates additional and unnecessary effort. This is the reason why the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management commissioned the project DATMOD, which aims at creating a single method for carrying out a combined prove for the ÖWAV-Regelblatt 11 and the ÖWAV-Regelblatt 19.

This master thesis presents the realisation of a combined prove for the above stated regulations on the basis of the guidelines as laid down by the project DATMOD at hand of the case study Weiz.

For this purpose a hydrodynamic model was created on the basis of required data that was previously collected.

With correct contextual calibration this newly developed model allows to successfully perform the combined prove of the legal requirements. Within the framework of this simulation a series of rain events was utilized instead of a continuum of rain events, which resulted in a significant saving of time.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung und Motivation.....	2
1.2	Zielsetzung	3
2	Grundlagen	4
2.1	DATMOD.....	4
2.2	Niederschlags-Abfluss-Modelle	5
2.3	Technische Grundlagen und Werkzeuge	6
2.3.1	ÖWAV-Regelblatt 11.....	7
2.3.2	ÖWAV-Regelblatt 19.....	9
2.3.3	Beschreibung des verwendeten Simulationswerkzeugs	12
2.4	Daten.....	13
3	Methodik	14
3.1	Stadtgemeinde Weiz	15
3.2	Verwendete Daten.....	17
3.2.1	Leitungsbezogene Daten	18
3.2.2	Einzugsgebietsbezogene Daten	19
3.2.3	Meteorologische Daten	21
3.2.4	Monitoring-Daten	22
3.3	Erstellen des Modells	26
3.3.1	Datenimport	26
3.3.2	Bearbeitung der Teilflächen (Subcatchments)	27
3.3.3	Bearbeitung der Leitungselemente	35
3.3.4	Bearbeitung der Sonderbauwerke	42
3.4	Kalibrieren des Modelles	42
3.4.1	Kalibrierung Trockenwetter	43
3.4.2	Kalibrierung Regenwetter	47
4	Nachweisführung und Ergebnisse	53
4.1	Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit	53

4.2 Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen	56
4.2.1 Erstellen einer Regenereignisserie	57
4.2.2 Nachweisführung	61
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	65
Tabellenverzeichnis	66
Abbildungsverzeichnis	i
Literaturverzeichnis	ii

Abkürzungsverzeichnis

EW	Einwohner
DGM	Digitales Geländemodell
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
RWK	Regenwasserkanal
SWK	Schmutzwasserkanal
MWK	Mischwasserkanal
N-A Modell	Niederschlags-Abfluss-Modell
MWÜ	Mischwasserüberlauf

1 Einleitung

Mischwasserkanalsysteme müssen im Allgemeinen (i) den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie (ii) die Richtlinien für Mischwasserentlastungen erfüllen.

Oftmals werden hierfür zwei unterschiedliche Modellierungsumgebungen verwendet, obwohl es sich um dasselbe Entwässerungssystem handelt:

Einerseits muss in Österreich mittels eines hydrodynamischen Modells die hydraulische Leistungsfähigkeit des Systems nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) nachgewiesen werden und andererseits werden mit Hilfe von hydrologischen Modellen die Funktionalität sowie die Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungsbauwerke nach ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007) überprüft.

Für die Berechnung der Abflussganglinien innerhalb des Kanalnetzes aus den Zulaufwellen zum Kanalnetz, werden bei hydrologischen Modellen Übertragungsfunktionen verwendet. Sie berücksichtigen Wellenverschiebung (Translation) und -dämpfung (Retention). Da die Wasserstände hierbei nicht ermittelt werden können, sind hydrologische Modelle nicht in der Lage Überlastungszustände abzubilden, weshalb sie sich nicht für die Nachweise der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 eignen. Sie weisen aber im Vergleich zum hydrodynamischen Modell einen weitaus geringeren Detaillierungsgrad des modellierten Kanalnetzes auf, weshalb sie Langzeitsimulationen mit einer akzeptablen Berechnungsdauer durchführen können.

Im Gegensatz dazu basieren hydrodynamische Modelle auf den tatsächlichen physikalisch-hydraulischen Gesetzmäßigkeiten des Fließvorgangs in Kanälen und können durch Lösung der de Saint-Venant-Differentialgleichungen den benötigten Wasserstand für jeden Knoten und für jeden Zeitschritt der Simulation berechnen. Somit sind sie für den Einsatz zur Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 geeignet.

Um die Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen nachzuweisen (ÖWAV-Regelblatt 19), müssen sowohl das Überlaufvolumen aus Mischwasserentlastungen als auch das Oberflächenabflussvolumen zur Ermittlung des Weiterleitungswirkungsgrades bestimmt werden. Hierfür ist eine Langzeitsimulation mit einer Regenreihe von zumindest 10 Jahren durchzuführen. Im Gegensatz zum detaillierten hydrodynamischen Modell für den hydraulischen Nachweis, kommt hierbei aufgrund der geringeren Berechnungszeiten in der Regel ein hydrologisches Modell zur Anwendung.

Hydrologische Modelle eignen sich also kaum zur Abbildung detaillierter Vorgänge im Kanalisationssystem und hydrodynamische Modelle können nur unter großem Rechenaufwand langjährige Simulationen durchführen. Zusätzlich differenzieren sich auch die beiden Nachweise nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 in ihren Anforderungen an die Modellstruktur, durch die zuvor erwähnten Unterschieden der beiden

Modelle. Deshalb werden üblicherweise für ein Kanalnetz zwei Simulationsmodelle erstellt, nämlich ein hydrodynamisches Modell für den hydraulischen Nachweis und ein hydrologisches Modell für den Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen. Aufgrund der Tatsache, dass für die zwei unterschiedlichen Nachweise im selben Kanalisationssystem, jeweils ein eigenes Modell erstellt, aktualisiert und selbstverständlich auch gewartet werden muss, wird ein deutlich höherer Aufwand als erforderlich betrieben. Zusätzlich dazu muss aufgrund der Bearbeitung von zwei Modellen, eine bedeutend größere Datenmenge verarbeitet werden. Durch diesen zu leistenden Mehraufwand wird die Kosteneffizienz der Planung und der Überprüfung von Kanalisationssystemen merklich verringert. Eine kombinierte Nachweisführung der Nachweise nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19, also die Nachweisführung in einem gemeinsamen Modell, würde deshalb wesentliche Vorteile, wie beispielsweise eine bessere Kompatibilität der Daten und Ergebnisse, einen deutlich geringeren Datenaufwand (auch bezüglich der Datenverwaltung) oder einen weitaus kleineren Modellierungsaufwand bedeuten.

Außerdem gehen Synergieeffekte im Planungsbereich bei einer modelltechnisch differenzierten Nachweisführung im Vergleich zu einer kombinierten Nachweisführung in einem gemeinsamen Modell verloren. Da der Investitionsbedarf bei der Sanierung von Entwässerungssystemen neben den lokalen Gegebenheiten auch durch die Qualität der Planung beeinflusst wird, kann durch eine zielgerichtete und kompetente Planung der Investitionsbedarf gesenkt werden.

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Umsetzung einer kombinierten Nachweisführung anhand eines Fallbeispiels.

1.1 Aufgabenstellung und Motivation

Durch die Kombination der Nachweise nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19 kann bei der zukünftigen Sanierungsplanung und der Planung für den Ausbau bestehender Kanalisationssysteme im Vergleich zu separaten Nachweisen in unterschiedlichen Modellen, ein großer Teil an Daten-, Verwaltungs- und Modellierungsaufwand eingespart werden.

Dieses Ziel wird im Zuge des vom Ministerium für ein lebenswertes Österreich geförderten Forschungsprojektes DATMOD („Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell – Sanierungs- und Anpassungsplanung von kleinen und mittleren Kanalnetzen“), welches von der TU Graz, der Universität Innsbruck und der BOKU Wien durchgeführt wird, entwickelt und erarbeitet. Als Teil dieses Projektes werden die entwickelten Leitfäden und Methoden in drei Fallstudien getestet und verbessert. Repräsentativ für österreichische Gemeinden im Alpenvorland und aufgrund seiner Nähe zur TU Graz konnte die Stadtgemeinde Weiz als einer der Partner für dieses Projekt gewonnen werden.

Die in der Steiermark östlich von Graz gelegene Stadt Weiz repräsentiert ein durchschnittliches Kanalsystem von kleinen und mittleren Kanalisationsunternehmen.

In der vorliegenden Masterarbeit soll als Fallbeispiel das Kanalisationssystem der Stadtgemeinde Weiz in einem hydrodynamischen Modell abgebildet werden. In weiterer Folge sind die Nachweise bezüglich der hydraulischen Leistungsfähigkeit und der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungsbauwerke in kombinierter Form durchzuführen. Mit den dabei gewonnen Erkenntnissen können die zuvor in der Theorie entwickelten Leitfäden überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, anhand des konkreten Fallbeispiels der Stadtgemeinde Weiz darzustellen und zu erläutern, wie die Umsetzung einer kombinierten Nachweisführung, bestehend aus dem Nachweis zur hydraulischen Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes nach ÖWAV-Regelblatt 11 sowie dem Nachweis zur stofflichen Belastung der Oberflächengewässer nach ÖWAV-Regelblatt 19, durchgeführt werden kann.

Im Forschungsprojekt DATMOD sind für eine zielführende Vorgehensweise zur Durchführung der kombinierten Nachweisführung bereits die folgenden wichtigen Punkte behandelt worden:

- Herstellung einer ausreichenden Datengrundlage
- Erstellung eines hydrodynamischen Modells
- Durchführung der Nachweisführung

Auf diese Punkte soll in der Bearbeitung ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um die im Zuge des Projektes erarbeiteten Methoden und Vorgehensweisen mit einem praktischen Beispiel zu überprüfen.

2 Grundlagen

Im folgenden Abschnitt werden sämtliche für diese Arbeit relevanten Grundlagen erläutert und die für die Bearbeitung des Fallbeispiels Weiz verwendete Simulationssoftware vorgestellt.

2.1 DATMOD

Das Projekt DATMOD („Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell Sanierungs- und Anpassungsplanung von kleinen und mittleren Kanalnetzen“) wurde im Jahr 2012 durch das Ministerium für ein lebenswertes Österreich beauftragt. Gefördert durch das Ministerium, wird das Forschungsprojekt als Kooperation der jeweiligen Fachinstitute der drei Universitäten TU Graz, Universität Innsbruck und BOKU Wien unter der Projektleitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla durchgeführt.

Ziel des Projekts ist es, eine Methodik zu entwickeln, die eine kombinierte Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19 ermöglicht. Dabei sollen die vorhandenen Daten der stetig wachsenden Leitungsinformationssysteme wirtschaftlich und effektiv genutzt werden. Die Methode soll die Umsetzung der Nachweisführung auf Basis einer gemeinsamen Modellstruktur ermöglichen. Dadurch kommt es zu einer Vermeidung von redundanten Daten und es werden die Voraussetzungen für eine zielgerechte und effiziente Nachweisführung geschaffen. Die Herausforderung liegt darin, eine modellunabhängige, allgemein gültige Vorgehensweise für die folgenden Punkte zu entwickeln:

- die Aufbereitung vorhandener Daten
- das Ableiten der Modellstruktur aus den Daten
- die Auswahl geeigneter Modellansätze
- der Aufbau der Modelle
- die Modellkalibrierung
- die Durchführung der Nachweisführung
- die Verknüpfung der Ergebnisse mit der Datenbasis

Es wird davon ausgegangen, dass die zukünftige Bearbeitung dieser Modellstrukturen bei geplanten Erweiterungen oder Sanierungsplanungen der modellierten Systeme, durch die vorhandene einheitliche Datengrundlage erheblich vereinfacht werden kann.

Das Forschungsprojekt DATMOD wird in 3 übergeordnete Arbeitspakete unterteilt:

- Methodik bzw. Grundlagenermittlung
- Erstellung eines Leitfadens
- Umsetzung von Fallstudien

Das erste Arbeitspaket befasst sich mit den Grundlagen des Projekts. Es wird erörtert, welche Anwendungsmöglichkeiten die erarbeitete Methodik bietet, welche Daten in welcher Form benötigt werden und wie diese verwaltet werden können. Zusätzlich wird festgelegt, wie aus diesen Daten ein für die Nachweisführung entsprechendes Modell erzeugt werden kann, wie dieses kalibriert werden kann und wie mit Hilfe dieses Modells die Nachweise nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 durchgeführt werden können. Außerdem wird erhoben, welche Unsicherheiten bei den Daten und Ergebnissen auftreten können und wie mit ihnen umzugehen ist.

Im zweiten Arbeitspaket wird die erarbeitete Methodik in einen für die Praxis flächendeckend anwendbaren Leitfaden übertragen.

Das dritte Arbeitspaket umfasst eine ausführliche, praktische Umsetzung der zuvor erörterten theoretischen Ansätze anhand von drei Fallstudien. Mit den in diesem Paket erarbeiteten Erkenntnissen wird der Leitfaden des Arbeitspakets 2 gegebenenfalls nochmals angepasst. Neben dem in dieser Masterarbeit bearbeiteten Fallbeispiel Weiz, werden zusätzlich Projekte in Telfs (Tirol) und für einen Abwasserverband im Osten Österreichs umgesetzt.

2.2 Niederschlags-Abfluss-Modelle

Die folgenden Beschreibungen unterschiedlicher Niederschlags-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle) basieren auf (Pleinert, 2014), dem Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006) und (Verworn, 1999).

In N-A-Modellen werden die Vorgänge des Einzugsgebiets und des Entwässerungssystems nachgebildet. Dabei wird einerseits der durch den Niederschlag gebildete Oberflächenabfluss simuliert sowie andererseits die Abflussganglinie im Kanalnetz durch die eingeleiteten Oberflächenwässer in der Transportberechnung ermittelt. N-A-Modelle können anhand dieser Transportberechnung in hydrodynamische und in hydrologische Modelle unterteilt werden. In den beiden Verfahren ist die Berechnung des Oberflächenabflusses in der Regel identisch. Der Oberflächenabfluss beschreibt das Abflussgeschehen an der Oberfläche, beginnend mit dem Niederschlagsereignis bis zu dem Punkt, an dem das Wasser an einem Übergangspunkt in das Kanalisationsystem überführt wird.

Die Abflussganglinie innerhalb von Kanalnetzen wird beim hydrologischen Modell aus den Wellen des Oberflächenabflusses, unter der Berücksichtigung von Wellenverschiebung (Translation) und -dämpfung (Retention), mit Hilfe von Übertragungsfunktionen berechnet. In hydrologischen Abflussmodellen finden Überlastungszustände keine Berücksichtigung, da die jeweiligen Wasserstände im Berechnungsverfahren gesondert ermittelt werden müssen. Sämtliche hydrologischen Ansätze basieren auf der Kontinuitätsgleichung und der Speicherbeziehung.

Mathematisch durch die de Saint-Venant'schen Differentialgleichungen beschrieben, basieren die hydrodynamischen Berechnungen auf den physikalisch-hydraulischen

Gesetzmäßigkeiten des Fließvorgangs in Kanälen. Durch die Lösung des vollständigen Gleichungssystems ist der ständige Zusammenhang von Abfluss, Wasserstand und mittels der Gerinnegeometrie auch der Fließgeschwindigkeit gegeben. Dadurch können Änderungen im Fließzustand wie Druckabfluss, Rückstau oder Fließumkehr wirklichkeitsnah wiedergegeben werden. Das kontinuierliche Abflussgeschehen wird zwischen den Haltungen in Zeitintervallen diskretisiert betrachtet (numerische Näherungsmethode), da das Differentialgleichungssystem nicht analytisch lösbar ist.

Eine ausführliche Beschreibung von unterschiedlichen hydrologischen Verfahren sowie zur hydrodynamischen Abflussberechnung kann in (Verworn, 1999), in (Maniak, 2005) und im deutschen Merkblatt ATV-DVWK-M 165 (ATV, 2004) gefunden werden.

Die Tabelle 2-1 zeigt die Vor- und Nachteile der hydrologischen und hydrodynamischen Ansätze, die bei der Auswahl eines geeigneten Verfahrens für die modelltechnische Abbildung beachtet werden sollten.

Tabelle 2-1: Vor- und Nachteile von hydrologischen und hydrodynamischen Verfahren (Muschalla, 2014)

Hydrologische Verfahren	Hydrodynamische Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Kürzere Rechenzeiten • Geringer Datenaufwand • Langzeitsimulationen • Leicht anwendbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Rechenintensiv • Großer Datenaufwand • Kaum für aktuelle Vorhersagen geeignet. • Erfahrung des Anwenders erforderlich
<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt keinen Rückstau • Nur Massenbilanz an Knotenpunkten • „Verschmieren“ einzelner Prozesse • Geringere Modellabstraktion zum Naturmodell 	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt Rückstau • Örtliche und zeitliche Berechnung des Durchflusses • Trennung der Fließvorgänge auf der Oberfläche von denen im Kanal • Höhere Modellabstraktion zum Naturmodell

2.3 Technische Grundlagen und Werkzeuge

Die ausreichend genaue realitätsnahe Nachbildung eines Kanalisationssystems mit all seinen unterschiedlichen Facetten ist eine äußerst komplexe Aufgabe und wird von einer Vielzahl von technischen Grundlagen wie Richtlinien, verschiedensten Daten, Messwerkzeugen und Softwareanwendungen geprägt.

Die rasante Entwicklung der Technik in den letzten Jahrzehnten hat hierbei Abhilfe geschaffen. Es entstanden auch dank Initiativen wie der EU-Wasserrahmenrichtlinie (Europäisches Parlament und Rat, 2000) europäische, weitgehend einheitliche Gesetze, Richtlinien und Regelwerke, die sich oft nur durch Anpassungen an die regionalen Gegebenheiten unterscheiden. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl unterschiedlichster Softwareanwendungen für die Bearbeitung und Verwaltung von Daten sowie

für die Modellierung und Simulation von Entwässerungssystemen. Die dafür erforderlichen Daten sind teilweise schon in genormten Datenbanken vorhanden oder müssen anderenfalls mit Hilfe von zusätzlichen Messkampagnen erhoben werden.

Die wesentlichsten Grundlagen und Werkzeuge, die in der Bearbeitung dieser Masterarbeit Verwendung gefunden haben, werden in den folgenden Punkten vorgestellt und erläutert.

2.3.1 ÖWAV-Regelblatt 11

Nach der auf europäischer Ebene einheitlichen Definition der Anforderungen an den Überflutungsschutz für die Siedlungsentwässerung durch die ÖNORM EN 752 (2008), wurde vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) das neue ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) – „Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen“ herausgegeben. Es wurde basierend auf den beiden alten ÖWWV-Regelblättern 5 „Richtlinie für die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen“ und 11 „Richtlinie für die abwassertechnische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen“ erstellt. Zusätzlich wurden sämtliche Änderungen und Erneuerungen der ÖNORM EN 752 implementiert. In dem folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Grundlagen für den Nachweis erläutert. Detaillierte Informationen können dem ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009), dem DWA-Arbeitsblatt A-110 (DWA, 2006) und DWA-Arbeitsblatt A-118 (DWA, 2006) entnommen werden.

In vielen Punkten bezieht sich das ÖWAV-Regelblatt 11 auf seine Pendanten der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), den DWA-Arbeitsblättern 110 (2006) und 118 (2006) und es wurden teilweise auf österreichische Verhältnisse angepasste Teile übernommen.

Im ÖWAV-Regelblatt 11 wird die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwässern in Kanalsystemen, beginnend an dem Punkt an dem sie in das System eingeleitet wurden, bis hin zur ihrem Verlassen der Kanalisation in Behandlungsanlagen oder bei Entlastungsbauwerken in angrenzende Vorfluter betrachtet.

Die jeweiligen Kanalisationssysteme werden entsprechend ihrer Größe und Komplexität in unterschiedlichen Modellen abgebildet. So lassen sich einfache Systeme in analogen Modellen darstellen und durch das sogenannte Fließzeitverfahren auch verhältnismäßig einfach näherungsweise berechnen. Für komplexe Systeme ist es jedoch erforderlich auf aufwendigere hydrodynamische oder hydrologische Modelle zurückzugreifen. Diese zwei Zugänge unterscheiden sich auch in ihrer Anforderung an die erforderlichen Eingangsdaten. Bei hydrodynamischen Verfahren fließt die Ganglinie des zeitlichen Verlaufs der Regenintensität direkt als Eingangsgröße in das Modell ein. Für die Berechnung mittels Fließzeitverfahren ist eine Abbildung der maximalen Regenintensität ausreichend.

Die eindimensionale hydrodynamische Berechnungsmethode ermöglicht mit Hilfe der de Saint-Venant'schen Differenzialgleichungen und zusätzlichen Softwarekomponenten eine realitätsnahe Abbildung des Abflussgeschehens des Entwässerungssystems.

Für die Nachweisführung wird im ÖWAV-Regelblatt 11, anstatt wie in der in der ÖNORM EN 752 genannten Überflutungshäufigkeit, die Überstauhäufigkeit in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A-118 als Zielgröße für den rechnerischen Nachweis ausgegeben. Eine Überflutung findet statt, wenn Schmutz- und oder Regenwasser entweder aus dem System an die Oberfläche austritt oder diese nicht in das System einfließen können. Dieser Vorgang ist in großem Maße von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und daher nur schwer modelltechnisch abzubilden. Nach DWA-A 118 trifft der Begriff Überflutung erst dann zu, wenn der Austritt zu einer Schädigung oder Funktionsstörung an der Oberfläche führt. Hier liegt der Unterschied zur Überstauhäufigkeit, die sich lediglich auf einen Überstau, also das Überschreiten eines bestimmten Bezugsniveaus der rechnerischen Maximalwasserstände, bezieht. Kommt es also zu keiner Beeinträchtigung durch den Austritt, ist der Begriff Überflutung nach DWA-A 118 und ÖWAV-Regelblatt 11 nicht zulässig.

In der Tabelle 2-2 werden die nach DWA-Arbeitsblatt A 118 (2006) empfohlenen Werte für die Überstauhäufigkeiten des rechnerischen Nachweises bei Neuplanungen oder nach Sanierungen angegeben.

Tabelle 2-2: Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (DWA-Arbeitsblatt-A 118) (DWA, 2006)

Ort	Überstauhäufigkeiten bei Neuplanungen bzw. nach Sanierungen	
	Wiederkehrzeit (1 Mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 2	50 %
Wohngebiete	1 in 3	33 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 5	20 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10 ¹⁾	10 %

¹⁾ Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände i. d. R. unmittelbar eine Überflutung einhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen. Hier entsprechen sich Überstau- und Überflutungshäufigkeit mit dem in Tabelle 7-3 genannten Wert „1 in 50“!

Zusätzlich ist es bei komplexen Systemen nach dem rechnerischen Nachweis erforderlich, das betrachtete System auf Bereiche mit hohem Schadenspotential zu untersuchen. Wenn die Gefahr eines hohen Schadens durch Überflutungen besteht, wird empfohlen, einen zusätzlichen Nachweis in den besagten Bereichen bezüglich der Überflutungshäufigkeit zu führen. Die Tabelle 2-3 zeigt die nach ÖNORM EN 752 empfohlenen maximal zulässigen Auftretswahrscheinlichkeiten der Überflutungen.

Tabelle 2-3: Empfohlene Überflutungshäufigkeiten bei komplexen Bemessungsverfahren nach ÖNORM EN 752 (ÖWAV, 2009)

Ort	Überflutungshäufigkeiten	
	Wiederkehrzeit (1 Mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 10	10 %
Wohngebiete	1 in 20	5 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 30	3 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 50	2 %

2.3.2 ÖWAV-Regelblatt 19

Die Simulation der Niederschlags- und Abflussprozesse für Oberflächen und Kanalnetze kann mittlerweile seit einigen Jahren als Stand der Technik bezeichnet werden. Dadurch steht ein geeignetes und effizientes Berechnungsverfahren für die Mischwassermengen aus Mischwasserüberlaufbauwerken (MWÜ) zur Verfügung. Mit diesem Verfahren lassen sich die Auswirkungen von Mischwasserüberläufen besser abschätzen. Aufgrund dieser neuen Möglichkeiten wurde im Jahr 2007, basierend auf dem ÖWWV-Regelblatt 19 (1987) (ÖWWV, 1987) und dem ATV-Arbeitsblatt-A 128 (ATV, 1992), das ÖWAV-Regelblatt 19, die Richtlinie für die Bemessung von Mischwasserentlastungen, veröffentlicht.

Im neuen Regelblatt wurden viele wesentliche Bestandteile für die Mindestanforderung an die Mischwasserbehandlung, wie ein sinnvolles Kosten–Nutzen–Verhältnis, aus dem alten Regelblatt übernommen. Jedoch wird dies nicht mehr in konstruktiven Vorgaben umgesetzt, sondern als Anteil des jährlichen Mischwasserabflusses einer Mischkanalisation, der zur Kläranlage geleitet werden muss. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, dass sowohl bei der Planung der Mischwasserentlastungsanlagen als auch im Betrieb das Gesamtsystem Kanal – Kläranlage – Gewässer berücksichtigt wird.

In dem folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Grundlagen für die zu erbringenden Nachweise zusammengefasst. Detailliertere Informationen können dem ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007) entnommen werden.

Die Nachweisführung basiert auf den Mindestwirkungsgraden der Weiterleitung. Diese Werte geben an, wieviel der in der Mischwasserkanalisation abfließenden Schmutzfrachten, anteilig am jährlichen Mittel, der biologischen Stufe der Abwasserreinigungsanlage zugeführt werden müssen. Die Weiterleitungsgrade gelten für das ganze Einzugsgebiet und sind unabhängig davon, ob die Emissionen in einen oder mehrere Vorfluter eingebracht werden. Die folgenden Tabellen zeigen die Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung für die gelösten Stoffe (Tabelle 2-4) und für die abfiltrierbaren Stoffe (Tabelle 2-5) in Prozent der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation

im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten. Es wird neben der Bemessungsgröße der Kläranlage, auch das einzugsgebietsbezogene unterschiedliche Niederschlagsverhalten berücksichtigt. Der Niederschlag, angegeben als Regenspende $r_{720,1}$ (Niederschlagshöhe in mm bei einer Regendauer von 12 Stunden mit einer Wiederkehrzeit von 1 Jahr) kann für die meisten besiedelten Gebiete Österreichs dem ÖWAV-Leitfaden „Niederschlagsdaten“ (ÖWAV, 2007) entnommen werden.

Tabelle 2-4: Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)

Mindestwirkungsgrad [%] für gelöste Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{720,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	50	60
$r_{720,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	40	50
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

Tabelle 2-5: Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)

Mindestwirkungsgrad [%] Abfiltrierbare Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{720,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	65	75
$r_{720,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	55	65
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

Für die Berechnung des Wirkungsgrades der Weiterleitung kann der Frachtanteil des Trockenwetterabflusses vom Mischwasserabfluss abgezogen werden, da dieser nicht berücksichtigt werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass es zu einer vollkommenen Durchmischung von Trocken- und Regenwetterabfluss kommt und die Konzentrationen im Mischwasser zeitlich konstant sind. Daraus lässt sich die in der Abbildung 2-1 dargestellte Definition des Wirkungsgrades der Weiterleitung η eines Jahres herleiten.

$$\eta = \frac{(VQ_M - VQ_T) \cdot c_M - VQ_e \cdot c_e}{(VQ_M - VQ_T) \cdot c_M} \cdot 100 = \frac{VQ_R \cdot c_M - VQ_e \cdot c_e}{VQ_R \cdot c_M} \cdot 100$$

- η Wirkungsgrad der Weiterleitung (%)
 VQ_M Summe der Mischwassermengen eines Jahres (m^3/a)
 VQ_T Summe der Trockenwettermengen eines Jahres (m^3/a)
 VQ_R Summe der Regenabflussmengen eines Jahres (m^3/a)
 VQ_e Summe der entlasteten Mischwassermengen eines Jahres (m^3/a)
 c_M Konzentration im Mischwasserabfluss (mg/l)
 c_e Konzentration im entlasteten Mischwasserabfluss (mg/l)

Abbildung 2-1: Definition des Wirkungsgrads der Weiterleitung η eines Jahres (ÖWAV, 2007)

Durch die Einhaltung dieser Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung kann eine deutliche Verbesserung der Belastung der Gewässer durch die Emissionen aus MWÜ im Vergleich zu Mischkanalisationen ohne Mischwasserbehandlung erzielt werden. Da das ÖWAV-Regelblatt 19 keine Vorgaben zur konstruktiven Ausführung von Bauwerken macht und die Betrachtung statt der einzelnen MWÜ auf dem ganzen Einzugsgebiet liegt, wird eine flexible Planung der Mischwasserbewirtschaftung ermöglicht. Bei der Festlegung der Weiterleitungsgrade wurden vor allem die folgenden drei Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- die Charakteristik des Niederschlagverhaltens
- die Einwohnerdichte
- die zusätzlich angeschlossenen Trennsysteme

Der Wirkungsgrad der Mischwasserbehandlung ist mit Hilfe von Langzeitsimulationen der Abflussvorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz zu ermitteln. Diese Berechnungen sind mit mehrjährigen Niederschlagsreihen durchzuführen und dürfen die in der Tabelle 2-4 und der

Tabelle 2-5 geforderten Werte nicht unterschreiten.

Wie in der Abbildung 2-2 dargestellt, kann der Prozentsatz des Regenabflusses, der in der Mischkanalisation im langjährigen Mittel zur Kläranlage gelangt, ermittelt werden. Dieser Wert entspricht dem Weiterleitungsgrad für die gelösten Stoffe, da bei gelösten Inhaltsstoffen die Schmutzfracht mit der Wassermenge übereinstimmt.

$$\eta_R = \frac{VQ_R - VQ_e}{VQ_R} \cdot 100$$

- η_R Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
 VQ_R Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)
 VQ_e Summe der entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)

Abbildung 2-2: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (ÖWAV, 2007)

Die Abbildung 2-3 zeigt wie der Weiterleitungsgrad für die abfiltrierbaren Stoffe berechnet werden kann. Gerade bei Mischwasserüberlaufbauwerken, die ein zusätzliches Speicherbecken oder andere Rückhaltesysteme besitzen, ist durch die Sedimentationswirkung die zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) weitergeleitete Wassermenge mit der Menge an abfiltrierbaren Stoffen nicht mehr ident. Der entsprechende Sedimentationswirkungsgrad η_{sed} kann für abfiltrierbare Stoffe, in Abhängigkeit vom Speichervolumen und der Art des Beckens der Tabelle 2-6 entnommen werden.

$$\eta_{AFS} = \eta_R + \frac{\sum_j VQ_{e,MÜB,j} \cdot \eta_{sed,j}}{VQ_R}$$

- η_{AFS} Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für AFS (%)
- η_R Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
- $\eta_{sed,j}$ Sedimentationswirkungsgrad bei Mischwasserüberlaufbecken j (%)
- $VQ_{e,MÜB,j}$... Summe der beim Mischwasserüberlaufbecken j entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)
- VQ_R Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)

Abbildung 2-3: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe adaptiert nach (ÖWAV, 2007)

Tabelle 2-6: Sedimentationswirkungsgrad η_{sed} für abfiltrierbare Stoffe (AFS) in Abhängigkeit vom Speichervolumen (Zwischenwerte sind zu interpolieren) (ÖWAV, 2007)

spezifisches Volumen (m^3/ha_{Au} Teileinzugsgebiet)			Wirkungsgrad η_{sed} (%) in Bezug auf AFS
Wirbelabscheider	Durchlaufbecken	Stauraumkanal m. u. l. Entlastung	
0	0	0	0
3	5	10	20
7	10	20	35
> 10	> 15	> 30	50

2.3.3 Beschreibung des verwendeten Simulationswerkzeugs

Sämtliche Schritte der Modellierung und alle Simulationen sowie die kombinierte Nachweisführung wurden mit dem Programm PCSWMM Professional 2D durchgeführt.

Das US-EPA Storm Water Management Model (SWMM) basiert auf einem hydrodynamischen Ansatz und simuliert dynamische Regenwasserabflüsse für einzelne Niederschlagsereignisse oder Langzeitsimulationen mittels Regenreihen und ermittelt die entstehenden Abflussmengen sowie Verunreinigungen des abfließenden Wassers für dicht besiedelte, urbane und ländliche Räume.

Der Oberflächenabfluss in SWMM basiert auf der Unterteilung des Bearbeitungsgebietes in mehrere Teilflächen, sogenannten „Subcatchments“. Jeder Teilfläche können individuelle und für den Abfluss zusätzliche relevante Beiwerte wie zum Beispiel der Versiegelungsgrad, Oberflächenrauigkeiten, Gefälle, etc. zugewiesen werden. Den Subcatchments können dann unterschiedliche Niederschlagsereignisse zugeteilt werden, woraus in weiterer Folge die daraus entstehenden abflusswirksamen Wasser-

und Schmutzfrachtmengen generiert werden. SWMM simuliert den Transport des sich bildenden Oberflächenabflusses durch ober- und unterirdische Kanäle, Gerinne, Speicherbecken, Pumpen und berücksichtigt regulierende Bauwerke. Außerdem werden von SWMM für jede Teilfläche die Menge und Qualität des Abflusses und die Fließgeschwindigkeiten, die Abflusstiefen sowie die Qualität des Wassers in jedem Kanalrohr und Gerinne für jeden Zeitschritt einer Simulationsperiode aufgezeichnet und ausgegeben (James, et al., 2010).

2.4 Daten

In der heutigen Zeit wird eine Vielzahl von unterschiedlichsten Daten aufgenommen, gespeichert und verwaltet. Bereits auf europäischer Ebene gibt es das Ziel, basierend auf der EU Richtlinie 2007/2/EG (INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in Europe) (Europäisches Parlament und Rat, 2007) eine einheitliche und gemeinsame Geodateninfrastruktur zu schaffen. Diese Geoinformationen, also Informationen mit Raumbezug, sind ein wichtiger Bestandteil für die Erstellung von Berechnungsmodellen. Für die Modellierung von Kanalsystemen ist für bestehende Systeme, die bereits nach ÖWAV-Regelblatt 40 (ÖWAV, 2010) erfasst wurden, ein Großteil der Daten schon vorhanden.

Die Auswahl der erforderlichen Daten ist stark von der Art der Nachweisführung, die später durchgeführt werden soll, abhängig. Bezieht man sich auf die für das Fallbeispiel Weiz angestrebten Nachweise der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19, so ergeben sich die Differenzen vor allem aus dem unterschiedlichen Detaillierungsgrad, welchen das Modell für die jeweiligen Nachweise vorzuweisen hat. Damit die hydraulische Leistungsfähigkeit des Systems nach ÖWAV-Regelblatt 11 nachgewiesen werden kann, muss das entsprechende Modell sehr genau abgebildet sein. Im Gegensatz dazu basiert die Nachweisführung der im ÖWAV-Regelblatt 19 geforderten Richtlinien zur Begrenzung von Emissionen in Oberflächengewässern mittels eines einzuhaltenden Weiterleitungswirkungsgrades auf Langzeitsimulationen über mindestens 10 Jahre. Daher erfordern diese Simulationen eine deutlich weniger detaillierte Abbildung des Kanalnetzes im Modell, um den Rechenaufwand möglichst gering zu halten. Oftmals werden bei diesen berechnungsaufwendigen Simulationen auf hydrologische Modelle zurückgegriffen.

Für eine kombinierte Nachweisführung müssen jene Daten ausgewählt werden, aus denen sich ein Modell des Weizer Kanalsystems erstellen lässt und das den Anforderungen beider zu führenden Nachweise entspricht.

3 Methodik

Um eine wie zuvor beschriebene Kombination der Nachweise nach ÖWAV-Regelblatt 11 und 19 durchführen zu können, ist eine Vielzahl von Arbeitsschritten notwendig. In Abbildung 3-1 wird das Ablaufschema der Bearbeitung des Fallbeispiels Weiz graphisch dargestellt.

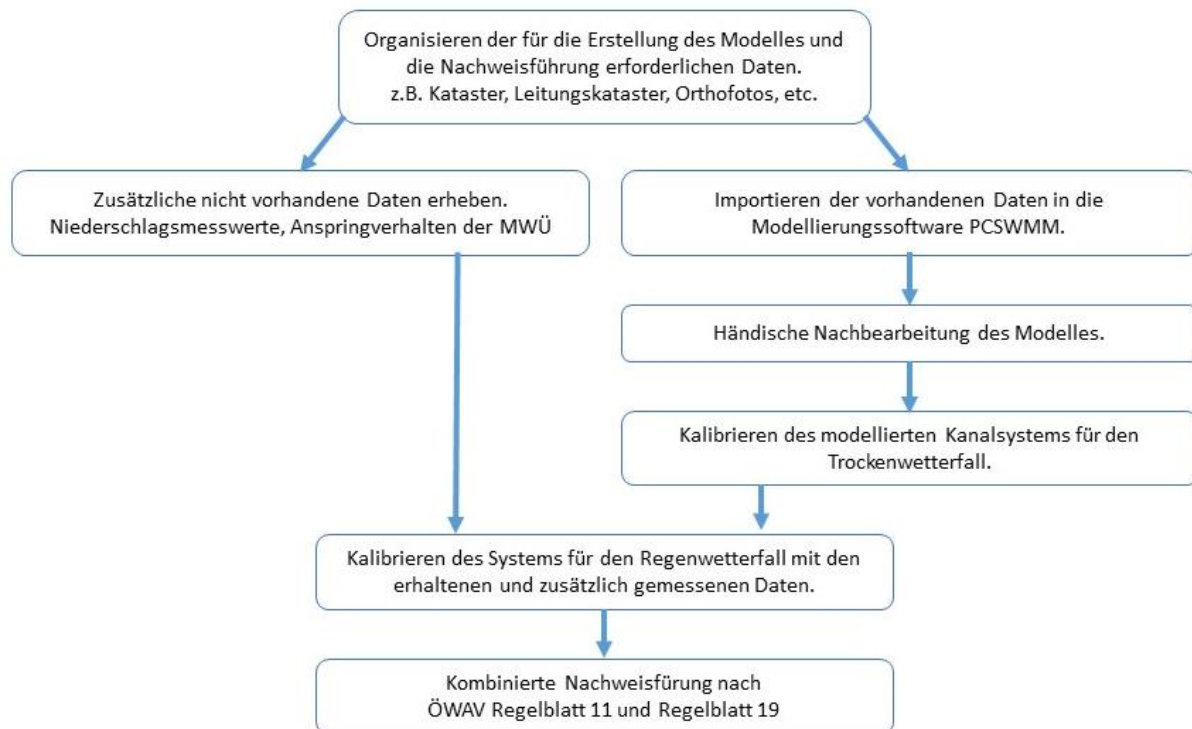


Abbildung 3-1: Darstellung des Ablaufschemas für das Fallbeispiel Weiz

Zu Beginn muss eine breite Basis von Daten verfügbar gemacht werden. Großteils können hierfür bereits erhobene Grunddaten, wie zum Beispiel der Kataster, Orthofotos, Leitungsinformationen, etc. verwendet werden. Zusätzlich müssen fehlende Daten, die für die Erstellung des Modells und die Nachweisführung erforderlich sind, erhoben werden.

Mit Hilfe dieser Daten kann durch einen computerunterstützten automatisierten Datenimport in die Modellierungssoftware PCSWMM die Basis für ein hydrodynamisches Berechnungsmodell erstellt werden. In Bereichen in denen ungenaue Daten vorliegen, Daten fehlen oder fehlerhaft sind, müssen diese durch händische Bearbeitung adaptiert werden. Um die einzelnen Teilflächen so realitätsnah wie möglich abbilden zu können, wird in der Folge eine detaillierte Flächenerhebung durch die Auswertung von Orthofotos und dem digitalen Geländemodell (DGM) durchgeführt.

Mit Hilfe der vorhandenen Daten der Kläranlage (ARA) Weiz kann für den Trockenwetterfall das modellierte Kanalisationssystem kalibriert werden. Sobald ein für das Tro-

ckenwetter funktionierendes Modell vorliegt, lässt sich mit den gemessenen Niederschlagswerten und dem Anspringverhalten der Mischwasserüberläufe (MWÜ) des Entwässerungssystems die Kalibrierung für den Regenwasserfall durchführen.

Mit der kombinierten Nachweisführung kann begonnen werden, sobald ein funktionierendes, dem Abflussverhalten entsprechendes Modell vorhanden ist. Die schrittweise Erarbeitung der kombinierten Nachweisführung wird im folgenden Kapitel detailliert erläutert.

3.1 Stadtgemeinde Weiz

Die Stadtgemeinde Weiz befindet sich im Herzen der österreichischen Oststeiermark, etwa 25 km östlich von Graz und ist die Hauptstadt des gleichnamigen Bezirkes. Sie ist mit rund 11.357 Einwohnern die größte Stadt der Region. Es befinden sich einige größere Industriebetriebe dort, wodurch man Weiz durchaus als regional bedeutenden Industriestandort bezeichnen kann. Zusätzlich gibt es in der Stadt ein Schulzentrum für rund 3000 Schüler. Weiz liegt auf einer Seehöhe von 477 müA und weist eine Gesamtfläche von 17,5 km² auf (<http://www.weiz.at/rathaus/stadtinformationen>, Stand 07.12.2015). In Abbildung 3-2 ist die Lage von Weiz in der Steiermark dargestellt.



Abbildung 3-2: Lage von Weiz in der Steiermark (GIS Steiermark)

Die Kläranlage Weiz wurde 1976 in Betrieb genommen. Sie ist für 30.000 Einwohnerwerte dimensioniert und wird vom Wasserwerk Weiz, welches zur Stadtgemeinde Weiz gehört, betrieben. Das in der Abwasserreinigungsanlage behandelte Wasser wird in den Weizbach, einem Nebenfluss der Raab, eingeleitet. Derzeit sind rund 8900 Einwohner (EW) aus Weiz und ca. 4200 EW aus den angrenzenden Gemeinden Naas, Mitterdorf, Mortantsch und Thanhausen an das Kanalisationssystem der ARA Weiz angeschlossen. Die Abbildung 3-10 zeigt das Einzugsgebiet der Weizer Kläranlage.

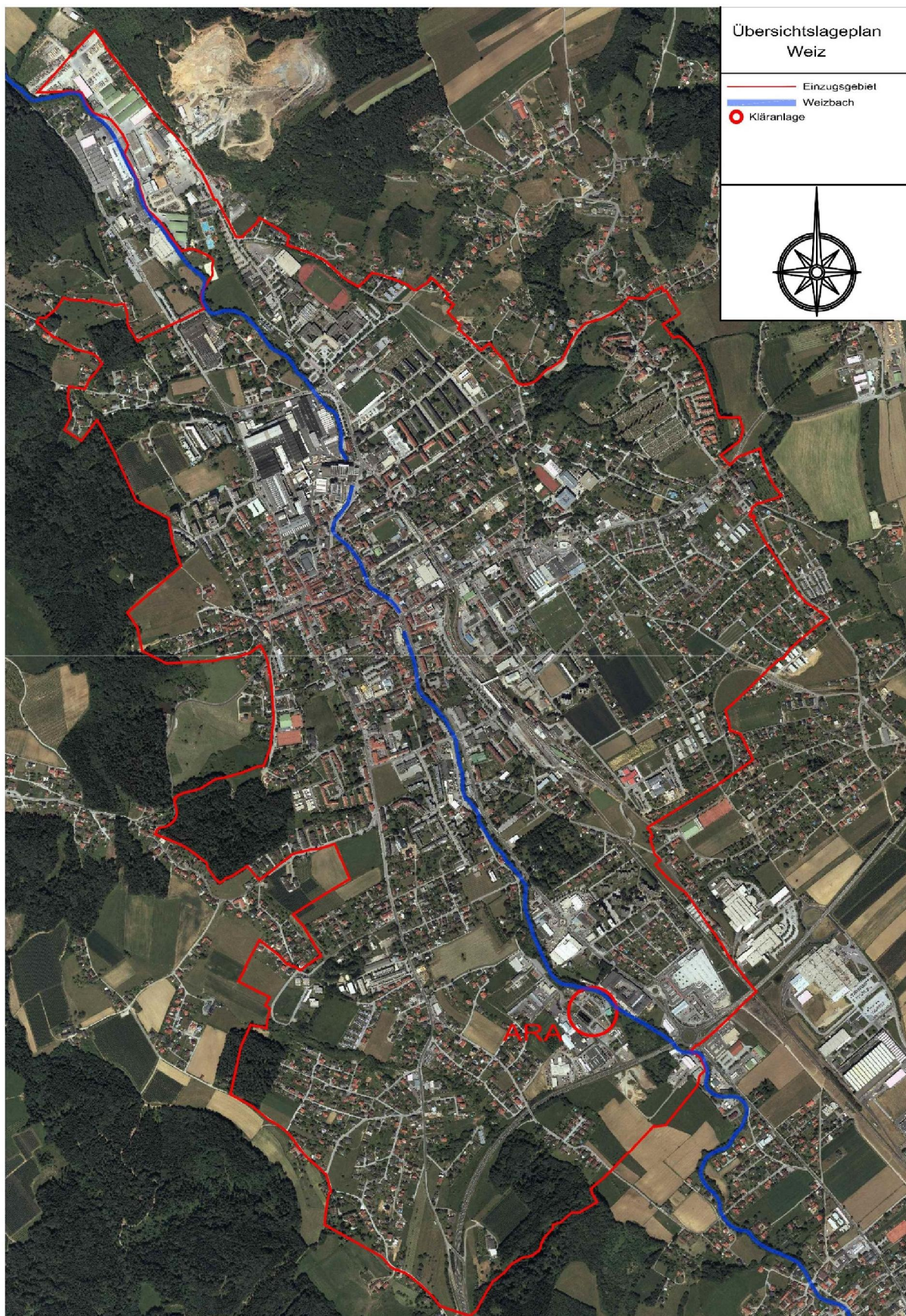


Abbildung 3-3: Übersichtslageplan von Weiz mit dem Einzugsgebiet der Kläranlage

Das Weizer Kanalisationssystem besteht zum Teil aus einem Trennsystem und teilweise aus einem Mischsystem. Die gesamte Länge der Kanalleitungen liegt bei über 60 km. Im Stadtgebiet von Weiz befinden sich zehn Mischwasserüberläufe, welche in den Weizbach eingeleitet werden.

Aufgrund dieser zuvor aufgezählten Randparameter repräsentiert die Stadt Weiz ein durchschnittliches Kanalsystem von kleinen und mittleren Kanalisationsunternehmen und bietet sich daher als Fallbeispiel für das Projekt DATMOD an.

3.2 Verwendete Daten

Um ein Modell, das sämtliche Ansprüche an Qualität und Detaillierungsgrad erfüllt, erstellen zu können, bedarf es einer entsprechenden Datengrundlage. Dafür ist es von Bedeutung, dass vorab für das Erreichen der angestrebten Zielgrößen ein Ablaufschema erstellt wird, anhand dessen überprüft werden kann, für welchen Teilschritt welche Daten benötigt werden, ob diese bereits vorhanden sind und falls nicht, wie diese erhoben werden können.

Grundsätzlich können die für die Modellierung notwendigen Eingangsdaten in folgende Hauptgruppen unterteilt werden:

- Leitungsbezogene Daten

Hier werden sämtliche Daten der Kanalleitungen und aller Sonderbauwerke im Kanalsystem, wie zum Beispiel Lage, Dimension und Material zusammengefasst.

- Einzugsgebietsbezogene Daten

Diese Gruppe umfasst sämtliche Daten, wie beispielsweise die Fläche, die Bebauungsgrade, die Bodenarten, die Bevölkerung, usw. mit denen das Einzugsgebiet beschrieben werden kann.

- Meteorologische Daten

Die Zusammenfassung der meteorologischen Daten, wie Niederschlagsserien, statistische Regenereignisse, etc.

- Monitoring-Daten

In dieser Gruppe befinden sich jene Daten, die für die Gewässer, das Einzugsgebiet und das Kanalisationssystem systematisch erfasst werden. Beispielhaft können hierfür die Messungen von Wasserständen und Durchflüssen, Regenmessungen oder Messungen der Wasserqualität in Kanal und Gewässern, genannt werden.

Für das Fallbeispiel Weiz war eine Vielzahl von Daten unterschiedlichster Art bereits vorhanden. In dem folgenden Kapitel wird erläutert woher diese stammen, für welchen

Teilschritt sie verwendet wurden, welche Daten nachbearbeitet und welche fehlenden Daten zusätzlich aufgenommen werden mussten.

3.2.1 Leitungsbezogene Daten

Für die Stadtgemeinde Weiz wurden bereits einige Daten des Kanalisationssystems digital aufgenommen und in einem digitalen Leitungsinformationssystem abgespeichert. Die Daten werden durch die Firma GISquadrat über das Regionalbüro Weiz verwaltet und wurden für die Erstellung des Modells zur Verfügung gestellt. Es wurden die folgenden Kanalnetzdaten als Shape Files übermittelt:

- Kanalnetz-Kanten (als Polylinien Shape)
- Kanalnetz-Knoten (als Point Shape)

Die erhaltenen Shapes wurden dann mit der Software ArcGIS gesichtet und auf fehlerhafte Daten überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass bei einigen Schächten die Höhe der Schachtsohle mit 0 müA angegeben war. Zusätzlich war bei einigen Knoten die Schachttiefe auf 0 m gesetzt. Für einen kleinen Teil der Leitungen waren keine Angaben zu deren Querschnittsform und Durchmesser vorhanden. Im Zuge der Datenaufbereitung wurden für die Modellierungssoftware folgende Spalten aus den Spalten der Shape-Files generiert:

- Conduits
 - Name aus KantenID
 - InletNode aus Von_MSLink
 - OutletNode aus Bis_MSLink
 - Description aus Kanalnetz
 - Tag aus Straße
 - Length aus Länge_auf
 - Crosssection aus Profilform
 - Geom1 aus Durchmesser
- Knoten
 - Name aus KnotenID
 - Description aus Kanalnetz
 - Tag aus Straße
 - InvertElev aus Sohle
 - Depth aus Abstich

Folgende Schritte wurden unternommen, um die Daten in die Modellierungssoftware PCSWMM importieren zu können:

- Anpassen der Sohlhöhen der Schächte auf 460 müA bei Knoten bei denen sie auf 0 müA gesetzt waren.
- Anpassen der Schachtiefen auf 1,5 m bei Knoten bei denen sie auf 0 m gesetzt waren.
- Ändern der Durchmesser von Millimeter auf Meter.
- Ändern der Bezeichnungen für die Querschnittsform der Stränge entsprechend der in der Modellierungssoftware geforderten Terminologie (z.B. von „Maul“ auf „ARCH“, „Ei“ zu „EGG“, „Kreis“ zu „CIRCULAR“, etc.)
- Anpassen der Querschnittsform und Durchmesser für Leitungen ohne Daten (durch Befragung Betriebspersonal bzw. durch Interpolation)

Für die Sonderbauwerke und hier im speziellen die Mischwasserüberläufe waren keine Angaben in der Datenbank des Leitungsinformationssystems gespeichert. Da diese Informationen für ein Kanalnetzmodell von großer Bedeutung sind, wurden sie vor der Erstellung des Modells vor Ort vermessen. Der Mischwasserüberlauf in der Dr.-Karl-Renner-Gasse funktioniert über eine um ca. 0,25 m in Richtung des Weizbachs ansteigende Leitung und hat deshalb weder eine Schwellenhöhe noch -länge. Auch der MWÜ in der Anzengrubergasse hat keine Schwelle, sondern wird über ein DN600 Drosselrohr in Kombination mit einem Absturzschtach geregelt. Die Tabelle 3-1 listet die einzelnen Sonderbauwerke auf und zeigt welche Größen ermittelt und im Modell implementiert wurden.

Tabelle 3-1: Ergebnisse der Vermessung der Sonderbauwerke

Vermessung der Sonderbauwerke		
Bezeichnung	Schwellenhöhe [m]	Schwellenlänge [m]
MWÜ Almrausch	0,12	3,5
MWÜ Hofstattgasse	0,15	3,6
MWÜ Siemens	0,18	1,8
MWÜ Dr.-Karl-Renner G.	-	-
MWÜ Lederergasse	0,17	0,8
MWÜ Admiral	0,12	6,5
MWÜ Mühlfeldgasse	0,26	0,6
MWÜ Schubertgasse	0,22	1,3
MWÜ Anzengrubergasse	-	-
MWÜ Schnitzlergasse	0,95	12,0

3.2.2 Einzugsgebietsbezogene Daten

Um das Einzugsgebiet im Modell beschreiben zu können, werden eine Vielzahl von Daten benötigt. Durch die „Abteilung 7 – Referat Statistik und Infrastruktur“ des Landes

Steiermark, wurde für die Stadtgemeinde Weiz aus dem GIS-Steiermark ein digitales Geländemodell zur Verfügung gestellt. Die Orthofotos und ein aktueller Kataster wurden vom Regionalbüro Weiz der Firma GISquadrat bereitgestellt. Im Zuge des computerunterstützten Datenimports konnte das Einzugsgebiet Weiz auf Basis des Katasters in kleine Teilflächen, sogenannte Subcatchments, unterteilt werden. Mit Hilfe des digitalen Geländemodells konnten fehlende Höheninformationen bei Knoten und Leitungen ergänzt werden und die Abflussrichtung sowie das Gefälle der Subcatchments ermittelt werden. Die Orthofotos wurden vor allem benötigt um die Abgrenzungen der einzelnen Teilflächen optimieren zu können und deren Oberflächenbeschaffenheiten zu definieren.

Eine der umfangreichsten Aufgaben bei der Datenerhebung stellt meist die Bestimmung der für das Einzugsgebiet des Entwässerungssystems abflusswirksamen Flächen, sowie deren Grad der Versiegelung dar. Dieser Prozess kann je nach Anforderung an die Qualität der Ergebnisse auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen erfolgen. Dabei wird nach den folgenden 4 Ebenen unterschieden:

- Ebene 1 - Einzugsgebiet
Abflussabschätzung der relevanten Flächen für das Gesamtgebiet
- Ebene 2 - Teileinzugsgebiete
Stichprobenmethode. separate Abflussabschätzung für homogene Teileinzugsgebiete
- Ebene 3 - Grundstücksfläche
Stichprobenmethode, separate Abflussabschätzung für jedes Einzelgrundstück
- Ebene 4 - Teilflächendifferenzierung
vollständige Erhebung, Abflussabschätzung anhand der Summe aller undurchlässigen Flächen

Im Zuge des Fallbeispiels Weiz wurde die Flächenerhebung auf der Ebene 3 durchgeführt.

Die benötigten Informationen bezüglich der Einwohnerdaten wurden von der Stadtgemeinde Weiz bereitgestellt. Des Weiteren lieferten sie Angaben zu maßgebenden Schmutzwassererzeugern im Gemeindegebiet sowie Informationen zu weiteren Gemeinden, die an das Kanalisationssystem Weiz angeschlossen sind. Diese Daten sind insbesondere für die Trockenwetterkalibrierung von Belang. In der

Tabelle 3-2 und der Tabelle 3-3 sind die Daten bezüglich der Einwohner und der Industrie zusammengefasst und es wird aufgelistet, an welchem Knoten diese angehängt sind.

Tabelle 3-2: Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz

Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz		
Gemeinde	Einwohner	Knoten
Weiz	8900	ganzes Modell
Mortantsch	2100	N4157
Naas	1700	N1428
Mitterdorf	190	N1576
Thanhausen	210	N1640 (RW), N916, N1710

Tabelle 3-3: Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz

Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz		
Name	Wasserverbrauch [m ³ /Jahr]	Knoten
Andritz AG	17900	N367
Schlachthof	13300	N2026
Schulzentrum	6400	N370
Tankstelle Rosenberger	4300	N1815
LKH Weiz	9400	N3961
Pensionistenheim Weiz	7800	N1475
Weizer Schafbauern	8100	N4004
Moosdorfer Stahlbau	3000	N1758
Volkshilfe Pflegeheim	5500	N1447
GH Ederer	8000	N1344

3.2.3 Meteorologische Daten

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt 799 mm, wobei im Mittel der Jänner mit 25,4 mm der niederschlagsärmste und der Juni mit 120,4 mm der niederschlagsstärkste Monat ist. Die Abbildung 3-4 zeigt die mittleren Monatssummen des Niederschlags zwischen 1971 und 2000 in Weiz.

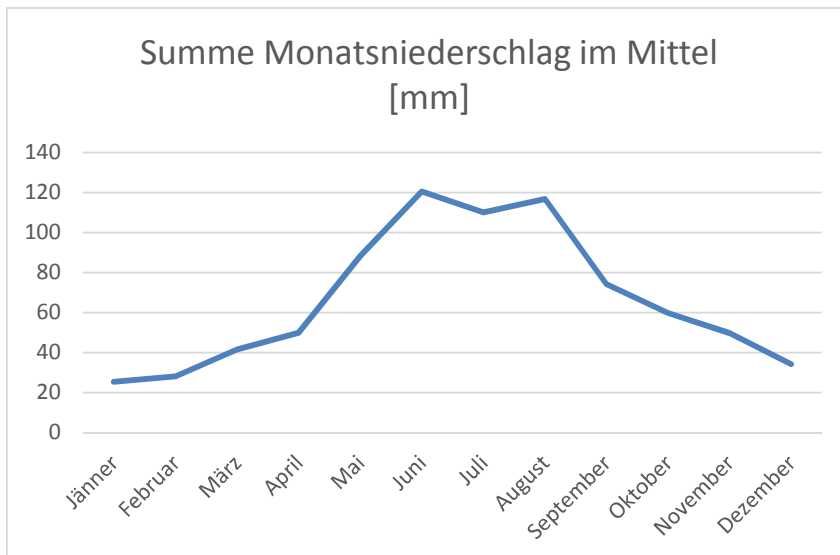


Abbildung 3-4: Mittlere Monatssummen des Niederschlags von 1971-2000 in Weiz (http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm, Stand 07.12.2015)

Da die Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 19 auf einer Langzeitsimulation basiert und diese bei dem vorhandenen Detaillierungsgrad des Modells einen enormen Rechenaufwand bedeuten würde, wurden für den Nachweis Niederschlagsserien verwendet. In diesen Serien sind bei einer mehrjährigen Simulation nur mehr die für den Nachweis maßgebenden Niederschlagsereignisse zusammengefasst. Die dafür benötigten Niederschlagsmesswerte stammen von der Messstation für den Großraum Graz an der Karl-Franzens Universität Graz, da für den Raum Weiz keine Langzeitserien akquiriert werden konnte.

3.2.4 Monitoring-Daten

Um das Modell für den Trocken- und den Regenwetterfall kalibrieren zu können, benötigt es Daten aus verschiedenen Messungen.

Im Trockenwetterfall wird das Modell mit Hilfe der zuvor genannten Einwohnerdaten und dem im 3-Minuten-Intervall gemessenen Zufluss zur Kläranlage Weiz kalibriert. Die Ergebnisse dieser ständigen Zuflussmessung wurden vom Wasserwerk Weiz zur Verfügung gestellt.

3.2.4.1 Niederschlagsdaten

Für die Kalibrierung im Regenwetterfall müssen zeitgleiche Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet und Abflussmessungen im Kanalnetz vorhanden sein. Zur Generierung von Niederschlagsdaten für die Kalibrierung wurde ein Regenschreiber (Niederschlagswippe) am Betriebsgelände des Wasserwerkes Weiz aufgestellt. Die Aufzeichnung erfolgte hierbei in 5-Minuten-Intervallen.

Die Menge des Niederschlags wurde mit Hilfe eines automatischen Niederschlagsmessers eruiert. Bei dieser Form der Messung wird eine Kippwaage (Wippe) mit zweigeteilter Messkammer verwendet, welche den Regen auffängt. Ist ein bestimmtes Gewicht erreicht, z.B.: 2cm^3 , kippt die Wippe und entleert dadurch ihren Inhalt. Durch die Anzahl der Kippbewegungen wird die Wassermenge durch einen Reed-Kontakt elektronisch erfasst.

3.2.4.2 Temperatursensoren

Zur Kalibrierung (v.a. für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19) kann auch die Übereinstimmung des Überlaufverhaltens (Überlaufhäufigkeit und Überlaufdauer) an Mischwasserüberläufen zwischen Modell und Realität herangezogen werden. Dazu wurden in ausgewählten Mischwasserüberläufen Temperatursensoren, deren Funktionsweise im Folgenden näher erläutert wird, eingebaut.

Gewöhnliche Messmethoden für Mischwasserüberläufe wie Durchflussmessungen und Wasserspiegelmessungen sind von der Anschaffung über die Installation und den Betrieb bis hin zur Wartung mit hohen Kosten verbunden. Für das Fallbeispiel Weiz wurde deshalb statt den herkömmlichen Messgeräten, eine neue kostengünstige und bereits zuvor erfolgreich getestete Methode zur Erfassung von Überlaufereignissen eingesetzt (Hofer, et al., 2004). Das Prinzip basiert auf einer simultanen Messung der Temperatur durch zwei im Mischwasserüberlauf eingebaute Temperatursensoren. Der erste der beiden Sensoren wird direkt im Abwasserstrom angebracht und misst ständig die Temperatur des Abwassers. Der zweite Temperatursensor wird hingegen auf oder hinter der Überlaufschwelle angebracht. Er misst im Trockenwetterfall die Lufttemperatur im Kanal. Aus diesem Grund unterscheiden sich die gemessenen Temperaturwerte der beiden Sensoren im Trockenwetterfall voneinander. Kommt es aufgrund eines Niederschlagsereignisses zu einem erhöhten Abfluss im Kanal und in weiterer Folge zu einem Anspringen des Mischwasserüberlaufs, sind plötzlich beide Temperatursensoren unter Wasser wobei sich ihre Messergebnisse angleichen. Werden diese Ergebnisse später ausgewertet, so lässt sich der exakte Zeitpunkt bestimmen an dem das Überlaufereignis begonnen und geendet hat. In der folgenden Abbildung 3-5 ist ein beim Einbau der Sensoren aufgenommenes Bild zu sehen. Im Vordergrund befindet sich der erste Temperatursensor im Abwasserstrom. Im linken oberen Eck des Fotos ist der hinter der Überlaufschwelle angebrachte zweite Sensor zu sehen.



Abbildung 3-5: Eingebaute Temperatursensoren in einem Weizer MWÜ

In Abbildung 3-6 sind sämtliche Mischwasserüberläufe, die Lage der eingebauten Temperatursensoren und die Position des Regenschreibers dargestellt.

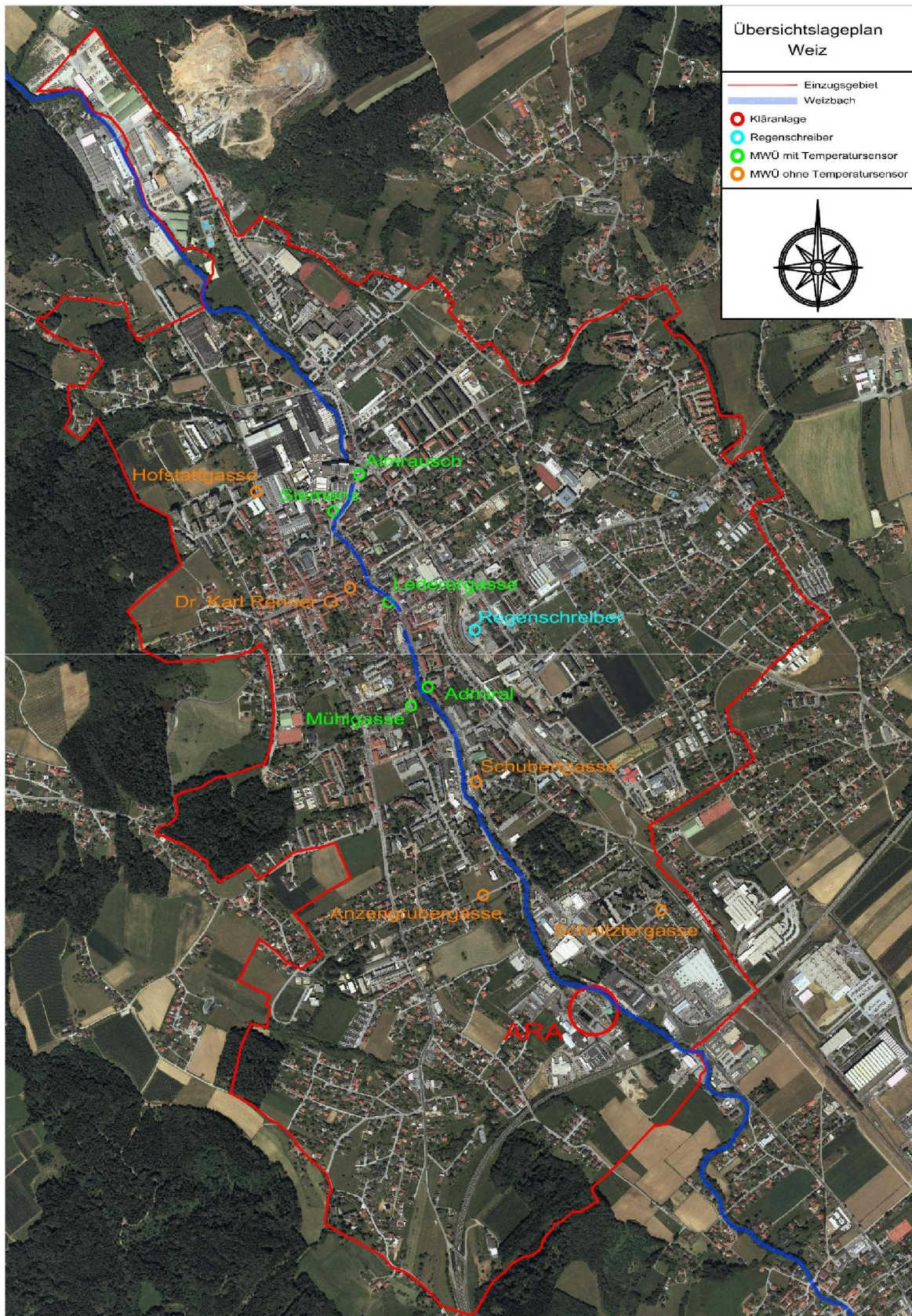


Abbildung 3-6: Übersichtslageplan Weiz mit der Position der MWÜ und des Regenschreibers

Tabelle 3-4 zeigt die aus den Messergebnissen der Temperatursensoren abgeleiteten Mischwasserüberlaufereignisse.

Tabelle 3-4: Messergebnisse der Temperatursensoren

Messergebnisse der Temperatursensoren			
Name des MWÜ	Datum	von	bis
Mühlgasse	08.07.2015	13:15	14:08
		15:52	16:40
		17:15	18:00
		18:15	00:03
Lederergasse	08.07.2015	13:15	13:40
		14:23	16:02
		17:45	18:02
		18:12	19:05
		20:03	22:42
		23:17	00:15
Admiral	17.08.2015	01:35	04:25
Almrausch	17.08.2015	01:38	04:25
Lederergasse	17.08.2015	01:40	03:35
Mühlgasse	17.08.2015	01:35	04:16

3.3 Erstellen des Modells

Nach der Datensammlung und -aufbereitung wurde mit der Modellierung des Kanalisationssystems begonnen. Dieser Vorgang kann in zwei wesentliche Schritte unterteilt werden. Zuerst wurde ein Großteil der Grunddaten in die Modellierungssoftware PCSWMM importiert. Danach mussten die fehlenden Informationen manuell ergänzt werden und das Modell auf Fehler geprüft werden.

3.3.1 Datenimport

Nachdem alle benötigten Daten, wie im Kapitel 3.2 beschrieben, verfügbar gemacht und in das richtige Format aufbereitet wurden, konnten diese in die Modellierungssoftware übertragen werden. Der Datenimport erfordert keinen großen Zeitaufwand, wenn die erforderliche Datenaufbereitung zuvor gewissenhaft durchgeführt wurde. Deshalb ist die Qualität und die Bearbeitung der Daten ein kritischer Punkt bei der Erstellung eines Modells. PCSWMM bietet für das Importieren die Möglichkeit, Daten aus Datenbanken wie Excel, GIS-Shapes oder Ähnlichem automatisch einzulesen.

Die wesentlichen Grunddaten konnten auf dem oben beschriebenen Weg aus der Excel-Datenbank in die Software importiert werden. Das so erstellte Modell besitzt 3713 Subcatchments, 2299 Junctions (Knoten), 2317 Conduits (Leitungen) und 17

Outfalls (Auslässe). Selbstverständlich weist das Modell in dieser Phase noch wesentliche Ungenauigkeiten auf und es müssen nun in den folgenden Schritten die Fehler korrigiert und die im Modell fehlenden Daten und Informationen ergänzt werden.

3.3.2 Bearbeitung der Teilflächen (Subcatchments)

Teilflächen, sogenannte Subcatchments, beschreiben hydrologische Einheiten, die eine ähnliche Topografie aufweisen und deren Oberflächenabfluss, wenn er die Fläche verlässt, gebündelt an einem Punkt zusammengefasst werden kann. Diese Punkte können entweder Verknüpfungselemente mit dem Kanalisationssystem oder ein anderes Subcatchment sein. In der Modellierungssoftware PCSWMM ist es die Aufgabe des Modellierers, das relevante Einzugsgebiet in entsprechende Teilflächen aufzuteilen. (James, et al., 2010)

Für das Fallbeispiel Weiz wurde das Einzugsgebiet, basierend auf dem vorliegenden Kataster, während dem automatisierten Import der Daten, in die einzelnen Subcatchments unterteilt. Dabei wurde die Detaillierungsstufe „Ebene 3“ (siehe Punkt 3.2.2) gewählt. In PCSWMM können den Teilflächen eine Vielzahl unterschiedlicher Eigenschaften und Beiwerte zugewiesen werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, die Versickerung in die oberste Bodenschicht mit einem der drei Modelle, Horton Infiltration, Green-Ampt-Infiltration oder SCS Curve Number Infiltration zu simulieren. In der Tabelle 3-5 sind die verschiedenen wichtigsten Eigenschaften eines Subcatchments aufgezählt und ihre jeweilige Funktion kurz erläutert.

Tabelle 3-5: Beschreibung der Eigenschaften einer Teilfläche (Subcatchments)

Eigenschaften der Subcatchments	
Eigenschaft	Beschreibung
Name	Name des Subcatchments
X-Coordinate	X-Koordinate des Schwerpunktes
Y-Coordinate	Y-Koordinate des Schwerpunktes
Description	Optionale Beschreibung des Modellierers
Tag	Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer
Rain Gage	Die dem Subcatchment zugewiesenen Niederschlagsereignisse
Outlet	Anschlusspunkt des Subcatchments
Area [ha]	Fläche des Subcatchments
Width [m]	Wirksame Abflussbreite des Subcatchments
Flow Length [m]	Längster Fließweg des Subcatchments
Slope [%]	Gefälle des Subcatchments
Imperv. [%]	Versiegelungsgrad des Subcatchments
N Imperv	Manning Beiwert des versiegelten Flächenanteils des Subcatchments
N Perv	Manning Beiwert des unversiegelten Flächenanteils des Subcatchments
Dstore Imperv [mm]	Muldenverluste auf den versiegelten Flächen des Subcatchments
Dstore Perv [mm]	Muldenverluste auf den unversiegelten Flächen des Subcatchments
Zero Imperv [%]	Flächenanteil der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste

Da die Aufteilung der Subcatchments auf einem Datensatz des Katasters, der abgesehen von der Fläche und den Koordinaten ihres Schwerpunktes keine weiteren relevanten Informationen für die Subcatchments besitzt, basiert, wurden die fehlenden Informationen vorerst mit Standardwerten belegt. Mit den zusätzlichen vorhandenen Daten, wie zum Beispiel dem digitalen Geländemodell oder den Orthofotos, war es nun die Aufgabe, Methoden zu entwickeln, mit denen diese fehlenden Informationen in einem ausreichenden Detaillierungsgrad ermittelt werden konnten.

Zuvor musste jedoch die Grundstruktur der Subcatchments auf Fehler überprüft und die einzelnen Teilflächen in Form und Größe angepasst werden. Ziel war es, die Aufteilung der Flächen so anzupassen, dass die jeweilige Fläche des Subcatchments selbst eine ähnliche Topografie aufweist und der Punkt, an dem der Oberflächenabfluss die Fläche verlässt, bestimmt werden kann. Diese Überarbeitung war notwendig, da die Struktur der einzelnen Flächen aufbauend auf dem Kataster erstellt wurde. Die Grundstücke waren selbstverständlich wie in jeder Gemeinde von sehr unterschiedlicher Größe. Manche von ihnen, wie beispielsweise Straßen, besaßen eine enorme Länge und andere wiederum waren deutlich zu klein. In einigen Fällen waren mehrere Subcatchments mit ähnlichen Eigenschaften nebeneinander und konnten deshalb zusammengefügt werden.

Zusammenfassend wurden folgende Bearbeitungsschritte an der Grundstruktur der Subcatchments vorgenommen:

- Löschen sämtlicher für das Modell irrelevanten Subcatchments wie zum Beispiel die Flächen des Weizbaches, Flächen deren Oberflächenabfluss nicht ins System gelangen kann (z.B. aufgrund des Gefälles) oder abgeschiedene Wälder.
- Ausbessern von Fehlern wie Löcher oder Überlappungen von Teilflächen die bei dem Datenimport des Katasters entstanden sind.
- Unterteilen von zu großen Flächen wie Straßen, Industriegelände oder Eisenbahnanlagen in mehrere kleinere Subcatchments
- Verbinden von zu kleinen Subcatchments, wie zum Beispiel Gehwege neben Straßen mit angrenzenden, ähnlichen Teilflächen
- Zusammenfügen von nebeneinander liegenden Subcatchments mit gleichen Eigenschaften bezüglich Oberflächenabfluss und Topografie

Bei der Bearbeitung der Teilflächen wurden vor allem Subcatchments entfernt deren Oberflächenabfluss für das Kanalisationssystem von Weiz keine Rolle spielen. Dadurch wurde das endgültige in der Abbildung 3-7 dargestellte Ergebnis erzielt. Das fertige Weizer Kanalnetzmodell besteht aus 3107 Subcatchments, deren gesamte Fläche rund 372,69 ha beträgt.

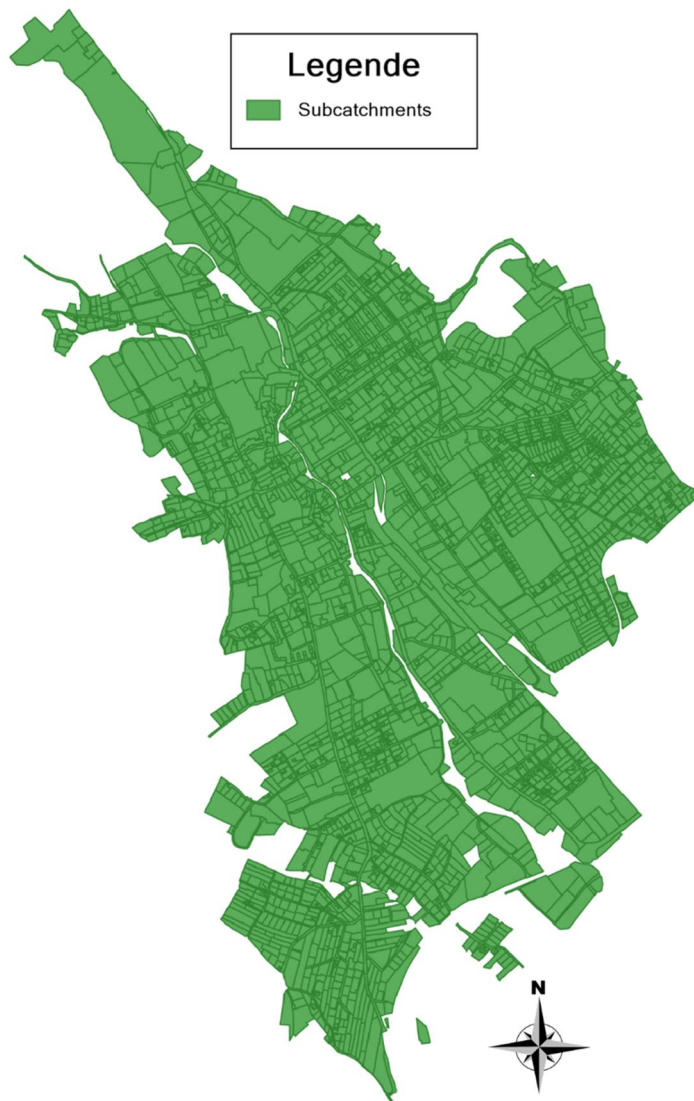


Abbildung 3-7: Subcatchments des fertigen Weizer Kanalnetzmodells

Anhand der Abbildung 3-7 lässt sich sehr gut erkennen, dass vor allem die an den Weizbach angrenzenden Bereiche keine Bedeutung für den Abfluss im Kanalisations-system haben. Des Weiteren konnten auch einige nicht abflusswirksame Flächen, wie Wälder und Wiesen, am Rand des Einzugsgebietes entfernt werden.

Nach der Überprüfung der einzelnen Subcatchments konnte mit der Ermittlung der noch ausstehenden Informationen begonnen werden. Dabei mussten vor allem Angaben und Werte für die Eigenschaften Anschlusspunkt („Outlet“), Abflussbreite („Width“) und sämtliche Angaben zu dem Versiegelungsgrad sowie der Oberfläche der Subcatchments festgelegt werden. In den folgenden zwei Unterkapiteln wird detailliert erläutert wie die fehlenden Informationen systematisch ermittelt werden konnten. Dazu musste jedes einzelne Subcatchment separat betrachtet werden und mit Hilfe zusätzlicher Daten, wie dem DGM oder Orthofotos die gesuchten Werte bestimmt werden. Grundsätzlich wurden diese zwei Schritte bei der Bearbeitung des Modells simultan

ausgeführt, aber aus Gründen der Übersicht werden sie hier in zwei unterschiedlichen Kapiteln beschrieben.

3.3.2.1 Ermittlung von „Outlet“ und „Width“

Nach dem Erstellen der Subcatchments durch Importieren der Katasterdaten, wurden für die Teilflächen von PCSWMM automatisch der „Outlet“, also der Anschlusspunkt an dem der Oberflächenabfluss weiter in das System fließt, ausgewählt. Das Programm weist hier standardmäßig dem Subcatchment den nächstgelegenen Knoten zu. Das entspricht selbstverständlich nicht immer der Realität. Deshalb wurde Schritt für Schritt jedes Subcatchment einzeln betrachtet und der korrekte „Outlet“ ermittelt. Hierfür wurde mit Hilfe des DGM das Gefälle der Flächen, sowie die daraus resultierenden Richtungen des Oberflächenabflusses bestimmt und kontrolliert, ob diese mit den gewählten Anschlusspunkten verträglich sind. In einigen Fällen stellte sich bei dieser Analyse heraus, dass die betrachteten Flächen aus abflusstechnischer Sicht keine Relevanz für das Modell besitzen, weshalb sie entfernt wurden. Außerdem wurde die Kanalisationsart, d.h. ob das Subcatchment an einen Regen- oder Mischwasserkanal angeschlossen ist überprüft und in weiterer Folge ermittelt, ob der korrekte Anschlusspunkt gewählt wurde. Der Anschluss an einen Schmutzwasserkanal ist nicht zulässig, da in diesem nur Schmutzwasser und kein Niederschlagswasser abgeführt werden soll. Eine genaue Darstellung des Schmutzwasserabflusses bzw. des Abflussverhaltens im Trockenwetterfall findet sich in Kapitel 3.4.1 wieder.

Eine weitere bedeutende Eigenschaft des Subcatchments ist seine „Width“. Diese virtuelle Größe beschreibt die wirksame Abflussbreite der Fläche. Ihr Zusammenhang mit der Fläche des Subcatchments und der Länge des Weges des Oberflächenabflusses wird in der Gleichung 3-1 dargestellt:

$$Width = \frac{\text{Längster Fließweg}}{\text{Fläche Subcatchment}} \quad \text{Gleichung 3-1}$$

Die Berechnung der Abflussbreite für jedes einzelne Subcatchment separat auszuführen wäre nicht wirtschaftlich und würde den benötigten Detaillierungsgrad deutlich übersteigen. Deshalb wurde für das Fallbeispiel Weiz nach einer Methode vorgegangen, die sowohl eine ausreichende Genauigkeit sowie eine erforderliche Effektivität gewährleistet. Auf die Abflussbreite haben die Größe der Fläche, vor allem aber ihre Form und die Lage der abflusswirksamen Oberfläche (z.B. das Gebäude, die versiegelte Fläche, etc.) auf dem Subcatchment den deutlich größten Einfluss.

Deshalb wurden im Zuge, der schon für die Überprüfung der „Outlets“ erforderlichen einzelnen Betrachtung der Teilflächen, die Flächen nach ihrer Form in fünf Hauptgruppen unterteilt. Der Betrachtungspunkt, nach welchem die Form beurteilt wird, ist jeweils der Anschlusspunkt des Subcatchments. Als Bezeichnung für die einzelnen Gruppen wurden die Buchstaben A bis E gewählt. Außerdem wurde Straßen eine gesonderte

Bezeichnung gegeben, da sie alle eine sehr ähnliche Form aufweisen. Die genaue Aufteilung der Gruppen wird in der Tabelle 3-6 dargestellt.

Tabelle 3-6: Kategorisierung der Subcatchments nach Form

Kategorisierung der Subcatchments nach Form zur Bestimmung der „Width“	
Gruppe	Form
A	ein Quadrat
B	ein aufgestelltes Rechteck (lange Seite senkrecht)
C	ein quer liegendes Rechteck (lange Seite waagrecht)
D	ein umgedrehtes Trapez (lange Seite oben)
E	ein Trapez (lange Seite unten)
St	eine Straße

Das Eigenschaftsfeld „Tag“ der Subcatchments bietet dem Anwender in PCSWMM die Möglichkeit, den Flächen Informationen zuzuweisen, nach denen sie später sortiert werden können. Diese Funktion wurde verwendet um die Teilflächen mit der jeweiligen oben beschriebenen Kennzeichnung zu versehen.

Für Subcatchments, die eine sehr extreme Variante ihrer Form aufweisen, wie zum Beispiel ein Rechteck mit einer großen Länge aber einer geringen Breite, wurde statt des Großbuchstabens der Kleinbuchstabe verwendet. Zusätzlich dazu wurden bei Subcatchments, die nicht direkt an einen Anschlussknoten angrenzen, wodurch der Fließweg des Oberflächenabflusses deutlich länger wird, vor dem Buchstaben zur Gruppeneinteilung ein X vorangestellt. Eine weitere Sonderkennzeichnung wurde vorgenommen, wenn ein Subcatchment von einem anderen umschlossen wird. Ein klassisches Beispiel hierfür wäre ein Einfamilienhaus umgrenzt von einem Garten. Ihnen wurde, vor die Bezeichnung für die Form der Fläche, ein Z vorgestellt.

Da auch die Lage der versiegelten Fläche in dem Subcatchment eine wesentliche Rolle spielt, wurde der Bezeichnung für die Form, falls diese Fläche nicht in der Mitte liegt, eine Zahl als zusätzliche Kennzeichnung beigelegt. Befindet sie sich im vorderen Drittel bekam sie eine 1 und für das hintere Drittel eine 3.

In der Abbildung 3-8 werden die einzelnen Formen sowie die Sonderbezeichnungen dargestellt, die zur Bestimmung der Width erforderlich waren.

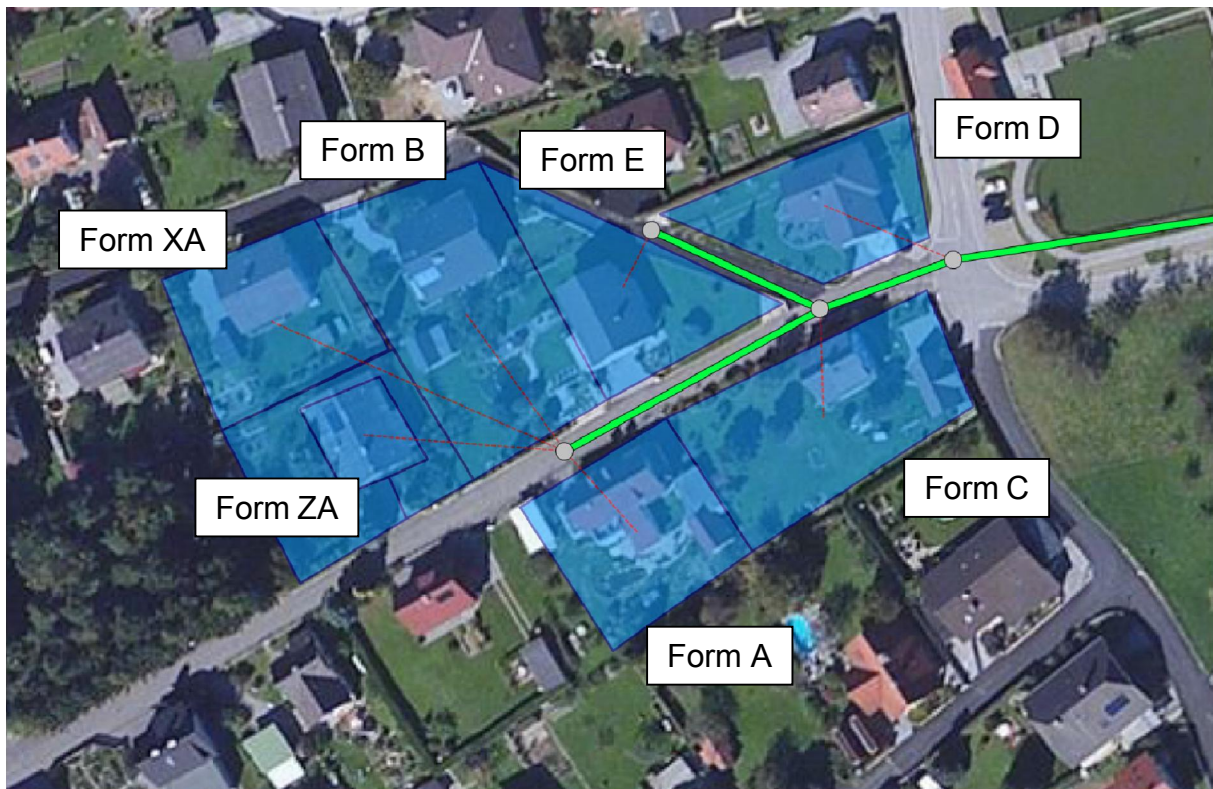


Abbildung 3-8: Darstellung der einzelnen Formen der Subcatchments zur Bestimmung der „Width“

Nachdem alle Subcatchments in ihre Gruppen, inklusive der Sonderbezeichnungen unterteilt wurden, konnte damit begonnen werden ihnen eine „Width“ je nach Gruppe zuzuweisen. Dazu wurde in einer Excel-Tabelle für jede Gruppe, abhängig von der Fläche des jeweiligen Subcatchments und den empirisch ermittelten Faktoren, ein Wert für die Abflussbreite errechnet und ins PCSWMM übertragen. In der Tabelle 3-7 sind die verschiedenen Formeln für die unterschiedlichen Gruppen mit ihren Sonderbezeichnungen dargestellt.

Tabelle 3-7: Formeln der jeweiligen Gruppen zur Ermittlung der „Width“

Formeln zur Berechnung der „Width“				
Kategorie	Formel	Faktoren unterteilt nach Position		
		x _{w1}	x _{w2}	x _{w3}
A	$W = \frac{\sqrt{A}}{X_W}$	0,850	0,850	0,850
B	$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{3} * X_W}$	0,333	0,667	1,000
b	$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{5} * X_W}$	0,333	0,667	1,000
c	$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{2} * X_W}$	0,500	0,500	0,500
c	$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{2} * X_W}$	1,000	1,000	1,000
D	$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{6} * X_W}$	0,333	0,333	0,333
d	$W = \sqrt{A} * X_W$	0,500	0,500	0,500
E	$W = \sqrt{A} * X_W$	2,449	2,449	2,449
e	$W = \sqrt{A} * X_W$	1,414	1,414	1,414
ZA	$W = \frac{A}{X_W}$	23,000	26,000	20,000
ZB	$W = \frac{A}{X_W}$	23,000	26,000	20,000
ZC	$W = \frac{A}{X_W}$	23,000	26,000	20,000
St	$W = 15$	-	-	-
X	Formel je nach Kategorie	Faktor * 3	Faktor * 3	Faktor * 3
W ... Width [m]; A ... Fläche [m ²]; x _w ... empirisch ermittelter Faktor				

Für eine Teilfläche, die vom Bezugspunkt aus gesehen die Form eines extrem schmalen, aufgestellten Rechtecks mit einer Fläche von 100 m² besitzt und auf der sich im mittleren Drittel ein Gebäude umgeben von Wiese befindet, würde sich die „Width“ wie in der Gleichung 3-2 berechnen:

$$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{5} * X_W} = \frac{\sqrt{100}}{\sqrt{5} * 0,667} = 6,70 \text{ m}$$

Gleichung 3-2

3.3.2.2 Ermittlung der Oberflächenverhältnisse

Um den Oberflächenabfluss im Modell realitätsnah simulieren zu können, ist es wichtig die Oberflächenverhältnisse, wie den Grad der Versiegelung oder die Oberflächenrauigkeiten, ausreichend genau abzubilden. Wie schon bei der Bestimmung der Abflussbreite wäre es nicht effektiv, für jedes der Subcatchments die Oberflächenverhältnisse

einzelnen zu bestimmen. Aus diesem Grund wurde für das Modell des Fallbeispiels Weiz eine weitere Unterteilung der Subcatchments in Gruppen nach den Oberflächentypen vorgenommen. Dazu wurde im Zuge der Betrachtung der einzelnen Subcatchments für die Bestimmung der Kennwerte „Width“ und „Outlet“ aus dem vorherigen Kapitel (siehe Kapitel 3.3.2.1), jede einzelne Teilfläche zusätzlich mit den hinterlegten Orthofotos abgeglichen. Die Aufteilung der Flächen erfolgte nach dem in der Tabelle 3-8 dargestellten Prinzip.

Tabelle 3-8: Aufteilung der Flächen nach Oberflächentypen

Kategorien der Oberflächentypen	
Kategorie	Beschreibung
DS	Dachfläche mit Spitzdach
DF	Dachfläche mit Flachdach
BA	Befestigte Fläche Asphalt / Beton
BS	Befestigte Fläche Schotter / Erde
St	Straße
E	Eisenbahn
A	Acker
Wi	dünner niedriger Bewuchs, Wiese
Wa	dichter Bewuchs, Wald

Die Abkürzungen wurden im Eigenschaftsfeld „Tag“ der Subcatchments im PCSWMM nach einem Bindestrich der Bezeichnung, für die Form der Teilflächen (siehe Kapitel 3.3.2.1) angehängt. Da viele Subcatchments aus unterschiedlichen Oberflächentypen bestehen, wurde zuerst die für den Oberflächenabfluss ungünstigste Fläche als prozentuelle Größe an der Gesamtfläche in den folgenden Intervallen angegeben:

- 20 = 0% bis 20%
- 40 = 20% bis 40%
- 60 = 40% bis 60%
- 80 = 60% bis 80%

Eine Fläche bestehend aus einem Wohnhaus mit Flachdach und einem Garten wurde dann zum Beispiel mit DF40Wi bezeichnet.

Nachdem für alle Subcatchments der Flächentyp bestimmt wurde, konnten für jede Gruppe die folgenden Eigenschaften festgelegt werden:

- Die „Imperviousness“ (der Versiegelungsgrad) in Prozent nach den oben genannten Intervallen.
- Die Manning Beiwerte n für die versiegelten sowie unversiegelten Flächen.
- Die Muldenverluste in mm für die versiegelten sowie unversiegelten Flächen.

- Die Prozent der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste (zero-imperviousness).

In der Tabelle 3-9 werden sämtliche Unterteilungen der Subcatchments nach ihren Flächentypen und ihre ihnen zugewiesenen Manning Beiwerte aufgelistet.

Tabelle 3-9: Manning Beiwerte der Subcatchments

Manning Beiwerte der Subcatchments	
Flächenart	Manning Beiwert n
Flachdach	0,012
Spitzdach	0,014
Straße	0,012
Asphalt / Beton	0,018
Schotter	0,020
Wiese	0,200
Acker	0,120
Wald	0,600
Eisenbahn	0,025

Zusätzlich wurden den Subcatchments unter dem Eigenschaftsfeld „Rain Gage“ die aus dem Regenschreiber erhaltenen Niederschlagsdaten den Teilflächen zugewiesen.

3.3.3 Bearbeitung der Leitungselemente

Nachfolgend wird auf die Bearbeitung der Knoten (Junctions) sowie der Leitungen (Conduits) näher eingegangen. Sie sind beide stark voneinander abhängig, da ohne Knoten kein Wasser in das Leitungssystem ein- bzw. ausfließen kann und andererseits sich das Wasser, sobald es die Oberfläche verlassen hat, ohne Leitungen im System nicht fortbewegen kann. Das wirkt sich nach dem Import der Daten, in der Phase der Modellierung, auch auf die Vorgehensweise der manuellen Nachbearbeitung aus. Durch ihre gegenseitige Abhängigkeit wurden diese beiden Elemente des Modells simultan bearbeitet und werden daher in diesem Kapitel gemeinsam betrachtet.

3.3.3.1 Knoten (Junctions)

Junctions sind Knoten im Entwässerungssystem, wie zum Beispiel Kanalschächte oder Zusammenschlüsse offener Kanäle, an denen Leitungen aufeinandertreffen und externe Zuflüsse in das System gelangen. Wenn die angeschlossenen Leitungen überlastet sind, kann es in den Knoten, durch überschüssiges Wasser, zu einem Überstau kommen. Wie schon bei den zuvor beschriebenen Subcatchments (siehe Kapitel 3.3.2), wurden mit Hilfe des programmunterstützten Datenimports die wichtigsten Grunddaten in das PCSWMM Kanalnetzmodell übertragen. Zusätzlich dazu mussten die fehlenden Informationen der Grunddaten und Parameter von bestimmten Eigenschaften der Knoten ergänzt werden. Außerdem mussten die externen Zuflüsse der

einzelnen Junctions festgelegt werden. In der Tabelle 3-10 sind die wichtigsten Eigenschaften der Knoten aufgelistet und beschrieben.

Tabelle 3-10: Beschreibung der Eigenschaften eines Knotens (Junction)

Eigenschaften der Junctions	
Eigenschaft	Beschreibung
Name	Name des Knotens
X-Coordinate	X-Koordinate des Knotens
Y-Coordinate	Y-Koordinate des Knotens
Description	Optionales Kommentar oder Beschreibung des Modellierers
Tag	Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer
Invert Elev. [m]	Höhe der Schachtsohle
Rim Elev. [m]	Kanaldeckeloberkante, wird automatisch aus Invert Elev. + Depth berechnet
Depth [m]	Maximale Wassertiefe, ist zumeist die Schachttiefe
Initial Depth [m]	Anfängliche Wassertiefe im Knoten
Surcharge Depth [m]	Maximale Einstautiefe bevor es zu einer Überflutung kommt
Ponded Area [m ²]	Größe der überfluteten Fläche bei Überflutungen
Baseline [m ³ /s]	Basiswert des direkten Zuflusses
Baseline Pattern	Zeitliches Muster des direkten Zuflusses
Time Series	Direkter Zufluss nach einer zeitlichen Serie
Scale Factor	Skalierungsfaktor für den direkten Zufluss
Average Value [m ³ /s]	Durchschnittlicher Wert des Trockenwetterzuflusses
Time Pattern 1 - 4	Bis zu 4 optionale zeitlichen Muster für den durchschn. Trockenwetterzufluss

Doch bevor die Knoten mit zusätzlichen Informationen ergänzt werden konnten, musste wie schon zuvor bei den Subcatchments, die Grundstruktur der importierten Daten auf Fehler überprüft und gegebenenfalls adaptiert werden. Dieser Schritt wurde, durch die Kontrolle jedes einzelnen Leitungsstranges, gemeinsam mit der Überprüfung der Leitungen durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Korrekturen vorgenommen:

- Korrigieren der Sohlhöhen, mittels der Ermittlung des Gefälles durch den Vergleich mit den anschließenden Leitungen, bei Knoten, deren Schachtsohlhöhe vor dem Datenimport auf 460 müA angepasst werden musste.
- Korrigieren der Sohlhöhen, mittels der Ermittlung des Gefälles durch den Vergleich mit den anschließenden Leitungen bei Knoten, deren Schachtsohlhöhe bezogen auf die angrenzenden Knoten nicht plausibel ist.
- Durch das Verschneiden mit dem digitalen Geländemodell konnten für die Knoten, deren Schachttiefe in den erhaltenen Daten fälschlicherweise auf 0 m gesetzt waren und deshalb auf 1,5 m angepasst wurden, die Schachttiefe korrigiert werden.

- Korrigieren der Schachttiefen durch das Verschneiden mit dem DGM bei Knoten, deren Schachttiefen bezogen auf die angrenzenden Knoten nicht plausibel sind.
- Entfernen der für das Modell nicht benötigten Knoten, vor allem in Bereichen in denen anderenfalls sehr kurze Leitungslängen (< 10 m) auftreten würden. Diese Maßnahme ist erforderlich, da es bei der Berechnung in PCSWMM bei Leitungen mit einer geringen Länge zu Problemen kommt. Auf das Ergebnis der Simulationsläufe haben die entfernten Knoten jedoch keinen Einfluss.

Das endgültige Ergebnis der bearbeiteten Knoten ist in Abbildung 3-9 ersichtlich. Im fertigen Modell sind 2112 Knoten enthalten.



Abbildung 3-9: Junctions des fertigen Weizer Kanalnetzmodells

Nachdem die Grundstruktur der Knoten überprüft und korrigiert wurde, konnte mit der Zuweisung der noch fehlenden Eigenschaften und Parameter begonnen werden. In dem Eigenschaftsfeld „Average Value“ der Junctions besteht die Möglichkeit, dem

Knoten einen regelmäßigen externen Zufluss in m^3/s oder l/s zuzuweisen. Diese Funktion wurde verwendet um den Schmutzwasserzufluss des Systems zu modellieren. Dazu wurde schon beim Import der Daten, den Knoten im Feld „Description“, abhängig davon ob sie Schmutzwasser führen, entweder die Bezeichnung „Freispiegel SWK“ oder „Freispiegel RWK“ zugeteilt. Um die Knoten später einfach nach ihrem Eigenschaftsfeld „Tag“ sortieren zu können, wurden im nächsten Schritt in PCSWMM, mit Hilfe einer Such- und Abfragefunktion, sämtliche Leitungen mit der „Description“ „Freispiegel RWK“ ausgewählt und mit dem „Tag“ „o“ versehen. Ihnen wurde in weiterer Folge kein Schmutzwasserzufluss zugewiesen. Zusätzlich gab es im Kanalnetzmodell Junctions, bei denen bekannt war, dass im Vergleich zu den anderen Knoten ein größerer Zufluss auftreten wird. Das sind beispielsweise Knoten an denen eine weitere Gemeinde oder größere Industriebetriebe angeschlossen sind. Ihnen wurde der „Tag“ „Zuleitung“ gegeben und zusätzlich in der „Description“ ihr Name vermerkt.

Für den Schmutzwasserabfluss wurde ein täglicher Wasserverbrauch von $120 \text{ l}/(\text{d} \cdot \text{EW})$ angenommen. Der sich daraus ergebende gesamte Schmutzwasseranfall wurde auf die Knoten des Kanalisationssystems verteilt. Das täglich anfallende Schmutzwasser der bekannten großen Industrie- und Gewerbebetriebe wurde über den auf 80% reduzierten jährlichen Wasserverbrauch (aufgrund etwaiger Wasserverluste bei Produktionsprozessen etc.) berechnet. In der Tabelle 3-11 und Tabelle 3-12 wird dargestellt welche Ergebnisse diese zwei Berechnungen lieferten und wie diese auf die Knoten verteilt wurden.

Tabelle 3-11: Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Gemeinden

Ermittlung des Trockenwetterzuflusses Gemeinden					
Gemeinde	Knotenname	Anzahl d. Knoten	EW	Q [m^3/s]	pro Knoten [l/s]
Weiz	Alle SWK	1684	8900	0,012361	0,007
Mortantsch	N4157	1	2100	0,002917	2,917
Naas	N1428	1	1700	0,002361	2,361
Mitterdorf	N1576	1	190	0,000264	0,264
Thanhausen	N916, N1710	2	210	0,000292	0,146

Tabelle 3-12: Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Betriebe

Ermittlung des Trockenwetterzuflusses Betriebe				
Betrieb	Knotenname	Wasserverbrauch		80% des Wasserverbrauchs [l/s]
		[m ³ /Jahr]	m ³ /s	
Andritz AG	N367	17900	0,000568	0,57
Schlachthof	N2026	13300	0,000422	0,42
Schulzentrum	N370	6400	0,000203	0,20
Tankstelle Rosenberger	N1815	4300	0,000136	0,14
LKH Weiz	N3961	9400	0,000298	0,30
Pensionistenheim Weiz	N1475	7800	0,000247	0,25
Weizer Schafbauern	N4004	8100	0,000257	0,26
Moosdorfer Stahlbau	N1758	3000	0,000095	0,10
Volkshilfe Pflegeheim	N1447	5500	0,000174	0,17
GH Ederer	N1344	8000	0,000254	0,25

3.3.3.2 Leitungen (Conduits)

Die Modellierungs- und Berechnungssoftware PCSWMM berechnet den Durchfluss von Leitungen mit der Manning-Strickler Formel für den Freispiegelabfluss und bei Druckabfluss mittels der Hazel-Williams oder Darcy-Weisbach Formel. Die dafür benötigten Parameter müssen durch den Modellierer angegeben werden. Wie auch bei den Knoten waren für die Leitungen ein Großteil der Grunddaten durch den Datenimport ins PCSWMM übertragen worden.

Die endgültige Anzahl der unterschiedlichen Leitungen des Modells kann der Tabelle 3-13 entnommen werden. Die finale Struktur der Leitungen des Kanalnetzmodells wird in der Abbildung 3-10 dargestellt.

Tabelle 3-13: Anzahl und Länge der Conduits im fertigen Modell

Conduits des fertigen Kanalnetzmodells		
Art der Leitung	Anzahl	Gesamtlänge
Mischwasserkanal	1364	38,035 km
Schmutzwasserkanal	389	10,786 km
Regenwasserkanal	360	11,796 km

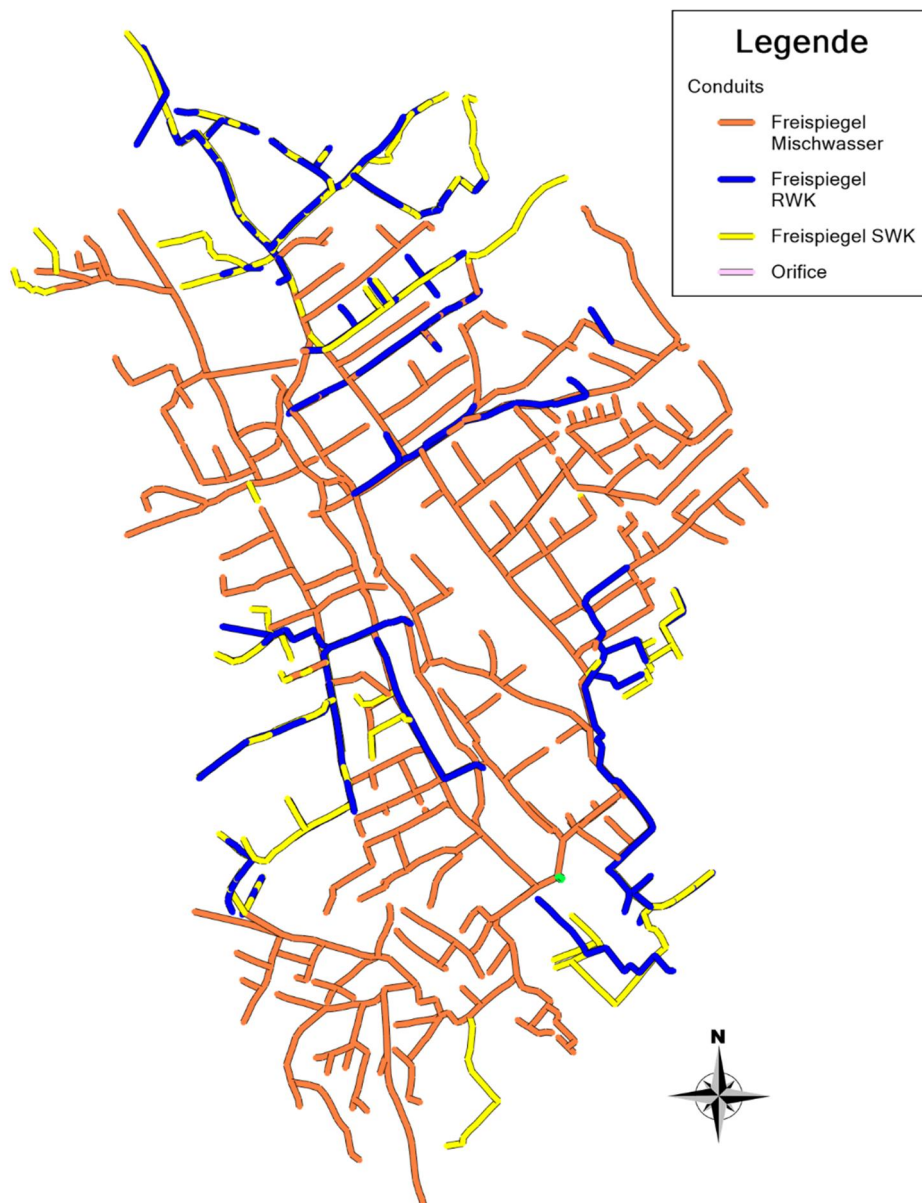


Abbildung 3-10: Conduits des fertigen Weizer Kanalnetzmodells

Danach wurden die fehlenden Daten ergänzt. Die wichtigsten Eigenschaften der Conduits werden in der Tabelle 3-14 dargestellt und erläutert.

Tabelle 3-14: Beschreibung der Eigenschaften einer Leitung (Conduit)

Eigenschaften der Conduits	
Eigenschaft	Beschreibung
Name	Name des Conduits
Inlet Node	Name des Knotens am Anfang der Leitung
Outlet Node	Name des Knotens am Ende der Leitung
Description	Optionales Kommentar oder Beschreibung des Modellierers
Tag	Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer
Length [m]	Länge der Leitung
Roughness	Manning Beiwert für die Rauigkeit in der Leitung
Inlet Offset [m]	Differenz zwischen Leitungssohle und Schachtsohle am Leitungsanfang
Outlet Offset [m]	Differenz zwischen Leitungssohle und Schachtsohle am Leitungsende
Initial Flow [m ³ /s]	Anfänglicher Durchfluss in der Leitung
Flow Limit [m ³ /s]	Maximal erlaubter Durchfluss in der Leitung
Entry Loss Coeff.	Koeffizient für Energieverluste beim Leitungsanfang
Exit Loss Coeff.	Koeffizient für Energieverluste beim Leitungsende
Avg. Loss Coeff.	Koeffizient für durchschnittliche Energieverluste entlang der Leitung
Seepage Rate [mm/hr]	Verlustrate durch Leckagen in der Leitung
Cross-Section	Querschnittsform der Leitung
Geom1 -4 [m]	Verschiedene Längenangaben zu den ausgewählten Querschnitten

Da die Grundstruktur der Leitungen in PCSWMM stark von den Knoten abhängig ist, wurde die Überprüfung und Korrektur gemeinsam mit der Kontrolle der Junctions durchgeführt. Sämtliche Punkte die in Punkt 3.3.3.1 an Korrekturmaßnahmen an der Grundstruktur der Knoten durchgeführt werden mussten, nehmen natürlich in gleichem Maße Einfluss auf Leitungen und werden daher nicht erneut aufgelistet. Zusätzlich dazu wurden an den Leitungen die folgenden Anpassungen vorgenommen:

- Entfernen der für das Modell irrelevanten Hausanschlüsse.
- Überprüfen und gegebenenfalls Anpassen der Durchmesser und Formen der Kanalleitungen durch den Vergleich mit den angrenzenden Leitungen.
- Überprüfung der Art des Kanals (RWK, SWK oder MWK) anhand des weiterführenden Verlaufs des Stranges.

Nachdem die Grundstruktur der Leitungen von Fehlern und Ungereimtheiten bereinigt wurde, konnten die noch fehlenden Parameter den weiteren Eigenschaften der Conduits zugewiesen werden. Da das Weizer Kanalisationssystem im Wesentlichen aus alten Beton- und Steinrohren besteht, wurde den Leitungen ein Rauigkeitsbeiwert („Roughness“) von 0,017 zugewiesen.

3.3.4 Bearbeitung der Sonderbauwerke

In jedem Kanalisationssystem gibt es neben den Hauptelementen, den Schächten und Kanalleitungen, auch verschiedenste Sonderbauwerke. Beispiele dafür sind sämtliche Mischwasserüberlaufbauwerke, Pumpen, Drosselsysteme oder Retentions- und Rückhaltekanäle. Diese Besonderheiten eines Entwässerungssystems gilt es bei der Erstellung des Modells zu beachten und so detailliert wie möglich zu integrieren.

In Weiz gibt es 10 Mischwasserüberläufe. Diese wurden bereits vor der Modellierungsarbeit vermessen und mussten daher nur mehr manuell in PCSWMM in das Modell integriert werden. Dafür wurden „Weirs“ (Wehre) zwischen zwei Knoten gesetzt. Diese PCSWMM Elemente bilden die Überlaufschwelle ab. Ihnen wurden die Schwellenhöhen („Inlet Offset“) und die Schwellenlängen („Length“) der jeweiligen Überlaufbauwerke zugewiesen.

Des Weiteren gibt es im Weizer Kanalisationssystem drei Pumpenanlagen. Für die Pumpen war leider keine genaue Pumpenkennlinie akquirierbar, eine genaue Pumpensteuerung konnte somit nicht in das Modell eingepflegt werden. Den Pumpen wurde jedoch ihre jeweilige maximale Pumpleistung zugewiesen.

3.4 Kalibrieren des Modelles

Ein Modell, dessen Aufgabe es ist reale Prozesse vereinfacht, aber so realitätsnah wie möglich abzubilden, wird immer Ergebnisse liefern, die Diskrepanzen zu den tatsächlich gemessenen Werten aufweisen. Der Grund dafür liegt vor allem in der Komplexität natürlicher Vorgänge und der Schwierigkeit, diese anhand von bekannten und teilweise nur abschätzbaren Parametern darzustellen. Auf Grund dieser Umstände ist der Kalibrierungsprozess ein kritischer Teil der erfolgreichen Modellierung. Als Kalibrierung wird der Prozess bezeichnet, in dem das simulierte und gemessene Systemverhalten miteinander verglichen werden und dadurch Modellparameter ermittelt werden können. Dazu werden für denselben Zeitraum ausreichende Messungen von Niederschlag und Überlaufverhalten vor allem in Bereichen, in denen zwei Systemkomponenten miteinander interagieren (z.B. Mischwasserüberlauf als Übergang zwischen Kanalnetz und Gewässer), benötigt. Mittels eines iterativen Prozesses können auf diesem Wege Modellparameter angenähert und der Unterschied im gemessenen und simulierten Systemverhalten minimiert werden. Dieser Vorgang wird in zwei Schritten umgesetzt. Zuerst werden mit einer ersten Reihe von Daten die Parameter des Modells abgeschätzt und in weiterer Folge wird im zweiten Schritt, mit einem zweiten Datensatz, das Modell validiert. Dabei ist es von Bedeutung, dass sich die Datensätze vor allem in ihrer Charakteristik wie beispielsweise Niederschlagsintensität und -dauer unterscheiden. Die Qualitätskriterien, die im Zuge der Kalibrierung erfüllt werden müssen, sind vor allem das Volumen des Abflusses und die Form der Abflusskurve. (Muschalla, et al., 2009)

Nachdem sämtliche Daten in das Modell integriert wurden und das Modell wie in den vorherigen Punkten beschrieben nachbearbeitet wurde, konnte mit den ersten Berechnungsläufen und danach mit der Kalibrierung begonnen werden.

3.4.1 Kalibrierung Trockenwetter

Zuerst wurde die Kalibrierung des Trockenwetterfalls durchgeführt. Der Vorteil liegt darin, dass viele Parameter die Unsicherheitsfaktoren sind, während dem Trockenwetter keinen Einfluss nehmen. Dem Oberflächenabfluss und gewissen Leitungselementen, wie den Mischwasserüberläufen, musste daher in dieser Phase keine Bedeutung zugemessen werden. Dadurch konnte das Kanalnetzmodell anhand weniger Parameter (Trockenwetterzufluss, Rauigkeiten der Leitungen, etc.) kalibriert werden.

Für die ersten Berechnungen wurde, wie schon im Punkt 3.3.3.1 beschrieben, den entsprechenden Knoten ein konstanter Trockenwetterzufluss zugewiesen. Mit Hilfe der Daten aus dem in Weiz positionierten Regenschreiber, konnte der regenfreie Mittwoch, der 5. August 2015 als Tag für die Kalibrierung identifiziert werden. Da der Kläranlagenzufluss in 3-Minuten-Intervallen gemessen wird und die Messungen teilweise Sprünge aufweisen, wurden für die Kalibrierung die Messung auf 30-Minuten-Intervalle aufsummiert.

Ziel war es, in einem ersten Schritt das Volumen des Trockenwetterabflusses auf eine korrekte Größe zu kalibrieren und erst danach die Form der Abflusskurve an die gemessenen Ergebnisse anzupassen. Das Simulationsergebnis für den besagten Tag wird in der Abbildung 3-11 dargestellt. Die orange Linie mit der Bezeichnung „C26(obs)“ zeigt den gemessenen Kläranlagenzufluss und die blaue Linie, bezeichnet als „C26“, den Zufluss der Simulation.

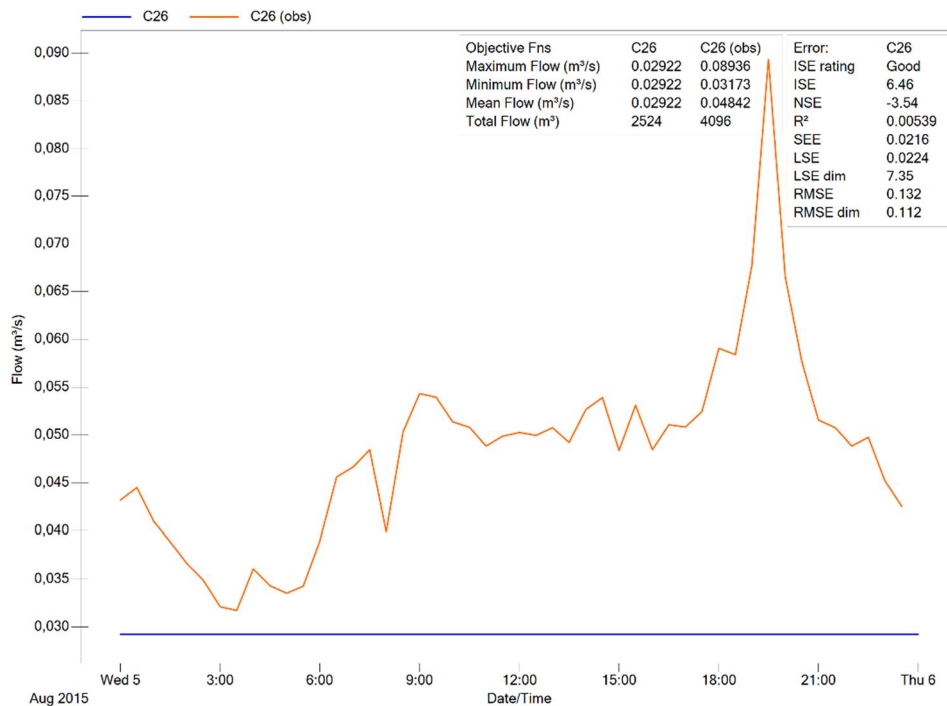


Abbildung 3-11: Berechnungsergebnis erster Simulationslauf Trockenwetter

Die Berechnung zeigt, was sich schon vorab in Gesprächen mit Mitarbeitern aus dem Bereich der Abwasserentsorgung der Stadtgemeinde Weiz herauskristallisierte. Im Weizer Kanalisationssystem gibt es einen sehr hohen Fremdwasseranteil. Aus der Berechnung ergab sich eine Differenz zwischen gemessenen und simulierten Volumen von 1572 m³. Dieses Fremdwasser musste nun zusätzlich im Modell berücksichtigt werden. Das zuvor genannte fehlende Volumen wurde daher als Fremdwasseranteil auf die einzelnen Knoten verteilt. Insgesamt sind im Modell 13.100 Einwohner an die Kläranlage Weiz angeschlossen. Das zusätzliche Wasser wurde anteilhaft an der Gesamtzahl der Einwohner verteilt, woraus die in der Tabelle 3-15 dargestellte Aufteilung entstand.

Tabelle 3-15: Ermittlungen des Trockenwetterzuflusses inkl. Fremdwasser der Gemeinden

Ermittlung des Trockenwetterzuflusses Gemeinden inkl. Fremdwasser (FW)						
Gemeinde	Knotenname	Anzahl d. Knoten	EW	Q [m³/s]	Q + FW [m³/s]	pro Knoten [l/s]
Weiz	Alle SWK	1684	8900	0,012361	0,000019	0,019
Mortantsch	N4157	1	2100	0,002917	0,007494	7,494
Naas	N1428	1	1700	0,002361	0,006068	6,068
Mitterdorf	N1576	1	190	0,000264	0,000685	0,685
Thanhausen	N916, N1710	2	210	0,000292	0,000610	0,305

Nachdem die neuen Trockenwetterzuflüsse den Knoten des Modells zugewiesen wurden, konnte ein weiterer Berechnungslauf durchgeführt werden. Die nun erzielten Simulationsergebnisse zeigen, dass die Differenz des Volumens durch die getroffenen

Maßnahmen auf eine ausreichend geringe Größe verringert werden konnte. Die Abbildung 3-12 stellt die Ergebnisse der zweiten Berechnung, erneut in Blau („C26“), im Vergleich zur Messung des Kläranlagenzuflusses in Orange („C26(obs)“) dar.

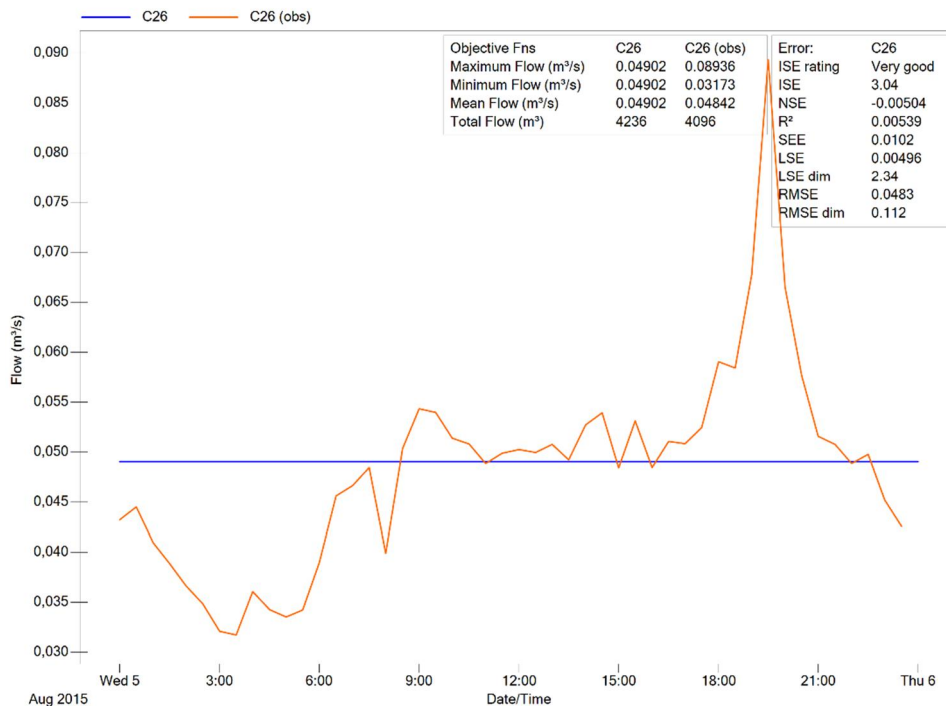


Abbildung 3-12: Berechnungsergebnis zweiter Simulationslauf Trockenwetter

Die Abflusskurve im Trockenwetterfall ist für viele Kläranlagen sehr ähnlich. Es kommt zu Spitzen zu Tageszeiten, an denen ein erhöhter Wasserverbrauch auftritt (morgens und abends). Um eine möglichst realitätsnahe Form der Kurve des Kläranlagenzuflusses im Modell nachbilden zu können, wurde aus den erhaltenen Messungen des Zuflusses der ARA von 6 regenfreien Tagen der Mittelwert für 30-Minuten-Intervalle gebildet. Aus den dabei erhaltenen Zuflusswerten konnte dann, abhängig vom durchschnittlichen Gesamtzufluss pro Tag, ein stündlicher Faktor, der den konstanten Trockenwetterzufluss an die gewünschte Abflusskurve annähert, berechnet werden. PCSWMM bietet die Möglichkeit solche Faktoren über ein „Timepattern“ einem oder mehreren Knotenzuzuweisen. Die Abbildung 3-13 zeigt eine Übersicht über die ermittelten stündlichen Faktoren.

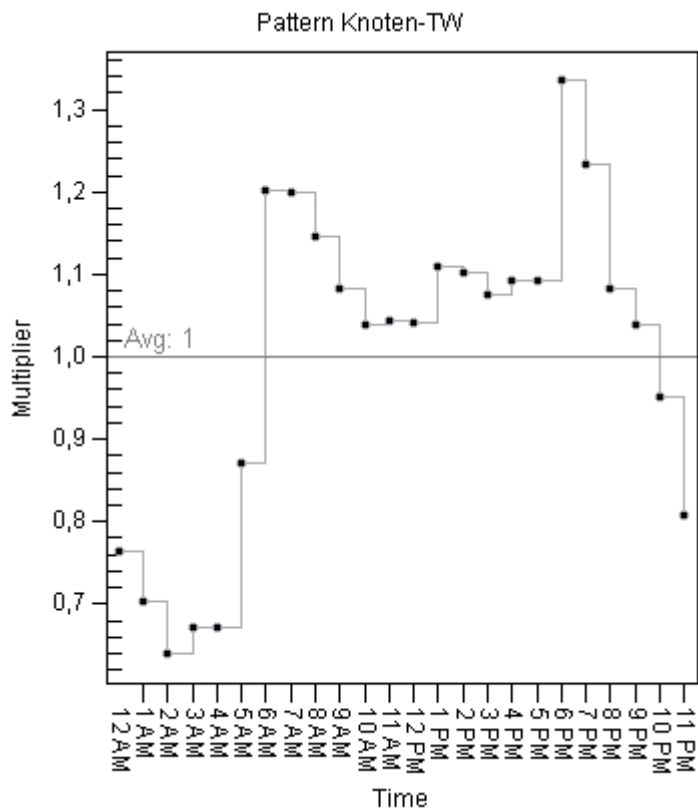


Abbildung 3-13: „Timepattern“ der stündlichen Faktoren für die Form der Abflusskurve Trockenwetter

Im letzten Schritt musste eine weitere Berechnung für den 5. August sowie ergänzende Simulationen an zusätzlichen Tagen durchgeführt werden. Dadurch konnte bestimmt werden, ob die angepasste Kurvenform des simulierten Trockenwetterabflusses der Kurvenform der Messergebnisse, der unterschiedlichen Tage, entspricht. In der Abbildung 3-14 werden die Ergebnisse des dritten Simulationslaufs für den 5. August abgebildet. Die Zuflussmessung der Kläranlage wird wieder in orange („C26(obs)“) und das Simulationsergebnis („C26“) in blau dargestellt.

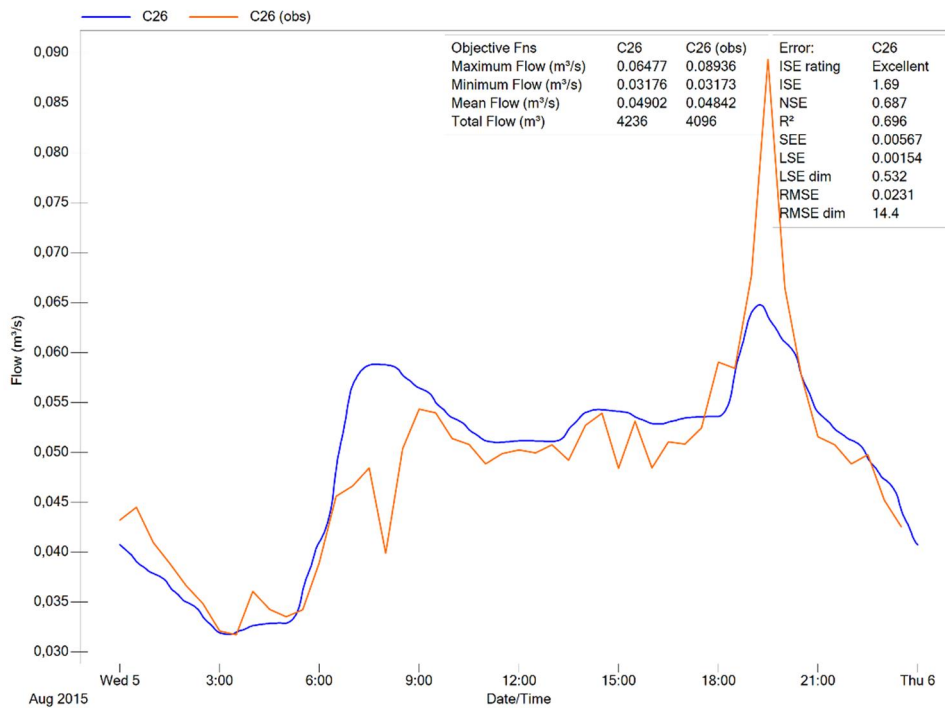


Abbildung 3-14: Berechnungsergebnis dritter Simulationslauf Trockenwetter

Die erzielten Ergebnisse dieses dritten Simulationslaufes und die, der zur Kontrolle durchgeführten, zusätzlichen Berechnungen an weiteren regenfreien Tagen ergaben ein zufriedenstellendes Resultat. Selbstverständlich wird es an einzelnen Tagen zu geringen Abweichungen zwischen den Messungen und den Simulationsergebnissen kommen. Dies ist einerseits mit Unstimmigkeiten in den Daten der Zuflussmessung und andererseits mit der Tatsache, dass das Modell die Aufgabe hat den allgemeinen und nicht den für einen Tag spezifischen Trockenwetterabfluss abzubilden, zu begründen.

3.4.2 Kalibrierung Regenwetter

Im Vergleich zur recht simplen Trockenwetterkalibrierung, ist die Kalibrierung des Regenwetterfalls eine weitaus facettenreichere und komplexere Aufgabe. Durch den zusätzlich auftretenden Oberflächenabfluss und durch seine Beeinflussung des Systems müssen viele weitere Parameter abgestimmt werden. Bei der Kalibrierung wurden die simulierten Ergebnisse mit zwei konkret gemessenen Werten verglichen. Einerseits konnte mit dem Zufluss zur Kläranlage die Abflusskurve angeglichen werden und andererseits wurde die Überlauffrequenz und -dauer an den Mischwasserüberläufen herangezogen. Auch bei Kalibrierung des Regenwetterfalls wurde versucht, die zwei Qualitätskriterien der Reihe nach zu erfüllen. Das heißt, zuerst wurde versucht durch das Adaptieren von unterschiedlichen Parametern das Volumen des Abflusses anzugleichen und in weiterer Folge die Kurvenformen der simulierten Abflusslinien an die des gemessenen Kläranlagenzuflusses anzugleichen.

Bevor mit der Kalibrierung begonnen werden konnte, mussten Tage ausgewählt werden, an denen es laut der durchgeführten Messungen zu Niederschlägen mit einer ausreichenden Dauer und Intensität kam. Aufgrund des trockenen Sommers 2015 in der Region Weiz, boten sich nur zwei Niederschlagsereignisse im Zeitraum der durchgeführten Messkampagnen (Regenschreiber, Temperatursensoren, etc.) an. Die Auswahl der Tage richtete sich in diesem Fall nach den Ergebnissen der Messungen zum Anspringverhalten der Mischwasserüberläufe. Aufgrund der zuvor genannten Umstände wurden der 8. Juli und der 17. August 2015 ausgewählt. Dies waren die einzigen zwei Tage im Messzeitraum an denen es nach Niederschlägen zu Überläufen in den Entlastungsbauwerken kam. Die Dauer dieser Überlaufereignisse sind im Punkt 3.2.4 in der Tabelle 3-4 angeführt. Ihre Lage kann der Abbildung 3-6 im Kapitel 3.2.4 entnommen werden. Die Kalibrierung des Modells wurde mit Hilfe der Daten vom 17.08.2015 durchgeführt und das Ergebnis anhand der Daten vom 08.07.2015 nachkalibriert. Eine Validierung wurde aufgrund der unzureichenden Ereignisanzahl nicht durchgeführt.

In der Abbildung 3-15 und der Abbildung 3-16 sind die Regenmessungen für die zwei ausgewählten Tage abgebildet.

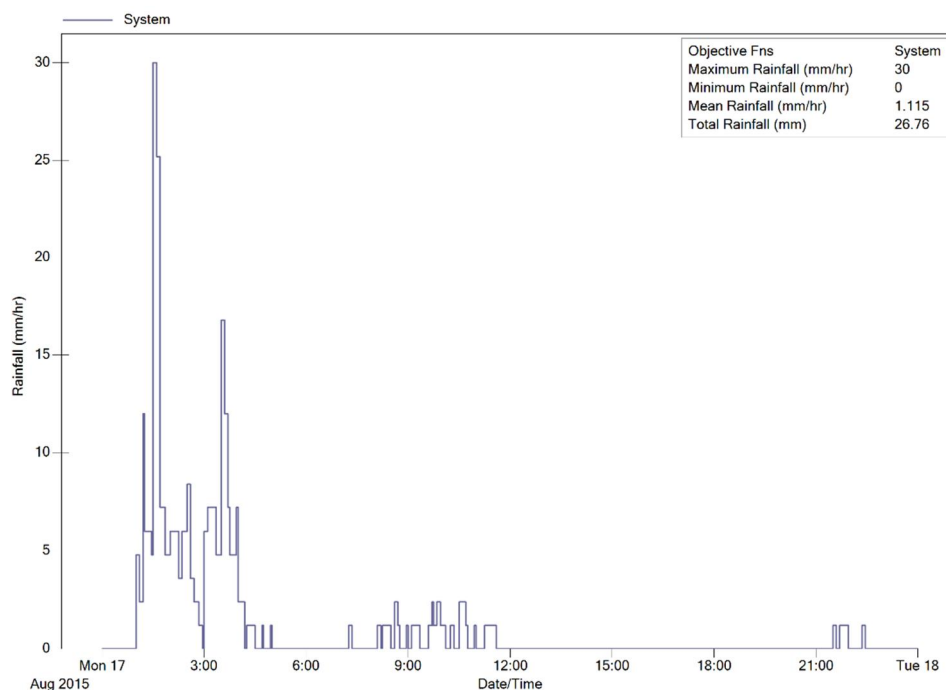


Abbildung 3-15: Gemessener Niederschlag in Weiz am 17.08.2015

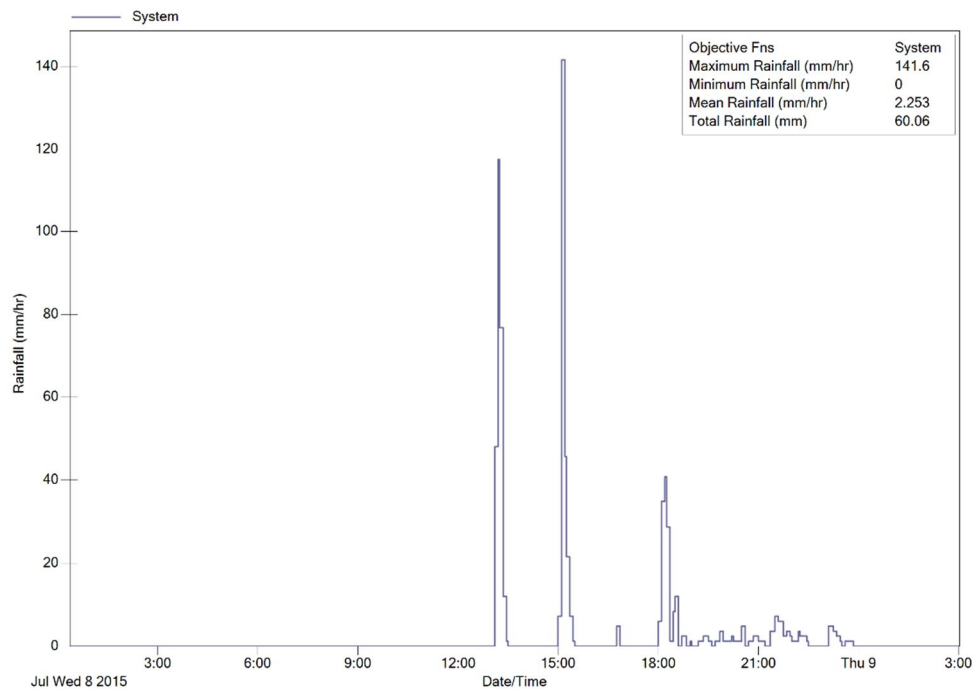


Abbildung 3-16: Gemessener Niederschlag in Weiz am 08.07.2015

Bei der Regenwetterkalibrierung ist ein wesentlicher Teil vom Oberflächenabfluss bestimmt. Nach der Kalibrierung des Trockenwetters kann davon ausgegangen werden, dass die dort kalibrierten Parameter im Regenwetterfall bereits abgedeckt sind und sie keiner weiteren Bearbeitung unterzogen werden müssen. Das heißt die großen Unsicherheitsfaktoren des Modells liegen in dieser Phase bei den unterschiedlichen Parametern der Teilflächen. Diese nehmen durch den jetzt auftretenden Niederschlag erstmals Einfluss auf das System. In der Tabelle 3-16 werden die für die Kalibrierung wichtigsten Parameter der Subcatchments aufgelistet und ihre Wirkung auf das System kurz zusammengefasst.

Tabelle 3-16: Parameter der Subcatchments und ihr Einfluss auf die Kalibrierung

Kalibrierungsparameter der Subcatchments			
Eigenschaft	Beschreibung	Einfluss auf	Effekt
Width [m]	Wirksame Abflussbreite des Subcatchments	Abflussgeschwindigkeit	Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler
Imperv. [%]	Versiegelungsgrad des Subcatchments	Volumen	Erhöhen oder Verringern des Volumens
N Imperv	Manning Beiwert des versiegelten Flächenanteils	Abflussgeschwindigkeit	Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler
N Perv	Manning Beiwert des unversiegelten Flächenanteils	Abflussgeschwindigkeit	Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler
Dstore Imperv [mm]	Muldenverluste auf den versiegelten Flächen	Volumen	Einfluss auf das Volumen bis sie gefüllt sind
Dstore Perv [mm]	Muldenverluste auf den unversiegelten Flächen	Volumen	Einfluss auf das Volumen bis sie gefüllt sind
Zero Imperv [%]	Flächenanteil der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste	Volumen	Einfluss auf das Volumen bis die Mulden gefüllt sind

Der erste durchgeführte Simulationslauf für den 17. August wurde mit den Parametern, die zuvor in der Analyse der Oberfläche bestimmt wurden, ausgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass die simulierten Ergebnisse den gemessenen Ergebnissen in vielen Bereichen schon sehr nahe kamen. Um die Differenzen zwischen dem simulierten und gemessenen Systemverhalten weiter zu verringern, wurden folgende Schritte unternommen:

- Deutliche Verringerung des Grades der Versiegelung („Imperv“) der einzelnen Gruppen nach folgendem System:
 - Von 100% auf 60%
 - von 80% auf 55%
 - von 60% auf 45%
 - von 40% auf 35%
 - von 20% auf 10%
- Angleichen des Prozentanteils der Fläche ohne Muldenverluste für alle Oberflächentypen auf 40 %.

- Herabsetzen der Muldenverluste für versiegelte und unversiegelte Flächen von 1,9 mm auf 1,5 mm bzw. 3,8 mm auf 2,0 mm.
- Leichte Adaptierungen bei nicht plausiblen Höhen bei den Mischwasserüberläufen nach einer weiteren Vor-Ort-Begehung

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen wurde das Modell den Messungen ausreichend genau angenähert. Beispielhaft sind im Folgenden die Ergebnisse für den 17. August dargestellt. In Abbildung 3-17 werden die Messungen des Kläranlagenzuflusses (orange Linie „C26obs“) der simulierten Abflusslinie (blaue Linie „C26“) gegenübergestellt. Zusätzlich werden der gemessene Niederschlag (violette Linie „System“) und der simulierte Überlauf vor der ARA (graue Linie „OF1“) abgebildet. In der Abbildung 3-18 werden die Niederschlagsmessungen sowie das simulierte Überlaufverhalten der am 17.08.2015 aktiven Mischwasserüberläufe dargestellt.

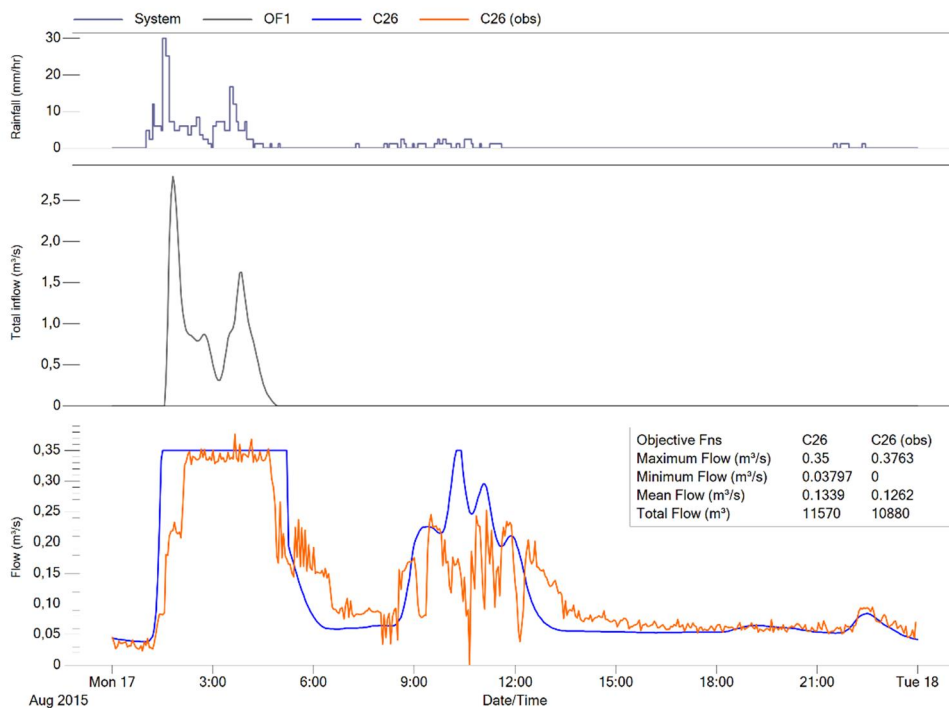


Abbildung 3-17: Ergebnisse ARA Regenwetterabfluss 17.08.2015

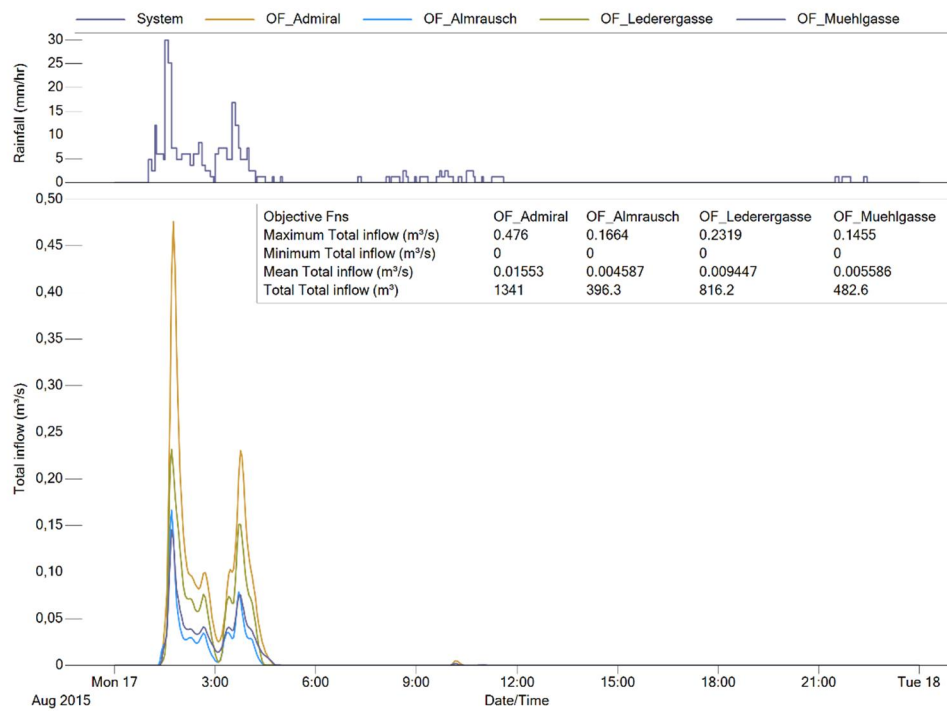


Abbildung 3-18: Ergebnisse MWÜ Regenwetterabfluss 17.08.2015

Das Anspringen der Mischwasserüberläufe, welches mit den Temperatursensoren detektiert wurde, stimmt mit den simulierten Überlaufereignissen sehr gut überein.

4 Nachweisführung und Ergebnisse

Ein wesentlicher Teil dieser Masterarbeit galt der Umsetzung der kombinierten Nachweisführung. Ziel war es, in dem erstellten hydrodynamischen Modell, welches für den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 vorausgesetzt wird, auch den Nachweis des Mindestweiterleitungswirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19 durchzuführen. Zusätzlich wurde versucht, bei der durchzuführenden Langzeitsimulation eine Serie von Regenereignissen anstelle eines Regenkontinuums einzusetzen, um die Berechnungszeit zu reduzieren. Dazu konnte auf ein im Zuge des Projektes DATMOD entwickeltes Tool zur Erstellung solcher Serien zurückgegriffen werden.

4.1 Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit

Begonnen wurde mit dem Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11. Die detailliertesten Ergebnisse können erzielt werden, wenn die Simulation mit einem gemessenen Regenkontinuum durchgeführt wird. Dabei werden neben den Starkregenereignissen auch die schwachen Niederschläge simuliert. Bei dieser Methode werden die gemessenen Regendaten vor der Simulation nicht statistisch aufbereitet (im Gegensatz zur Anwendung eines Modellregens).

Die Verwendung des Regenkontinuums als Niederschlagsbelastung erfordert jedoch einen sehr hohen Rechenaufwand und führt daher zu langen Berechnungsdauern. Um diesen Aufwand umgehen zu können, kann wie im ÖWAV-Regelblatt 11 erläutert, durch die Auswahl der relevanten Niederschlagsereignisse und der Entfernung der restlichen Daten eine Starkregenserie erstellt werden. Diese Serien haben einen deutlich verringerten Datenumfang und erfordern damit einhergehend eine weitaus geringere Simulationszeit.

Mit Hilfe der Grenzpause in dem Niederschlagskontinuum, bestehend aus der doppelten Dauer der Fließzeit im Einzugsgebiet, können die hydrologisch einzelnen Niederschlagsereignisse extrahiert werden. Dabei ist auch die Entleerungszeit von etwaigen Rückhalteräumen zu beachten. Danach können aus den einzelnen Ereignissen jene ausgewählt werden, die eine hydraulische Relevanz für das System haben. Dabei werden für jedes Regenereignis die Gesamtregenhöhen ermittelt und mit einzugsgebietsbezogenen Niederschlagsstatistiken verglichen. Besitzen die Ereignisse eine Wiederkehrzeit größer als 0,25 können sie als relevant bezeichnet werden.

Für das Fallbeispiel Weiz wurde bewusst nicht auf einen bereits im Vorfeld statistisch ausgewerteten und aufbereiteten Modellregen, sondern auf tatsächlich gemessene Niederschlagsereignisse zurückgegriffen. Mit der oben beschriebenen und im ÖWAV-Regelblatt 11 und auch von (Verworn, 1999) weiter erläuterten Methode wurde eine Starkregenserie bestehend aus 15 Ereignissen erstellt. Die Grundlage bildete ein

10-Jahres-Niederschlagskontinuum. Die einzelnen Ereignisse werden in der Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Starkregenserie für Weiz nach ÖWAV-Regelblatt 11

Starkregenserie für Weiz		
Ereignisbeginn	Ereignisende	Niederschlagssumme [mm]
20.08.2005 15:50	21.08.2005 20:20	124.6
19.06.2004 23:25	20.06.2004 20:20	54.2
06.08.1999 17:20	07.08.1999 01:05	53.5
21.08.2002 11:15	21.08.2002 16:30	43.1
17.07.2003 19:00	17.07.2003 20:25	42.8
03.10.2003 19:50	04.10.2003 10:30	40.4
30.06.1998 15:20	01.07.1998 00:50	37.6
28.07.1998 00:35	28.07.1998 01:00	31.1
06.06.2000 16:50	06.06.2000 21:35	27.9
16.05.1996 12:05	16.05.1996 15:20	26.7
13.06.2003 15:15	13.06.2003 22:20	25.4
30.06.1999 20:50	30.06.1999 23:40	23.8
29.06.2005 18:50	29.06.2005 21:10	23.3
19.07.1998 17:20	19.07.1998 17:55	22.2

Als nächster Schritt wurden die zuvor ausgewählten 15 einzelnen Regenereignisse als Regenbelastung für das Weizer Kanalnetzmodell verwendet und simuliert. So konnte für jedes der Ereignisse ausgewertet werden, ob es an einem Knoten zu einem Überstau kommt oder nicht. Nachdem die Simulation aller Ereignisse abgeschlossen war, wurden die Überstauereignisse an jedem Knoten addiert, um so den Nachweis der Überstauhäufigkeit führen zu können.

Je nachdem mit welchem Niederschlagskontinuum der Nachweis geführt wird, gibt es unterschiedliche maximale erlaubte Überstauhäufigkeiten. Wie schon zuvor erwähnt wurde für das Weizer Modell mit Hilfe der erstellten Starkregenserie ein 10-Jahres-Kontinuum simuliert und daher als Grundlage für die erlaubte Überstauhäufigkeit herangezogen. Dadurch ergaben sich laut der Tabelle 4-2 die folgenden Grenzwerte:

- Ländliche Gebiete: 5 in 10 Jahren
- Wohngebiete: 3,33 in 10 Jahren
- Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete: 2 in 10 Jahren

Da es im Einzugsgebiet der Kläranlage Weiz keine unterirdischen Verkehrsanlagen und Unterführungen gibt, waren diese für das Fallbeispiel Weiz ohne Bedeutung.

Tabelle 4-2: Erlaubte Überstauhäufigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009)

Ort	Überstauhäufigkeiten bei Neuplanungen bzw. nach Sanierungen	
	Wiederkehrzeit (1 Mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 2	50 %
Wohngebiete	1 in 3	33 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 5	20 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10 ¹⁾	10 %

¹⁾ Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände i. d. R. unmittelbar eine Überflutung einhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen. Hier entsprechen sich Überstau- und Überflutungshäufigkeit mit dem in Tabelle 7–3 genannten Wert „1 in 50“!

Nachdem alle Simulationen durchgeführt und die erlaubten maximalen Überstauhäufigkeiten ermittelt wurden, konnten diese miteinander verglichen werden und die Nachweisführung dadurch abgeschlossen werden. Die Tabelle 4-3 stellt die Auswertung der Starkregenseriensimulation und der daraus ermittelten Überstauhäufigkeit im Vergleich zur erlaubten Überstauhäufigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 dar.

Tabelle 4-3: Vergleich zwischen erlaubter und ermittelter Überstauhäufigkeit

Vergleich von ermittelter und erlaubter Überstauhäufigkeit		
Ort	Erlaubte Überstauhäufigkeit	Ermittelte Überstauhäufigkeit
Ländliche Gebiete	5 in 10 Jahren	9 in 10 Jahren
Wohngebiete	3,33 in 10 Jahren	15 in 10 Jahren
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	2 in 10 Jahren	15 in 10 Jahren

Wie in der oben abgebildeten Tabelle 4-3 zu erkennen ist, wurde der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Weizer Kanalnetzes für keines der drei unterschiedlichen Gebiete erfüllt.

Die hydraulischen Schwachpunkte des Netzes verteilen sich in ganz Weiz. In der Abbildung 4-1 werden die einzelnen Knoten des Weizer Kanalisationssystems abgebildet und ihre jeweiligen Überstauhäufigkeiten farblich dargestellt.

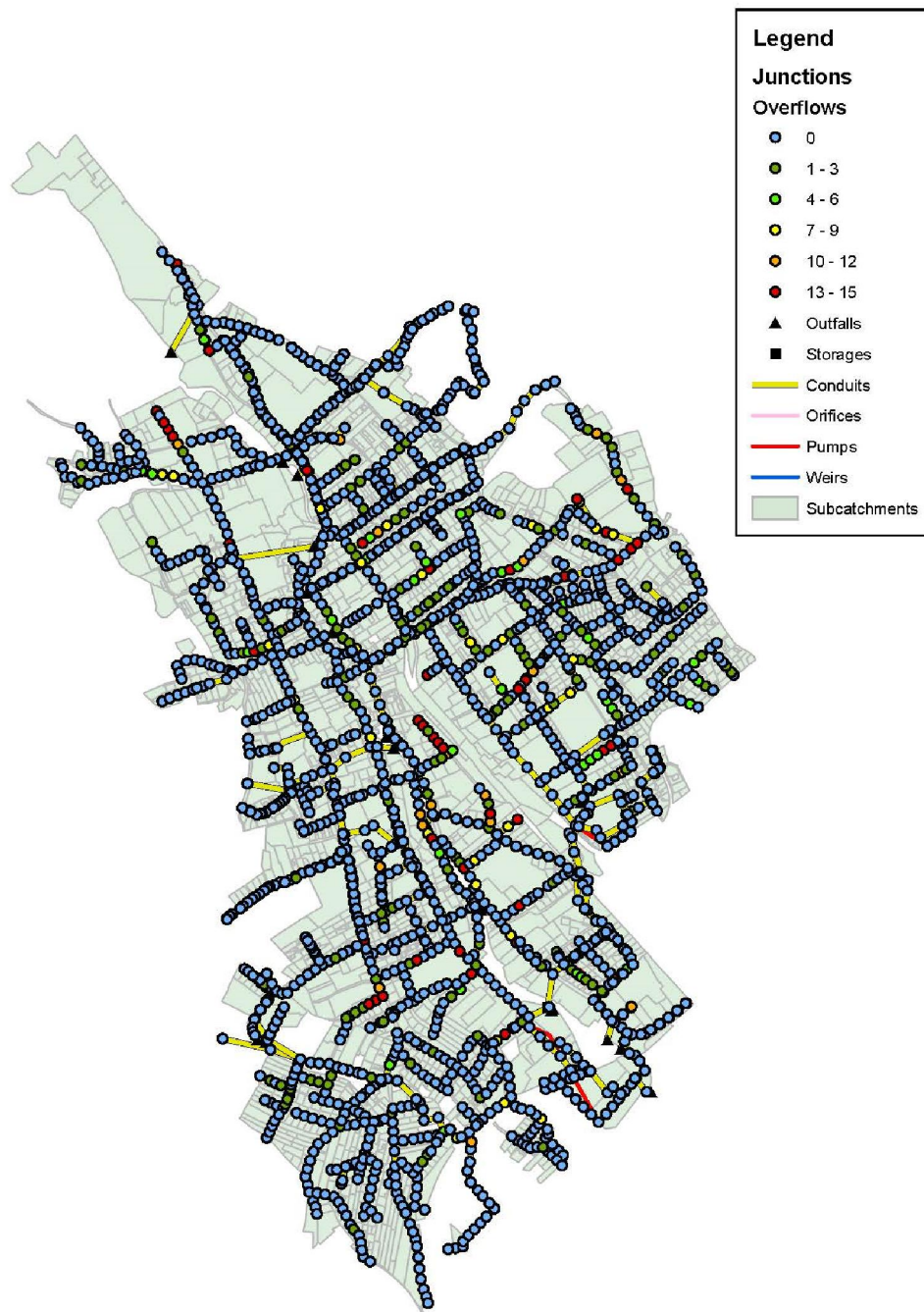


Abbildung 4-1: Überstauhäufigkeit der einzelnen Knoten

4.2 Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen

Üblicherweise wird dieser Nachweis aufgrund des enormen Rechenaufwandes mit den Ergebnissen aus einer Langzeitsimulation eines hydrologischen Modells geführt. Im Fallbeispiel Weiz wurde der Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen (Ermittlung des Weiterleitungswirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19) entsprechend der Idee einer kombinierten Nachweisführung mit einem hydrodynamischen Modell berechnet. Dabei wurde anstatt des gemessenen Regenkontinuums

eine aus den Niederschlagsdaten erstellte Regenereignisserie verwendet. Dadurch wurde es möglich, eine Langzeitseriensimulation durchzuführen, deren Aufwand an Rechenleistung überschaubar und von einem standardmäßigen Büro-Computer in einer akzeptablen Zeitspanne zu bewältigen war. Aufgrund der Tatsache, dass dieser Nachweis im gleichen Modell wie der im Punkt 4.1 beschriebene Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit geführt wurde, kann man von einer kombinierten Nachweisführung sprechen. Die hierzu verwendete vorab erstellte Serie von Regenereignissen wurde mit Hilfe einer im Zuge des Projekts DATMOD erarbeiteten Methodik ermittelt. Auf diese wird im nächsten Kapitel kurz eingegangen.

4.2.1 Erstellen einer Regenereignisserie

Bevor mit der im folgenden Punkt 4.2.2 erläuterten Nachweisführung begonnen werden konnte, musste die erforderliche Serie von Regenereignissen ermittelt werden, welche im Simulationsergebnis zum selben Überlaufverhalten führen muss wie bei Simulation mit Niederschlagskontinuum. Dazu wurde als Teil des Projektes DATMOD eine eigene Methode entwickelt, deren Funktionsweise im folgenden Abschnitt erklärt wird. Genauere Informationen dazu können auch in (Leimgruber, et al., 2015) gefunden werden.

Mit Hilfe eines eigens erstellten Tools kann mit einigen festzulegenden Parametern eine Aufteilung des Regenkontinuums in einzelne Regenereignisse vorgenommen werden. Die dabei verwendeten Parameter sind:

- Threshold-time (Zeitabschnitt) [min]
- Threshold-value (Niederschlagsmengen-Grenzwert) [mm]
- Event gap (Ereignisabstand) [min]
- Time Extension (Zeitverlängerung) [min]

Im ersten Schritt wird die Niederschlagsmenge für einen bestimmten Zeitabschnitt, der sogenannten „threshold-time“, aufsummiert. Danach wird dieser ermittelte Wert mit einem festgelegten Grenzwert („threshold-value“) verglichen. Übersteigt der erhaltene Wert den Grenzwert, so ist das Ereignis von ausreichender Relevanz und wird in die Regenereignisserie aufgenommen. Um die gegenseitige Beeinflussung von Ereignissen ausschließen zu können, müssen die Ereignisse einen bestimmten mindesten Ereignisabstand („event gap“) zueinander haben. Dabei darf die Zeit, die das System aufgrund von Rückhaltesystemen wie zum Beispiel Stauraumkanäle oder Speicherbecken länger zu Entleerung benötigt, nicht vernachlässigt werden. Regenereignisse und Überlaufereignisse enden üblicherweise nicht unbedingt im selben Moment. Da die Überlaufereignisse das Ende des Regens überdauern können, werden die Regenereignisse für die Simulation verlängert. Diese Zeitverlängerung der Ereignisse wird als „time extension“ bezeichnet und sorgt dafür, dass auch der Nachlauf nach einem Regenereignis simuliert wird.

In den nachfolgenden Abbildungen wird anhand eines Beispiels die beschriebene Vorgehensweise zur Erstellung einer Regenereignisserie verdeutlicht. Die in diesem Beispiel gewählten Parameter sind rein willkürlich zur Demonstration des Verfahrens gewählt.

In der Abbildung 4-2 wird in blau der Niederschlagsverlauf in 5-Minuten-Werten abgebildet. Für jeden Zeitschritt werden diese Werte für die nachfolgende Zeitspanne von 120 Minuten (threshold-time) addiert und dadurch die Niederschlagssummen, dargestellt als orange Punkte, gebildet. Bei Minute 40 beispielsweise, beträgt die Niederschlagssumme für die nächsten 120 Minuten 5 mm.

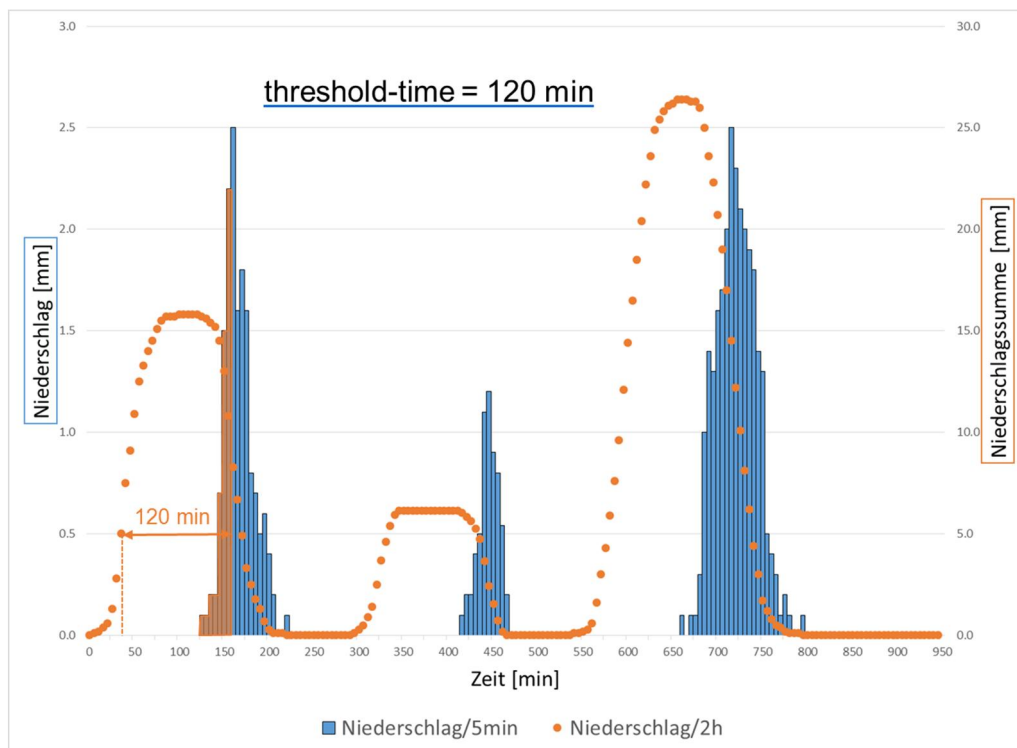


Abbildung 4-2: Berechnung der Niederschlagssummen für die threshold-time

Im nächsten Schritt werden die ermittelten Niederschlagssummen mit dem festgelegten Grenzwert der Niederschlagsmengen (threshold-value) von 15 mm verglichen und sämtliche Ergebnisse die darunter liegen für die Regenereignisserie ausgeschieden. Wie in der Abbildung 4-3 ersichtlich, liegt die Regenperiode von Minute 420 bis Minute 470 mit einer maximalen Niederschlagsmenge von rund 7 mm deutlich unter dem Grenzwert (dargestellt als rote Linie) und wird daher für die weitere Bildung der Regenereignisserie nicht weiter berücksichtigt.

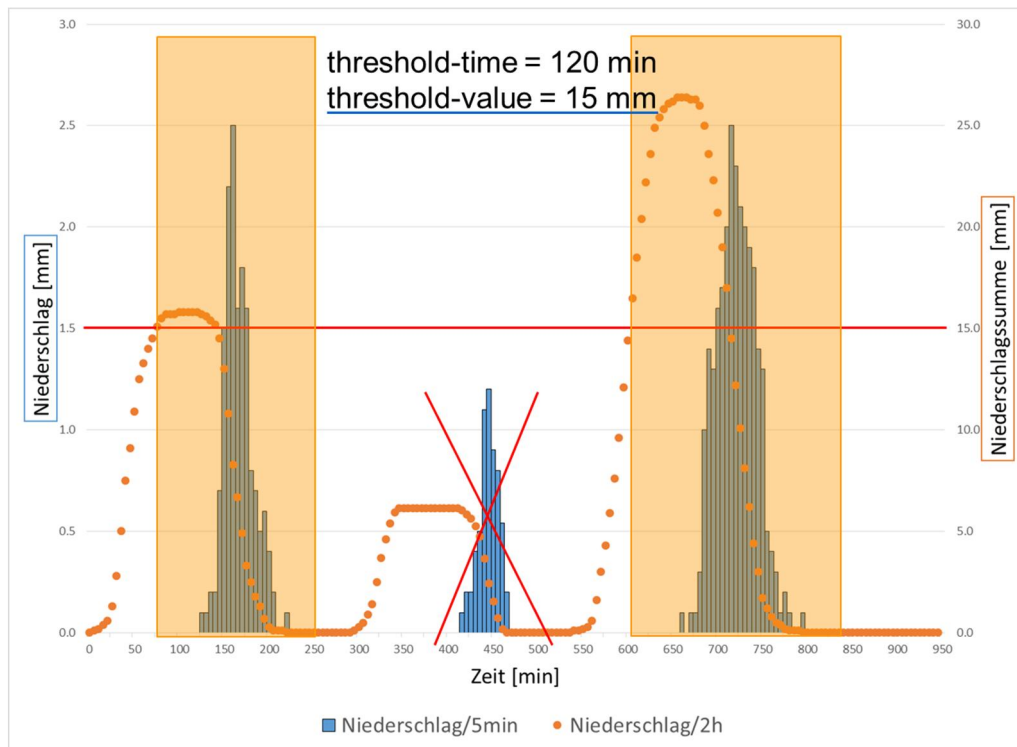


Abbildung 4-3: Anwendung des Niederschlagsmengen-Grenzwertes und Ausschluss von Regenperioden aus der Regenereignisserie

Anschließend muss unterschieden werden, ob die in den vorherigen Schritten bestimmten Niederschlagsereignisse voneinander unabhängig sind und somit als einzelne Ereignisse in die Regenereignisserie aufgenommen werden können. Dazu wird der Abstand zwischen den Ereignissen überprüft und mit dem festgelegten minimalen Ereignisabstand (event gap) von 360 Minuten verglichen. Die Abbildung 4-4 zeigt, dass der Abstand zwischen dem Ereignis 1 und dem Ereignis 2 rund 440 Minuten beträgt, weshalb die beiden Regenabschnitte als separate Regenereignisse in der Regenereignisserie definiert werden können.

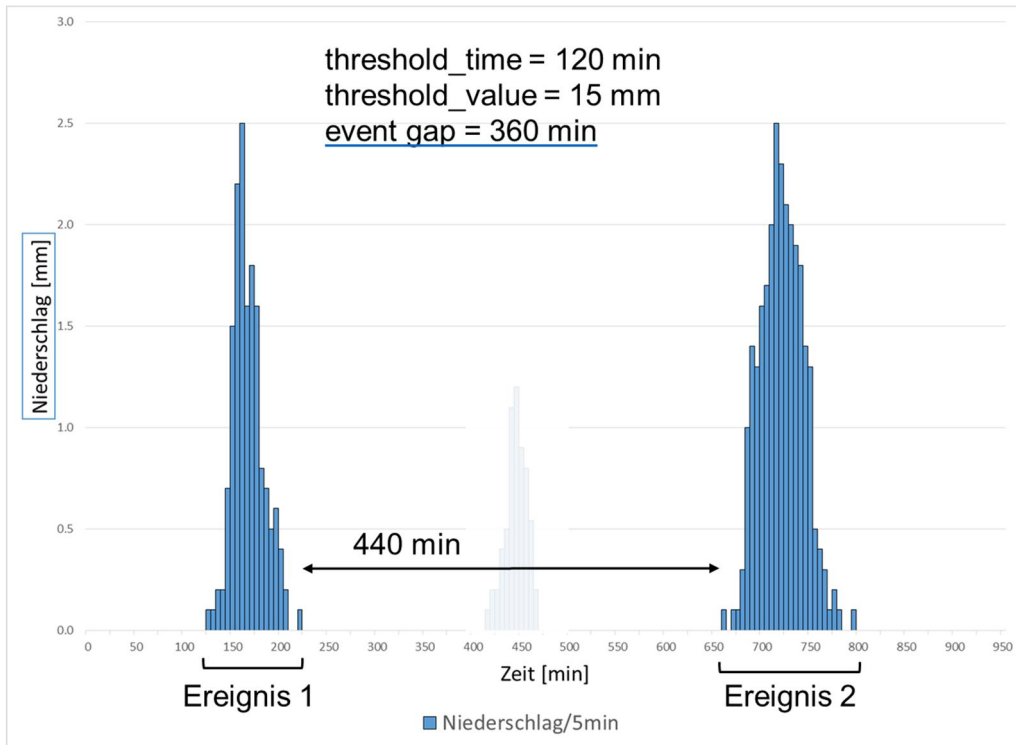


Abbildung 4-4: Kontrolle des Ereignisabstandes

Zuletzt werden die Ereignisse wie in der Abbildung 4-5 ersichtlich um die Zeitverlängerung von 60 Minuten verlängert.

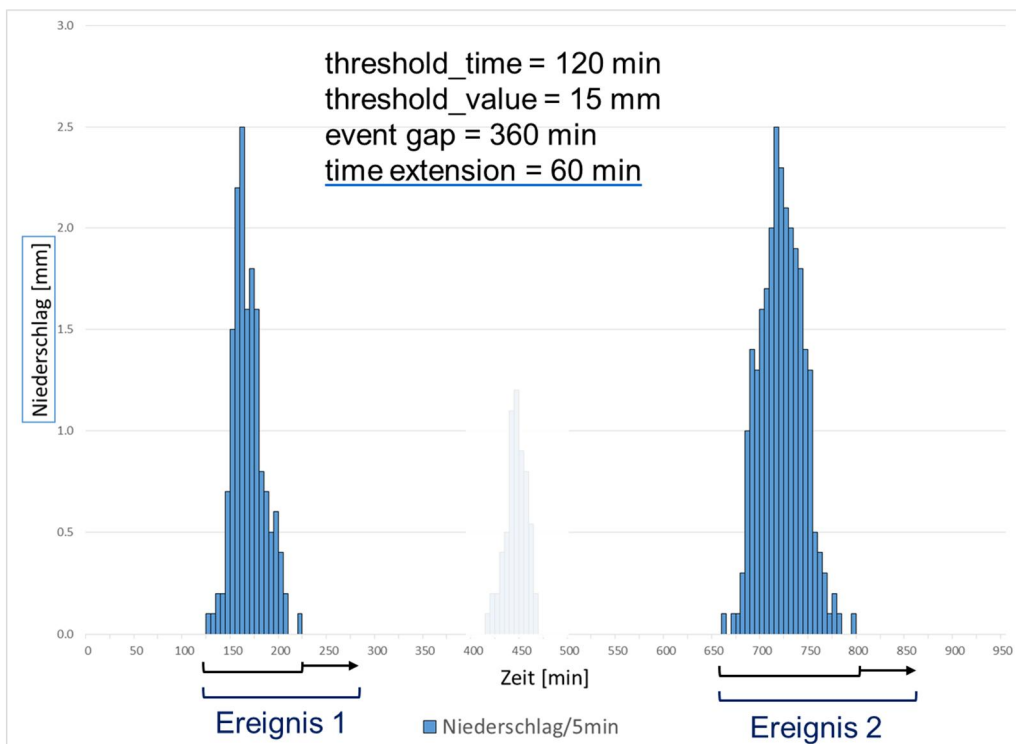


Abbildung 4-5: Verlängerung der Regenereignisse für die Simulationen

Die so gebildeten Regenereignisserien wurden danach an mehreren Modellen getestet und die gewählten Parameter durch Vergleich mit den Ergebnissen einer Simulation

mit einem Niederschlagskontinuum optimiert. Dabei wurde einerseits das Ziel verfolgt bei Simulation mit einer Serie von Regenereignissen dasselbe Überlaufverhalten (Überlaufvolumen, Überlaufdauer) zu erhalten wie bei Simulation mit Niederschlagskontinuum und andererseits sollte die Berechnungszeit dabei möglichst minimiert werden.

Dieser sehr aufwendige Optimierungsprozess (mehrere Tausend Simulationsläufe im Zuge der Optimierung mit genetischen Algorithmen) konnte für das Fallbeispiel Weiz ausgelassen werden, da bereits vorab im Zuge des Projektes DATMOD eine Optimierung der Parameter anhand von mehreren virtuellen und realen Fallbeispielen durchgeführt wurde. Dabei konnte folgende Bandbreite an allgemein anwendbaren Parametereinstellungen identifiziert werden:

- Threshold-time: 400-500 min
- Threshold-value: 1.9 – 2.7 mm
- Event gap: 1400-1600 min
- Time extension: 50-200 min

Anhand dieser Parameter und der zuvor beschriebenen Vorgehensweise wurde für das Modell des Fallbeispiels Weiz aus dem gemessenen Regenkontinuum eine Regenereignisserie erstellt.

4.2.2 Nachweisführung

Nachdem eine für die Langzeit-Simulation benötigte Regenereignisserie erstellt wurde, konnte für die Ermittlung der für die Nachweisführung erforderlichen Werte, eine Seriensimulation durchgeführt werden. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse für die Summe des Regenabflusses im Jahresdurchschnitt („ V_{QR} “) (dieser Wert wurde durch eine reine Simulation des Oberflächenabflusses mit Niederschlagskontinuum ermittelt) und die Summe der entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt („ V_{Q_e} “) ermittelt:

- Summe Regenabfluss $V_{QR} = 6.714.898 \text{ m}^3/\text{a}$
- Summe entlastete Mischwassermenge $V_{Q_e} = 2.881.008 \text{ m}^3/\text{a}$

In der Abbildung 4-6 und der Gleichung 4-1 wird dargestellt, wie sich aus den Ergebnissen der Simulation, der vorhandene Weiterleitungsgrad für die gelösten Stoffe für das Einzugsgebiet der Kläranlage Weiz ermitteln lässt.

$$\eta_R = \frac{VQ_R - VQ_e}{VQ_R} \cdot 100$$

- η_R Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
- VQ_R Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)
- VQ_e Summe der entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)

Abbildung 4-6: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (ÖWAV, 2007)

Durch Einsetzen der Simulationsergebnisse erhält man folgendes Ergebnis:

$$\eta_R = \frac{6714898 m^3 - 2881008 m^3}{6714898 m^3} \cdot 100 = 57,1 \% \quad \text{Gleichung 4-1}$$

Die Abbildung 4-7 zeigt wie der Mindestwirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe ermittelt werden kann.

$$\eta_{AFS} = \eta_R + \frac{\sum_j VQ_{e,MÜB,j} \cdot \eta_{sed,j}}{VQ_R}$$

- η_{AFS} Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für AFS (%)
- η_R Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
- $\eta_{sed,j}$ Sedimentationswirkungsgrad bei Mischwasserüberlaufbecken j (%)
- $VQ_{e,MÜB,j}$... Summe der beim Mischwasserüberlaufbecken j entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)
- VQ_R Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m^3/a)

Abbildung 4-7: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe (ÖWAV, 2007)

Weil es im Einzugsgebiet der ARA Weiz im gesamten Kanalnetz keine Mischwasserüberlaufbecken mit Sedimentationswirkung gibt, kann angenommen werden, dass der Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe η_{AFS} dem Wirkungsgrad für gelöste Stoffe η_R entspricht und wie in der Gleichung 4-1 berechnet 57,1% beträgt.

Nachdem die beiden vorhandenen Weiterleitungswirkungsgrade des Weizer Kanalsystems ermittelt wurden, müssen die laut ÖWAV-Regelblatt 19 geforderten Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung bestimmt werden.

In der Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 sind die Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung für gelöste und abfiltrierbare Stoffe nochmals angeführt.

Tabelle 4-4: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung η gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)

Mindestwirkungsgrad [%] für gelöste Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{720,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	50	60
$r_{720,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	40	50
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

Tabelle 4-5: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung η abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)

Mindestwirkungsgrad [%] Abfiltrierbare Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{720,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	65	75
$r_{720,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	55	65
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

Für das Fallbeispiel Weiz gelten die folgenden Randbedingungen:

- Bemessungsgröße der Kläranlage (EW): 30.000
- $r_{720,1} = 41,9 \text{ mm}$

Durch Interpolation der Werte aus der Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 ergeben sich folgende Mindestwirkungsgrade:

- Mindestwirkungsgrad für gelöste Stoffe: 49,6 %
- Mindestwirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe: 64,6 %

In der Tabelle 4-6 wird die Gegenüberstellung der geforderten und ermittelten Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung aufgelistet.

Tabelle 4-6: Gegenüberstellung geforderte und ermittelte Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung

Gegenüberstellung der Mindestwirkungsgrade		
Mindestwirkungsgrad für	gefordert	ermittelt
Gelöste Stoffe	49,6 %	57,1 %
Abfiltrierbare Stoffe	64,6 %	57,1 %

Der Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen kann für abfiltrierbare Stoffe somit nicht erfüllt werden.

Der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit konnte für keines der drei unterschiedlichen Gebiete erfüllt werden. Nach Gesprächen mit Mitarbeitern der Stadtgemeinde Weiz war dieses Ergebnis jedoch zu erwarten. Es war bekannt, dass es im Stadtgebiet bei stärkeren Regenfällen immer wieder zu Überflutungen durch die Kanalisation kommt. Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass es vor allem bei Knoten im Bereich des Bahnhofs ein entsprechender Niederschlag zu einem regelmäßigen Überstau führt. Weitere kritische Punkte sind die Anschlussstelle der Gemeinde Naas in der Klammstraße, in der Birkfelderstraße südlich des Weizbergs und in der Brachtergasse. Zusätzlich gibt es, wie in der Abbildung 4-1 deutlich zu erkennen ist, viele Stellen an denen sich die in der 10-Jahres Simulation Überstauereignisse zwischen

ein- und sechsmal häufen. Daraus lässt sich schließen, dass es bezogen auf die hydraulische Leistungsfähigkeit über das ganze Kanalnetz verteilt Schwachpunkte im System gibt.

Würde das Niederschlagskontinuum von 10 Jahren für die Simulation zur Ermittlung des Überlaufvolumens aus Mischwasserentlastungsbauwerken herangezogen, würde die Berechnungszeit ca. 35 Stunden betragen. Wird hingegen eine Serie von Regenereignissen verwendet, kann die Berechnungszeit auf ca. 1,5 h reduziert werden. Dadurch ergibt sich eine ca. 23-fache Beschleunigung des Berechnungsvorgangs. Durch den Einsatz dieser Methode wird die Simulationszeit derart verkürzt, dass die Durchführung der Langzeitsimulation zur Bestimmung der Überlaufvolumina der MWÜ auch in dem vorliegenden hydrodynamischen Modell einwandfrei ausgeführt werden konnte.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Masterarbeit war es eine kombinierte Nachweisführung des ÖWAV-Regelblattes 11 und des ÖWAV-Regelblattes 19 für das Kanalisationssystem der Stadt Weiz durchzuführen. Die dafür erforderliche Herangehensweise lässt sich in die folgenden drei grundlegenden Prozesse gliedern:

- Herstellung einer ausreichenden Datengrundlage
- Erstellung eines hydrodynamischen Modells
- Durchführung der Nachweisführung

Es hat sich eindeutig gezeigt, dass es wichtig ist Daten von ausreichender Qualität zur Verfügung zu haben. Sämtlichen fehlenden Daten mussten mit zusätzlichem Arbeitsaufwand verfügbar gemacht werden. Eine Schwierigkeit liegt auf jeden Fall in der Genauigkeit von leitungsbezogenen Daten. Oft werden Reparatur- und Umbauarbeiten in kleineren Kanalisationssystemen von den Gemeinden oder Abwasserverbänden selbst durchgeführt. Dabei kommt es teilweise zu funktionstüchtigen aber oftmals auch unorthodoxen Konstruktionen. Zusätzlich handelt es sich bei Entwässerungssystemen meist um sehr alte Bauwerke, von denen vielerorts nur mehr wenige Informationen vorhanden sind. Diese Daten so aufzunehmen, dass sie in ein Simulationsmodell aufgenommen werden können, stellt eine Herausforderung dar.

Die Erstellung des hydrodynamischen Modells wird umso einfacher je exakter die vorhandenen Daten den Anforderungen entsprechen. Außerdem muss hier vor der Modellierungsarbeit sehr genau darauf geachtet werden, welchen Detaillierungsgrad das Modell und welche Güte die Simulationsergebnisse aufweisen müssen. Nur anhand einer solchen Abschätzung kann ermittelt werden, mit welchem Arbeitsaufwand die Modellierung verbunden sein wird und die Frage der Wirtschaftlichkeit beantwortet werden. Dieser für ein ausgewogenes Kosten-Nutzen Verhältnis entscheidende Prozess wird durch den im Projekt DATMOD erstellten Leitfaden wesentlich vereinfacht.

In der vorliegenden Masterarbeit haben sich die zu erwartenden Vorteile einer kombinierten Nachweisführung aus ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19 eindeutig bestätigt. Als bedeutender Arbeitsschritt hat sich hier vor allem die Umwandlung des Niederschlagskontinuums in eine Regenereignisserie herauskristallisiert. Dadurch konnte die Rechenzeit für den Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen (ÖWAV-Regelblatt 19) um das 23-fache verringert werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die in dieser Masterarbeit vorgestellte Herangehensweise an die zu führenden Nachweise für Kanalisationssysteme den zukünftigen Stand der Technik darstellen wird. Die beständigen Fortschritte im Bereich der Informationstechnik werden sämtliche kritischen Prozesse, wie die Datenerhebung, die Datenverwaltung, die Modellierung, die Simulation, etc. weiter vereinfachen und zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit führen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vor- und Nachteile von hydrologischen und hydrodynamischen Verfahren (Muschalla, 2014).....	6
Tabelle 2-2:	Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (DWA-Arbeitsblatt-A 118) (DWA, 2006)	8
Tabelle 2-3:	Empfohlene Überflutungshäufigkeiten bei komplexen Bemessungsverfahren nach ÖNORM EN 752 (ÖWAV, 2009)	9
Tabelle 2-4:	Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)	10
Tabelle 2-5:	Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)	10
Tabelle 2-6:	Sedimentationswirkungsgrad η_{sed} für abfiltrierbare Stoffe (AFS) in Abhängigkeit vom Speichervolumen (Zwischenwerte sind zu interpolieren) (ÖWAV, 2007).....	12
Tabelle 3-1:	Ergebnisse der Vermessung der Sonderbauwerke	19
Tabelle 3-2:	Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz.....	21
Tabelle 3-3:	Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz.....	21
Tabelle 3-4:	Messergebnisse der Temperatursensoren	26
Tabelle 3-5:	Beschreibung der Eigenschaften einer Teilfläche (Subcatchments).....	27
Tabelle 3-6:	Kategorisierung der Subcatchments nach Form.....	31
Tabelle 3-7:	Formeln der jeweiligen Gruppen zur Ermittlung der „Width“	33
Tabelle 3-8:	Aufteilung der Flächen nach Oberflächentypen	34
Tabelle 3-9:	Manning Beiwerte der Subcatchments	35
Tabelle 3-10:	Beschreibung der Eigenschaften eines Knotens (Junction).....	36
Tabelle 3-11:	Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Gemeinden	38
Tabelle 3-12:	Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Betriebe	39
Tabelle 3-13:	Anzahl und Länge der Conduits im fertigen Modell	39
Tabelle 3-14:	Beschreibung der Eigenschaften einer Leitung (Conduit).....	41
Tabelle 3-15:	Ermittlungen des Trockenwetterzuflusses inkl. Fremdwasser der Gemeinden	44
Tabelle 3-16:	Parameter der Subcatchments und ihr Einfluss auf die Kalibrierung.....	50
Tabelle 4-1:	Starkregenserie für Weiz nach ÖWAV-Regelblatt 11	54

Tabelle 4-2: Erlaubte Überstauhäufigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009)	55
Tabelle 4-3: Vergleich zwischen erlaubter und ermittelter Überstauhäufigkeit	55
Tabelle 4-4: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung η gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)	62
Tabelle 4-5: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung η abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV, 2007)	63
Tabelle 4-6: Gegenüberstellung geforderte und ermittelte Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Definition des Wirkungsgrads der Weiterleitung η eines Jahres (ÖWAV, 2007).....	11
Abbildung 2-2: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (ÖWAV, 2007).....	11
Abbildung 2-3: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe adaptiert nach (ÖWAV, 2007).....	12
Abbildung 3-1: Darstellung des Ablaufschemas für das Fallbeispiel Weiz	14
Abbildung 3-2: Lage von Weiz in der Steiermark (GIS Steiermark).....	15
Abbildung 3-3: Übersichtslageplan von Weiz mit dem Einzugsgebiet der Kläranlage.....	16
Abbildung 3-4: Mittlere Monatssummen des Niederschlags von 1971-2000 in Weiz (http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm , Stand 07.12.2015)	22
Abbildung 3-5: Eingebaute Temperatursensoren in einem Weizer MWÜ.....	24
Abbildung 3-6: Übersichtslageplan Weiz mit der Position der MWÜ und des Regenschreibers.....	25
Abbildung 3-7: Subcatchments des fertigen Weizer Kanalnetzmodells.....	29
Abbildung 3-8: Darstellung der einzelnen Formen der Subcatchments zur Bestimmung der „Width“	32
Abbildung 3-9: Junctions des fertigen Weizer Kanalnetzmodells	37
Abbildung 3-10: Conduits des fertigen Weizer Kanalnetzmodells	40
Abbildung 3-11: Berechnungsergebnis erster Simulationslauf Trockenwetter.....	44
Abbildung 3-12: Berechnungsergebnis zweiter Simulationslauf Trockenwetter.....	45
Abbildung 3-13: „Timepattern“ der stündlichen Faktoren für die Form der Abflusskurve Trockenwetter.....	46
Abbildung 3-14: Berechnungsergebnis dritter Simulationslauf Trockenwetter	47
Abbildung 3-15: Gemessener Niederschlag in Weiz am 17.08.2015	48
Abbildung 3-16: Gemessener Niederschlag in Weiz am 08.07.2015.....	49
Abbildung 3-17: Ergebnisse ARA Regenwetterabfluss 17.08.2015.....	51
Abbildung 3-18: Ergebnisse MWÜ Regenwetterabfluss 17.08.2015.....	52
Abbildung 4-1: Überstauhäufigkeit der einzelnen Knoten.....	56
Abbildung 4-2: Berechnung der Niederschlagssummen für die threshold-time	58
Abbildung 4-3: Anwendung des Niederschlagsmengen-Grenzwertes und Ausschluss von Regenperioden aus der Regenereignisserie.....	59
Abbildung 4-4: Kontrolle des Ereignisabstandes	60
Abbildung 4-5: Verlängerung der Regenereignisse für die Simulationen	60
Abbildung 4-6: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (ÖWAV, 2007).....	62
Abbildung 4-7: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe (ÖWAV, 2007).....	62

Literaturverzeichnis

ATV. 1992. *Arbeitsblatt ATV-A 128 - Richtlinie zur Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen.* Hennef, Deutschland : GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., 1992.

— **2004.** *Merkblatt ATV-DVWK-M 165 - Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung.* Hennef, Deutschland : ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2004.

DWA. 2006. *Arbeitsblatt DWA-A 110 - Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen.* Hennef, Deutschland : DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. , 2006.

— **2006.** *Arbeitsblatt DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.* Hennef, Deutschland : DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2006.

Europäisches Parlament und Rat. 2007. *Richtlinie 2007/2/EG zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community - INSPIRE).* Straßburg, Brüssel : Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2007.

— **2000.** *Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.* Strassburg, Brüssel : Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2000.

Hofer, T., et al. 2004. *A robust and accurate low-cost method for monitoring duration of combined sewer overflows.* Graz, Austria : s.n., 2004.

James, William, Rossman, Lewis und James, W. Robert C. 2010. *User's guide to SWMM 5 - 13th Edition.* Geulph, Ontario : CHI Press, 2010.

Leimgruber, Johannes, et al. 2015. *Optimierung von Regenereignisserien zur Rechenzeitreduzierung von hydrodynamischen Simulationen.* Graz, Österreich : Technische Universität Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, 2015.

Maniak, U. 2005. *Hydologie und Wasserwirtschaft.* Berlin - Heidelberg, Deutschland : Springer Verlag, 2005.

Muschalla, D., et al. 2009. The HSG procedure for modelling integrated urban. *Water Science & Technology.* 2009, S. 2065 - 2075.

Muschalla, Dirk. 2014. Vorlesungsunterlagen "Modellierung in der Siedlungswasserwirtschaft". *Download:* http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i2150/lehre/, 17.04. 2014, Technische Universität Graz.

ÖWAV. 2007. *ÖWAV-Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19.* Wien, Österreich: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2007.

— **2009.** *ÖWAV-Regelblatt 11 - Richtlinie für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen.* Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2009.

— **2007.** *ÖWAV-Regelblatt 19 - Richtlinie für die Bemessung von Mischwasserentlastungen.* Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2007.

— **2010.** *ÖWAV-Regelblatt 40 - Leitungsinformationssystem Wasser und Abwasser.* Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2010.

ÖWWV. 1987. *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen.* Wien: ÖWWV, 1987.

Pleinert, Florian. 2014. *Abschätzung von Spurenstoffeinträgen mittels Schmutzfrachtmodellierung an Mischwassereinleitungspunkten.* Graz, Austria: Diploma Thesis, Institut fuer Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Graz University of Technology, 2014.

Verworn, H. R. 1999. *Die Anwendung von Kanalnetzmodellen in der Stadthydrologie.* Hannover, Deutschland: SuG-Verlagsgesellschaft, 1999.