

Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl



OPTIMIERUNG EINES ABLAUFSCHEMAS ZUR ERSTELLUNG EINES HYDRODYNAMISCHEN KANALNETZMODELS AM BEISPIEL EINER GEMEINDE IN ÖSTERREICH

**Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur**

eingereicht von:
BUGL, FELIX

Betreuer: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Ertl, Thomas
Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Dr. Kretschmer, Florian

Vorwort

Diese Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien unter der Leitung von Univ.Prof. Dipl. Ing. Dr. Thomas Ertl durchgeführt.

Dieser stand der gegenständlichen Arbeit auch als Betreuer zur Verfügung, weshalb ich ihm meinen besonderen Dank aussprechen möchte.

Ein weiteres besonders Dankeschön gilt Herrn Dipl.-Ing. Dr. Florian Kretschmer, welcher mir bei Fragen immer weiterhelfen konnte. Seine Ratschläge und sein Wissen auf dem Gebiet der Kanalnetzmodellierung haben maßgebend zum Entstehen dieser Masterarbeit beigetragen. Er war es auch, der mich auf dieses interessante und zukunftsorientierte Thema aufmerksam gemacht hat.

Ebenso danken möchte ich dem kooperierenden Reinhaltverband und dessen Geschäftsführer, sowie dem beteiligten Ingenieurbüro und deren MitarbeiterInnen für das zur Verfügung stellen der Daten und die Unterstützung in der Datenerhebung.

Nicht unerwähnt bleiben soll auch das Team von DHI Österreich, allen voran Herr Dipl.-Ing. Thomas Telegdy und Frau Dipl.-Ing. Katharina Steinmayr für den Beistand bei der Modellerstellung und das geduldige Beantworten meiner Fragen.

An dieser Stelle möchte ich auch meiner Familie für die Unterstützung, nicht nur während der Masterarbeit, sondern während des gesamten Studiums danken. Sie sind es, die mir dies ermöglicht haben. Besonderer Dank gilt hierbei auch meiner Schwester und ihrer Erfahrungen im wissenschaftlichen Arbeiten, die sich für mich Zeit genommen hat, wenn Hilfe nötig war.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Freundin Evelyn bedanken, die immer wieder für Aufmunterung gesorgt hat und mir vor allem in der Endphase dieser Arbeit genügend Motivation und Kraft gegeben hat.

*„Das Wasser ist ein freundliches Element für den,
der damit bekannt ist und es zu behandeln weiß.“*

Johann Wolfgang von Goethe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung	7
3. Allgemeine Grundlagen	8
3.1 Siedlungsentwässerung	8
3.1.1 Aufgaben der Siedlungsentwässerung	8
3.1.2 Prozesse der Siedlungsentwässerung.....	9
3.2 Modellierung in der Siedlungsentwässerung	12
3.2.1 Definition.....	12
3.2.2 Prinzip der Modellierung von Entwässerungssystemen.....	13
3.2.3 Vergleich der Modellansätze und Anwendungsbereiche	14
3.2.4 Regelblätter in Bezug auf die hydrodynamische Modellierung	17
3.3 Prozess einer teilautomatisierten Modellerstellung	24
3.3.1 Datenmanagement	25
3.3.2 Prozessablaufschemata	26
3.4 Kombinierte Nachweisführung – DATMOD-Konzept.....	34
3.5 Beispiele für Einsatzmöglichkeiten von hydrodynamischen Kanalnetzmodellen.....	36
3.5.1 Nachweise nach ÖWAV Regelblatt 11 & 19 – Kombinierte Nachweisführung.....	36
3.5.2 Hydraulische Zustandsbewertung nach ÖWAV-Regelblatt 22.....	36
3.5.3 Kopplung von Kanalnetzmodellen mit Entwicklungs- und Klimaprognosemodellen	37
3.5.4 Modellprädikative Kanalnetzsteuerung.....	41
3.5.5 2D-Überflutungsberechnung – gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle	42
3.5.6 Conclusio.....	44
4. Material und Methoden	46
4.1 Methodik	46
4.1.1 Vorgehensweise zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage	46
4.1.2 Vorgehensweise zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage	46
4.2 Material	49
4.2.1 Fallbeispiel.....	49
4.2.2 Ablaufschema.....	50
4.2.3 Modellierungssoftware.....	50
5. Ergebnisse und Diskussion	52
5.1 Evaluierung des Ablaufschemas	52
5.1.1 Vorarbeiten	52
5.1.2 Datenerhebung.....	54
5.1.3 Datenprüfung und Aufbereitung.....	57
5.1.4 Modellierung	62
5.1.5 Optimiertes Ablaufschema.....	64
5.1.6 Erkenntnisse dieser Masterarbeit in Bezug zur Modellerstellung in Mike Urban.....	66
5.1.7 Kompatibilität Mike Urban – CePipe	85
5.2 Erkenntnisse einer groben Simulation im Fallbeispiel	86
5.2.1 Überblick und Rahmenbedingungen.....	86
5.2.2 Validierung des Modells & Plausibilitätsprüfungen	87
5.2.3 Ergebnisse der Simulationen	89
5.2.4 Diskussion	98
6. Interpretation.....	99
7. Schlussfolgerungen und Ausblick	101
8. Zusammenfassung	102

9. Literaturverzeichnis	104
10. Abkürzungsverzeichnis	110
11. Abbildungsverzeichnis	111
12. Tabellenverzeichnis	113
13. Anhang	114
13.1 Optimiertes Ablaufschema	114
14. Lebenslauf	116
15. Eidesstattliche Erklärung	118

Kurzfassung

Wie unsere gesamte Umwelt ist auch die Siedlungswasserwirtschaft einem ständigen Wandel unterworfen. Die großen Herausforderungen in diesem Bereich werden neben der fortlaufenden Instandhaltung der Infrastruktur in den nächsten Jahrzehnten auch der Klimawandel, die demografische Veränderungen und das gestiegene Bewusstsein unserer Umwelt gegenüber sein.

Um diese Aufgaben zu meistern, bedarf es einer genauen und umfassenden Planung, in der unterschiedliche Aspekte wie das sich verändernde Klima und andere ökologische und hydraulische Fragestellungen berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden müssen.

Als ein sehr gutes Werkzeug für diese Planung bieten sich hydrodynamische Kanalnetzmodelle an, jedoch werden diese heute aus unterschiedlichen Gründen noch vielfach nicht berücksichtigt.

Der erste Teil der Arbeit gibt einen Überblick über die Grundlagen der hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung und fasst bereits gewonnene Erkenntnisse darüber zusammen. Weiters werden einige der umfangreichen Anwendungsmöglichkeiten solcher Modelle vorgestellt und anhand von Beispielen verdeutlicht.

Im zweiten Teil liegt der Schwerpunkt auf der praktischen Modellerstellung anhand eines Fallbeispiels. Diese Erstellung ist unter Anwendung des von Pöchhacker (2018) erarbeiteten Ablaufschemas einer (teil-)automatisierten Modellerstellung erfolgt, um diese zu evaluieren und weiter zu optimieren. So sollen neue Erfahrungen hinsichtlich der Erstellung und Anwendung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells gesammelt und dokumentiert werden, damit etwaige Probleme für zukünftige Anwendungen vermieden oder zumindest reduziert werden können. Konkrete Empfehlungen zur Erstellung und Anwendung von Kanalnetzmodellen sind bisher nur sehr spärlich dokumentiert, mit dieser Arbeit soll diese Lücke verringert werden.

Prinzipiell sind hydrodynamische Modelle in der Siedlungswasserwirtschaft nichts Neues – es fehlt jedoch heute noch vielfach der Mut, die Erfahrung oder schlichtweg die Kenntnisse diese auch einzusetzen. Letzt genanntes Problem verschwindet mit dem voranschreiten von digitalen Leitungsinformationssystem fast gänzlich, daher liegt es nun daran, Erfahrungen auf diesem Gebiet zu sammeln und zu dokumentieren, um mögliche Berührungspunkte mit diesem Werkzeug eines modernen Kanalbetriebs zu reduzieren.

Abstract

Like our entire environment, the urban water management is under constant change. In addition to the ongoing necessary maintenance of the existing infrastructure in the coming decades, major challenges in this area are climate change, demographic changes and increased environmentalism.

In order to master these tasks, precise and comprehensive planning is required, in which different aspects such as the changing climate and other ecological and hydraulic issues must be taken into account and coordinated. Digital hydrodynamic sewage network models are a very good tool, yet these are often not applied for various reasons.

The first part of this thesis provides an overview of the basics of hydrodynamic sewage network modelling and summarizes already gained insights. Furthermore, some of the extensive applications of such models are presented and illustrated by examples.

In the second part, the focus is on practical modelling using the case study of an Austrian municipality. A (partially) automated flow chart model developed by Pöchhacker (2018) is examined in order to validate and further optimize it. The aim is to gather and document new insights when creating and applying a hydrodynamic sewage network model in order to avoid or at least reduce any arising problems and challenges for future applications. Specific guidelines and recommendations for generating and applying sewage network models are sparsely documented, hence this thesis is intended to reduce this research gap.

Basically, hydrodynamic models are not new in the urban water management – but there is still a lack of know-how when using or generating them or simply the lack of available the data. The latter problem disappears almost entirely with the advancement of digital information systems. Therefore, it is now up to gather and document information and knowledge in this research area in order to reduce possible obstacles of using this tool for modern sewage systems.

1. Einleitung

Der Klimawandel, allem voran die Zunahme der Starkregenereignisse und der demografische Wandel fordern eine Anpassung der Entwässerungssysteme. Verstärkt wird dieses Erfordernis durch ein gestiegenes ökologisches Bewusstsein und tiefergehenden Anforderungen an das Kanalnetz. Die Akteure in der Siedlungswasserwirtschaft stehen hier vor der Herausforderung die Entwässerungssysteme an die sich ändernden Rahmenbedingungen anzupassen und gewohnte Bemessungsabläufe neu zu überdenken.

Außerdem zeigt sich auch, dass viele Kanalnetzabschnitte einen sanierungsbedürftigen Zustand erreicht haben, so können die Anpassung und die Sanierung in einem Schritt erfolgen.

Als Grundlage dieser Anpassungs- und Sanierungsplanung können Überrechnungen der bestehenden Kanalnetze dienen, um die Schwachstellen lokalisieren zu können, zielführende Maßnahmen zu planen und diese auch gleichzeitig auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen. Hierfür sind hydrodynamische Kanalnetzmodelle prädestiniert, welche die Hydraulik und das Abflussverhalten in einer sehr hohen Auflösung wiedergeben können. Diese Simulationen bilden die Grundlage eines modernen Kanalbetriebs und ermöglichen es, Probleme frühzeitig erkennen zu können und angemessen darauf zu reagieren.

Diese Masterarbeit baut auf den ersten Ausführungen und Dokumentationen eines gesamten Modellerstellungsprozess in der Arbeit von Pöchhacker (2018) auf. Sie soll diese weiter vertiefen und neu gewonnene Erkenntnisse und Erfahrungen festhalten und anderen BearbeiterInnen eines hydrodynamischen Kanalnetzmodelles als Orientierung und Hilfe dienen. So sollen potentielle Fehler vermieden und eine effiziente Modellerstellung gefördert werden.

Verfügbare Literatur zu diesem Thema ist bis auf die zuvor genannte Arbeit und dem DATMOD-Leitfaden (2015) sehr spärlich gesät, weshalb zu vielen in der Modellerstellung auftauchenden Fragen erst Lösungen gefunden werden müssen. Gleichzeitig entwickelt sich die Software auf diesem Gebiet immer weiter und schafft weiter Möglichkeiten zur Kombination solcher Modelle mit Anwendungen aus anderen Bereichen.

Um diese Optionen voll ausschöpfen zu können, müssen konkrete Prozessabläufe erläutert werden und die Arbeitsschritte optimiert werden. Hierzu soll diese Masterarbeit die bereits von Pöchhacker (2018) ausgearbeiteten Anweisungen evaluieren, optimieren und ergänzen. Dementsprechend wurden die Ziele dieser Masterarbeit definiert.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Die genannten Ziele widmen sich besonders der Optimierung eines Ablaufschemas zur Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells und erster Berechnungen mit einem solchen Modell.

Zielsetzung

- Evaluieren und Überarbeiten eines Ablaufschemas für die teilautomatisierte Erstellung von hydrodynamischen Modellen samt Datenmanagement anhand eines praktischen Beispiels
- Erstellung eines hydrodynamischen Modells im Rahmen eines Fallbeispiels und Durchführung erster Berechnungen

Aufgabenstellung

- Literaturrecherche zur Anwendung von hydrodynamischen Kanalnetzmodellen dokumentiert anhand von konkreten Beispielen
- Überprüfen und gegebenenfalls Optimieren eines Schemas bzw. der Prozessabläufe zur teilautomatisierten Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells hinsichtlich
 - Praxistauglichkeit in der Ausführung
 - schnellem Verständnis der Prozessschritte
- Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells für das Gebiet einer Gemeinde in Österreich sowie Berechnung und (Erst-)Validierung von einfachen (Basis-)Szenarien

Aus dieser Zielsetzung und Aufgabenstellung lassen sich folgende zwei Forschungsfragen ableiten:

- Kann das Ablaufschema nach Pöchhacker (2018) zur Modellerstellung optimiert werden?
- Welche Erkenntnisse können aus einer (grobem) Simulation im Fallbeispiel gewonnen werden?

3. Allgemeine Grundlagen

In den nächsten Jahren steht die kommunale Siedlungswasserwirtschaft vor mannigfaltigen Herausforderungen. Viele Kanäle sind am Ende ihrer Lebensdauer oder schon darüber hinaus und weisen somit einen steigenden Sanierungsbedarf auf. Daneben stellen der Klimawandel, demographische Veränderungen und das gestiegene Bewusstsein der Bevölkerung unserer Umwelt weitere gewichtige Aufgaben an die Abwasserinfrastruktur der Zukunft dar.

Im Gegensatz zu diesen Herausforderungen stehen immer knappere Budgets. Doch gerade auch aus diesem Grund ist die nachhaltige Planung der Entwässerungsinfrastruktur von großer Bedeutung (FlexAdapt, 2019; KURAS, 2016).

Hydrodynamische Kanalnetzmodelle können in diesem Zusammenhang ein hilfreiches Werkzeug darstellen.

3.1 Siedlungsentwässerung

3.1.1 Aufgaben der Siedlungsentwässerung

Die Kernaufgabe der Siedlungsentwässerung ist es die Abwässer aller Art aus den Siedlungsgebieten ab und einer Abwasserreinigungsanlage oder einem Vorfluter zuzuleiten. So soll dieses der Umwelt zurückgeführt werden sodass die natürlichen hydrologischen Bedingungen wenig verändert und die Gewässer nicht übermäßig zu belastet werden (Gujer, 2007, S. 199, 200).

Zur Ableitung der Abwässer können folgende Systeme unterschieden werden:

- Druckleitungen
- Freispiegelleitungen
- Mischsystem
- Trennsystem (Fellner, 2015; ÖNORM EN 752, 2017)

Anders ausgedrückt müssen Anlagen und Methoden der Siedlungsentwässerung zwei grundlegende Aufgaben erfüllen: Den Schutz des Menschen vor der Natur und den Schutz der Natur vor dem Menschen (Rauch et al., 2010).

Daraus leiten sich die zwei wesentlichsten Aufgaben in der Planung von Entwässerungssystemen ab:

Einerseits die Konzeption und Dimensionierung des Kanalsystems, wodurch das Ziel verfolgt wird, dass die Überstauhäufigkeiten abhängig von der Siedlungsstruktur begrenzt werden. Beispielsweise soll ein Überstau in einem Wohngebiet nur einmal in drei Jahren auftreten. Die Erfüllung dieser Aufgabe ist mit den Vorschriften laut ÖWAV-Regelblatt (RB) 11 abgedeckt. Andererseits ist die Gestaltung des Kanalsystems in einer Weise auszuarbeiten, dass bei starkem Regen eine möglichst geringe Stofffracht über die Mischwasserentlastungen in die Gewässer geleitet wird. Dies wird im ÖWAV-Regelblatt 19 behandelt (ÖWAV RB 11, 2009; ÖWAV RB 19, 2007; Rauch et al., 2010).

Da diese zwei Regelblätter die fundamentalen Aufgaben regeln, werden sie in den Kapiteln 3.2.4 und 3.2.4.2 näher erläutert.

3.1.2 Prozesse der Siedlungsentwässerung

Das Themengebiet der Siedlungsentwässerung setzt sich in der Literatur im Grunde aus den hier definierten Prozessen zusammen.

3.1.2.1 Niederschlagsgeschehen

„Das Niederschlagsgeschehen ist die grundlegende und zumeist dominante Belastung für eine Vielzahl von siedlungswasserwirtschaftlichen Fragestellungen. Daher kommt ihm sowohl in seiner zeitlichen als auch in seiner räumlichen Ausprägung eine besondere Bedeutung zu“ (Muschalla et al., 2015).

Somit kann die Ableitung von Regenwasser als die maßgebende Komponente in der Dimensionierung der Kanalisation und deren Sonderbauwerke bezeichnet werden (Muschalla et al., 2015).

Für die Abbildung des Niederschlags gibt es laut den genannten Quellen folgende Möglichkeiten:

Regenkontinuum

Ein Regenkontinuum umfasst alle zur Verfügung stehenden Niederschlagsdaten inklusive der Trockenperioden in hoher zeitlicher Auflösung. Die große Datenmenge bringt dabei den Vorteil der realitätsnahen Ergebnisse bei dessen Verwendung, und den Nachteil des relativ hohen Zeitbedarfs mit sich (Muschalla et al., 2015).

Starkregenserie

Bei der Bildung einer Starkregenserie werden aus einem Regenkontinuum nicht relevante Niederschlagsereignisse (zu geringe Menge oder zu kurze Dauer) gestrichen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die ausgewählten Ereignisse auch zu den maximalen Abflüssen führen (ÖWAV RB 11, 2009; Pöchlhammer, 2018).

Eine genaue Erklärung dieser wichtigen Niederschlagsabbildung erfolgt in Kapitel 3.4.

Blockregen

Die Abbildung des Niederschlags als Blockregen ist die einfachste Art, dabei wird die Niederschlagsmenge konstant über eine bestimmte Dauer verteilt. Bei diesem Verfahren kommt es zu einer tendenziellen Unterschätzung der tatsächlichen Belastung. Außerdem baut diese Methode nicht auf Originaldaten auf, sondern auf deren statistischer Auswertung (ÖWAV, 2007).

Einzelmodellregen

Diese Methode basiert wie der Blockregen auf einer statistischen Auswertung von gemessenen Daten. Jedoch wird hier die ungleichmäßige Intensitätsverteilung berücksichtigt. Die am häufigsten verwendete Form ist der Modellregen nach Euler (Typ II), welcher einer Langzeitsimulation mit einer Starkregenserie sehr nahekommt (ÖWAV, 2007).

Für Österreich bietet das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) ausgewertete Bemessungsniederschläge nach drei Methoden an (Muschalla et al., 2015; ÖWAV RB 220, 2019):

- Extremwertstatistik ÖKOSTRA: dabei werden partielle und jährliche Regenserien erzeugt
- Maximierte Modellniederschläge (MaxModN): dabei werden Niederschlagshöhen für bestimmte Dauerstufen und Jährlichkeiten errechnet
- Gewichtete Bemessungsniederschläge: dabei handelt es sich um eine Kombination aus den beiden erstgenannten Methoden (Muschalla et al., 2015; ÖWAV RB 220, 2019).

3.1.2.2 Abflussbildung

Als Abflussbildung versteht man die Reduzierung des Gesamtniederschlags um die Verluste auf den abflusswirksamen Niederschlag. Diese Verluste setzen sich aus Benetzung, Muldenfüllung, Versickerung (nur bei (teil-)durchlässigen Flächen) und Dauerverlusten (Verdunstung, Verwehung, abhängig vom Versiegelungsgrad) zusammen (HSGSim, 2008; Muschalla et al., 2015).

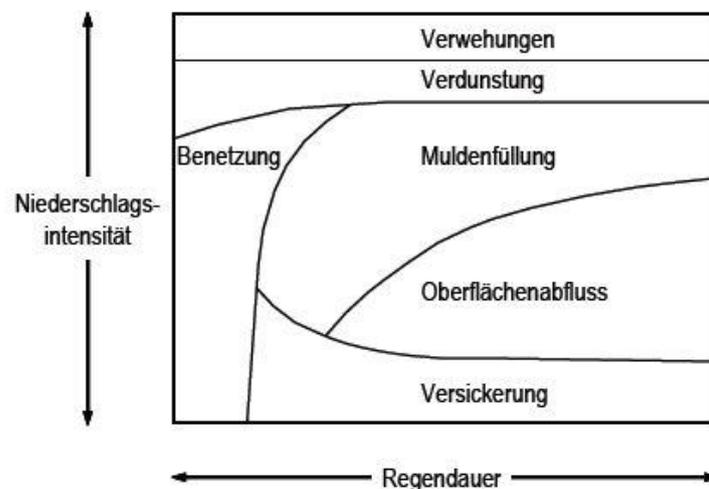


Abb. 1 Qualitative Darstellung der Abflussbildung eines Regenereignisses mit konstanter Intensität (Gujer, 2007, S. 206)

3.1.2.3 Abflusskonzentration

Die Abflusskonzentration beschreibt die Berechnung von Abflussganglinien des flächenhaft verteilten abflusswirksamen Niederschlags bezogen auf Endpunkte von Teileinzugsgebieten. Im Unterschied zur Abflussbildung wird bei der Abflusskonzentration nicht nach dem Volumen der Abflusswelle, sondern nach deren Form gesucht – es wird die Verzögerung (Translation) und die Verformung (Retention) des Abflusses beschrieben. Als Eingangsgröße dient das Ergebnis der Abflussbildung (Muschalla et al., 2015; Rauch et al., 2010).

3.1.2.4 Abflusstransport

Der Gegenstand des Abflusstransports beschreibt die Abflussvorgänge im Entwässerungssystem. Die Ergebnisse der Abflussbildung und -konzentration stellen dabei die Zuflüsse in dieses System dar. Weiters kommt noch der Trockenwetterabfluss als Belastung hinzu (Muschalla et al., 2015).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Abflusstransports in einem Kanalnetz ist, dass im Gegensatz zum Oberflächenabfluss der Wellenablauf durch die Geometrie und die Eigenschaften des Systems klar definiert ist. (Muschalla et al., 2015)

„Physikalisch betrachtet bewegt sich eine gewisse Menge/Masse einer Flüssigkeit durch eine definierte Rohrstrecke von einem Ort höherer Energie zu einem Ort niedrigerer Energie und wiederfährt dabei verschiedene Kräfte wie Druck, Reibung, Luftwiderstand, Beschleunigung, etc. Dadurch wird die Form der Wellenganglinie beeinflusst, man spricht von „Wellenverformung““ (Pöchhacker, 2018).

„Beim Transport einer Abflusswelle durch eine Kanalstrecke sind zwei grundsätzliche Effekte zu beobachten:

- *Translation (Wellenverschiebung)*
- *Retention (Wellendämpfung)“ (Muschalla et al., 2015).*

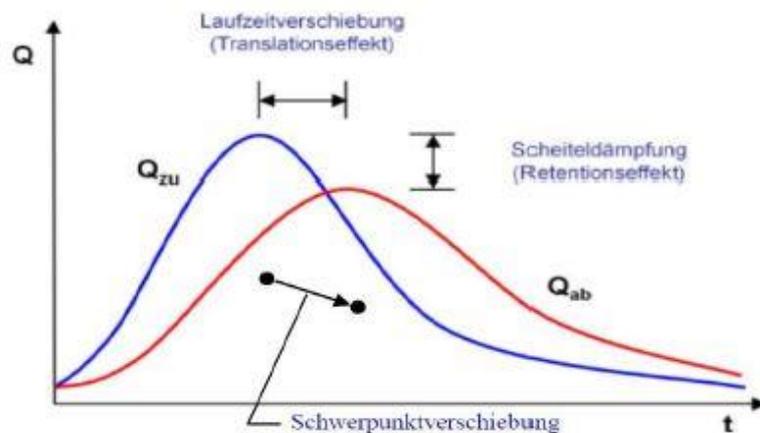


Abb. 2 Darstellung der "Wellenverformung" (Muschalla et al., 2015)

Abbildung 2 zeigt dieses Prinzip der Wellenverformung anhand einer Transportstrecke. Sehr einfach kann der Translationseffekt berücksichtigt werden, indem die Zuflussganglinie (Q_{zu}) um die Fließzeit durch den Kanal versetzt wird (Muschalla et al., 2015).

Der Retentionseffekt lässt sich damit erklären, dass sich bei steigendem Zufluss in eine Kanalhaltung der Wasserstand erhöht. Ein Teil des Zuflusses wird daher zur Erhöhung des Wasserspiegels benötigt, und lediglich der übrige Anteil führt zu einer Abflusserhöhung (ATV M 165, 2004).

3.2 Modellierung in der Siedlungsentwässerung

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Modellierung in der Siedlungswasserwirtschaft geben und die Prinzipien dieser erklären.

3.2.1 Definition

„Ein Modell ist eine Repräsentation eines Systems zum Zweck der Erfassung des Systems. Das Modell ist eine Vereinfachung des Systems, welche aber zur Erfüllung des Zwecks ausreicht (Bastian, 2008).

Ein Modell ist eine schematische, mathematische Beschreibung von physikalischen Zusammenhängen mit dem Zweck komplexe Vorgänge fassbar zu machen, Zusammenhänge zu erklären und Vorhersagen zu machen. In der Siedlungsentwässerung dienen Modelle als Planungswerkzeug für die Bemessung und den Nachweis der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Infrastruktureinrichtungen [..]“ (Rauch et al., 2010).

„Generell beruhen alle Ingenieurverfahren zur Dimensionierung von Abwasserkanälen auf der Beschreibung des Verhaltens des jeweiligen Systems mittels eines Modells. Wird dabei auch die zeitliche Dynamik der Vorgänge dargestellt, spricht man von einer Modellsimulation“ (ÖWAV RB 11, 2009).

Konkret sind dies entweder die näherungsweise Beschreibung anhand des analogen Fließzeitverfahrens oder durch aufwendige hydrologische/ hydrodynamische Modelle (ÖWAV RB 11, 2009).

Zur Berechnung des Abflustransportes stehen also zwei verschiedene Konzepte zur Verfügung, der hydrologische und der hydrodynamische Modellierungsansatz.

Durch die immer besser werdende Software und Rechenleistung der Hardware in den letzten Jahrzehnten hat sich die numerische Modellierung zu dem Werkzeug für den Entwurf und die Dimensionierung von Kanalsystemen entwickelt. Weiters wird durch die Herausforderungen des Klimawandels und durch das Erkennen, dass zwischen den einzelnen Komponenten Zusammenhänge bestehen, die Simulation mittels komplexer Modelle immer unumgänglicher. Ebenso werden integrale Betrachtungen von Systemen und ihren Interaktionen immer wichtiger. Auf der anderen Seite wird die Modellerstellung durch die fortschreitende Automatisierung, das aufkommen diverser Anleitungen und Leitfäden (z. B. von Muschalla et al., (2015), Pöchlhacker, (2018) und auch dieser Arbeit) und dem Vorhandensein von bereits digitalisierten Daten in den Kanalkatastern immer benutzerfreundlicher (Pöchlhacker, 2018; Rauch et al., 2010).

3.2.2 Prinzip der Modellierung von Entwässerungssystemen

Wie durch die zuvor zitierten Definitionen ableitbar ist ein Modell immer eine Vereinfachung eines realen Systems. In der Modellierung von Entwässerungssystemen wird diese Vereinfachung durch zwei Methoden erreicht – die räumliche und zeitliche Auflösung (Muschalla et al., 2015).

Grundsätzlich ist die Modellierung von Entwässerungssystemen aus mehreren Gründen schwierig (ÖWAV RB 11, 2009):

- *„Der Abfluss an einem bestimmten Punkt im Kanalnetz infolge eines Regenereignisses wird durch eine Vielzahl von Faktoren sowohl oberhalb als auch unterhalb des Punktes beeinflusst*
- *Die Abflussvorgänge in einem Kanalnetz sind nicht sichtbar, sondern laufen unterirdisch ab und sind bestenfalls punktuell durch Messungen ersichtlich zu machen*
- *In Entwässerungssystemen und ihren Einzugsgebieten finden im Laufe der Zeit Veränderungen statt, deren Auswirkungen im Detail nicht vorhersehbar sind*
- *Das Wissen um die Systemeigenschaften [...] ist immer lückenhaft“ (ÖWAV RB 11, 2009).*

3.2.2.1 Räumliche Auflösung

Bei der räumlichen Auflösung sind die räumliche Auflösung der Oberfläche und die räumliche Auflösung des Kanalnetzes zu unterscheiden. Beide können je nach Fragestellung in unterschiedlicher Detailliertheit erfolgen (Muschalla et al., 2015).

Die Oberfläche betreffend sind dies folgende vier Stufen (Muschalla et al., 2015):

- Einzugsgebietsebene: alle Vorgänge werden für das gesamte Einzugsgebiet gemeinsam modelliert
- Teileinzugsgebietsebene: im Vergleich zur Ebene 1 wird das Einzugsgebiet in homogene Teileinzugsgebiete unterteilt
- Grundstücksebene: es werden die Versiegelungsgrade der einzelnen Grundstücke berücksichtigt
- Teilflächendifferenzierte Ebene: es werden die Grundstücke noch weiter in homogene Teilflächen unterteilt

Beim Kanalnetz gibt es drei Abstrahierungsstufen (Muschalla et al., 2015):

- Hydrologisch/konzeptionell: es werden nur maßgebende Hauptsammler dargestellt
- Grobnetz: es werden alle Hauptsammler abgebildet
- Feinnetz: es werden alle Haltungen abgebildet

Natürlich führt die Erhöhung des Detaillierungsgrades zu einer Verbesserung der Ergebnisse, jedoch steigt damit auch die Berechnungs- und Erstellungszeit. Deshalb sollte vor der Modellerstellung abgeklärt werden, welchen Zweck dieses erfüllen soll. Zum Beispiel reicht für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 prinzipiell eine grobe Nachbildung, während für den

Überstaunachweis (nach ÖWAV-Regelblatt 11) eine haltungstreue Abbildung erforderlich ist (Muschalla et al., 2015).

3.2.2.2 Zeitliche Auflösung

Die Entscheidung nach der zeitlichen Auflösung hängt von zwei Faktoren ab – der ausreichend genauen Abbildung der Prozesse Niederschlag und Abfluss und der Einhaltung der Stabilität der Berechnung. Dabei gilt wiederum je kleiner die Zeitschritte desto genauer die Ergebnisse und desto länger die Berechnungszeit. Abb. 3 zeigt dasselbe Ereignis in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung. Es wird deutlich, dass bei größerer Auflösung die Abflussspitzen stark gedämpft werden (Muschalla et al., 2015; Pöchlacker, 2018).

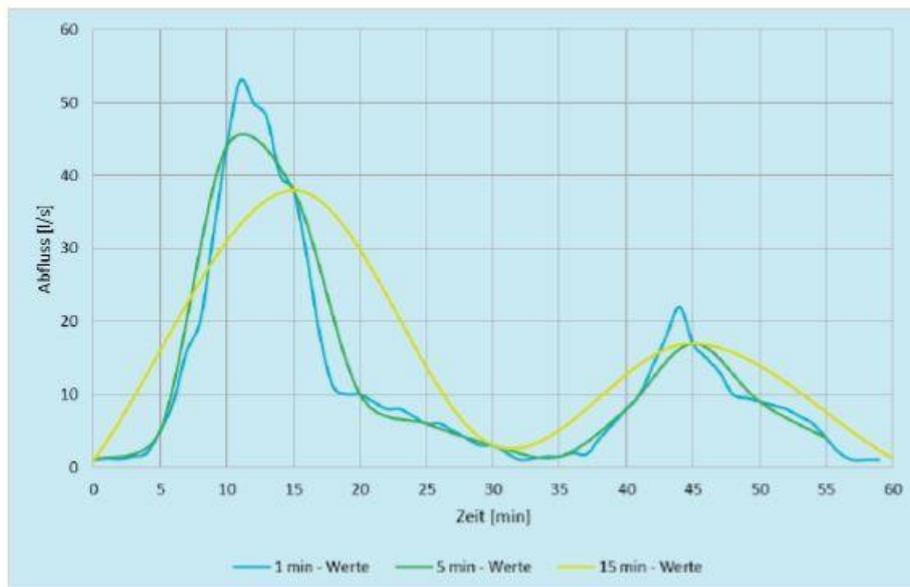


Abb. 3 Auswirkung unterschiedlicher Zeitauflösung (Muschalla et al., 2015)

3.2.3 Vergleich der Modellansätze und Anwendungsbereiche

Bereits im vorhergehenden Kapitel wurden die Begriffe hydrologische und hydrodynamische Modelle verwendet. Nun soll genauer auf den wesentlichen Unterschied eingegangen werden. Denn obwohl beide Modell den Abflusstransport berechnen, gibt es einen entscheidenden Unterschied.

Während bei der hydrodynamischen Berechnung mit Hilfe von numerischen Lösungsverfahren die komplette Bewegungsgleichung gelöst wird, wird bei der hydrologischen Berechnung lediglich die Massenbilanz berücksichtigt.

Die Grundlage für die Berechnung des Abflussgeschehens in hydrodynamischen Modellen bilden also die von de Saint-Venant 1871 für eine eindimensionale Strömung unter der Voraussetzung eines Freispiegelabflusses abgeleiteten partiellen, nicht-linearen Differentialgleichungen (Muschalla et al., 2015).

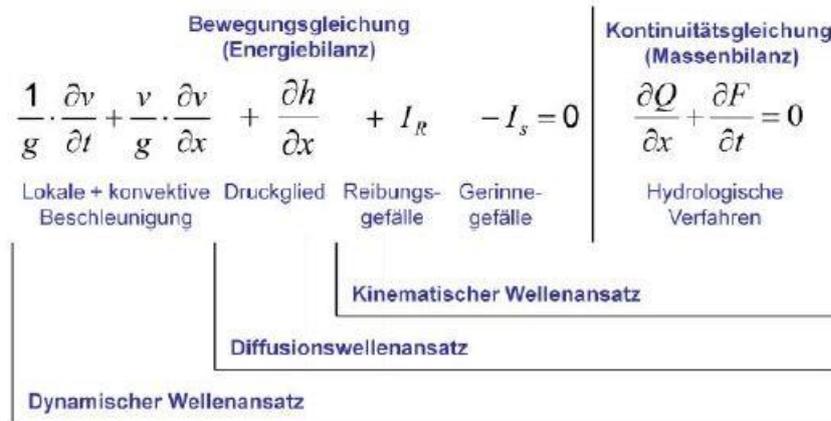


Abb. 4 Ansätze der beiden Modelle (Muschalla et al., 2015)

Diese Bewegungsgleichung kann, wie in Abb. 4 ersichtlich, in drei verschiedene Wellenansätze unterteilt werden – in den Kinematischen Wellenansatz, den Diffusionswellenansatz und den Dynamischen Wellenansatz. Der Kinematische Wellenansatz berücksichtigt das Reibungs- und Energieliniengefälle sowie das Sohlgefälle des Kanals. Eine Betrachtung dieses Glieds allein ist nur bei sehr steilen Kanalnetzen möglich, da ein Rückstau nicht bestimmt werden kann. Ein Rückstau kann nur gemeinsam mit dem Diffusionswellenansatz modelliert werden, da in diesem das Druckglied vorhanden ist, jedoch werden Trägheitseffekte vernachlässigt. Alle Prozesse können schließlich erfasst werden, wenn der dynamische Wellenansatz und somit die lokale und konvektive Beschleunigung auch miteinbezogen werden (Hochedlinger et al., 2012; Muschalla et al., 2015).

Eine Auflistung welche Effekte in welchen Ansätzen berücksichtigt werden ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1 Berücksichtigte Effekte in den Vereinfachungen der Saint-Venant Gleichungen (Rauch et al., 2010)

Berücksichtigte Effekte in den Vereinfachungen der Saint Venant Gleichungen			
Berücksichtigt	Dynamische Welle	Diffusive Welle	Kinematische Welle
Translation	Ja	Ja	Ja
Rückstau	Ja	Ja	Nein
Dämpfung der Welle	Ja	Ja	Nein
Abflussbeschleunigung	Ja	Nein	Nein

Die komplette Bewegungsgleichung liefert die exaktesten Ergebnisse, jedoch wird hierbei auch die längste Berechnungszeit benötigt. Aufgrund der mittlerweile hohen Leistungsfähigkeit der EDV ist es möglich die Berechnung der vollständigen Gleichung in adäquater Zeit durchzuführen und daher auch zu empfehlen (ATV M 165, 2004).

Es werden in hydrodynamischen Modellen also die Prozesse der Abflusskonzentration und des Abflusstransports jeder einzelnen Haltung genau berechnet und das Abflussgeschehen im

Kanal möglichst akkurat nachgebildet. Bei hydrologischen Modellen hingegen werden die Abflussganglinien nur für zusammengefasste Teilgebiete durch Übertragungsfunktionen berechnet. Häufig werden die Übertragungsfunktionen nur für den zu betrachtenden Endpunkt eines Teilsystems (z.B. ein Sonderbauwerk) ermittelt und die Abflussprozesse im Inneren des Systems nicht erfasst.

Da der Prozess des Abflusstransports im Vergleich zur Abflusskonzentration von weitaus größerer Bedeutung ist und die physikalischen Gegebenheiten berücksichtigt werden, werden mit hydrodynamischen Modellen realitätsnähere Ergebnisse erzielt und es können auch Vorgänge wie Ein- und Überstau berechnet werden. Jedoch muss auch erwähnt werden, dass für diese Modelle der Datenbedarf wesentlich höher ist und die Modellerstellung aufwändiger ist (HSGSim, 2008; Pöchhacker, 2018; Schaaradt, 2012).

Klassische Anwendungsbereiche für hydrologische Modelle sind Nachweise und/oder Berechnungen, bei denen Langzeitsimulationen von Nöten sind und eine detaillierte Abbildung des Abflussgeschehens nicht notwendig ist wie z.B. von Mischwasserentlastungsbauwerken oder Regenrückhaltebecken. Denn durch die Reduzierung der Abflussberechnung auf Sonderbauwerke besteht das Kanalnetz nur mehr aus wenigen Elementen und somit nimmt die Berechnung vergleichsweise nur wenig Zeit in Anspruch (Schaardt, 2012).

Jedoch wurde von Muschalla, et al., (2015) mit dem Projekt DATMOD ein Ansatz vorgestellt, wie diese Berechnungen in angemessener Zeit auch mit hydrodynamischen Modellen durchzuführen sind. Näheres dazu wird in Kapitel 3.4 erläutert.

Hydrodynamische Modelle werden für die Anwendungen verwendet, bei denen eine Kenntnis des Abflusses in allen Haltungen und des Wasserstands in sämtlichen Knoten erforderlich ist. Prädestiniert ist dieses Modell für Überstaunachweise (z. B. nach ÖWAV-Regelblatt 11) oder für die Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit eines Kanalnetzes (z. B. für Sanierungsmaßnahmen) (Schaardt, 2012).

Die Anwendungsmöglichkeiten der beiden Modellansätze sind in der Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2 Mögliche Anwendungen der beiden Transportmodelle (Muschalla et al., 2015)

	Überstau (z.B. nach ÖWAV-Regelblatt 11)	Überflutung (z. B. nach EN 752)	Abflussbilanz (z. B. nach ÖWAV-Regelblatt 19)
Hydrologisches Modell	nicht möglich	nicht möglich	empfohlen
Hydrodynamisches Modell	empfohlen	empfohlen	möglich

Von Muschalla, et al., (2015) wurden die Vor- und Nachteile der beiden Modellansätze in der nachfolgenden Tabelle gut gegenübergestellt.

Tabelle 3 Vor- und Nachteile der beiden Transportmodelle (Muschalla et al., 2015)

Hydrologische Verfahren	Hydrodynamische Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Kürzere Rechenzeiten • Evtl. geringerer Datenaufwand • Langzeitsimulationen • Einfachere Abbildung von Sonderbauwerken 	<ul style="list-style-type: none"> • Rechenintensiv • Großer Datenaufwand • Eingeschränkt für aktuelle Vorhersagen geeignet • Erfahrung des Anwenders erforderlich, vor allem in Bezug auf Sonderbauwerke und numerische Stabilität
<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt keinen Rückstau • Nur Massenbilanz an Knotenpunkten • Aggregieren einzelner Prozesse • Höhere Modellabstraktion zum realen System • Erfahrung des Anwenders erforderlich, vor allem in Bezug auf Abstraktion des realen Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigt Rückstau • Örtliche und zeitliche Berechnung des Durchflusses • Trennung der Fließvorgänge auf der Oberfläche von denen im Kanal • Geringere Modellabstraktion zum realen System •

Da diese Arbeit den Fokus auf hydrodynamische Modelle legt wird nicht weiter auf die hydrologischen Modelle eingegangen.

3.2.4 Regelblätter in Bezug auf die hydrodynamische Modellierung

3.2.4.1 ÖWAV-Regelblatt 11

Falls nicht anders gekennzeichnet stammen alle Ausführungen dieses Kapitels aus dem ÖWAV-Regelblatt 11 (2009).

Das Regelblatt 11 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes aus dem Jahr 2007 gibt „*Richtlinien für die technische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen*“ vor. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Schutz vor Überflutungen, wobei die Modellierung eine wichtige Rolle spielt.

Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten für die Bemessung von Kanälen, wie z. B. das Fließzeitverfahren oder bei großen bzw. komplexen Netzen sinnvoll diese mit einem hydrodynamischen Modell durchzuführen, weshalb dieses Regelblatt bei der vorliegenden Masterarbeit wichtig ist.

Exkurs Fließzeitverfahren:

Das Fließzeitverfahren ist eine einfache und überschaubare Methode für die Bemessung von Kanalisationen und wurde bereits vor ca. 150 Jahren entwickelt. „*Dem Verfahren liegt die Überlegung zugrunde, dass in einer bestimmten Kanalhaltung die größte Regenwassermenge [...] i. d. R. dann erreicht wird, wenn alle Teileinzugsgebiete zum Abfluss beitragen und die maßgebende Regendauer (Bemessungsregendauer) eines Blockregens der Summe aus Anlaufzeit [...] und maximaler Fließzeit in der Kanalisation bis zum betrachteten Querschnitt entsprechen. Als maßgebliche Berechnungsregenspende zur Ermittlung des Abflusses ist daher jeweils jene Regenspende [...] einzusetzen, deren Regendauer [...] der Summe aus Anlaufzeit und Fließzeit im Kanal entspricht*“ (ÖWAV RB 11, 2009). Dieses Verfahren eignet sich gut, um einzelne neue Kanalstränge zu dimensionieren, jedoch nicht um bestehende

Kanalnetze nachzurechnen und hydraulische Schwachstellen zu identifizieren. Ein Rückstau kann nicht berücksichtigt werden.

Der Geltungsbereich wird darin ab dem Punkt angenommen, ab dem das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßenablauf fließt bis zu dem Punkt, an dem das Abwasser in eine Behandlungsanlage oder einen Vorfluter eingeleitet wird.

„Es regelt

- *Eingangsgrößen*
- *Berechnungsmethoden und*
- *Ziel- und Nachweisgrößen“* (ÖWAV RB 11, 2009)

Neben vielen grundlegenden Informationen über die Berechnung und Modellierung von Entwässerungssystemen gibt dieses Regelblatt Kriterien für den erforderlichen Nachweis von Überstau- und Überflutungshäufigkeiten in hydrodynamischen Verfahren vor. Es findet also eine Unterscheidung zwischen Überstau und Überflutung statt.

Überstau wird definiert als: „*Belastungszustand der Kanalisation, bei dem der Wasserstand ein definiertes Bezugsniveau überschreitet*“ (DWA-A 118, 2006 zit. bei ÖWAV RB 11, 2009). Als dieses Bezugsniveau wird im Normalfall der Schachtdeckel angenommen, und bedeutet das aufgrund einer Überlastung des Kanalstrangs Wasser aus diesem austritt. Eine Überflutung bedeutet hingegen laut DWA-A 118 (2006), dass dieses austretende Wasser einen Schaden bzw. eine Funktionsstörung verursacht.

Von Seiten des ÖWAV-Regelblatt 11 werden also vorbehaltlich anderer Werte durch die zuständige Stelle Werte für den Nachweis der Überstau- und der Überflutungshäufigkeit vorgegeben.

Tabelle 5 Empfohlene Überstauhäufigkeiten (DWA-A 118, 2006 zit. bei (ÖWAV RB 11, 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“!

Tabelle 4 Empfohlene Überflutungshäufigkeiten (ÖNORM EN 752, 2008 zit bei (ÖWAV RB 11, 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 %

Gut erkennbar ist, dass die Wiederkehrzeit für Orte mit höherem Schadenspotenzial ebenfalls höher ist und somit auf örtliche Gegebenheiten Rücksicht genommen werden muss und folglich die Toleranz für die Überflutungshäufigkeit geringer ist.

„Je höher der potenzielle Schaden in einem Gebiet, desto seltener sollte das Ereignis stattfinden [...]“ (Hochedlinger et al., 2012).

Da die modelltechnische Nachbildung von Überflutungen aufgrund des Bedarfes von genauen Informationen über das Gelände sehr aufwändig ist, wird meist nur der Überstaunachweis durchgeführt (Pöchhacker, 2018).

3.2.4.2 ÖWAV-Regelblatt 19

Falls nicht anders gekennzeichnet stammen alle Ausführungen dieses Kapitels aus dem ÖWAV-Regelblatt 19 (2007).

Das Regelblatt 19 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes aus dem Jahr 2007 gibt „Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ vor. Das Hauptaugenmerk liegt dabei die Belastung des Gewässers aus Mischwasserentlastungen in ökologisch und ökonomisch vertretbaren Grenzen zu halten.

Um einen nachhaltigen Schutz des Gewässers zu erreichen, gibt das Regelblatt Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung von Mischwasser zur biologischen Stufe der Abwasserreinigungsanlage vor. Diese Anforderungen gelten für das komplette Einzugsgebiet einer Mischkanalisation und es ist marginal, ob die Emissionen in einen oder mehrere Vorfluter geleitet werden. Es wird zwischen gelösten und abfiltrierbaren Stoffen unterschieden. Die Mindestwirkungsgrade für die jeweiligen Stoffe sind in den untenstehenden Tabellen ersichtlich.

Tabelle 7 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe

Mindestwirkungsgrad [%] für gelöste Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{r20,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	50	60
$r_{r20,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	40	50
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

Tabelle 6 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe

Mindestwirkungsgrad [%] Abfiltrierbare Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW), zu der die Mischkanalisation entwässert	
	≤ 5.000	≥ 50.000
maßgeblicher Regen		
$r_{r20,1} \leq 30 \text{ mm}/12\text{h}$	65	75
$r_{r20,1} \geq 50 \text{ mm}/12\text{h}$	55	65
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren		

„Die Berechnung (Kanalnetzsimulation) ist mit einer mehrjährigen Niederschlagsreihe durchzuführen. Der für diesen mehrjährigen Berechnungszeitraum im arithmetischen Mittel errechnete Wirkungsgrad muss den in diesem Regelblatt geforderten Wert erreichen oder überschreiten“ (ÖWAV RB 19, 2007).

Dieser Nachweis des Wirkungsgrades der Mischwasserweiterleitung wird klassisch mit einer hydrologischen Langzeit-Simulation durchgeführt, da in diesem Modell das Kanalnetz nur sehr stark vereinfacht abgebildet werden muss und somit aufgrund der durch den langen Simulationszeitraum ohnehin großen Datenmenge Rechenzeit gegenüber der exakten Netzabbildung in einem hydrodynamischen Modell eingespart wird.

Da jedoch von Muschalla, et al. (2015) im Zuge des Projekts „DATMOD“ ein Verfahren zur kombinierten Nachweisführung entwickelt wurde, mit welchem der Nachweis nach Regelblatt 19 ebenfalls mit einem hydrodynamischen Modell in einer kürzeren Rechenzeit berechnet werden kann ist dieser für die vorliegende Arbeit auch von Bedeutung. Dieses Verfahren wird in Kapitel 3.4 erläutert.

Für die Berechnung des Wirkungsgrades der Weiterleitung sind diese Eingangsgrößen notwendig:

- Eine langjährige Regenreihe: durchgehende und repräsentative Jahresreihen von mindestens 10 Jahren
- Die Größe der abflusswirksamen Fläche: erfasste Flächen auf einen tatsächlichen Kanalanschluss prüfen
- Die Größe des vorhandenen Speichervolumens: setzt sich aus den Volumina der Mischwasserüberlaufbecken, Kanalstauräumen und dem sogenannten statischen Kanalvolumen zusammen
- Die Größe des Drosselabflusses jeder Mischwasserentlastung
- Der durchschnittliche Trockenwetterabfluss
- Die Parameter der Abflussbildung: Abzug der Anfangsverluste vom tatsächlich gefallenen Niederschlag
- Die Parameter der Abflusskonzentration: Hinweise der Simulationsprogrammerhersteller beachten, da viele verschiedene Ansätze zur Berechnung existieren

3.2.4.3 ÖWAV-Regelblatt 22

Falls nicht anders gekennzeichnet stammen alle Ausführungen dieses Kapitels aus dem ÖWAV-Regelblatt 22 (2015).

Das Regelblatt 22 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes aus dem Jahr 2015 stellt eine Richtlinie für den Betrieb von Kanalisationsanlagen dar. Konkret beschäftigt es sich mit der Zustandserfassung und Wartung.

Für diese Masterarbeit ist die darin behandelte hydraulische Zustandsbewertung von großer Bedeutung.

Eine hydraulische Untersuchung wird durchgeführt, um das hydraulische Verhalten des Abwasserabflusses zu verstehen, zu beschreiben und zu bewerten. Wie bei den Nachweisen nach dem Regelblatt 11 kann diese für einfache Systeme auch mit dem Fließzeitverfahren erfolgen, bei größeren und/oder komplexeren Kanalnetzen ist die hydrodynamische Simulation jedoch die genauere Methode.

Das Regelblatt 22 schlägt für die hydraulische Zustandsbewertung fünf Klassen vor, aus welchen sich jeweils ein Handlungsbedarf ableiten lässt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8 Hydraulische Zustandsklassen (ÖWAV RB 22, 2015)

Zustands- klasse	Beurteilungskriterium	Hydraulische Funktionsfähigkeit	Handlungsbedarf
5	Überflutung, Wasser kann nicht mehr schadlos gespeichert oder abgeführt werden	Die hydraulische Funktionsfähigkeit ist nicht mehr gegeben	Sofortiger Handlungsbedarf ist gegeben
4	Überstau, Wasser kann (auch auf der Oberfläche) schadlos gespeichert oder abgeführt werden	Die hydraulische Funktionsfähigkeit ist stark eingeschränkt	Kurzfristiger Handlungsbedarf ist gegeben
3	Abfluss unter Druck, Wasserspiegel liegt noch unter der Deckeloberkante	Die hydraulische Funktionsfähigkeit ist zwar eingeschränkt, aber tolerierbar	Grundsätzlich kein Handlungsbedarf; bei Sanierungen, Änderungen im Abfluss oder Erweiterungen ist ein Handlungsbedarf gegeben
2	Abfluss unter Druck, der Wasserspiegel liegt nur unwesentlich über Rohrscheitel (Vollfüllung)	Die hydraulische Funktionsfähigkeit ist gegeben	Grundsätzlich kein Handlungsbedarf; bei Erweiterungen ist ein hydr. Nachweis erforderlich
1	Druckfreier Abfluss (Teilfüllung)	Die hydraulische Funktionsfähigkeit ist voll gegeben	Kein Handlungsbedarf

3.2.4.4 ÖWAV-Regelblatt 40

Falls nicht anders gekennzeichnet stammen alle Ausführungen dieses Kapitels aus dem ÖWAV-Regelblatt 40 (2010).

Das Regelblatt 40 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes aus dem Jahr 2010 befasst sich mit der Erstellung und der Anwendung eines Leitungsinformationssystems (LIS).

„Das LIS dient den Betreibern der Leitungssysteme für Planung, Bau und Instandhaltung sowie für betriebswirtschaftliche und organisatorische Aufgaben wie:

- *Lagenachweis der Leitungen, Einbauten und Anlagen,*
- *Bestandsnachweis,*
- *Nachweis der Netzzusammenhänge,*
- *Koordination mit anderen Leitungsbetreibern,*
- *Analyse und Ausgabe der Netz- und Anlagendaten,*
- *Visualisierung der Indirekteinleiter,*
- *Visualisierung des Zustands der Leitungen und Einbauten und*
- *Datenexport für technische Prozesse und betriebswirtschaftliche Auswertungen“ (ÖWAV RB 40, 2010).*

Im Zusammenhang mit der Erstellung eines hydrodynamischen Modells ist ein LIS dahingehend wichtig, da es einen Großteil der benötigten Daten bereits in digitaler Form zur Verfügung stellt und somit eine große Erleichterung bei der Modellerstellung bietet. Außerdem

ist dieses ein wichtiges Instrument in der Kanalbewirtschaftung (ÖWAV RB 40, 2010; Pöchhacker, 2018).

Durch das BMNT sind folgende Mindestanforderungen an die Dateninhalte bezüglich des Abwassers gestellt:

„Schächte:

- a) *Schachtbezeichnung, Strangzuordnung, Entwässerungssystem, Datum (z.B. Jahr der Inbetriebnahme oder Baujahr)*
- b) *Aufzumessende Punkte: Schachtdeckelmittelpunkt, Schachtboden/Gerinnesohe, Rohrsohle aller Zu und Abläufe*
- c) *Schachtbeschreibung: Schachtform (rund, eckig), Schachtabmessung*
- d) *Deckel: Material, Art (z.B. verschraubt, wasserdicht...), Abmessungen*
- e) *Zustandserhebung: Erhebungsmethode, Datum; Schaden: Schadensklasse (der Einzelschäden)*
- f) *Zustandsbewertung: Bewertungsmethode, Datum, Zustandsklasse*
- g) *Wartung: Tätigkeit, Wartungsintervall und Datum der letzten Wartung*

Haltungen:

- a) *Haltungsbezeichnung, Strangzuordnung, Entwässerungssystem, Datum (z.B. Jahr der Inbetriebnahme oder Baujahr)*
- b) *Länge*
- c) *Haltungsbeschreibung: Leitungsart (Freispiegel, Druckleitung, etc.), Gefälle, Fließrichtung*
- d) *Profilform, Innendurchmesser, Material*
- e) *Zustandserhebung: Erhebungsmethode, Datum; Schaden: Schadensklasse (der Einzelschäden)*
- f) *Zustandsbewertung: Bewertungsmethode, Datum, Zustandsklasse*
- g) *Wartung: Tätigkeit, Wartungsintervall und Datum der letzten Wartung*
- h) *Hausanschlüsse [...]*

Hausanschlüsse:

- a) *Lage der Einmündung, bei Einmündung in Schacht auch Höhe, Strangzuordnung*
- b) *Adresse, Name entsorgtes Objekt, Grundstücksnummer*
- c) *Anschlussart (häuslich, gewerblich, industriell), Dimension, Material, Datum (z.B. Jahr der Inbetriebnahme oder Baujahr)*

Sonderbauwerke:

- a) *Bauwerksbeschreibung: Bauwerksbezeichnung, Strangzuordnung, Datum (z.B. Jahr der Inbetriebnahme oder Baujahr)*
- b) *Höhe*
- c) *Geometrie: Länge /Breite/Höhe etc.*
- d) *Sonderbauwerksbeschreibung: Sonderbauwerksart (z.B. Regenüberlauf, Pumpwerk, etc.*
- e) *Zustandsbeschreibung, Erhebungsmethode, Datum; Schaden: Schadensklasse (der Einzelschäden)*
- f) *Zustandsbewertung: Bewertungsmethode, Datum, Zustandsklasse*
- g) *Wartung: Tätigkeit, Wartungsintervall und Datum der letzten Wartung“ (BMNT, 2018)*

Während durch diese Vorgaben die Art und das Umfang der Daten geregelt ist, gibt es leider keine einheitliche Richtlinie, welche das genaue digitale Datenformat vorgibt. Lediglich die Länder Steiermark, Kärnten, Oberösterreich und Salzburg haben sich dazu entschlossen eine gemeinsame Schnittstelle zu definieren, um die Daten in das geographische Informationssystem (GIS) der Länder zu übernehmen. In dieser Schnittstelle sind auch Möglichkeiten vorgeschlagen wie die Sachdaten organisiert werden können

Der wesentlichste Vorteil einer solchen Schnittstelle ist, dass nicht bei jeder Modellerstellung die bereits vorhandene Modelleinrichtung erheblich geändert werden muss, sondern vereinfacht gesagt müssen nur die Daten ausgetauscht werden (ÖWAV RB 40, 2010; Pöchhacker, 2018).

3.3 Prozess einer teilautomatisierten Modellerstellung

Das Projekt „*DATMOD – Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell*“ und ferner die Masterarbeit von Pöchhacker „*Methodische Vorgehensweise zur teilautomatisierten Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells als Grundlage für die hydraulische Zustandsbewertung*“ beschäftigten sich damit, einen Leitfaden bzw. einen Prozessablauf zu entwickeln, welcher den AnwenderInnen auf den Weg von den Daten bis zum Modell unterstützt und einen modellunabhängigen Arbeitsablauf

- zur Aufbereitung der vorhandenen Daten,
- zum Ableiten der Modellstruktur aus den Daten,
- zur Auswahl geeigneter Modellansätze,
- zum Aufbau der Modelle,
- zur Modellkalibrierung,
- zur Durchführung der Nachweisführung
- sowie zur Verknüpfung der Ergebnisse mit der Datenbasis

vorgibt (Muschalla et al., 2015; Pöchhacker, 2018).

Zusätzlich sind auch folgende Punkte auf dem Weg zu einem hydrodynamischen Modell zu beachten:

- Datenbedarf
- Datenerhebung
- Datenprüfung (Pöchhacker, 2018).

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Projekts DATMOD war es eine Methode zu entwickeln um die beiden Nachweise – nach ÖWAV Regelblatt 11 und 19 – mit nur einem Modell durchführen zu können und so eine kombinierte Nachweisführung zu ermöglichen (Muschalla et al., 2015).

„Traditionell werden hierfür unterschiedliche Modellierungsumgebungen verwendet, was sowohl für die Datenverwaltung als auch für die Modellierung einen (vermeidbaren) Mehraufwand bedeutet. Zusätzlich ist der benötigte Investitionsbedarf neben den lokalen Gegebenheiten auch von der Güte der Planung abhängig. Eine zielgerichtete Planungsmethodik verbunden mit einer gesteigerten Planungskompetenz kann direkt zur Reduzierung benötigter Investitionen beitragen“ (Muschalla et al., 2015).

So soll ein kosteneffektiver Planungsprozess unterstützt werden und eine Reduzierung des Investitionsbedarfs erreicht werden. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass der Aufbau und die Simulation eines hydrodynamischen Modells eine nicht wesentliche Menge an Daten bedarf bzw. diese generiert und daher ein funktionierendes Datenmanagementkonzept unumgänglich ist. Somit kann einerseits vermieden werden wichtigen Daten zu vergessen und andererseits falsche oder überflüssige Daten zu erheben (Pöchhacker, 2018).

3.3.1 Datenmanagement

Allgemein wird der Begriff des Datenmanagements definiert als alle organisatorischen, methodischen, konzeptionellen, technischen Maßnahmen zur Behandlung der Ressource „Daten“. Ziel eines Datenmanagements oder einer Datenverwaltung ist es für einen effizienten Umgang mit einer großen Masse an Information zu ermöglichen (ÖWAV RB 22, 2015; Pöchhacker, 2018).

Der DATMOD-Leitfaden gibt ein gutes Beispiel vor wie ein solches Konzept für eine hydrodynamische Modellierung aussehen kann:

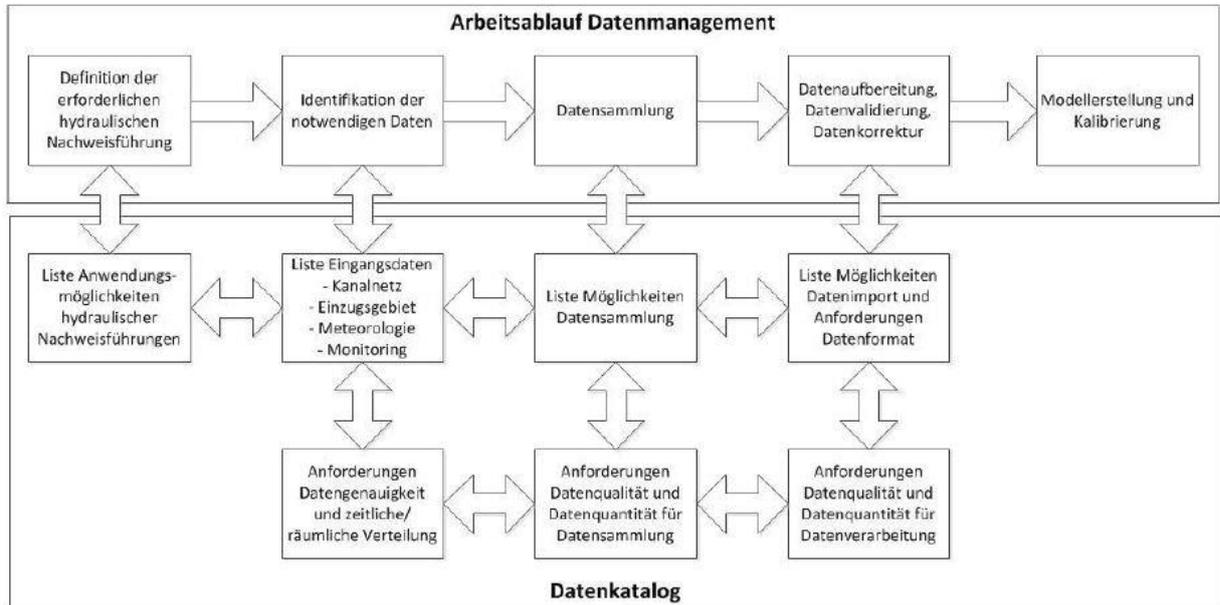


Abb. 5 Beispiel eines Datenmanagementkonzepts in der hydrodynamischen Modellierung (Muschalla et al., 2015)

In der obersten Ebene ist der grobe Arbeitsablauf einer hydrodynamischen Modellerstellung beschrieben und in den Ebenen darunter die dazugehörigen Listen der Daten bzw. die Anforderungen an diese (Muschalla et al., 2015; Pöchhacker, 2018).

3.3.2 Prozessablaufschemata

Von Pöchhacker (2018) wurde anhand eines Fallbeispiels und unter Anwendung des DATMOD-Leitfadens ein erstes Prozessablaufschemata einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung erstellt. Dieses unterteilt die Erstellung eines solchen Modells in die fünf Arbeitsschritte – Vorarbeiten, Datenerhebung, Datenprüfung – Aufbereitung, Modellierung und Kalibrierung.

Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen Punkte erläutert.

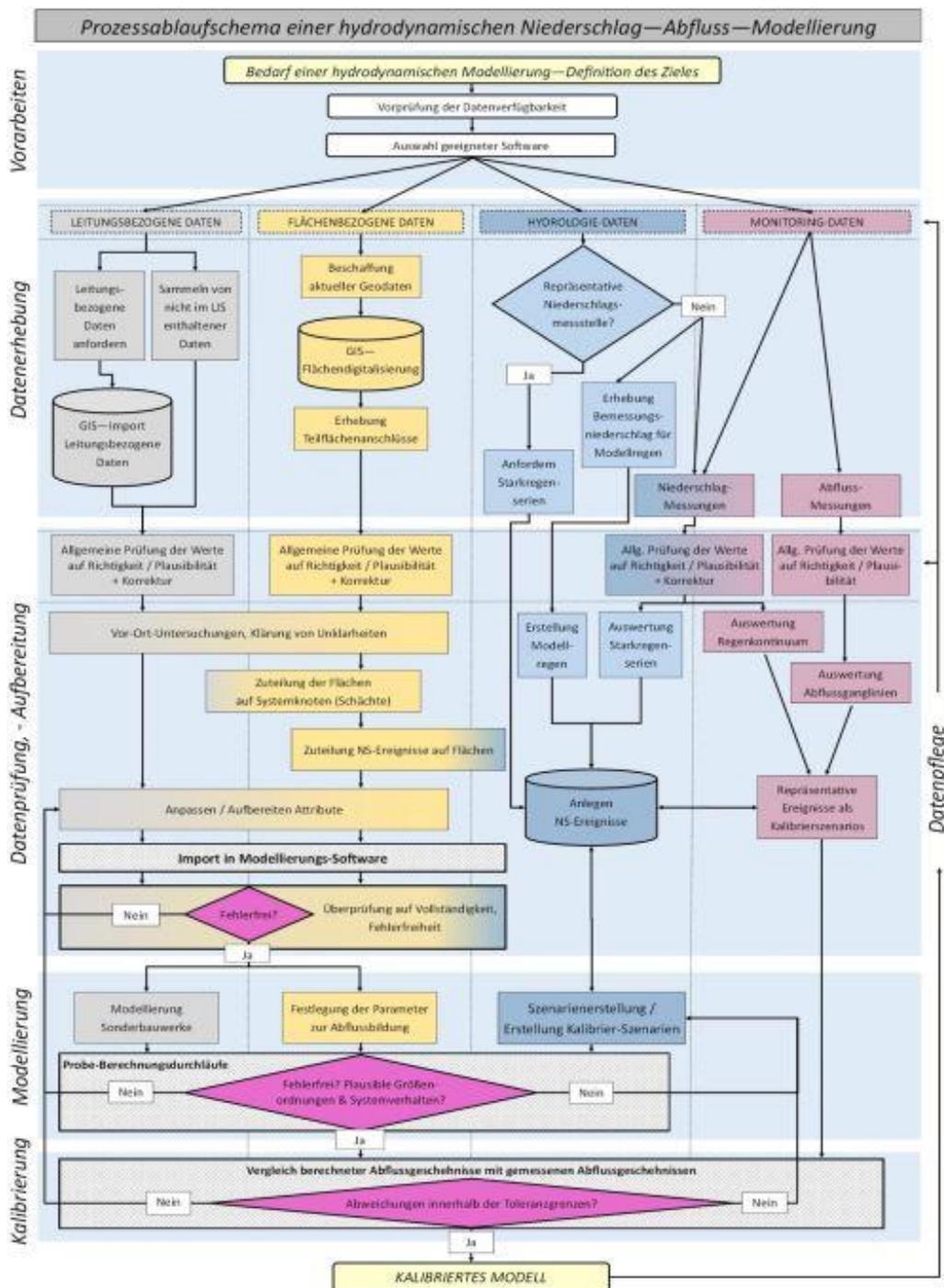


Abb. 6 Prozessablaufschemata nach Pöchhacker (Pöchhacker, 2018)

3.3.2.1 Vorbereiten - Bedarfserhebung

Anfänglich sollte eine genaue Erhebung des Planungs- und Sanierungsbedarfs erfolgen und es ist abzuklären ob aus rohrhydraulischer und/oder oberflächengewässerrelevanter Sicht Anpassungsbedarf besteht oder ob betriebliche Maßnahmen ausreichen (Muschalla et al., 2015).

Weiters ist zu eruieren welche Probleme im Entwässerungssystem auftreten und was mögliche Ursachen dafür sein können. Tatsächlich ist die Feststellung nicht einfach und die Probleme werden oft zu spät erkannt. Denn einzig Überstauung oder Entlastungen sind ohne technische Hilfsmittel erkennbar. Zur Identifikation der zu Grunde liegenden Probleme werden in der Regel TV-Inspektionen oder dergleichen benötigt und zur Feststellung von hydraulischen Problemen sind meist hydrodynamische Modelle von Nöten (Muschalla et al., 2015).

Es kann auch ein hydrodynamisches Modell erstellt werden, wenn noch keine merkbaren Probleme im Entwässerungssystem auftreten, um andere interessante Fragestellungen zu beantworten wie z. B. die Kopplung von Kanalnetzmodellen mit Entwicklungs- und Klimaprognosemodellen oder die 2-D Überflutungsberechnung in Verbindung mit Oberflächenmodellen (vgl. Kapitel 3.5) (Muschalla et al., 2015).

Aus der identifizierten Problematik kann dann abgeleitet werden, welche Daten und in welcher Form diese benötigt werden. Denn je nach Problematik, können bestimmte Daten gegebenenfalls unerlässlich aber in anderen Fällen auch nicht relevant sein (Pöchhacker, 2018).

In Abb. 7 ist dieser Zusammenhang dargestellt:



Abb. 7 Einfluss der Fragestellung auf den Datenbedarf (Pöchhacker, 2018)

Außerdem ist es als Grundlage eines hydrodynamischen Modells sinnvoll, sich die hydrologische und topografische Gegebenheit des zu modellierenden Gebiets anzusehen, um einen ersten Überblick zu gewinnen (ÖWAV RB 220, 2019).

3.3.2.2 Datenerhebung - Datenbedarf

Ganz gleich welche Fragestellung mit einem Modell beantwortet werden soll, lassen sich alle für eine hydrodynamische Modellierung notwendigen Daten in folgende vier Kategorien unterteilen:

- „*einzugsgebietsbezogene Daten*
- *leitungsbezogene Daten*
- *hydrologische Daten (Bemessungsniederschläge / Zeitreihen)*
- *Monitoringdaten (zur Modellkalibrierung)*“ (Muschalla et al., 2015).

In der Kanalbewirtschaftung werden im Zuge einer Modellierung oft die beiden Nachweise nach ÖWAV-Regelblatt 11 und 19 verlangt. Daher wurde der Datenbedarf für diese von Muschalla, et al. (2015) in einer Tabelle zusammengefasst und, den durch ein Leitungsinformationssystem nach ÖWAV-Regelblatt 40 zur Verfügung gestellten, Daten gegenübergestellt (Pöchhacker, 2018).

Tabelle 9 Vergleich der erforderlichen Daten nach ÖWAV-RB 11 & 19 und den durch RB 40 vorhandenen (ÖWAV RB 40, 2010)

Datenbedarf	Nachweis gem. RB 11	Nachweis gem. RB 19	Verfügbar gem. RB 40
Einzugsgebietsbezogene Daten			
• Bemessungsgröße der ARA	-	X	-
• EW angeschlossen an TS	X	X	(X)
• EW angeschlossen an MS	X	X	(X)
• Fläche des EZG	X	X	-
• Breite des EZG	X	-	-
• Gelände- / Flächenneigung	X	-	-
• Befestigungsgrad des EZG (befestigte und nicht befestigte Fläche im EZG)	X	X	-
• Art / Beschaffenheit der Fläche (zB Dach / Verkehr / etc.)	X	-	-
• Teil-EZG je MW-Entlastung	X	X	-
• Anfangsverlust	X	X	-
• Dauerverlust	X	X	-
Leitungsbezogene Daten			
• Bezeichnung, Lage und Geometrie der Mischwasserüberläufe (Wehrhöhe, etc.)	X	X	X
• Bezeichnung, Lage und Geometrie der Speicherbauwerke (Zu-, Ab-, Überlauf)	X	X	X
• Bezeichnung, Lage und Geometrie der Pumpensämpfe	X	-	X
• Pumpenkennlinien	X	-	-
• Ein- / Ausschaltpunkte der Pumpen	X	-	-
• Lage der Schächte	X	-	X
• Schachtbezeichnung	X	-	X
• Schachthöhen (GOK, Sohle)	X	-	X
• Schachtgeometrie	X	-	X
• Leitungsbezeichnung / -art	X	-	X
• Lage der Haltungen (Anfangs- / Endschacht)	X	-	X
• Profil / Durchmesser / Material (Rauigkeit) je Haltung	X	-	X
• Höhe Rohranfang und -ende	X	-	X
• Länge der Haltungen	X	Nur Haupt-sammler	X
• Gefälle der Haltungen	X	-	X
• Schieberausgangs- / -endstellungen	X	-	-
• Durchflussquerschnitte / -beiwerte von Regelorganen und Schiebern	X	-	-
Hydrologische Daten			
• Ganglinie der Regenintensität (Regenkontinuum, (Stark-) Regenserien, Modellregen)	X	-	-
• Ausgewertete Niederschlagsstatistiken	X	-	-
• Niederschlagszeitreihen	Für Starkre-genserie	X	-
Monitoring Daten			
• Trockenwetterabfluss	X	X	-
• Fließzeit im EZG	X	X	-
• Niederschlagsereignisse	X	-	-

In dieser Gegenüberstellung sind in der rechten Spalte jene Daten durch ein X gekennzeichnet, die durch ein LIS verfügbar sind und in den beiden anderen Spalten welche Daten für den jeweiligen Nachweis benötigt werden. Es ist deutlich erkennbar, dass das Vorhandensein eines LIS die Modellerstellung deutlich vereinfacht und somit wertvolle Zeit eingespart wird. Näheres zum Zusammenspiel eines LIS mit einer Kanalnetzmodellierung ist in 3.2.4.4 erläutert.

Es können für andere Simulationsaufgaben gegebenenfalls noch weitere oder andere Daten benötigt werden.

Eine ebenfalls wichtige Frage ist die nach der Form der Daten. Konkrete Fragestellungen hierzu sind:

- Auflösung (räumlich/zeitlich)
- Messgenauigkeit
- Zeitraum der Datenaufzeichnung
- Aktualität
- Format (Pöchhacker, 2018).

Demzufolge sollten zu allen Daten sogenannte Metadaten – wer, wann, wo und wie die Werte erhoben – angegeben werden, um Datensätze vergleichbar und nachvollziehbar zu machen. Weiters sind diese Angaben auch für die Beurteilung der Datenqualität von großer Wichtigkeit (Pöchhacker, 2018).

3.3.2.3 Datenbezug

Nachdem als einer der ersten Schritte im Datenmanagement definiert wurde welche Daten benötigt werden, ist es nun die Aufgabe herauszufinden, woher welche Daten bezogen werden können bzw. ob diese selbst erhoben werden müssen. Dies deutet schon darauf hin, dass ein Unterschied zwischen Datenerhebung und Datenbezug bzw. -sammlung besteht. Bei der Erhebung sind die benötigten Informationen noch nicht erfasst und müssen noch erstellt werden, während Datenbezug bedeutet, dass diese bereits von jemand anderen gesammelt wurden. Meist ist die Erhebung von Daten sehr zeitaufwendig und dadurch kostspielig, weshalb wenn möglich auf existierende Daten zurückgegriffen werden soll. Beispielsweise besteht durch den AuftraggeberIn oft Zugang zu Daten über sein Entwässerungssystem oder dieser hat selbst Daten erhoben. (Fuchs & Atzberger, 2014; Pöchhacker, 2018).

Eines der wichtigsten Datenquellen ist der bereits des Öfteren erwähnte Leitungskataster. *„Eine Sanierungs- bzw. Anpassungsplanung bei Kanalisationsanlagen ist erst dann sinnvoll möglich, wenn die wesentlichen Informationen zur Lage sowie deren Stamm- und Betriebsdaten bekannt und verfügbar sind. Digitale Leitungsinformationssysteme stellen in diesem Zusammenhang eine gute Möglichkeit der Datenverwaltung dar. Es liegt daher auf der Hand, nach Möglichkeit gleich das vorhandene LIS oder andere geographische Informationssysteme für die Datenaufbereitung heranzuziehen“* (Muschalla et al., 2015).

Bezug einzugsgebietsbezogener Daten

Um einen besseren Überblick über diese große Gruppe an Daten und deren viele Bezugsmöglichkeiten zu haben, wurde diese von Muschalla et al. (2015) in vier weitere

Tabelle 10 Unterteilung der einzugsgebietsbezogenen Daten (Muschalla et al., 2015)

Einzugsgebietsbezogene Daten	
Unterteilung	Datenbedarf
ARA-Daten	Bemessungsgröße der ARA
Einwohnerspezifische Daten	EW angeschlossen an TS
	EW angeschlossen an MS
Flächendaten	Fläche des EZG
	Breite des EZG
	Gelände- / Flächenneigung
	Befestigungsgrad des EZG (befestigte und nicht befestigte Fläche im EZG)
	Art / Beschaffenheit der Fläche (z.B. Dach / Verkehr / etc.)
	Teil-EZG je MW-Entlastung
Bodenkennwerte	Anfangsverlust
	Dauerverlust

Kategorien unterteilt und konkretisiert. Diese Aufteilung ist in Tabelle 10 zusammengefasst. Die Ermittlung der **ARA-Daten** (Abwasserreinigungsanlage) erfolgt üblicherweise durch Angaben der Kläranlagenbetreiber oder Planer (Fellner, 2015).

Die **einwohnerspezifischen Werte** können ebenfalls aus Angaben der betreffenden Gemeinde oder aus einem LIS generiert werden. Zu beachten ist dabei, dass die Daten der Gemeinde mit einer Unsicherheit bezüglich Fehlanschlüsse behaftet sein können (Fellner, 2015).

Die **Flächendaten** sind eine der wichtigsten Eingangsgrößen bei der hydrodynamischen Kanalnetzsimulation und stellen deshalb auch die umfangreichste Aufgabenstellung innerhalb der Datenerhebung dar (Muschalla et al., 2015).

Zuerst muss die abgeklärt werden, welche Genauigkeit gewünscht ist, um festzulegen welche Methoden und welche Datenquellen dafür herangezogen werden können (Muschalla et al., 2015).

Prinzipiell stehen für den Bezug der Flächendaten die Vor-Ort-Erhebung und die Fernerkundung mittels PC und entsprechender Software zur Verfügung. Die meisten Informationen können ohne größere Probleme vom Büro aus anhand von Orthofotos, Geländemodellen, Katastralmappen und dergleichen erfolgen. Diese können beispielsweise über die GIS-Systeme der Bundesländer bezogen werden.

Jedoch sollte dies durch eine Vor-Ort-Begehung ergänzt werden, um etwaig aufgetretene Fragen zu klären oder die tatsächlichen Anschlüsse von (Teil)-Flächen zu validieren (Muschalla et al., 2015; ÖWAV RB 220, 2019).

Wie bereits in Kapitel 3.1.2.2 Abflussbildung erläutert spielen bei der Abflussbildung verschiedene Verluste eine Rolle, die direkt oder indirekt von den **Bodenkennwerten** abhängig sind. Weiters muss jeder angeschlossenen und differenzierten Fläche ein Abflussbeiwert anhand der festgestellten Oberflächenbeschaffenheit zugeordnet werden. Die Literatur gibt hierfür viele Werte vor (Fellner, 2015; Muschalla et al., 2015).

Bezug leitungsbezogener Daten

Diese Kategorie kann wiederum in drei Gruppen unterteilt werden – in das Leitungssystem selbst, Sonderbauwerke und die maschinelle Ausstattung (Muschalla et al., 2015).

In Tabelle 9 ist deutlich erkennbar, dass alle Daten, die das **Leitungssystem** betreffen aus einem Leitungsinformationssystem generiert werden können. Außerdem können daraus oder aus Bauwerksplänen die Kennwerte von **Sonderbauwerke** entnommen werden (Pöchlhammer, 2018).

Bei den Informationen über die **maschinelle Ausstattung** handelt es sich vorwiegend um Pumpenkennlinien, Ein-/Ausschaltpunkte und Schieberstellungen. Diese Angaben können aus den Steuersystemen der Kanalisationsbetreiber entnommen oder bei deren MitarbeiterInnen erfragt werden (Muschalla et al., 2015).

Bezug hydrologischer Daten

Für den Bezug von Niederschlagsdaten gibt es die Möglichkeit diese eigens zu messen oder aus bereits verfügbaren Aufzeichnungen zu entnehmen. Quellen für Niederschlagsdaten sind die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), das digitale Portal des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, (eHYD) das Hydrographische Jahrbuch sowie die hydrographischen Landesdienste oder oftmals auch privaten Messstellenbetreibern (z.B. Kraftwerksgesellschaften).

Zu Niederschlagsmessungen vor Ort ist zu sagen, dass diese sehr zeit- und kostenintensiv, jedoch spätestens zur Kalibrierung des Modells erforderlich sind (Muschalla et al., 2015; ÖWAV RB 220, 2019; Pöchlhammer, 2018).

Um eine möglichst gute Datengrundlage zu haben, sollten grundsätzlich alle verfügbaren Niederschlagsmessstellen im Modellgebiet herangezogen werden. Falls in diesem Bereich keine zur Verfügung stehen, kann, wie oben erwähnt, der Niederschlag selbstständig gemessen werden oder es werden Messstationen der näheren Umgebung herangezogen. Bei der Auswahl dieser ist auf die Repräsentativität (Ähnlichkeit mit dem Modellgebiet, Entfernung, etc.) und, wie auch bei allen anderen Daten, auf die Datenqualität zu achten (ÖWAV RB 220, 2019).

3.3.2.4 Datenprüfung – Aufbereitung & Datenqualität

Nachdem alle Daten gesammelt wurden, ist es nötig, diese auf Vollständigkeit, Richtigkeit, Genauigkeit und Aktualität zu prüfen bevor mit der eigentlichen Modellerstellung begonnen wird (Pöchlhammer, 2018).

Die erste und gleichzeitig simpelste Überprüfung, die getätigt werden soll, ist jene auf Vollständigkeit. Diese kann einfach durch eine Visualisierung und durch einen Vergleich mit den Datenquellen erfolgen (Fuchs, 2014; Pöchlhammer, 2018).

Das Feststellen der Richtigkeit der Daten stellt schon eine wesentlich größere Herausforderung dar, denn hier bedarf es großer Erfahrung und guter Kenntnisse der tatsächlichen

Gegebenheiten, wie sie meist nur langjährige MitarbeiterInnen des Kanalbetreibers oder des damit vertrauten Planers aufweisen. Jedoch müssen Plausibilitätsüberprüfungen jedenfalls vorgenommen werden (Fuchs, 2014; Pöchhacker, 2018).

Korrigierte Daten sollen gekennzeichnet werden (Metadaten) (ÖWAV RB 220, 2019). Weiters können Fehler und Ungenauigkeiten auch auf Grund der großen Datenmenge und der unterschiedlichen Quellen resultieren.

Diese Ungenauigkeiten können vor allem in der hydrodynamischen Modellierung zu einem Problem werden, da sich Ungenauigkeiten in der Berechnung fortpflanzen und somit zu ungenauen Ergebnissen führen (Muschalla et al., 2015; Pöchhacker, 2018).

„Wenn lediglich die Fortpflanzung der Ungenauigkeiten in der weiteren Verwendung der Daten berücksichtigt wird, so gilt, dass das Ergebnis einer Berechnung keine bessere Datenqualitätsklasse aufweisen kann als die Eingangsparameter. Gegebenenfalls ist nach dem Einfluss der jeweiligen Eingangsparameter innerhalb des Rechenmodells zu gewichten“ (Muschalla et al., 2015). Diese Gewichtung kann durch eine Sensitivitätsanalyse bestimmt werden (Muschalla et al., 2015).

„Hinsichtlich der Bewertung der Güte von Daten haben sich verschiedene ein- oder zweidimensionale Klassifizierungssysteme etabliert. Die Datenherkunft oder Datenquelle beeinflusst dabei maßgeblich die Bewertung der Zuverlässigkeit, während die Art der Datengewinnung und die damit in Zusammenhang stehende Präzision der Erhebung die zu erwartende Genauigkeit festlegen“ (Muschalla et al., 2015).

Zusammenfassend bedeutet dies, dass ein Ergebnis einer modellgestützten Simulation immer eine gewisse Fehleranfälligkeit aufweist, dass der verfügbaren Datengrundlage nicht blind vertraut werden sollte und dass die Qualität und Prüfung der Daten einen bedeutenden Punkt in der Modellerstellung darstellen (Muschalla et al., 2015).

3.3.2.5 Modellierung

Als nächster Schritt kann die eigentliche Modellerstellung vorgenommen werden. Diese kann prinzipiell manuell oder (teil-)automatisch erfolgen (Muschalla et al., 2015).

Manuell

Bei der manuellen Modellerstellung werden alle Daten händisch in die Modellierungssoftware eingetragen und es empfiehlt sich nur falls es nicht möglich ist die Daten über eine Schnittstelle in das Modell zu importieren (Muschalla et al., 2015).

„Die prinzipielle Vorgehensweise bei der manuellen Modellerstellung kann grob wie folgt zusammengefasst werden: Nachdem das Hintergrundbild in das Modell geladen wurde, werden in einem ersten Schritt alle Schächte und Sonderbauwerke als Knoten digitalisiert. Die einzelnen Knoten werden dann durch die Haltungen verbunden. Im Anschluss werden die jeweiligen Stammdaten für die Schächte, Haltungen und Sonderbauwerke manuell nachgetragen. Alle relevanten Flächen müssen lagegenau oder schematisch definiert und entsprechenden Schächten zugeordnet werden“ (Muschalla et al., 2015). Anschließend müssen nur noch Regenbelastungen erstellt und diese den jeweiligen Flächen zugeordnet und weitere Rahmenbedingungen definiert werden (Muschalla et al., 2015).

(Teil-)automatisch

Falls alle Daten in der entsprechenden (digitalen) Form vorliegen, ist es natürlich bedeutend effizienter, diese über eine entsprechende Schnittstelle in das Modell zu laden. Oft müssen jedoch noch manuelle Nachbearbeitungen bzw. Ergänzungen z.B. in Bezug auf Sonderbauwerke oder dergleichen vorgenommen werden (Muschalla et al., 2015).

Dennoch müssen die importierten Daten danach validiert werden (Pöchlhammer, 2018).

Die Durchführung erster Modellrechnungen und die Abarbeitung der dabei auftretenden Fehlermeldungen dienen ebenfalls zur Identifikation und Korrektur von Daten- bzw. Modellierungsfehlern (Muschalla et al., 2015).

3.3.2.6 Kalibrierung

Als Kalibrierung wird der Prozess verstanden, bei dem das simulierte Systemverhalten mit gemessenen Werten verglichen wird und bei dem die Modellparameter bestimmt werden. Generell muss zwischen Modellparametern und Systemgrößen unterschieden werden. Letztere sind im realen System messbare nicht veränderbare Größen (Lidl, 2016; Muschalla et al., 2015).

Bei einem Modell ist es naheliegend, dass die Ergebnisse eine gewisse Diskrepanz zu den in der Realität gemessenen Werten aufweisen. Um diese Abweichung möglichst gering zu halten ist die Kalibrierung der Modellparameter essentiell (Lidl, 2016; Muschalla et al., 2015). Ein weiterer Punkt warum die Kalibrierung wichtig ist, ist die Zunahme von immer detaillierteren und genaueren Modellen (Vonach et al., 2018).

Für eine Modellkalibrierung sind also Messungen von Niederschlag und des Durchflusses oder Wasserstands an markanten Stellen erforderlich (Lidl, 2016; Muschalla et al., 2015; Vonach et al., 2018).

Ebenfalls möglich und weniger aufwendig ist die Messung der Mischwasserentladungsdauer (Montserrat et al., 2017).

Im Rahmen der Kalibrierung werden dann die Modellparameter soweit verändert, bis eine weitgehende Übereinstimmung mit den Messungen vorliegt. *„Allerdings wird es nicht möglich sein, eine exakte und vollständige Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zu erreichen“* (Muschalla et al., 2015).

Außerdem muss beachtet werden, dass die Niederschläge schon in kleinräumigen Bereichen beträchtlich variieren und deshalb die Niederschlagsmessstellen sehr sorgfältig ausgewählt werden sollen (Vonach et al., 2018).

Abschließend lässt sich sagen, dass auf eine Modellkalibrierung nicht verzichtet werden sollte, da das Modell sonst unbestätigte Ergebnisse liefert. Zumindest sollte ein Vergleich des Gesamtzuflusses zur Kläranlage erfolgen bzw. das Modell mit bekannten Kennwerten validiert werden (Muschalla et al., 2015; Tscheikner-Gratl et al., 2016).

3.4 Kombinierte Nachweisführung – DATMOD-Konzept

Die sogenannte kombinierte Nachweisführung hat zum Ziel, den Nachweis des Mindestwirkungsgrades von Kanalisationsanlagen nach ÖWAV RB 19 (2007) mit einem hydrodynamischen Modell, welches für den Nachweis nach ÖWAV RB 11 (2009) ohnehin benötigt wird, zu bewerkstelligen. Somit würden eine doppelte Modellerstellung und Modellpflege für ein und dasselbe Kanalnetz (hydrodynamisches Modell für den Nachweis nach ÖWAV RB 19 (2007) und ein hydrologisches Modell für den Nachweis nach ÖWAV RB 11 (2009)) entfallen (Muschalla et al., 2015).

Der Knackpunkt liegt dabei in der Durchführung von Seriensimulationen für längere Zeiträume mit einem hydrodynamischen Modell. Während in den simpleren hydrologischen Modellen meist mit durchgehenden Regenreihen, dem sogenannten Regenkontinuum, gerechnet wird muss für die kombinierte Nachweisführung mit einer ausgewählten Serie an Starkregenserien gearbeitet werden um die Rechenzeit auf Grund der Komplexität des Modells trotzdem in einem annehmbaren Maß zu halten (Leimgruber et al., 2018; Pöchhacker, 2018).

Der entscheidende Punkt ist daher eine Möglichkeit zu finden aus dem durchgehenden Regenkontinuum eine Serie von Starkregen zu extrahieren.

Um dies zu ermöglichen wurden folgende vier Parameter eingeführt, welche ein Regenkontinuum in einzelne Regenereignisse aufspalten:

- Threshold-time (Zeitabschnitt) [min]
 - Threshold-value (Niederschlagsmengen-Grenzwert) [mm]
 - Event gap (Ereignisabstand) [min]
 - Time Extension (Zeitverlängerung) [min]
- (Leimgruber et al., 2018; Muschalla et al., 2015).

Muschalla, et al., (2015) beschreiben die genau Vorgangsweise dieser Umwandlung folgendermaßen:

„Zunächst wird die Niederschlagsmenge für einen bestimmten Zeitabschnitt (threshold-time) berechnet. Liegt der erhaltene Wert über einem festgelegten Grenzwert (threshold-value), so wird der entsprechende Zeitabschnitt für die Regenereignisserie berücksichtigt. Der „event gap“ legt die minimale Zeit zwischen zwei Regenereignissen fest und stellt dabei sicher, dass sich zwei aufeinanderfolgende Regenereignisse nicht gegenseitig beeinflussen. Dazu sollte der „event gap“ auch die Leerlaufzeit des Entwässerungssystems (speziell bezüglich vorhandener Speicherbecken, Retentionsvolumina etc.) einschließen. Das Ende eines Überlaufereignisses muss nicht unbedingt mit dem Ende eines Regenereignisses übereinstimmen, sondern das Überlaufereignis kann auch darüber hinaus andauern. Die zur Simulation heranzuziehenden Regenereignisse werden daher verlängert (time extension), um auch den Nachlauf nach dem Regenereignis selbst zu simulieren.“

Diese Parameter wurden anschließend in einer globalen Sensitivitätsanalyse getestet, um einerseits die Simulationszeiten niedrig zu halten und andererseits die Entlastungsmengen hoch zu halten. Zusätzlich wurde ein Optimierungsverfahren an fünf Fallbeispielen mit unterschiedlichen Systemeigenschaften durchgeführt (Leimgruber et al., 2018; Muschalla et al., 2015).

Ein für die Praxis wichtiges Ergebnis dieser Optimierung sind allgemeingültige Parametereinstellungen, mit denen die Erstellung von Starkregenserien direkt erfolgen kann (Muschalla et al., 2015). In Tabelle 11 sind Bandbreiten für diese Parameter angegeben.

Tabelle 11 Bandbreiten für allgemeine Parametereinstellungen
(Muschalla et al., 2015)

Parameter	Wert
Threshold-time	400 - 500 min
Threshold-value	1,9 – 2,7 mm
Event gap	1400 – 1600 min
Time extension	50 – 200 min

Ein Beispiel einer solchen Optimierung durch die Verwendung von Regenserien anstatt eines Regenkontinuums sei hier angeführt:

Für diese Simulation wurde eine Niederschlagszeitreihe von 1825 Tagen (5 Jahren) verwendet. Wie in Abb. 8 sichtbar konnte diese auf ca. 427 Tage reduziert werden, ohne eine nennenswerte Menge an Überlaufvolumen zu verlieren. Weiters zeigt sich, dass bei einer nochmaligen Reduktion der Ereignis-Zeitsumme auf nur 135 Tage nur eine minimale Ungenauigkeit von ~1% generiert wird. „Das bedeutet, dass eine in ihrer zeitlichen Länge um 65% reduzierte Regenereignisserie ein Überlaufvolumen ergibt, welches nur um 1% reduziert wird“ (Muschalla et al., 2015).

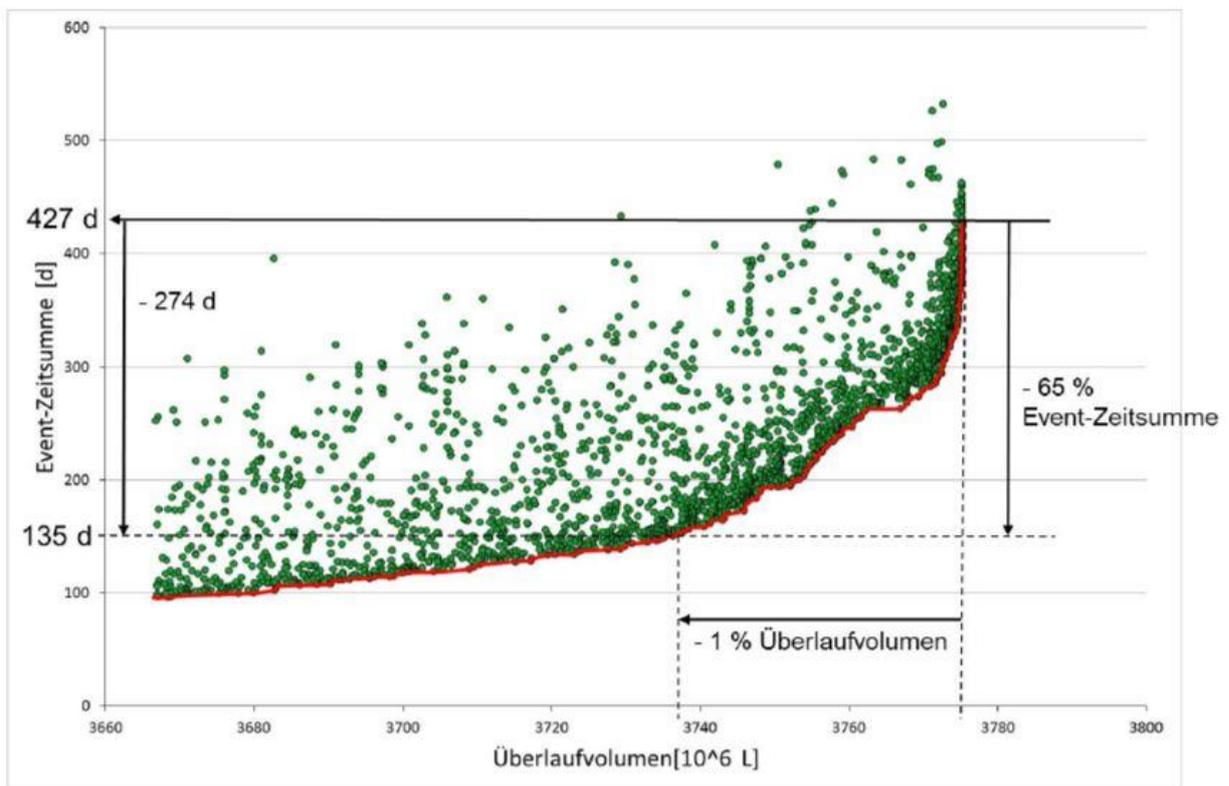


Abb. 8 Ergebnis des Optimierungsverfahrens (Muschalla et al., 2015)

Zusammenfassend kann man also sagen, dass eine kombinierte Nachweisführung zu einer deutlichen Zeit- und Kostenersparnis führt, da eine doppelte Modellerstellung und -wartung entfällt. Besonders für kleine und mittlere Kanalisationsunternehmen ergeben sich somit wesentliche Vorteile (Pöchlhammer, 2018).

3.5 Beispiele für Einsatzmöglichkeiten von hydrodynamischen Kanalnetzmodellen

In diesem Kapitel sollen eine Reihe von Nutzungsmöglichkeiten hydrodynamischer Kanalnetzmodelle aufgezeigt und beschrieben werden. Da diese per se meist sehr komplexe Themen sind, werden die einzelnen Anwendung in dieser Arbeit übersichtsmäßig vorgestellt. Für eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Themenbereich wird auf die zitierten Quellen verwiesen.

3.5.1 Nachweise nach ÖWAV Regelblatt 11 & 19 – Kombinierte Nachweisführung

Eine der zentralsten und bekanntesten Anwendung eines hydrodynamischen Modells ist der schon erwähnte Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV RB 11 (2009). Der zweite wichtige Nachweis für Kanalsysteme ist der Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungsbauwerke nach ÖWAV RB 19 (2007), welcher, wie in Kapitel 3.4 erläutert, durch die im DATMOD-Projekt entwickelte Methode auch mit einem hydrodynamischen Modell in einer annehmbaren Rechenzeit berechnet werden kann (Lidl, 2016; Muschalla et al., 2015).

Wie diese kombinierte Nachweisführung in der Praxis aussehen kann wurde an einem Fallbeispiel der Stadtgemeinde Weiz gezeigt (Lidl, 2016).

3.5.2 Hydraulische Zustandsbewertung nach ÖWAV-Regelblatt 22

Ähnlich der schon viele Jahre angewandten und in der Praxis etablierten Erhebung und Klassifizierung des baulich-betrieblichen Zustandes soll diese auch für den hydraulischen Zustand einer Kanalisationsanlage erfolgen. Die baulich-betriebliche Zustandsbewertung beruht dabei in der Regel auf den Resultaten der TV-Inspektionen, während die hydraulische Zustandsbewertung auf den Ergebnissen der Kanalmodellierung basiert. Denn nur wenn der Betreiber den baulich-betrieblichen, hydraulischen und umweltrelevanten Zustand des Entwässerungssystems kennt, kann er dieses auch bedarfsorientiert betreiben bzw. notwendige Sanierungen ganzheitlich planen (Ertl, 2015; Telegdy, 2019).

Aufbauend auf den Nachweis nach ÖWAV RB 11 (2009) kann eine hydraulische Zustandsbewertung mit demselben hydrodynamischen Modell nachgewiesen werden. Der Unterschied zum Nachweis nach ÖWAV RB 11 (2009) besteht darin, dass hier die genaue Höhe des Wasserstands im Schacht von Bedeutung ist und nicht lediglich ob ein Überstau stattfindet (Land Salzburg - Wasser, 2016; ÖWAV RB 11, 2009; ÖWAV RB 22, 2015).

Aus der Klassifizierung nach ÖWAV RB 22 (2015) lässt sich direkt ein Handlungsbedarf ableiten. Weiters wird durch diese Kategorisierung auch sichtbar, ob noch Raum für zukünftige weitere Einleitungen bleibt (Land Salzburg - Wasser, 2016; Telegdy, 2019).

Oftmals entsteht ein Überstau oder eine Überflutung durch Druck eines Rückstaus über mehrere Haltungen und somit ist der Ort des Auftretens nicht gleichzusetzen mit dem Ort des Handlungsbedarfs. Hier bringt diese Beurteilung den Vorteil mit sich, dass sich die hydraulische Auslastung der einzelnen Kanalstränge darstellen lässt. So lässt sich die eigentliche Ursache für einen Überstau erkennen und gezielt verbessern (Telegdy, 2019).

Diese Bewertung bringt also nur einen minimalen Mehraufwand zum Nachweis nach Regelblatt 11 mit sich, führt aber zu einem viel besseren Verständnis des Abflussgeschehens und vermittelt ein Bild der Zusammenhänge (Telegdy, 2019).

3.5.3 Kopplung von Kanalnetzmodellen mit Entwicklungs- und Klimaprognosemodellen

Urbanisierung und Klimawandel werden als die größten Probleme herkömmlicher Kanalnetze bezeichnet. Einerseits werden wie in Punkt 3.5.3.1 näher erläutert Extremereignisse immer häufiger, jedoch werden andererseits durch die Urbanisierung bzw. dem erhöhten Flächenverbrauch natürliche Überflutungsflächen zur Retention immer begrenzter. Infolgedessen wird die Planung und Optimierung von Entwässerungssystem mit Rücksicht auf den Klimawandel und anderen mitbeeinflussenden Faktoren wie beispielsweise der generellen Stadtentwicklung immer wichtiger (Arnbjerg-Nielsen et al., 2013; Yazdanfar & Sharma, 2015).

3.5.3.1 Auswirkung des Klimawandels auf die Siedlungsentwässerung

Die Tatsache, dass sich unser Klima verändert und es daher zu Änderungen im globalen Wasserhaushalt kommt ist mittlerweile unbestritten. Selbst wenn das ehrgeizige Ziel der Weltgemeinschaft die Erwärmung auf maximal 2 Grad zu begrenzen erreicht wird, wird es zu einem deutlichen Anstieg des Meeresspiegels und zur Zunahme von Dürreperioden kommen. Der Klimawandel ist daher eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (BBSR, 2016; MKULNV, 2011).

In unseren Breiten wird sich der Klimawandel vor allem durch eine Zunahme von Starkregenereignissen, wie in den letzten Jahren bereits bemerkbar war, auswirken und damit auch die Handlungsbereiche der Siedlungswasserwirtschaft betreffen. Erklärbar ist diese Zunahme von Starkregen ganz einfach durch das physikalische Prinzip, dass die warme Luft mehr Feuchtigkeit speichern kann (Lehmann et al., 2015; MKULNV, 2011).

Die Zunahme von starken Niederschlagsereignissen wird auch in einem Bericht des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus bestätigt. Dort heißt es: *„Die Häufigkeit von schwachen oder moderaten Niederschlagstagen hat im Österreich im Mittel abgenommen und jene von starken bis extremen Niederschlagsereignissen zugenommen“* (BMNT, 2017). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Studien des Climate Change Centre Austria (CCCA). Darin heißt es, dass es zu einer Zunahme der Sommerniederschläge und Winterniederschläge bis zum Jahr 2050 kommt, wobei vor allem die Intensitäten der Starkniederschläge zunehmen.

Wenn auch ein Konsens darüber besteht, dass eine Zunahme auf Grund der Erwärmung zu erwarten ist, sind diese Aussagen mit hohen Unsicherheiten behaftet (CCCA, 2016).

Um Klarheit zu schaffen ab wann man von einem Starkregen spricht, sind hier zwei Definitionen angeführt.

„Das European Severe Storms Laboratory definiert Starkregen *als einen Regen, der in derart großen Mengen fällt, dass signifikante Schäden verursacht werden, der dass, wenn keine Schäden bekannt sind, außerordentlich hohe Niederschlagsmengen innerhalb einer Periode von höchstens 24 Stunden gemessen wurden*“ (ESWD, 2015).

Der Deutsche Wetterdienst definiert diesen ähnlich, aber etwas exakter als Regen mit einer Menge von 15 bis 25 l/m² in 1 Stunde oder 20 bis 35 l/m² in 6 Stunden oder darüber hinaus (DWD, 2019).

Als Folge dieser starken Niederschläge, welche über den Bemessungsniederschlägen der Kanalnetze liegen, kann es in allen Bereichen eines Entwässerungssystem zu Überlastungen und in weiterer Folge zu Überflutungen kommen (LANUV, 2012; Stokman et al., 2015).

Genau diese Szenarien können und sollen mit Hilfe von hydrodynamischen Modellen simuliert werden, um Informationen zu erhalten, bei welchem Regenereignis es wo zu Überlastungen kommt und wieviel Wasser dabei aus dem Kanalnetz austritt. Im nächsten Schritt kann ein entsprechendes Maßnahmenkonzept entwickelt werden (ILPÖ, 2016).

Sicher sind sich die Experten dabei, dass eine pauschale Vorgaben für Bemessungszuschläge, sogenannte „Klimafaktoren“ nicht zielführend sind, da sie eine Sicherheit vortäuschen die in der Praxis auf Grund der großen Unsicherheiten in der Klimamodellierung möglicherweise nicht eingehalten werden können (LANUV, 2010; Schmitt, 2011).

Eine sehr simple Lösung wie Starkniederschläge berücksichtigt werden können, ist es Bemessungsniederschläge mit sehr hohen Wiederkehrzeiten zu verwenden. Während diese in der Planung im Normalfall im Bereich von zwei- bis zehnjährlichen Ereignissen liegen, spricht die Literatur von bis zu 50-jährlichen oder darüberhinausgehend Bemessungsniederschlägen (DWA-M 119 zit. bei von Horn et al., 2018; ILPÖ, 2016).

Andere Möglichkeiten die zukünftige Zunahme von Starkregenereignissen zu berücksichtigen sind simulierte Niederschlagsdaten für die Zukunft. Zwei solcher künstlich erzeugten Daten werden hier vorgestellt.

Abschätzung der Klimaentwicklung - Projekt Sudplan

Die Absicht des EU Projekts „*Sustainable Urban Development Planner for Climate - Sudplan*“ war es Planern die Möglichkeit zu geben, die denkbaren Änderungen des Klimas zu berücksichtigen und so auf die möglichen Auswirkungen vorbereitet zu sein. Es können diese Auswirkungen nicht exakt vorhergesagt werden, aber mit Szenarien abgedeckt werden. Dabei werden vier Themenbereiche behandelt:

- Allgemeine Informationen zu Klimaszenarien bis zum Jahr 2100
- Veränderungen in Regenmenge, -häufigkeit und jahreszeitlicher Verteilung
- Hydrologische Daten
- Entwicklung der Luftqualität (Sudplan, 2012).

Es wurde dabei ein webbasiertes Decision-Support System entwickelt, das Planungen in Hinblick auf diese vier Schwerpunkte unterstützen soll.

Dieses System besteht aus zwei Softwarekomponenten, einem Service, der Klimadaten und Modelle über standardisierte Schnittstellen zur Verfügung stellt, und einem sogenannten Szenario Management System, welches zur Benützung der Services und zur Darstellung und Verwaltung der Daten dient (Sudplan, 2012).

Für die Generierung zukünftiger Daten werden die Ergebnisse globaler Klima- und Prognosemodelle zuerst auf Europa umgerechnet. Als nächster Schritt werden diese herunterskalierten Daten durch lokale Daten des betrachteten Gebiets weiter verfeinert bis eine nutzbare Auflösung erreicht ist (Sudplan, 2012).

Wie dies in der praktischen Anwendung funktioniert ist anhand eines Fallbeispiels der Stadt Linz erläutert (Gamreith et al., 2012; Wendner, 2011).

Klimaszenarien für den Alpenraum mit Fokus auf Österreich - Projekt reclip:century

Antrieb für das Projekt „reclip:century“ war es, dass für Österreich keine hochauflösenden Klimaszenarien zur Verfügung standen. Denn die europaweiten Simulationen liegen nur in 20km Auflösung vor und andere Klimamodelle sind vor allem auf Deutschland konzentriert und bilden deshalb das Geschehen über den Alpen nur unzureichend ab (Loibl, 2011).

Deshalb wurde dieses zweistufige Projekt mit dem Ziel, am Ende der zweiten Phase Klimaszenarien für Österreich und die „Greater Alpine Region“ zu erstellen, ins Leben gerufen. Die Simulationen basieren auf zwei Treibhausgasanstiegsszenarien, unterschiedlichen Regionalmodellen und verschiedenen Globalmodellen und bilden die Entwicklung bis zum Jahr 2100 ab (Loibl, 2011; Loibl, 2013).

In der ersten Phase wurden Klimasimulationen mit Hilfe zweier Emissionsszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und globaler Klimamodelle bis zum Jahr 2050 erstellt. Das IPCC ist ein zwischenstaatliches Expertengremium und stellt eine objektive Informationsquelle zur Klimaänderung zur Verfügung. Diese Simulationen wurden anschließend mit regionalen Klimamodellen auf Österreich angepasst (Loibl, 2011; Umweltbundesamt, 2018).

In der zweiten Phase wurden wiederum Klimasimulationen mit denselben regionalen und globalen Modellen durchgeführt. Der Unterschied zur ersten Phase ist, dass nun mit neueren Emissionsszenarien Simulationen bis zum Jahr 2100 erstellt wurden.

Das Ergebnis dieses Projekts sind alpenweite, frei zugängliche, stündliche Niederschlagsdaten in einer 10x10km Auflösung (Loibl, 2011; Loibl, 2013).

Als Beispiel für eine Kopplung von hydrodynamischen Kanalnetzmodellen mit Klimaprognosemodellen kann ein Projekt des Regionalen Klimaanpassungsprogramm der Modellregion Dresden (REGKLAM) angeführt werden. Hier wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf das Überstauverhalten der Dresdner Kanalisation untersucht und für die identifizierten Gefahrenbereiche wurden nachhaltige Lösungsansätze erarbeitet. Weiters wurden mit Hilfe des hydrodynamischen Modells mögliche Erweiterungsszenarien und Kanalnetzsteuerungsstrategien untersucht, weshalb dies auch als Beispiel für andere Anwendungen herangezogen werden kann (REGKLAM, 2011).

3.5.3.2 Auswirkungen der gesellschaftsstrukturellen Änderungen

Da Entscheidungen über bauliche Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft für viele Jahrzehnte wirken, ist es wichtig gesellschaftsstrukturelle Änderungen in Entscheidungen über z.B. zukünftige Erweiterungsgebiete mit einzubeziehen. Es sollen jene Standorte und/oder Maßnahmen ausgewählt werden, die langfristig und nachhaltig ihre Wirkung zeigen (Addendum, 2017; Heiland et al., 2017; Umweltbundesamt, 2019).

Weiters werden unter anderem auf Grund des gestiegenen Umweltbewusstseins und um die Entwässerungssysteme zu entlasten, dezentrale Regenwasserbewirtschaftungssysteme immer wichtiger. Diese stellen jedoch einen erhöhten Flächenbedarf dar, welcher ebenfalls in der Raumplanung berücksichtigt werden muss (FlexAdapt, 2019; Freytag et al., 2018; Heiland et al., 2017).

Hier können hydrodynamische Kanalnetzmodelle unterstützend zur Standortfindung herangezogen werden, wenn beispielsweise die Frage auftaucht ob ein Kanal(-strang) die zusätzliche Belastung aufnehmen kann oder andere eine andere Lösung zur

Regenwasserbewirtschaftung gefunden werden muss. Dies kann z.B. im Rahmen einer hydraulischen Zustandsbewertung der Kanalstränge erfolgen.

So kann zu einem nachhaltigen Planungsprozess beigetragen werden, wenn auf sich eventuell ändernde Rahmenbedingungen Rücksicht genommen wird und die bestehende Infrastruktur berücksichtigt wird (FlexAdapt, 2019).

Um realistische Aussagen zur Auslastung des Kanalsystems zu erhalten, ist es wichtig eine umfassende Datenerhebung in Hinblick auf die Entwicklung einer Region durchzuführen. Weiters muss auch die zusätzliche Versiegelung bei einer Neuaufschließung beachtet werden. Ebenfalls möglich ist die Kombination einer Bevölkerungszunahme durch Verdichtung des bestehenden Siedlungsgebietes und durch Neubauten.

Am besten lassen sich diese Szenarien unter Einbeziehung aller Entscheidungsträger entwickeln, wobei die angestrebte und aktuelle Siedlungsstruktur definiert werden sollen (FlexAdapt, 2019).

Aus den genannten Gründen sollte die Planung von Erneuerungsmaßnahmen mit der Stadtentwicklung und dem Klimawandel abgestimmt werden, um eine nachhaltige und vorausschauende Konzeption zu gewährleisten (Mikovits et al., 2015).

Zu einem sehr ähnlichen Fazit kommt auch das Forschungsprojekt „*Standards for the dimensioning and assessment of reliable operations of area drainage systems under conditions of climate change*“ der Wrocław University of Science and Technology. Darin heißt es, dass die Risiken für Entwässerungssysteme von klimatischen und Urbanisierungsfaktoren bestimmt werden. Deshalb sollen diese bei der Planung von Neubau und Modernisierung der Kanalnetze berücksichtigt werden und mit einem hydrodynamischen Modell auf ihre Betriebssicherheit überprüft werden. In diesem Projekt wurde das Regenwasserkanalnetz der polnischen Stadt Wrocław mit einem hydrodynamischen Kanalnetzmodell hinsichtlich dieser Gesichtspunkte analysiert und anhand dieser Fallstudie wurden aktuelle Bemessungsstandards für Entwässerungssysteme erarbeitet (Kotowski & Nowakowska, 2018).

Ebenso gab es in Ungarn das Projekt „*Providing planning framework for climate adaptation to cities of Tát and Tokod*“, um das Niederschlagsmanagement zu verbessern und das Entwässerungssystem an die durch den Klimawandel gestiegenen Extremereignisse anzupassen und folglich Überflutungsschäden zu verringern. Zusätzlich zu einem hydrodynamischen Kanalnetzmodell wurden in diesem Projekt auch ein Grundwassermodell und ein Oberflächenmodell erstellt. Mit Hilfe des Kanalnetzmodells konnten die Kapazitäten und Probleme des Entwässerungssystems analysiert werden und anhand der beiden anderen Modelle wurden optimale Entwässerungs- bzw. Rückhaltesysteme im Hinblick auf die ober- und unterirdischen Wasserströme erarbeitet (DHI , 2014).

Trotz der Wachstumsbestrebungen vieler Regionen gibt es Standorte, die mit einem Bevölkerungsrückgang zu kämpfen haben und auch wachsenden Bestrebungen den Wasserverbrauch zu reduzieren dürfen nicht vernachlässigt werden. Diese Umstände haben natürlich einen Einfluss auf die Kanalisation und vor allem auf den Schmutzfrachttransport (Bailey et al., 2019; Hillenbrand et al., 2010).

Deshalb erforschte ein britisch-niederländisches Forschungsteam diese Auswirkungen anhand eines Fallbeispiels in der Region Wessex (Bailey et al., 2019).

Weiters gibt es bereits Applikationen bzw. Softwarewerkzeuge, welche diese zwei wesentlichen Faktoren kombinieren und ein Ergebnis liefern. Beispielhaft ist hier das Projekt „*DynAlp - Dynamic Adaptation of Urban Water Infrastructure for Sustainable City Development in an Alpine Environment*“ als eines dieser gekoppelten Planungsmodelle angeführt.

Bei der in diesem Projekt entwickelten Methode wird ein einfaches Stadtentwicklungsmodell an Ergebnisse aus Klimaprognosen in einem hydrodynamischen Kanalnetzmodell gekoppelt und anschließend die Resultate in einer GIS-Applikation dargestellt.

Es wurde auch ein Fallbeispiel anhand der Stadt Innsbruck ausgearbeitet (Mikovits et al., 2015).

3.5.4 Modellprädikative Kanalnetzsteuerung

Durch den zukünftigen Wandel der Wasserinfrastruktur bedingt durch allgemeine Entwicklungen wie dem Klimawandel und immer wichtiger werdenden sozio-ökonomische Aspekten hinsichtlich der Qualität und Nutzbarkeit der Gewässer ist eine Anpassung der bestehenden Systeme, um beispielsweise Mischwasserüberläufe zu verringern, gefordert. Mit diesen Optimierungen ist auch die Einhaltung der EU-Wasserrahmenrichtlinie oder anderer Vorgaben erreichbar. Weiters ist durch eine Abflusssteuerung die optimale Nutzung des im bestehenden System vorhandenen Speichervolumens möglich (Heusch, 2011; Raith et al., 2017).

Grundsätzlich muss laut Heusch, (2011) bei der Kanalnetzsteuerung zwischen einer lokalen und einer Verbundsteuerung unterschieden werden. Unter einer lokalen Steuerung versteht man die Regelung eines einzelnen Stellorgans durch Messdaten aus der unmittelbaren Umgebung. Solche Steuerungen sind beispielsweise Pumpen und kommen in fast jedem Entwässerungssystem vor. Bei der Steuerung eines gesamten Entwässerungssystems spricht man von einer Verbundsteuerung, bei der mehrere Mess- und Stellorgane aufeinander abgestimmt betrieben werden, sodass die Steuerung vom Gesamtzustand abhängt. Ein typisches Beispiel für eine Verbundkanalnetzsteuerung ist der Ausgleich einer unterschiedlichen Füllung von Mischwasserüberlaufbecken. Eine weitere mögliche Steuerungsvariante ist die integrale Abflusssteuerung, bei der neben dem Kanalnetz auch noch die Regelgrößen des Klärwerks hinzukommen. Eine weitere Unterscheidung gibt es bezüglich der Steuerungsalgorithmen – die Offline- und Online-Steuerung. Bei ersterer werden vordefinierte Regeln im System gespeichert und bei Eintreten eines Ereignisses ohne Verzögerung ausgeführt. Im Gegensatz dazu werden bei der Online-Steuerung die Betriebsregeln während des Betriebs ermittelt und angewandt. Sie wird daher auch „*Steuerung auf der Basis der Formulierung eines Optimierungsproblems*“ bezeichnet (Dittmer et al., 2017; Heusch, 2011).

Außerdem sollte angemerkt werden, dass die modellprädikative Kanalsteuerung nur eine Art der Echtzeitkanalsteuerung darstellt, jedoch eine ist, welche gut mit einem hydrodynamischen Kanalnetzmodell interagieren kann. Konkret wird hierbei das mathematische Modell mit den Daten aus dem hydrodynamischen Kanalmodell gefüttert, welches diese verarbeitet und wieder zurückgibt (Garcia et al., 2015; Halvgaard et al., 2017).

Bevor jedoch eine Kanalnetzsteuerung geplant wird, müssen Ziele definiert werden, die durch eine Optimierung des Kanalsystems erreicht werden sollen. Oft sind dies Vorsätze wie eine gleichmäßige Beaufschlagung der Kläranlage, die schon öfters erwähnte ausgeglichene

Nutzung von Speichervolumen oder Mischwasserentlastungen auf ein Minimum zu reduzieren. Nachdem die Ziele festgelegt sind, muss im Rahmen von Simulationsrechnungen validiert werden, ob und mit welchen Maßnahmen diese erreicht werden können.

Hierfür wird ein hydrodynamisches Modell des zu steuernden Kanalnetzes benötigt. Mit Hilfe des Modells können Steuerungsregeln erarbeitet und mit dem Ist-Zustand verglichen werden. Weiters ist ein Modell des Entwässerungssystem für die Optimierung und die Betriebsüberwachung obligatorisch (Dittmer et al., 2017; Heusch, 2011).

Als Beispiel lässt sich das Projekt „*Model predictive control for urban drainage: testing with a nonlinear hydrodynamic model*“ der Technical University of Denmark anführen, in dem genauso eine modellprädikative Abflusssteuerung an ein hydrodynamischen Kanalnetz gekoppelt wurde. Ziel war es die Mischwasserüberläufe in Aarhus zu reduzieren. Dieses Ziel wurde sogar überschritten, denn die Überläufe konnten bei einem als Vergleich herangezogenen Regenereignis um bis zu einem Viertel reduziert werden (Halvgaard et al., 2017).

Ein weiteres Beispiel dazu liefert die Stadt Dresden, die mit Hilfe einer Verbundsteuerung Mischwasserüberläufe in der Elbe drastisch reduzieren konnte. Grundlage für diese Optimierung bildete eine hydrodynamische Schmutzfrachtsimulation (Stadtentwässerung Dresden, 2005).

3.5.5 2D-Überflutungsberechnung – gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle

In Anbetracht der Häufung schadensträchtiger Ereignisse in der nahen Vergangenheit und einer zu erwartenden Zunahme von Starkregenereignissen in der Zukunft, werden methodische Ansätze des Risikomanagements in der kommunalen Überflutungsvorsorge immer wichtiger. Ein wesentliches Element solch einer Überflutungsberechnung stellen gekoppelte 1D Kanalnetz und 2D Oberflächenmodelle dar. Während ein eindimensionales Kanalnetzmodell an seinen Rändern nur die Information über das ausgetretene Volumen liefert, kann mit zweidimensionalen Oberflächenmodellen auch die Wasserbewegung an der Oberfläche ermittelt werden (HSB, 2017; Hürter, 2018).

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei gekoppelten Kanalnetz- und Oberflächenmodellen um eine Kombination aus einem Kanalnetzmodell und einem Oberflächenmodell. Die beiden Modelle sind über verschiedene Schnittstellen miteinander verbunden. Die präziseste Abbildung erfolgt bei sogenannten bidirektionalen Modellen, bei denen sowohl der Austritt, als auch der Eintritt in das Kanalnetz simuliert werden können. Es ist also ein Austausch in beide Richtungen möglich (HSB, 2017; Hürter, 2018; Kampfmann et al., 2007)

Exkurs Oberflächenmodell

Als Grundgerüst für jedes Oberflächenmodell dient ein Netz aus Geländepunkten – ein sogenanntes digitales Geländemodell (DGM). Aus diesem DGM wird mit Hilfe von triangulierten Rechennetzen oder rasterbasierten Methoden ein Oberflächenmodell erzeugt. Um anschließend den Oberflächenabfluss berechnen zu können wird jedem Netzelement eine Regenspende zugewiesen und über hydrologische Ansätze ein Effektivniederschlag ermittelt. Die Abflüsse an der Oberfläche werden daraufhin hydrodynamisch durch die Bilanzierung der Wasserstände unter Annahme zweier Hauptströmungsrichtungen (zweidimensional) berechnet (HSB, 2017).

Naturgemäß sind für die Erstellung dieser Modellkopplung neben den für das Kanalmodell benötigten Daten noch eine Anzahl weiterer Daten notwendig.

Die Grundlage für das Oberflächenmodell bildet das schon zuvor erwähnte DGM, jedoch sind für die Abbildung des Abflussgeschehens an der Oberfläche noch eine Reihe anderer Daten notwendig. Diese lassen sich in abflussleitende und abflusshindernde Strukturen unterteilen und betreffen vor allem die Landnutzung (Versiegelung, Beschaffenheit, Versickerungsleistung, etc.), die Oberflächenstrukturen (Bordsteinkanten, Mauern, Durchfahrten, Gebäude, etc.), Informationen zu urbanen Gewässern und dergleichen. Bei dieser Auflistung ist zu beachten, dass es sich hierbei lediglich um Basisdaten handelt und in Abhängigkeit der Fragestellung und der örtlichen Gegebenheiten weitere Informationen notwendig sein können (HSB, 2017; Hürter, 2018).

Die Kopplung der beiden Modelle erfolgt über definierte Kopplungspunkte zwischen dem Kanalnetzmodell und dem Oberflächenmodell. Im Regelfall erfolgt diese über die Schächte, da hier die Hauptpunkte des Kanalnetzmodells liegen und die beiden Modelle über diese interagieren. Erweitert werden kann die Kopplung noch über Straßenabläufe oder ähnlichen Netzteilen, sofern darüber digitale Informationen vorliegen. Neben dem Ort der Kopplung ist noch die Frage nach der Art der Kopplung interessant. Hier gibt es beispielsweise die Methoden die Abflussbildung nur über das Kanalnetzmodell, nur über das Oberflächenmodell zu berechnen oder in kombinierter Form zu berechnen (HSB, 2017; Hürter, 2018).

Ergebnis einer solchen Modellkopplung sind sehr umfassende und aussagekräftige Analysen zur Überflutungsgefährdung im urbanen Raum. Es sind dadurch lokale, objektspezifische Gefährdungsaussagen über Überflutungsschwerpunkte möglich. Daraus lassen sich in weiterer Folge Gefahren- und Risikokarten ableiten und Maßnahmen planen.

Nachteil ist die große Menge an erforderlichen Eingangsdaten und die dadurch auch hohe Rechen- und Speicherkapazität (HSB, 2017; Hürter, 2018).

„Mit der Methode der bi-direktional gekoppelten Abflusssimulation steht ein mächtiges und mittlerweile praktikables Instrument zur Verfügung, dem zugetraut werden kann, das komplexe Phänomen starkregeninduzierter Überflutungen in Siedlungsgebieten abbilden zu können. Nun kommt es auf den Anwender an, dieses Werkzeug überlegt und verantwortungsbewusst einzusetzen, um damit verlässlich warnen und elegant planen zu können“ (Hürter, 2018).

In Indien gab es dazu das Projekt *„Modeling urban floods and drainage using SWMM and MIKE URBAN: a case study“* in einer Stadt, welche immer wieder mit Überflutungen zu kämpfen hatte. Für diese Stadt wurde ein hydrodynamisches Kanalnetzmodell und ein 2D-Oberflächenmodell erstellt. Mit Hilfe dieser Modellierung konnten die Schwachstellen des Systems identifiziert und letztendlich so modifiziert werden, dass sogar ein 10-jähriges Ereignis schadlos abgeführt werden könnte (Bisht et al., 2016).

Diese Kopplung ist jedoch meist sehr komplex in der Erstellung und in der Anwendung und bedarf heute meist einer kommerziellen Software. Deshalb versuchte ein chinesisches Forscherteam eine Kopplung eines Oberflächenmodells und eines Kanalmodells mit zwei freizugänglichen Produkten mit einfacher Handhabung und einer großen Verbreitung zu generieren. Sie verwendeten hierzu die Software Storm Water Management Model (SWMM) and LISFLOOD-FP. Das Model wurde für einen Stadtteil von Dongguan erstellt und mit historischen Ereignissen verifiziert. Obwohl die Kopplung erfolgreich funktionierte, weist sie noch einige Unsicherheiten auf und es bedarf noch einer weiteren Forschung (Wu et al., 2018).

Ebenfalls in China wurde eine weitere Anwendung dieser gekoppelten Modelle in der Fallstudie „Urban inundation response to rainstorm patterns with a coupled hydrodynamic model: A case study in Haidian Island, China“ erprobt. Diese bezieht auch Auswirkungen des Klimawandels und der Urbanisierung mit ein, weshalb sie auch als Beispiel für die in Punkt 3.5.3 genannten Anwendungen dienen könnte.

Dieser Fallstudie liegt das Problem zugrunde, dass aufgrund der Urbanisierung und der immer häufiger auftretenden Extremereignisse die Schäden durch Überflutungen immer schwerwiegender werden. Deshalb versuchten sie mit Hilfe eines gekoppelten Modells Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Regenfall-Mustern und den darauffolgenden Überflutungen zu finden. So wurde festgestellt, dass sich die Überschwemmungen durch das Modell gut vorhersagen lassen und auch eine Prognose abgegeben werden kann, wie sich die diese bei einem bestimmten Regenmuster verhalten und es können Vorkehrungen getroffen werden (Chen et al., 2018).

Ein sehr ähnliches Projekt gab es auch in Guadeloupe, die Communauté d'Agglomération de Pointe à Pitre (CAP) hat mit mehreren Arten von Überflutungen zu kämpfen – mit Küstenhochwässern, Flusshochwässern und auch durch Überlaufen des Kanalsystems. Deshalb wurde unter anderem ein Modell des Kanalnetzes erstellt und mit einer Regenvorhersage gekoppelt. Dieses System erstellt automatisch eine Überflutungsvorhersage für eine 24 Stunden Periode und übermittelt diese an das Betriebspersonal, welches dann die nötigen Maßnahmen ergreifen kann. Außerdem können mit diesem integralen System die Schwachstellen lokalisiert und Schritte dagegen unternommen werden (DHI, 2016).

3.5.6 Conclusio

Entsprechend der Aufgabenstellung sind in diesem Kapitel verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten hydrodynamischer Kanalnetzmodelle aufgezeigt. Es zeigt sich, dass diese in einem breiten Spektrum eingesetzt werden können und in diesem auch gebraucht werden. Diese Bandbreite lässt sich grob folgenden Themenbereichen zuordnen:

- Nachweise nach ÖWAV RB 11 & RB 19 – auch kombiniert
- Die hydraulische Zustandsbewertung von Kanälen
- Die Anpassung an Klimaveränderung und gesellschaftsstrukturelle Veränderungen
- Die Kanalnetzsteuerung und -optimierung
- Die Kopplung von Oberflächenmodellen und Kanalnetzmodellen.

Wie die angeführten Beispiele zu den einzelnen Punkten zeigen, sind innerhalb dieser Bereiche vielfältige Anwendungsmöglichkeiten gegeben - ein solches Modell kann zum Schutz vor Überflutungen, zur Anpassung der Kanalisation an neue Gegebenheiten bezüglich Klimawandels und demografischen Wandels, zur Adaption an den Stand der Technik, zum besseren Systemverständnis, etc. herangezogen werden. Diese mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten zeigen sich auch in den Überschneidungen der einzelnen Beispiele mit den verschiedenen Bereichen. Weiters untermauern die angeführten Beispiele diese Behauptung und zeigen auch, dass hydrodynamische Modell weltweit angewandt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich durch die Anwendung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Optimierung,

Steuerung und Planung von Kanalnetzen bietet und darüber hinaus auch für Fragestellungen anderer Bereiche herangezogen werden kann. Demzufolge ist ein funktionierendes und sorgfältig gepflegtes Modell ein sehr nützliches und starkes Werkzeug des modernen Kanalbetriebs und kann zur Lösung verschiedenster Probleme respektive zu deren Vermeidung beitragen.

4. Material und Methoden

Diese Masterarbeit soll das von Pöchhacker (2018) vorgeschlagenen Ablaufschema einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung evaluieren und optimieren. Dies soll im Rahmen einer Modellerstellung für eine Marktgemeinde in Österreich erfolgen. In diesem Kapitel werden die angewandten Methoden und das zur Verfügung stehende Material vorgestellt.

4.1 Methodik

Anhand des Prozessablaufschemas von Pöchhacker (2018) soll ein hydrodynamisches Kanalnetzmodell für die Marktgemeinde erstellt werden.

4.1.1 Vorgehensweise zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage

Im Zuge der Modellerstellung soll besonders auf die Praxistauglichkeit und das schnelle Verständnis der Prozessschritte geachtet werden. Um die einzelnen Prozessschritte des Ablaufschemas von Pöchhacker (2018) auf diese zwei Attribute überprüfen zu können, erfolgt die Erstellung des Modells schrittweise nach dessen Schema und den Erläuterungen dazu. So kann sichergestellt werden, dass jeder Schritt überprüft und diskutiert wird.

Die dabei auftretenden Schwierigkeiten sollen aufgezeigt und um Lösungen dafür ergänzt werden. Des Weiteren sollen die Erkenntnisse aus dieser Masterarbeit für jeden Prozessschritt dargelegt werden. So soll ein optimiertes Ablaufschema entstehen, welches dem praktischen Vorgehen in der Modellerstellung entstammt. Darüber hinaus sollen Konzepte zur Vermeidung bzw. zum Lösen auftretender Probleme dargelegt werden.

Außerdem sollen Erkenntnisse der Masterarbeit, welche speziell auf der Durchführung in Mike Urban beruhen vorgestellt werden.

Im Rahmen der Beantwortung dieser Forschungsfrage soll auch kurz auf die Kompatibilität der Modellierungsprogramme Mike Urban und CePipe eingegangen werden.

4.1.2 Vorgehensweise zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage

Durch erste Simulationen mit verschiedenen Niederschlagsintensitäten sollen mögliche Schwachstellen im Kanalsystem der Marktgemeinde identifiziert und die Dynamik der Mischwasserüberlauf- und Regenrückhaltebecken veranschaulicht werden. Dies soll unter anderem zu einem besseren Systemverständnis beitragen und beantworten welche Erkenntnisse aus ersten Berechnungen mit einem unkalibrierten, jedoch validierten Modell gewonnen werden können.

Die Identifikation der möglichen Schwachstellen soll durch die Betrachtung des Überstauverhaltens in den einzelnen Systemknoten erfolgen. Dazu wird der theoretische Wasserstand über der Schachtdeckeloberkante visualisiert. Hier soll auch ein Vergleich zwischen den beiden Niederschlagsjährlichkeiten erfolgen. Die Dynamik der Becken soll durch das Analysieren der Füllverhalten erfolgen. Hierzu wird der Wasserstand über die Simulationsdauer und die abgeworfene Wassermenge in jedem Becken betrachtet.

4.1.2.1 Annahmen der Modellierung

Folgende Annahmen bzw. Methoden werden für die Modellierung verwendet.

Pumpwerke

Da sich die Pumpwerke alle im Schmutzwassersystem befinden, welches in einer Regenwettersimulation eine eher untergeordnete Rolle spielt, und da teilweise keine oder nur sehr vage Angaben zu diesen vorhanden sind, wird von einer exakten Abbildung dieser Abstand genommen. Die Pumpen werden deshalb mit einer konstanten Durchflussleistung von 50l/s modelliert, um sicherzustellen, dass das gesamte ankommende Abwasser weitergeleitet wird.

Becken

Alle Becken werden anhand von Bauwerksplänen und Angaben des Ingenieurbüros unter Zuhilfenahme des DATMOD-Leitfadens hydraulisch korrekt modelliert. So ist es möglich das jeweilige Verhalten dieser genau zu analysieren und zu verstehen.

Schmutzwasserabfluss

Um den Schmutzwasserabfluss möglichst korrekt abzubilden, werden die Einwohnerwerte pro Haushalt anhand der digitalisierten Dachflächen und der Einwohner ermittelt. Hier ergibt sich ein Wert von ca. zwei Personen pro Dachfläche. Laut Statistik Austria beträgt die Personenanzahl pro Haushalt jedoch 2,54 (Statistik Austria, 2019). Da dieser Wert den unünstigeren Fall darstellt, wird der höhere Wert für die Simulation herangezogen.

Anschließend wird in Bereichen des Mischsystems jeder Dachfläche dieser Personenwert zugeordnet und in Gebieten mit lediglich einem Schmutzwassersystem wird der daraus resultierende Abfluss den relevanten Knoten als Netzlast zugeordnet.

Der Schmutzwasserabfluss wird als kontinuierlicher Zufluss während der gesamten Simulationsdauer modelliert.

Niederschlagsereignisse

Es werden 1- und 2-jährige Euler Typ II Regen mit einer Dauer von 60 Minuten für die Simulationen verwendet. Die Regendauer ergibt sich nach der maßgeblichen Fließzeit im Kanalnetz.

Diese Regenereignisse sind in den Abbildungen 9 dargestellt.

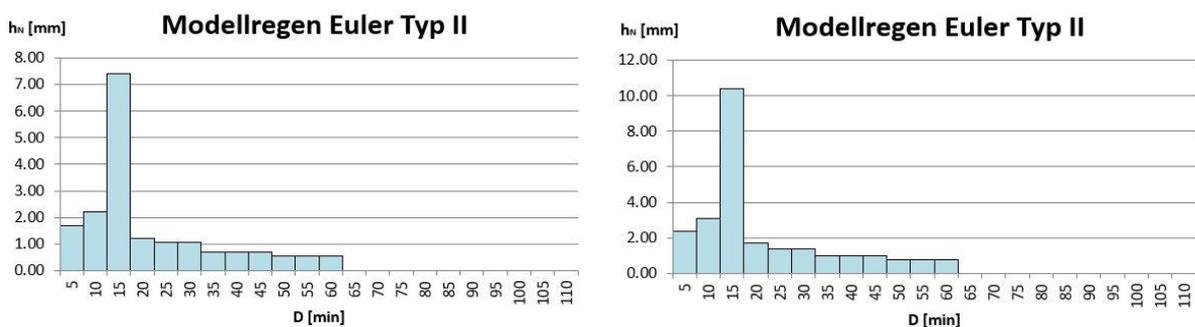


Abb. 9 1-jähriger und 2-jähriger Modellregen (eigene Darstellung)

Simulationsdauer

Für den Abflusstransport, welcher aus dem einjährigen Regenereignis berechnet wird, wird eine Simulationsdauer von sieben Stunden gewählt, da nach dieser Zeit das Regenüberlaufbecken Unternberg, welches sich als letzte Retentionsmaßnahme vor der Kläranlage befindet vollständig geleert ist. Für die Berechnung aus dem 2-jährigen Niederschlagsereignis ist hierzu eine Simultionsdauer von acht Stunden nötig.

Flächenzuteilung

Die Flächenzuteilung wird in einem Validierungsprozess mit dem Ingenieurbüro abgestimmt, um nicht angeschlossene Flächen möglichst auszuschließen.

Kalibrierung

Da für die Kalibrierung Messungen über einen längeren Zeitraum erfolgen müssen und dies über die Dauer der vorliegenden Arbeit hinausgeht, werden keine Monitoring Daten erhoben und auch keine Kalibrierung durchgeführt.

4.2 Material

Hier wird das der Modellerstellung zu Grunde liegende Material vorgestellt.

4.2.1 Fallbeispiel

Die Marktgemeinde, welche dem Fallbeispiel zu Grunde liegt, zählt etwa 1300 Einwohner. Sie ist außerdem Mitglied eines Reinhalteverbandes (RHV) und wird vom einem Linzer Ingenieurbüro in kulturtechnischen Agenden betreut.

Das Kanalnetz besteht aus insgesamt 41 km Haltungen und 1235 Schächten. Davon entfallen 22 km auf das Schmutz-, 10 km auf das Regen- und 9 km auf das Mischwassersystem. Daneben sind an Sonderbauwerken im Schmutzwassersystem 11 Pumpwerke verschiedener Größenordnungen, im Regenwassersystem drei Regenrückhaltebecken, im Mischwassersystem ein Mischwasserüberlaufbecken und ein Speicherbauwerk vorhanden. Ein Überblick über das Kanalsystem ist in Abb. 10 zu sehen.

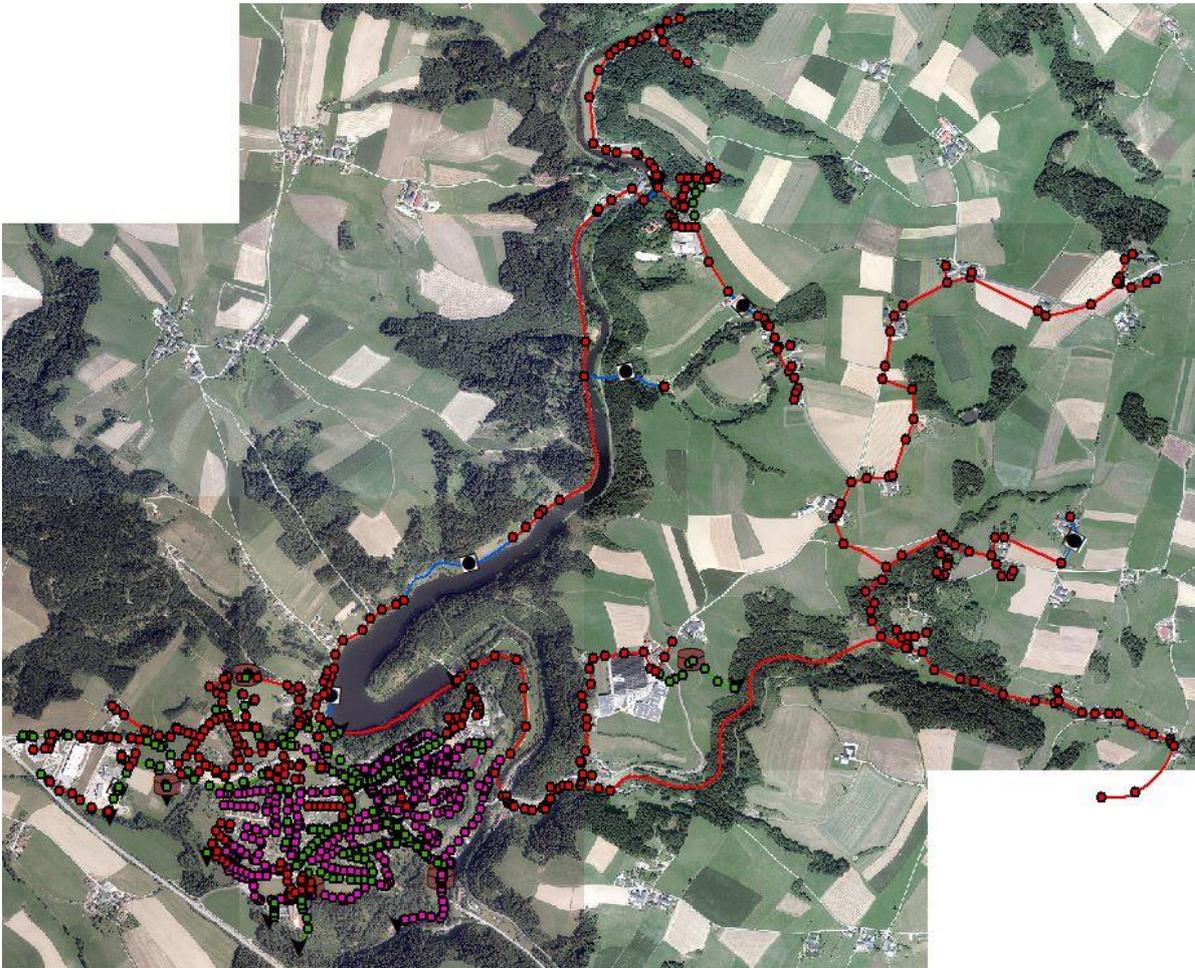


Abb. 10 Modellübersicht aus Mike Urban (eigene Darstellung)

Schächte und Haltungen des Schmutzwassersystems sind in Rot, jene des Regenwassersystems in Grün und die des Mischwassersystems in Magenta dargestellt. Die blauen Linien mit dem Kreissymbol stellen die Pumpwerke, welche in Mike Urban als Haltung definiert sind, dar. Die Aus- und Überläufe sind durch ein schwarzes Dreieck und die Becken durch einen brauen Zylinder symbolisiert.

Als Material zur Erstellung des Modells wurden vom Ingenieurbüro die Leitungsdaten aus dem LIS als Shape-Dateien, die Bauwerksdaten der Sonderbauwerke und deren Kennwerte zur Verfügung gestellt. Weiters stehen die Digitale Katastralmappe (DKM) der Gemeinde und die Orthofotos des Projektgebiets zur Verfügung. Zur Erstellung der Modellregen werden Bemessungsniederschläge der ehyd-Plattform verwendet.

4.2.2 Ablaufschema

Im dem zu evaluierenden Ablaufschema sind die wesentlichen Prozessschritte – Vorarbeiten, Datenerhebung, Datenprüfung – Aufbereitung, Modellierung und Kalibrierung von oben nach unten zeitlich angeordnet. Ab dem zweiten Prozessschritt sind diese auch nach der Datenart in waagrechtlicher Richtung unterteilt. So bildet sich ein Raster indem jeder Schritt einem übergeordneten Prozessschritt und einer Datenart zugeordnet werden kann. Grundsätzlich können und sollen alle vertikal angeordneten Prozessschritte parallel bearbeitet werden bis diese zueinander in Wechselwirkung stehen und sich mehr und mehr zu einem ganzheitlichen Modell verbinden.

4.2.3 Modellierungssoftware

Die praktische Umsetzung des Kanalnetzmodells erfolgt in der Modellierungssoftware Mike Urban des dänischen Anbieters DHI in Verbindung mit der GIS-Plattform ArcGIS, weshalb sich die beschriebenen Lösungsansätze auf diese Software beziehen. Es soll auch die Interaktion zwischen Mike Urban und dem Modellierungsprogramm CePipe untersucht werden. Da der Reinhaltverband (RHV) die Software Mike Urban verwendet, während das kooperierende Ingenieurbüro die Software CePipe zur hydrodynamischen Modellierung benützt, soll eine Lösung gefunden werden, um eine Kompatibilität zwischen diesen Programmen herzustellen.

4.2.3.1 Mike Urban

Mike Urban ist eine kostenpflichtige Software zur Modellierung von Wasserversorgungs- und Entwässerungssystemen des dänischen Unternehmens DHI (MIKE powered by DHI, 2017).

Die Software basiert auf einer ESRI Geo-Datenbank, was bedeutet, dass die in Mike Urban vorhandenen Daten auch in GIS-Programmen und jeglichen anderen Programmen, die auf Geo-Datenbanken zugreifen können, geöffnet und bearbeitet werden können. Es bietet sehr umfangreiche Möglichkeiten zur Modellierung von Systemen der Wasserwirtschaft und ist deshalb auch komplex in der Anwendung (MIKE powered by DHI, 2017).



Abb. 11 Logo Mike Urban (MIKE powered by DHI, 2017)

4.2.3.2 CePipe – CeWave

CePipe ist ebenfalls eine kostenpflichtige Software zur Modellierung von Freispiegelkanälen und Druckrohrnetzen des österreichischen Unternehmens CE-Tools. In Verbindung mit dem Modul CeWave können damit auch instationäre Simulationen durchgeführt werden (Civil Engineering Tools, 2020).



Die Software besticht vor allem durch die einfache Bedienbarkeit, und der Adaptierung für den Import von Daten des Leitungskatasters.

CeWave benützt zur Berechnung den freien Rechenkern der Software Storm Water Management Model (EpaSWMM) der US-Umweltbehörde (Civil Engineering Tools, 2020).

Abb. 12 Logos
CePipe und
CeWave (Civil
Engineering
Tools, 2020)

Dieses Programmpaket basiert nicht auf einer Geo-Datenbank und ist daher unabhängig von GIS-Programmen und im Ganzen schlanker aufgebaut.

CePipe in Verbindung mit CeWave ist ein unkompliziertes Werkzeug zur Simulation von hydrodynamischen Modellen und kann die grundsätzlichen Fragestellungen ausreichend beantworten.

5. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit vorgestellt werden. Die Gliederung ist auf die Ergebnisse zu der jeweiligen Forschungsfrage bezogen.

5.1 Evaluierung des Ablaufschemas

Da sich diese, wie zuvor erläutert, zum Großteil durch die Evaluierung des von Pöchhacker (2018) erstellten Ablaufschemas ergeben, ist die Gliederung diesem Ablaufschema entnommen. Eine Darstellung des jeweiligen Abschnittes soll ebenfalls die Zuordnung erleichtern.

5.1.1 Vorarbeiten

Der von Pöchhacker (2018) entwickelte Abschnitt „Vorarbeiten“ ist in Abb. 13 zu sehen.

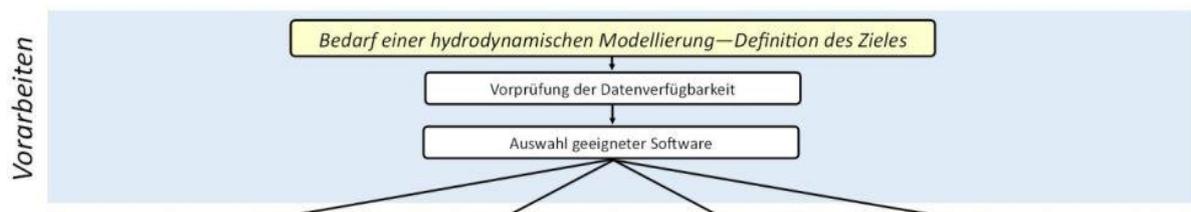


Abb. 13 Abschnitt Vorarbeiten laut Pöchhacker (2018)

Pöchhacker (2018) erwähnt unter dem Prozessabschnitt Vorarbeiten die Punkte, Bedarf einer hydrodynamischen Modellierung, die Definition des Ziels, Vorprüfung der Datenverfügbarkeit und die Auswahl der geeigneten Software.

5.1.1.1 Bedarf einer hydrodynamischen Modellierung – Definition des Zieles

Hier soll laut Pöchhacker (2018) entschieden werden, welche Modellart für die konkrete Fragestellung von Nöten ist. Außerdem sollen der Zeit- und Kostenaufwand sowie die Eignung des Personals abgeklärt werden.

5.1.1.2 Vorprüfung der Datenverfügbarkeit

Die Voraussetzung, dass alle benötigten Daten zum großen Teil vollständig und in gewünschter Qualität vorhanden oder zumindest erhebbare sind ist laut Pöchhacker (2018) von elementarer Bedeutung. Dies betrifft vor allem die leitungsbezogenen Daten. Fehlen wesentliche Teile der Stammdaten eines Kanalnetzes kann die Modellierung nicht abgeschlossen oder nur sehr unscharf abgebildet werden, denn das fertige Modell kann im besten Fall nur so genau sein wie die Daten, aus denen es besteht.

Da eine hydrodynamische Kanalnetzmodellierung jedoch einen sehr großen Aufwand bedeutet, sollte diese nur durchgeführt werden, wenn die Datenverfügbarkeit zuvor abgeklärt wurde.

5.1.1.3 Auswahl geeigneter Software

Zur hydrodynamischen Modellierung gibt es eine Reihe von kostenpflichtigen und kostenfreien Programmen, welche sich natürlich in der Tiefe der Anwendungsmöglichkeiten

und in der Anwendungskomplexität unterscheiden. Die Auswahl muss daher in Hinsicht auf die Fragestellung unter Einbezug selektiver Kriterien wie etwa den Kosten oder der Zeit erfolgen. Pöchhacker (2018) beschränkt seine Auswahl der Software auf Freeware Programme, weshalb unter anderem die für diese Masterarbeit verwendete Software Mike Urban nicht berücksichtigt wird.

5.1.1.4 Diskussion

Die von Pöchhacker (2018) vorgeschlagenen Prozessschritte sind mehrheitlich praxistauglich und verständlich. Jedoch zeigen die Erkenntnisse dieser Masterarbeit, dass zu Beginn einer hydrodynamischen Modellierung eine Besprechung mit allen Projektbeteiligten abgehalten werden soll. So können die grundlegenden Fragestellungen der Kanalnetzmodellierung im Vorfeld des Projekts beantwortet oder soweit wie möglich reduziert werden.

Im Allgemeinen sind dies Fragen zur:

- Zielsetzung - Fragestellung
- Datenverfügbarkeit
- Auswahl der geeigneten Software – Eignung der Hardware
- Fertigstellungsfrist

So kann im Vorfeld mit allen Beteiligten die konkrete Fragestellung definiert und auch die Datenverfügbarkeit abgeklärt werden. Des Weiteren ist durch dieses Treffen eine Kommunikationsebene hergestellt, auf welcher auftretende Fragen während des Modellerstellungsprozesses schnell und unbürokratisch beantwortet werden können. Außerdem hängt von der Fragestellung und der Zielsetzung ab mit welchem Aufwand während der Bearbeitung zu rechnen ist.

Ebenso muss der Bedarf einer hydrodynamischen Modellierung schon bestehen, während das Ziel einer solchen definiert werden soll.

Die Auswahl der Software hängt von den Projektbeteiligten (AuftraggeberIn, KooperationspartnerIn, etc.) und deren Präferenzen bzw. Kenntnissen in den jeweiligen Modellierungsprogrammen ab. Dieser Punkt ist auch eng mit der Zielsetzung und der Fragestellung verknüpft. Weiters sind damit auch die Kostenfrage und die Eignung der zur Verfügung stehenden Technik verbunden.

Im Besonderen soll bereits am Anfang eine realistische Zeitspanne gewählt werden, die auch gewisse Reserven beinhaltet. Pöchhacker (2018) erwähnt die Festlegung einer Frist zwar in seiner Arbeit, jedoch fehlt diese im dargestellten Ablaufschema.

Durch die Evaluierung ergibt sich folgender optimierter Abschnitt zu den Vorarbeiten.



Abb. 14 Optimierter Abschnitt Vorarbeiten (eigene Darstellung)

5.1.2 Datenerhebung

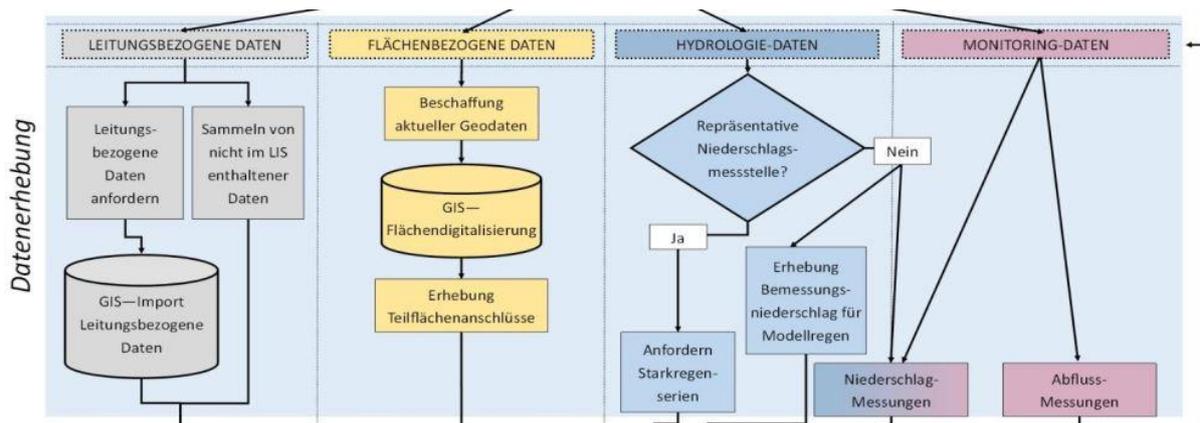


Abb. 15 Abschnitt Datenerhebung nach Pöchhacker (2018)

Ab diesem Abschnitt wurde das Ablaufschema von Pöchhacker (2018) nach den vier Datenarten aufgeteilt. Für jede Datenkategorie wurden anschließend Arbeitsschritte definiert (siehe Abb. 15). Die Arbeitsschritte können auch parallel ausgeführt werden.

5.1.2.1 Leitungsbezogene Daten

Da das Vorhandensein der Stammdaten schon in der Prozessphase „Vorarbeiten“ abzuklären ist, müssen diese laut Pöchhacker (2018) angefordert, um nicht vorhandene Daten ergänzt und in eine GIS-Software importiert werden.

Pöchhacker (2018) unterteilt diesen Prozessschritt weiter in die Punkte „Leitungsbezogene Daten anfordern“, „Sammeln von nicht im LIS enthaltener Daten“ und „GIS-Import Leitungsbezogene Daten“ gibt hierzu jedoch keine Erklärungen ab.

5.1.2.2 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Die eigentliche Datenerhebung beschränkt sich daher auf die Eruiierung von Daten und näheren Informationen zu Sonderbauwerken – die Lage dieser Bauwerke ist in den Datenbank des LIS enthalten. In erster Linie werden Bauwerks- und Schaltpläne von Mischwasserüberläufen, Speicher- und Pumpenbauwerken benötigt. Diese können ebenfalls vom Kanalisationsbetreiber oder dem Planungsbüro dieser Sonderbestandteile stammen.

Das Vorhandensein dieser Daten ist ebenso essentiell wie die grundlegenden Leitungsdaten, da das Modell sonst nur sehr abstrakt abgebildet werden kann.

5.1.2.3 Flächenbezogene Daten

Die Erhebung der flächenbezogenen Daten ist von Pöchhacker (2018) in die Punkte „Beschaffung aktueller Geodaten“, „GIS-Flächendigitalisierung“ und „Erhebung der Teilflächenanschlüsse“ aufgeteilt (siehe Abb. 15).

Beschaffung aktueller Geodaten

Pöchhacker (2018) erläutert diesen Punkt nicht näher. In Kapitel 3.3.2.3 sind jedoch Möglichkeiten für den Bezug dieser Daten vorgestellt.

GIS-Flächendigitalisierung

Zur Flächendigitalisierung schlägt Pöchhacker (2018) lediglich vor, diese mit der Differenzierung auf Teilflächenebene durchzuführen und erläutert die Problembereiche der Teilflächenerhebung.

Erhebung Teilflächenanschlüsse

Hier liegen laut Pöchhacker (2018) die größten Problembereiche in der Erhebung der flächenbezogenen, denn werden pauschal alle befestigten Flächen digitalisiert und als abflusswirksam betrachtet, ergibt sich ein Fehler in erheblicher Größenordnung. Pöchhacker (2018) kommt beispielsweise zu dem Ergebnis, dass in ländlichen, historisch gewachsenen Siedlungen lediglich 40-50% der Flächen tatsächlich an den Kanal angeschlossen sind. Pöchhacker (2018) widmet sich den Problemen der Teilflächenerhebung ausführlich.

5.1.2.4 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Um die Flächendigitalisierung praxistauglicher zu gestalten wurden in dieser Masterarbeit wurden Kategorien zur Unterteilung der einzelnen Flächenarten festgelegt. Hierbei wurde bereits versucht einen rationalen Kompromiss zwischen einer möglichst genauen Einteilung und dem dafür benötigten Zeitbedarf zu erzielen. Dabei wurde eine Unterscheidung in folgende fünf Kategorien vorgeschlagen:

- Schrägdächer
- Flachdächer
- Straßenflächen
- Zu-/Einfahrten (halbdurchlässige Flächen)
- sonstige befestigte Flächen.

Die Unterscheidung der Dachflächen nach ihrer Neigung erfolgte hier lediglich, da die Software Mike Urban dies für die Verwendung des Oberflächenabflussmodells „kinematische Welle“ verlangt und diese beim Import der Einzugsflächen divergiert werden müssen. Falls weitere sehr steile Flächen digitalisiert werden, ist auch hier eine Unterscheidung erforderlich. Grundsätzlich sind diese fünf Kategorien ausreichend um die benötigte Genauigkeit und eine flexible Bearbeitbarkeit gewährleisten zu können. Es können und sollen diese je nach den Gegebenheiten im Projektgebiet und den Anforderungen an das Modell verändert und/oder ergänzt werden.

Weiters wurde auch eine Herangehensweise zur Flächendigitalisierung mittels DKM entwickelt, welche in Kapitel 5.1.6 näher erklärt wird.

5.1.2.5 Hydrologie Daten

Pöchhacker (2018) bevorzugt die Verwendung von Daten einer das zu modellierende Gebiet repräsentierende Niederschlagsmessstelle, um daraus eine Starkregenserie zu generieren. Es soll nur falls keine repräsentative Niederschlagsmessstelle vorhanden ist ein Modellregen erstellt werden.

Dies ist auch die Methode, die im DATMOD-Leitfaden vorgestellt wurde und im Rahmen von Langzeitsimulationen ist dies auch der zu präferierende Ansatz.

5.1.2.6 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Um eine erste Überrechnung des Kanalnetzes durchführen zu können oder zum Lokalisieren von Schwachpunkten im Kanalsystem kann auch ein wesentlich einfacher generierbarer und in der eigentlichen Simulation schneller berechenbarer Modellregen herangezogen werden. Dieser kann wie in Kapitel 5.1.3.9 erklärt wird aus einem Bemessungsniederschlag gebildet werden.

5.1.2.7 Monitoring Daten

Hier schlägt Pöchhacker (2018) vor, Niederschlags- und Abflussmessungen durchzuführen, um die gemessenen Daten mit Ergebnissen aus dem Modell vergleichen zu können. So können die Modellparameter entsprechend angepasst und eine Kalibrierung gewährleistet werden.

Weiters ist zu sagen, dass die Kalibrierung eines Modells nur für eine bestimmte Anwendung und nicht im Allgemeinen vorgenommen werden kann. Hier wird auf den DATMOD-Leitfaden von Muschalla et al. (2015) verwiesen.

5.1.2.8 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden keine Niederschlags- bzw. Abflussmessungen durchgeführt, da auch keine Kalibrierung vorgenommen wurde. Es wurden jedoch die Zulaufmengen zur Kläranlage mit bekannten Werten validiert.

5.1.2.9 Diskussion

Die von Pöchhacker (2018) ausgearbeiteten Methoden zur Datenerhebung sind im Allgemeinen eine sehr gute erste Anleitung.

In dieser Masterarbeit wurden weitere Ansätze entwickelt, wie die Datenerhebung noch effektiver und somit kostensparender gestaltet werden kann. Zum einen zeigt sich in der Erstellung des Kanalnetzmodells, dass die fünf beschriebenen Kategorien beim Digitalisieren der Einzugsflächen ausreichen, um eine genügend genaue Differenzierung der Teilflächen zu erreichen. Zum anderen ist die Flächendigitalisierung mittels DKM eine sehr effektive und auch simple Lösung diese sehr zeitaufwendigen Arbeit zu verkürzen und doch exakt auszuführen. Ebenfalls muss hierzu erwähnt werden, dass die dadurch erzielte Genauigkeit ausreichend ist.

Eine weitere Hilfe zur Flächendigitalisierung stellt der entwickelte Entscheidungsbaum dar, mit welchem es vermieden werden soll, dass nicht benötigte Flächen digitalisiert werden.

Die Festlegung welche Flächen benötigt werden, hängt davon ab wie die spätere Modellierung der Flächenzuordnung bzw. der Niederschlagszuteilung vorgenommen werden soll.

Die Präferenz der Verwendung einer Starkregenserie, wie es im Ablaufschema von Pöchhacker (2018) vorgeschlagen ist, kann durch die Anwendung in diesem Fallbeispiel nicht bestätigt werden, da es für manche Fragestellungen ausreichend ist einen Modellregen zu verwenden.

Das Abflussschema wurde entsprechend dieser Erkenntnisse angepasst und ergibt sich für den Abschnitt der Datenerhebung nun wie in Abb. 16 ersichtlich ist.

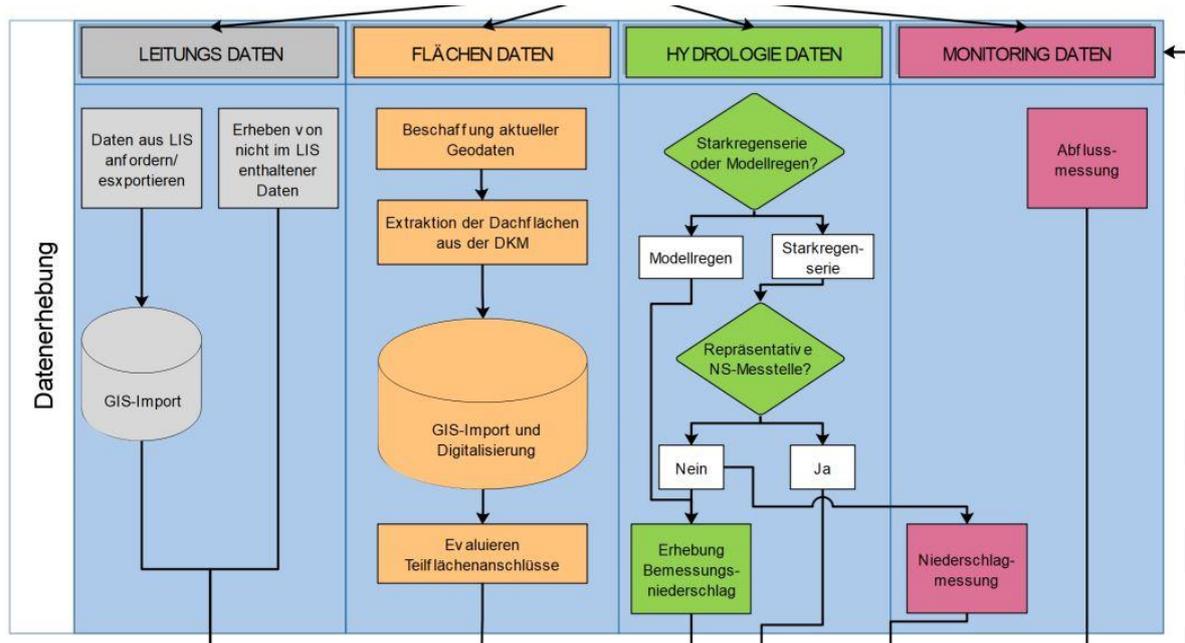


Abb. 16 Optimierter Abschnitt Datenerhebung

5.1.3 Datenprüfung und Aufbereitung

Dieser Prozessschritt ist ein äußerst wesentlicher im Ablauf einer hydrodynamischen Modellierung, da von diesem unter anderem abhängt wie exakt die Ergebnisse des fertigen Modells werden. Im Fallbeispiel zu dieser Arbeit zeigt sich auch, dass es von Vorteil ist, die Fehler vor dem Import in die Modellierungssoftware auszumerzen, da dies danach zwar noch möglich ist, jedoch mit einem größeren Aufwand verbunden ist. Die Prüfprozesse und die dazugehörige Aufbereitung betrifft die Daten aller Kategorien, weshalb die Unterteilung dieses Kapitels nicht nach der Datenart erfolgt, sondern nach den einzelnen Schritten. Ebenso ist es unerheblich, ob die Daten selbst erhoben oder von Dritten zur Verfügung gestellt wurden, da ohnehin alle geprüft und aufbereitet werden müssen und auch bei einer Selbsterhebung Fehler auftreten können.

Pöchhacker (2018) führt hier für alle Datenkategorien als ersten Schritt eine „Allgemeine Prüfung der Werte auf Richtigkeit bzw. Plausibilität und Korrektur“ an. Außerdem finden sich in diesem Prozessabschnitt viele Schritte wieder, die sich über mehrere Datenarten erstrecken (siehe Abb. 17).

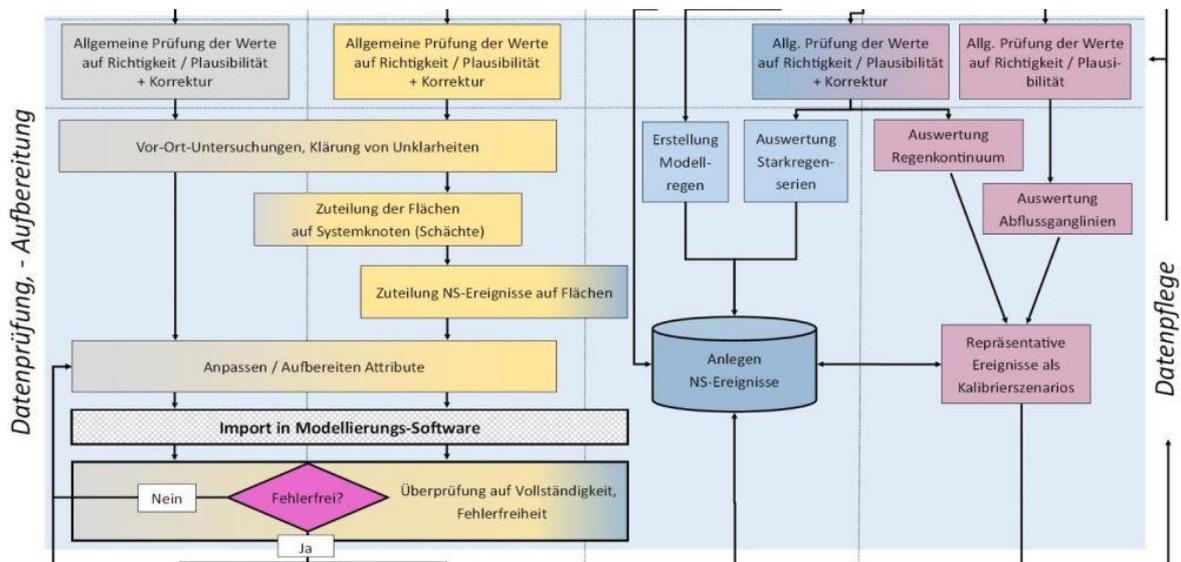


Abb. 17 Datenprüfung & Aufbereitung nach Pöchhacker (2018)

5.1.3.1 Prüfung auf Plausibilität und Richtigkeit

Die Prüfung der Daten wird von Pöchhacker (2018) ausführlich beschrieben und auf zwei Kontrollarten begrenzt. Dies sind zum einen optische Kontrollen und zum anderen sogenannte Abfrage-Kontrollen. Zu den Abfrage-Kontrollen führt Pöchhacker (2018) auch noch Abfragen im Datenbankmanager des GIS-Programms als eine weitere Möglichkeit an. Nach der Prüfung soll ein „Anpassen / Aufbereiten der Attribute“ durchgeführt werden. Weiters führt Pöchhacker (2018) noch die „Vor-Ort-Untersuchung“ als letzte Überprüfungsphase an.

5.1.3.2 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Im Allgemeinen kann die Praxistauglichkeit und das Verständnis der Vorgangsweise zur Datenprüfung von Pöchhacker bestätigt werden. Lediglich das umfangreichere und dadurch auch kompliziertere Abfragen im Datenbankmanager wird nach den Erkenntnissen aus dieser Masterarbeit nicht benötigt, da sich in der Attributauswahl bereits ausreichend Selektionsoptionen ergeben und in Verbindung mit der optischen Kontrolle der Großteil der Fehler gefunden werden sollte.

Die gefundenen Fehler sollen unter Rücksprache mit KennerInnen des Kanalisationsnetzes, wie dem zuständigen Ingenieurbüro oder einer/einem Gemeindebediensteten/r im Siedlungswasserbereich, korrigiert und aufbereitet werden.

Wichtig ist hierbei auch zu dokumentieren welche Werte im Vergleich zu den Ausgangsdaten wie verändert wurden, um später einen Überblick zu haben und um diese möglicherweise auch in der Ursprungsdatenbank korrigieren zu können. Diese Dokumentation kann wie in Abb. 18 aussehen.

	A	B	C	D
1	ID	Art	Änderung	Grund
2	SRW SA 1 Galgenberg-Auslauf	Knoten	Geländehöhe wurde interpoliert	unzureichend Daten vorhanden
3	SRW SA 1 Galgenberg-R1	Knoten	Geländehöhe und Sohlhöhe wurden interpoliert	unzureichend Daten vorhanden
4	RW Hauptschule	Knoten	wurde aus MU Modell gelöscht	einzelner Schacht ohne Kanalanschluss
5	41321KR184.AUS	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden
6	RRB0777.AUSL	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden
7	ARA	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	Kläranlage
8	41321KM012013	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden
9	41321KR092ES8	Knoten	Diameter wurde 0.5 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - EG
10	41321KR092ES9	Knoten	Diameter wurde 0.5 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - EG
11	S8-S7	Haltung	Diameter wurde angenommen	unzureichend Daten vorhanden - RW-Kanal Alter Berg
12	S4-41321KR017003	Haltung	Diameter wurde angenommen	unzureichend Daten vorhanden - RW-Kanal Alter Berg
13	Geschoß 4/5	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
14	Hauptschule	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
15	Hauptschule 1	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
16	Kantine	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
17	Heimathaus	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
18	Kindergarten	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
19	Zeughaus	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
20	Schulhof	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA
21	41321KM115Rathaus	Knoten	Diameter wurde 1 gesetzt	unzureichend Daten vorhanden - HA

Abb. 18 Dokumentation der Änderungen (eigene Darstellung)

5.1.3.3 Zuteilung der Flächen auf Systemknoten und Zuteilung der NS-Ereignisse auf Flächen

Als nächste Schritte führt Pöchhacker (2018) die Zuteilung der Flächen auf Systemknoten und die Zuteilung der Niederschlagsereignisse auf Flächen an. Dies ist im Ablaufschema von Pöchhacker (2018) vor dem Import in die Modellierungssoftware angesiedelt, da dies in einem GIS-Programm durchgeführt wurde.

5.1.3.4 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Da in dieser Masterarbeit die Modellierung in der Software Mike Urban durchgeführt wurde und diese Software die Zuteilungen selbst vornehmen kann, wurden diese erst nach dem Import in Mike Urban durchgeführt. Die Durchführung dieser Zuteilungen in Mike Urban wird in Kapitel 5.1.6 vorgestellt.

5.1.3.5 Import in die Modellierungssoftware

Der Import in die Modellierungssoftware wird von Pöchhacker (2018) nicht näher erläutert.

5.1.3.6 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Der Import in die Modellierungssoftware stellt in der Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells einen entscheidenden Schritt dar, da hier viele modellspezifische Fehler vermieden werden können. Um dies zu tun und um eine erste Basis zu bieten, auf der Erfahrungen aufgebaut werden können, ist in Kapitel 5.1.6 ein Ablauf der wichtigsten Schritte zum Import in die Software Mike Urban beschrieben.

5.1.3.7 Überprüfung auf Vollständigkeit und Fehlerfreiheit

Pöchhacker (2018) kommt zum Ergebnis, dass obwohl die Daten bereits auf Fehler überprüft wurden, diese keineswegs modellspezifisch fehlerfrei sind. Folglich können im Modell konkrete Fehler bzw. Konflikte auftreten, welche nicht auf falschen Daten beruhen, sondern mit denen das Programm nicht umgehen und somit keine Berechnung durchführen kann. In der Arbeit von Pöchhacker (2018) finden sich ausführliche Erklärungen zur Entstehung und eine Zusammenstellung dieser Fehler.

5.1.3.8 Erkenntnisse dieser Masterarbeit

Die modellspezifischen Fehler sind natürlicherweise von der Modellierungssoftware abhängig. Beispiele sind das Fehlen von Knoten an Haltungsenden oder bestimmter Werte, die in der Datenbank als nicht wichtig erscheinen, jedoch für die Modellberechnung aber essentiell sind. Zu Letzterem sei das konkrete Beispiel von Auslässen, welche lediglich aus einem Rohr bestehen genannt – hier gibt es in der Datenbank keine Schachtdeckeloberkante, in der Software Mike Urban werden diese jedoch benötigt.

Zum Beheben dieser modellspezifischen Fehler bietet die verwendete Software Mike Urban eine sehr hilfreiche Werkzeug an - die Fehlerprüfung.

In dieser Überprüfung werden die modellspezifischen Fehler aufgezeigt und können so Schritt für Schritt abgearbeitet werden. Weitere modellcharakteristische Fehler treten in den ersten Simulationsläufen auf. Die Software Mike Urban bietet allerdings auch hier eine übersichtliche Zusammenfassung („Error-Log“) dieser Fehler, womit diese korrigiert werden können (siehe Abb. 19). Manche dieser Fehler können auch schon im Import verhindert werden (vgl. Kapitel 5.1.3.5).

Verifiziert	Markiert	Typ E/W	E/W N	MUID	Beschreibung	Kommentar	Tabelle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_704	Haltungen: Unterer Anschlussknoten (Nach-) ist nicht spezifiziert.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_905	Haltungen: Unterer Anschlussknoten (Nach-) ist nicht spezifiziert.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_704	Haltungen: Oberer Anschlussknoten (Vor-) ist nicht spezifiziert.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_905	Haltungen: Oberer Anschlussknoten (Vor-) ist nicht spezifiziert.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12021	Link_748	Haltungen: Sonderprofil-ID ist nicht spezifiziert.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	W	12020	Link_996	Haltungen: Die Haltung hat ein negatives Gefälle.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_115	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_216	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_309	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_564	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_306	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_307	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_396	Haltungen: Anschlusshöhe am oberen Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_141	Haltungen: Anschlusshöhe oben liegt oberhalb der Geländehöhe.		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_74	Haltungen: Anschlusshöhe am unteren Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_141	Haltungen: Anschlusshöhe am unteren Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_160	Haltungen: Anschlusshöhe am unteren Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E	12020	Link_223	Haltungen: Anschlusshöhe am unteren Knoten liegt unterhalb dessen Schihöh		msm_Link

Abb. 19 Fehlerprüfung Mike Urban

5.1.3.9 Erstellung von Modellregen

Von Pöchhacker (2018) wurde die Erstellung von Modellregen genau erläutert und eine Excel-Datei erstellt, mit welcher sich diese automatisiert erstellen lassen.

5.1.3.10 Erkenntnisse aus dieser Masterarbeit

Durch die Erklärungen zur Erstellung und der Excel-Datei lässt sich dieser problemlos erstellen, jedoch konnte die Datei optimiert werden.

Diese wurde dahingehend verbessert, dass nun die Daten aus der Downloaddatei des ehyd-Portals direkt in die Excel-Berechnungsdatei eingefügt werden können und nicht mehr händisch eingetragen werden müssen.

Hierzu wurde die Eingabemaske so verändert, dass die Daten direkt in den gelben Bereich kopiert werden können und sich die Tabelle der Dauerstufen und Wiederkehrintervalle automatisch berechnet (siehe Abb. 20). Hierzu mussten alle Berechnungsschritte adaptiert werden.

The image shows two parts of an Excel spreadsheet. On the left is a table with columns for 'DAUER', 'DAUE TYP', and various time intervals (1T, 2T, 3T, 5T, 10T, 20T, 30T, 50T, 75T, 100T). On the right is a form titled 'Eingabe Hydrologie' with fields for 'eHyd- Gitterpunkt: 2200', 'R: /X-Koord.: 46206 m', and 'H: /Y-Koord.: 5370886 m'. Below the form is a table with columns for 'D [min]' and various time intervals (1, 2, 3, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 75, 100.0). A red arrow points from the 'eHyd- Gitterpunkt' field to a yellow callout box containing the text: 'Willkommen! Eingaben in den gelben Feldern vornehmen!! Have fun!'.

Abb. 20 Optimierte Eingabemaske Modellregen (eigene Darstellung)

5.1.3.11 Diskussion

Resümierend zum Abschnitt „Datenprüfung und Aufbereitung“ sind einige Teile davon in der Arbeit von Pöchhacker sehr ausführlich bearbeitet und daher auch schnell verständlich und praxistauglich sind. Hierzu zählen vor allem die Fehlerprüfung und die Erstellung des Modellregens, wenngleich auch hier Optimierungen im Zuge dieser Masterarbeit gefunden werden konnten.

Als nicht praxistauglich stellten sich die Zuteilung der Flächen auf Systemknoten und die Zuteilung der Niederschlagsereignisse in der GIS-Software vor dem Import in die Modellierungssoftware dar. Deshalb wurde zu diesen Schritten die Vorgangsweise in dieser Masterarbeit unter Verwendung des Modellierungsprogramms Mike Urban vorgestellt. Ebenso wurde eine Vorgangsweise für die Prüfung des fehlerfreien Imports in die Software vorgestellt.

Da Pöchhacker (2018) keine Erläuterungen zum Import in eine Modellierungssoftware vorgibt, wurde im Rahmen dieser Masterarbeit eine erste Anleitung für diesem Schritt aufgestellt, um in Zukunft die Praxistauglichkeit und das schneller Verständnis dieses wesentlichen Punktes voranzutreiben.

Keine Aussagen können zur Auswertung von Starkregensereien, eines Regenkontinuums oder von Abflussganglinien getätigt werden, da diese Schritte weder von Pöchhacker (2018) noch im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt wurden. Diesbezüglich wird auf den DATMOD-Leitfaden von Muschalla et al. (2015) verwiesen.

In Bezug auf das Ablaufschema und die dazu verfassten Erläuterungen von Pöchhacker (2018) ergeben sich in diesem Abschnitt, trotz der kaum zu optimierenden Datenprüfung, die größten Unterschiede. Diese zeigen sich vor allem in der Zuteilung der Flächen zu Systemknoten, der Zuweisung des Niederschlagsereignisse auf die Einzugsflächen und in der Art der Regenereignisse. Der optimierte Abschnitt der „Datenprüfung und Aufbereitung“ ist in Abb. 21 zu sehen.

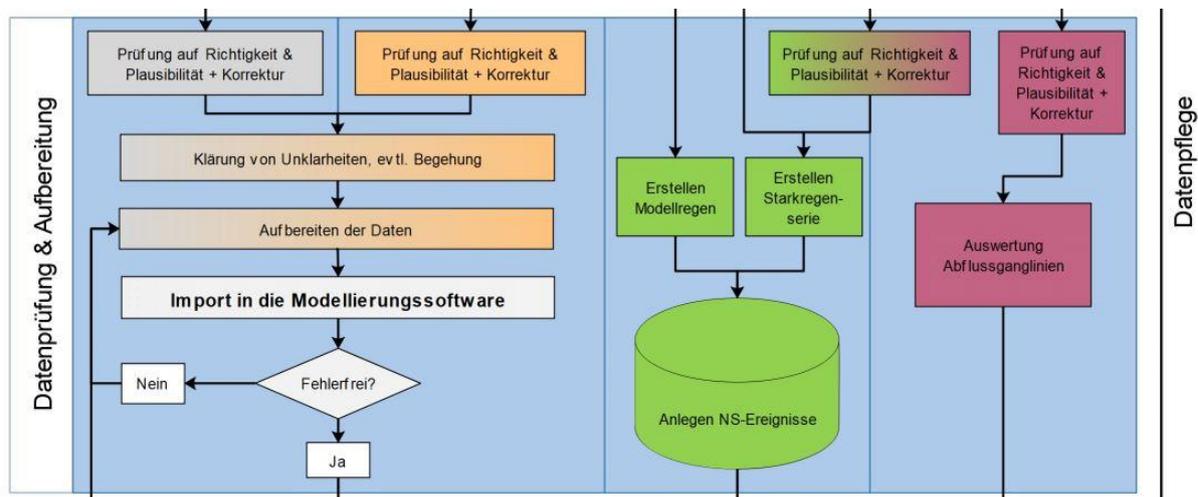


Abb. 21 Adaptierter Abschnitt Datenprüfung & Aufbereitung (eigene Darstellung)

5.1.4 Modellierung

Als einer der letzten Prozessschritte in der Erstellung eines Modells erfolgt der Punkt „Modellierung“. In diesem Abschnitt findet laut Pöchhacker (2018) die „Modellierung der Sonderbauwerke“, die „Festlegung der Parameter zur Abflussbildung“ und eine „Szenarienerstellung“ statt. Ebenso sollen erste „Probe-Berechnungsläufe“ durchgeführt werden. Der Ausschnitt aus dem Ablaufschema zu diesem Abschnitt ist in Abb. 22 zu sehen.

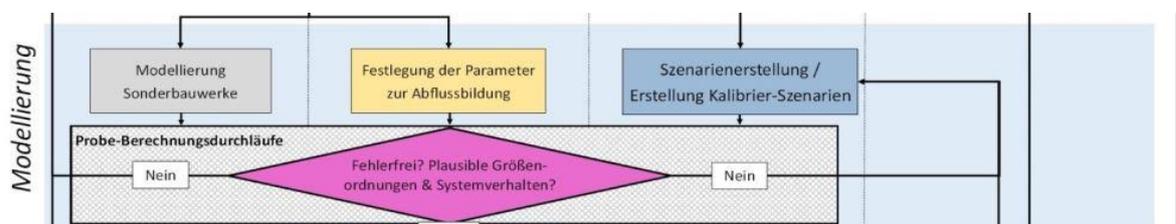


Abb. 22 Abschnitt Modellierung nach Pöchhacker (2018)

Pöchhacker (2018) gibt in seiner Arbeit jedoch keine genaueren Angaben zu diesen Punkten, weshalb eine Evaluierung nicht durchgeführt werden kann. Zu den einzelnen Punkten werden deshalb die Erkenntnisse aus dieser Masterarbeit angeführt.

5.1.4.1 Modellierung der Sonderbauwerke

Als Sonderbauwerke im Bereich des Entwässerungssystem können alle Art von Becken und Pumpwerken mit der dazugehörigen Steuerung betrachtet werden. Um diese im Modell

korrekt nachbilden zu können, sind wie bereits erwähnt entsprechende Pläne und Datenblätter nötig.

Eine Anleitung wie diese Modellierung in Verbindung mit der Software Mike Urban erfolgen kann ist in Kapitel 5.1.6 angeführt.

5.1.4.2 Festlegung der Abflussparameter

Die Festlegung der Abflussparameter erfolgt in der Modellierungssoftware Mike Urban im Rahmen des Imports, indem für jede digitalisierte Einzugsfläche ein durchlässiger und undurchlässiger Anteil definiert wird. Auch hierzu ist in Kapitel 5.1.6 ein Leitfaden verfasst.

5.1.4.3 Durchführen von Proberechnungsläufen

Als letzten Schritt, bevor die Kalibrierung des Modells auf ein bestimmtes Szenario erfolgt, müssen „Probesimulationen“ durchgeführt werden um eine korrekte und stabile Berechnung zu gewährleisten. Bevor diese durchgeführt werden können, müssen alle Fehler der softwareinternen Fehlerüberprüfung ausgemerzt sein.

Sind diese Testsimulationen erfolgreich und fehlerfrei ist das unkalibrierte Modell fertig und kann für die verschiedenen Szenarien angepasst, kalibriert und verwendet werden. Im Rahmen dieser Probeberechnungsläufe soll das Modell auch validiert werden.

5.1.4.4 Diskussion

Im Vergleich zum Ablaufschema von Pöchhacker (2018) setzen sich hier die Änderungen aus dem vorhergehenden Abschnitt fort. Wie beschrieben, fallen in diesen Prozessschritt nun die Zuteilung der Flächen zu Knoten und die Zuteilung der Niederschlagsereignisse auf Flächen. Ansonsten sind die von Pöchhacker (2018) angeführten Abläufe praxistauglich. Der optimierte Abschnitt „Modellierung“ ergibt sich somit wie in Abb. 23 dargestellt.

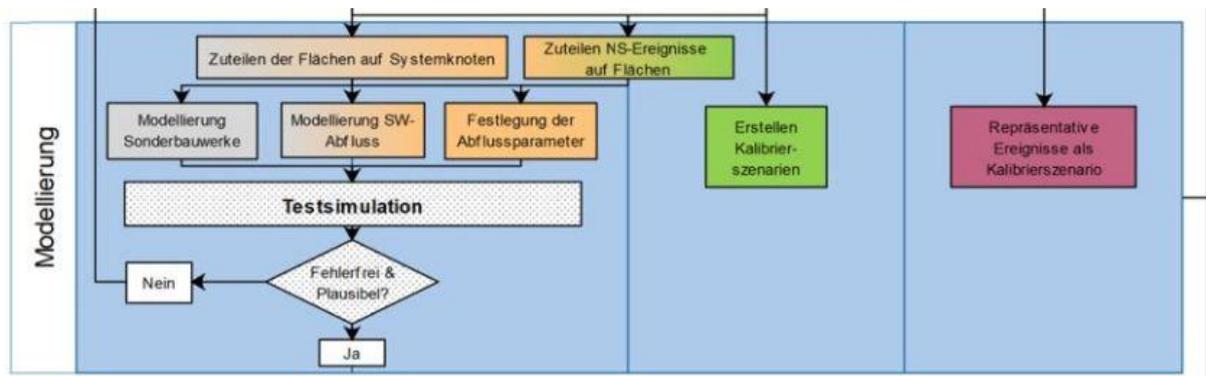


Abb. 23 Optimierter Abschnitt Modellierung (eigene Darstellung)

Bevor das hydrodynamische Kanalnetzmodell für ein bestimmtes Szenario kalibriert wird, sollte das Grundszenario validiert werden. Am einfachsten ist dies möglich, indem Schwachpunkte bzw. besonders markante Stellen mit den realen Vorkommnissen verglichen werden. Dies kann zum einen durch einen Austausch mit SystemkennerInnen oder durch Beobachtung der Auswirkungen eines Niederschlagsereignisses erfolgen. Der Unterschied zur Kalibrierung besteht darin, dass dazu keine Messungen erforderlich sind. Jedoch ersetzt die Validierung die Kalibrierung des Modells nicht. Dieses ist nur ein erster Schritt in diese Richtung.

5.1.5 Optimiertes Ablaufschema

Das Endergebnis der Evaluierung des von Pöchhacker (2018) ausgearbeiteten Ablaufschemas und der dazugehörigen Ausführungen bildet dieses angepasste Flow-Chart.

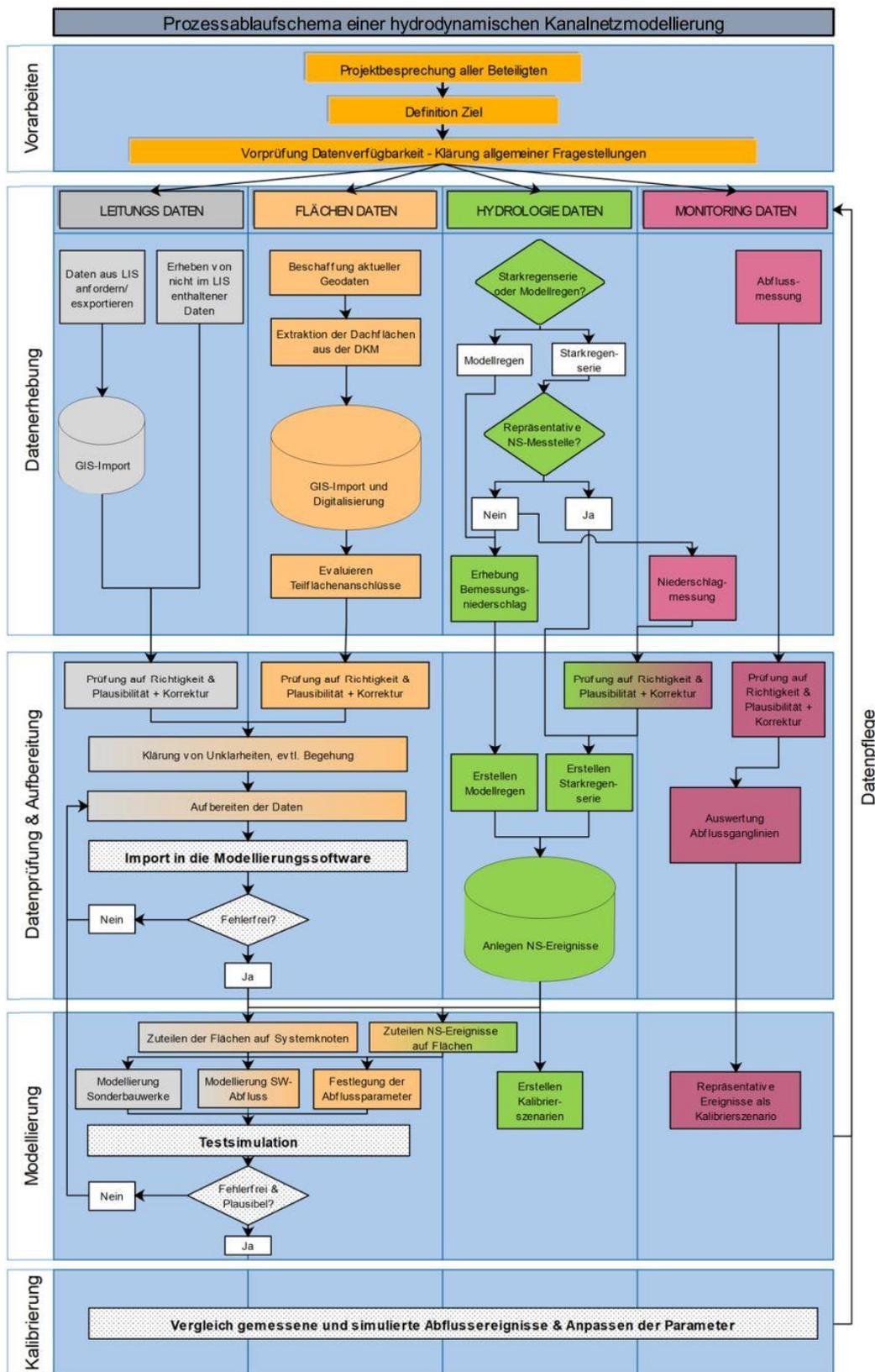


Abb. 24 Optimiertes Ablaufschema (eigene Darstellung)

Ausgehend von Pöchhackers (2018) identifizierten Prozessschritten und den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse wurden die Zusammenhänge der beiden evaluiert und neu visualisiert. Dabei wurde die grundsätzliche Abfolge der Schritte und die Aufteilung in die vier Datenarten beibehalten, da sich dadurch das Schema funktional und zeitlich gut ordnen lässt. Des Weiteren erfolgt auch der Modellaufbau in der gleichen chronologischen Abfolge.

Ähnlich dem zu überarbeitenden Ablaufschema sind Prozessschritte als Rechtecke und Entscheidungen, an denen sich der Ablauf verzweigt, mit einer Raute symbolisiert. Schritte die für mehrere Datenarten gelten, sind über die betroffenen Spalten gezogen und entsprechend farblich dargestellt. Ebenso stellen rückwirkende Pfeile Auswirkungen auf vorhergehende Prozessschritte dar und zeigen an wo Verbesserungen bzw. Änderungen vorzunehmen sind. Als Torten sind Digitalisierungsprozesse und das Anlegen von datenbankähnlichen Strukturen gekennzeichnet.

Im Vergleich zu Pöchhackers (2018) Version sind etliche Unterschiede vorhanden, welche auf den Optimierungen durch die in dieser Arbeit neu gewonnenen Erkenntnisse in der Erstellung eines hydrodynamischen Modells beruhen.

So sind bereits Abschnitt „Vorarbeiten“ die erste Adaption zu finden, wo sich die Projektbesprechung vor Beginn des Modellaufbaus als unumgänglich herauskristallisiert hat, in welcher die Ziele und Rahmenbedingungen der Modellerstellung definiert und die Fristen und Termine festgelegt werden sollen, um danach die weiteren Schritte einzuleiten.

Im Prozessabschnitt „Datenerhebung und Aufbereitung“ fand eine Optimierung in der Erhebung der flächenbezogenen Daten Einzug. Ebenfalls etablierte sich in diesem Prozessschritt die Extraktion der Dachflächen aus der DKM als eine exakte und effektive Methode, um diese zeitaufwendige Aufgabe zu verkürzen. Des Weiteren sind durch die Nutzung der DKM die Grundstücksgrenzen ebenfalls bekannt, was eine Abgrenzung der einzelnen Flächen erleichtert. Angepasst wurde auch die Spalte der Hydrologie Daten. Hier wird nun nicht länger davon ausgegangen, dass im Falle eines Vorhandenseins einer repräsentativen Niederschlagsmessstelle die Niederschlagsereignisse aus einer Starkregenserie generiert werden sollen. Es ist ebenso möglich diese als Modellregen aus einem Bemessungsniederschlag zu generieren. Welche Methode für das jeweilige Modell verwendet werden soll, hängt vom Ziel der Modellerstellung ab und sollte in der anfänglichen Projektbesprechung festgelegt werden. Diese Änderung hat in weiterer Folge auch einen Einfluss auf den Bereich der „Datenprüfung & Aufbereitung“.

Im Abschnitt „Datenprüfung & Aufbereitung“ befinden sich die größten Optimierungen im Vergleich zum Ablaufschema von Pöchhacker (2018). Die Zuteilung der Flächen auf Systemknoten und die Zuweisung von Niederschlagsereignisse auf Einzugsflächen fällt in der optimierten Version nicht mehr unter diesen Abschnitt, sondern in den Prozessschritt der Modellierung, da dies einem praxisnaheren Ablauf der Schritte entspricht. Somit ändert sich zwingendermaßen auch der Abschnitt der „Modellierung“.

Den letzten Schritt im Ablaufschema stellt die Kalibrierung dar. Diese wurde bewusst nicht mit den anderen Schritten verbunden, da für manche simple Fragestellungen, wie die groben Überrechnungen im Rahmen dieser Masterarbeit, bereits ein validiertes hydrodynamisches Modell ausreicht und diese somit nicht zwingend erforderlich ist. Darüberhinaus ist eine Kalibrierung nur für eine konkrete Anwendung machbar, während das unkalibrierte Modell sozusagen als eine allgemeine Basis dient, welche für diverse Fragestellungen durch eine Kalibrierung auf die konkrete Fragestellung, verwendet werden kann.

Zusammenfassend weist die überarbeitete Version des Ablaufschemas einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierungen durch die neu gewonnenen Erfahrungen in der Erstellung eines solchen Modells etliche Änderungen im Ablauf und in der Art der Durchführung auf und trägt deshalb zu einer effizienteren und reibungsloseren Modellerstellung bei. Durch diese Optimierungen und die dazu verfassten Anleitungen ist eine Praxistauglichkeit in der Ausführung und ein schnelles Verständnis der Prozessschritte gewährleistet.

5.1.6 Erkenntnisse dieser Masterarbeit in Bezug zur Modellerstellung in Mike Urban

In diesem Kapitel werden entsprechend der in Kapitel 4.1 definierten Methoden konkrete Lösungsansätze zu Schwierigkeiten, welche während der Modellerstellung auftreten können, vorgestellt.

5.1.6.1 Flächendigitalisierung mittels DKM

Die im „.dxf“-Format vorhandene DKM wurde mit dem Programm AutoCad geöffnet und die darin bereits erfassten Dachflächen auf vollständig geschlossene Polygone überprüft und gegebenenfalls ergänzt, korrigiert oder geschlossen. Dies ist unter anderem durch den Befehl „Verbinden“ relativ leicht möglich.

Auf ähnliche Weise wurden auch die Straßenflächen digitalisiert. Bei diesen ist es außerdem wichtig, dass keine zu großen Flächen entstehen, um eine ausreichend hohe Auflösung der Oberfläche sicherstellen zu können.

Als nächster Schritt wurden jeweils für die Dachflächen und Straßenflächen eigene AutoCAD Zeichnungsdatei im „.dwg“-Format erstellt, um einen einen gesonderten Import in die GIS-Software ArcGis zu ermöglichen.

Der Import in ArcGis selbst muss über einen kleinen Umweg erfolgen, um nur die Polygonumrandung der Einzugsflächen in die Projektdatei zu integrieren. Deshalb wurde zuerst die jeweilige .dwg-Datei in ein leeres ArcGis-Dokument eingefügt. In diesem Dokument bestehen die in AutoCAD nur durch eine Polygonlinie begrenzten Flächen aus den Features „Annotation“, „Point“, „Polyline“, „Polygon“ und „Multipatch“(siehe Abb. 25).

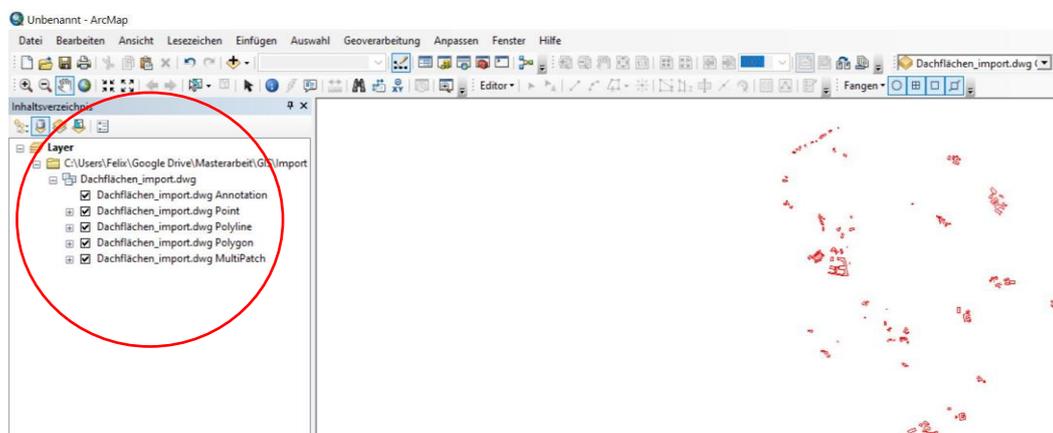


Abb. 25 Importfeatures ArcGis (eigene Darstellung)

Da wie bereits erwähnt, jedoch nur das „Polyline“-Feature benötigt wird, wird dieses anschließend als Shape-Datei exportiert und kann nun in das eigentliche ArcGis-Dokument eingefügt werden (siehe Abb. 26).

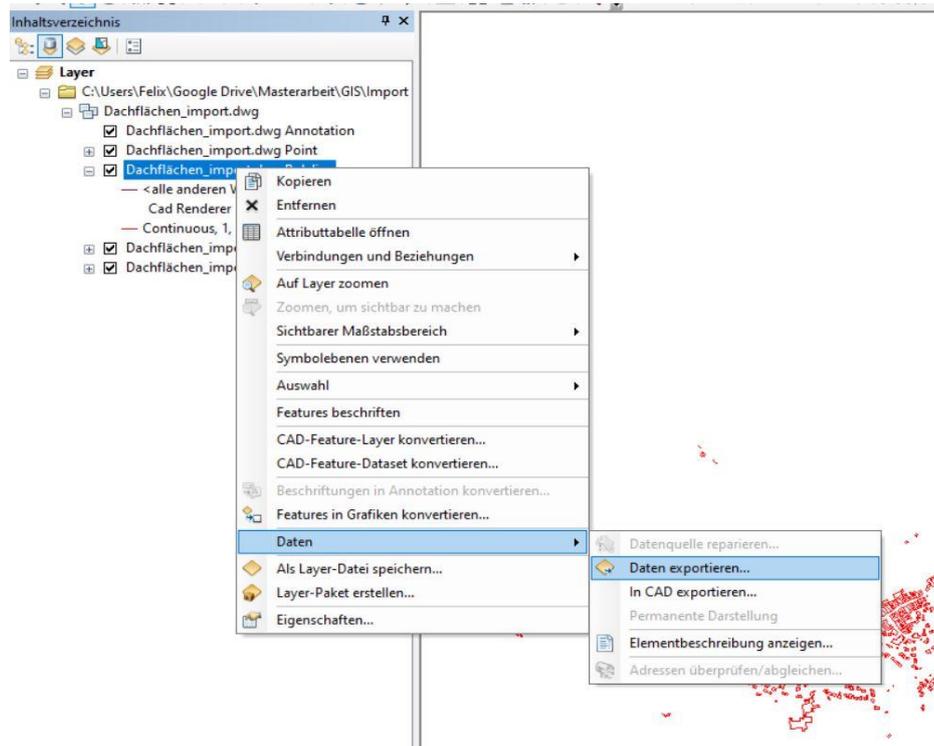


Abb. 26 Export als Shape-File (eigene Darstellung)

Im Anschluss wurden in ArcGis unter Zuhilfenahme der Orthofots die sonstigen befestigten Flächen und die Zu-/Einfahrten digitalisiert. Diese wäre auch in AutoCAD direkt möglich gewesen, jedoch ist durch die Schnappfunktion in ArcGis sichergestellt, dass sich diese mit keinen angrenzenden Flächen überschneiden, was später zu Problemen führen kann. Zudem ist durch die direkte Digitalisierung in ArcGis kein Import der Flächen notwendig.

5.1.6.2 Erhebung Teilflächenanschlüsse

Um diese Unsicherheiten zur Entwässerung der Flächen zu verringern, wurde basierend auf den Erkenntnissen dieser Modellerstellung und aufbauend auf Ergebnissen aus der Arbeit von Pöchlhammer (2018) die in Abb. 27 dargestellte Entscheidungshilfe entwickelt.

Mit einem blauen Kästchen sind die Fragen zur Entscheidungsfindung dargestellt, hier verzweigen sich die Möglichkeiten je nach der Antwort auf diese bis schließlich eine Entscheidung erreicht ist.

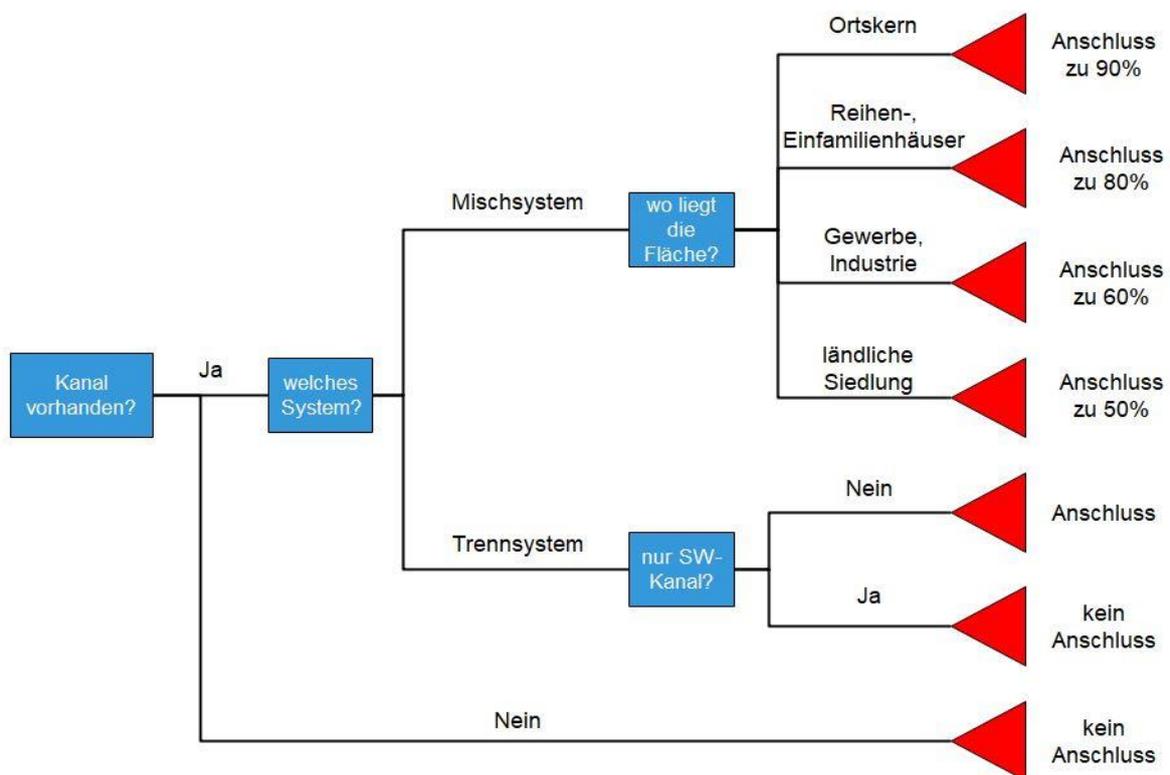


Abb. 27 Entscheidungsbaum zum Teilflächenanschluss (eigene Darstellung)

Dieser Entscheidungsbaum soll nur eine erste Hilfe zur Evaluierung des Teilflächenanschlusses sein. Eine endgültige und richtige Beurteilung kann erst nach einem Austausch mit den zuständigen Akteuren, wie dem Ingenieurbüro, den Kanalisationsbetreibern oder dergleichen getroffen werden. Sollten danach noch Flächen vorhanden sein, bei denen der Anschluss nicht klar ist, bleibt als letzter Schritt die Vor-Ort-Untersuchung.

5.1.6.3 Flächenzuteilung zu Systemknoten

Grundsätzlich bietet die Software Mike Urban mit dem Werkzeug der automatischen Einzugsgebietszuordnung eine sehr praktische Hilfe hierfür. Dieses Werkzeug ordnet jede Fläche über die Koordinaten ihres Schwerpunktes dem nächsten Knoten zu.

Solange nur ein Trenn- oder ein Mischsystem vorhanden ist, lässt sich damit jede Einzugsfläche ihrem nächsten Knoten eines gewählten Entwässerungssystem zuordnen. Liegen, wie im Fallbeispiel, ein Misch- und ein Trennsystem parallel vor, muss die Zuordnung über einen Umweg durchgeführt werden.

Dazu muss für jedes Einzugsgebiet das zugehörige Entwässerungssystem festgelegt werden (siehe Abb. 28). Diese Zuordnung kann nur manuell erfolgen, da für jede Fläche evaluiert werden muss wohin diese entwässert und nimmt daher etwas Zeit in Anspruch. Andererseits ist dies gleichzeitig eine zusätzliche Überprüfung der Flächen und kann auch für die Modellierung des Schmutzwasserabflusses verwendet werden.

Abb. 28 Zuordnung des Einzugsgebiets zu einem Entwässerungssystem (eigene Darstellung)

Nach der Zuordnung kann die automatische Einzugsgebietszuordnung durchgeführt werden, indem über die Attributauswahl all jene Gebiete ausgewählt werden, die mit einem System verknüpft werden sollen und die Zuweisung anschließend nur für dieses Entwässerungssystem durchgeführt wird. Danach kann dies analog für das andere System ausgeführt werden. In Abb. 29 ist dieser Ablauf für die Regenwasserkanalisation ersichtlich. Mittels der Visualisierung muss schlussendlich geprüft werden ob diese Zurdnung sinnhaftig ist.

Abb. 29 Automatische Einzugsgebietszuordnung

5.1.6.4 Zuweisung der Niederschlagsereignisse

Diese Zuteilung kann in Mike Urban ebenfalls automatisch vorgenommen werden. Nachdem der Niederschlag nach dem Import als „dfs0“-Datei gespeichert wurde, muss dieser nun als Gebietslast definiert werden.

Dazu muss im gleichnamigen Befehl eine neue Randbedingung angelegt werden, diese als Niederschlag definiert und die dazugehörigen Details konfiguriert werden.

Falls hier jene Methode in der auch Flächen digitalisiert werden, die nur einem Schmutzwasserkanal zugeordnet werden können, angewandt wurde, müssen diese hier ausgeklammert werden. Hierzu muss eine Auswahlliste mit all jenen Flächen erstellt werden auf welche der Niederschlag angewandt werden soll, und in der Randbedingung muss definiert werden, dass die Gebietslast nur auf diese Liste verwendet wird.

5.1.6.5 Import in die Modellierungssoftware

Der Import der Daten in die Software Mike Urban erfolgt grundsätzlich über eine eigene Schnittstelle. Um die Werte in den Tabellen der GIS-Datenbank in die kongruente Tabelle der Software zu schreiben werden sogenannte Importdateien benötigt, in denen die Spezifikationen definiert werden.

Insgesamt werden drei solcher Übersetzungsdateien benötigt – eine für alle Knoten und Haltungen, eine für Einzugsgebietsflächen und eine für den Modellregen. Worauf hierbei zu achten ist, um Fehler zu vermeiden wird in den folgenden Ausführungen erklärt.

Beim Aufrufen des Import-Export-Assistenten ist es wichtig, dass der Spezialeditor verwendet wird. Dort kann eine von Mike Urban vorgefertigte Konfigurationsdatei geladen werden, welche im Anschluss modifiziert werden muss.

Import der leitungsbezogenen Daten

Nachdem diese Konfigurationsdatei geladen wurde, erscheint eine Oberfläche mit fünf verschiedenen Reitern – „Allgemein“, „Quelle“, „Ziel“, „Brücke“ und „Topologie“. Hiervon werden nur in den beiden „Allgemein“ und „Topologie“ Anpassungen durchgeführt.

Im Reiter Allgemein muss unter Quelle der Ordnerpfad ausgewählt werden, in welchem sich die Shape-Dateien befinden (siehe Abb. 30).

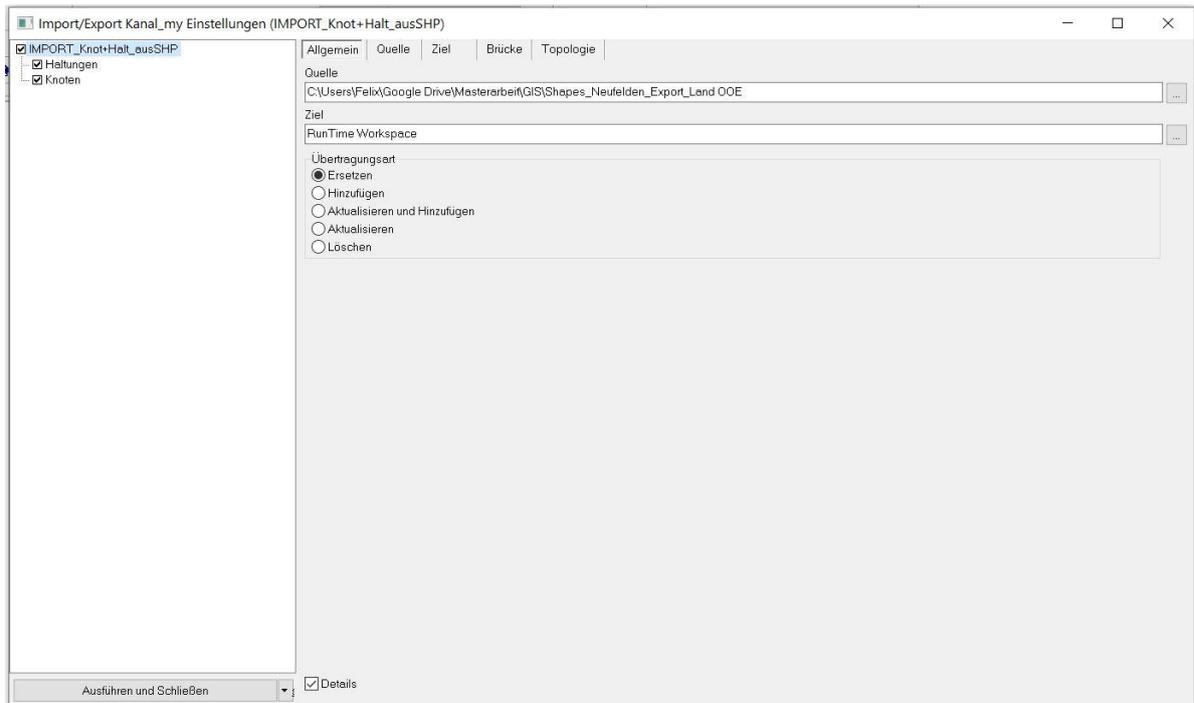


Abb. 30 Importoberfläche Mike Urban (eigene Darstellung)

Unter dem Reiter „Topologie“ ist es wichtig, dass ein Häkchen bei „Topologie nachbearbeiten“ gesetzt ist. So werden kleine Geometrieungenauigkeiten, wie Schnappfehler bereinigt. Wird dies nicht getan, ist das Modell später möglicherweise fehlerhaft und es können keine Berechnungen durchgeführt werden. Ein Beispiel einer solchen Geometrieunreinheit ist in Abb. 31 zu sehen.

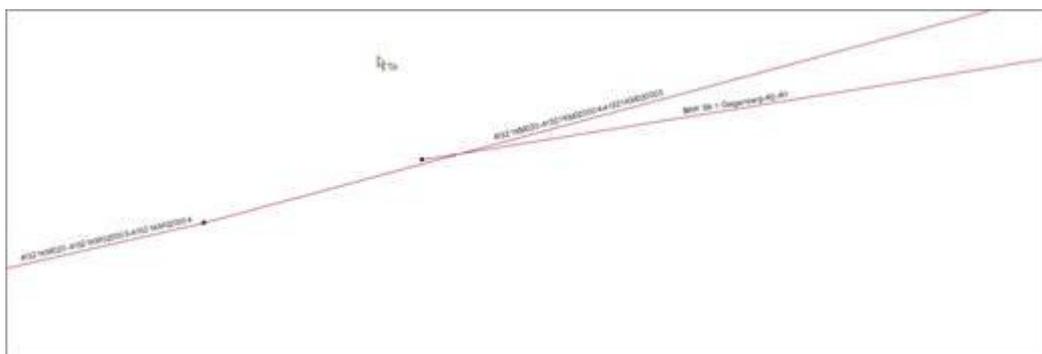


Abb. 31 Beispiel für eine Geometrieunreinheit (eigene Darstellung)

Nach dem Import muss der Datensatz nocheinmal mit dem Ursprungsdatensatz verglichen werden, womit gewährleistet wird, dass durch diese Nachbearbeitung keine Daten verloren gehen.

Danach kann mit der tatsächlichen Zuweisung der Attribute begonnen werden. Dies erfolgt in einer klassischen Programmieroberfläche und ist leicht verständlich aufgebaut. Es gibt jeweils eine Konfiguration für Haltungen und eine für Knoten.

Wird eine davon ausgewählt muss wiederum unter Quelle das tatsächliche Shape-File ausgewählt werden. Wichtig ist, dass jenes ohne der Erweiterung „_Geometry“ gewählt wird.

Das Ziel sollte automatisch definiert sein, muss aber bei den Haltungen „msm_Link“ und bei den Knoten analog dazu „msm_Nodes“ lauten.

Unter Reiter „Zuweisung“ befindet sich die Definition der Zuordnung der einzelnen Attribute und soll anhand der Haltungen nun exemplarisch erklärt werden.

Tabelle 12 Zuweisungen im Import von Haltungen (eigene Darstellung)

Bezeichnung MU	Erklärung	Zuweisung GIS
MUID	Von MU verwendete Bezeichnung, wird automatisch vergeben, kann optional durch die eigentliche Bezeichnung überschrieben werden; die Zeichenzahl ist jedoch begrenzt	optional H_BEZ
AssetName	Optionaler Name, Zeichenzahl ist unbegrenzt	H_BEZ
Description	Beschreibung, im Fallbeispiel für das Material verwendet	H_MAT
DataSource	Beliebiger Text zur Datenquelle	H_EIGENT
TypeNo= 1, 2, 3, 4, 5	Definiert das Profil der Haltung: 1= Kreisprofil 2= Sonderprofil 3= Rechteckprofil 4= O-Profil 5= Eiprofil	z.B. WHERE H_PROFIL = 'KR' für Kreisprofile, entsprechend der Nummer
NetTypeNo= 1, 2, 3	Definiert das Entwässerungssystem: 1= Schmutzwasser 2= Regenwasser 3= Mischwasser	z.B. WHERE H_SYS = 'SW' für Schmutzwasser, entsprechend der Nummer
UpLevel	Höhe der Rohrsohle oben	HOEHE_A
DwLevel	Höhe der Rohrsohle unten	HOEHE_E
Length	Länge der Haltung, ist optional, kann auch aus der Shapegeometrie übernommen werden	H_LAENGE
Diameter	Durchmesser der Haltung	H_HOEHE/1000
Height	Höhe der Haltung	H_HOEHE/1000
Width	Breite der Haltung	H_DN/1000
PMAprNo	Ausweisung von Druckleitungen: 0= Freispiegel 1= Druckleitung	z.B. WHERE H_ART = 'DL' für Druckleitungen, entsprechend der Nummer

Zu beachten ist hier, dass die Höhen, Breiten und Durchmesser in Mike Urban aufgrund des Standardeinheitensystems in Meter definiert sind und deshalb beim Import umgerechnet werden müssen, da diese in der Regel im LIS in Millimeter angegeben sind.

Beim Import der Länge ist es wichtig abzuwägen mit welcher Methode geringere Ungenauigkeiten erzielt werden – sind die Längen in der Ursprungsdatenbank zum Großteil

in genügender Genauigkeit vorhanden ist ein Import vorzuziehen, ist dies nicht der Fall ist es genauer diese durch Mike Urban neu berechnen zu lassen.

Abschließend kann die Zuweisungsdatei gespeichert und der Import vorgenommen werden. Analog dazu funktioniert der Import der Knoten. Auch hier ist darauf zu achten, dass die Einheit bei der Definition des Durchmessers umgerechnet wird.

Import der einzugsgebietsbezogenen Daten

Der Import der Einzugsflächen erfolgt im Allgemeinen gleich, es müssen hier aber mehr Parameter in der Zuweisung definiert werden.

So muss schon hier definiert werden mit welchem Oberflächenabflussmodell später gerechnet werden soll, da die benötigten Kenngrößen davon abhängen.

In Mike Urban stehen zwei Modelle zur Auswahl. Dies ist zum Einen ein einfaches Zeitflächenmodell (Modell A) und zum Anderen das tiefergehende Modell „Kinematische Welle“ (Modell B), welches zur Berechnung der Abflusskonzentration den Ansatz der kinematischen Welle berücksichtigt. Für hydrodynamische Kanalnetzmodelle muss das Modell B verwendet werden, daher auch im Fallbeispiel. Das Modell A ist für hydrologische Modelle vorgesehen.

Durch die unterschiedlichen Komplexitätsgrade ist auch eine differierende Menge an Daten nötig.

Um den Import durchführen zu können, müssen zwei Zuweisungsskripts geschrieben werden: für die Einzugsflächen im Allgemeinen und für das gewählte Modell. Diese Einstellungen sind in Abb. 32 dargestellt.

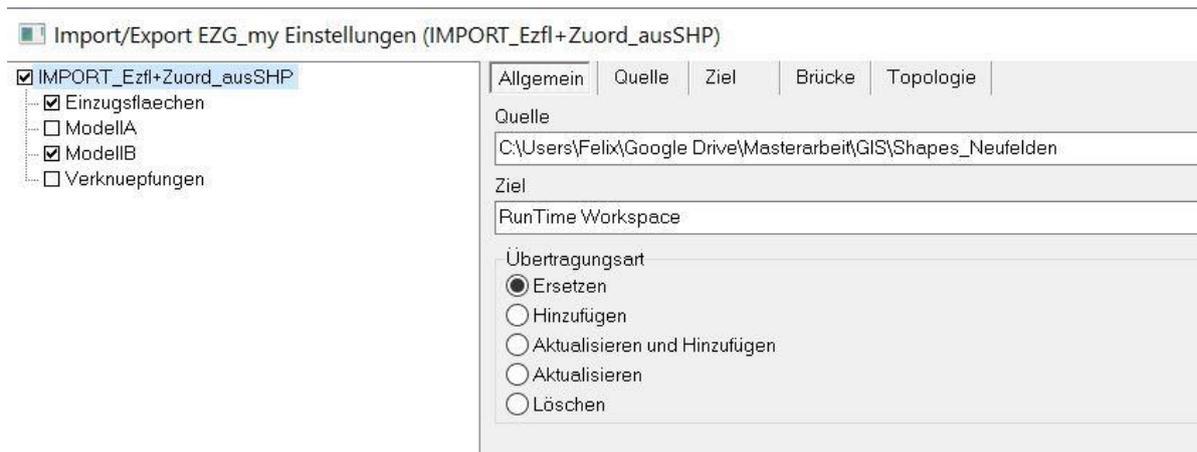


Abb. 32 Importauswahl der verschiedenen Oberflächenabflussmodelle (eigene Darstellung)

Im allgemeinen Teil „Einzugsflächen“ sind folgende Parameter zu definieren:

Tabelle 13 Allgemeine Zuweisungen im Import der Einzugsflächen (eigene Darstellung)

Bezeichnung MU	Erklärung	Zuweisung GIS
MUID	Von MU verwendete Bezeichnung, wird automatisch vergeben, kann optional durch eine eigene Bezeichnung überschrieben werden; die Zeichenzahl ist jedoch begrenzt	optional
Area	Kanalisierte Fläche, sollte nur zugewiesen werden wenn diese nicht der Gesamtfläche entspricht	optional, umrechnen von m ² auf ha
PEsNo= 0,1	Einwohnerzahl, hier kann definiert werden ob für die Modellierung des SW-Ablaufes die Einwohnerzahl verwendet werden soll; 0= Nein 1= Ja	optional
Persons	Falls die Einwohnerzahl verwendet wird, müssen hier die Personen/Einzugsfläche angegeben werden	optional
Description	Beliebige Beschreibung	optional

Im Unterschied zu den leitungsbezogenen Daten fällt auf, dass hier alle Parameter fakultativ sind. Demzufolge sollten nur jene importiert werden, welche auch wirklich benötigt werden, ansonsten werden diese nur zu überflüssigen Fehlerquellen.

Beispielsweise muss bei der Fläche der Einzugsgebiete darauf geachtet werden, dass diese in der korrekten Einheit übernommen werden. Normalerweise werden diese im GIS in Quadratmeter berechnet, während Mike Urban Hektar verwendet.

Weiters können hier keine korrekten Zuweisungen zu den Bezeichnungen im GIS-Programm genannt werden, da diese vom BearbeiterInnen erstellt werden und deshalb keine vorgegebenen Spaltenbezeichnungen, wie jene aus dem LIS, haben.

Die Verwendung der Einwohnerzahl ist grundsätzlich eine sehr nützliche Variante zur Modellierung des Schmutzwasserabflusses. Diese kann jedoch auch noch nachträglich eingetragen werden. Näheres dazu ist in Kapitel 5.1.6 beschrieben.

Im modellspezifischen Teil des Imports sind folgende Werte zu definieren:

Tabelle 14 Modellspezifische Parameter (eigene Darstellung)

Bezeichnung MU	Erklärung	Zuweisung
Catch ID	ID der Einzugsfläche	optional, falls die MUID jedoch im allgemeinen Teil definiert wurde muss hier dieselbe verwendet werden
Length	Fließlänge Wurzel aus der Einzugsgebietsfläche in m ²	optional, = sqrt(Bez. Fläche)
Slope	Gebietsgefälle	optional
ParBid	Hydrologischer Parametersatz	='-DEFAULT-'
AISteep	Anteil der undurchlässigen steilen Fläche, in Prozent	
AIFlat	Anteil der undurchlässigen flachen Fläche, in Prozent	
APSmall	Anteil der gering durchlässigen Fläche, in Prozent	
APMedium	Anteil der mittel durchlässigen Fläche, in Prozent	
APLarge	Anteil der stark durchlässigen Fläche, in Prozent	

Es muss also nur der Parameter, welcher die hydrologischen Bedingungen Anfangs- und Muldenverluste, die Infiltrationskapazität und dergleichen beschreibt definiert werden.

Außerdem ist es möglich hier die Definition der Abflussparameter (siehe Abb. 33) siehe vorzunehmen, jedoch stößt das Programm dabei aufgrund der umfassenden Differenzierung der Einzugsflächen an Grenzen.

Area:	Undurchlässig		Durchlässig		
	Steil	Flach	Gering	Mittel	Hoch
	95.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abb. 33 Abflussparameter in Mike Urban (eigene Darstellung)

Mike Urban unterscheidet die Kategorien „Undurchlässig“ und „Durchlässig“ mit einer weiteren Unterteilung des undurchlässigen Anteils in flache und steile Flächen und des undurchlässigen Anteils in „Gering“, „Mittel“ und „Stark“.

Es entsteht also eine Matrix mit zwei Zeilen und drei oder zwei zugehörigen Spalten:

Tabelle 15 Matrix der Abflussparameter (eigene Darstellung)

Undurchlässig	Steil	Flach	
Durchlässig	Gering	Mittel	Stark

Das Importskript lässt die Definition jedes Wertes einmal zu, da dieser sonst überschrieben werden würde. Es kann also der Parameter „Undurchlässig Steil“ und „Undurchlässig Flach“ einmal festgelegt werden. Da aber aus der Flächendigitalisierung durch die

Teilflächendifferenzierung fünf verschiedene Flächentypen vorhanden sind, müsste jede Kategorie mit unterschiedlichen Parametern fünfmal vergeben werden können:

- „Undurchlässig Steil“ für die steilen Dachflächen
- „Undurchlässig Flach“ für die flachen Dachflächen
- „Undurchlässig Flach“ für die Straßenflächen
- „Undurchlässig Flach“ für die Zu-/Einfahrten
- „Undurchlässig Flach“ für die sonstigen Flächen

bzw. die dazugehörigen durchlässigen Anteile.

Um diese wichtige Differenzierung vornehmen zu können ist nach dem Import ein weiterer Schritt erforderlich.

Zuerst wird für jede Kategorie ein Parameter vergeben, zum Beispiel AISteep für die steilen Dachflächen mit 95% usw, bis jede Kategorie ein ausgefülltes Feld hat (siehe Abb. 34).

Einzugsgebiet ID *	Fließläng	Gefälle	Parameter	Fl.Anteil s	Fl.Anteil fl	Fl.Anteil	Fl.Anteil m	Fl.Anteil h	Ben
0	5.165	5.00	-DEFAULT	95.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	14.038	5.00	-DEFAULT	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	
10	12.454	5.00	-DEFAULT	95.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
100	11.477	5.00	-DEFAULT	95.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1000	5.484	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1001	10.150	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1002	6.599	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1003	20.084	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1004	21.425	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1005	12.700	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1006	4.308	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1007	9.269	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1008	6.623	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1009	15.739	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
101	7.115	5.00	-DEFAULT	95.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1010	7.742	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1011	13.509	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1012	8.410	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1013	7.160	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	
1014	71.061	5.00	-DEFAULT	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	

Abb. 34 Beispiel für die Parameterzuordnung (eigene Darstellung)

Nach dem Import können die leeren Felder über die Feldberechnung so ergänzt werden, dass sich insgesamt ein Wert von 100 ergibt (siehe Abb. 34).

Es müssen auch alle flächenbezogenen Daten noch einmal auf Richtigkeit und Plausibilität überprüft werden. Dies kann wieder durch die automatische Fehlerprüfung und anhand einer optischen Kontrolle erfolgen.

Import der Niederschlagsereignisse

Der Import der erstellten Niederschlagsereignisse erfolgt nicht über die bereits bekannte Schnittstelle, sondern über eine eigene.

Um diese zu öffnen muss unter „Bearbeiten“ der Befehl „Zeitserien“ ausgewählt werden. Anschließend öffnet sich ein Fenster, in welchem wiederum „Bearbeiten“, „Zeitserie hinzufügen“ gewählt werden muss. Hier muss nun das Format „Excel Timeseries Bridge“ gewählt werden um den Modellregen aus dem Excel-Berechnungsprogramm hinzufügen zu können.

In dem sich öffnenden Fenster muss der Pfad zur Datei hergestellt werden und einige Einstellung bezüglich der Zeitbeschreibung und der Datenbeschreibung getroffen werden (siehe Abb. 35).

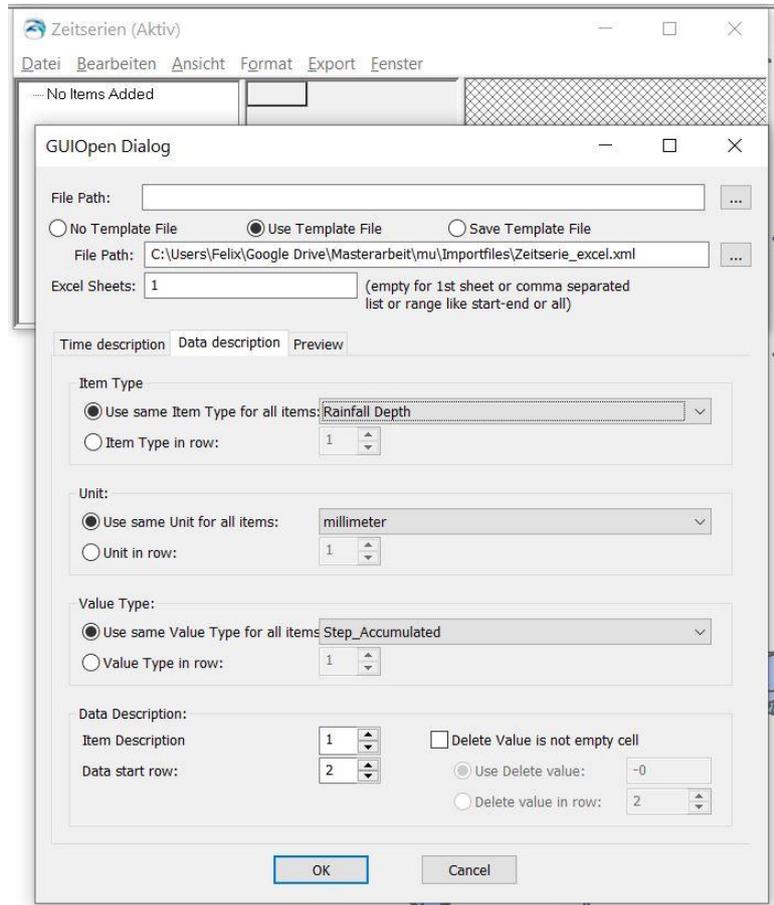


Abb. 35 Importoberfläche für das Niederschlagsereignis (eigene Darstellung)

Die Konfiguration hinsichtlich der Zeit sind vom jeweiligen Beispiel abhängig, bezüglich des Datenformates ist es wichtig, dass beim Werttyp „Step_Accumulated“ ausgewählt wird, da ansonst der Regen falsch berechnet wird. Nachdem alle Einstellungen richtig gewählt wurden kann dies als Vorlage gespeichert, und der Import abgeschlossen werden.

Abschließend muss das importierte Niederschlagsereignis noch als „.dfs0“-Datei für die Verwendung in Mike Urban gespeichert werden. Als letzter Punkt muss auch hier wieder eine Überprüfung der Werte stattfinden.

Zu beachten ist außerdem, dass das zu importierende Ereignis in einer eigenen Excel-Datei gespeichert ist. Diese muss die Formatierung wie in Abb. 36 aufweisen. Konkret ist darauf zu achten, dass die linke Spalte als „Datum/Zeit“ formatiert ist, da diese immer als Zeitspalte interpretiert wird. Die Spalten rechts davon werden als Niederschlagshöhen eingelesen, wobei der Spaltenkopf den Namen vorgibt. Diese Spalten müssen als Dezimaltrennzeichen einen Punkt haben und als Zahlen formatiert sein.

	A	B
1	Zeit	1-st._1-jaehr.
2	00:05:00	1.70
3	00:10:00	2.20
4	00:15:00	7.40
5	00:20:00	1.20
6	00:25:00	1.05
7	00:30:00	1.05
8	00:35:00	0.70
9	00:40:00	0.70
10	00:45:00	0.70
11	00:50:00	0.53
12	00:55:00	0.53
13	01:00:00	0.53
14		

Abb. 36 Formatierung für den Import (eigene Darstellung)

5.1.6.6 Modellierung der Sonderbauwerke

Pumpwerke werden in Mike Urban als Haltung ausgewiesen und nicht als Knoten, wie es auch der Realität entsprechen würde. Zur Modellierung dieser wird die erste Haltung einer Druckleitung als Pumpe deklariert und jede weitere Haltung muss als Druckleitung definiert werden. Der Endknoten dieser Druckleitung muss wiederum als Spannungspunkt ausgewiesen werden, um eine korrekte Simulation zu ermöglichen.

Da jedoch die Druckverluste in Pumpen selbst nicht berücksichtigt werden, gehen diese verloren wenn sehr lange Haltungen als Pumpen ausgewiesen werden. Deshalb empfiehlt es sich eine sehr kurze „Hilfshaltung“ am Beginn der Druckleitung zu setzen und diese als die Pumpe zu definieren.

Um korrekte Ergebnisse zu gewährleisten, muss für die Pumpe eine Ein- und Ausschalthöhe und die Steuerung mit Hilfe der Datenblätter eingestellt werden. Hier ist es möglich entweder einen konstanten Durchfluss oder über den Tabelleneditor die Pumpenkennlinien einzustellen.

Die Modellierung der Becken muss auf zwei Bereiche aufgeteilt werden. Zum einen ist eine korrekte hydraulische Abbildung der Vorgänge wichtig, zum anderen muss auch die geometrische Form korrekt eingegeben werden.

Wie die hydraulischen Vorgänge modellhaft nachgebildet werden, ist im DATMOD-Leitfaden von Muschalla et al. (2015) ausführlich beschrieben. Die Abbildung in Mike Urban unterscheidet sich aber geringfügig, da Schwellen als lineare Wehre zu modellieren sind. Drosseln und der gleichen können in Mike Urban als Haltungen mit lokaler Steuerung oder als kurze Haltungen, deren Abflussleistung dem Drosselabfluss entsprechen, nachgebildet werden. Hierzu kann es ebenfalls nötig sein, dass Haltungen oder dergleichen für modelltechnische Zwecke hinzugefügt werden.

Die geometrische Abbildung erfolgt durch die Definition von drei in Tabelle 16 angeführten Kenngrößen.

Tabelle 16 Parameter der geometrischen Beckenmodellierung (eigene Darstellung)

Parameter	Einheit	Erklärung
H	m ü.A.	Höhe des Beckens, beginnend bei der Sohlhöhe
Ac	m ²	Benetzte Querschnittsfläche normal zur Fließrichtung, abhängig von H
As	m ²	Grundfläche des Beckens, in der Höhe von H

Wie in der Tabelle ersichtlich gibt „H“ die Höhe des Beckens, beginnend mit der Sohlhöhe bis zur Beckenoberkante an. Verändert sich der Querschnitt des Beckens nicht, genügt die Angabe dieser zwei Werte. „Ac“ beschreibt die jeweils dazugehörige Querschnittsfläche in Fließrichtung, dieser Wert beginnt immer mit „0“ und steigt mit der Höhe an, dieser Parameter wird für die Geschwindigkeitsberechnung herangezogen. „As“ charakterisiert die jeweilige Grundfläche des Beckens im Grundriss in Abhängigkeit der Höhe „H“. Ein Ausschnitt dieser Eingabe in Mike Urban ist in Abb. 37 dargestellt.

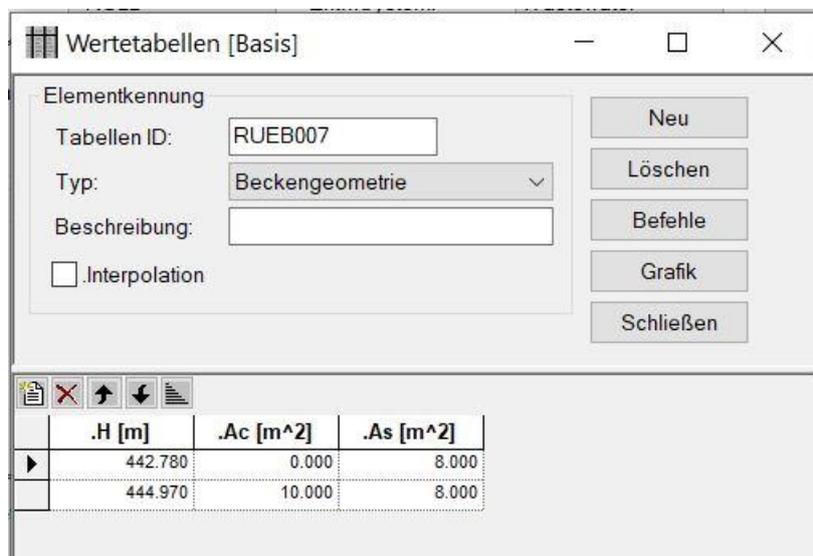


Abb. 37 Beckengeometrie (eigene Darstellung)

Um die Geometrieberechnung zu automatisieren, wurde im Zuge dieser Arbeit ein Excel-Datei entwickelt, in welches die Kubaturen des Beckens eingetragen und die für Mike Urban benötigten Parameter berechnet (siehe Abb. 38).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Beckengeometrieberechnung							
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9	H ₀	500	m ü.A.	Höhe der Beckensohle		Querschnittsfläche normal zur Fließrichtung		
10	H ₁	501	m ü.A.	Zwischenhöhe	Ac ₀	0 m ²		
11	H ₂	503	m ü.A.	Zwischenhöhe	Ac ₁	2 m ²		
12	H ₃	505	m ü.A.	Höhe BeckenOK	Ac ₂	6 m ²		
13					Ac ₃	10 m ²		
14	B ₀	2	m					
15	L ₀	4	m			Oberfläche bei jeweiliger Querschnittsform		
16	B ₁	2	m		As ₀	8 m ²		
17	L ₁	4	m		As ₁	8 m ²		
18	B ₂	2	m		As ₂	8 m ²		
19	L ₂	4	m		As ₃	8 m ²		
20	B ₃	2	m					
21	L ₃	4	m					

Abb. 38 Geometrieberechnungsprogramm

5.1.6.7 Modellierung des Schmutzwasserabflusses

Um den Schmutzwasserabfluss im Modell zu berücksichtigen, bieten sich in der Software Mike Urban zwei Methoden an. Zum einen kann dieser direkt in den Einzugsgebietsflächen mittels Angabe von Personenwerten (Einwohner/Fläche) beachtet werden, zum anderen kann der Trockenwetterabfluss auch als eine Netzlast direkt in den Systemknoten angesetzt werden. Hier werden beide Methoden vorgestellt, da im Fallbeispiel auch beide Anwendung fanden und diese von den vorherrschenden Gegebenheiten abhängen.

Berücksichtigung über die Einzugsflächen

Diese Methodik ist die elegantere und einfachere Lösung, jedoch kann diese nur bei Einzugsgebieten angewandt werden, die einem Mischwasserkanal zugeordnet sind, da man in Mike Urban jedes Einzugsgebiet nur einem Knoten zugeordnet kann.

Für die Eintragung der Personenwerte in die betroffenen Einzugsflächen werden über die Attributauswahl alle in Frage kommenden Gebiete ausgewählt – im Fallbeispiel waren dies alle Dachflächen, die dem Entwässerungssystem Mischwasser zugeordnet sind, und unter Anwendung der Feldberechnung wird nun in der Spalte der Einwohnerwerte der gewünschte Wert eingetragen. Für die Abbildung im Fallbeispiel wurde ein errechneter Durchschnittswert herangezogen. Es ist auch ein spezifischer Wert für jede Fläche möglich. Anschließend

muss nur noch der Abflusswert pro Einwohnerwert als Randbedingung für die Gebietslast definiert werden (siehe Abb. 39).

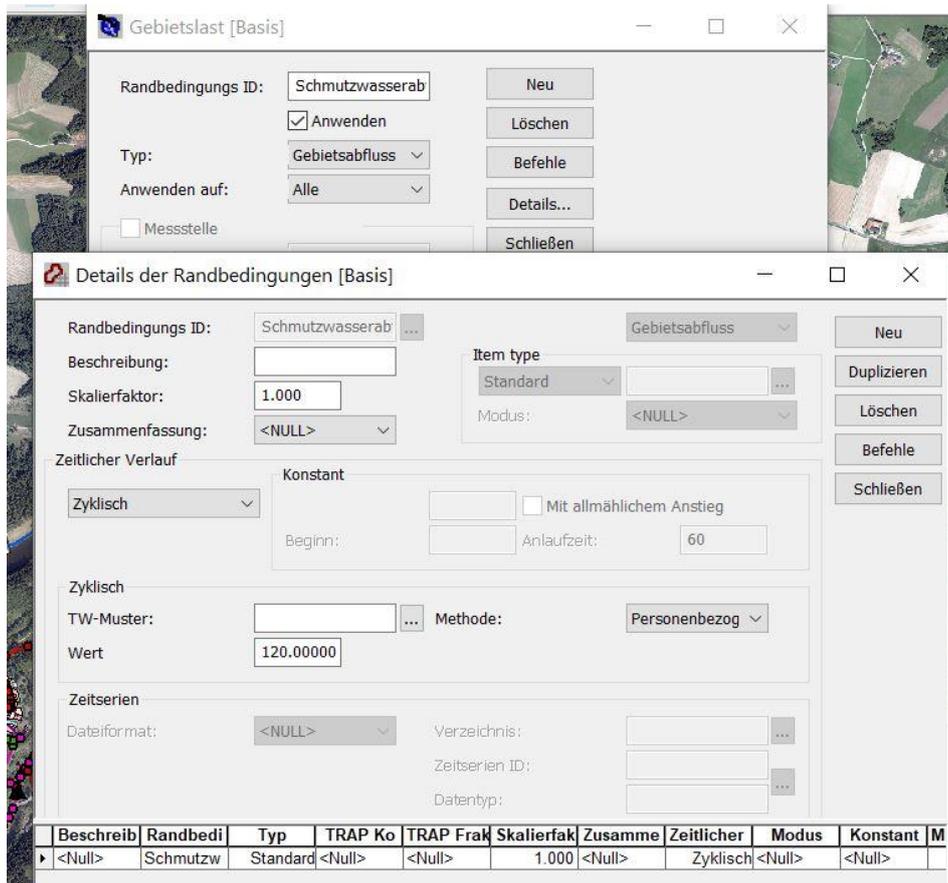


Abb. 39 Beispiel für die Randbedingung Schmutzwasserabfluss (eigene Darstellung)

Berücksichtigung als Netzlast

Die zweite Methode ist den Schmutzwasserabfluss direkt als Netzlast den betroffenen Knoten zuzuordnen. Dieser Ansatz kann in Gebieten verwendet werden in denen keine Einzugsflächen erhoben sind, da sie für den im Vordergrund stehenden Regenwasserablauf nicht von Bedeutung sind. In Abb. 40 ist ein solches Gebiet als Beispiel dargestellt.



Abb. 40 Beispielgebiet für die Netzlast-Methode (eigene Darstellung)

Im Zuge der Erstellung der Netzlast muss als erster Schritt alle betroffenen Knoten ausgewählt werden und als eine sogenannte Auswahldatei gespeichert werden. Als nächster Schritt wird eine neue Netzlast als Randbedingung definiert. Wichtig dabei ist, dass diese Randbedingung nicht auf alle Knoten angewandt wird sondern nur auf die zuvor in der Liste ausgewählten (siehe Abb. 41).

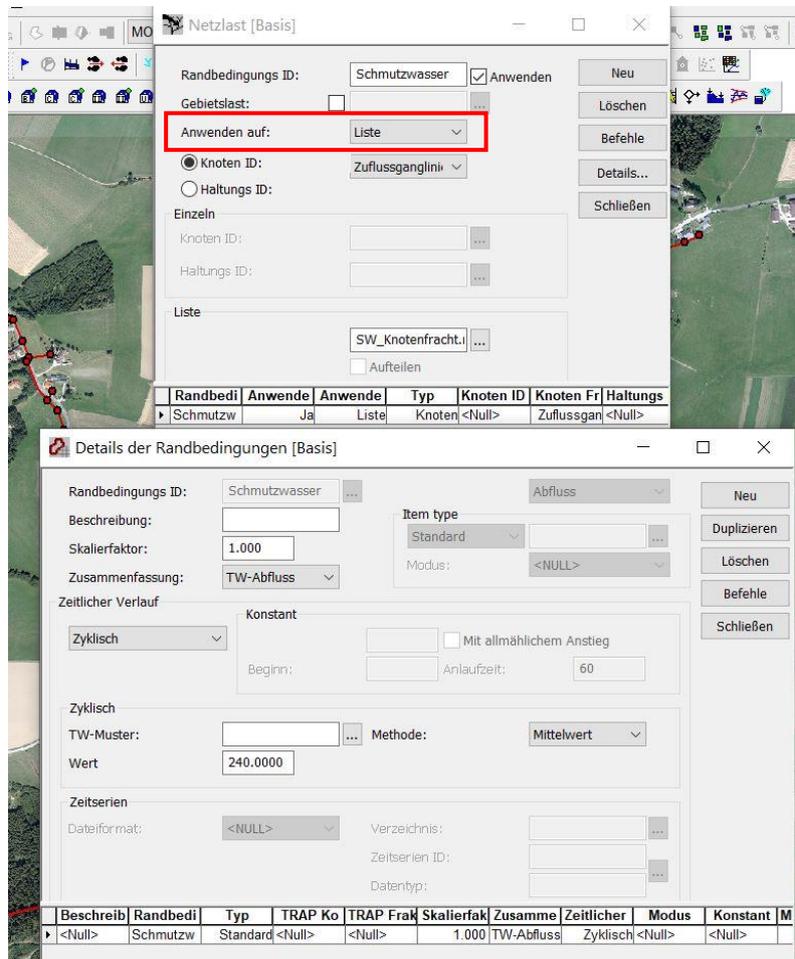


Abb. 41 Einstellungen für die Netzlast-Methode (eigene Darstellung)

5.1.6.8 Durchführung von Simulationen

Die Simulation wird in Mike Urban in zwei Schritten durchgeführt:

Zuerst wird der Oberflächenabfluss aus den Einzugsgebieten basierend auf dem ausgewählten Niederschlagsereignis berechnet - welches Niederschlagsereignis für die Berechnung verwendet werden soll, muss zuvor in den Randbedingungen eingestellt werden.

Nachdem alle weiteren Konfigurationen getroffen sind, kann die Simulation mit „Mike1D“ gestartet werden. Laut Auskunft von DHI Österreich ist der Berechnungskern „Mike1D“ verlässlicher als der als Alternative angebotene Mouse-Kern und zudem neu konzipiert.

Die Ergebnisse dieser Simulation sind, abhängig davon ob Einwohnerwerte für den Schmutzwasserabfluss definiert wurden, eine oder zwei Ergebnisdateien. Eine „CatchmentDischarge“-Datei für den einwohnerbezogenen Gebietsabfluss und eine „RR“-Datei (Rainfall Runoff), welche den Niederschlagsabfluss beschreibt.

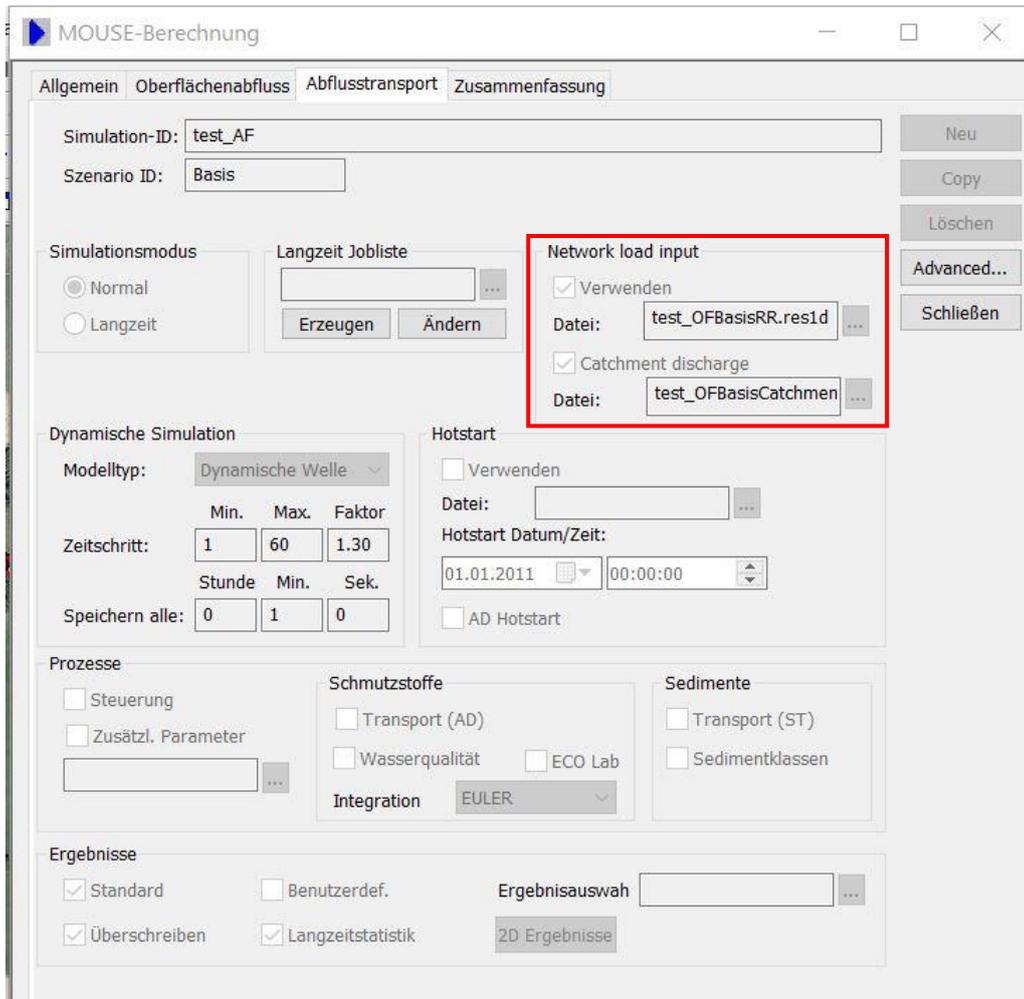


Abb. 42 Inputdatei für den Abflusstransport (eigene Darstellung)

Diese fungieren im zweiten Berechnungsschritt, dem Abflusstransport, als Input-Dateien und müssen in der Eingabemaske als solche eingestellt werden (siehe Abb. 42).

Sind die Simulationen nicht fehlerfrei, bricht diese automatisch ab und zeigt den oder die aufgetretenen Fehler in einer Fehleraufzeichnung an. Diese müssen nun Schritt für Schritt abgearbeitet werden.

Das Ergebnis der Abflusstransportberechnung ist eine Ergebnisdatei, welche in der eigens zur Visualisierung programmierten und im Paket enthaltenen Software Mike View geladen und vielfältig dargestellt werden können. Die Ergebnisse können auch in Mike Urban direkt dargestellt und betrachtet werden. Zusätzlich wird eine Datei in Listenform erzeugt, welche die berechneten Werte jedes Knoten, jeder Haltung etc. auflistet. Diese bietet sich vor allem zur Validierung und Kalibrierung des Modells mit bekannten und gemessenen Werten an.

Auch hier soll mit Hilfe der Darstellung nocheinmal eine optische Kontrolle der Ergebnisse auf Plausibilität erfolgen. Es können hier zum Beispiel die Überstau visualisiert werden und diese anhand des verwendeten Regens auf Sinnhaftigkeit und Stimmigkeit überprüft werden.

5.1.6.9 Diskussion

Die automatische Einzugsgebietszuordnung funktioniert mehrheitlich sehr gut, wenngleich dies für Sonderfälle, wie im Fallbeispiel, mit einem Zwischenschritt erfolgen muss.

Hinsichtlich der Plausibilität stellt sich die Frage, ob es der Realität entspricht, dass jedes Einzugsgebiet dem nächsten Knoten zugeordnet wird. Beispielsweise können hier bei starken Geländeneigungen und bei ähnlich weit entfernten Schächten Fehler auftreten. Des Weiteren ist in der Praxis ein Anschluss an den nächstgelegenen Knoten nicht immer gegeben.

Um jedoch ein validiertes Ergebnis zu erhalten, muss wie schon bei der Flächenerhebung selbst, mit KennerInnen des Systems Rücksprache gehalten werden und Vor-Ort-Begehungen durchgeführt werden. Einige Inkorrektheiten lassen sich zudem durch eine optische Kontrolle beheben. Für erste Berechnungen und um eine erste Zuteilung der Flächen zu Knoten ist dies eine durchaus sinnvolle Lösung.

Die Modellierung des Schmutzwasserabflusses muss über die erarbeiteten und vorgestellten Methoden erfolgen, da Mike Urban leider keine Möglichkeit bietet ein Einzugsgebiet zwei verschiedenen Kanalsystemen zuzuordnen. Mit lassen die beiden genannten Methoden eine effiziente und ausreichend genaue Modellierung zu.

Falls es möglich ist, sollte die Abbildung über die Einzugsflächen bevorzugt werden, da diese wesentlich dynamischer in der Anwendung ist und auch nachträgliche Änderungen schnell und einfach durchgeführt werden können. Nichtsdestotrotz ist diese Methode nicht immer anwendbar und die Art den Schmutzwasserabfluss als Netzlast den jeweiligen Knoten zuzuordnen bietet eine gute Alternativmöglichkeit.

Das Abbilden der Sonderbauwerke in der Modellierungssoftware ist ein essentieller Teil der Modellerstellung, wurde jedoch in der Arbeit von Pöchhacker (2018) kaum behandelt. Deshalb sollen diese Erläuterungen in Verbindung mit den Beschreibungen im DATMOD-Leitfaden diese Lücke schließen.

Die Pumpwerke sind nach einer kurzen Einarbeitungszeit und relativ simple abzubilden, während die Modellierung der Becken schon ein größeres Systemverständnis voraussetzt. Hier bietet der bereits erwähnte DATMOD-Leitfaden eine Hilfestellung, wie diese hydraulisch und stofflich korrekt abgebildet werden sowie die Erläuterungen dieser Arbeit sollen zu einem effizienten Ablauf beitragen.

5.1.7 Kompatibilität Mike Urban – CePipe

Die Kompatibilität wurde, wie schon erwähnt aufgrund der Tatsache, dass beide Kooperationspartner unterschiedliche Programme benutzen, untersucht.

5.1.7.1 Interaktion zwischen den Programmen

Aus der Beschreibung der beiden Simulationsprogramme geht bereits hervor, dass deren grundlegender Unterschied im Datenbankaufbau liegt. Mike Urban hat eine GIS-Datenbank im Hintergrund, während die Software CePipe auf diese Datenbank verzichtet.

Für die Kompatibilität der beiden Programme ist dieser Umstand aber problematisch, da ansonsten von beiden dieselbe Datenbank genutzt werden könnte. Dies hätte den Vorteil, dass Änderungen unabhängig vom Programm direkt in die Geo-Datenbank gespeichert werden können und so beide Anwendungen stets aktuell sind.

Eine Interaktion ist aber trotzdem möglich, da CePipe eine Schnittstelle zum Import von GIS-Daten bietet und Mike Urban solche Dateien als Export erzeugen kann.

Somit ist es möglich, dass das Modell aus Mike Urban exportiert wird und anschließend in CePipe importiert wird.

Leider funktioniert dieser Austausch nur in diese eine Richtung, was bedeutet, dass das Modell in Mike Urban aktuell gehalten werden muss und Änderungen am eigentlichen Entwässerungssystem nur in diesem Programm vorgenommen werden können oder unbedingt nachgetragen werden müssen. CePipe kann also für Berechnungen und Simulationen vom Ingenieurbüro herangezogen werden, die daraus resultierenden Veränderungen und Maßnahmen müssen jedoch in Mike Urban anschließend ergänzt werden, um immer ein aktuelles Modell zu gewährleisten.

5.2 Erkenntnisse einer groben Simulation im Fallbeispiel

Da es eine Hauptaufgabe dieser Arbeit war ein fertiges hydrodynamisches Kanalnetzmodell zu erstellen und erste Simulationen durchzuführen werden die Ergebnisse dieser Berechnungen hier vorgestellt.

Durch diese Simulationen sollen Schwachstellen im System lokalisiert und das Systemverständnis im Allgemeinen verbessert werden.

5.2.1 Überblick und Rahmenbedingungen

Wie in Kapitel 4 schon detailliert beschrieben, besteht das Kanalnetz des Projektgebiets aus insgesamt 41 km Haltungen und über tausend Schächten. Davon entfällt ungefähr die Hälfte auf das Schmutz- und jeweils ein Viertel auf das Regen- und Mischwassersystem. Daneben sind an Sonderbauwerken Pumpwerke verschiedener Größenordnungen, Regenrückhaltebecken, ein Mischwasserüberlaufbecken und ein Speicherbauwerk vorhanden. In Abb. 43 ist das Projektgebiet noch einmal abgebildet.

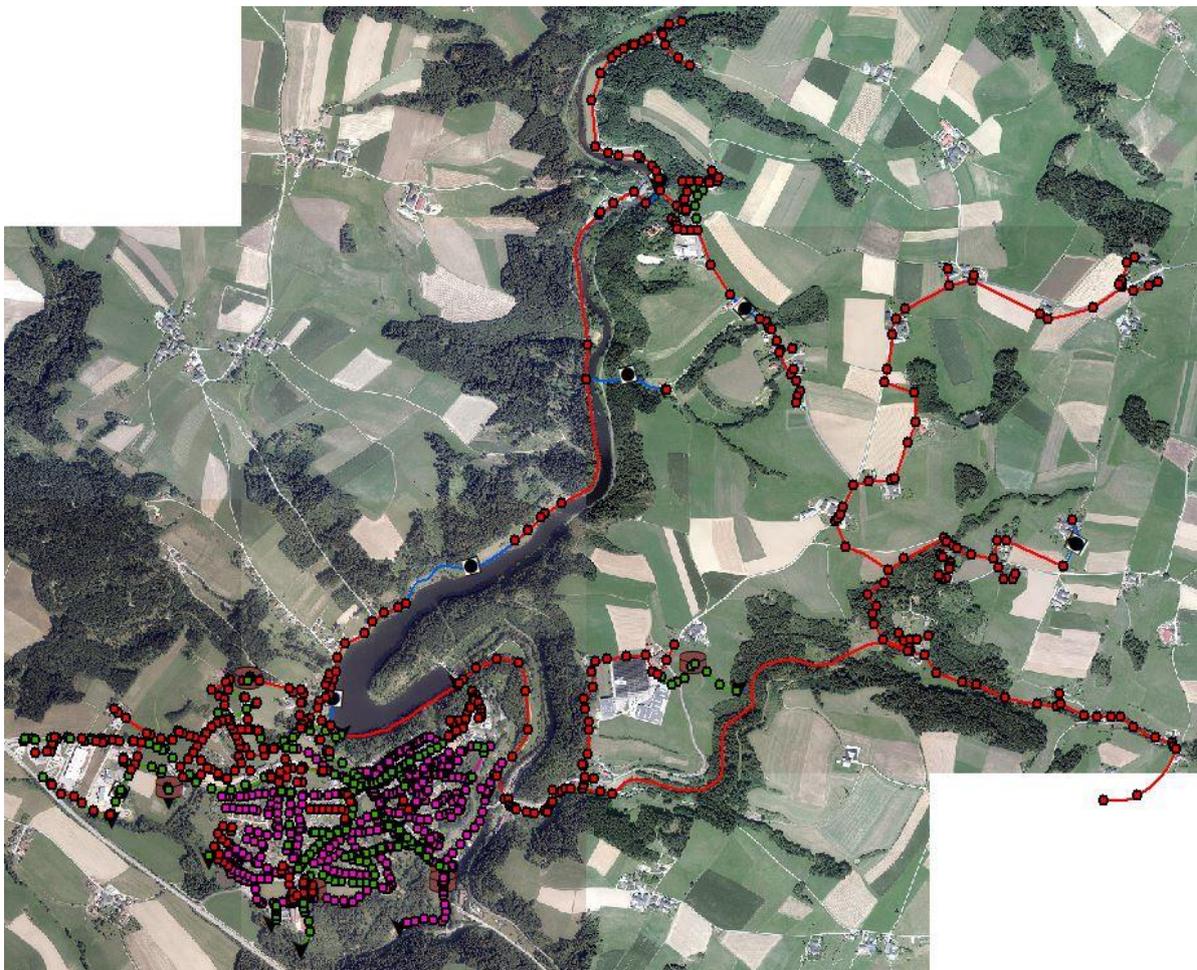


Abb. 43 Übersicht aus Mike Urban (eigene Darstellung)

5.2.2 Validierung des Modells & Plausibilitätsprüfungen

Das Modell wurde mehrmals mit dem Ingenieurbüro überprüft und angepasst. Im ersten Schritt wurden anhand eines einjährigen Regenereignisses, der Visualisierung der Überstauhöhen in den Schächten und den Erfahrungswerten des Ingenieurbüros die Einzugsflächen validiert und modifiziert. Im zweiten Schritt wurden diese Änderungen überprüft und das Gesamtmodell ein weiteres Mal mittels bekannter Ereignisse und Werte überprüft. Beispielsweise kommen im Modell auftretende Überstauung auch in der Praxis vor. Eine weitere Überprüfung wurde mit dem Zufluss zur Kläranlage durchgeführt. Dieser hat laut dem Ingenieurbüro im Regenwetterfall einen Spitzenwert von ungefähr 22 l/s – das Modellergebnis beträgt bei einem einjährigen Ereignis 21 l/s und bei einem zweijährigen Niederschlagsereignis 22 l/s.

Letztendlich kann damit von einem validierten Modell ausgegangen werden.

Ebenso wurden mehrere Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, um eine korrekte Berechnung der Software Mike Urban zu bestätigen.

Durch die Situation, dass sich der Zufluss zur Kläranlage aus dem Abfluss des RÜB und eines kurz danach einmündenden Stranges ergibt, muss der Durchfluss durch diese Stränge gleich dem Zufluss zu Kläranlage sein. Die eben angesprochene Situation ist in Abb. 44 dargestellt.

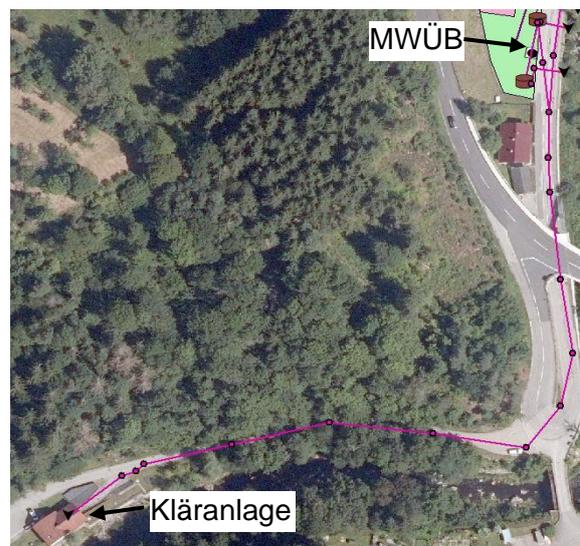


Abb. 44 Situation der Zuflussüberprüfung (eigene Darstellung)

In Tabelle 17 sind die erwähnten Durchflüsse während der gesamten Simulationsdauer aufgelistet und gegenübergestellt.

Tabelle 17 Aufstellung Zufluss Kläranlage (eigene Darstellung)

Abfluss RÜB Unternberg	455,43m ³
Zufluss einmündender Strang	2,47m ³
Summe	457,90m ³
Zufluss Kläranlage	454,26m ³
Abweichung	3,6m ³ \approx 0,8%

Die geringen Unterschiede lassen sich durch den modellierungsbedingten kontinuierlichen Zufluss von Schmutzwasser (vgl. Kapitel 4) erklären, was dazu führt, dass in einer gewissen Zeitspanne in Haltungen, welche sich näher an den Einzugsgebieten befinden, bereits eine größere Menge an Abwasser durchgeflossen ist und es kann somit von einer plausiblen Abflussberechnung ausgegangen werden.

In einer weiteren Plausibilitätsprüfung wurde die nachvollziehbare Oberflächenabflussberechnung nachgewiesen. Hierzu wurde ein Gebiet ausgewählt welches nur an einem Regenwasserkanal angeschlossen ist. In Abb. 45 ist das ausgewählte Gebiet dargestellt.



Abb. 45 Situation der Oberflächenabflussüberprüfung (eigene Darstellung)

Es muss sich hier der Zufluss zum Kanal aus der Summe aller Oberflächenabflüsse bilden. Die Tabelle 18 sind die Ab- und Zuflüsse, welche der Simulation mit einem einjährigen Niederschlagsereignisse entstammen, aufgelistet.

Tabelle 18 Aufstellung Oberflächenabflussprüfung (eigene Darstellung)

Dachflächen (rot)	439,99m ³
Straßenfläche (gelb)	17,56m ³
Sonstige befestigte Flächen (grün)	266,26m ³
Summe	723,81m ³
Zufluss Becken	726,46m ³
Abweichung	2,65m ³ \cong 0,36%

Demzufolge kann auch die Oberflächenabflussberechnung als plausibel betrachtet werden.

5.2.3 Ergebnisse der Simulationen

Hier sollen nun die Ergebnisse der Berechnungen mit den ein- und zweijährigen Niederschlagsereignissen anhand der Überstauhöhen in den Schächten und den Beckenverhalten veranschaulicht werden.

Die Darstellung in diesem Kapitel klammert hier den nordöstlichen Bereich des Kanalnetzes aus, da hier ausschließlich ein Schmutzwasserkanal vorhanden ist und dieser in der Regenwettersimulation nur eine untergeordnete Rolle spielt (siehe Abb. 46).



Abb. 46 Betrachtungsgebiet der Ergebnisse (eigene Darstellung)

5.2.3.1 Überstauverhalten

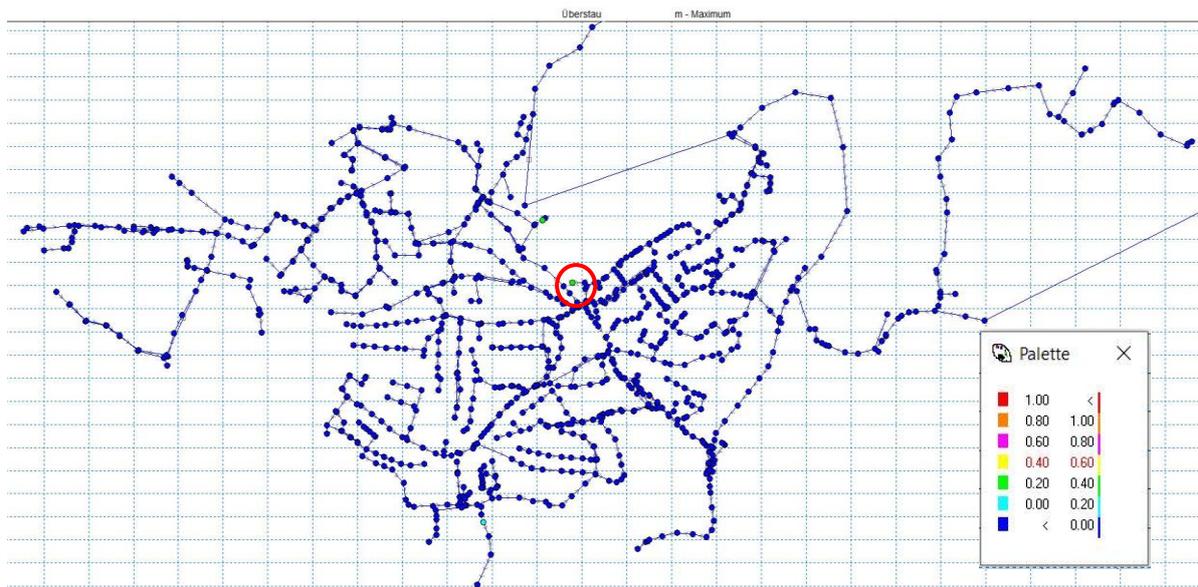


Abb. 47 Überstauhöhen einjähriges Ereignis (eigene Darstellung)

Diese Abbildungen zeigen die Überstauhöhen in den einzelnen Schächten bei einem einjährigen Niederschlagsereignis. Wie zu erwarten tritt hier nur sehr vereinzelt ein Überstau auf, da das Kanalnetz auf dieses Ereignis bemessen ist.

Der Großteil dieser Schwachpunkte konnte durch das Ingenieurbüro bestätigt werden. Einzig der markierte Überstau ist bislang unbekannt (siehe Abb. 48). Dieser lässt sich nun entweder auf eine fehlerhafte Flächenzuordnung, eine zu ungenaue Auflösung der Einzugsgebiete oder auf eine weitere Schwachstelle im System zurückführen.

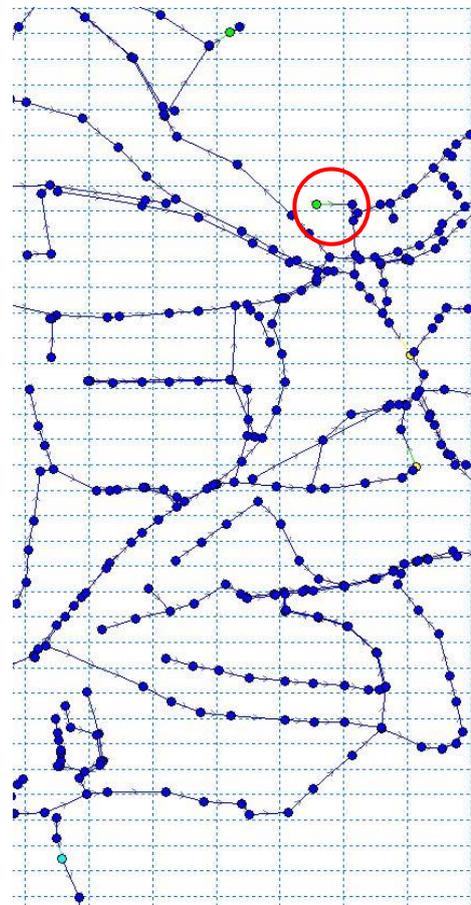


Abb. 48 Vergrößerte Ausschnitt Überstauhöhen einjähriges Ereignis (eigene Darstellung)

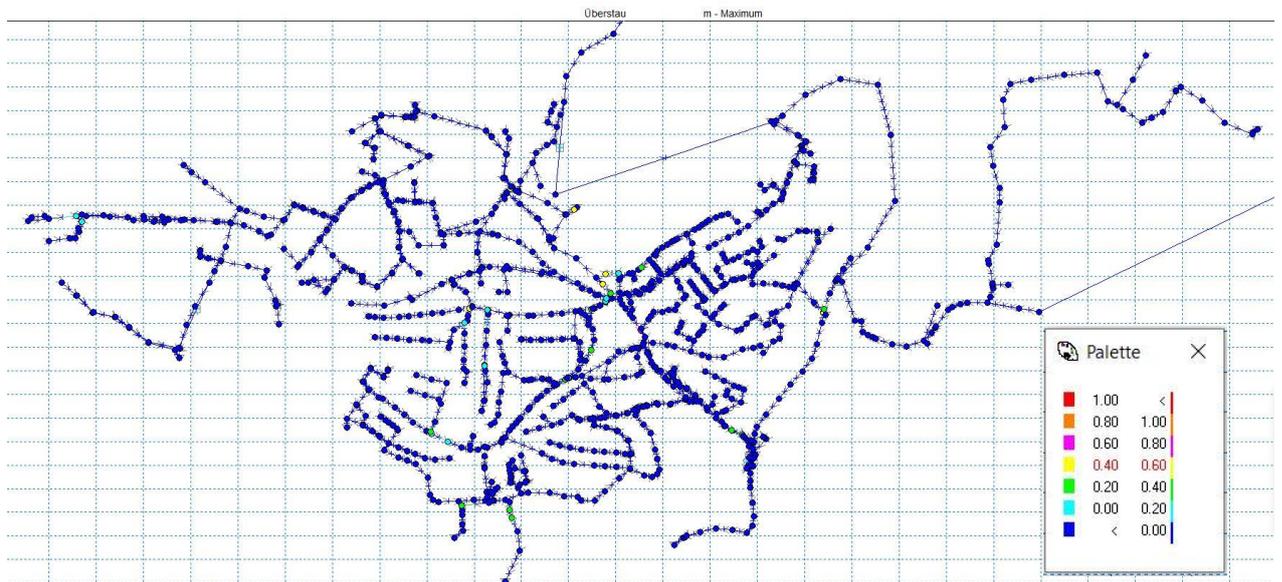


Abb. 49 Überstauhöhen zweijähriges Niederschlagsereignis (eigene Darstellung)

Die Auswertung eines zweijährigen Niederschlagsereignis zeigt erwartungsgemäß sehr ähnliche Ergebnisse (siehe Abb. 49). Die bereits bekannten Problembereiche verstärken sich und darüberhinaus kommen noch weitere Stellen hinzu, an denen ein Überstau auftritt. Hier gilt es in weiterer Folge Nachforschungen anzustellen, ob diese in der Realität auch auftreten bzw. warum es in diesen Bereichen zu Überstauen kommt.

5.2.3.2 Füllverhalten der Becken

Hier soll eine Übersicht über das Füllverhalten und der Wasserstand der einzelnen Becken dargestellt werden.

Regenrückhaltbecken 1

Dieses Becken befindet sich im Westen des Projektgebiets (siehe Abb. 50) und ist in Erdbauweise als naturnahes Becken ausgeführt. Die Sohle befindet sich auf 501,72 m und der Überlauf auf 503,60 m. Das Becken hat ein Fassungsvermögen von 652 m³. Die Entleerung erfolgt über einen auf 50 l/s gedrosselten Abfluss in den Vorfluter. Die derzeit angeschlossene Fläche beträgt etwa 0,5 ha, somit ergibt sich ein spezifisches Beckenvolumen von 1304 m³/ha. Dieses hohe spezifische Volumen ist darauf zurückzuführen, dass sich das Becken in einem Kanalstrang eines Siedlungserweiterungsgebiets befindet und sich die angeschlossene Fläche daher in den nächsten Jahren erhöhen wird.

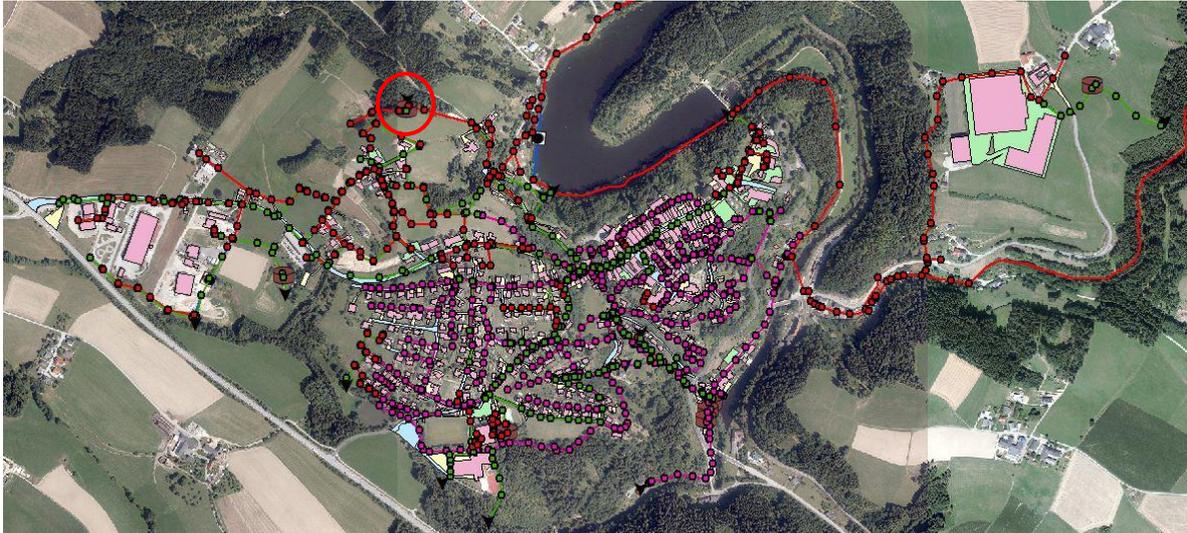


Abb. 50 Lage RRB 1 (eigene Darstellung)

Das Becken beginnt sich etwas verzögert zum Niederschlagsbeginn zu Füllen, steigt dann - ähnlich dem Regenereignis - gleichmäßig an und erreicht bei beiden Ereignissen im Zeitraum von 45 bis 60 Minuten den Höchststand. Weiters zeigt sich, dass der Höchstfüllstand bei beiden Szenarien bei Weitem nicht erreicht wird und somit kein Wasser über den Notüberlauf abfließt. Dies ist in Abb. 51 veranschaulicht.

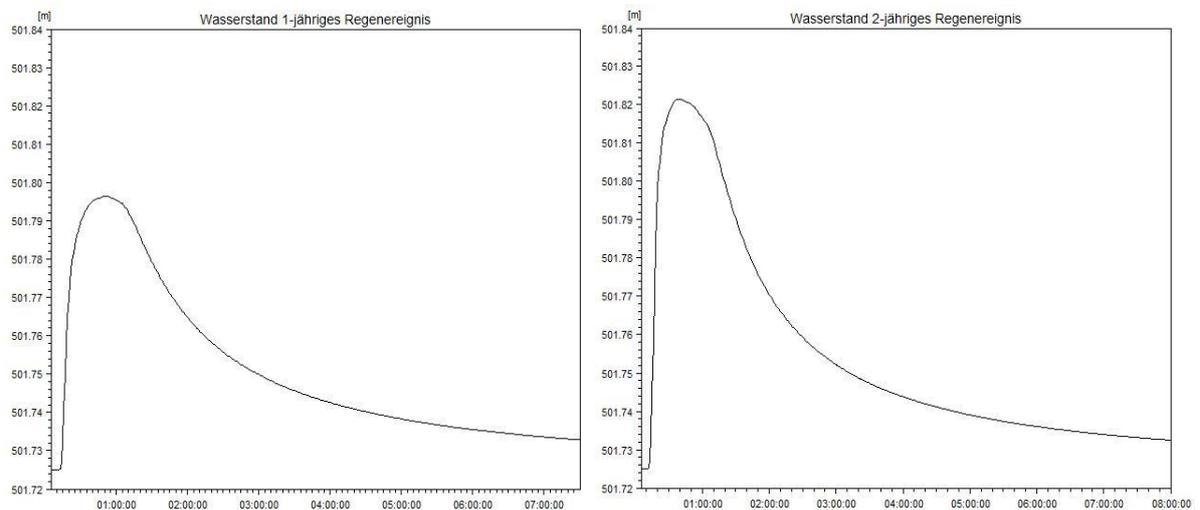


Abb. 51 Wasserstand RRB 1 (eigene Darstellung)

Regenrückhaltbecken 2

Dieses Becken befindet sich in unmittelbarer Nähe zum einem Betriebsgebiet (siehe Abb. 52) und ist analog zum Becken 1 ebenfalls in Erdbauweise als naturnahes Becken ausgeführt. Die Sohle befindet sich auf 548,20 m und der Überlauf auf 549,88 m. Das Becken hat ein Fassungsvermögen von 417 m³. Die Entleerung erfolgt über einen auf 15 l/s gedrosselten Abfluss in den Vorfluter. Die derzeitig angeschlossene Fläche beträgt etwa 1 ha, somit ergibt sich ein spezifisches Beckenvolumen von 417 m³/ha. Dies entspricht einem Speichervolumen von 41,7 mm.

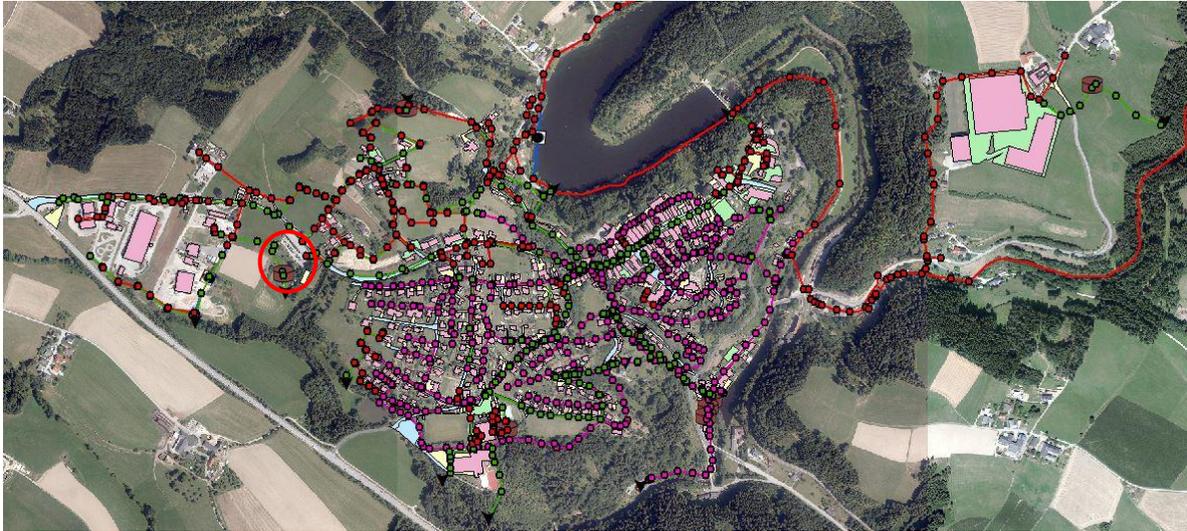


Abb. 52 Lage RRB 2 (eigene Darstellung)

Das Becken beginnt sich etwas verzögert zum Niederschlagsbeginn zu Füllen, steigt dann - ähnlich dem Regenereigniss - gleichmäßig an und erreicht bei beiden Ereignissen im Zeitraum von 65 bis 75 Minuten den Höchststand. Weiters zeigt sich, dass der Höchstfüllstand bei beiden Szenarien noch nicht erreicht wird und somit kein Regenwasser über den Überlauf abfließt. Dies ist in Abb. 53 veranschaulicht.

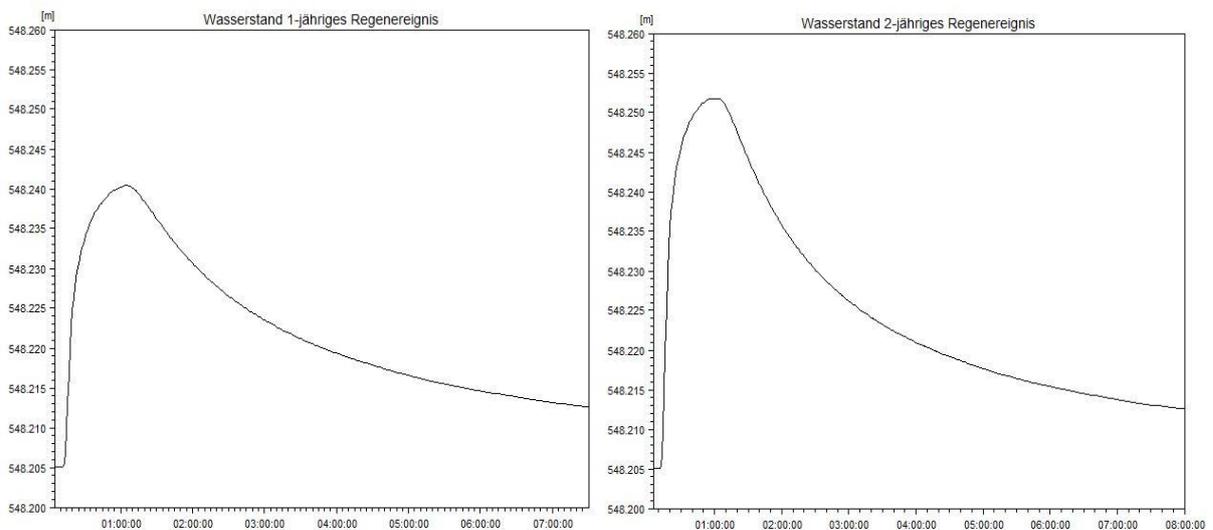


Abb. 53 Wasserstand RRB 2 (eigene Darstellung)

Speicherammer

Die Speicherammer (siehe Abb. 54) ist als Stauraumkanal ausgeführt und befindet sich im Regenwasserkanal. Die Sohle befindet sich auf 537,54 m, hat einen Kreisdurchmesser von 2 m und ein Volumen von 47 m³. Die Entleerung erfolgt über eine Durchmesser DN80 Drosselstrecke in den Mischwasserkanal. Die derzeit angeschlossene Fläche beträgt etwa 0,4 ha, somit ergibt sich ein spezifisches Beckenvolumen von 117,5 m³/ha. Dies entspricht einem Speichervolumen von 11,75 mm.

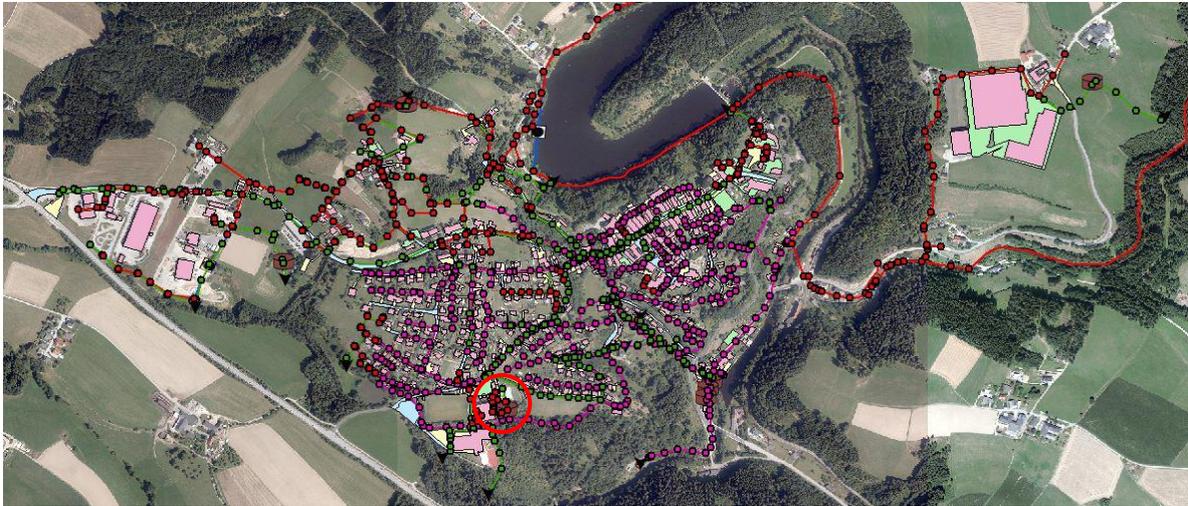


Abb. 54 Lage Speicherammer (eigene Darstellung)

Analog zu den anderen Becken reagiert auch die Speicherammer verzögert zum Niederschlagsereignis und weist den Höchststand jeweils bei ca. 40 Minuten auf. Auch hier wird die maximale Füllmenge nicht erreicht (siehe. Abb. 55).

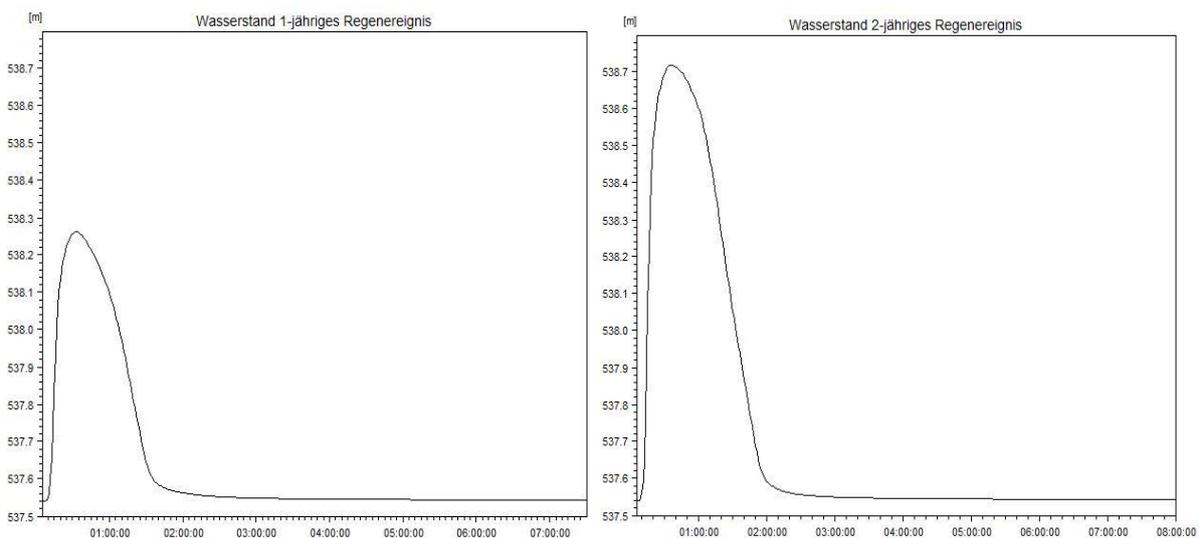


Abb. 55 Wasserstand Speicherammer (eigene Darstellung)

Mischwasserüberlaufbecken

Das Mischwasserüberlaufbecken (MWÜB) stellt ein elementares Bauwerk innerhalb des Kanalsystems, da hier der Hauptzufluss zur Kläranlage auf 20 l/s gedrosselt wird. Nach diesem Bauwerk mündet lediglich eine weitere Haltung in den Kläranlagenzulauf ein. Dieses Becken befindet sich im Ortsteil Unternberg und ist als unterirdisches Becken mit zwei Kammern in Betonbauweise ausgeführt. Die erste Kammer hat eine Sohlhöhe von 442,80 m und ist durch eine Drosselstrecke mit dem Zulaufstrang zur Kläranlage verbunden. Falls im Regenwetterfall der Zulauf größer als der auf 20 l/s gedrosselte Abfluss ist, fließt das überschüssige Wasser über ein Wehr mit der Kronenhöhe 443,45 m in die zweiten Kammer bzw. über den Beckenüberlauf auf 443,80 m in den Vorfluter. Die zweite Kammer hat eine Sohlhöhe von 441,78 m und verfügt über ein Volumen von 230 m³. Die Entleerung dieses Beckens erfolgt über eine Pumpe, welches das Wasser zurück in die erste Kammer befördert. Zudem besteht auch in dieser Kammer ein Überlauf auf Höhe 443,69 m in den Vorfluter. Der maximale Wasserspiegel beträgt 444,00 m. Die derzeit angeschlossene Fläche beträgt etwa 15 ha, somit ergibt sich ein spezifisches Beckenvolumen von 15,3 m³/ha. Dies entspricht einem Speichervolumen von 1,53 mm. Die Lage innerhalb des Kanalsystems ist in Abb. 56 ersichtlich.

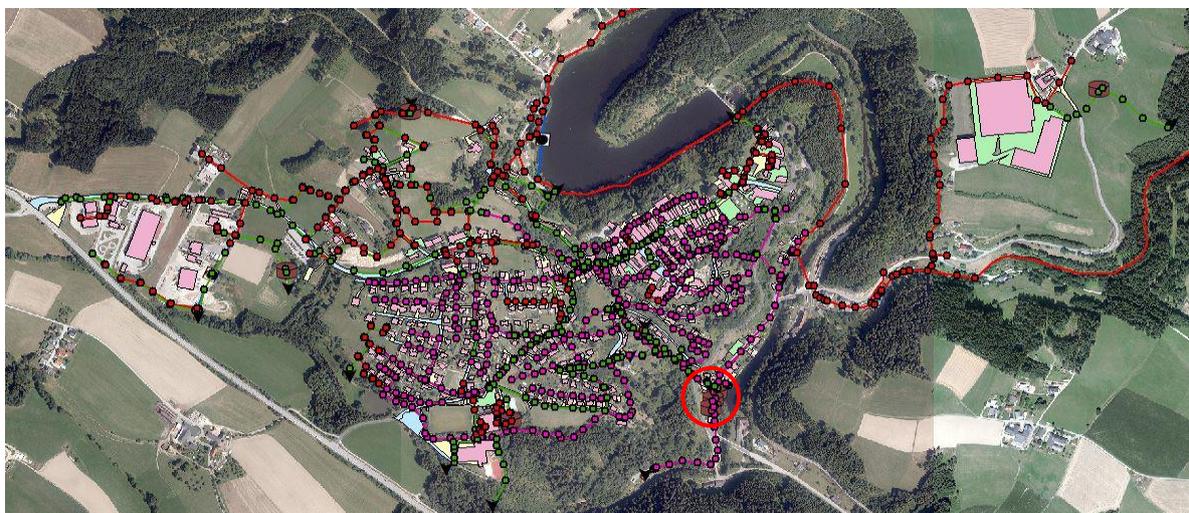


Abb. 56 Lage MWÜB (eigene Darstellung)

Anhand der Ergebnisdarstellung der Simulation eines einjährigen Regenereignisses soll die Funktionsweise des MWÜBs erläutert werden.

Die unten angeführte Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der Zu- und Ablaufwerte des MWÜB.

Tabelle 19 Zulauf-/Ablaufwerte MWÜB einjähriges Ereignis (eigene Darstellung)

	Kammer 1	Kammer 2
Zufluss [m ³]	1700,25	810,54
Beckenüberlauf [m ³]	840,65	404,17
Klärüberlauf [m ³]	807,24	-
Rückgabe [m ³]	-	395,84
Weiterleitung [m ³]	455,43	-
Zufluss Kläranlage [m ³]	457,65	

In Abb. 57 ist die Funktion der beiden Wehre deutlich erkennbar. Sobald der kritische Wasserstand (schwarze Linie) von 443,45 m erreicht ist, springt der Klärüberlauf in Kammer 2 an (grüne Linie). Der horizontale Verlauf des Wasserstandes in der Kammer 1 stellt den Rückhalt aufgrund des gedrosselten Abflusses zur Kläranlage dar. Beim Erreichen der Wehrkronenhöhe des Beckenüberlaufs beginnt auch Wasser in den Vorfluter abzufließen (blaue Linie).

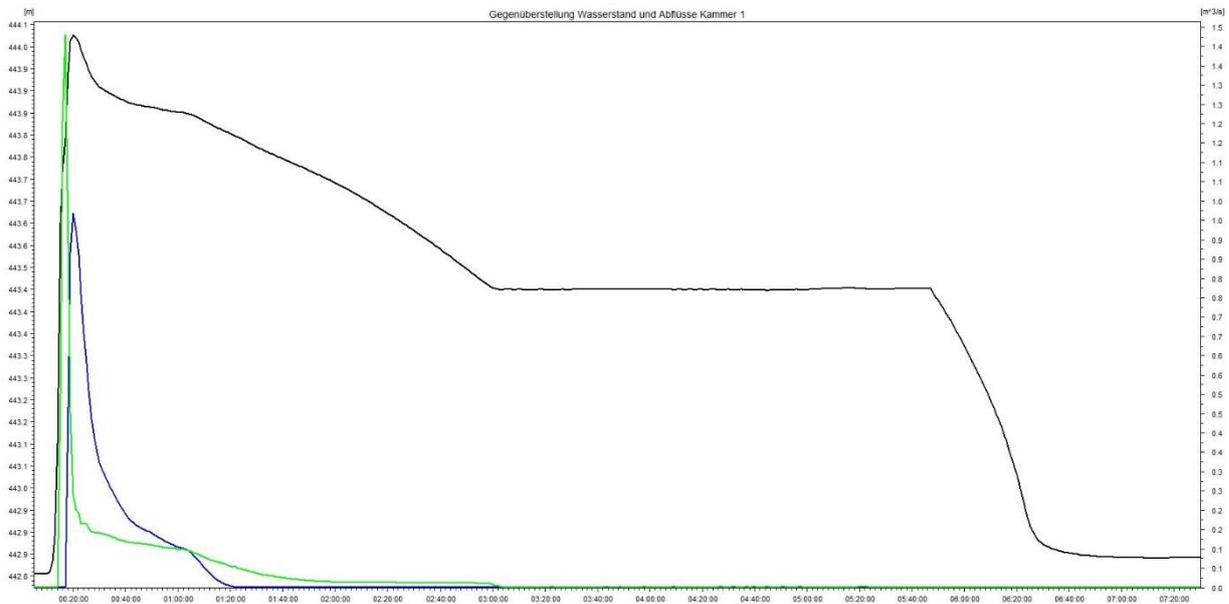


Abb. 57 Gegenüberstellung Wasserstand und Abflüsse Kammer 1 (eigene Darstellung)

Ein ähnliches Bild zeigt die Auswertung der zweiten Kammer (siehe Abb. 58). Hier stellt ebenfalls die blaue Linie den Abfluss in den Vorfluter dar. Die grüne Linie zeigt die Fördermenge der Entleerungspumpe, welche auf 20 l/s begrenzt ist. Die Kammer 2 ist nach 5:45 Stunden entleert, während die Kammer 1 durch das Rückpumpen des Wassers erst nach 6:40 Stunden wieder auf den Trockenwetterabfluss kommt.

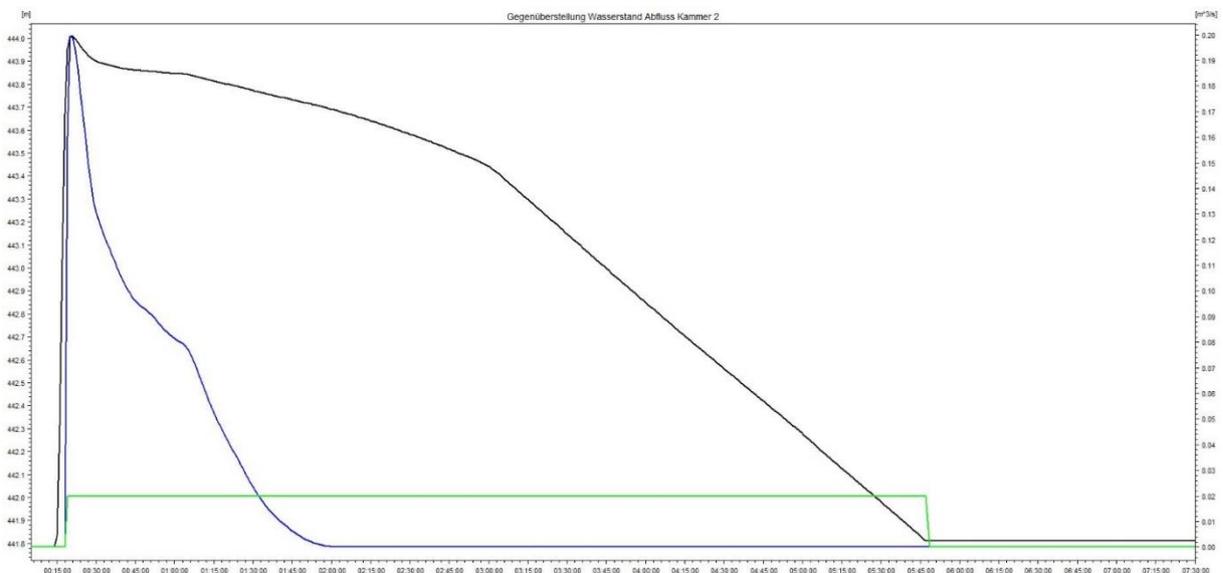


Abb. 58 Gegenüberstellung Wasserstand Abflüsse Kammer 2 (eigene Darstellung)

In Tabelle 20 ist der Zusammenhang der Weiterleitung des MWÜB bei einem ein- und zweijährigen Regenereignis dargestellt.

Tabelle 20 Gegenüberstellung Werte ein- und zweijähriges Ereignis (eigene Darstellung)

	Einjähriges Ereignis	Zweijähriges Ereignis
Zufluss [m ³]	1700,25	2413,00
Abflüsse [m ³]	1244,82	1949,58
Weiterleitung [m ³]	455,43	462,49

Regenrückhaltebecken 3

Dieses Becken befindet sich nördlich des Ortskerns. Es ist ähnlich den anderen Rückhaltebecken ebenfalls in Erdbauweise als naturnahes Becken ausgeführt. Die Sohle befindet sich auf 520,42 m und die Wehrkrone des Überlaufs befindet sich auf 522,43 m. Das Becken hat ein Fassungsvermögen von rund 800 m³. Die Entleerung erfolgt gedrosselt über ein Rohr mit dem Durchmesser DN200. Die derzeitig angeschlossene Fläche beträgt etwa 4,7 ha, somit ergibt sich ein spezifisches Beckenvolumen von 171,3 m³/ha. Dies entspricht einem Speichervolumen von 17,1 mm. Die Lage des Beckens ist in Abb. 59 ersichtlich.

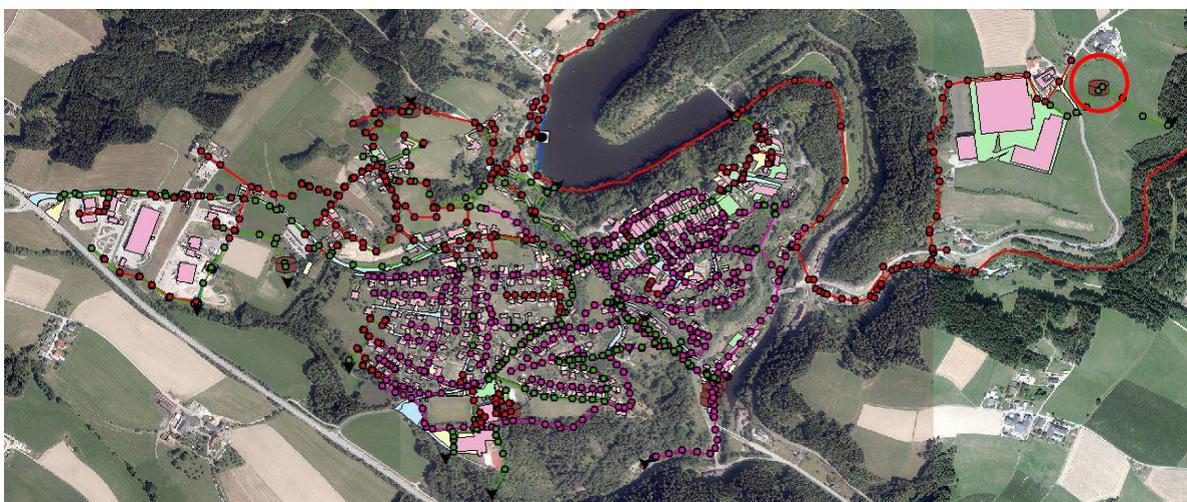


Abb. 59 Lage Regenrückhaltebecken 3 (eigene Darstellung)

Bei diesem Becken ist die Verzögerung der Spitze nicht so stark ausgeprägt, was sich durch die relativ kurze Stranglänge des zufließenden Regenwasserkanals erklären lässt. Die maximale Füllmenge wird auch hier nicht erreicht (siehe Abb. 60).

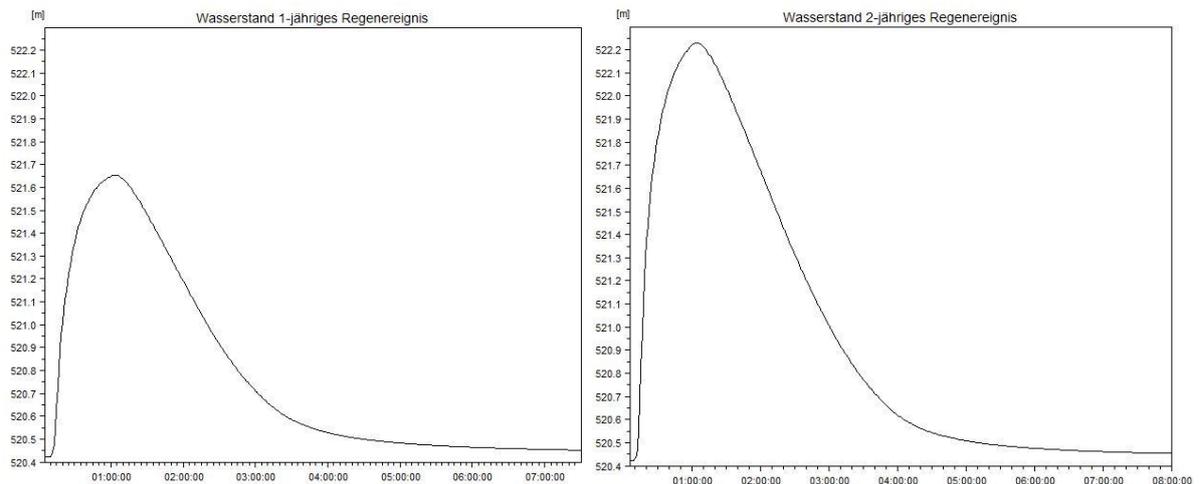


Abb. 60 Wasserstand RRB 3 (eigene Darstellung)

5.2.4 Diskussion

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das erstellte hydrodynamische Kanalnetzmodell auch unkalibriert durchaus plausible Ergebnisse zu liefern scheint.

Als wesentliche Ergebnisse dieser ersten Simulationen können die Bestätigung der bereits bekannten hydraulischen Schwachstellen und das Aufzeigen von potentiellen Problembereichen im Kanalnetz, vor allem durch die Berechnung mit dem zweijährigen Niederschlagsereignis bezeichnet werden. Darüberhinaus wurde bei allen Regenwasserretentionsmaßnahmen die Funktionstüchtigkeit bis zu einem zweijährigen Ereignis überprüft, was sich durch die teilweise hohen spezifischen Beckenvolumina erklären lässt.

Ebenso wurde durch die Visualisierung des Verhaltens des Mischwasserüberlaufbeckens ein mögliches Optimierungspotential identifiziert, da hier bereits bei einem einjährigen Regen möglicherweise mehr als zwei Drittel des zufließenden Abwassers über die Beckenüberläufe in den Vorfluter geleitet werden. Das selbe Ergebnis zeigt sich auch bei einem zweijährigen Niederschlagsereignis. Dies alles trägt zu der gewünschten Verbesserung des Systemverhaltens bei.

In weiterer Folge ist es nun möglich, die verbliebenen Unklarheiten weiter zu beseitigen und gezieltere Berechnungen durchzuführen. Vor allem muss die Zuordnung der Flächen auf die Systemknoten noch mit Ortskundigen und durch Vor-Ort-Begehungen überarbeitet und bestätigt werden.

6. Interpretation

Die Erkenntnisse aus der Beantwortung der ersten Forschungsfrage zeigen, dass das von Pöchhacker (2018) erstellte Ablaufschema einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung noch hinsichtlich der Praxistauglichkeit und dem schnellen Verständnis der Prozessschritte überarbeitet werden konnte. Außerdem waren einige Schritte in den Erklärungen von Pöchhacker (2018) zum Ablaufschema nicht erwähnt. Diese Punkte konnten im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit ergänzt werden und stehen somit als Anleitung in der Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells zur Verfügung. Ebenso konnten neue Methoden zur Flächendigitalisierung erarbeitet werden.

Es ist anzunehmen, dass die hydrodynamische Kanalnetzmodellierung sich in Zukunft noch stärker verbreiten wird. Unter anderem ist dies dadurch erkennbar, dass die Erstellung und Anwendung dieser Modelle nun Schritt für Schritt in den Ingenieurbüros und sogar bei Kanalisationsbetreibern Einzug hält. Außerdem wird die Software zur Erstellung und Simulation hydrodynamischer Modelle weiter verbessert und neue Anbieter drängen auf diesen Markt. Weiters ermöglicht das Verwenden bereits vorhandenen Materialien und Daten, wie beispielsweise die digitale Katastralmappe zur Erhebung der Flächendaten in der für hochauflösende Simulationen wichtigen Ebene der Teilflächendifferenzierung oder die Netzdaten aus dem Leitungsinformationssystem, eine weitere Effizienzsteigerung im Modellaufbau.

So wird auch die, noch komplexe, Bedienbarkeit dieser Programme optimiert werden, was wiederum den Zeitaufwand für die Modellerstellung und somit die Kosten verringert.

Diese Masterarbeit dient nun neben der Masterarbeit von Pöchhacker (2018) und dem DATMOD-Leitfaden von Muschalla et al. (2015) als Hilfestellung zur Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells. Da bis auf die eben erwähnten Abhandlungen kaum unterstützende oder erstellungsbezogene Literatur dazu vorhanden ist, ist es wichtig hier Pionierarbeit zu leisten und Kenntnisse darüber festzuhalten und diese potentiellen AnwenderInnen zur Verfügung zu stellen. Demgemäß verstehen sich die Ausführungen in dieser Arbeit nicht als „DIE“ Lösung, sondern als Hilfestellungen und sollen zur Diskussion und weiteren Verbesserung anregen.

Abseits dessen darf der Aufwand für den Modellaufbau nicht einem speziellem Projekt zugerechnet werden, da ein fertiges und gepflegtes Modell durch kleine Anpassungen für eine Fülle an Anwendungen und Problemstellungen herangezogen werden kann und ist somit als ein Werkzeug anzusehen, auf welches immer wieder zugegriffen werden kann.

In der Modellerstellung des Fallbeispiels in dieser Masterarbeit zeigte sich, dass das Vorhandensein einer strukturierten Vorgangsweise in Form einer schemenhaften und strukturierten Auflistung die Erstellung vereinfacht, da die einzelnen Arbeitsschritte konkret erkannt werden und auch auf einen Blick ersichtlich ist, welche Prozesse parallel bearbeitet werden können. Außerdem steigert ein solches Schema nicht nur das Verständnis des Ablaufes einer hydrodynamischen Modellerstellung, sondern zeigt auch auf, wo genau Verbesserungen durchgeführt werden müssen, falls die berechneten Ergebnisse nicht plausibel oder ungenügend sind oder eine Simulation aufgrund von Fehlern erst gar nicht möglich ist.

Da jedoch in der Literatur nur das von Pöchhacker (2018) erstellte Schema zu finden ist, kann davon ausgegangen werden, dass dieses noch nicht vollständig ausgereift ist, weshalb es in dieser Arbeit überarbeitet wurde. Das überarbeitete Schema soll unerfahrenen BearbeiterInnen dabei helfen die Modellerstellung strukturiert und effektiv abzuarbeiten. Dieses Ablaufschema setzt noch vor dem Beginn der eigentlichen Erstellung an und endet beim Endergebnis– dem fertigen und fehlerfrei funktionierenden Modell. Es kann also als ganzheitliches Konzept gesehen werden.

Darüberhinaus wurden die auftretenden Schwierigkeiten während der Modellerstellung ausführlich dokumentiert, um Lösungen ergänzt und somit die Vermeidung von Fehlern und die Erleichterung der Arbeit zu gewähren. Diese Erklärungen dienen außerdem dazu, die Dokumentationslücken im Hinblick auf die Anforderungen von hydrodynamischen Kanalnetzmodellen zu verringern.

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage zeigt, dass aus einer ersten groben Simulation mit einem validierten Modell durchaus brauchbare Erkenntnisse gewonnen werden können. So bestätigen die ersten Simulationen mit dem erstellten hydrodynamischen Kanalnetzmodell in erster Linie bereits bekannte Schwachpunkte im System und zeigen weitere mögliche Problembereiche auf. Ebenso konnte das Systemverhalten vor allem in Hinblick auf das Füllverhalten der Becken veranschaulicht und ein mögliches Optimierungspotential aufgezeigt werden.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Zielsetzung dieser Masterarbeit war zum einen das Ablaufschema einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung von Pöchhacker (2018) zu evaluieren und auch zu optimieren. Zum anderen war es ein Ziel, die Erkenntnisse aus einer ersten Simulation mit einem unkalibrierten aber validierten Modell aufzuzeigen.

Dieser Themenbereich der Darstellung eines solchen Ablaufschemas wurde erstmals in der Masterarbeit von Pöchhacker (2018) bearbeitet. Um dieses Ablaufschema evaluieren zu können, wurde deshalb ein von Grund auf hydrodynamisches Kanalnetzmodell unter Zuhilfenahme des Ablaufschemas von Pöchhacker (2018) und der dazugehörigen Ausführungen erstellt. Die einzelnen Punkte wurden dabei kritisch betrachtet und weitere Maßnahmen zur Lösung aufgetretener Probleme gefunden.

Diese Ausführungen und die überarbeitete Darstellung des Ablaufschemas sollen als Richtmarke und Orientierungshilfe für die Erstellung hydrodynamischer Kanalnetzmodelle dienen.

Natürlich sind durch diese Arbeit bei weitem nicht alle Bereiche dieser breit gefächerten Thematik behandelt und so besteht noch Raum für weitere Darlegungen, Optimierungen und Expertisen. Nachfolgende Modellierungen werden zusätzliche und andere Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen.

In Zukunft sollte vor allem die Standardisierung und Vereinheitlichung der Datenbestände in Verbindung mit Datenschnittstellen vorangetrieben werden, um den zeitaufwendigen Teil der Datenerhebung und Datenaufbereitung zu reduzieren und so das Themenfeld der hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung benutzerfreundlicher zu machen. Somit würde auch die weitere Verbreitung dieser starken und nützlichen Technik weiter gefördert werden, denn der derzeit hohe Aufwand einer Modellerstellung lässt sich zum großen Teil auf diese Bereiche und die fehlende Erfahrung zurückführen.

Letztendlich gilt es den Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen anhand von gemachten Erfahrungen zu lernen und immer weiter zu optimieren, um gemeinsam mit der sich immer weiterentwickelnden Technik die Modellerstellung praktikabler und intuitiver zu gestalten.

8. Zusammenfassung

Die großen Herausforderungen der Siedlungswasserwirtschaft werden neben den immer nötigen Sanierungen in den nächsten Jahrzehnten, auch der Klimawandel, allem voran die Zunahme der Starkregenereignisse, die demografische Veränderungen und das gestiegene ökologische Bewusstsein sein.

Als ein sehr gutes Werkzeug, um diese Herausforderungen meistern zu können, bieten sich hydrodynamische Kanalnetzmodelle an. Diese werden derzeit jedoch oft aufgrund mangelnder Erfahrung, Kenntnis der Materie, oder Fehlen konkreter Hilfestellungen gemieden.

Eine Literaturrecherche zu den Anwendungen solcher Kanalnetzmodelle unterstreicht diese Annahme und zeigt zugleich sehr vielfältige Einsatzbereiche auf. Diese reichen von der hydraulischen Zustandsbewertung über die Kopplung von Kanalnetzmodellen an Entwicklungsprognosen bis hin zu Überflutungsberechnungen in Verbindung mit Oberflächenmodellen. Weiters können hydrodynamische Kanalnetzmodelle eine brauchbare Unterstützung in der Anpassung von bewohnten Gebieten an den Klimawandel sein. Durch die Erkenntnisse aus dem DATMOD-Leitfaden wurde es außerdem möglich Langzeitseriensimulationen in angemessener Zeit ebenfalls mit hydrodynamischen Modellen durchzuführen.

Die Erstellung eines solchen Modells bringt jedoch einen enormen Aufwand mit sich. So werden eine Reihe von Daten - zum Leitungsnetz, zu den Einzugsflächen, zur Hydrologie und zum tatsächlichen Abflussgeschehen – benötigt. Diese müssen zum Teil selbst erhoben bzw. bezogen, geprüft und aufbereitet werden. Anschließend müssen alle Daten in einer Modellierungssoftware zusammengeführt und die Modellerstellung durch manuelle Ergänzungen fertiggestellt werden.

Wie wichtig ein konkreter Leitfaden, der die einzelnen Arbeitsschritte chronologisch auflistet und die wichtigsten Punkte übersichtlich visualisiert, ist, wurde während der Modellerstellung unter Verwendung des von Pöchhacker (2018) entwickelten Ablaufschemas klar. Da dies jedoch das erste Schema dieser Art war, offenbarte es noch Optimierungspotential und wurde deshalb im Rahmen dieser Arbeit validiert, weiterentwickelt und neu visualisiert. Darüber hinaus werden Methoden aufgezeigt, die zur Vermeidung von modellierungsspezifischen Fehlern beitragen sollen. Diese Arbeit kann nun weiteren AnwenderInnen in Verbindung mit den dazugehörigen Erläuterungen als ganzheitliches Konzept für eine hydrodynamische Kanalnetzmodellierung dienen. Ebenso verringern diese Erklärungen die vorhandenen Dokumentationslücken und tragen so bei, Erfahrungen auf diesem Gebiet zu sammeln und die Scheu vor dieser so umfangreichen, aber starken Technik zu nehmen.

Darüber hinaus war es ein Ziel dieser Masterarbeit aufzuzeigen, welche Erkenntnisse aus einer ersten Simulation mit einem validierten, jedoch unkalibrierten Modell gewonnen werden können.

Diese ersten Simulationen zeigen, dass mit einem solchen Basismodell durchaus plausible Ergebnisse erzielt werden können. So bestätigen diese in erster Linie bereits bekannte Schwachpunkte im System und zeigen weitere mögliche Problembereiche auf. Ebenso

konnte das Systemverhalten vor allem in Hinblick auf das Füllverhalten der Becken veranschaulicht und ein mögliches Optimierungspotential aufgezeigt werden. Abschließend kann kurz und prägnant resümiert werden:

Hydrodynamische Modelle sind in der Siedlungswasserwirtschaft nichts Neues, jedoch muss diese bereits zur Verfügung stehende Technik erlernt werden, um effizient und korrekt damit umgehen zu können. Nur so kann das gesamte Potential der hydrodynamischen Modellierung ausgeschöpft und ein moderner Kanalbetrieb bestmöglich unterstützt werden.

9. Literaturverzeichnis

- ADDENDUM (2017). Platz, ein Strukturproblem. Quo Vadis Veritas Redaktions GmbH, Elsbethen-Glasenbach, online im Internet: <https://www.addendum.org/platzverbrauch/politische-struktur/>, abgerufen am 18.06.2019
- ARNBJERG-NIELSEN K., WILLEMS P., OLSSON J., BEECHAM S., PATHIRANA A., BÜLOW GREGERSEN I., MADSEN H. & NGUYEN .-T. (2013). Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review. Water Science & Technology, online im Internet: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/68/1/16/440018/16.pdf>, abgerufen am 12.09.2019
- ATV M 165 (2004). ATV-DVWK-M 165 - Anforderungen an Niederschlags-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung. ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- BAILEY O., ARNOT T., BLOKKER E., KAPELAN Z., VREEBURG J. & HOFMAN J. (2019). Developing a stochastic sewer model to support sewer design under water conservation measures. Journal of Hydrology, online im Internet: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.013>, abgerufen am 12.09.2019
- BASTIAN P. (2008). Grundlagen der Modellbildung und Simulation. Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart
- BBSR (2016). Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region
Forschungserkenntnisse und Werkzeuge. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn
- BISHT D., CHATTERJEE C., KALAKOTI S., UPADHYAY P., SAHOO M. & PANDA A. (2016). Modeling urban floods and drainage using SWMM and MIKE URBAN: a case study. Springer Science+Business Media Dordrecht , online im Internet: DOI 10.1007/s11069-016-2455-1, abgerufen am 26.09.2019
- BMNT (2018). Spezialthemen der Förderung in der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft gemäß FRL 2016. Version 4/2018, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 1010 Wien
- BMNT (2017). Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Aktualisierte Fassung, Jänner 2017, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 1010 Wien
- CCCA (2016). ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich. Climate Change Centre AUSTRIA, Wien
- CHEN W., HUANG G., ZHANG H. & WANG W. (2018). Urban inundation response to rainstorm patterns with a coupled hydrodynamic model: A case study in Haidian Island, China. Journal of Hydrology, online im Internet: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.069>, abgerufen am 12.09.2019
- CIVIL ENGINEERING TOOLS (05. 03 2020). Civil Engineering Tools - ce-tools, abgerufen am 2020 von <https://www.ce-tools.at/>
- DHI (2016). FORECASTING URBAN FLOODING IN GUADELOUPE - A local flood alert system for more efficient decision making of the Urban Community of Pointe à Pitre to mitigate flood impacts. DHI Group, online im Internet: <https://www.dhigroup.com/-/media/shared%20content/global/references/emea/case%20stories/forecasting%20Urban%20flooding%20in%20guadaloupe%20-%20dhi%20case%20story.pdf>, abgerufen am 28.12.2019
- DHI (2014). STORM WATER MANAGEMENT IN HUNGARY - Providing planning framework for climate adaptation to cities of Tát and Tokod. DHI Group, online im Internet: <https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/global/references/emea/case%20stories/storm%20water%20management%20and%20climate%20adaptation%20in%20hungary%20-%20dhi%20case%20story.pdf>, abgerufen am 28.12.2019

- DITTMER U., BACHMANN-MACHNIK A., FRICKE K., HAAS U., HOPPE H. & SCHÜTZE M. (2017). C3 Kanalnetzsteuerung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Regenabflüsse - Projekt SAMUWA. Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt - Beiträge der INIS-Forschung, Deutsches Institut für Urbanistik
- DWD (2019). Deutscher Wetterdienst - Wetterlexikon. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, online im Internet:
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html>, abgerufen am 12.06.2019
- ERTL T. (2015). Vorstellung des ÖWAV-Regelblatt 22 anlässlich der ÖWAV-Veranstaltung „Kanalmanagement“. Präsentationsfolien, Kanalnachbarschaftstag 2015
- ESWD (2015). ESWD Meldekriterien. European Severe Storms Laboratory, online im Internet: <https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/reporting/>, abgerufen am 12.06.2019
- FELLNER M. (2015). Erstellung eines Datenmodells zur strategischen Datenbeschaffung als Grundlage zur hydraulischen Modellierung von Kanalsystemen. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien
- FLEXADAPT (2019). Leitfaden Regenwasserbewirtschaftung. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 1010 Wien
- FREYTAG T., BANNERT L. & KÖNIG F. (2018). Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im Planungsprozess - Hintergründe, Problemfelder und Erfolgsfaktoren - Leitfaden. Institut für Umweltsozialwissenschaften und Geographie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- FUCHS H. (2014). Raumbezogenes Modellieren und Simulieren. Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur Wien
- FUCHS H. & ATZBERGER C. (2014). Vorlesungsunterlagen zu Geodatenmanagement. Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur Wien
- GAMREITH V., OLSSON J., HOCHEDLINGER M., CAMHY D. & GRUBER G. (2012). Abschätzung von zukünftigen Entlastungsfrachten nach dem ÖWAV Regelblatt 19 auf Basis von Klimamodellprognosen am Beispiel der Stadt Linz. Wiener Mitteilungen Band 225, Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien
- GARCIA L., BARREIRO-GOMEZ J., ESCOBAR E., TELLEZ D., QUIJANO N. & OCAMPO-MARTINEZ C. (2015). Modeling and real-time control of urban drainage systems: A review . *Advances in Water Resources*, online im Internet:
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.08.007>, abgerufen am 12.09.2019
- GUJER W. (2007). Siedlungswasserwirtschaft. 3., bearbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- HAAS U., RUF O., DITTMER U. & SCHÜTZE M. (2016). Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen - Aspekte zu deren Einführung. SAMUWA Publikation
- HALVGAARD R., FALK A., LUND N., BORUP M., MIKKELSEN P. & MADSEN H. (2017). Model predictive control for urban drainage: testing with a nonlinear hydrodynamic model. 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage, online im Internet:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjugbuK0NjmAhVDmYsKHVs5C_wQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fbackend.orbit.dtu.dk%2Fws%2Ffiles%2F140544407%2FRasmus.pdf&usg=AOvVaw0RQcGyOhDU-aamKAqFm119, abgerufen am 12.09.2019
- HEILAND S., MENGEL A., HÄNEL K., GEIGER B., ARNDT P., REPPIN N., WERLE V., HOKEMA D., HEHN C., MERTELMEYER L., BURGHARDT R. & OPITZ S. (2017). Bundeskonzept Grüne Infrastruktur - Fachgutachten. Bundesamt für Naturschutz, Bonn
- HEUSCH S. (2011). Modellprädiktive Abflusssteuerung mit hydrodynamischen Kanalnetzmodellen. Dissertation am Fachbereich Bauingenieurwesen und

- Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt, online im Internet:
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2559>, abgerufen am 14.03.2019
- HILLENBRAND T., NIEDERSTE-HOLLENBERG J., MENGER-KRUG E., KLUG S.,
 HOLLÄNDER R., LAUTENSCHLÄGER S. & GEYLER S. (2010). Demografischer
 Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und
 ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- HOCHEDLINGER M., HEINDL M., SCHWEIGHOFER P. & HOFBAUER P. (2012).
 Überstaunachweis des gesamten Linzer Kanalnetzes mithilfe der
 hydrodynamischen Kanalmodellierung nach dem neuen ÖWAV-Regelblatt 11.
 Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, online im Internet:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00506-012-0373-3>, abgerufen am
 14.03.2019
- HSB (2017). Praxisleitfaden - Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und
 detaillierten hydrodynamischen Modellen. Lehrgebiet Industrie- und
 Siedlungswasserwirtschaft in Metropolregionen, Hochschule Bremen
- HSGSIM (2008). Integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer HSG-
 Leitfaden der Arbeitsgruppe für integrierte Modellierung. 1. Auflage, Arbeitsgruppe
 Integrierte Modellierung, Hochschulgruppe Erfahrungsaustausch Dynamische
 Simulation in der Siedlungswasserwirtschaft (HSGSim)
- HÜRTER H. (2018). Erarbeitung gebietsspezifischer Anwendungsempfehlungen für bi-
 directional gekoppelte 1D-2D-Überflutungsberechnungen. Dissertation vom
 Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern
- ILPÖ (2016). Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung - Handlungsstrategien und
 Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. Institut
 für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
- KAMPFMANN W., SPORTMANN M. & WEGNER H. (2007). 2-dimensional instationäre
 Modellkopplungen - Kanalnetzmodell und 2-d-Oberflächenmodell. 4/2007, Die
 Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH informiert
- KOTOWSKI A. & NOWAKOWSKA M. (2018). Standards for the dimensioning and
 assessment of reliable operations of area drainage systems under conditions of
 climate change. Department of Water and Sewage, Faculty of Environmental
 Engineering, Wrocław University of Science and Technology
- KURAS (2016). Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur -
 Leitfaden zum methodischen Vorgehen. Projekt Kuras
- LAND SALZBURG - WASSER (2016). Leitfaden zur Überprüfung von Kanalanlagen. Amt
 der Salzburger Landesregierung
- LANUV (2010). Klimawandel und Kanalnetzberechnung (KUK) - Auswertung von
 Überflutungsereignissen in NRW und Hinweise zur Bemessung von
 Entwässerungssystemen vor dem Hintergrund des Klimawandels
 Abschlussbericht zum Forschungsprojekt IF 18 . 2. bearbeitete Auflage,
 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen,
 Recklinghausen
- LANUV (2012). Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung (KISS).
 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen,
 Recklinghausen
- LEHMANN J., COUMOU D. & FRIELER K. (2015). Increased record-breaking precipitation
 events under global warming. Climatic Change, online im Internet:
<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1434-y>, abgerufen am 06.06.2019
- LEIMGRUBER J., STEFFELBAUER D., KREBS G., TSCHIEKNER-GRATL F. &
 MUSCHALLA D. (2018). Selecting a series of storm events for a modelbased
 assessment of combined sewer overflows. Urban Water Journal, online im
 Internet: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2018.1508601>,
 abgerufen am 15.05.2019
- LIDL T. (2016). Umsetzung einer kombinierten Nachweisführung nach den ÖWAV-
 Regelblättern 11 und 19 am Fallbeispiel Weiz. Masterarbeit am Institut für

- Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz
- LOIBL W. (2011). reclip:century - Entwicklung eines Basisdatensatzes regionalisierter Klimaszenarien. Phase 1, AIT – Austrian Institute of Technology GmbH, Wien
- (2013). reclip:century - Entwicklung eines Basisdatensatzes regionalisierter Klimaszenarien. Phase 2, AIT – Austrian Institute of Technology GmbH, Wien
- MIKE POWERED BY DHI (2017). MIKE URBAN - Collection System, Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. DHI Group
- MIKOVITS C., JASPAR-TÖNNIS A., EINFALT T., HUTTENLAU M., RAUCH W. & KLEIDORFER M. (2015). Klimawandel, Stadtentwicklung und urbane Wasserinfrastrukturplanung – Risiken und Möglichkeiten. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, online im Internet:
https://www.researchgate.net/publication/275255458_Klimawandel_Stadtentwicklung_und_urbane_Wasserinfrastrukturplanung_-_Risiken_und_Moglichkeiten,
 abgerufen am 14.03.2019
- MKULNV (2011). Klimawandel und Wasserwirtschaft Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel. 2. Auflage, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- MONTERRAT A., HOFER T., POCH M., MUSCHALLA D. & COROMINAS L. (2017). Using the duration of combined sewer overflow events for the calibration of sewer hydrodynamic models. Urban Water Journal, online im Internet:
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1254255>, abgerufen am 31.05.2019
- MUSCHALLA D., SULZBACHER R., LEIMGRUBER J., MAIER R., ERTL T., NEUNTEUFEL R., KRETSCHMER F., KLEIDORFER M. & TSCHEIKNER-GRATL F. (2015). Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft Stubenring 1, 1010 Wien
- ÖNORM EN 752 (2017). Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖWAV (2007). ÖWAV-Leitfaden Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- ÖWAV RB 11 (2009). ÖWAV-Regelblatt 11 Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- ÖWAV RB 19 (2007). ÖWAV-Regelblatt 19 Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- ÖWAV RB 22 (2015). ÖWAV-Regelblatt 22 Betrieb von Kanalisationsanlagen. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- ÖWAV RB 220 (2019). ÖWAV-Regelblatt 220 Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- ÖWAV RB 40 (2010). Leitungsinformationssystem - Wasser und Abwasser. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- PÖCHHACKER F. (2018). Methodische Vorgehensweise zur teilautomatisierten Erstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells als Grundlage für die hydraulische Zustandsbewertung. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien
- RAITH K. I., HOPPE H., KUTSCH S., ANTE J. & MASSING C. (2017). Qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung - Konzeption und Umsetzung lokaler und stadtgebietsweiter Steuerungsstrategien. Version I, SAMUWA Publikation
- RAUCH W., KLEIDORFER M. & FACH S. (2010). Vom Bleistift zum Prozessor: Wandel der Modelle in der Siedlungsentwässerung. Österreichische Wasser- und

- Abfallwirtschaft, online im Internet:
https://www.researchgate.net/publication/225464526_Vom_Bleistift_zum_Prozess_or_Wandel_der_Modelle_in_der_Siedlungsentwässerung, abgerufen am 14.03.2019
- REGKLAM (2011). Auswirkungen des Klimawandels auf das Überstauverhalten der Dresdner Kanalisation. Endbericht, Regionales Klimaanpassungsprogramm Modellregion Dresden, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR), Dresden
- SCHAARDT V. (2012). Vergleich hydrologischer und hydrodynamischer Kanalnetzrechnungen. Dissertation am Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität der Bundeswehr München
- SCHMITT T. (2011). Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen - Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz?. Korrespondenz Abwasser - Abfall
- STADTENTWÄSSERUNG DRESDEN (2005). Abflusssteuerung des Dresdner Mischwassernetzes. Stadtentwässerung Dresden GmbH, online im Internet: https://www.stadtentwaesserung-dresden.de/fileadmin/user_upload/pdf/broschueren/6_Abflusssteuerung.pdf, abgerufen am 03.01.2020
- STATISTIK AUSTRIA (2019). statistik.at - Ein Blick auf die Gemeinde. Statistik Austria, online im Internet: <https://www.statistik.at/blickgem/gemDetail.do?gemnr=41321>, abgerufen am 05.03.2020
- STOKMAN A., HOPPE H., MASSING C., BRENNE F. & DEISTER L. (2015). Starkregenereignisse als Motor einer wassersensitiven Stadtentwicklung. KA - Korrespondenz Abwasser - Abfall, online im Internet: DOI: 10.3242/kae2015.02.002, abgerufen am 03.05.2019
- SUDPLAN (2012). Sustainable Urban Development Planner for Climate. Project Final Report, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping
- TELEGDY T. (2019). Was sagt die hydraulische Zustandsbewertung nach ÖWAV-Regelblatt 22 aus?. Kanalmanagement, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
- TSCHEIKNER-GRATL F., ZEISL P., KINZEL C., LEIMGRUBER J., ERTL T., RAUCH W. & KLEIDORFER M. (2016). Lost in calibration: why people still do not calibrate their models, and why they still should - a case study from urban drainage modelling. Water Science & Technology, IWA Publishing
- UMWELTBUNDESAMT (2019). Raumentwicklung - Rechtliche Grundlagen. Umweltbundesamt GmbH, 1090 Wien, online im Internet: https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_gesetze/, abgerufen am 18.06.2019
- UMWELTBUNDESAMT (2018). klimawandelanpassung, abgerufen am 12.05.2020 von https://klimawandelanpassung.at/ms/klimawandelanpassung/de/kwa_allgemein/kwa_glossar/
- VONACH T., KLEIDORFER M., RAUCH W. & TSCHEIKNER-GRATL F. (2018). An Insight to the Cornucopia of Possibilities in Calibration. Water Resources Management, online im Internet: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-018-2163-6>, abgerufen am 04.06.2019
- WENDNER M. (2011). Überprüfung, Anwendung und automatisierte Kalibrierung eines Kanalnetzmodells der Stadt Linz zur Bewertung nach ÖWAV Regelblatt 19 – Projekt SUDPLAN. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technischen Universität Graz
- WU X., WANG Z., GUO S., LAI C. & CHEN X. (2018). A simplified approach for flood modeling in urban environments. IWA Publishing, online im Internet: <https://iwaponline.com/hr/article-pdf/49/6/1804/509131/nh0491804.pdf>, abgerufen am 12.09.2019

YAZDANFAR Z. & SHARMA A. (2015). Urban drainage system planning and design – challenges with climate change and urbanization: a review. Water Science & Technology, online im Internet: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/72/2/165/467740/wst072020165.pdf>, abgerufen am 12.09.2019

10. Abkürzungsverzeichnis

Abwasserreinigungsanlage	ARA
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus	BMNT
Climate Change Centre Austria	CCCA
Digitales Geländemodell	DGM
Digitale Katastralmappe	DKM
Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs	eHYD
Geographisches Informationssystem	GIS
Intergovernmental Panel on Climate Change	IPCC
Leitungsinformationssystem	LIS
Mischwasserüberlaufbecken	MWÜB
Regelblatt	RB
Reinhalteverband	RHV
Regionalen Klimaanpassungsprogramm der Modellregion Dresden	REGKLAM
Regenrückhaltebecken	RRB
Regenüberlaufbecken	RÜB
Speicherkammer	SPK
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik	ZAMG

11. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Qualitative Darstellung der Abflussbildung eines Regenereignisses mit konstanter Intensität (Gujer, 2007, S. 206).....	10
Abb. 2 Darstellung der "Wellenverformung" (Muschalla et al., 2015).....	11
Abb. 3 Auswirkung unterschiedlicher Zeitauflösung (Muschalla et al., 2015).....	14
Abb. 4 Ansätze der beiden Modelle (Muschalla et al., 2015).....	15
Abb. 5 Beispiel eines Datenmanagementkonzepts in der hydrodynamischen Modellierung (Muschalla et al., 2015).....	25
Abb. 6 Prozessablaufschemata nach Pöchhacker (Pöchhacker, 2018).....	26
Abb. 7 Einfluss der Fragestellung auf den Datenbedarf (Pöchhacker, 2018).....	27
Abb. 8 Ergebnis des Optimierungsverfahrens (Muschalla et al., 2015).....	35
Abb. 9 1-jähriger und 2-jähriger Modellregen (eigene Darstellung).....	47
Abb. 10 Modellübersicht aus Mike Urban (eigene Darstellung).....	49
Abb. 11 Logo Mike Urban (MIKE powered by DHI, 2017).....	50
Abb. 12 Logos CePipe und CeWave (Civil Engineering Tools, 2020).....	51
Abb. 13 Abschnitt Vorarbeiten laut Pöchhacker (2018).....	52
Abb. 14 Optimierter Abschnitt Vorarbeiten (eigene Darstellung).....	53
Abb. 15 Abschnitt Datenerhebung nach Pöchhacker (2018).....	54
Abb. 16 Optimierter Abschnitt Datenerhebung.....	57
Abb. 17 Datenprüfung & Aufbereitung nach Pöchhacker (2018).....	58
Abb. 18 Dokumentation der Änderungen (eigene Darstellung).....	59
Abb. 19 Fehlerprüfung Mike Urban.....	60
Abb. 20 Optimierte Eingabemaske Modellregen (eigene Darstellung).....	61
Abb. 21 Adaptierter Abschnitt Datenprüfung & Aufbereitung (eigene Darstellung).....	62
Abb. 22 Abschnitt Modellierung nach Pöchhacker (2018).....	62
Abb. 23 Optimierter Abschnitt Modellierung (eigene Darstellung).....	63
Abb. 24 Optimiertes Ablaufschema (eigene Darstellung).....	64
Abb. 25 Importfeatures ArcGis (eigene Darstellung).....	66
Abb. 26 Export als Shape-File (eigene Darstellung).....	67
Abb. 27 Entscheidungsbaum zum Teilflächenanschluss (eigene Darstellung).....	68
Abb. 28 Zuordnung des Einzugsgebiets zu einem Entwässerungssystem (eigene Darstellung).....	69
Abb. 29 Automatische Einzugsgebietszuordnung.....	69
Abb. 30 Importoberfläche Mike Urban (eigene Darstellung).....	71
Abb. 31 Beispiel für eine Geometrieunreinheit (eigene Darstellung).....	71
Abb. 32 Importauswahl der verschiedenen Oberflächenabflussmodelle (eigene Darstellung).....	73
Abb. 33 Abflussparameter in Mike Urban (eigene Darstellung).....	75
Abb. 34 Beispiel für die Parameterzuordnung (eigene Darstellung).....	76
Abb. 35 Importoberfläche für das Niederschlagsereignis (eigene Darstellung).....	77
Abb. 36 Formatierung für den Import (eigene Darstellung).....	78
Abb. 37 Beckengeometrie (eigene Darstellung).....	79
Abb. 38 Geometrieberechnungsprogramm.....	80
Abb. 39 Beispiel für die Randbedingung Schmutzwasserabfluss (eigene Darstellung).....	81
Abb. 40 Beispielgebiet für die Netzlast-Methode (eigene Darstellung).....	81
Abb. 41 Einstellungen für die Netzlast-Methode (eigene Darstellung).....	82

Abb. 42 Inputdatein für den Abflusstransport (eigene Darstellung)	83
Abb. 43 Übersicht aus Mike Urban (eigene Darstellung)	86
Abb. 44 Situation der Zuflussüberprüfung (eigene Darstellung)	87
Abb. 45 Situation der Oberflächenabflussüberprüfung (eigene Darstellung)	88
Abb. 46 Betrachtungsgebiet der Ergebnisse (eigene Darstellung)	89
Abb. 47 Überstauhöhen einjähriges Ereignis (eigene Darstellung)	90
Abb. 48 Vergrößerte Ausschnitt Überstauhöhen einjähriges Ereignis (eigene Darstellung)	90
Abb. 49 Überstauhöhen zweijähriges Niederschlagsereignis (eigene Darstellung)	91
Abb. 50 Lage RRB 1 (eigene Darstellung)	92
Abb. 51 Wasserstand RRB 1 (eigene Darstellung)	92
Abb. 52 Lage RRB 2 (eigene Darstellung)	93
Abb. 53 Wasserstand RRB 2 (eigene Darstellung)	93
Abb. 54 Lage Speicherkammer (eigene Darstellung)	94
Abb. 55 Wasserstand Speicherkammer (eigene Darstellung)	94
Abb. 56 Lage MWÜB (eigene Darstellung).....	95
Abb. 57 Gegenüberstellung Wasserstand und Abflüsse Kammer 1 (eigene Darstellung) ..	96
Abb. 58 Gegenüberstellung Wasserstand Abflüsse Kammer 2 (eigene Darstellung)	96
Abb. 59 Lage Regenrückhaltebecken 3 (eigene Darstellung).....	97
Abb. 60 Wasserstand RRB 3 (eigene Darstellung)	98

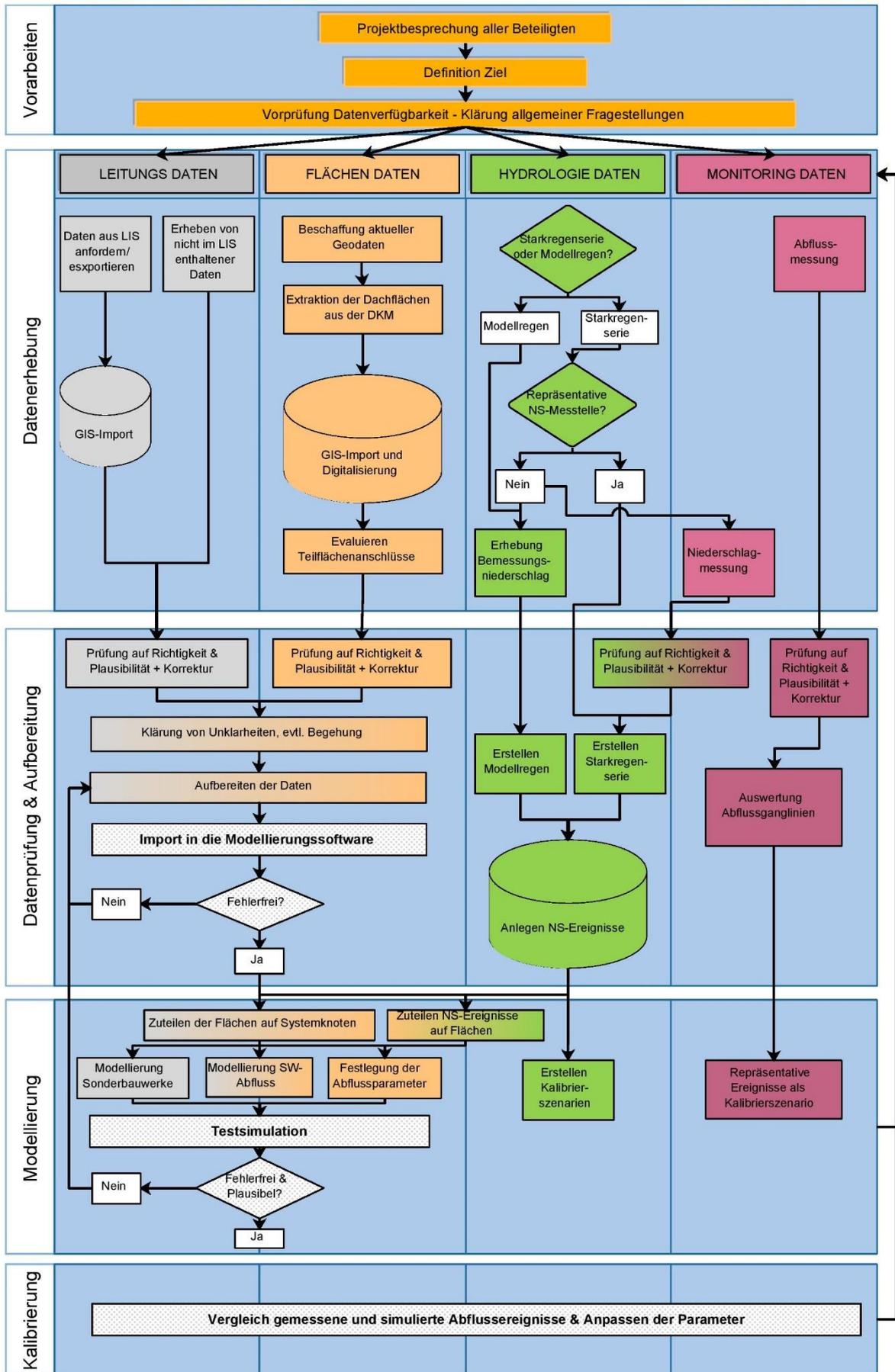
12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Berücksichtigte Effekte in den Vereinfachungen der Saint-Venant Gleichungen (Rauch et al., 2010).....	15
Tabelle 2 Mögliche Anwendungen der beiden Transportmodelle (Muschalla et al., 2015).	16
Tabelle 3 Vor- und Nachteile der beiden Transportmodelle (Muschalla et al., 2015).....	17
Tabelle 4 Empfohlene Überflutungshäufigkeiten (ÖNORM EN 752, 2008 zit bei (ÖWAV RB 11, 2009))	18
Tabelle 5 Empfohlene Überstauhäufigkeiten (DWA-A 118, 2006 zit. bei (ÖWAV RB 11, 2009))	18
Tabelle 6 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe	19
Tabelle 7 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe	19
Tabelle 8 Hydraulische Zustandsklassen (ÖWAV RB 22, 2015)	21
Tabelle 9 Vergleich der erforderlichen Daten nach ÖWAV-RB 11 & 19 und den durch RB 40 vorhandenen (ÖWAV RB 40, 2010)	28
Tabelle 10 Unterteilung der einzugsgebietsbezogenen Daten (Muschalla et al., 2015)	30
Tabelle 11 Bandbreiten für allgemeine Parametereinstellungen (Muschalla et al., 2015) .	35
Tabelle 12 Zuweisungen im Import von Haltungen (eigene Darstellung)	72
Tabelle 13 Allgemeine Zuweisungen im Import der Einzugsflächen (eigene Darstellung) .	74
Tabelle 14 Modellspezifische Parameter (eigene Darstellung)	75
Tabelle 15 Matrix der Abflussparameter (eigene Darstellung).....	75
Tabelle 16 Parameter der geometrischen Beckenmodellierung (eigene Darstellung)	79
Tabelle 17 Aufstellung Zufluss Kläranlage (eigene Darstellung)	87
Tabelle 18 Aufstellung Oberflächenabflussprüfung.....	88
Tabelle 19 Zulauf-/Ablaufwerte MWÜB einjähriges Ereignis	95
Tabelle 20 Gegenüberstellung Werte ein- und zweijähriges Ereignis	97

13. Anhang

13.1 Optimiertes Ablaufschema

Prozessablaufschaema einer hydrodynamischen Kanalnetzmodellierung



14. Lebenslauf



Felix Bugl, BSc

22. September 1992
Nationalität: Österreich
Bahnzeile 12/4
3644 Emmersdorf

T +43 660 5723160
E felix.bugl@gmx.at

Berufserfahrung

Seit Oktober 2019

Anstellung: Hydro Ingenieure Umwelttechnik GmbH

Durchführung von kulturtechnischen Planungen im
Siedlungswasserbau
Bauaufsicht und Bauleitung von Siedlungswasserbauprojekten

März – Juli 2018

**Anstellung: Ingenieurgemeinschaft Umweltprojekte, ZT-GmbH
für Bauingenieurwesen, Kulturtechnik und Wasserwirtschaft**

Mitarbeit bei kulturtechnischen Planungen

Juli – September 2017

Anstellung: Lang & Menhofer Baugesellschaft mbH & Co KG

Mitarbeit bei diversen facheinschlägigen Baustellen wie
Wasserleitungsbau, Kanalbau, Straßenbau, etc.

Juli 2016

**Praktikum: IKW - Ingenieurkanzlei für Wasserwirtschaft,
Umwelttechnik und Infrastruktur ZT - GmbH**

Zeichnen von Plänen in Acad, Verwalten von
Rohrleitungsdatenbanken, Vermessungsaufgaben

Juli 2015, September 2016

Praktikum: ÖBF-Forstbetrieb Steyrtal

Grenzvermessung: Rekonstruierung von fehlenden Grenzzügen
mit Hilfe geodätischer Vermessung

Juli 2014

**Praktikum: Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung
Wasserwirtschaft**

Eintragen von Hochwasserdammhöhen für das Projekt RHHQ-
Donau in ArcGis, Überprüfung von Konsensentnahmemengen,
Eintragen von Teichwasserbefunden in die WDV-Datenbank

Februar – April 2014

**Geringfügige Beschäftigung: Wiener Wohnen Kundenservice
GmbH, Abteilung Bauphysik**

Begehung und Dokumentation von schimmelbefallenen
Wohnungen

Ausbildung

10/2016 - laufend

Masterstudium: Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur, Wien

09/2012 – 08/2016

Bachelorstudium: Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur, Wien

09/2003 – 06/2011

Öffentliches Stiftsgymnasium Melk
Neusprachliche Langform, Matura

15. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Ort, Datum,

Vorname Nachname,

Unterschrift