



Dipl.-Ing. Shkelzen KRYEZIU

**Auswirkungen inhomogenen Niederschlags  
auf hydrologische Abflussmodelle  
am Beispiel der Stadt Graz**

**The impact of inhomogeneous precipitation  
on hydrological runoff models  
using the example of the city of Graz**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Umwelt und Verkehr - Bauingenieurwissenschaften

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk MUSCHALLA

Ass.-Prof. Dipl. -Ing. Dr. techn. Günter GRUBER

Mitbetreuende Assistenten:

DI Roman MAIER

DI Thomas HOFER

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, November, 2016

Kontakt:  
DI Shkelzen Kryeziu  
shkelzenkryeziu@gmail.com

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

### ***AFFIDAVIT***

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

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

---

Datum / Date

---

Unterschrift / Signature

## Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla und bei Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter Gruber bedanken, da sie mir die Möglichkeit gegeben haben, am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau meine Masterarbeit zu schreiben.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn DI Roman Maier und bei Herrn DI Thomas Hofer für die Betreuung, die Tipps und die fachlichen Erklärungen während der Verfassung meiner Arbeit.

Ich bedanke mich bei den Kooperationspartnern des Messnetzes Graz (Stadt Graz – Abteilung Grünraum und Gewässer, Berufsfeuerwehr Graz, Holding Graz Services Wasserwirtschaft, Land Steiermark – Abteilung 14, Hydrographie Steiermark, ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik inkl. Austro Control) für die Bereitstellung Ihrer Niederschlagsdaten und für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Freunden und KollegInnen Flamur Hasani, DI Bashkim Hasani, Besnik Gashi, Elidon Boqolli, Qamil Krasniqi, Shqipron Krasniqi, Kastriot Gjergji, Gjon Gjergji, Gerald Berisha, Barch. Besart Dajci, DI Firat Kilic, BSc. Shpresa Kryeziu, welche mich bei meiner Arbeit unterstützt haben, bedanken. Und ein extra Dank geht an Herrn Mag. Shpend Zhubi und an Herrn DDI. Johannes Wall.

Großer Dank gebührt auch meiner Verlobten Drita Trolli, die während des letzten halben Jahres auf viel gemeinsame Zeit verzichten musste und stets ein offenes Ohr für mich hatte.

Der größte Dank gilt meinen Brüdern, Muharrem und Shkelqim Kryeziu, da sie mich nicht nur finanziell unterstützt haben, sondern mich auch dazu motiviert haben, das Studium zu beenden.

Allerdings wäre es niemals so weit gekommen, wenn meine Eltern mich nicht unterstützt hätten. Daher möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bei Ihnen bedanken und widme meine Diplomarbeit Hasime und Veli Kryeziu.

## Kurzfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Ermittlung der Niederschlagsmengen in der Stadt Graz und der Umsetzung einer inhomogenen Niederschlagsverteilung in einem hydrologischen Modell. Bis dato wurden lediglich die Daten einer zentralen Messstation hierfür verwendet. Das bedeutet, es wurde bisher bei Modellsimulationen die Annahme getroffen, dass es in Graz überall gleichmäßig regnet (homogene Niederschlagsverteilung).

Im Rahmen der gegenständlichen Masterarbeit wurde mit einem Simulationsmodell das Abflussvolumen in das Kanalsystem ermittelt, welches durch das Kanalsystem zur Abwasserreinigungsanlage Graz geleitet wird. Temporäre Überlastungen des Kanalsystems infolge von Niederschlagsereignissen können über Mischwasserüberläufe in das Fließgewässer abgeführt werden.

Tatsächlich treten Niederschlagsereignisse, welche homogen über die ganze Stadt verteilt sind, nur sehr selten auf. Typisch für Graz sind konvektive bzw. lokal begrenzte Niederschläge.

Ziel ist es, mit Hilfe einer inhomogenen Niederschlagsverteilung diese inhomogen verteilten Niederschlagsverhältnisse abzubilden und deren Auswirkungen auf das Abflussverhalten im Kanalsystem von Graz abzuschätzen. Im Zuge der Realisierung der inhomogenen Niederschlagsverteilung werden zwei Verfahren (Thiessen-Polygon und Erweiterte-Inverse-Distanz) verwendet, um die Niederschlagsmengen für die einzelnen Teileinzugsgebiete zu ermitteln.

Die in der Arbeit durchgeführten Abflussberechnungen zeigen auf Basis der mit dem Niederschlagsmessnetz Graz erfassten inhomogenen Niederschlagsverteilung, einen deutlichen Einfluss auf die Abflussdynamik im Kanalsystem. Somit ermöglicht die inhomogene Niederschlagsverteilung eine verbesserte Darstellung der Niederschlags-Abflussdynamik im Stadtgebiet von Graz.

## **Abstract**

This Master's thesis deals with the measured quantities of precipitation in the city of Graz and its implementation as inhomogeneous precipitation in a hydrological simulation model. To date, the data used for this implementation was taken from a central measurement station. This means, that it was assumed that the rain in Graz is evenly distributed (homogeneous precipitation).

In this Master's thesis, the runoff volume to the sewer system, which is drained to the wastewater treatment plant of Graz, was determined by using a hydrological simulation model. Temporary overloads of the sewer system during precipitation events are discharged in surface waters by using combined sewer overflows.

In fact, precipitation events which are evenly distributed over the city's area are very rare. A more typical precipitation for the city of Graz can be described as convective and locally-limited.

The aim of this thesis is to illustrate the unevenly distributed precipitation conditions by using inhomogeneous precipitation and to determine their effects on the runoff behaviour of the sewer system of Graz. There are two methods which were used in order to determine precipitation of each sub-basin: The Thiessen-Polygon method and the Extended-Inverse-Distance method.

The calculations which were carried out in this Master's thesis clearly show spatially distributed precipitation events in the city area as well as distinctive discharge dynamics in the system. Therefore, the inhomogeneous precipitation enables an improved illustration of the precipitation dynamics in the city area of Graz.

## **Gleichheitsgrundsatz**

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

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>9</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Niederschlag.....	4
2.2 Niederschlagsarten.....	5
2.2.1 Fallender Niederschlag .....	6
2.2.2 Abgesetzter Niederschlag .....	7
2.2.3 Abgefangener Niederschlag.....	7
2.3 Niederschlagsarten nach Entstehung und ihre Reliefabhängigkeit.....	8
2.4 Zyklonaler (advektiver) Niederschlag .....	9
2.5 Niederschlagsmessmethoden .....	11
2.5.1 Ombrometer.....	12
2.5.2 Totalisatoren .....	13
2.5.3 Ombrograph.....	14
2.5.4 Niederschlagswippe.....	15
2.5.5 Niederschlagswaage.....	16
2.5.6 Distrometer .....	16
2.5.7 Radar .....	17
2.5.8 Satellitenmessung.....	18
2.6 Fehler bei der Niederschlagsmessung .....	19
2.6.1 Wartungen .....	21
2.6.2 Kalibrierung.....	21
<b>3 Siedlungsentwässerung der Stadt Graz.....</b>	<b>23</b>
3.1 Die derzeitige Situation der Mischwasserbewirtschaftung der Stadt Graz.....	25

3.2	Erweiterung der Mischwasserbewirtschaftung in Graz – Zentraler Speicherkanal (ZSK) .....	25
3.3	Niederschlagsmessstationen im Großraum Graz .....	26
3.4	Modelltechnische Grundlagen der Kanalnetzsimulation .....	28
3.5	Abflussbildung .....	29
<b>4</b>	<b>Methodik.....</b>	<b>33</b>
4.1	Aufnahme der Niederschlagsstationen.....	34
4.2	Datenaufbereitung .....	36
4.3	Beschreibung des hydrologischen N-A-Modells in KOSIM.....	37
4.4	Verfahren der Niederschlagsverteilung .....	38
4.4.1	Homogene Niederschlagsverteilung .....	38
4.4.2	Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV) .....	39
4.4.3	Erweitertes-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV) .....	40
4.4.4	Implementierung der Verfahren zur Niederschlagsverteilung im hydrologischen Simulationsmodell.....	41
4.5	Ausgewählte Niederschlagsereignisse für die Modellsimulation .....	43
4.5.1	Synthetische Niederschlagsereignisse (Euler-Typ-II-Modellniederschlag).....	43
4.5.2	Messtechnisch erfasste Niederschlagsereignisse.....	47
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>48</b>
5.1	Ergebnisse der Euler Kontrolle .....	48
5.2	Ergebnisse der synthetischen Niederschlagsereignisse (Euler-Typ-II).....	50
5.2.1	Ergebnisse in Richtung N-S.....	50
5.2.2	Ergebnisse in Richtung S-N.....	53
5.3	Ergebnisse der messtechnisch erfassten Niederschlagsereignisse .....	55
5.3.1	Ereignis 3: 2015-08-16 23:30:00 – 2015-08-17 13:30:00.....	55
5.3.2	Ereignis 6: 2015-10-06 23:30:00 - 2015-10-08 10:30:00 .....	62
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>70</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>i</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>v</b>
	<b>Anhang A.....</b>	<b>iii</b>



**Anhang B..... vi**  
**Anhang C..... xxi**

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Benennung der Messstationen für KOSIM.....	41
Tabelle 4-2:	Benennung der Einzugsgebietsflächen im KOSIM .....	43
Tabelle 4-3:	Benennung der Messstationen und deren Koordinaten .....	44
Tabelle 4-4:	Zeitliche Abfolge der Messstationen in N-S Richtung .....	45
Tabelle 4-5:	Zeitliche Abfolge der Messstationen in S-N Richtung .....	45
Tabelle 4-6:	Zeitliche Abfolge der Messstationen in W-O Richtung.....	46
Tabelle 4-7:	Zeitliche Abfolge der Messstationen in O-W Richtung.....	46

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Der hydrologische Kreislauf ( <a href="http://www.water-for-africa.org">www.water-for-africa.org</a> , letzter Zugriff am: 24.08.2016) .....	4
Abbildung 2-2:	Stadien einer Cumulonimbus-Wolke Bild 1: Wachstumstadium, 2: Reifestadium, 3: Auflösungsstadium ( <a href="http://www.gerd-pfeffer.de">www.gerd-pfeffer.de</a> , letzter Zugriff am: 14.09.2016).....	9
Abbildung 2-3:	Warmfront mit begleitenden Wolken, Sc = Stratocumulus, St = Stratus, Ns = Nimbostratus, As = Altostratus, Cs = Cirrostratus, Ci = Cirrus (Thomson Higher Education, 2008 zitiert nach Wallner, 2008).....	10
Abbildung 2-4:	Kaltfront mit begleitenden Wolken, Ci = Cirrus, Cs = Cirrostratus, Ac = Altocumulus, Cb = Cumulonimbus (Thomson Higher Education, 2008 zitiert nach Wallner, 2008).....	10
Abbildung 2-5:	Orographische Advektion ( <a href="http://img.webme.com/pic/n/naturspecial/steigungsregen.jpg">http://img.webme.com/pic/n/naturspecial/steigungsregen.jpg</a> , letzter Zugriff am: 14.09.2016) .....	11
Abbildung 2-6:	Links: Koreanischer Niederschlagsmesser aus 1770 n. Ch. (Sevruk, 1981), Rechts: Niederschlagsmesser nach Hooke ( <a href="http://www.slideplayer.org">www.slideplayer.org</a> , letzter Zugriff am: 24.08.2016) .....	12
Abbildung 2-7:	Niederschlagsmesser nach HELLMANN ( <a href="http://www.wetter.andreae-gymnasium.de">www.wetter.andreae-gymnasium.de</a> , letzter Zugriff am: 15.09.2016).....	13
Abbildung 2-8:	Niederschlagssammler-Totalisator, F=Auffangsfläche, R=Windschutzring, S=Sammelgefäß, H=Ablasshahn (Dracos, 1980) .....	14
Abbildung 2-9:	Niederschlagsschreiber nach Hellmann ( <a href="http://www.wupperverband.de">www.wupperverband.de</a> , letzter Zugriff am: 24.08.2016).....	15
Abbildung 2-10:	Niederschlagsmesser mit Wippe (Fürst, 2012) .....	15
Abbildung 2-11:	Niederschlagsschreiber mit Wiegenprinzip (Ott Hydrometrie, Foto rechts: Wupperverband) (Fürst, 2012) .....	16
Abbildung 2-12:	Distrometer ( <a href="https://thiesclima.com/distrometer.html">https://thiesclima.com/distrometer.html</a> , letzter Zugriff am: 25.10.2016) .....	17
Abbildung 2-13:	Radar-Niederschlagsmessung ( <a href="http://www.zamg.ac.at">www.zamg.ac.at</a> , letzter Zugriff am: 19.09.2016).....	18
Abbildung 2-14:	Satelliten–Niederschlagsmessung ( <a href="http://www.zamg.ac.at">www.zamg.ac.at</a> , letzter Zugriff am: 19.09.2016).....	19
Abbildung 2-15:	Windring bei einer Niederschlags-Messstation ( <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser">https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser</a> , letzter Zugriff am: 19.09.2016).....	20

Abbildung 3-1:	Entwässerungssystem der Stadt Graz .....	24
Abbildung 3-2:	ZSK (Zentraler Speicher Kanal) (Hofer et al., 2015) .....	26
Abbildung 3-3:	Niederschlagsmessstationen in und um Graz .....	27
Abbildung 3-4:	Modellkonzept abzubildender Prozesse in Entwässerungssystemen (Muschalla, 2009) .....	28
Abbildung 3-5:	Abflussbildung während eines Niederschlagsereignisses für unterschiedliche Flächen (ATV-DVWK, 2004) .....	30
Abbildung 3-6:	Prinzipieller Verlauf der Abflussbildung bei konstanter Niederschlagsintensität (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014) .....	30
Abbildung 3-7:	Modellansätze zur Abflussbildung (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014) .....	32
Abbildung 3-8:	Abflussbildung unter realen Bedingungen (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014) .....	32
Abbildung 4-1:	Ablaufschema der Masterarbeit .....	33
Abbildung 4-2:	Beispielprotokoll für die Niederschlagsmessstation „Graz – Stremayrgasse“ der TU Graz .....	35
Abbildung 4-3:	Übersicht über jene Niederschlagsmessstationen, die für die Bearbeitung der Masterarbeit verwendet werden konnten. ....	36
Abbildung 4-4:	Beispielhafte Visualisierung der Niederschlagsmessdaten über das OpenSDM-Framework der TU Graz (SWW) .....	37
Abbildung 4-5:	Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV) ( <a href="http://www.slideshare.net/">http://www.slideshare.net/</a> , letzter Zugriff am: 24.08.2016) .....	39
Abbildung 4-6:	Die Unterteilung der Stadt Graz mithilfe des TPV. Benennung der Stationen siehe Tabelle 4-1. ....	40
Abbildung 4-7:	Erweitertes-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV), MS: Messstation; POI: Point of Interest (Maier et al., 2016) .....	41
Abbildung 4-8:	Die Bezirke der Stadt Graz mit ihren Bezirksnamen und -nummern ( <a href="http://www.geomantie-graz.at">www.geomantie-graz.at</a> , letzter Zugriff am: 19.09.2016) .....	42
Abbildung 4-9:	Euler-II-Typ-Modellniederschlag .....	43
Abbildung 5-1:	Abflussdiagramm, Euler-Kontrolle .....	49
Abbildung 5-2:	Abflusskurvendiagramm, Euler-Kontrolle .....	50
Abbildung 5-3:	Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II - Modellniederschlag (N-S Richtung) .....	51
Abbildung 5-4:	Mischwasserüberläufe der Stadt Graz, welche für die Masterarbeit berücksichtigt worden sind. ....	52
Abbildung 5-5:	Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (N-S Richtung) .....	53
Abbildung 5-6:	Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II - Modellniederschlag (S-N Richtung) .....	54

---

Abbildung 5-7: Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (N-S Richtung) .....	55
Abbildung 5-8: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 17.08.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts).....	56
Abbildung 5-9: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 17.08.2015.....	57
Abbildung 5-10: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015 .....	58
Abbildung 5-11: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen .....	59
Abbildung 5-12: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015.....	60
Abbildung 5-13: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015 .....	61
Abbildung 5-14: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 17.08.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätzen.....	62
Abbildung 5-15: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 07.10.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts).....	63
Abbildung 5-16: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 07.10.2015.....	64
Abbildung 5-17: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015 .....	65
Abbildung 5-18: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen .....	66
Abbildung 5-19: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015.....	67
Abbildung 5-20: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015 .....	68
Abbildung 5-21: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 07.10.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätzen.....	69

# 1 Einleitung

Das Kanalsystem von Graz dient zur Sammlung, Weiterleitung und Entlastung nicht nur von häuslichen und gewerblichen Abwässern, sondern auch von anfallenden Niederschlagsabflüssen. Es gibt zwei Arten von Kanalsystemen, Trenn- und Mischsysteme, welche in Graz verwendet werden. In der Anfangsphase des Kanalbaus in Graz, vor etwa 100 Jahren, wurde ein reines Mischsystem verwendet. Das Entwässerungssystem heutzutage besteht aus einer Kombination von Misch- und Trennsystemen, wobei die Randgebiete und neuen Siedlungsgebiete der Stadt hauptsächlich als modifizierte Trennsysteme und die älteren Stadtteile als Mischsysteme ausgebildet sind. Das System beinhaltet dabei Haupt- und Nebensammler sowie Mischwasserentlastungen. Im Laufe der Zeit haben sich die Ansprüche der Stadtentwässerung deutlich verändert. Das Ziel ist nicht nur die bauliche und hydraulische Funktionssicherung der Kanäle zu gewährleisten, sondern auch die Durchführung der Niederschlags- und Mischwasserbewirtschaftung.

In der Mischwasserkanalisation (MWK) werden Mischwasserüberläufe (MÜ) aus technischen und wirtschaftlichen Gründen errichtet. Die technischen Gründe beziehen sich vor allem auf die hydraulische Leistungsfähigkeit der Kläranlage. Da diese hydraulisch begrenzt ist, muss bei Niederschlagsereignissen ein Teil des Mischwassers über Mischwasserüberläufe abgeschlagen werden. Wirtschaftlich betrachtet wird für die Ableitung der Niederschlagsereignisse auf die Errichtung der Mischwasserüberläufe gesetzt, da diese finanziell betrachtet doch wesentlich günstiger sind, als das gesamte abgeleitete Mischwasser auf der Kläranlage zu reinigen, was technisch auch kaum möglich wäre. Die überschüssige Mischwassermenge, die aus der Zusammensetzung von Schmutzwasser und Niederschlagswasserabfluss besteht und bei stärkeren Niederschlagsereignissen auftritt, wird von den Gewässern übernommen. Dies resultiert meist in einer hohen, temporären Schmutzfrachtbelastung für die Gewässer, die je nach vorhandener Abflusskapazität kritisch für die dort ansässige Flora und Fauna sein kann.

In Gössendorf bei Graz befindet sich die Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Stadt Graz (Ausbaugröße: 500 000 EW). Während Trockenwetterperioden ist die Kläranlage im Stande, das gesamte in der Kanalisation abgeleitete Abwasser von Graz bis zu einer Menge von maximal 1,6 m<sup>3</sup>/s zu reinigen. Bei starken Niederschlagsereignissen kommt es zur Erhöhung des Zuflusses beziehungsweise Abflusses, welchen die ARA nur bis maximal 3,2 m<sup>3</sup>/s aufnehmen kann und wodurch das überschüssige Mischwasser in die Mur abgeleitet wird.

## 1.1 Aufgabenstellung und Motivation

Um den in der Kanalisation abgeleiteten Abfluss in Graz mithilfe eines vorhandenen Simulationsmodells zu berechnen, wurde bis dato eine homogene Niederschlagsver-

teilung angewendet. Diese Methode wurde eingesetzt, um eine Niederschlags-Abfluss-Simulation für die Kanalnetze der Stadt Graz durchzuführen. Diese Simulation hat gezeigt, dass Starkniederschläge und die damit verbundenen MÜs für einen Großteil der Verschmutzung der Mur verantwortlich sind, weil die ARA nicht in der Lage ist, das gesamte abgeleitete Mischwasser zu verarbeiten. (Hofer et al., 2015)

Vor allem im Sommerhalbjahr sind in Graz konvektive Niederschlagsereignisse sehr häufig. Dabei handelt es sich um kurz andauernde, Starkniederschläge, die auf ein relativ kleines Gebiet begrenzt sind. Obwohl in und um Graz mehrere Niederschlagsmessstationen stehen, die von unterschiedlichen Organisationseinheiten betrieben werden, wurde bislang lediglich die Information von einer Niederschlagsmessstation verwendet, um im Modell das Abflussvolumen zu bestimmen. Die Motivation dieser Arbeit ist daher eine Abflussgenerierung unter Berücksichtigung der inhomogenen Niederschlagsverhältnisse im Stadtgebiet von Graz durch ein hydrologisches Modell.

Die Voraussetzungen, die für die Ermittlung einer inhomogenen Niederschlagsverteilung notwendig sind, werden in und um die Stadt Graz mit insgesamt 22 Niederschlagsmessstationen erfüllt, wovon zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Masterarbeit die Daten von 16 Stationen online erfasst und auf einem zentralen Server bei der Berufsfeuerwehr der Stadt Graz gespeichert wurden.

## **1.2 Zielsetzung**

Ziel dieser Masterarbeit ist die Abflussgenerierung über ein hydrologisches Modell. Diese Abflussgenerierung erfolgt durch den Ansatz einer inhomogenen Niederschlagsverteilung. Dadurch kann im Verhältnis zu einer homogenen Niederschlagsverteilung eine genauere Darstellung des Niederschlages und damit auch des in der Kanalisation abgeleiteten Abflusses abgebildet werden.

Der Ansatz einer inhomogenen Niederschlagsverteilung wird durch das Vorhandensein von 22 Messstationen in der Stadt Graz und in der Umgebung ermöglicht, von denen dzt. 16 Messstationen über eine Online-Datenanbindung verfügen und somit für die Bearbeitung dieser Masterarbeit zur Verfügung standen. Zusätzlich galt der Fokus auch der Sammlung und der Aufarbeitung der Daten der jeweiligen Messstationen.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war, neben der Implementierung der inhomogenen Niederschlagsverteilung mittels des hydrologisches Modell (KOSIM-Modells), auch der Einsatz und Vergleich von zwei Verfahren der inhomogenen Niederschlagsverteilung, des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV) (Thiessen, 1911) und des Erweiterten-Inverse-Distance-Verfahrens (EIDV) (Shepard, 1968), die für die flächige Verteilung der Niederschlagsdaten über das gesamte Einzugsgebiet eingesetzt wurden, und deren Vergleich mit der bisher angewandten Methode einer homogenen Niederschlagsverteilung.

Nachfolgend sollte in dieser Masterarbeit auf Basis eines mit 10 km/h über das Stadtgebiet ziehenden Euler-Typ-II-Niederschlags auch noch sein Richtungseinfluss auf

das Überlaufvolumen an den Mischwasserüberlaufbauwerken entlang der Mur abgeschätzt werden.

Abschließend sollen die ausgearbeiteten Ergebnisse aus den drei vorher erwähnten Verfahren (Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung = Referenz-Verfahren, TPV und EIDV) ausgewertet und miteinander verglichen werden, um die relevanten Unterschiede hervorzuheben. Die Kriterien, welche für den Vergleich der Methoden verwendet werden, sind die Abflussvolumina und die Charakteristika der Abflusskurven bezogen auf den Entlastungsabfluss der MÜs.



## 2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel folgen eine ausführliche Beschreibung des Niederschlags und dessen Arten. Außerdem werden die verschiedenen Messgeräte, die für die Ermittlung der Daten in dieser Masterarbeit von Relevanz sind, präsentiert. Zusätzlich werden in diesem Kapitel auch die möglichen Fehler, die während der Messungen auftreten können, beschrieben.

### 2.1 Niederschlag

Die Definition der World Meteorological Organization (WMO) für den Begriff Niederschlag lautet: „Wasser, das in flüssiger oder fester Form aus Wolken fällt bzw. sich direkt aus der Luft am Erdboden ablagert“ (WMO, 1992). Zur Bildung von Niederschlag müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt werden.

Die Erdoberfläche besteht zu ca. drei Viertel aus Wasser und einem Viertel aus Festland. Der Wasserkreislauf (siehe Abbildung 2-1) der Erde wird aus zusammenhängenden Wasserreservoirs gespeist. Mit Hilfe der Sonne wird der Wasserkreislauf in Gang gesetzt. Durch die Sonnenstrahlung wird die Erdoberfläche erwärmt, was dazu führt, dass das Wasser aus den Ozeanen, Seen und Flüssen, verdunstet. Die Wärmeenergie der Sonne wandelt das Wasser also in Wasserdampf um. Dieser Prozess heißt Verdunstung.



Abbildung 2-1: Der hydrologische Kreislauf ([www.water-for-africa.org](http://www.water-for-africa.org), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

Dieser Wasserdampf steigt auf, was wiederum zu einer Abkühlung des Wasserdampfes führt. Dabei gilt, je höher dieser aufsteigt, desto größer ist die Abkühlung. Dies hat

zur Folge, dass der unsichtbare Wasserdampf sich in sichtbare Wassertröpfchen umwandelt. Dieser Prozess wird auch Kondensation genannt.

Durch eine Ansammlung dieser kondensierten Wassertröpfchen entstehen Wolken. Einfach formuliert sind also Wolken nichts Anderes als eine Menge von Wassertropfen, welche in der Atmosphäre wie ein Wattebausch baumeln. Ein schwacher Wind reicht aus, um die Wassertröpfchen in der Luft zu halten, da sie nur ein sehr geringeres Eigengewicht aufweisen.

Die Anzahl dieser sich tummelnden Wassertröpfchen in einer Wolke steigt zunehmend. Ein Niederschlagstropfen besteht aus mindestens hundert Wassertröpfchen, die sich vereinen. Aufgrund der Verbindung der Wassertröpfchen wird der Niederschlagstropfen immer schwerer. Der Wind kann ab einem bestimmten Gewicht die vereinten Wassertröpfchen nicht mehr in der Atmosphäre halten, sodass der Niederschlagstropfen auf die Erde fällt. Der Niederschlagstropfen kann auf dem Weg nach unten weiter mit anderen Tropfen zusammenstoßen und infolgedessen weiterwachsen. Der Tropfen kann physikalisch einen Durchmesser von bis zu maximal neun Millimetern erreichen. Wenn die Tropfen größer werden, dann verformen sie sich und zerplatzen in mehreren Tropfen, während sie nach unten fallen. ([www.tk.de](http://www.tk.de), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

Wenn das Wasser, welches in verschiedenen Erscheinungsformen auftreten kann, auf dem Erdboden landet (d. h. Pflanzen, Gebäude, Wasser- und Eisflächen berührt) dann spricht man von Niederschlag. Dieser Niederschlag kann dabei in fester oder flüssiger Form vorkommen. Eine große Bedeutung für die Aufstellung von Wasser- bzw. Gebietsbilanzen hat die Interzeption und sollte deswegen stets berücksichtigt werden. Diese drückt jenen Anteil des Niederschlages aus, der von der Vegetationsdecke abgefangen wird. Verdunstet das Wasser oder wird von den Pflanzen absorbiert, stellt dies eine Niederschlagsverminderung für den, unter der Vegetation liegenden Erdboden dar. (Maniak, 1997)

Da die Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlung erwärmt wird, verdunstet ein Teil des gefallenen Niederschlags sofort wieder in die Atmosphäre. Der Rest des Niederschlags versickert ins Grundwasser und nährt im Endeffekt Seen, Flüsse und Meere. ([www.tk.de](http://www.tk.de), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

## 2.2 Niederschlagsarten

Es gibt verschiedene Typen von Niederschlägen. Die fallenden Niederschläge beinhalten den größten Anteil des Gesamtniederschlags. Es kann zwischen dem sogenannten abgesetzten und dem abgefangenen Niederschlag unterschieden werden. Eine weitere Gliederung der Niederschlagstypen erfolgt aufgrund des Aggregatzustandes, welcher in flüssiger oder fester Form vorliegen kann.

Die Gliederung der Niederschlagsarten nach Baumgartner & Liebscher (1996) und Heyer (1977):

### 2.2.1 Fallender Niederschlag

Die fallenden Niederschläge werden vom Großteil aller Niederschlagsmessstationen aufgenommen. Diese Niederschläge werden durch Kondensation oder Sublimation des Wasserdampfes in der Atmosphäre hervorgerufen.

#### Flüssige Form

*Sprühregen* (Nieselregen) ist ein sehr feiner Regen, dessen Wassertropfen einen Durchmesser unter 0,5 mm aufweisen. Aus diesem Grund verlieren die Tropfen ihren Halt zwar sehr langsam aber gleichmäßig. Sie entstehen durch Kondensation und waren vor dem Herabfallen nicht vereist. Zudem wird Sprühregen von geringen Intensitäten gekennzeichnet.

Der durchschnittliche Durchmesser eines Regenwassertropfens kann zwischen 0,5 und 5,0 mm variieren (wobei physikalisch eine maximale Tropfengröße mit einem Durchmesser von 9 mm erreicht werden kann). Ein großtropfiger Regen kann nur dann entstehen, wenn ein Teil der Regenwolke Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist. Die Eisteilchen verlieren den Halt und durch die wärmenden Luftschichten verflüssigen sie sich. Daher landen diese als Wassertropfen verschiedener Größen auf dem Erdboden.

#### Feste Form

*Schnee* beinhaltet viele kleine Eiskristalle, welche meist unübersichtlich sind. Im Normalfall verfügen die Kristalle über eine sechseckige Plättchen- oder Stern-Form, welche dank Sublimation bei Temperaturen unter  $-12^{\circ}\text{C}$  gebildet werden. Diese bestimmte Form der Eiskristalle hängt von Temperatur und Feuchtigkeit ab. Eine Schneeflocke ist dabei eine Zusammensetzung mehrerer Eiskristalle.

*Reifgraupel* zeigen eine schneeähnliche Struktur, deren Form weiße, undurchsichtige, runde, jedoch nur selten kugelförmige Körner, aufweisen. Im Allgemeinen fällt Reifgraupel schauerartig und kann einen Durchmesser bis zu 5 mm aufweisen.

*Frostgraupel* sind halbdurchsichtige, runde, nasse Körner aus gefrorenem Wasser. Sie weisen einen Durchmesser zwischen 2 und 5 mm auf und fallen als kurze Schauer - oft auch mit Regen herunter.

*Griesel* sind die Vorstufe von Reifgraupel. Sie sind weiße, undurchsichtige, abgeplattete Körnchen von schneeähnlicher Struktur, mit einem Durchmesser kleiner als 1 mm.

*Hagel* ist die Weiterentwicklung der Frostgraupel, da sich bei einem Hagelkorn durch kräftigen Aufwind immer neue Schichten anlagern können. Daher besteht ein Hagelkorn aus mehreren Schichten und kann einen Durchmesser zwischen 5 und 50 mm erreichen.

*Eiskörnchen* bestehen aus Eiskörnern, die durchsichtig bis halbdurchsichtig, kugelförmig oder unregelmäßig sowie hart sein können. Ihr Durchmesser beträgt 1 bis 4 mm.

### 2.2.2 Abgesetzter Niederschlag

Der Unterschied zwischen fallenden und abgesetzten Niederschlägen ist ihre Art der Entstehung. Die fallenden Niederschläge erreichen ihre Form in der Luft, oberhalb des Erdbodens. Im Vergleich dazu erhalten die abgesetzten Niederschläge ihre charakteristische Form erst an der Erdoberfläche. (<http://www.mondorf-wetter.de>, letzter Zugriff am: 24.08.2016)

#### Flüssige Form

*Tau* wird mit Hilfe von Kondensation hervorgerufen. In der Nähe der Erdoberfläche gibt es feste Gegenstände, welche durch Wärmeabstrahlung kälter werden, während der Taupunkt der benachbarten Luft unterschritten wird. Hierdurch werden auf dem Gegenstand kleine Wassertropfen gebildet. Tau entsteht hauptsächlich bei Windstille und in erster Linie an horizontalen Flächen.

Der Entstehungsprozess des *Taubeschlags* ist identisch mit dem der Taubildung. Im Gegensatz zum Tau richtet sich der Taubeschlag jedoch an vertikalen Flächen aus.

#### Feste Form

*Reif* entsteht auf die gleiche Art und Weise wie der Tau. Der Taupunkt muss dabei allerdings unter dem Gefrierpunkt liegen. Aus diesem Grund fügen sich feine Eiskristalle zusammen. Dieser Niederschlag entsteht durch Sublimation.

*Frostbeschläge* entstehen identisch wie Reif, sie treten aber vor allem an vertikalen Flächen auf. Die Menge des Taus, die in der Nacht erzeugt wird, wird mit Hilfe von Niederschlagshöhen beschrieben. Bei der Niederschlagsmessung wird die Niederschlagshöhe des Taus, aufgrund der geringen Höhe allerdings kaum beachtet.

### 2.2.3 Abgefangener Niederschlag

Das Entstehen des abgefangenen bzw. ausgekämmten Nebel- oder Wolkenniederschlags findet an der Oberfläche statt. Diese Art des Niederschlages kann erhebliche Zusatzintensitäten zu Stande bringen. Dieser Vorgang tritt bei Bergwäldern in höheren Lagen, die oft in Wolken gehüllt sind, auf.

#### Flüssige Form

*Nebelniederschläge* treten als Nebel- oder Wolkentropfen, welche an der Oberfläche erfasst werden, auf.

#### Feste Form

*Raureif* entsteht aufgrund einer unter dem Gefrierpunkt liegenden Temperatur. Man spricht hier von einer Nebelfrostablagerung. Der Raureif enthält feine Eisnadeln, welche anfangs durch Sublimation erzeugt werden. Sie tragen unterkühltes Wasser des Nebels langsam zusammen und vergrößern sich somit.

*Raufrost* bezeichnet eine Nebelfrostablagerung. Sie enthält im Vergleich zum Raureif kompakte, kugelartige Formen von körniger Struktur. Die Bildung und Weiterentwicklung von Raureif ist nur bei stärkeren Luftbewegungen gegeben.

*Raueis* bzw. feste anhaftende "**Eisfahnen**" bilden sich meist bei dichtem Nebel und Temperaturen zwischen -2 und -10 °C.

### 2.3 Niederschlagsarten nach Entstehung und ihre Reliefabhängigkeit

Es gibt drei Typen von Niederschlägen, welche nach der beginnenden Hebung des Luftpaketes entstehen können: Konvektive, zyklonale und orographische Niederschläge. *Konvektive* Niederschläge sind von der Abkühlung des Luftpaketes infolge von thermischer Konvektion beeinflusst. *Zyklonale* Niederschläge (auch Frontalniederschläge genannt) entstehen an meteorologischen Fronten. *Orographische* Niederschläge bilden sich aufgrund von aufsteigenden Luftmassen an Gebirgszügen. ([www.spektrum.de](http://www.spektrum.de), letzter Zugriff am: 14.09.2016)

In Gebirgen können konvektive und zyklonale Niederschläge verstärkt oder abgeschwächt werden. Ähnlich kann die Niederschlagsintensität in Gebirgen nicht nur bei konvektiven, sondern auch bei zyklonalen Niederschlagsformen verändert werden. Deswegen müssen sich die Niederschlagsformen auch nicht gegenseitig ausschließen. *Konvektion* stellt eine Zirkulationsströmung dar, bei der die erwärmte Luft aufsteigt. Auf diese Weise kühlt sie sich ab. Abschließend sinkt die Luft seitlich wieder ab, sodass sie erneut in den Kreislauf hineingelangt. Eine starke thermische Erwärmung der Luft über der Oberfläche sorgt dafür, dass sie sich ausdehnt und aufsteigt. Das ist ausschlaggebend für konvektive Niederschläge.

Da die vertikale Strömungskomponente über die horizontale überwiegt, kann die Luft weiter aufsteigen. Dadurch entstehen Kumuluswolken in verschiedenen Mächtigkeit, die zu Wärmegewittern führen können. Diese Art von Gewitter ist besonders im Sommer präsent. Der konvektive Niederschlagstyp ist durch eine geringe Dauer und durch lokal begrenzte Niederschläge geprägt. Die Dauer eines Gewitters liegt meist zwischen einer halben und einer ganzen Stunde (Weusthoff, 2005 zitiert nach Wallner, 2008). Sie können schlagartig vorkommen und sich auch schnell wieder zurückziehen. Die Reichweite des Gewitters beträgt in der Regel 20 bis 50 km<sup>2</sup>. (Weusthoff, 2005 zitiert nach Wallner, 2008)

Der Kreislauf der Gewitterzelle legt die räumlich-zeitliche Niederschlagsverteilung und ihre Bewegung in der aktuellen Strömung fest. Eine Gewitterwolke kann dabei mehrere dieser Zellen enthalten, die genau ein Maximum haben. Die Niederschlagsverteilung der Zellen breitet sich von der Mitte nach außen hin aus. Die Kumulus-, Reife- und Altersstadium-Reihe ist der Prozess, den jede Zelle durchläuft (siehe Abbildung 2-2). Die Vergrößerung der Wolke wird vom Kumulusstadium beschrieben, welche durch eine rückwärts gerichtete Aufwindströmung hervorgerufen wird bei der sich die Wolke nach oben hin ausdehnt.

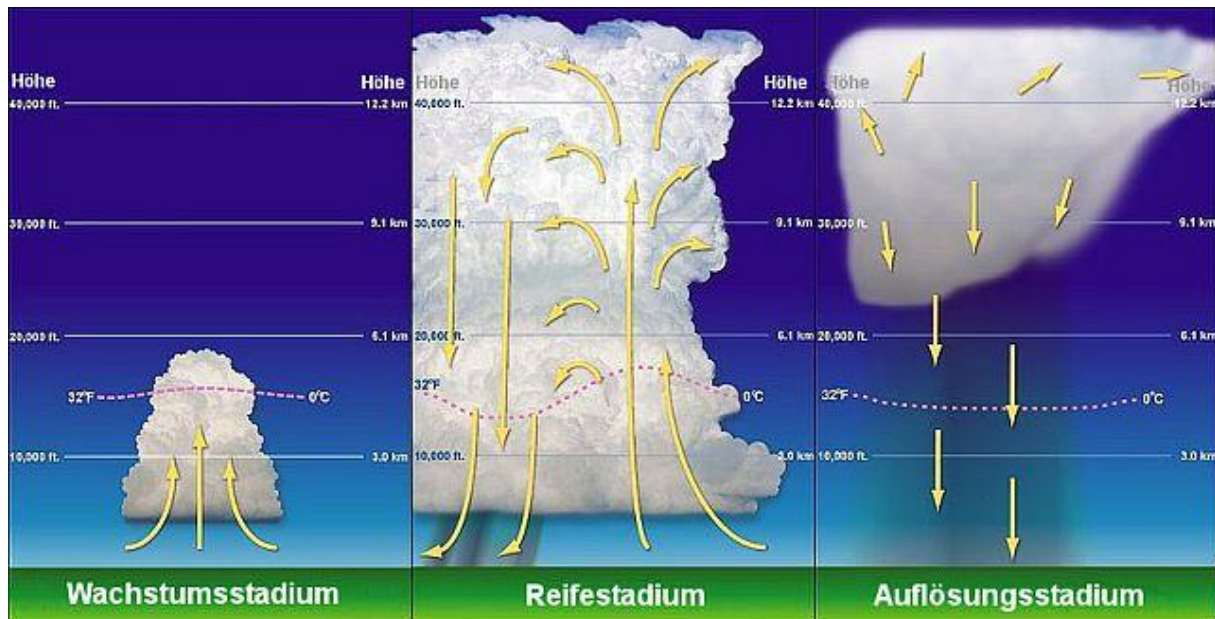


Abbildung 2-2: Stadien einer Cumulonimbus-Wolke Bild 1: Wachstumsstadium, 2: Reifestadium, 3: Auflösungsstadium ([www.gerd-pfeffer.de](http://www.gerd-pfeffer.de), letzter Zugriff am: 14.09.2016)

Der Aufbau von Niederschlagsteilchen erfolgt im Reifestadium. Während die Luft abfällt, werden die Niederschlagsteilchen mit Hilfe der Verdunstung abgekühlt. Infolgedessen generieren sie einen Abwindbereich, der die Niederschlagszelle schließt. Damit entsteht am Boden das sogenannte „Gewitterhoch“. Die Zirkulation wird durch den Temperaturgradienten über Verdunstung und Kondensation aufrechterhalten. Im Altersstadium bricht der Aufwindbereich wegen mangelndem Nachschub anfeuchten, potenziell instabil geschichteten Luftmassen zusammen. Dadurch verstärkt sich zuerst der Niederschlag noch und hört dann relativ abrupt auf.

## 2.4 Zyklonaler (advektiver) Niederschlag

Mittels Aufsteigen von Luft wird ein *zyklonaler* Niederschlag hervorgerufen, der in Tiefdruckgebieten in der Atmosphäre und dem daraus entstehenden horizontalen Zusammenströmen entsteht. Nichtfrontaler Niederschlag wird durch Zusammenströmen und Aufsteigen hervorgerufen. Im Gegenzug dazu entstehen frontale Niederschläge, wenn eine Luftmasse über die andere gleitet. Die Grenze zwischen zwei Luftmassen wird als Front bezeichnet. (Bronstert, 2004)

Die Niederschläge, die an Fronten gebunden sind, heißen *frontale* Niederschläge. In der Atmosphäre herrschen Temperaturfronten, welche dreidimensionale Reichweiten enthalten, vor. Im Gegensatz zur Umgebung hat die Reichweite der Temperaturfront einen höheren horizontalen Lufttemperaturgradienten. Die Vertikalbewegung an den Fronten ist der Grund für die Niederschläge. Man unterscheidet zwei Arten von Niederschlägen: *Warmfrontniederschlag* und *Kaltfrontniederschlag*. Diese werden wie folgt beschrieben:

Bei einer *Warmfront* schiebt sich eine warme Luftmasse über mehrere hundert Kilometer, über eine kalte Luftmasse. (vgl. Abbildung 2-3). Niederschläge und Bewölkung breiten sich über einen weiten Raum aus und zeichnen sich durch ihre lange Zeitdauer aus, jedoch ist die Intensität relativ gering. Die Geschwindigkeit der Warmfronten beträgt ca. 15 - 20 km/h. Je stabiler die geschichtete Warmluft ist, desto weniger Gewitter und Niederschläge gibt es. Aus diesem Grund entsteht Niederschlag im Sommer öfters als im Winter.

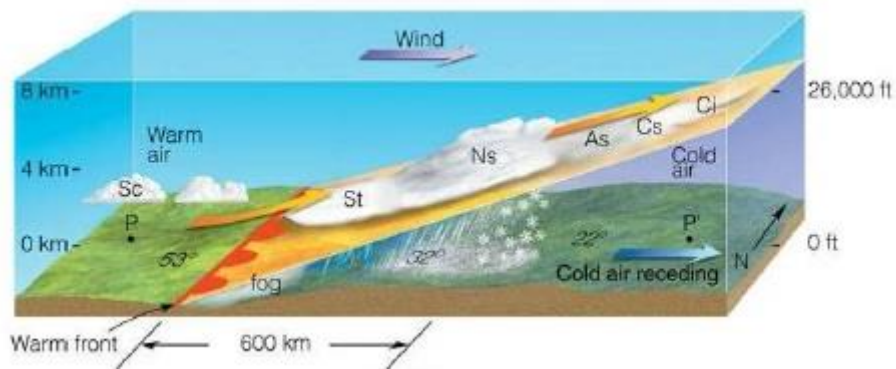


Abbildung 2-3: Warmfront mit begleitenden Wolken, Sc = Stratocumulus, St = Stratus, Ns = Nimbostratus, As = Altostratus, Cs = Cirrostratus, Ci = Cirrus (Thomson Higher Education, 2008 zitiert nach Wallner, 2008)

*Kaltfronten* sind das Gegenteil von Warmfronten (vgl. Abbildung 2-4). Sie bilden sich ebenfalls beim Zusammenstoßen von Luftmassen. Der Unterschied besteht darin, dass die Kaltfront unter die stationäre Warmfront gleitet, sodass sich an der Warmfront Wolken bilden, welche Niederschläge verursachen. Meist sind diese Niederschläge intensiv aber von kurzer Dauer. Kaltfronten bewegen sich im Vergleich zu Warmfronten mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit von etwa 30 - 80 km/h.

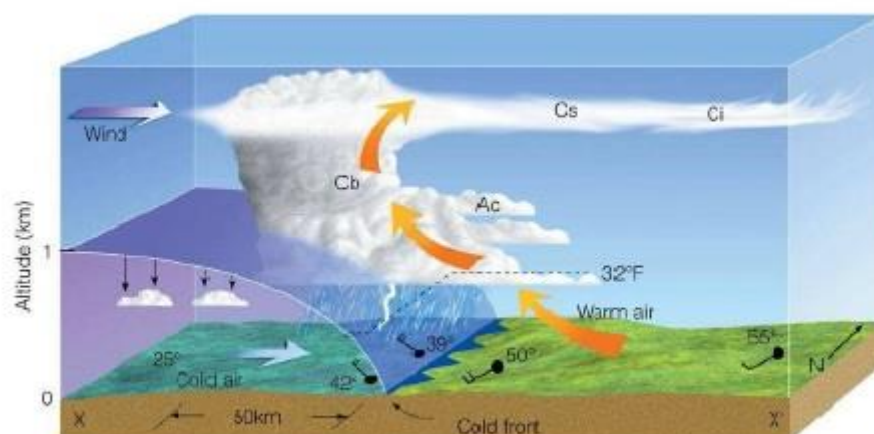


Abbildung 2-4: Kaltfront mit begleitenden Wolken, Ci = Cirrus, Cs = Cirrostratus, Ac = Altocumulus, Cb = Cumulonimbus (Thomson Higher Education, 2008 zitiert nach Wallner, 2008)

Über dem Festland kommen häufig orographische Niederschläge (siehe Abbildung 2-5) vor. Diese Art von Niederschlägen wird durch Anheben von Luftmassen verursacht, welche in Gebirgsgebieten entstehen. Zyklonale Niederschläge werden dadurch verstärkt. Auf der sogenannten Luvseite (der Wind zugewandten Seite) ist der Niederschlag intensiver als auf der Leeseite (die der Wind abgewandten Seite). Bei kleinen zyklonalen oder konvektiven Vorgängen ist der orographische Niederschlag für gewöhnlich schwach.

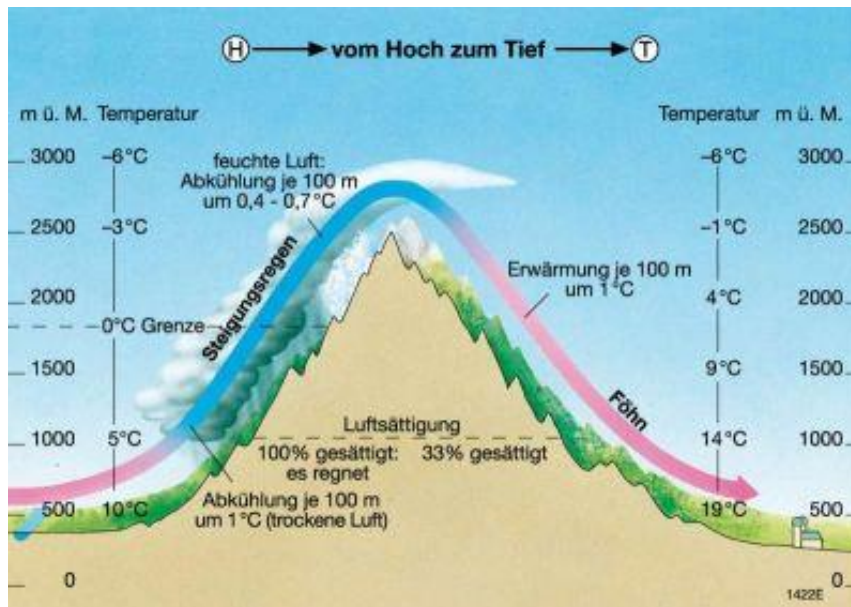


Abbildung 2-5: Orographische Advektion (<http://img.webme.com/pic/n/naturspecial/steigungsregen.jpg>, letzter Zugriff am: 14.09.2016)

Bereits mäßige Geländeunterschiede können eine höhere Niederschlagsmenge bewirken. Ebenso ist die Orientierung der Erhöhung zur Strömungsrichtung entscheidend. Die Intensität des Niederschlags hängt sowohl von der Temperatur und Feuchte als auch von der Stärke der Strömung und der Höhe der Gebirgserhöhung ab. (Bronstert, 2004)

## 2.5 Niederschlagsmessmethoden

Flüssiger Niederschlag wird zur messtechnischen Erfassung meist in einem Gefäß gefangen, dessen Öffnungsfläche exakt bekannt ist. Das Volumen des gesammelten Niederschlags wird entweder über die Gefäßgröße und den Füllinhalt bestimmt oder abgewogen.

Der Niederschlag wird dabei meist in mm oder in L/m<sup>2</sup> angegeben. Dabei entspricht 1 L/m<sup>2</sup> jeweils 1 mm. Zur Beschreibung: Die Niederschlagsmenge wird als Volumen angegeben. Das heißt, fällt 1 mm Niederschlag auf einen Quadratmeter, gleicht dies einem Volumen von 1 mm \* 1 m \* 1 m Niederschlag, oder 1 dm<sup>3</sup>: (0,01 dm / (10 dm \* 10 dm) = 1 dm<sup>3</sup>. Dies wiederum entspricht genau einem Liter, also 1 L/m<sup>2</sup> = 1 mm.



In China wurden erste Niederschlagsmesser mit einem Durchmesser von 22.5 cm und einer Höhe von 48 cm aus dem Jahr 1424 gefunden. Ungefähr zur selben Zeit waren auch schon Niederschlagsmesser in Korea bekannt. Diese wurden aus Bronze hergestellt und hatten die Form einer einfachen Vase mit einem Durchmesser von 14 cm und einer Höhe von 30 cm. Der Niederschlagsmesser stand auf einem Sockel. Die Niederschlagshöhe wurde nach jedem Niederschlagsereignis mittels eines Maßstabs abgelesen. Drei koreanische Niederschlagsmesser aus späteren Zeiten (1770, 1811), konnten ebenfalls gefunden werden (siehe Abbildung 2-6). Sie waren 32 cm hoch und wiesen einen Durchmesser von 25 cm auf. Die chinesischen und koreanischen Niederschlagsmesser waren von der Form her sehr einfach konstruiert. Äußerlich unterschieden sie sich jedoch kaum von den modernen europäischen Niederschlagsmessern. (Sevruk, 1981)



Abbildung 2-6: Links: Koreanischer Niederschlagsmesser aus 1770 n. Ch. (Sevruk, 1981), Rechts: Niederschlagsmesser nach Hooke ([www.slideplayer.org](http://www.slideplayer.org), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

### 2.5.1 Ombrometer

Der *Ombrometer* ist ein zylindrisches Sammelgefäß mit Aufsatz, das nach der Ausführung von Hellmann 200 cm<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 2-7), aber in der heute gängigen Ausführung nach Kostlivy eine 500 cm<sup>2</sup> Einfallöffnung aufweist. Der Ombrometer kann Niederschlag auffangen, der in flüssiger Form mittels Messglas ausgelitert und damit bestimmt wird. Bis zum heutigen Tag gehört der Ombrometer zur Basisausstattung jeder Niederschlagsmessstation. (Gattermayer, 2000 zitiert nach Thaler, 2004)

Die Auffangfläche befindet sich im Normalfall 1 m über der Erdoberfläche. Zusage des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden die Werte der Aufstellungshöhe wie folgt empfohlen:

Bei einer Stationshöhe von  $\leq 500$  m über Normal Null (NN) 1.00 m über Erdboden

Bei einer Stationshöhe von  $> 500$  m bis 800 m über NN 1.50 m über Erdboden

Bei einer Stationshöhe von > 800 m über NN 2.00 m über Erdboden

([www.dwd.de](http://www.dwd.de), letzter Zugriff: 29.09.2016)

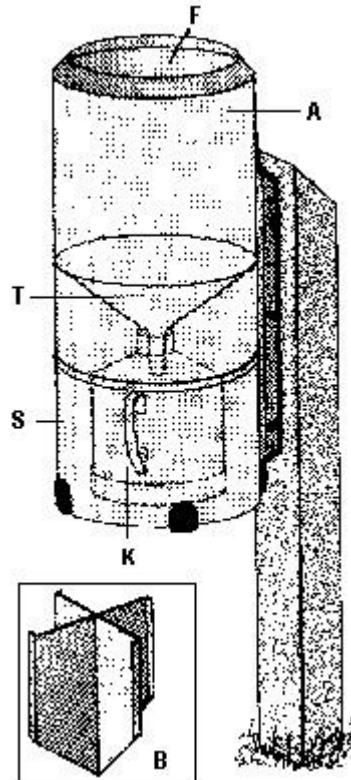


Abbildung 2-7: Niederschlagsmesser nach HELLMANN ([www.wetter.andreae-gymnasium.de](http://www.wetter.andreae-gymnasium.de), letzter Zugriff am: 15.09.2016)

F=Auffangöffnung mit 200 cm<sup>2</sup>, A=Auffanggefäß, T=eingebauter Trichter, S=Schutzgehäuse, K=Sammelkanne, B=Schneekreuz für den Winter

## 2.5.2 Totalisatoren

Durch die Tatsache, dass immer mehr unbesiedelte Regionen von Menschen erobert wurden, war es notwendig, das Sammelgefäß so zu modifizieren, dass Niederschlagsmengen über einen längeren Zeitraum aufbewahrt werden können, ohne dass dieses überläuft. Daraus ergaben sich die Totalisatoren (siehe Abbildung 2-8).

*Totalisatoren*, auch Niederschlagssammler genannt, werden dazu verwendet, den gefallenen Niederschlag über einen längeren Zeitraum, von bis zu einem Jahr, zu sammeln. Eingesetzt werden diese beispielsweise in schwer zugänglichen Regionen, da es dort nicht möglich ist, täglich Messwerte auszulesen. Eine künstlich aufgetragene Glycerinschicht verhindert die Verdunstung. Der Niederschlag gelangt durch eine Einfallöffnung, die meist 200 cm<sup>2</sup> groß ist, in ein konisches Sammelgefäß, welches groß genug ist, die Niederschlagsmenge eines halben bis eines ganzen Jahres zu sammeln. Um auch über das ganze Jahr eine konstante Sammlung des Niederschlags zu

ermöglichen, wird eine Gefrierschutzlösung verwendet, damit auch der feste Niederschlag aufgenommen werden kann. Die Totalisatoren werden wegen ihrer abgelegenen Standorte in der Regel in größeren Zeitabständen, wie etwa einem Monat besucht, um dadurch den Niederschlagszuwachs zu bestimmen.

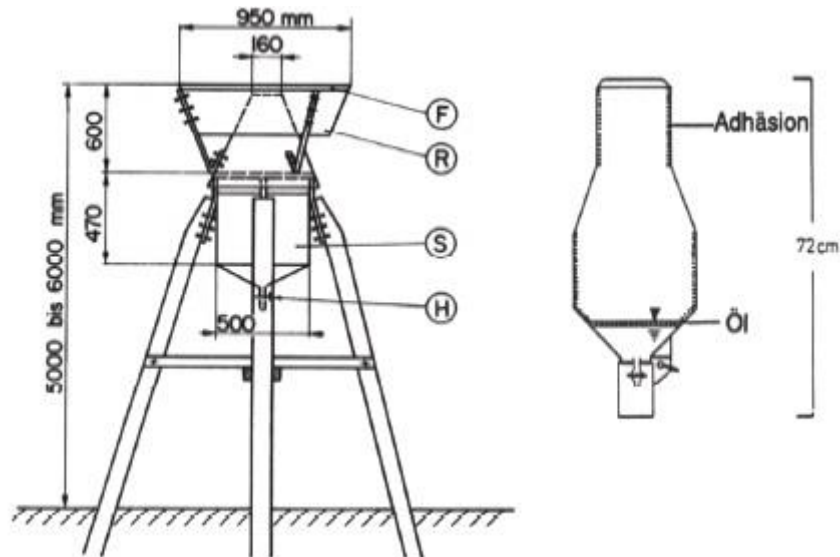


Abbildung 2-8: Niederschlagssammler-Totalisator, F=Auffangfläche, R=Windschutzring, S=Sammelgefäß, H=Ablasshahn (Dracos, 1980)

Bei diesen Messungen steht nicht die zeitliche Auflösung des Niederschlagsgeschehens im Mittelpunkt, sondern viel mehr liegt die Bedeutung in der Information über das Niederschlagsdargebot von meist hochgelegenen, im Winter noch schwerer erreichbaren Regionen. Dieser Messgerätetyp liefert die Basisinformation für viele wasserwirtschaftlichen Fragen und ermöglicht dadurch auch den Bau von Speicherkraftwerken in hochalpinen Einzugsgebieten.

### 2.5.3 Ombrograph

Die Niederschlagsregistrierung ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Eine davon ergibt sich, wenn bei Temperaturen um 0 °C und darunter, der Niederschlag in feste Form übergeht, dieser jedoch über einen längeren Zeitraum als Flüssigkeit gemessen wurde.

In der Abbildung 2-9 ist der Ombrograph dargestellt, der auf dem Schwimmerprinzip beruht. Er setzt einen flüssigen Niederschlag voraus und entleert sich nach dem Niederschlagszuwachs von selbst. Dies erfolgt jedoch nur dann, wenn sich eine bestimmte Menge Wasser im Tank befindet, sodass im besten Fall eine unterbrechungsfreie Registrierung erfolgt.

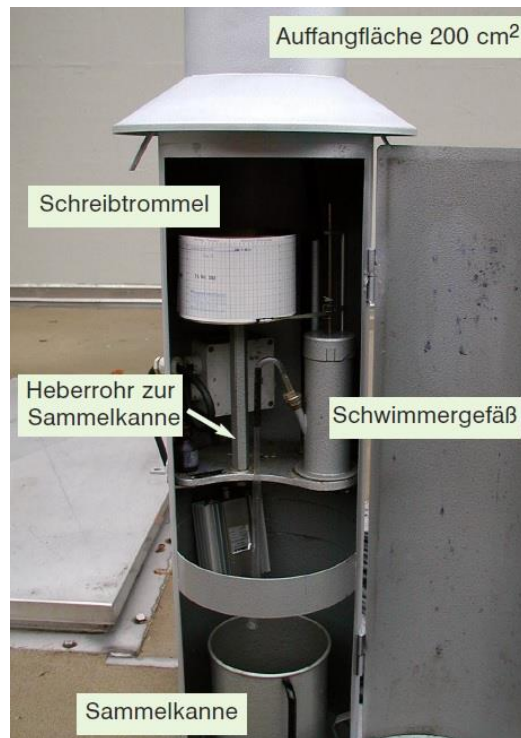


Abbildung 2-9: Niederschlagsschreiber nach Hellmann ([www.wuppverband.de](http://www.wuppverband.de), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

### 2.5.4 Niederschlagswippe

Das abfließende Wasser, das sich im Trichter befindet, wird zu Tropfen, möglichst gleicher Größe geformt, welche entweder auf  $0,2 \text{ cm}^3$  oder  $0,4 \text{ cm}^3$  regulierbar ist (<http://www.meteorologyshop.eu/>, letzter Zugriff am: 25.10.2016). Dieser Volumenwert variiert je nach Herstellungsfirma. Diese Tropfen werden schließlich elektronisch mittels einer Umschlagwippe mit einem vorgegebenen Auffangvolumen gezählt.

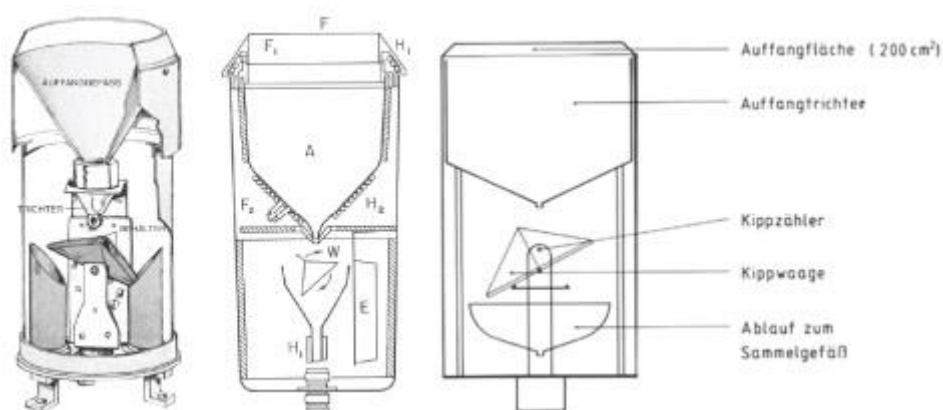


Abbildung 2-10: Niederschlagsmesser mit Wippe (Fürst, 2012)

### 2.5.5 Niederschlagswaage

Das praktische an der Niederschlagswaage ist, dass sowohl der flüssige als auch der feste Niederschlag durch eine genormte Öffnung von in der Regel 500 cm<sup>2</sup> in das Auffanggefäß fällt, welches im Winter ein Frostschutzmittel beinhaltet oder mit einer Heizung ausgestattet ist (vgl. Abbildung 2-11). Das Auffanggefäß mit einem Volumen von 40 L steht direkt auf einer Plattformwaage, bei der die Niederschlagsmenge für die unmittelbare Erfassung abgewogen wird. Gespeichert werden das Gesamtgewicht, welches sich im Auffangbehälter befindet, sowie die akkumulierte Niederschlagsmenge in 1 / 10 mm. Bei diesem Zuwachs von 1 / 10 mm wird über einen Relaiskontakt ein Impuls abgegeben. Um die Niederschlagsmenge wieder auf null zu setzen, bieten sich zwei Möglichkeiten an: Sie kann entweder automatisch oder manuell erfolgen. Nach Zunahme der Niederschlagsmenge kommt es zu einem Vergleich des Referenzwertes. Die Zunahme, welche vom Messgerät abhängt, wird am Relais als ein Impuls abgegeben und der Zähler der Niederschlagsmenge wird dadurch um 1 erhöht.



Abbildung 2-11: Niederschlagsschreiber mit Wiegenprinzip (Ott Hydrometrie, Foto rechts: Wupperverband) (Fürst, 2012)

### 2.5.6 Distrometer

Das Distrometer, ist ein Gerät für vielfältigste Anwendungen und vollständige Niederschlags-Charakterisierung. Es arbeitet mit einem laserbasierenden Messprinzip zur Erfassung aller bekannten Niederschlagsarten. Damit können zahlreiche Faktoren wie Menge, Intensität, Partikel- Größe und die Geschwindigkeit des Niederschlags erfasst werden. (<https://thiesclima.com/distrometer.html>, letzter Zugriff am: 25.10.2016)



Abbildung 2-12: Distrometer (<https://thiesclima.com/distrometer.html>, letzter Zugriff am: 25.10.2016)

### 2.5.7 Radar

Das Radar („Radio detecting and ranging“), eignet sich zur Erfassung von Niederschlagsgebieten. Der Vorteil hierbei ist, dass flächendeckend Daten eines großen Gebietes mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung von bis zu 1 km<sup>2</sup> bzw. 5 min, generiert werden können. Durch den großen Wirkungsradius von etwa 200 km kann ein großes Gebiet von etwa 100.000 km<sup>2</sup> abgedeckt werden.

Jedoch kann ein Radar nur die Niederschlagsintensität messen und ohne Referenzmessungen am Boden mithilfe von Niederschlagsmessstationen hat dies nur eine geringe Aussagekraft. In der Siedlungswasserwirtschaft erfolgt die Radarmessung in großer Höhe und kann dadurch deutlich vom tatsächlichen Niederschlag auf die Oberfläche abweichen.

Prinzipiell funktioniert ein Radar, indem eine gerichtete Antenne Impulse elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 3 bis 10 cm, welche im Mikrowellenbereich liegen, abstrahlt. Partikel, die größer als 0,2 mm sind, reflektieren die ausgesandten Strahlen teilweise. Da die Wellenlänge jedoch unverändert bleibt bevor der nächste Impuls ausgestrahlt wird, wird ein Teil der Strahlung von dem Empfangsgerät des Radars aufgenommen und gemessen. Die reflektierenden Partikel sind hierbei die Wassertröpfchen und Eiskristalle. (Janssen, 1998/99 zitiert nach Thaler, 2004)

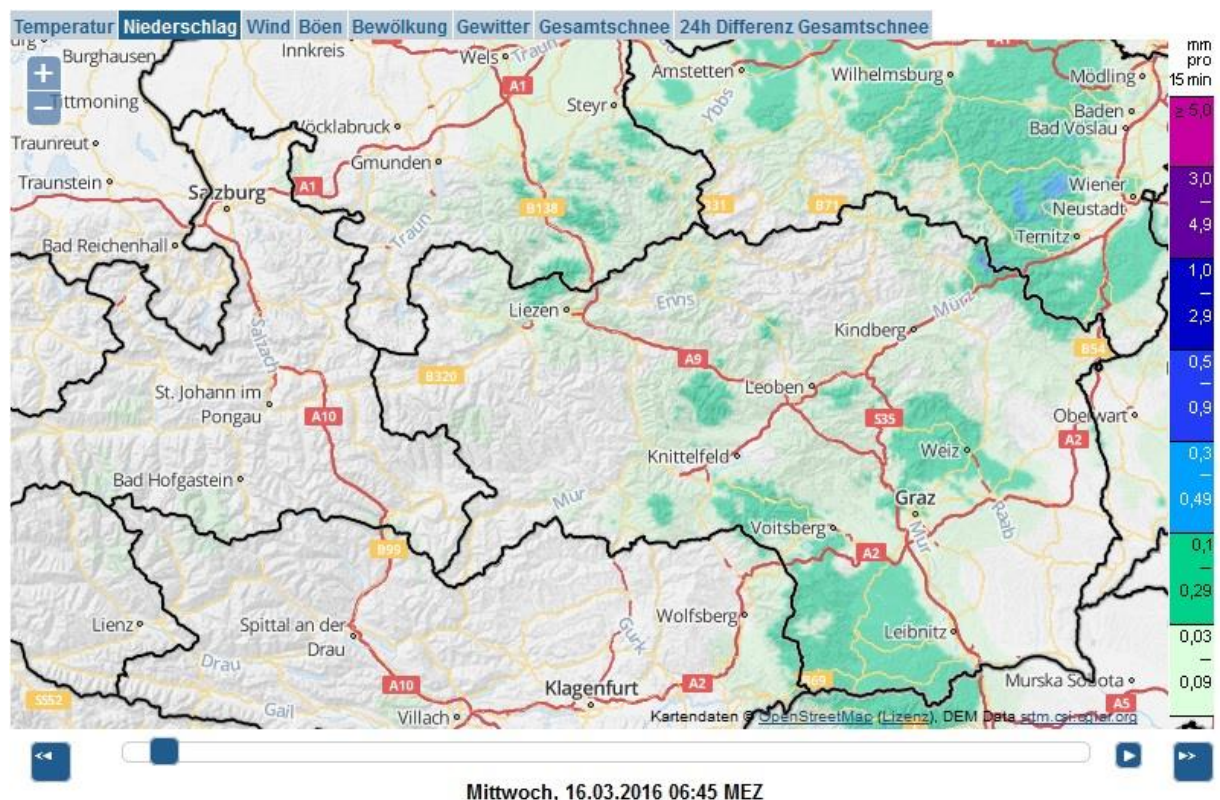


Abbildung 2-13: Radar-Niederschlagsmessung ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at), letzter Zugriff am: 19.09.2016)

### 2.5.8 Satellitenmessung

Infrarot-sensorische Satellitenmessungen beschränken sich auf die Darstellung und Klassifizierung von Wolken. Für direktes Messen von Niederschlägen sind sie nicht geeignet. Eine große Rolle für Wettervorhersagen spielt die Auswertung solcher Satellitenbilder allerdings deswegen, weil die Erde zu 70 % aus meist unzugänglichen Ozeanen besteht, wo allerdings die Mehrheit der Wolken entsteht. Satellitenbilder werden ermittelt, um den globalen atmosphärischen Verlauf von großen Wolkenmassen zu beobachten.

Die Lokalisation der Niederschläge über den Ozeanen wird nur beschränkt über Satellitenbilder ermöglicht. Dadurch werden die Wolkenkomplexe auffindig gemacht, welche sie in Verbindung mit Niederschläge gebracht werden können. Nicht nur für die Beobachtung der Niederschläge, sondern auch für die Analyse des globalen Klimawandels dienen die Satellitenbilder als primäre Quelle. Der Unterschied zwischen Radar und Satellit liegt darin, dass der Satellit ein passives Fernerkundungssystem ist, welches die Menge und Wellenlängenverteilung von emittierter und reflektierter Sonnenstrahlung misst. (Koch, 2003)

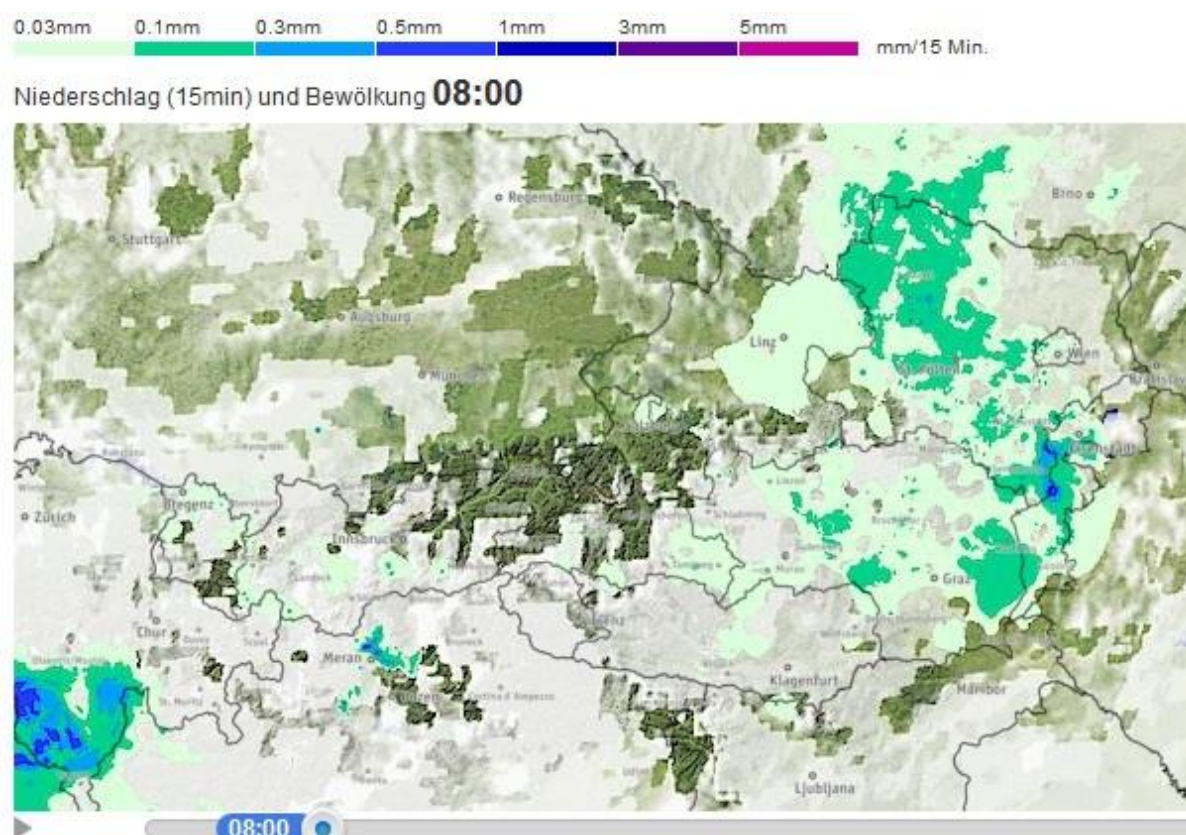


Abbildung 2-14: Satelliten–Niederschlagsmessung ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at), letzter Zugriff am: 19.09.2016)

## 2.6 Fehler bei der Niederschlagsmessung

Bei der Messung von Niederschlägen können Fehler auftreten. Man unterscheidet im Wesentlichen zwischen systematischen und zufälligen Fehlern. Dabei sind systematische Fehler leichter handzuhaben, da sie regelmäßig vorkommen. Darunter zählen etwa eine schlechte Kalibrierung des Messgerätes oder ein falscher Aufstellungsort.

Zufällige Fehler sind schwer zu berücksichtigen, da sie zu selten vorkommen und schwer zu erkennen sind (z. B.: Beobachtungsfehler).

Zu den groben Fehlern zählt unter anderem der windbedingte Niederschlagsfehler, bei dem es zu Umströmungen und Turbulenzen kommen kann. Deswegen können Niederschläge vom Messgerät teilweise nicht richtig erfasst werden. Dieser Messfehler kann je nach Windgeschwindigkeit aber auch durch Hindernisse in der Umgebung stark beeinflusst werden. (z. B.: Bäume, Gebäude). Bei Schneefall kann dieser Fehler beträchtlich hoch ausfallen, da es zu einer größeren Verdriftung kommen kann. Um diese Messfehler kategorisch zu vermeiden, sollten Niederschlagsmesser auf einem freien Feld mit reichlich Abstand zu etwaigen Hindernissen errichtet werden. Im Gebirge ist die Windgeschwindigkeit in der Regel noch um einiges höher. Um diese jedoch zu berücksichtigen, werden bei Totalisatoren häufig Windringe (siehe Abbildung 2-15) eingesetzt.





Abbildung 2-15: Windring bei einer Niederschlags-Messtation (<https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser>, letzter Zugriff am: 19.09.2016)

Überdies kann auch der *Einfalleffekt* auftreten. Auf Hangstationen wird die Auffangfläche immer horizontal aufgestellt. Durch den vom Wind entstehenden Winkel fallen die Niederschlagsteilchen allerdings nicht senkrecht herunter, um in der Auffangfläche zu landen. Vor allem bei stärkerem Wind kann der Niederschlag über die Auffangfläche geweht und daher nicht erfasst werden. Durch eine systematische Wahl von Standorten kann dem entgegengewirkt werden.

Zu den groben Messfehlern zählt auch der *Spritzwasserfehler*. Dieser tritt bei sehr wuchtigen Niederschlagstropfen und bei einer hohen Geschwindigkeit auf. Beim Niederschlag in dem Auffangbehälter spritzt ein Teil wieder heraus und wird somit messtechnisch nicht erfasst. Hier ist die richtige Aufstellungshöhe von Vorteil, da bei zu niedriger Höhe Spritzwasser auch vom Boden in den Behälter gelangen und zu einem Messüberschuss führen kann. Niederschlagsmesser werden in der Regel ca. 1 Meter über dem Boden angebracht. ([www.dwd.de](http://www.dwd.de), letzter Zugriff: 29.09.2016)

Des Weiteren kann *Haftwasserverlust* auftreten. Durch Adhäsionskräfte bleibt eine kleine Wassermenge am Auffanggefäß hängen und verdunstet. Dieser Effekt ist nur bei sehr geringer Niederschlagsmenge zu bemerken. Bei einer hohen Niederschlagsmenge macht dieser Fehler kaum einen Unterschied.

Verdunstungsverluste bei Niederschlagsammlern sind grundlegend größer. Durch das einmalige Ablesen pro Tag kommt es zu einem gerätespezifischen Verdunstungsverlust. Dieser steht mit der Temperatur, Luftfeuchtigkeit und der Windgeschwindigkeit in Verbindung und bietet kaum Beseitigungsmöglichkeiten.

Bei Totalisatoren, welche nur einmal pro Jahr abgelesen werden, ist dies besonders gravierend. Durch ein Öl (Glycerin), welches im Sammelgefäß des Totalisators schwimmt, wird dem Messfehler entgegengewirkt. Bei automatischen Messgeräten kommt es aufgrund von kontinuierlichen Messungen zu keinem Verlust durch Verdunstung. Verdunstungsfehler treten auch bei beheizten Niederschlagsmessgeräten auf. Hier wird Schnee, welcher in das Gefäß fällt, geschmolzen wobei Verdunstungseffekte auftreten. Bei sehr geringer Heizleistung und nicht all zu tiefen Temperaturen fällt dies kaum ins Gewicht. Bei sehr tiefen Temperaturen ist eine hohe Heizleistung notwendig. Dementsprechend fällt die Verdunstung aufgrund des geringen Dampfdrucks sehr hoch aus.

Zu den instrumentenspezifischen Messfehlern zählen das Verschlucken (überschwapender Niederschlag der bei der Wippenzählung nicht erfasst wird) der Niederschlagswippen bei hoher Niederschlagsintensität oder der Verlust der Niederschlagsmenge, welche bei der Entleerung in den Trichter fällt (Schwimmerprinzip). (Wastl, 2008)

### **2.6.1 Wartungen**

Bei Niederschlagswaagen wie beispielsweise dem OTT Pluvio<sup>2</sup> - Wiegeprinzip reicht es, einmal im Jahr einen Genauigkeitscheck durchzuführen. Die Wartung kann vor Ort mittels Referenzgewichten und einem Laptop durchgeführt werden. ([www.ott.com](http://www.ott.com), letzter Zugriff am: 25.10.2016)

Die Oberflächeneigenschaften der Niederschlagswippe können durch leichte äußerliche Einflüsse entscheidend verändert werden, wofür bereits ein einzelnes Sand- oder Staubkörnchen genügt. Aus diesem Grund sollte eine monatliche Reinigung der Wippe durchgeführt werden, auch wenn eine Verschmutzung nicht sichtbar ist. Durch mangelnde Reinigung der Wippe können in kürzester Zeit erhebliche Messfehler auftreten. Daher wird die Genauigkeit des Gerätes, wenigstens einmal pro Monat mit einem Tropfer überprüft, der eine exakt definierte Wassermenge in einem bestimmten Zeitraum für die Messelektronik liefert. Falls aber eine Abweichung von mehr als zwei Prozent auftritt, muss die Messwippe einer gründlichen, speziellen Säuberung unterzogen werden. Nach diesem Prozess werden wiederholte Tropfertests durchgeführt bis keine Abweichung mehr nachweisbar ist. ([www.wetterstation-schlickelde.de](http://www.wetterstation-schlickelde.de), letzter Zugriff am: 24.08.2016)

### **2.6.2 Kalibrierung**

Für das OTT Pluvio<sup>2</sup> ist dank der hermetisch abgeschlossenen Wägezelle nur eine einmalige Kalibrierung nötig. Wegen der einzigartigen „Lifetime–Kalibrierung“ ist eine weitere Kalibrierung für das Gerät überflüssig. ([www.ott.com](http://www.ott.com), letzter Zugriff am: 25.10.2016)

Das Alter der Messeräte hat einen großen Einfluss auf die Messwerte. Deswegen sind Kalibrierungen des Messgerätes erforderlich. Die Zeitintervalle zwischen den Kalibrierungen sind je nach Messgerät unterschiedlich. Diese wird von der Herstellerfirma angegeben und ist einzuhalten. Nach Vasvari (2005) kann eine genaue Kalibrierung nur im Labor mit Hilfe eines Spezialmessgerätes stattfinden. Anhand Dillig (2006), welcher sich mit Kalibrierungen von Messgeräten auseinandergesetzt hat, geht hervor, dass „die Wippe trotz kleiner Verschleißerscheinungen im täglichen Gebrauch ihre Messfähigkeit beibehält“ (Dillig, 2006). Die Pflege und Wartung muss aber eingehalten werden. Zuzufolge der Herstellerfirma Onset Computer Corporation kann eine hochpräzise Kalibrierung der Messgeräte nur im Labor erfolgen, aber auch vor Ort lässt sich mit relativ einfachen Mitteln eine ungefähre Prüfung durchführen. ([www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com), letzter Zugriff am: 29.09.2016)

### 3 Siedlungsentwässerung der Stadt Graz

Das Kanalnetz von Graz hat eine Länge von ca. 850 km, davon sind 70 % Mischwasserkanäle und 30 % Trennsystem. Die kanalisierte Einzugsgebietsfläche beträgt 17,9 km<sup>2</sup>.

In der Mischwasserkanalisation (MWK) wurden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen seit jeher Mischwasserüberläufe (MÜ) errichtet und betrieben. Die MÜs dienen sowohl der Entlastung der Kanalisation als auch der Kläranlage, welche hydraulisch mit 3,2 m<sup>3</sup>/s maximal die doppelte maximale Trockenwettermenge (1,6 m<sup>3</sup>/s) zur Reinigung der Abwässer übernehmen kann. Der Rest muss entweder dem Stand der Technik entsprechend zwischengespeichert oder in die vorhandenen Oberflächengewässer im Einzugsgebiet der Kläranlage abgeschlagen werden. Diese Abschlüsse beinhalten meist hohe Schmutzfrachtanteile, welche den Gewässern temporär stark zusetzen können.

In Abbildung 3-1 sind die MW-Kanäle in grüner Farbe und Trennsystemkanäle in roter Farbe dargestellt. Entlang der Mur sind die MÜs sowohl mit der Bezeichnung L als auch mit R eingetragen. L steht für die MÜs auf der linken Seite der Mur und R für MÜs auf der rechten Seite. Aus der Skizze erkennt man neben dem Buchstaben auch eine Zahl, die als Nummerierung der MÜs gilt. In Gössendorf (südlich von Graz) befindet sich linksufrig die Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Stadt Graz.

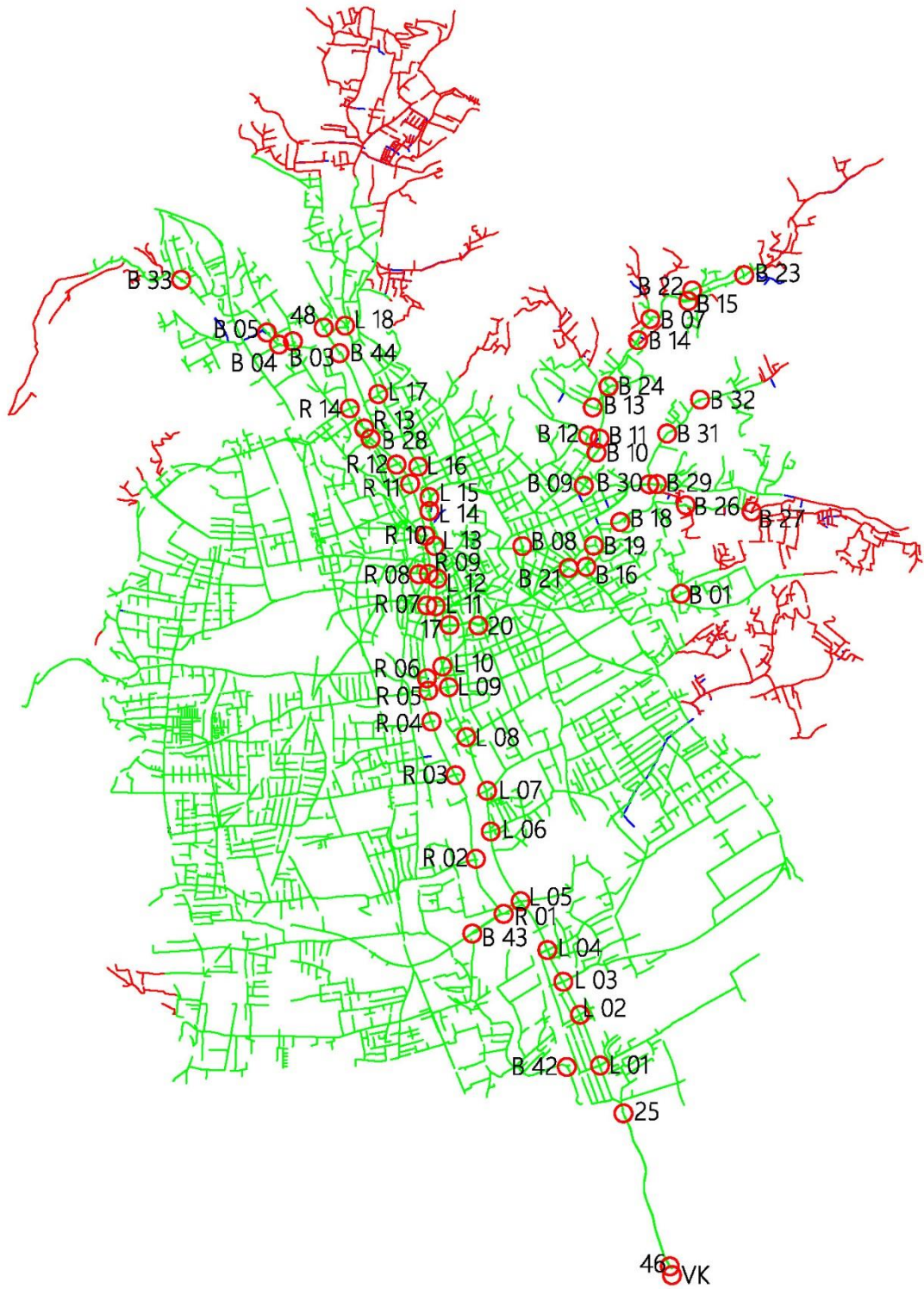


Abbildung 3-1: Entwässerungssystem der Stadt Graz

Während Trockenwetterperioden ist die ARA im Stande, das gesamte Abwasser der Stadt zu übernehmen und zu reinigen. Bei starken Niederschlagsereignissen kommt es zu einer Erhöhung des Zuflusses beziehungsweise Abflusses, welchen die ARA jenseits der 3,2 m<sup>3</sup>/s nicht aufnehmen kann. Deswegen wird das überschüssige Mischwasser entweder an den MÜs abgeschlagen oder im vorhandenen Speichervolumen vor der ARA oder in den bestehenden Stauraumkanälen zwischengespeichert.

### **3.1 Die derzeitige Situation der Mischwasserbewirtschaftung der Stadt Graz**

Bis dato funktioniert die Entwässerung der Stadt Graz bezüglich der Hydraulik und des zu gewährleistenden Entwässerungskomforts einwandfrei. In den letzten Jahren ist die Idee für ein neues Murkraftwerksprojekt direkt in der Stadt Graz ins Leben gerufen worden. Mittlerweile wurde die Planung für dieses Kraftwerk in Puntigam abgeschlossen und wird auch von Seiten der Stadtregierung und des Gemeinderates mit deutlicher Mehrheit unterstützt. Dieses Kraftwerk wird an der Mur errichtet und wird sowohl für die Stadt Graz als auch für das Umland zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund war es auch erforderlich das gesamte Entwässerungskonzept für die Stadt Graz vor allem im Niederschlag einer eingehenden Überprüfung zu unterziehen, um den erforderlichen Entwässerungskomfort im Stadtgebiet auch in Zukunft zu gewährleisten.

Durch die Errichtung des Kraftwerkes, welches sich im Süden von Graz in Puntigam befinden soll, würde sich durch den Rückstau der Mur der Oberwasserspiegel im Stadtgebiet von Graz erhöhen. Dies würde bedeuten, dass ein Teil der insgesamt 36 MÜs entlang der Mur nicht mehr im Stande wäre, das abgeschlagene Mischwasser im Niederschlags in die Mur abzuleiten.

Deswegen müsste ein zentraler Speicherkanal (ZSK) errichtet werden, um das Mischwasser, welches die MÜs nicht mehr in die Mur ableiten können, aufzunehmen und in Richtung Unterwasser der Wehranlage abzuleiten. Gleichzeitig würde damit aber auch die Möglichkeit geschaffen werden, diese abgeleiteten Mischwässer der Stadt Graz im ZSK zwischenspeichern. Aktuell sind bereits 3,2 km des ZSK im Bereich des 2011 errichteten und in Betrieb gegangenen Mur-Kraftwerks Gössendorf errichtet worden. Bevor das Kraftwerk Graz-Puntigam aber in Betrieb genommen werden kann, müsste im Zuge der Errichtung dieses Kraftwerkes aber auch der Rest (4,9 km) des ZSK noch mitausgebaut werden. (Kainz et al., 2011)

### **3.2 Erweiterung der Mischwasserbewirtschaftung in Graz – Zentraler Speicherkanal (ZSK)**

Der finale Ausbau des Zentralen Speicherkanals (ZSK) (vgl. Abbildung 3-2) hat eine Länge von mehr als 8 km und ein aktivierbares Speichervolumen von ca. 91.000 m<sup>3</sup> und würde damit auch eines der größten Umweltprojekte der Stadt Graz darstellen.

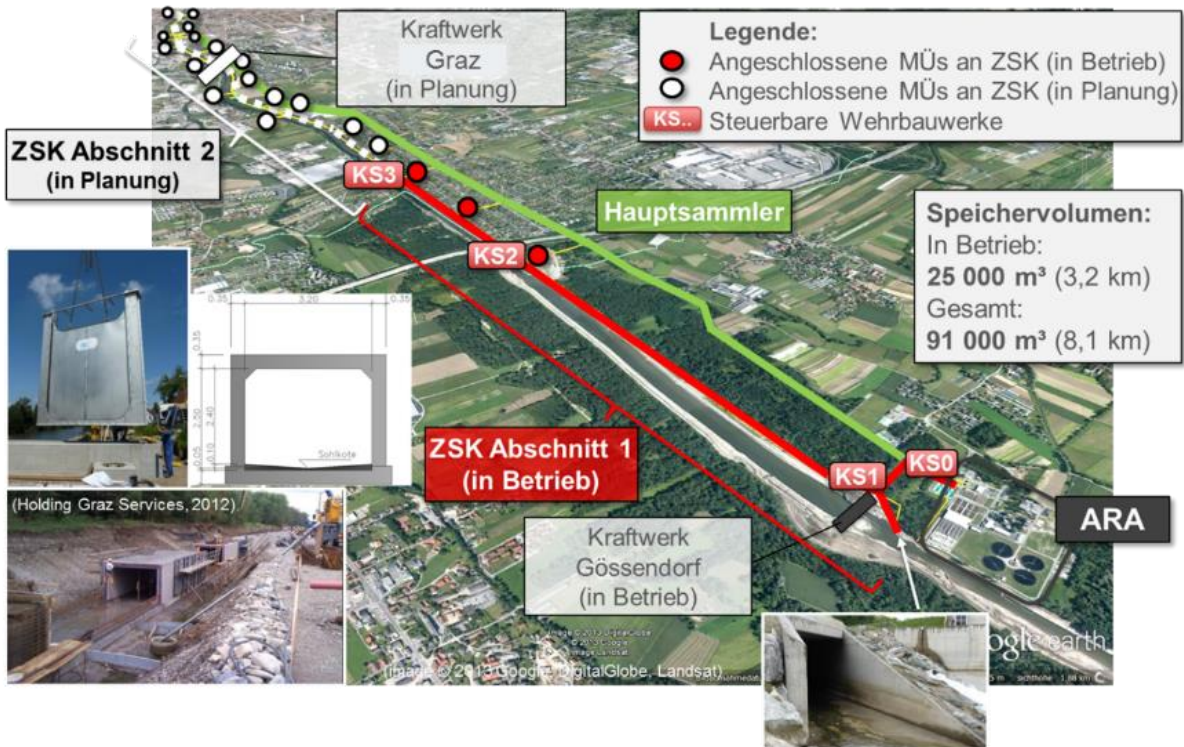


Abbildung 3-2: ZSK (Zentraler Speicher Kanal) (Hofer et al., 2015)

Die wesentlichen Funktionen des ZSK können wie folgt beschrieben werden:

- Ableitung der abgeschlagenen Mischwässer ins Unterwasser bei Extremereignissen (Bemessungsfall: 100-jährliches Hochwasserereignis).
- Zwischenspeicherung der abgeschlagenen und im ZSK gefassten Mischwässer zur späteren Behandlung auf der ARA Graz (durch die Errichtung von Kaskadenspeichern zur Bewirtschaftung) – 91000 m<sup>3</sup> bedeuten in etwa ein 0,5 bis 1-jährliches Niederschlagsereignis, diese Angabe bezieht sich auf den in der Kanalisation abgeleiteten Niederschlagsabfluss, oder etwas mehr als der mittlere tägliche Zulauf zur ARA Graz bei Trockenwetter. (Kainz et al., 2011)

### 3.3 Niederschlagsmessstationen im Großraum Graz

In und um die Stadt Graz gibt es mehrere Niederschlagsmessstationen, die von 6 unterschiedlichen Organisationseinheiten betrieben werden. In Summe wird durch diese verteilten Niederschlagsmesssysteme das Niederschlagsverhalten und die Niederschlagsdynamik im Großraum Graz messtechnisch sehr gut erfasst und abgebildet. Die 6 Kooperationspartner

- Stadt Graz – Abteilung Gewässer Grünraum (GuG)
- Berufsfeuerwehr der Stadt Graz
- Holding Graz Services Wasserwirtschaft (HGS)
- Land Steiermark – A14 (Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit - Hydrografie)

- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) inkl. Austro Control Graz (ACG)
- TU Graz – Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau (SWW)

haben sich im Jahr 2015 zum kooperativen hydrologischen „Messnetz Graz“ zusammengetan und übermitteln seither ihre Messdaten kontinuierlich an einen zentralen Server, der dankenswerterweise rund um die Uhr von der Berufsfeuerwehr der Stadt Graz betrieben und betreut wird. Das Messnetz erstreckt sich über eine Einzugsgebietsfläche von 66,8 km<sup>2</sup> und beinhaltet aktuell 16 Niederschlagsmessstationen. Alle gemessenen Stationsdaten werden regelmäßig zu dem zentralen Messdatenserver gesendet, wo sie allen 6 Kooperationspartnern zur Verfügung stehen und genutzt werden können. Im Falle von Starkniederschlagsereignissen koordiniert damit z. B. die Berufsfeuerwehr Graz den Einsatz ihrer Einsatzkräfte im Stadtgebiet von Graz.

In Abbildung 3-3 sind die 16 aktuell in das Messnetz Graz eingebundenen Niederschlagsmessstationen und deren Betreiber eingetragen.

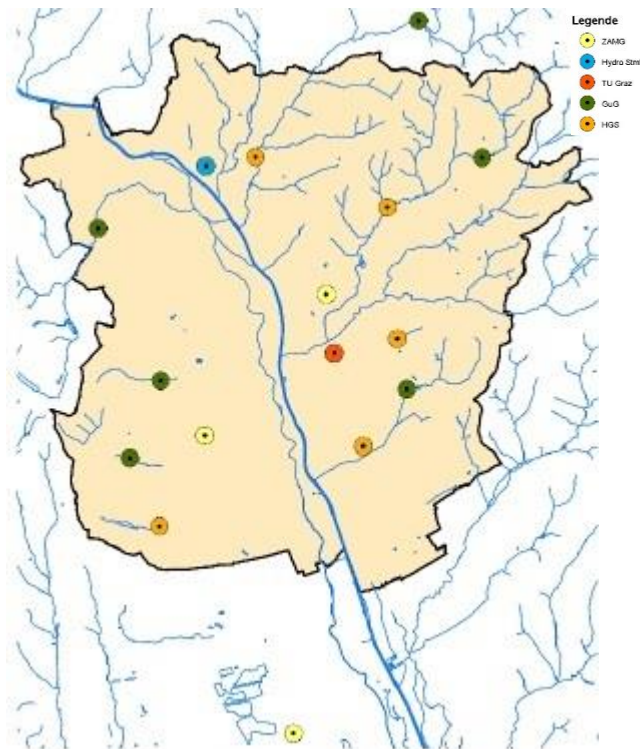


Abbildung 3-3: Niederschlagsmessstationen in und um Graz

- Stadt Graz – Abteilung Gewässer Grünraum (GuG) mit 6 Stationen
- Holding Graz Services Wasserwirtschaft (HGS) mit 5 Stationen
- Land Steiermark (Hydrografie) mit 1 Stationen
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) mit 2 Stationen und einer Station der Austro Control Graz (ACG)
- TU Graz (SWW) mit einer Station

Die Beschreibung der einzelnen Messstationen wird im Anhang A näher erläutert.



### 3.4 Modelltechnische Grundlagen der Kanalnetzsimulation

Um einen tieferen Einblick über die Kanalnetzsimulation gewinnen zu können, ist es notwendig, einige Fachausdrücke der Modelltechnik näher zu definieren, da eine Vielzahl an Prozessen, die in Abbildung 3-4 dargestellt werden, während der Simulation stattfinden. Diese Prozesse werden einerseits in Prozesse auf der Oberfläche (Verdunstung, Abflussbildung, Abflusskonzentration, spezielle Prozesse), andererseits in Prozesse im Kanalnetz (Abflusstransformation, Abflussaufteilung und Abflussspeicherung, Entlastung, Berechnung von Trockenwetterabfluss und Schmutzkonzentration) gegliedert.

Grundsätzlich lassen sich die Modelle im Bereich der Stadtentwässerung in vier entscheidende Nutzungsbereiche unterteilen:

- Niederschlags-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle)
- Schmutzfrachtmodelle
- Kläranlagenmodelle
- Gewässergütemodelle.

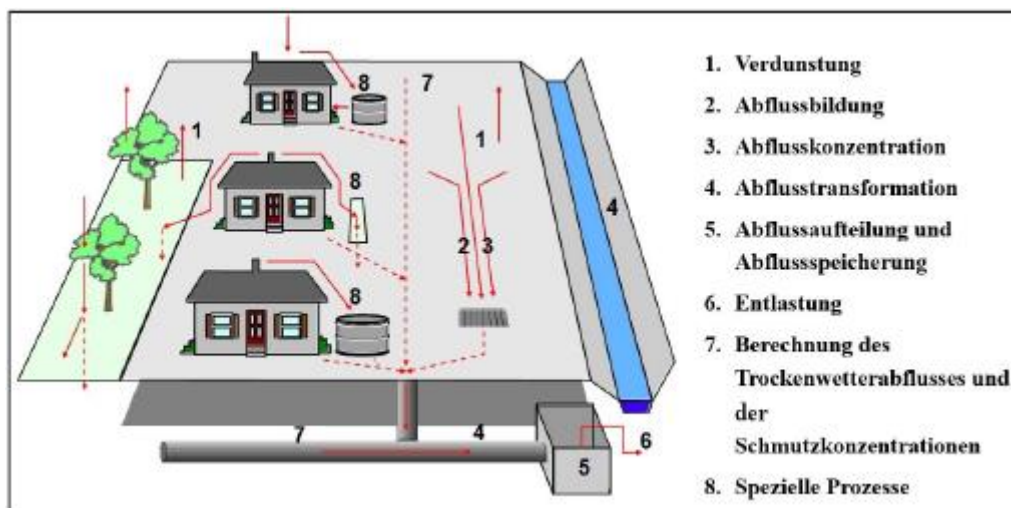


Abbildung 3-4: Modellkonzept abzubildender Prozesse in Entwässerungssystemen (Muschalla, 2009)

Im Folgenden wird auf die N-A-Modellierung eingegangen, weil nur diese für das hier bearbeitete Thema relevant ist.

Die Nachbildung der hydrologischen Prozesse in Einzugsgebieten und Kanalnetzen zählt zu der Primäraufgabe der N-A-Modelle. Damit dies möglich ist, muss die Geometrie der Kanalprofile bekannt sein. Daher kann die direkte Bemessung der notwendigen Profile nicht mit N-A-Modellen erfolgen.

Grundsätzlich sind bei N-A-Modellen zwei Komponenten gegeben. Auf der einen Seite die Oberflächenabflussberechnung, die dazu dient, den angesetzten Niederschlag in

Abflusswellen umzuwandeln und auf der anderen Seite die Transportberechnung, welche für die Weiterleitung bzw. für die Interferenz der Teilwellen im Kanalsystem zuständig ist.

Außerdem können N-A-Modelle in hydrologische und hydrodynamische Modelle kategorisiert werden. Der Oberflächenabfluss kann sowohl für das hydrologische als auch für das hydrodynamische Modell identisch berechnet werden, einzig die Methoden können variieren. Das Oberflächenabflussmodell vermittelt die Abflussprozesse ab dem Auftreffen des Niederschlags auf die Erdoberfläche bis zur Ankunft des Wassers in das Kanalsystem.

### **3.5 Abflussbildung**

Der Begriff der Abflussbildung bezeichnet jene physikalischen Vorgänge, welche den Niederschlag in einem Einzugsgebiet abbilden, die in weiterer Folge in den Kanal gelangen. Dabei werden die Vorgänge der Befeuchtung der Oberfläche, das Füllen von Mulden, die Verdunstung sowie die Versickerung im Boden erfasst. Die Niederschlagsanteile, welche nicht zum Abfluss beitragen, werden als Verluste bezeichnet (z. B. Benetzungsverlust, Muldenverluste, Dauerverluste, Verdunstungsverluste und Versickerungsverluste).

Abbildung 3-5 zeigt eine qualitative Darstellung der Abflussbildung während eines Niederschlagsereignisses mit konstanter Intensität und vorangegangener Trockenperiode. Dabei ist:

$h_V$  ... Höhe des Verdunstungsverlustes (mm)

$h_B$  ... Höhe des Benetzungsverlustes (mm)

$h_M$  ... Höhe des Muldenverlustes (mm)

$h_S$  ... Höhe der Versickerungsverluste (mm)

$h_W$  ... Höhe des abflusswirksamen Niederschlags (mm)

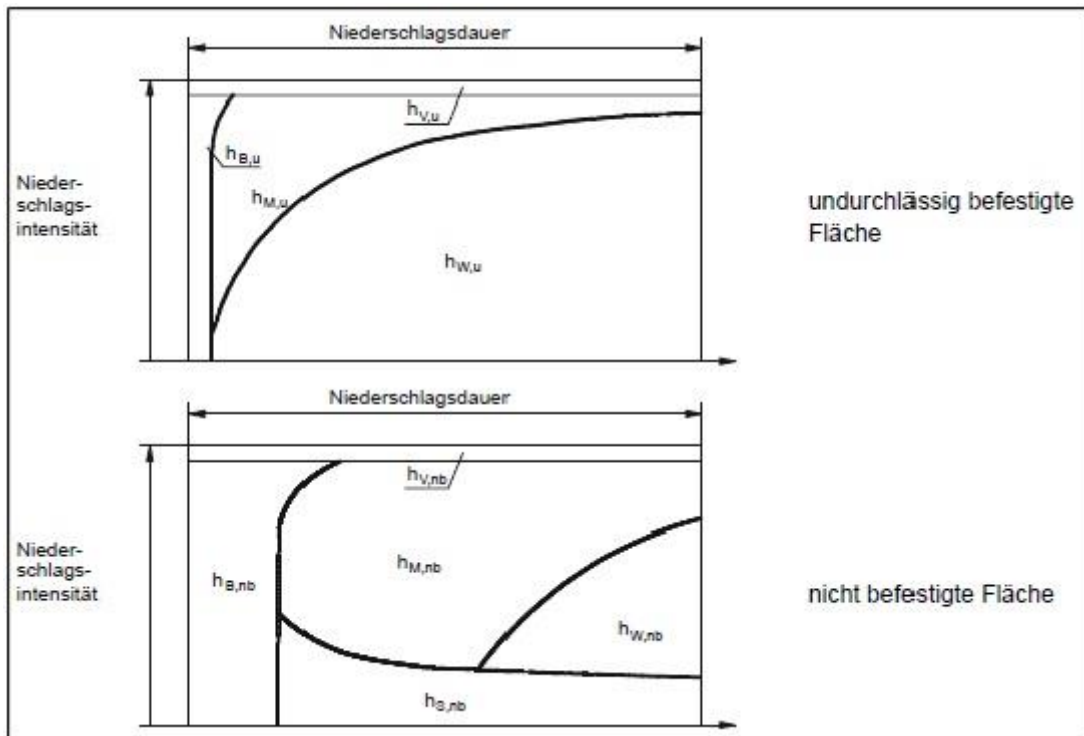


Abbildung 3-5: Abflussbildung während eines Niederschlagsereignisses für unterschiedliche Flächen (ATV-DVWK, 2004)

Abbildung 3-6 zeigt den prinzipiellen Verlauf der Abflussbildung während eines Niederschlagsereignisses unter Berücksichtigung der nachfolgend beschriebenen Verluste.

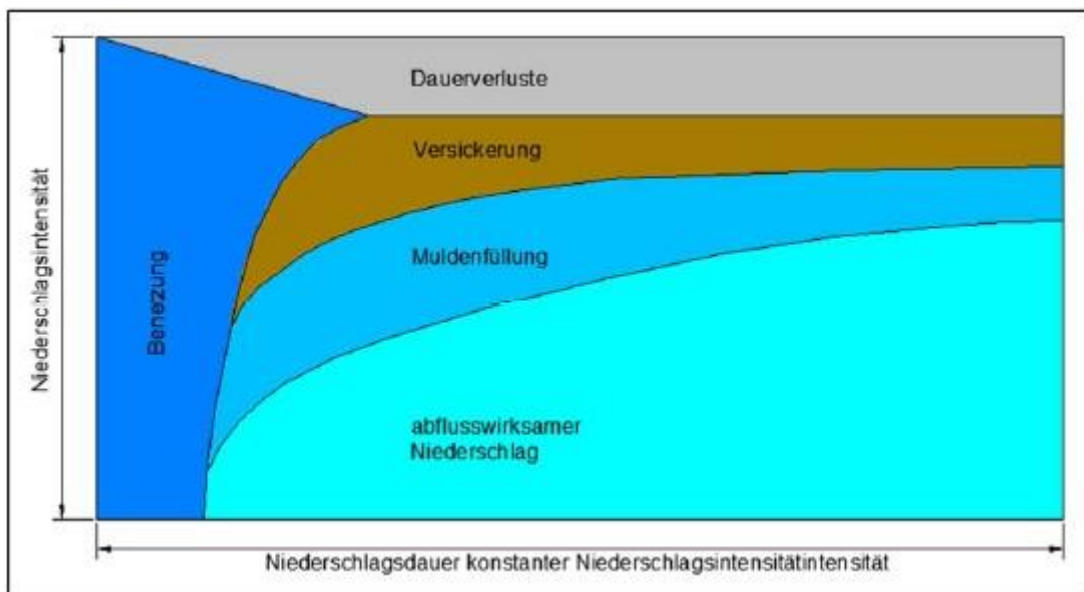


Abbildung 3-6: Prinzipieller Verlauf der Abflussbildung bei konstanter Niederschlagsintensität (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014)

Benetzungsverluste und Muldenverluste werden als Anfangsverluste bezeichnet und treten zu Beginn eines Niederschlagsereignisses auf. Diese müssen überwunden werden, bevor es zu einem Abfluss kommt.

Als Dauerverluste werden jene Flächenanteile bezeichnet, welche nicht abflusswirksam hinsichtlich des Entwässerungssystems sind.

Während eines Niederschlagsereignisses können auch Verdunstungsverluste auftreten. Diese stellen aber nur einen Bruchteil des Niederschlags dar und können in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

Bei der Betrachtung der durchlässigen Flächen sind Versickerungsverluste zu berücksichtigen. Diese sind von der Infiltrationskapazität des Bodens und dessen Durchlässigkeit abhängig, sowie vom Wassergehalt im Boden. Dieser kann sich während des Niederschlagsereignisses als auch an trockenen Tagen ändern. Beispielsweise kann mithilfe des von Paulsen (1987) und Illgen (2009) modifizierten Horton-Ansatzes das Infiltrationsvermögen für die Modellbildung berücksichtigt werden.

Für die Berechnung die Abflussbildung werden drei Modellansätze herangezogen:

- Schwellenwertmethode
- Prozentwertmethode
- Grenzwertmethode

Die *Schwellenwertmethode*, stellt dabei die einfachste Berechnungsmethode dar, wobei nur die Anfangsverluste berücksichtigt werden. Aufbauend wird mit der *Prozentwertmethode* neben den Benetzungsverlusten (Anfangsverlusten) auch noch ein Anteil an prozentualen Verlusten berücksichtigt, um den abflusswirksamen Niederschlag zu ermitteln. Die *Grenzwertmethode* bildet neben den Benetzungsverlusten auch die Dauerverluste und die Muldenverluste mit ab.

In der folgenden Abbildung 3-7 sind die kurz beschriebenen Modellansätze zur Abflussbildung grafisch dargestellt.

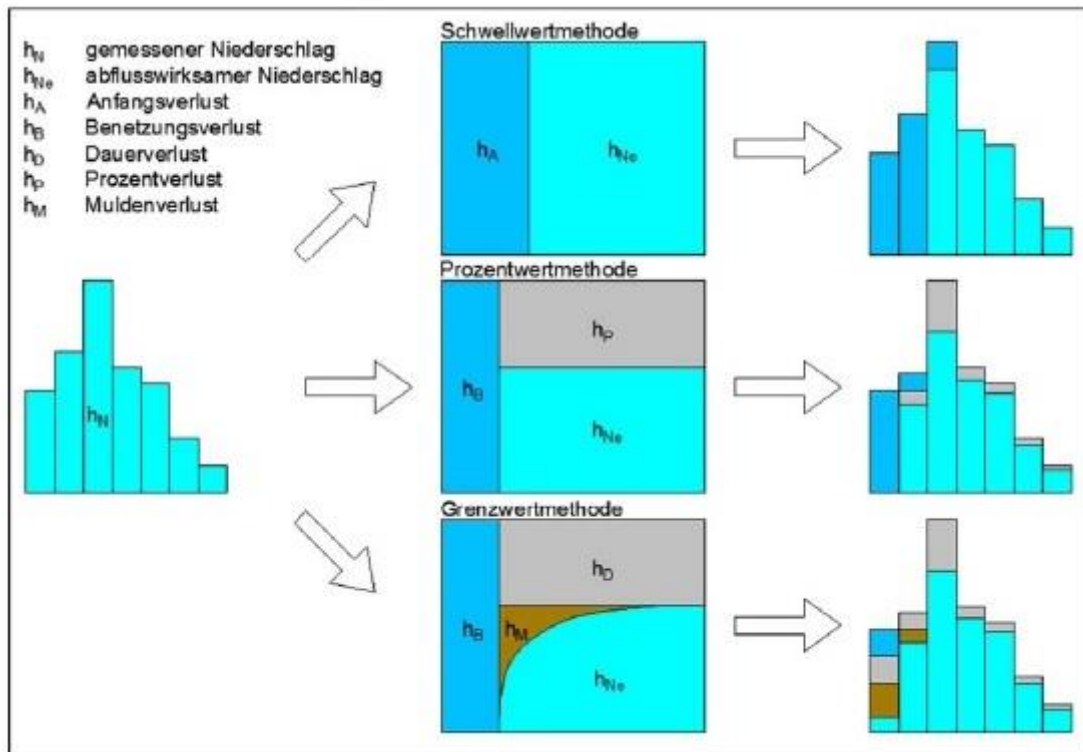


Abbildung 3-7: Modellansätze zur Abflussbildung (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014)

Im Vergleich zu den Modellansätzen zur Abflussbildung in der Abbildung 3-7 ist in der Abbildung 3-8 die Abflussbildung unter realen Bedingungen dargestellt.

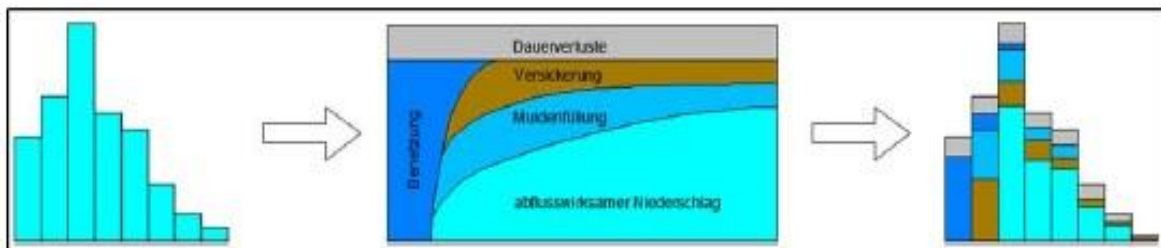


Abbildung 3-8: Abflussbildung unter realen Bedingungen (Verworn, 1999 zitiert nach Pleinert, 2014)

## 4 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik beschrieben, wie das Prozedere der Bearbeitung der Aufgabenstellung abläuft. Die Abbildung 4-1 stellt das Ablaufschema der Masterarbeit dar.

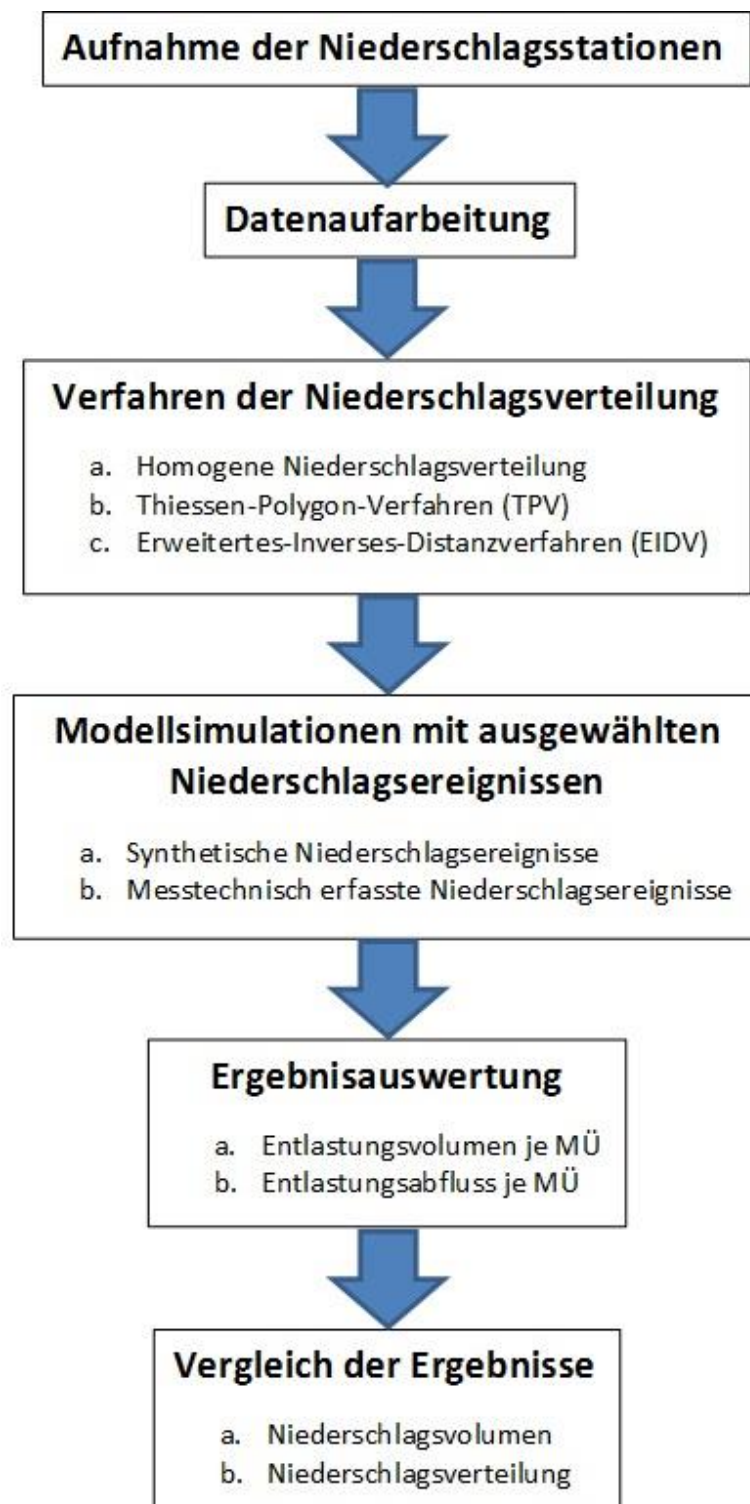


Abbildung 4-1: Ablaufschema der Masterarbeit

## 4.1 Aufnahme der Niederschlagsstationen

Die erste Aufgabe dieser Masterarbeit war die Sammlung und Aufbereitung der Daten der einzelnen Niederschlagsmessstationen des Messnetzes Graz. Aus diesem Grund wurden alle in Graz vorhandenen Messstationen aufgesucht und deren Daten neu erfasst bzw. auf den aktuellen Stand gebracht. In der Abbildung 4-2 sind die aufgenommenen Messstationsdaten beispielhaft für die Niederschlagsmessstation „Graz – Stremayrgasse“ dargestellt.

Dabei wurden die nachfolgenden Daten erhoben und einheitlich protokolliert:

1. Am Standort jeder Messstation wurden die einzelnen Koordinaten neu vermessen und Fotos von allen Himmelsrichtungen gemacht, um die Umgebungsgegebenheiten festzuhalten.
2. Hinzu kamen noch die Auflistung der Grundstücksnummern und deren Eigentümer, die für die jeweilige Niederschlagsmessstation relevant sind.
3. An jeder Messstation wurden die verschiedenen Messgrößen mit den dazu gehörigen Messgeräten notiert. Dabei wurden nicht nur die Niederschlagsschreiber, sondern auch alle anderen installierten Messgeräte der Messstationen inklusive Hersteller, die dazu gehörigen Modellbezeichnungen sowie die Modellnummern aufgenommen.
4. Besonderes Augenmerk wurde dabei natürlich auf die Niederschlagsschreiber gelegt. Hierfür wurde zusätzlich noch die Seehöhe mit Hilfe eines GPS-Messgeräts ermittelt. Die Auffangfläche und deren Aufstellhöhe wurde ebenfalls dokumentiert.
5. Mittlerweile messen Niederschlagsmessstationen nicht nur den Niederschlag des Niederschlags, sondern auch den des Schnees. Dies wird durch eine Begleitheizung ermöglicht, weshalb es von Relevanz war, ob eine solche Begleitheizung vorhanden ist oder nicht (alternativ kann auch Frostschutzmittel verwendet werden). Die Niederschlagsmessstationen können entweder mittels Solarenergie oder Netzanschluss betrieben werden, was ebenfalls festgehalten wurde.
6. Für jeden Niederschlagsschreiber ist die regelmäßige Wartung und deren Dokumentation sehr wichtig, weshalb für jeden Regeschreiber das Wartungsintervall und der Wartungsverantwortliche erhoben wurde. Was von den Betreibern bei einer Wartung genau gemacht wird, wird dabei aber noch nicht dokumentiert.
7. Bei manchen Stationen gab es zu Beginn veraltete Niederschlagsschreiber, die jedoch später ausgetauscht wurden. Daher wurde das neue Aufstellungsdatum der Niederschlagsschreiber erhoben. In manchen Fällen, in welchen die Niederschlagsschreiber ausgetauscht wurden, wurde sowohl das alte Aufstellungsdatum als auch das Austauschdatum der neuen Niederschlagsschreiber protokolliert.
8. Die Zugänglichkeit und die Umgebung rund um die Niederschlagsschreiber wurden ebenfalls aufgezeichnet. Schließlich wurde der Anfahrtsweg von einer bekannten Adresse bis zur jeder Messstation beschrieben und entsprechend dargestellt.

Messstellendaten	
<b>Grundinformationen</b>	
Name :	Graz - Stremayrgasse
Messstellen-ID:	0033900601
Originale Betreiber-ID:	--
Herstellerfirma:	OTT
Modellbezeichnung:	Pluvio <sup>2</sup> 200 Waage
Modell-/Seriennummer:	342202-7002000090
Messgrößen:	Niederschlag
Besitzer:	TU GRAZ
Grundstückseigentümer:	TU GRAZ
Grundstücksnummer:	1659/1
Ansprechpartner:	Roland FUCHS
Telefonnummer:	+43664608738374
E-Mail:	<a href="mailto:roland.fuchs@tugraz.at">roland.fuchs@tugraz.at</a>
Wartungsverantwortlicher:	Roland FUCHS
Wartungsintervall:	monatlich
Aufstelldatum:	2001
Datenübertragung:	ftp über IP-Anbindung (129.27.75.199)
Weitere Anmerkungen:	Von 2001 bis Februar 2014 als Wippe
<b>Ortsangaben und -gegebenheiten</b>	
Koordinaten	
WGS 84 X:	47,0647071
WGS 84 Y:	15,4516722
GK M34 X:	214327,1
GK M34 Y:	-66891
Seehöhe:	360.05 m
Auffangfläche:	200 cm <sup>2</sup>
Aufstellhöhe:	180 cm
Anfahrtsweg:	Dietrichsteinplatz - Münzgrabenstraße - Brockmangasse - Kupernikusgasse - Stremayrgasse 10 - die Stiegenrauf und
Zugänglichkeit:	Einfriedung (Gabelschlüssel SW 15 notwendig)
Stromversorgung:	Netzanschluss
Begleitheizung:	Nein

Abbildung 4-2: Beispielprotokoll für die Niederschlagsmessstation „Graz – Stremayrgasse“ der TU Graz



Nach dem Aufsuchen sämtlicher Messstationen, wurde eine neue Karte (siehe Abbildung 4-3) entworfen, auf der die aktuell über den Server der Berufsfeuerwehr angebundene Messstationen zu finden sind. Die neu ausgewerteten Daten, die für diese Masterarbeit erhoben und ausgewertet wurden, stehen somit auch für die weitere Verwendung zur Verfügung. Nachdem einige der Messstationen des Messnetzes Graz mittlerweile nicht mehr im Betrieb sind, konnte deren Datenauswertung nicht mehr durchgeführt und berücksichtigt werden.

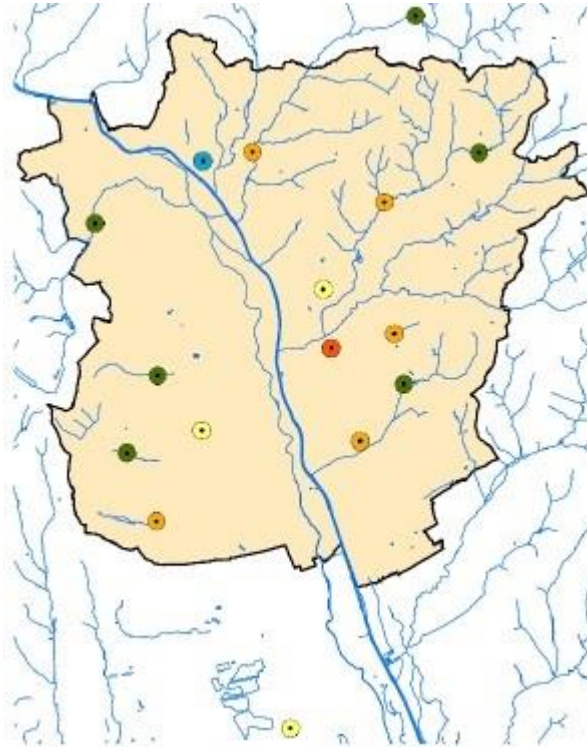


Abbildung 4-3: Übersicht über jene 16 Niederschlagsmessstationen, die für die Bearbeitung der Masterarbeit verwendet werden konnten.

## 4.2 Datenaufbereitung

Bis zum Jahr 2014 besaß jede Organisationseinheit nur die Niederschlagsdaten ihrer eigenen Messstationen. Um die Daten einer anderen Organisationseinheit zu bekommen, musste man sich meist einer recht aufwendigen bürokratischen Prozedur unterziehen. Ein ganz wichtiger Aspekt für die Zurverfügungstellung der Daten war die genaue Angabe des Zwecks und der Verwendung. Um diesen Weg der Datenbeschaffung und des Datenaustausches zu erleichtern, wurde im Jahr 2014 von der TU Graz (SWW) das kooperative hydrologische „Messnetz Graz“ initiiert. Die Einzugsgebietsfläche des jetzigen Messnetzes beträgt 66,8 km<sup>2</sup>. In dieses Messnetz waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Masterarbeit 16 Niederschlagsmessstationen eingebunden. Die im Messnetz Graz generierten Messdaten werden dabei mit sehr geringer zeitlicher Verzögerung zu einem zentralen Messdatenserver übertragen. Dort angekommen und gespeichert haben alle Kooperationspartner freien lesenden Zugang zu den abgespeicherten Rohdaten. Da die Berufsfeuerwehr rund um die Uhr besetzt ist, war

es sinnvoll und naheliegend, den Messdatenserver in der Zentrale der Berufsfeuerwehr der Stadt Graz zu installieren, wo er dankenswerterweise von den Kollegen der Berufsfeuerwehr auch betrieben und gewartet wird. Damit können im Falle eines Starkniederschlagsereignisses in Graz auch die Einsatzkräfte der Berufsfeuerwehr besser und gezielter koordiniert werden. Abbildung 4-4 zeigt beispielhaft eine Visualisierung der Niederschlagsdaten mit dem OpenSDM-Framework (Camhy D. et al., 2014) der TU Graz (SWW).

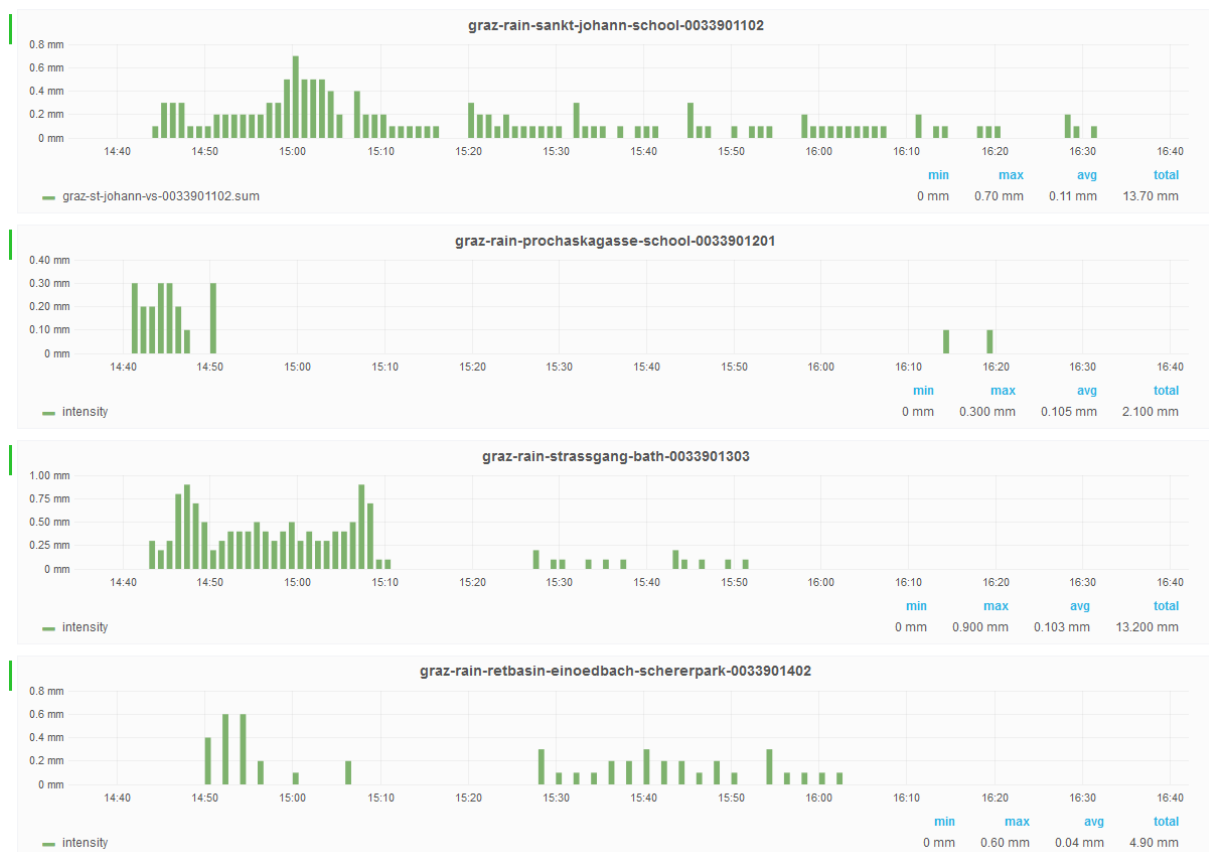


Abbildung 4-4: Beispielhafte Visualisierung der Niederschlagsmessdaten über das OpenSDM-Framework der TU Graz (SWW)

### 4.3 Beschreibung des hydrologischen N-A-Modells in KOSIM

Die Software KOSIM Version 7.2 (Itwh, 2008) berechnet, wie groß das abgeschlagene Abwasservolumen über jeden Mischwasserüberlauf ist. Bei KOSIM wird angenommen, dass der Niederschlag je nach vordefiniertem Einzugsgebiet gemeinsam mit dem Schmutzwasser in der Kanalisation abgeleitet wird. Dabei wird eine bestimmte Menge des Abflusses bis zur Kläranlage abgeleitet und darüber hinaus an den modelltechnisch definierten MÜs in die Gewässer abgeschlagen. Damit korrekte Ergebnisse generiert werden konnten, wurden die Ereignisse immer mit einem Tag Vorlaufzeit und einem Tag Nachlaufzeit simuliert.

KOSIM berechnet das Abwasservolumen, das über die MÜs in die Mur bzw. in den ZSK eingeleitet wird. Die gesamte Fläche der Stadt Graz wird in viele Einzugsgebietsflächen unterteilt. Jede Einzugsgebietsfläche ist an einen Kanal angebunden, welcher zu einem MÜ verläuft, von wo das Mischwasser, sofern noch Kapazität vorhanden ist, zur ARA geleitet wird oder ansonsten in die Mur oder in den ZSK abgeschlagen wird.

Die Niederschlagsmessstation, welche sich im Zentrum von Graz (Universität Graz) befindet, wurde als Referenzmessstation für die homogene Niederschlagsverteilung über das gesamte Stadtgebiet ausgewählt. Daraus ergibt sich auch die Niederschlagsmenge für die homogene Niederschlagsverteilung. Für dieses Verfahren ist keine Flächenaufteilung nötig, da in diesem Fall überall dieselbe Niederschlagsmenge angenommen wird.

#### **4.4 Verfahren der Niederschlagsverteilung**

Für die Berücksichtigung einer flächigen, inhomogenen Verteilung des Niederschlages anhand der Punktmessungen der Niederschlagsmessstationen wurden die folgenden drei Verfahren verwendet:

- Homogene Niederschlagsverteilung
- Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV)
- Erweitertes-Inverses-Distanzverfahren (EIDV)

Die Holding Graz Services Wasserwirtschaft verwendete bis dato für die Durchführung von Abflusssimulationen für das Gesamtnetz von Graz eine homogene Niederschlagsverteilung, wofür die Niederschlagsmessdaten einer Messstation aus dem Zentrum von Graz verwendet wurden. Für die weiterführende Arbeit wird dieses Verfahren als Referenzszenario „Homogene Niederschlagsverteilung“ verwendet.

##### **4.4.1 Homogene Niederschlagsverteilung**

Die homogene Niederschlagsverteilung wurde bis dato verwendet, um eine Abflusssimulation für die Stadt Graz durchzuführen. Dabei kamen die Messdaten der Station „Universität Graz“ zum Einsatz. Diese Methode wird in dieser Arbeit als Referenzszenario verwendet. Dieser bisher praktizierte Ansatz stellt eine sehr einfache Methode dar, in der angenommen wird, dass es im ganzen Gebiet der Stadt Graz gleich viel Niederschlag gibt. Die bei der Messstation gemessene Niederschlagsmenge, wurde anschließend einfach mit der gesamten Fläche des kanalisierten Einzugsgebietes multipliziert. Daraus ergab sich die Niederschlagsmenge für eine homogene Niederschlagsverteilung. Die Annahme einer homogenen Niederschlagsverteilung gilt für eine Simulation, die zeigen soll, wie sich die Kanäle im Niederschlagsereignis befüllen. Im Falle, dass die Kapazität der Kläranlage überschritten wird, berechnet diese auch die abgeschlagenen Mischwassermengen. Obwohl in und um die Stadt Graz konvektive, inhomogene Niederschlagsereignissen am häufigsten auftreten, liefert im Falle

einer Langzeitsimulation auch der Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung eine annähernd korrekte Abschätzung der an den Mischwasserüberläufen auftretenden Abflussvolumina. Das größte Problem bei diesem Ansatz besteht darin, dass bei sehr starken Niederschlägen die angesetzten und daraus resultierenden Niederschlagsmengen von nur einer Niederschlagsmessstation für das gesamte kanalisierte Einzugsgebiet der Stadt überschätzt werden. Dadurch wird der Gesamtniederschlag viel höher, als er in Wirklichkeit ist. Tritt aber z. B. nur eine lokale Gewitterzelle auf, die nur ein paar Messstationen betrifft, wo es aber dafür dann sehr intensiv regnet, aber nicht direkt über der Messstation der Universität Graz, wird der Niederschlag in diesem Fall stark unterschätzt. Um eine möglichst genaue Abschätzung der in die Gewässer abgeschlagene Abflussvolumina durchführen zu können, sollte man daher eine inhomogene Niederschlagsverteilung über das Einzugsgebiet nach Möglichkeit mitberücksichtigen.

#### 4.4.2 Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV)

Diese Methode basiert auf einem geometrischen Interpolationsverfahren und berücksichtigt die horizontale Lage der Messstationen. Beim TPV werden virtuelle Gebiete um die Messstationen generiert. Wenn dann der Schwerpunkt eines Gebietes in diesen Bereich fällt, werden dem Einzugsgebiet genau die Niederschlagsdaten der betreffenden Niederschlagsmessstation zugewiesen. (Thiessen, 1911)

Die roten Punkte stellen in Abbildung 4-5 die Messstationen des Gebietes dar. Mit den blauen Linien werden die Stationen miteinander verbunden. Die violetten Linien, welche mittelsenkrecht zu den Verbindungslinien (blau) stehen, bilden die Trennlinien zwischen den Teilflächen. Bei einer relativ gleichmäßigen Verteilung der Messstationen im Gebiet und bei den geringen orographischen Einflüssen (wie unregelmäßige Reliefs und Luv/Lee) erweist sich diese Methode als sinnvoll.

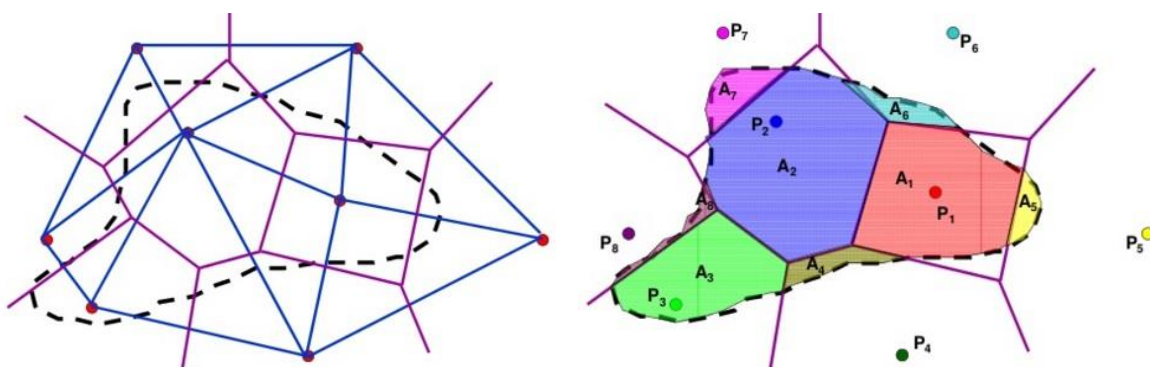


Abbildung 4-5: Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV) (<http://www.slideshare.net/>, letzter Zugriff am: 24.08.2016)

Zusammengefasst bedeutet dies, dass jeder Messstation einer Fläche zugeteilt wird, in der die gleiche Menge Niederschlag fällt, wie direkt bei der Messstation selbst. Auf welcher Teilfläche die Messstation des jeweiligen Einzugsgebiets liegt, hängt davon ab, wo sich die Schwerpunkte der Einzugsgebiete befinden.

Jeder Messstation wird eine Fläche zugeteilt. Das bedeutet, dass die Einzugsgebiete der Stadt auf die Messstationen flächenweise aufgeteilt werden. Auf jeder Messstationsfläche herrschen die identen Niederschlagsverhältnisse wie sie direkt über der Messstation auftreten.

In der Abbildung 4-6 ist die Fläche der Stadt Graz und deren Messstationen dargestellt. Mit Hilfe des TPV wurde für jede Messstation eine Fläche zugeteilt.

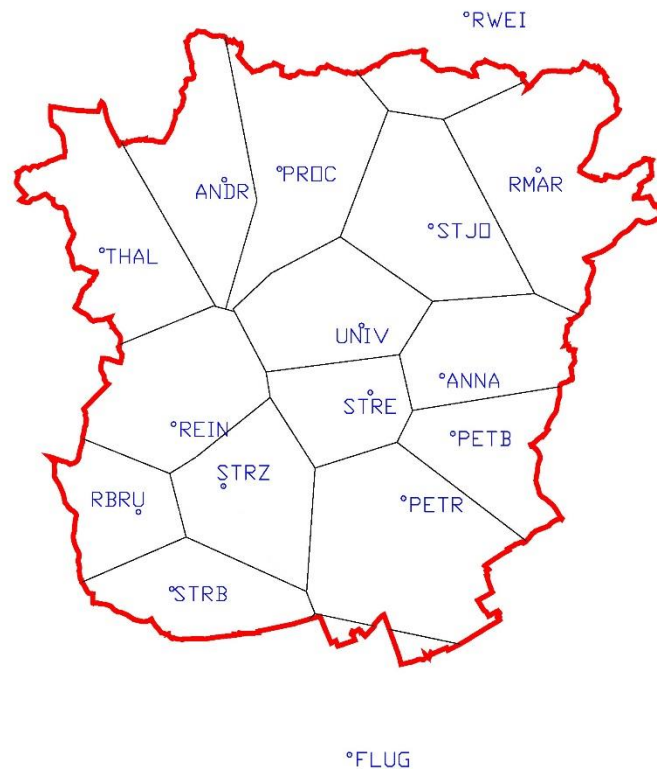
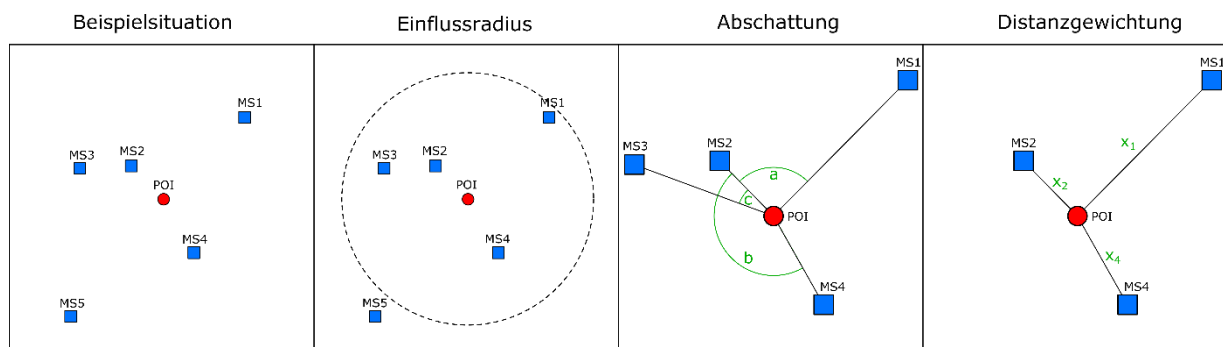


Abbildung 4-6: Die Unterteilung der Stadt Graz mithilfe des TPV. Benennung der Stationen siehe Tabelle 4-1.

#### 4.4.3 Erweitertes-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV)

Diese Methode basiert auch auf einem geometrischen Interpolationsverfahren und berücksichtigt nicht nur die horizontale Lage der Messstationen, sondern auch ihre maximale Einflussdistanz und etwaige Abschattungen. Die maximale Einflussdistanz wird über einen Radius definiert, in welchem sich Messstationen befinden können. Liegen Messstationen außerhalb dieses Radius, werden diese nicht berücksichtigt. Falls es zu einer gegenseitigen Abschattung mehrerer Messstationen kommt, werden die weiter entfernten abgeschatteten Messstationen ebenfalls vernachlässigt (Shepard, 1968). Für jeden Schwerpunkt des Einzugsgebietes wird mittels dieses Algorithmus ein Gewichtungsfaktor für alle vorhandenen Messstationen errechnet, um die Niederschlagsintensität für das betroffene Einzugsgebiet zu ermitteln. Abbildung 4-7 zeigt den Gewichtungsprozess grafisch.



MS: Messstation; POI: Point of Interest

Abbildung 4-7: Erweitertes-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV), MS: Messstation; POI: Point of Interest (Maier et al., 2016)

#### 4.4.4 Implementierung der Verfahren zur Niederschlagsverteilung im hydrologischen Simulationsmodell

Für die Implementierung in KOSIM musste zuerst für jede Einzugsgebietsfläche der Schwerpunkt ermittelt werden. Durch diese Ermittlung werden die Einzugsgebiete den Messstationen zugewiesen. Das Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahren ermöglicht eine genauere Auflösung zur Ermittlung des Abflusses, welcher durch den Niederschlag in den Kanal und weiterführend entweder in die ARA, über die MÜs in die Mur bzw. in den ZSK fließt. Die Implementierung erfolgt hierbei nicht so einfach wie bei der homogenen Niederschlagsverteilung, bei der nur eine Niederschlagsmessstation (UNIV) angenommen wird, sondern mit 16 verschiedenen Messstationen. Die gesamte Fläche der Stadt Graz, die im CAD-Format vorlag, wurde in 184 Einzugsgebietsflächen unterteilt. Dadurch, dass in KOSIM die Niederschlagsmessstationen nur mit vier Buchstaben beschriftet werden können, wurden die jeweiligen Messstationen und deren Einzugsgebiete neu benannt. Die Benennung der Messstationen lautet wie folgt:

Tabelle 4-1: Benennung der Messstationen für KOSIM

KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601
ANNA	graz-rain-annabachlang2
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802
STJO	graz-st-johann-vs-0033901102
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601
FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301
UNIV	graz-universitaet-0033970301
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602

Die Einzugsgebietsbenennung wurde mit Hilfe der Bezirksnummerierung der Stadt Graz durchgeführt (vgl. Abbildung 4-8).

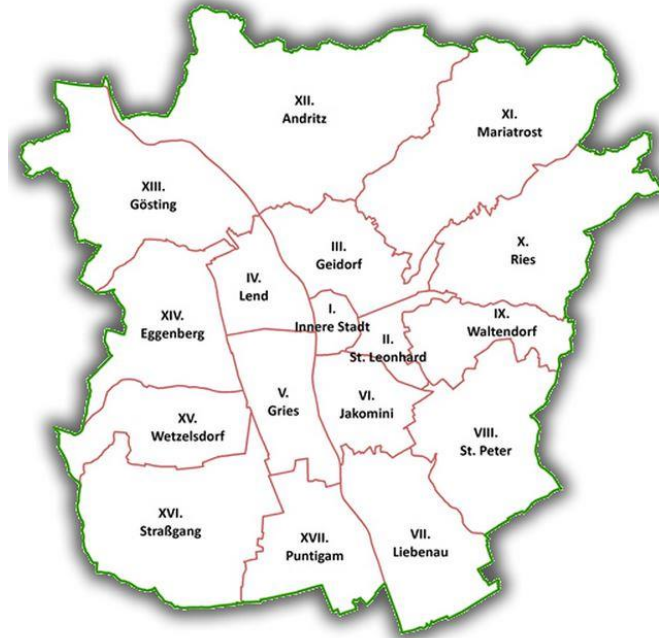


Abbildung 4-8: Die Bezirke der Stadt Graz mit ihren Bezirksnamen und -nummern ([www.geomantie-graz.at](http://www.geomantie-graz.at), letzter Zugriff am: 19.09.2016)

Die Benennung der Einzugsgebietsflächen erfolgte insofern, dass in erster Linie die Nummer des Bezirkes herangezogen wurde. Dabei gab es auch Fälle, wo sich das Einzugsgebiet über zwei Bezirke erstreckte. Hier wurde für die Benennung zuerst die Bezirksnummer der größeren Fläche verwendet und dann die zweite Bezirksnummer, auf der sich die restliche Fläche befindet, einfach hinzugefügt. Lag die Einzugsgebietsfläche auf drei Bezirken, wurde das gleiche Prinzip angewendet, indem einfach eine dritte Zahl hinzugefügt wurde. Um die Bezirksnummer 1 von der Bezirksnummer 10 zu unterscheiden, wurde anfangs noch der Buchstabe A hinzugefügt.

Tabelle 4-2: Benennung der Einzugsgebietsflächen im KOSIM

Einzugsgebiet	Niederschlagsschreiber EIDV	Niederschlagsschreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_B03	1310	ANDR	-70040,0581	218056,4191
EZ_B04	1303	ANDR	-70113.3439	217522.5779
EZ_B05	1304	ANDR	-70249.1046	217865.3048
EZ_B07_01	1105	STJO	-65704.7865	217925.4371
EZ_B07_02	1104	STJO	-65815.4215	218309,2620
EZ_B07_03	1106	STJO	-65484.4531	217979.6737
EZ_B07_04	1107	STJO	-65432.8322	218396.2134
EZ_B08	2101	UNIV	-67136.9634	215270.9958
EZ_B09	3001	UNIV	-66444.4234	216124.3833
EZ_B10	3013	UNIV	-66252.8224	216356.0089
EZ_B11	3111	STJO	-66151.7108	216799,3780
EZ_B12	3002	UNIV	-66872.9796	216845,4480
EZ_B13_01	3112	STJO	-66571.3151	217072.0697
EZ_B13_02	1102	STJO	-66657.9838	217763.8791

## 4.5 Ausgewählte Niederschlagsereignisse für die Modellsimulation

### 4.5.1 Synthetische Niederschlagsereignisse (Euler-Typ-II-Modellniederschlag)

Um die Auswirkungen eines langsam vorüberziehenden Gewitters auf die Stadt Graz zu simulieren, wurde eine Euler-Typ-II-Modellniederschlag (siehe Abbildung 4-9) mit einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 10 km/h angenommen.

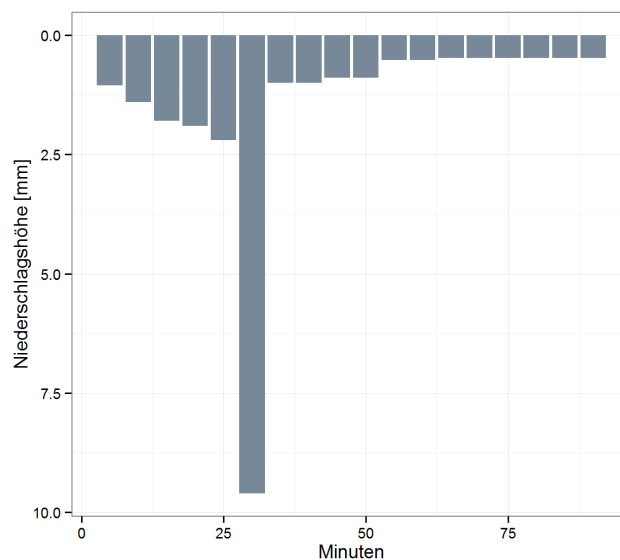


Abbildung 4-9: Euler-II-Typ-Modellniederschlag

Dieser Modellniederschlag wurde aufgrund folgender Eigenschaften als Beispiel herangezogen:



- Füllt ZSK I (3,2 km Bestand, der bereits gebaut wurde)
- Füllt ZSK II (Vollausbau des ZSK auf insgesamt 8,4 km)
- Dieses Niederschlagsereignis führt zu einer Stoßbelastung für die ARA Graz

Da die Stadt Graz keine allzu große Fläche aufweist, kann ein Niederschlagsereignis mit großer Zuggeschwindigkeit in kurzer Zeit vorbeiziehen und somit wird bei den Messstationen nicht viel Unterschied gemessen. Aus diesem Grund wurde eine relativ geringe Zuggeschwindigkeit angenommen, weil das Ergebnis ansonsten einer homogenen Niederschlagsverteilung gleichen würde. Im Normalfall wäre die Geschwindigkeit um einiges höher. Der Modellniederschlag wurde mit einer variablen Zugrichtung in alle Haupthimmelsrichtungen simuliert, wodurch folgende 4 Lastfälle entstanden:

- Niederschlagsverlauf in Nord-Süd-Richtung (N-S)
- Niederschlagsverlauf in Süd-Nord-Richtung (S-N)
- Niederschlagsverlauf in West-Ost-Richtung (W-O)
- Niederschlagsverlauf in Ost-West-Richtung (O-W)

Mit Hilfe der Koordinaten der Niederschlagsmessstationen wurde exakt berechnet, wann es bei jeder Messstation zu regnen beginnt, zeitgleich wurde auch die Niederschlagsmenge für jede Messstation berechnet.

Die Messstationen mit ihrer Benennung und deren Koordinaten (Tabelle 4-3):

Tabelle 4-3: Benennung der Messstationen und deren Koordinaten

Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	X	Y
KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601	-70232,64	212177,66
ANNA	graz-rain-annabachlang2	-65333,38	214682,97
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802	-66171,4	212036,66
STJO	graz-st-johann-vs-0033901102	-65583,17	217923
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201	-68819,51	219150,57
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603	-71178,91	210077,81
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402	-71143,8	213649,5
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602	-71902,59	211747,53
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001	-64810,92	222501,59
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101	-63251,45	219137,14
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801	-65105,96	213442,24
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003	-72692,2	217405
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601	-66891	214327,1
FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301	-67339,7	206503,2
UNIV	graz-universitaet-0033970301	-67082,86	215778,64
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602	-70065,8	212305,81
ANDR	graz-andritz-0033903390	-70046	218927,6

## Euler Typ II – Nord-Süd

Für jede Messstation wurde die Startzeit des Niederschlags ermittelt. Der Abstand, y-Achse, der Koordinaten zwischen zwei Messstationen geteilt durch die Zuggeschwindigkeit, ergibt die Zeit in Minuten. Als Zeitintervalle wurden fünf Minuten gewählt.

Tabelle 4-4: Zeitliche Abfolge der Messstationen in N-S Richtung

Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Abstand [m]	Zeit [min]
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001	0	0
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201	3351,02	20,10612
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101	3364,45	20,1867
ANDR	graz-andritz-0033903390	3573,99	21,44394
STJO	graz-st-johann-vs-0033901102	4578,59	27,47154
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003	5096,59	30,57954
UNIV	graz-universitaet-0033970301	6722,95	40,3377
ANNA	graz-rain-annabachlang2	7818,62	46,91172
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601	8174,49	49,04694
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402	8852,09	53,11254
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801	9059,35	54,3561
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602	10195,78	61,17468
KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601	10323,93	61,94358
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802	10464,93	62,78958
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602	10754,06	64,52436
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603	12423,78	74,54268
FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301	15998,39	95,99034

## Euler Typ II – Süd-Nord

Das gleiche Prinzip gilt für die folgenden Fälle.

Tabelle 4-5: Zeitliche Abfolge der Messstationen in S-N Richtung

Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Abstand [m]	Zeit [min]
FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301	0	0
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603	3574,61	21,44766
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602	5244,33	31,46598
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802	5533,46	33,20076
KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601	5674,46	34,04676
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602	5802,61	34,81566
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801	6939,04	41,63424
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402	7146,3	42,8778
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601	7823,9	46,9434
ANNA	graz-rain-annabachlang2	8179,77	49,07862
UNIV	graz-universitaet-0033970301	9275,44	55,65264
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003	10901,8	65,4108

STJO	graz-st-johann-vs-0033901102	11419,8	68,5188
ANDR	graz-andritz-0033903390	12424,4	74,5464
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101	12633,94	75,80364
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201	12647,37	75,88422
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001	15998,39	95,99034

### Euler Typ II – West-Ost

Der Unterschied bei dieser Variante liegt darin, dass der Abstand zwischen zwei Messstationen auf der X-Achse gemessen wurde. Das Gleiche gilt auch für den Fall 4.

Tabelle 4-6: Zeitliche Abfolge der Messstationen in W-O Richtung

Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Abstand [m]	Zeit [min]
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003	0	0
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602	789,61	4,73766
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603	1513,29	9,07974
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402	1548,4	9,2904
KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601	2459,56	14,75736
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602	2626,4	15,7584
ANDR	graz-andritz-0033903390	2646,2	15,8772
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201	3872,69	23,23614
FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301	5352,5	32,115
UNIV	graz-universitaet-0033970301	5609,34	33,65604
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601	5801,2	34,8072
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802	6520,8	39,1248
STJO	graz-st-johann-vs-0033901102	7109,03	42,65418
ANNA	graz-rain-annabachlang2	7358,82	44,15292
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801	7586,24	45,51744
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001	7881,28	47,28768
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101	9440,75	56,6445

### Euler Typ II – Ost-West

Tabelle 4-7: Zeitliche Abfolge der Messstationen in O-W Richtung

Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Abstand [m]	Zeit [min]
RMAR	graz-rhb-mariatrosterbach-kurzeggerweg-0033901101	0	0
RWEI	graz-weinitzen-rhb-schoeckelb2-0033905001	1559,47	9,35682
PETB	graz-petersbach-einlauf-0033900801	1854,51	11,12706
ANNA	graz-rain-annabachlang2	2081,93	12,49158
STJO	graz-st-johann-vs-0033901102	2331,72	13,99032
PETR	graz-petrifelderstrasse-pruefstelle-0033900802	2919,95	17,5197
STRE	graz-stremayrgasse-0033900601	3639,55	21,8373
UNIV	graz-universitaet-0033970301	3831,41	22,98846

FLUG	feldkirchen-airport-graz-0033905301	4088,25	24,5295
PROC	graz-prochaskagasse-vs-0033901201	5568,06	33,40836
ANDR	graz-andritz-0033903390	6794,55	40,7673
STRZ	graz-strassgang-zamg-0033931602	6814,35	40,8861
KLUS	graz-klusemann-ahs-0033901601	6981,19	41,88714
REIN	graz-rhb-einoedbach-schererpark-0033901402	7892,35	47,3541
STRB	graz-strassgang-bad-0033901603	7927,46	47,56476
RBRU	graz-rhb-bruendlbach-krottendorferstr-0033901602	8651,14	51,90684
THAL	graz-thal_thalstr-0033905003	9440,75	56,6445

#### 4.5.2 Messtechnisch erfasste Niederschlagsereignisse

Bei den Niederschlagsereignissen wurde versucht, Niederschläge zu finden, die bei allen Messstationen Messdaten lieferten. Die Niederschlagsereignisse wurden aus verschiedenen Monaten und auch zu unterschiedlichen Tageszeiten gewählt. Um die Auswirkung der inhomogenen Niederschlagsverteilung auf die Abflusssituation abzuschätzen, wurde auch versucht, stärkere Niederschläge auszusuchen, bei denen es auch zu MÜs kam. Dafür wurden schließlich die nachfolgenden 6 Niederschlagsereignisse aus dem Jahr 2015 ausgewählt:

- Ereignis 1: 2015-07-19 20:00:00 - 2015-07-20 01:00:00, Gebietsniederschlag Dauer=5 h; Min=10.89 mm (FLUG); Mittelwert=23.88 mm; Max=38.19 mm (KLUS)
- Ereignis 2: 2015-07-24 00:30:00 - 2015-07-24 05:00:00, Gebietsniederschlag Dauer=4,5 h Min=3.61 mm (THAL); Mittelwert=18.09 mm; Max=44.45 mm (UNIV)
- Ereignis 3: 2015-08-16 23:30:00 - 2015-08-17 13:30:00, Gebietsniederschlag Dauer=14 h Min=36.19 mm (REIN); Mittelwert=43.85 mm; Max=56.75 mm (FLUG)
- Ereignis 4: 2015-09-02 13:20:00 - 2015-09-02 17:40:00, Gebietsniederschlag Dauer=4.33 h Min=5.32 mm (THAL); Mittelwert=11.71 mm; Max=14.30 mm (ANDR)
- Ereignis 5: 2015-09-05 08:30:00 - 2015-09-05 16:30:00, Gebietsniederschlag Dauer=8 h Min=6.5 mm (UNIV); Mittelwert=10.87 mm; Max=19.39 mm (THAL)
- Ereignis 6: 2015-10-06 23:30:00 - 2015-10-08 10:30:00, Gebietsniederschlag Dauer=34 h Min=22.7 mm (ANDR); Mittelwert=39.94 mm; Max=46.8 mm (PETR)

## 5 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Masterarbeit dargestellt, beschrieben und vor allem auch diskutiert.

Dadurch, dass die Ermittlung der Niederschlagsmengen für die einzelnen Einzugsgebiete mit drei unterschiedlichen Verfahren erfolgte, kam man auch zu drei verschiedenen Ergebnissen.

Die Simulationsergebnisse aus dem hydrologischen N-A-Modell in KOSIM wurden in eine EXCEL-Datei überführt, wofür ein Skript benötigt wurde, welches in der Programmiersprache R (R Core Team, 2016) implementiert wurde. In die EXCEL-Datei wird für jedes einzelne Bauwerk das emittierte Gesamtvolumen in Kubikmeter ausgegeben. Die Ergebnisse wurden in zwei verschiedenen Formen grafisch dargestellt, als Ablaufkurven bezogen auf den Entlastungsabfluss je MÜ in L/s über den Ereigniszeitraum sowie als Säulendiagramme mit den jeweiligen Gesamtsummen bezogen auf die Entlastungsvolumina je MÜ in m<sup>3</sup>. Dies wurde in Matrix-Form geplottet, bei welcher alle Bauwerke mit den dazugehörigen Werten abgebildet wurden. Diejenigen Bauwerke, die die höchsten Entlastungen aufwiesen, werden im Folgenden noch detaillierter beschrieben.

Der erste Abschnitt dieses Kapitels beschäftigt sich mit den Ergebnissen aus den durchgeführten Modellsimulationen unter Verwendung der synthetischen Niederschlagsereignisse (Euler-Typ-II). Mithilfe dieser Simulationsberechnungen sollten Starkniederschlagsereignisse aus allen vier Himmelsrichtungen (N-S, S-N, W-O, O-W) analysiert, verglichen und bewertet werden, um damit auch die Ergebnisse mit dem Referenzszenario der „homogenen Niederschlagsverteilung“, sowie aus den beiden inhomogenen Niederschlagsverteilungsansätzen nach EIDV und TPV miteinander zu vergleichen.

Um die verwendeten Verfahren auf Richtigkeit zu kontrollieren, wurde ein Euler-Typ-II-Modellniederschlag erzeugt, der für jede Messstation idente Niederschlagsintervalle enthält. Dies entspricht einer homogenen Niederschlagsverteilung.

Durch die Anwendung der homogenen Referenzmethode im Ereignis 3 kommt es in großen Teilbereichen zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmengen. Im Ereignis 6 kommt es durch dieselbe Methode zu einer Überschätzung der Niederschlagsmenge. Die beiden Ereignisse werden im Kapitel 5.3 näher erläutert.

### 5.1 Ergebnisse der Euler Kontrolle

Dabei handelt es sich um das Kontrollscenario für die drei verschiedenen Verfahren. Die Kontrolle wurde durchgeführt, um zu sehen ob die Verfahren anhand des Simulationsmodells KOSIM richtig implementiert wurden. Euler-Typ-II-Modellniederschlag wurde als homogener Niederschlagsereignis für die drei verwendeten Methoden

durchgeführt. Da die Ergebnisse zeigen, dass alle drei Verfahren identische Werte aufweisen, geht man davon aus, dass die Implementierung fehlerfrei war.

Im Abflussdiagramm der Abbildung 5-1 sind die drei Abflussvolumina, die durch die drei Methoden ermittelt wurden, dargestellt. Das Abflussdiagramm beinhaltet die 34 MÜs welche sich im Kanalnetz befinden. Die drei Abflussvolumina sind in drei farblichen Balken unterteilt. Der rote Balken bildet das „EIDV“, der grüne die „homogene Referenz“ und der blaue das „TPV“ ab.

Die Entlastungsvolumina wurden mit Hilfe des KOSIM-Modells berechnet. Die Ergebnisse wurden in R verarbeitet und als Matrixdiagramme geplottet.

Im Abflussdiagramm Abbildung 5-1 ist leicht zu erkennen, dass das jeweilige Überlaufvolumen an den MÜs entlang der Mur bei den drei verwendeten Verfahren (homogene Referenz, TPV und EIDV) gleich groß ist. Daher kann davon ausgegangen werden, dass bei der Implementierung im Simulationsmodell KOSIM keine Fehler aufgetreten sind.



Abbildung 5-1: Abflussdiagramm, Euler-Kontrolle

Die Abbildung 5-2 zeigt den zeitlichen Verlauf des Abflusses. Auch hier gibt es 3 verschiedene Abflusskurven welche im Zusammenhang mit den verwendeten Methoden

stehen. Die rote Linie bildet das „EIDV“, die grüne die „homogene Referenz“ und die blaue das „TPV“ ab.

Abbildung 5-2 zeigt, dass auch die Abflusskurven ident sind und alle drei verwendeten Verfahren bei Anwendung der Euler-Typ-II- Niederschlagsverteilung damit identische Ergebnisse liefern. Aus diesem Grund ist in Abbildung 5-2 auch nur eine Abflusskurve zu sehen (alle 3 Kurven liegen aufeinander).

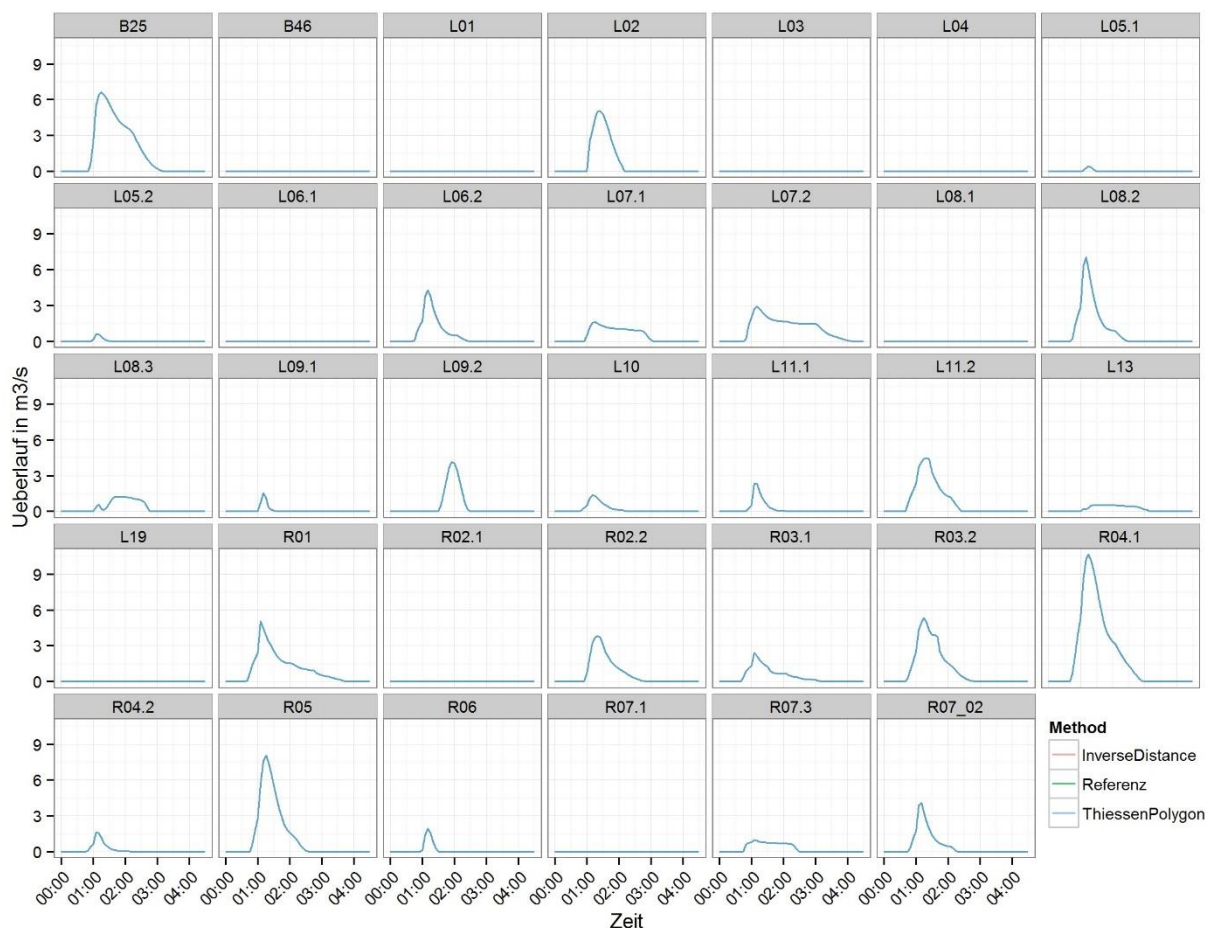


Abbildung 5-2: Abflusskurvendigramm, Euler-Kontrolle

## 5.2 Ergebnisse der synthetischen Niederschlagsereignisse (Euler-Typ-II)

### 5.2.1 Ergebnisse in Richtung N-S

Die Ermittlung des Überlaufvolumens, das in die Mur abgeschlagen wird, ergab bei allen drei verwendeten Methoden ähnliche Werte. Das größte Volumen wird dabei jeweils über die MÜs B25 und R04.1 abgeschlagen. Die unterschiedlichen Ansätze aus verschiedenen Hauptzugrichtungen waren mit dem Euler-Typ-II-Modellniederschlag sehr schwer miteinander zu vergleichen, da diese sehr ähnlichen Überlaufvolumina ergaben. Aus diesem Grund lässt sich hierbei nur sehr schwer eruieren, welches der drei angewandten Verfahren das Geeignetste ist.

Beispielhaft sind dafür in Abbildung 5-3 die Berechnungsergebnisse in N-S-Richtung wiedergegeben. Bei neun Bauwerken lag der Wert des Überlaufvolumens bei null, da das Niederschlagsereignis nicht intensiv genug war, um einen Überlauf zu induzieren.



Abbildung 5-3: Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II -Modellniederschlag (N-S Richtung)





Abbildung 5-4: Mischwasserüberläufe der Stadt Graz, welche für die Masterarbeit berücksichtigt worden sind.

Im Gegensatz zum Abflussvolumen ist bei den Abflusskurven wesentlich leichter zu erkennen, bei welchem Verfahren die MÜs als erstes anspringen (siehe Abbildung 5-5). Im Vergleich zu den anderen Verfahren kommt es bei der homogenen Referenz-Methode als erstes zum Anspringen der MÜs, was darauf zurückzuführen ist, dass ein Ereignis von Norden kommend einen recht kurzen Weg zurücklegen muss (siehe Abbildung 5-4) um bei der zentralen Station der Universität Graz anzukommen. Damit erklärt sich auch der Zeitversatz zwischen dem homogenen Referenz-Ansatz und dem TPV- bzw. dem EIDV-Ansatz.

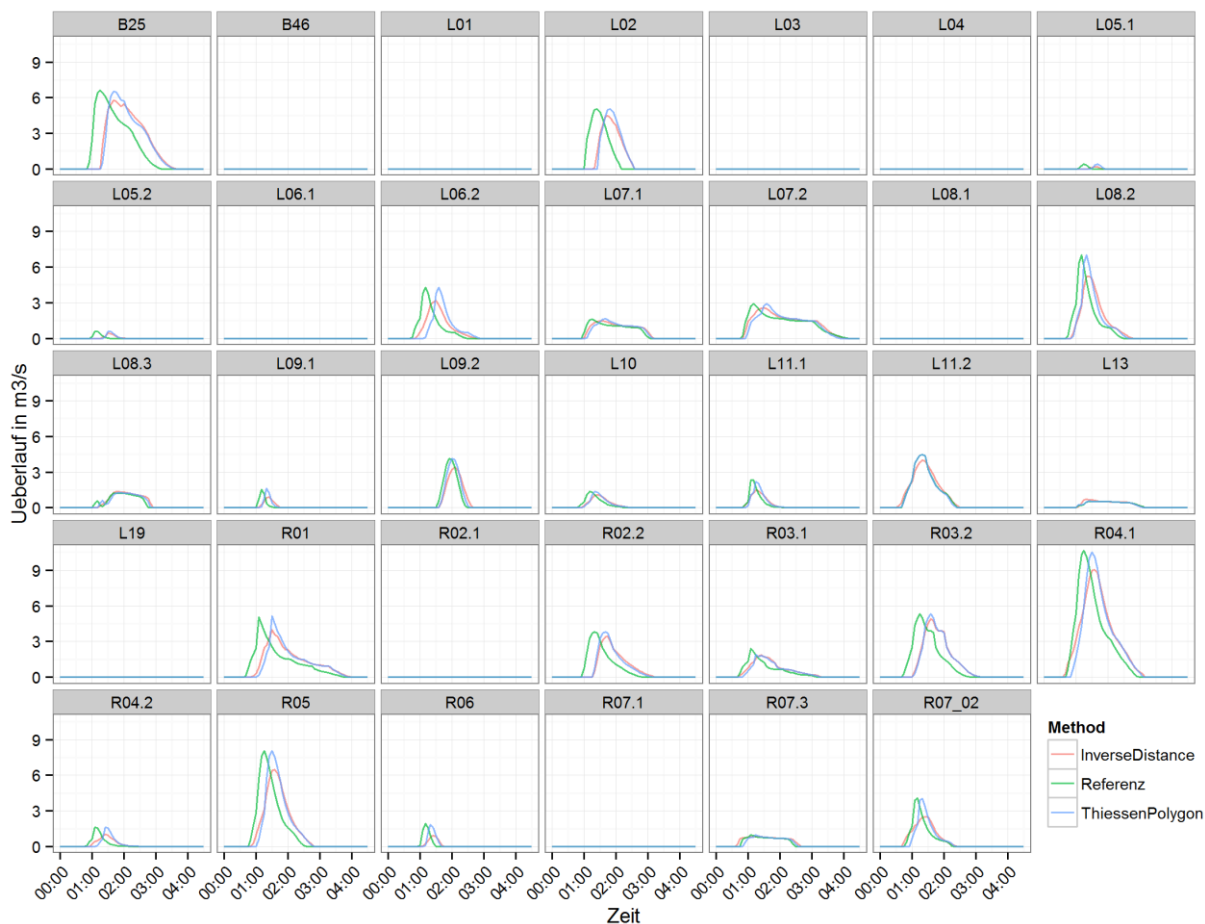


Abbildung 5-5: Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (N-S Richtung)

### 5.2.2 Ergebnisse in Richtung S-N

In der Abbildung 5-6 sind nur geringe Unterschiede zwischen den drei ermittelten Überlaufvolumenwerten sichtbar, obwohl die Richtung des Niederschlagsereignisses vom N-S auf S-N geändert wurde. Der MÜ B25 und R04.1 weisen die größten Überlaufvolumenmengen in die Mur auf. Ähnlich wie beim Niederschlagsereignis mit der Hauptzugrichtung N-S gab es in diesem konkreten Fall an neun MÜs keine Entlastungen in die Mur. Daher stellte sich die Aufgabe, zwischen den Hauptzugrichtungen N-S und S-N zu unterscheiden, als sehr schwierig dar, da die emittierten Überlaufvolumina beinahe identisch waren.

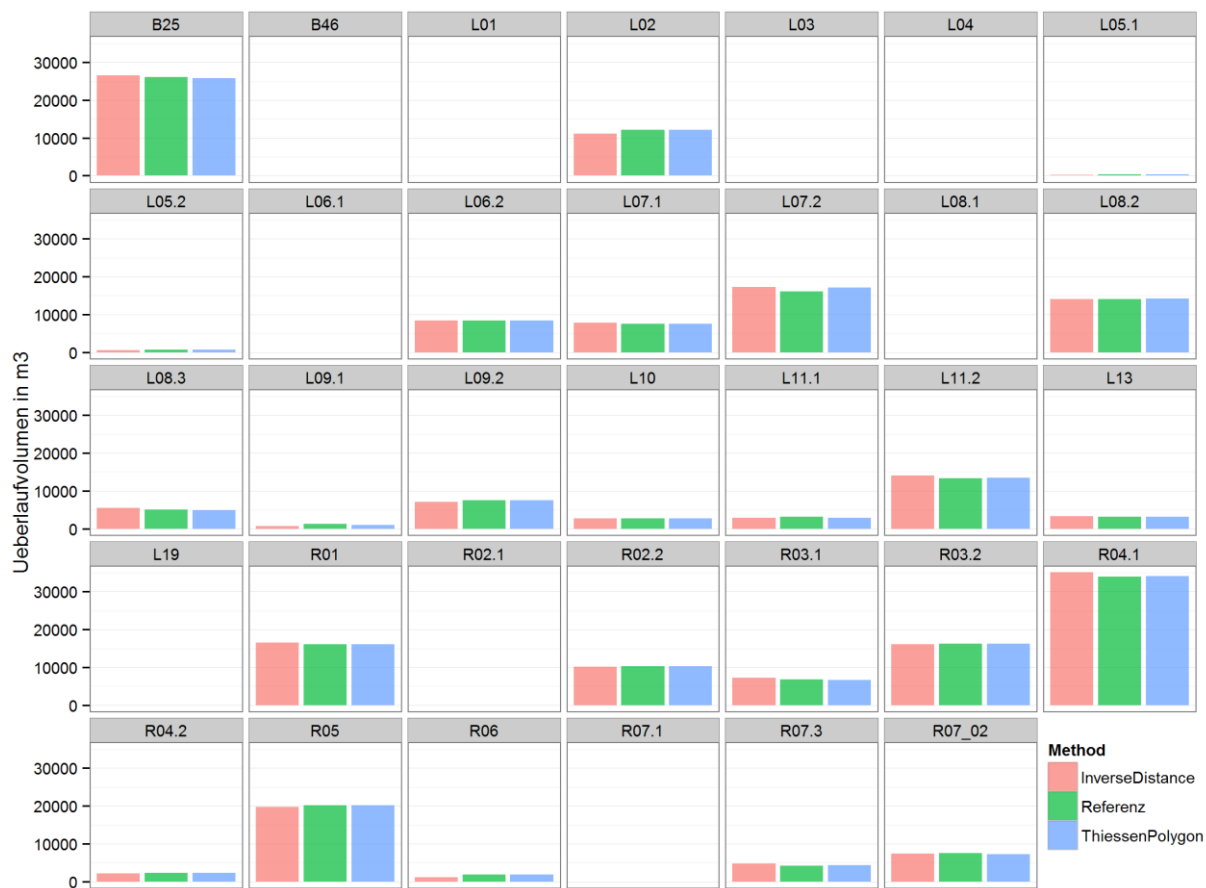


Abbildung 5-6: Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II -Modellniederschlag (S-N Richtung)

In der Abbildung 5-7 ist klar ersichtlich, dass die Entlastungen der MÜs im Vergleich zu dem EIDV und zu dem TPV beim homogenen Referenz-Verfahren als letztes stattfinden. Auf der anderen Seite ist deutlich erkennbar, dass die Höchstwerte ähnlich wie dem Niederschlagsereignis mit der N-S Richtung entweder beim homogenen Referenzverfahren auftraten oder diese Werte mit jenen der beiden inhomogenen Verfahren nahezu identisch waren.

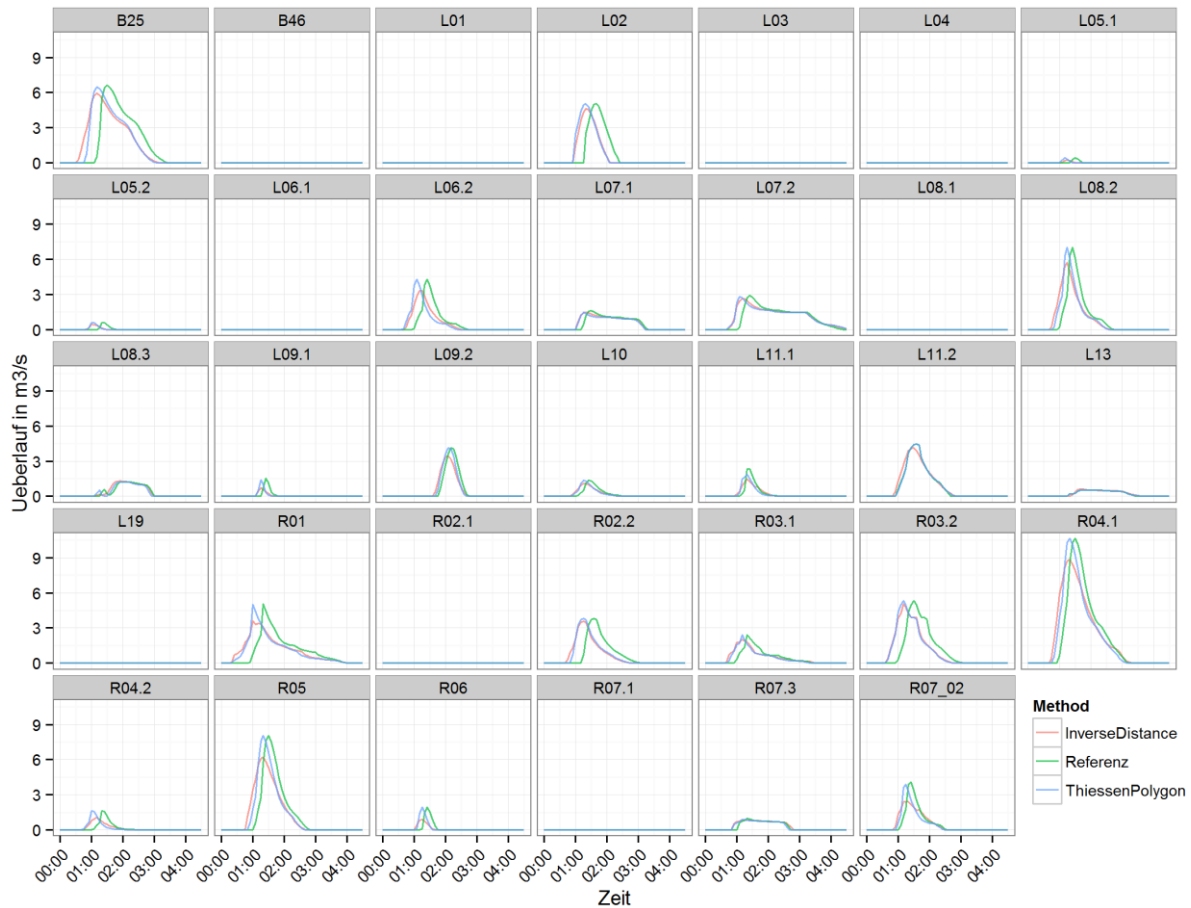


Abbildung 5-7: Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (N-S Richtung)

### 5.3 Ergebnisse der messtechnisch erfassten Niederschlagsereignisse

Im Folgenden wurden von den sechs im Jahr 2015 ausgewählten Niederschlagsereignissen zwei ausgewählt, um deren Charakteristik und deren vergleichende Simulationsergebnisse im Detail zu diskutieren. Die Ergebnisse der restlichen 4 Niederschlagsereignisse sind im Anhang C enthalten.

Mittels der homogenen Verfahren kommt es bei den ausgewählten Ereignissen jeweils zu einer Unterschätzung bzw. einer Überschätzung der Niederschlagsmenge, weswegen ausgerechnet diese beiden Ereignisse zur näheren Betrachtung ausgewählt wurden.

Für jedes ausgewählte Niederschlagsereignis wurde die gemessene Niederschlagsmenge für das jeweilige Verfahren ermittelt und auf einer GIS-Karte dargestellt.

#### 5.3.1 Ereignis 3: 2015-08-16 23:30:00 – 2015-08-17 13:30:00

Im linken Teil der Abbildung 5-8 ist die Niederschlagsmenge bei Anwendung der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) für das ganze Stadtgebiet von Graz dargestellt, im rechten Teil die unterschiedlichen Niederschlagsmengen bei Anwendung des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV). Die weißen Flächen des Stadtgebietes sind

nicht Abflusswirksam und werden somit vernachlässigt. Die Messstationen der Abteilung A15 sind zwar abgebildet, liefern aber keine Daten.

Für das konkrete Beispiel kommt in großen Teilbereichen zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmengen bei Anwendung der homogenen Referenzmethode.

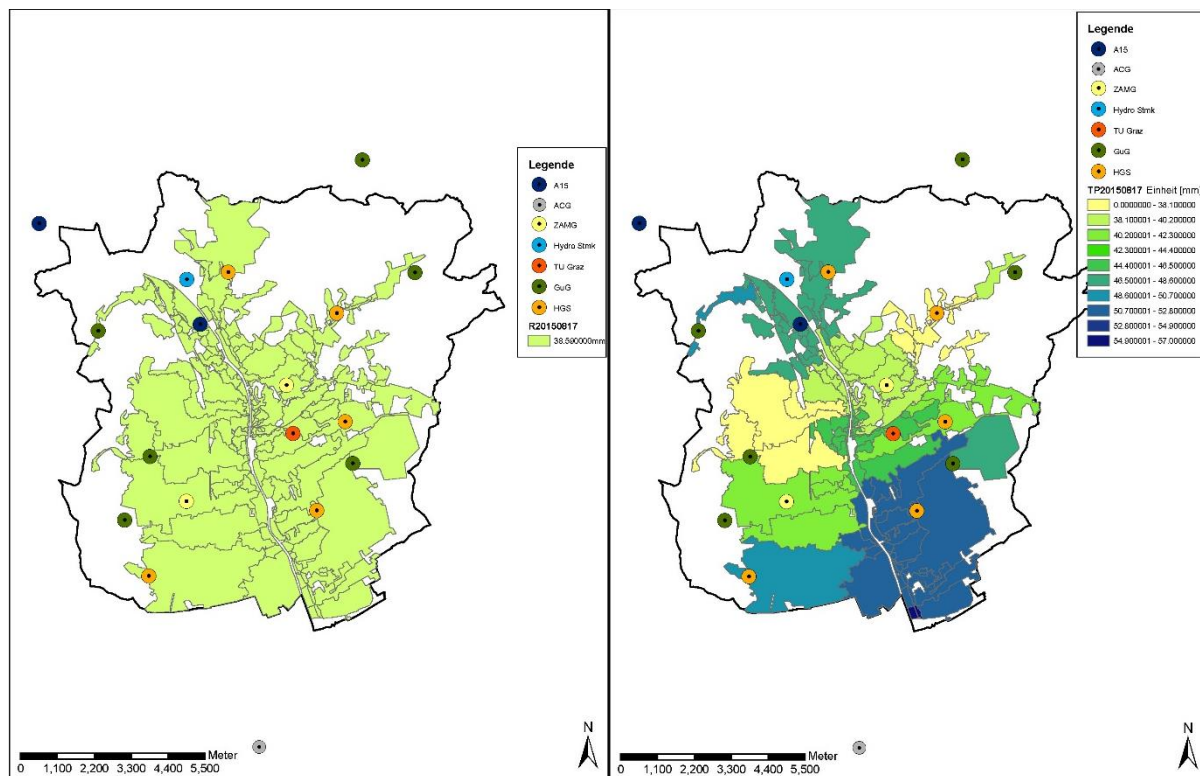


Abbildung 5-8: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 17.08.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

Abbildung 5-9 zeigt die Niederschlagsmenge für das Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV). Es ist klar erkennbar, dass die Ermittlung des Gesamtniederschlags bei der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) zu einer deutlichen Unterschätzung des Niederschlagsereignisses führt, weil der Niederschlag, der von der Messstation Universität (UNIV) gemessen wurde, schwächer war, als bei anderen Messstationen in Graz.

Die minimal ermittelten Niederschläge im EIDV-Verfahren sind höher als vergleichsweise im TPV-Verfahren, weil sie von mehreren bzw. mindestens 3 Messstationen abhängig sind.

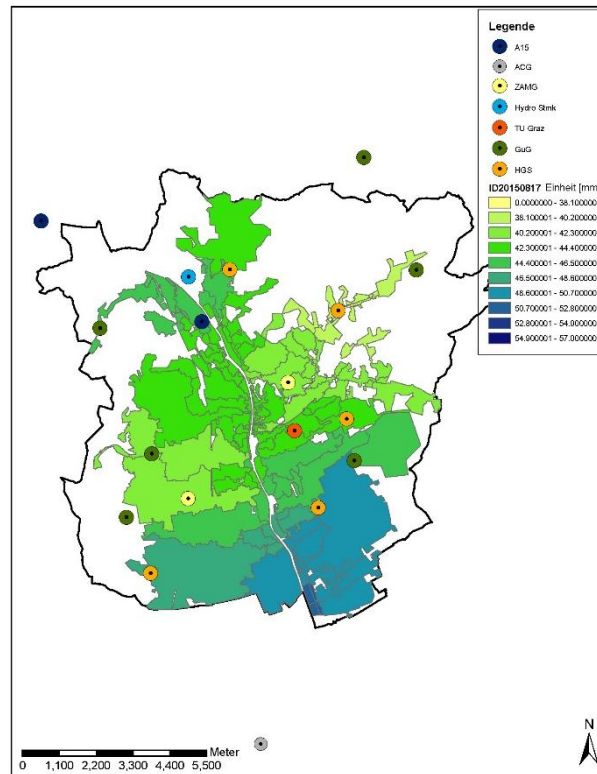


Abbildung 5-9: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 17.08.2015

Um die Unterschiede zwischen homogenen und inhomogenen Verfahren besser darzustellen, sind in Abbildung 5-10 von 3 Messstationen die Niederschlagsverläufe für das Ereignis am 17.08.2015 mit einem 5-minutigen Zeitintervall dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Verläufe keineswegs homogen sind. Wenn man, wie nachfolgend geschehen, das Gesamtniederschlagsvolumen vergleicht, erkennt man, dass „FLUG“ eine wesentlich höhere Gesamtniederschlagsmenge als „UNIV“ hat. Wenn das Ereignis also nur mit den Niederschlagsdaten der Messstation der Universität Graz simuliert wird, erfolgt eine deutliche Unterschätzung des Gesamtniederschlags für den Raum Graz.

Die Messdaten der Messstation „UNIV“

- Gesamtniederschlag: 38,6 mm
- Niederschlagsdauer: 10 h
- Max. Niederschlagshöhe: 4,8 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „FLUG“

- Gesamtniederschlag: 56,8 mm
- Niederschlagsdauer: 10 h
- Max. Niederschlagshöhe: 3,3 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „RWEI“

- Gesamtniederschlag: 41,9 mm
- Niederschlagsdauer: 10 h
- Max. Niederschlagshöhe: 2,9 mm / 5 min

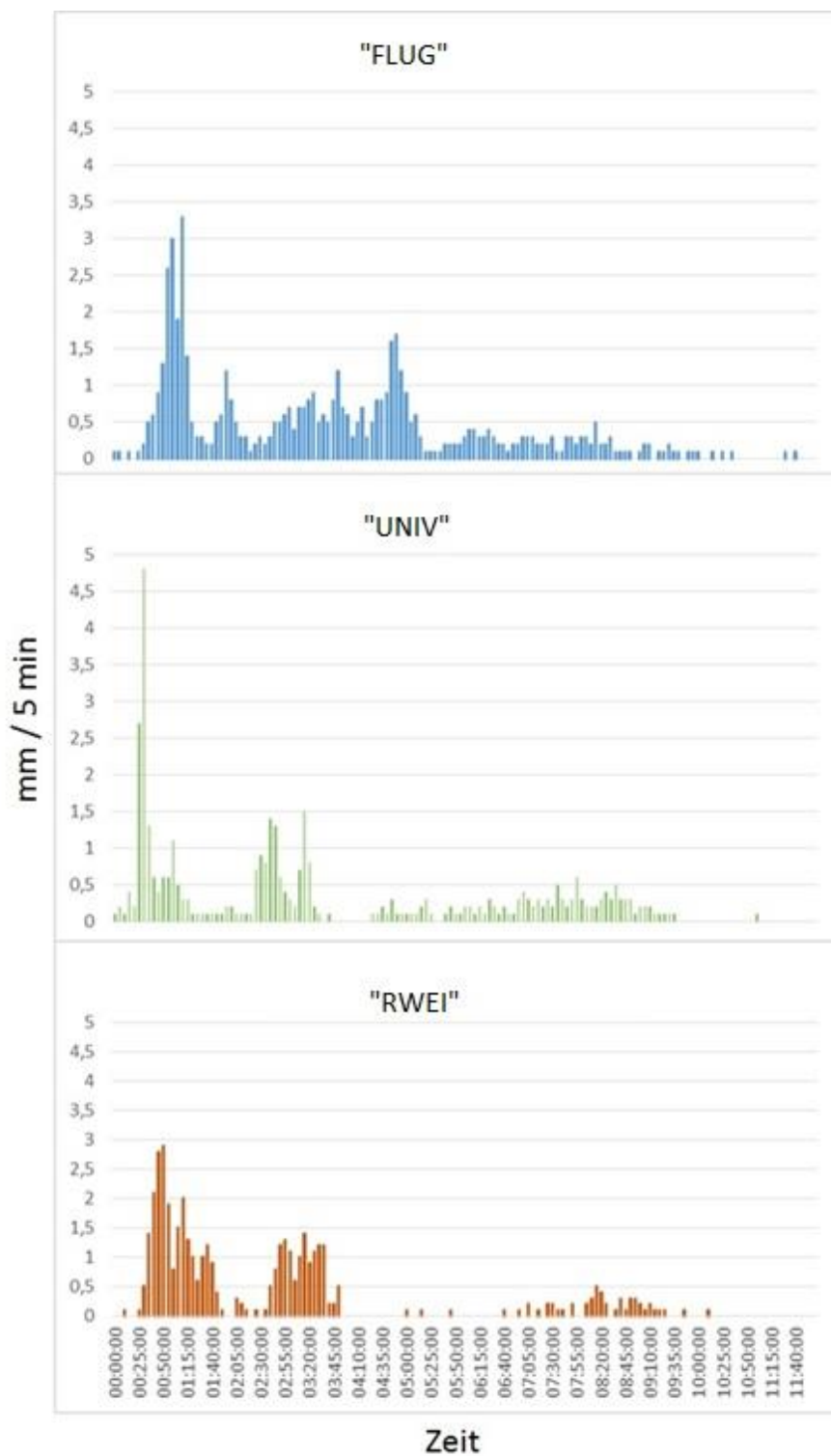


Abbildung 5-10: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015

In Abbildung 5-11 sind die einzelnen Überlaufvolumina an den 34 im KOSIM-Modell abgebildeten MÜs für die 3 unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsverfahren wieder vergleichend gegenübergestellt.

Bei diesem Niederschlagsereignis sind jene Überlaufvolumina, welche mit dem homogenen Referenz-Verfahren ermittelt wurden, nicht in allen MÜs die kleinsten. Ausnahmen traten hierbei bei den MÜs R05 und R07.3 auf, wo jeweils die Überlaufvolumina beim TPV die kleinsten waren. Obwohl in diesem Beispiel die ermittelte Niederschlagsmenge beim Referenzverfahren klar unterschätzt wurde, waren die resultierenden Überlaufvolumina beim homogenen Referenzverfahren beinahe identisch mit jenen aus den beiden anderen Verfahren (EIDV und TPV). Das kann darauf zurückzuführen sein, dass das verwendete KOSIM-Modell bisher noch nicht auf inhomogene Eingangsdaten kalibriert wurde und sich in diesem Fall zufällig ähnliche Abflusskurven und Überlaufvolumina ergeben hatten.

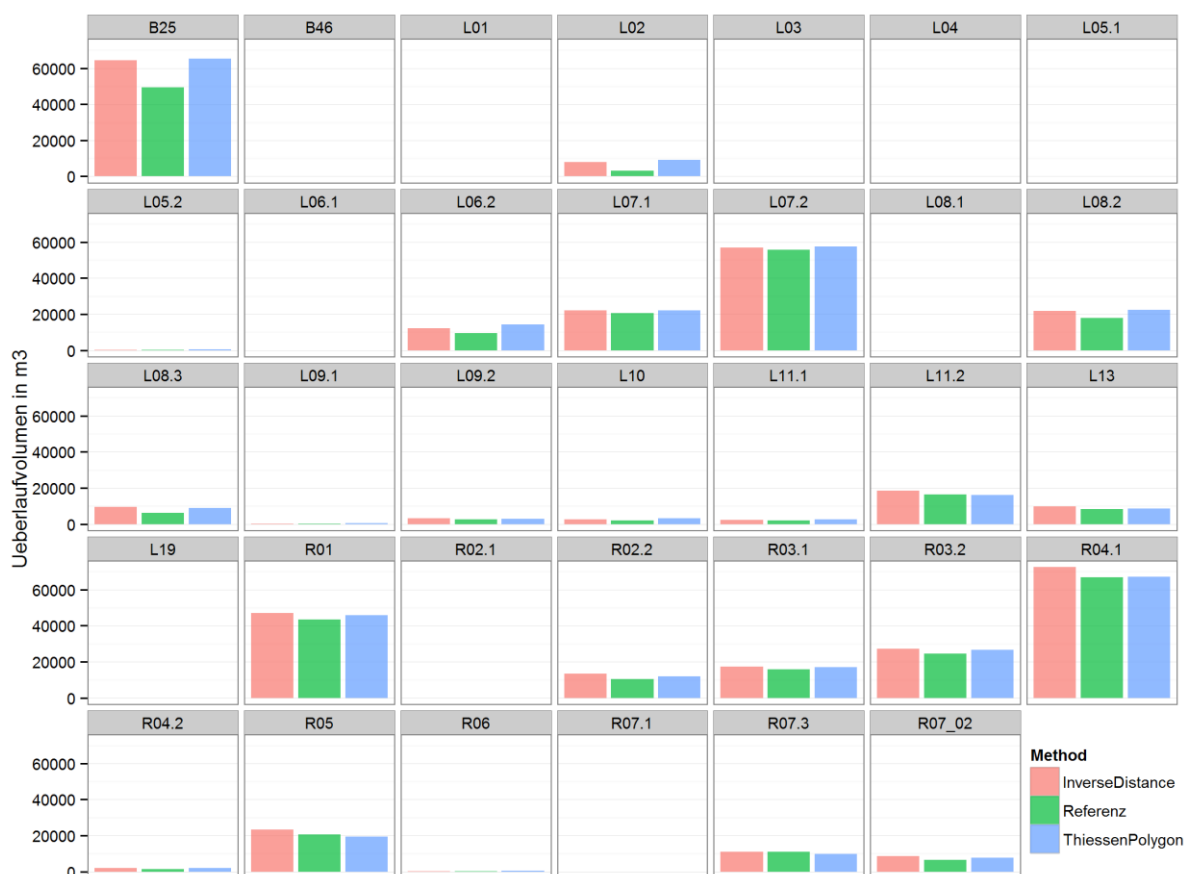


Abbildung 5-11: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

In Abbildung 5-12 sind die Überlaufvolumina am MÜ R04.1 vergleichend gegenübergestellt. Das Niederschlagsereignis am 17.08.2015 war mit ca. 10 h ein vergleichsweise langes Ereignis. In der Abbildung 5-12 kann man erkennen, dass das mit KOSIM simulierte Überlaufvolumen bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens etwa



200 m<sup>3</sup> kleiner ist als bei den beiden inhomogenen Verfahren, welches auf die Unterschätzung des Verfahrens bei diesem speziellen Niederschlagsereignis zurückzuführen ist.

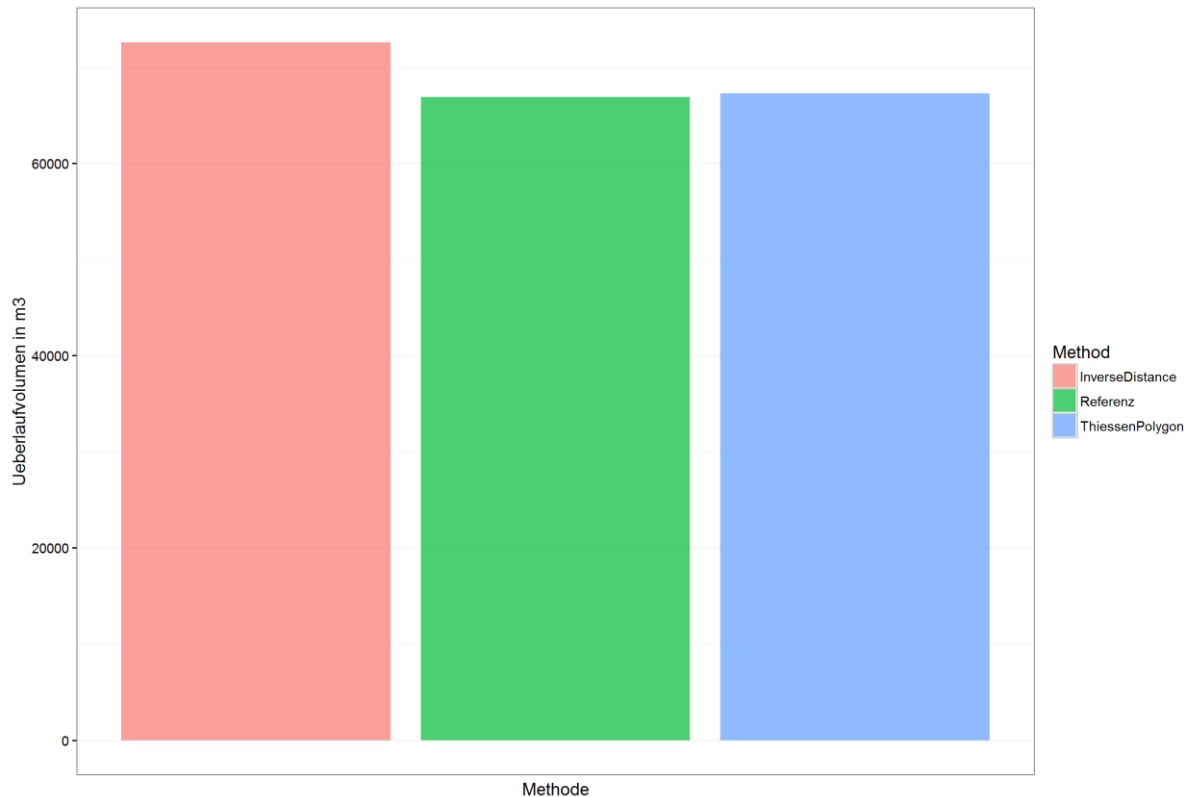


Abbildung 5-12: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015

Die Abbildung 5-13 zeigt wiederum, dass die MÜs bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens allesamt deutlich früher anspringen. Dies ist mit dem Beispiel des Euler-Typ-II-Modellniederschlags aus N-S – Richtung vergleichbar. Während bei manchen MÜs die Höchstwerte gleich zu Beginn des Ereignisses auftreten, fallen sie danach dann wieder sehr rasch bis zum Nullpunkt ab. Dieser Prozess wiederholt sich dann bei den meisten MÜs bis zu zweimal, bei einigen MÜs sogar bis zu dreimal, was auf das dynamische Verhalten des Niederschlagsereignisses mit mehreren Intensitätsspitzen zurückzuführen ist.

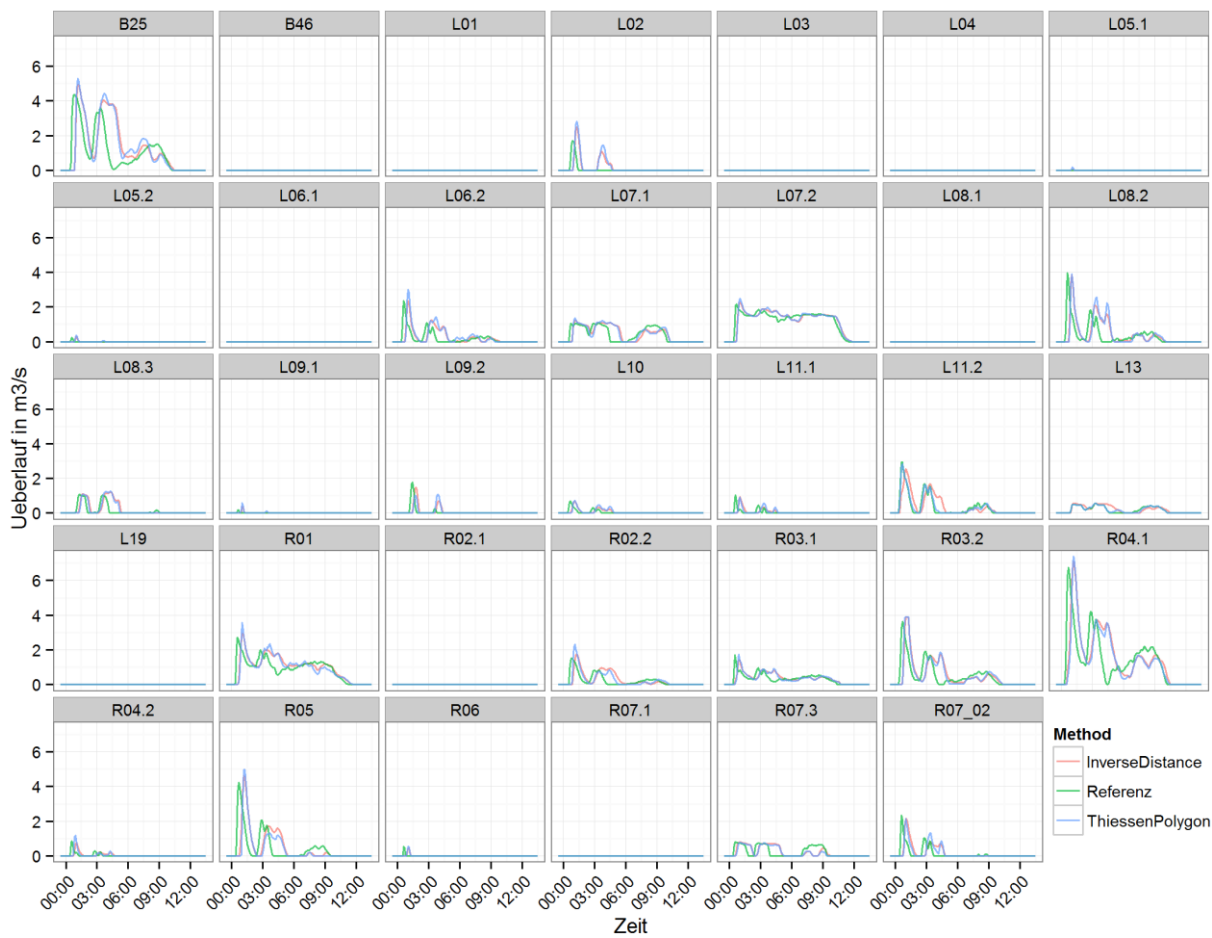


Abbildung 5-13: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015

Die Abbildung 5-14 zeigt deutlich, dass die Charakteristik der Überlaufabflusskurve beim MÜ R04.1 während des Niederschlagsereignisses vom 17.08.2015 bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens deutlich von der Charakteristik des TPV und des EIDV abweicht. Im Gegensatz dazu weisen das TPV und das EIDV fast identische Verläufe auf. Daher kann man davon ausgehen, dass die beiden letzteren Verfahren bei diesem Niederschlagsereignis ein korrekteres Bild der Überlaufabflussdynamik am R04.01 wiedergeben.

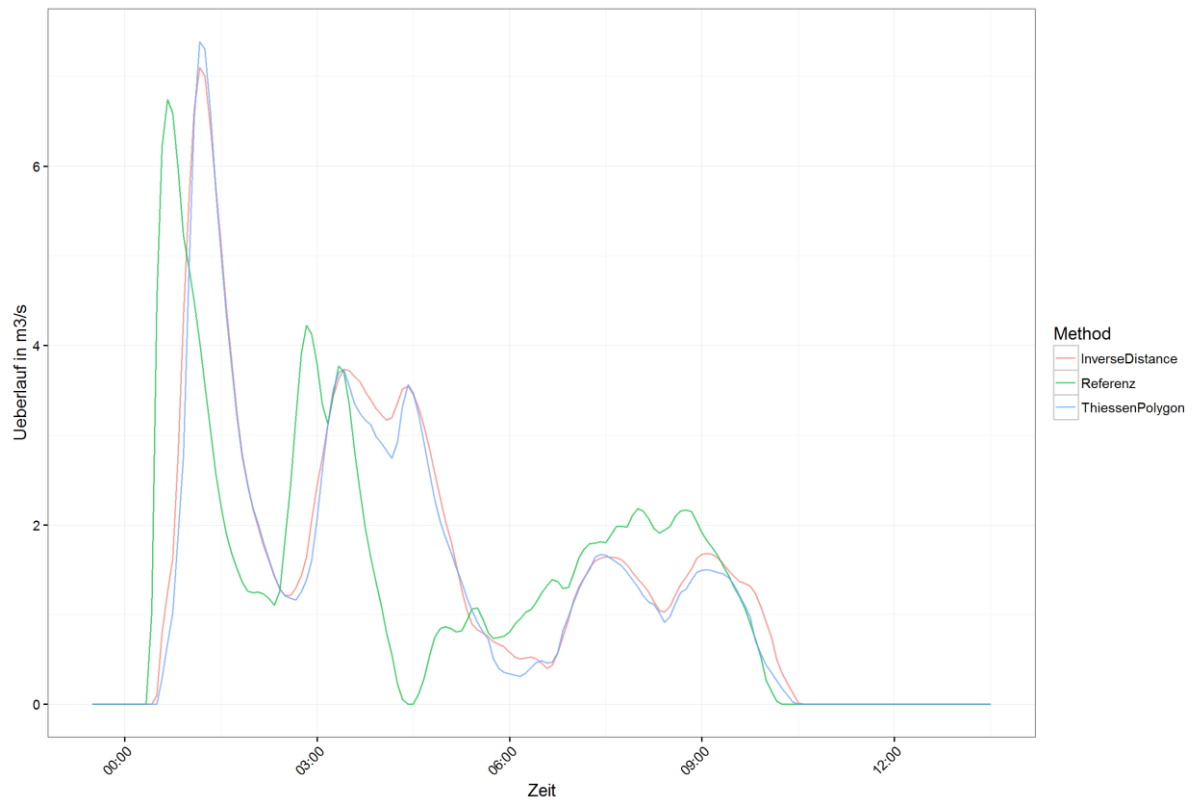


Abbildung 5-14: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 17.08.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätzen

### 5.3.2 Ereignis 6: 2015-10-06 23:30:00 - 2015-10-08 10:30:00

Im zweiten ausgewählten Niederschlagsereignis kam es bei der Ermittlung der Niederschlagsmenge durch das homogene Referenzverfahren zu einer deutlichen Überschätzung der Gesamtniederschlagsmenge.

Im linken Teil der Abbildung 5-15 ist die Niederschlagsmenge der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) für das ganze Stadtgebiet von Graz dargestellt, im rechten Teil die unterschiedlichen Niederschlagsmengen bei Anwendung des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV).

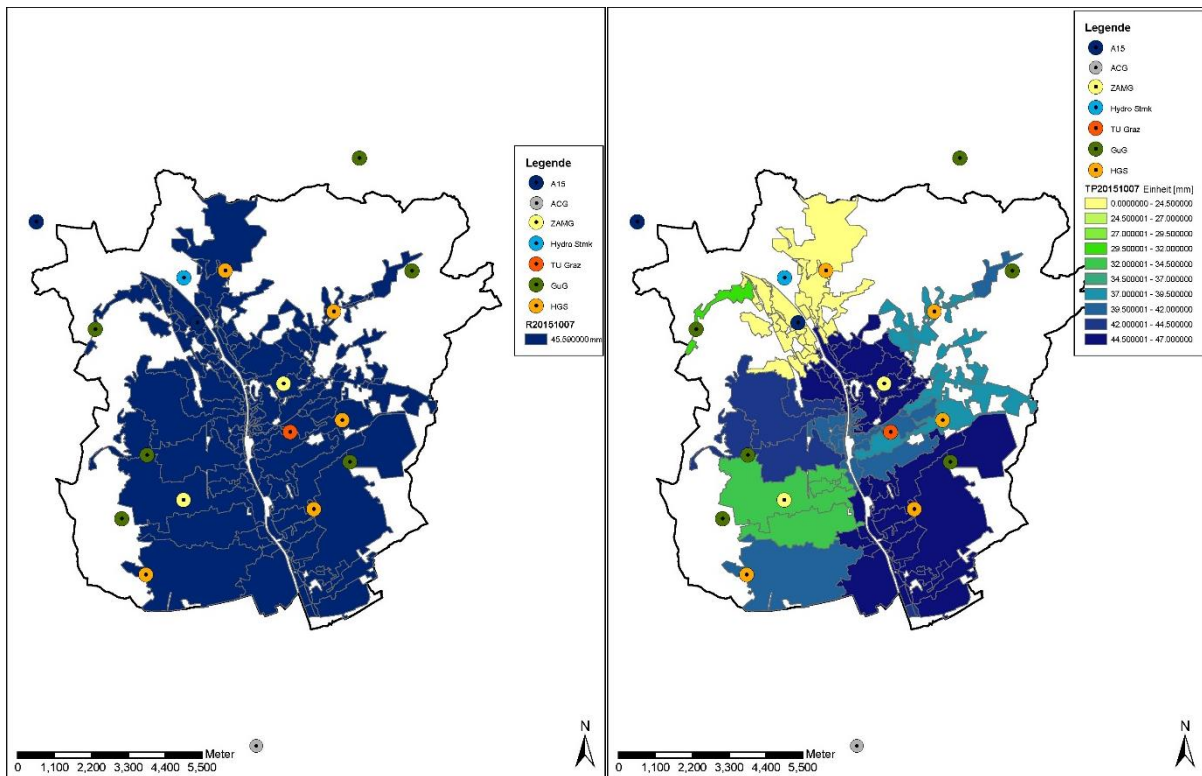


Abbildung 5-15: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 07.10.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

In Abbildung 5-16 sind die resultierenden Niederschlagsmengen bei Anwendung des Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahrens (EIDV) dargestellt. Daraus ist bereits rein visuell erkennbar, dass bei diesem Ereignis die Niederschlagsmengen beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) überschätzt werden, weil der an der Messstation der Universität Graz erfasste Niederschlag der Referenzmessstation größer war als in großen Teilen des übrigen Einzugsgebietes.

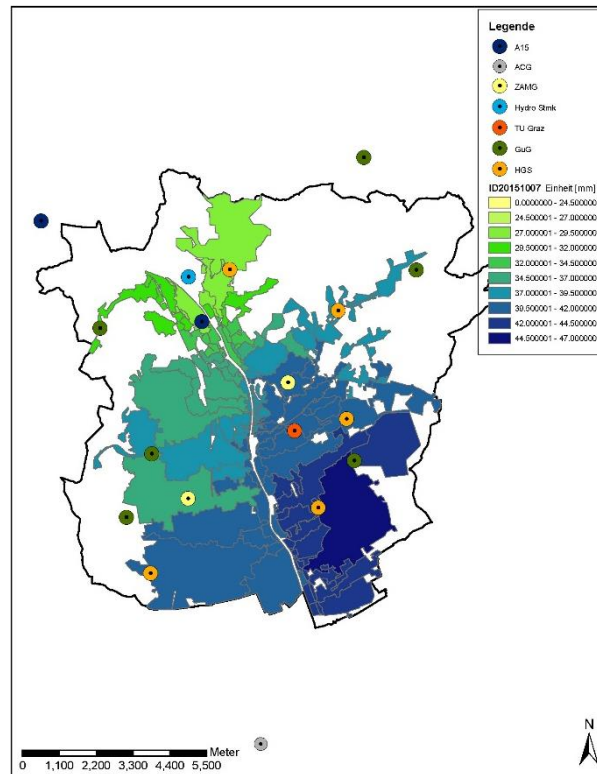


Abbildung 5-16: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 07.10.2015

Im Nachfolgenden sind wieder die gemessenen Ereignischarakteristika sowie in der Abbildung 5-17 auch die Niederschlagsverläufe dieses Ereignisses vom 07.10.2015 an drei der Niederschlagsmessstationen im Messnetz Graz gegenüber- bzw. dargestellt: Der Verlauf der Niederschlagintensität ist aufgrund von mehreren Spitzenwerten als speziell zu sehen.

Die Messdaten der Messstation „UNIV“

- Gesamtniederschlag: 45,6 mm
- Niederschlagsdauer: 34 h
- Max. Niederschlagshöhe: 0,9 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „FLUG“

- Gesamtniederschlag: 43,4 mm
- Niederschlagsdauer: 34 h
- Max. Niederschlagshöhe: 0,7 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „RWEI“

- Gesamtniederschlag: 42,1 mm
- Niederschlagsdauer: 34 h
- Max. Niederschlagshöhe: 0,8 mm / 5 min

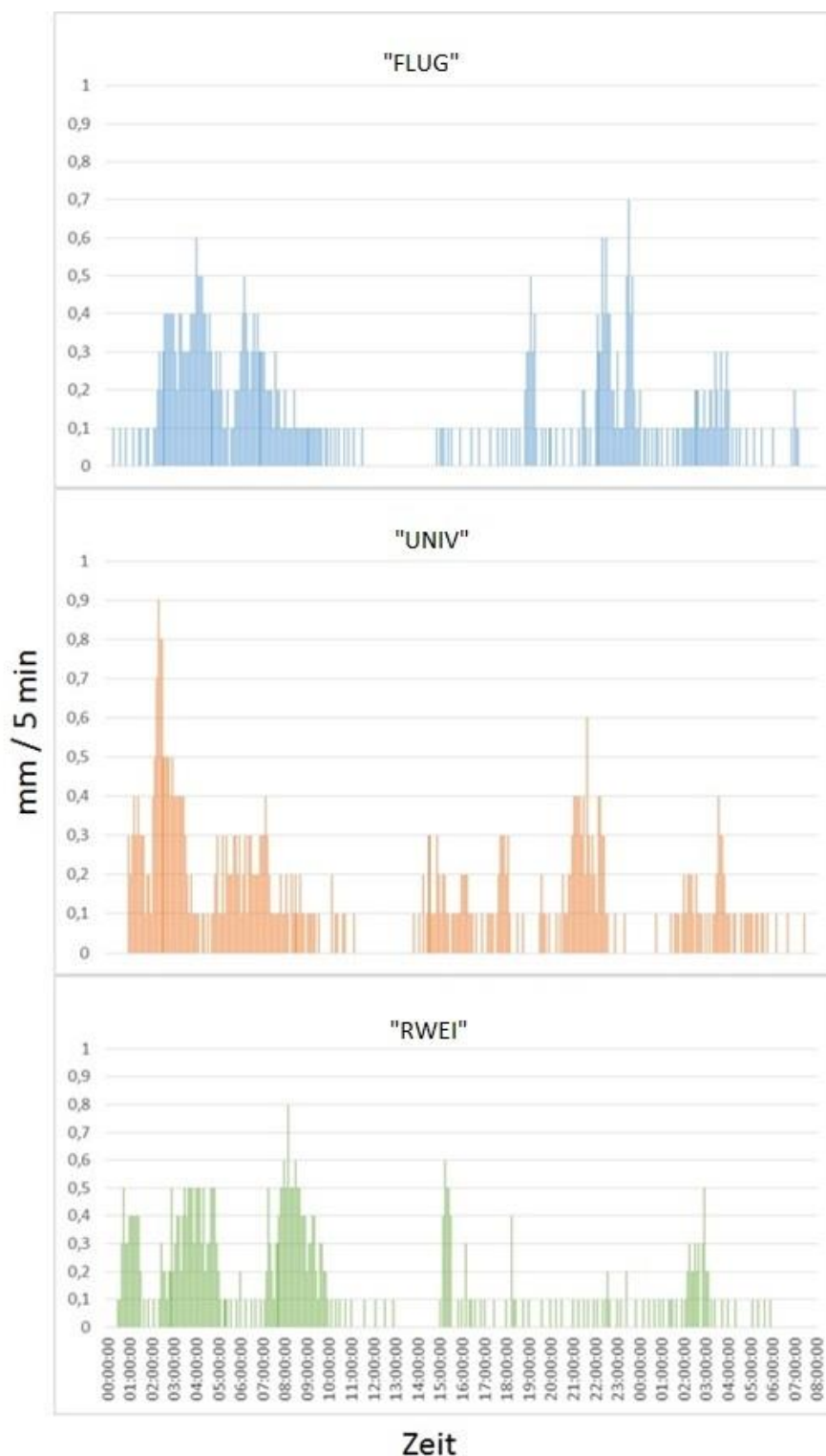


Abbildung 5-17: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015

In Abbildung 5-18 sind die einzelnen Überlaufvolumina an den 34 im KOSIM-Modell abgebildeten MÜs für die 3 unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsverfahren wieder vergleichend gegenübergestellt. Bis auf die beiden MÜs B25, L06.2 und L07.1 ergaben sich bei diesem Ereignis beim homogenen Referenzansatz jeweils die höchsten Überlaufvolumina.

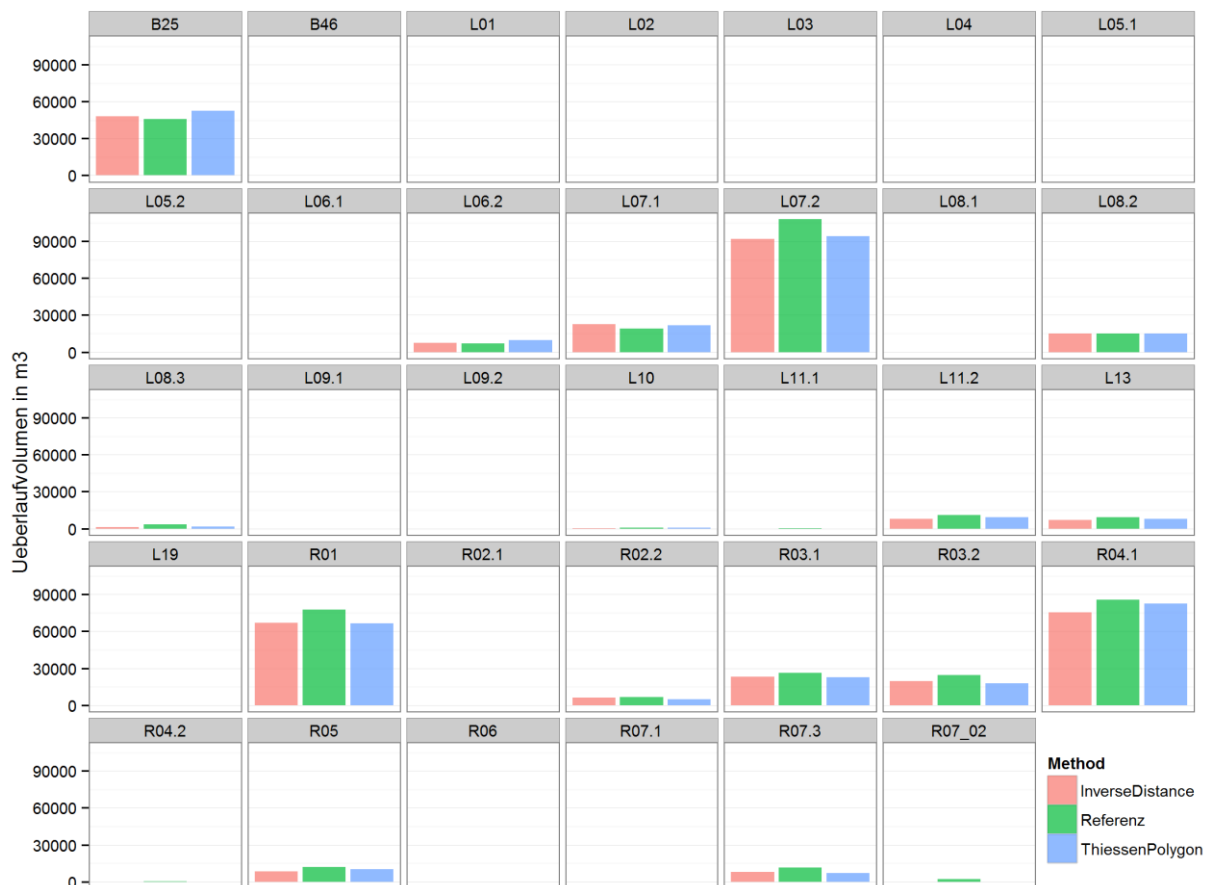


Abbildung 5-18: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

In Abbildung 5-19 sind die Überlaufvolumina am MÜ R04.1 vergleichend gegenübergestellt. Das Niederschlagsereignis am 07.10.2015 war mit ca. 34 h ein sehr langes Ereignis. In der Abbildung 5-19 kann man erkennen, dass das mit KOSIM simulierte Überlaufvolumen bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens größer ist als bei den beiden inhomogenen Verfahren, was auf die Überschätzung des Verfahrens bei diesem speziellen Niederschlagsereignis (Ereignischarakteristika s. o) zurückzuführen ist.

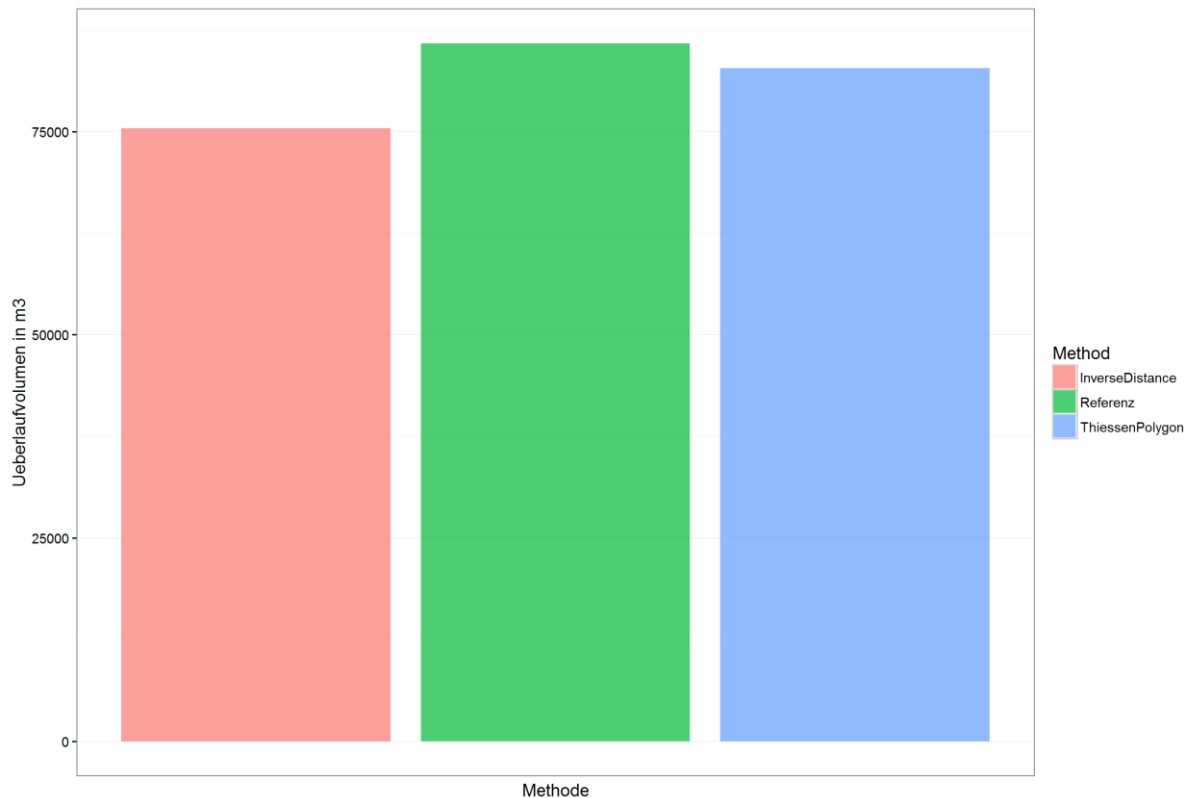


Abbildung 5-19: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015

In Abbildung 5-20 kann man klar erkennen, dass sich die Überlaufdynamik bei den beiden inhomogenen Ansätzen nach dem TPV und dem EIDV stark ähneln. Das homogene Referenzverfahren hingegen weicht stark von den beiden anderen Verfahren ab. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass die homogene Referenzmethode die Abflussdynamik dieses Niederschlagsereignisses deutlich unterschiedlich abbildet als bei den beiden inhomogenen Niederschlagsverteilungsansätzen. Weiter ist zu erkennen, dass beim homogenen Referenzansatz gegenüber den beiden inhomogenen Ansätzen auch wieder ein zeitlicher Versatz entsteht und die Überläufe bei Anwendung der Referenzmethode zumeist auch wieder früher anspringen als bei Anwendung der beiden inhomogenen Ansätze.



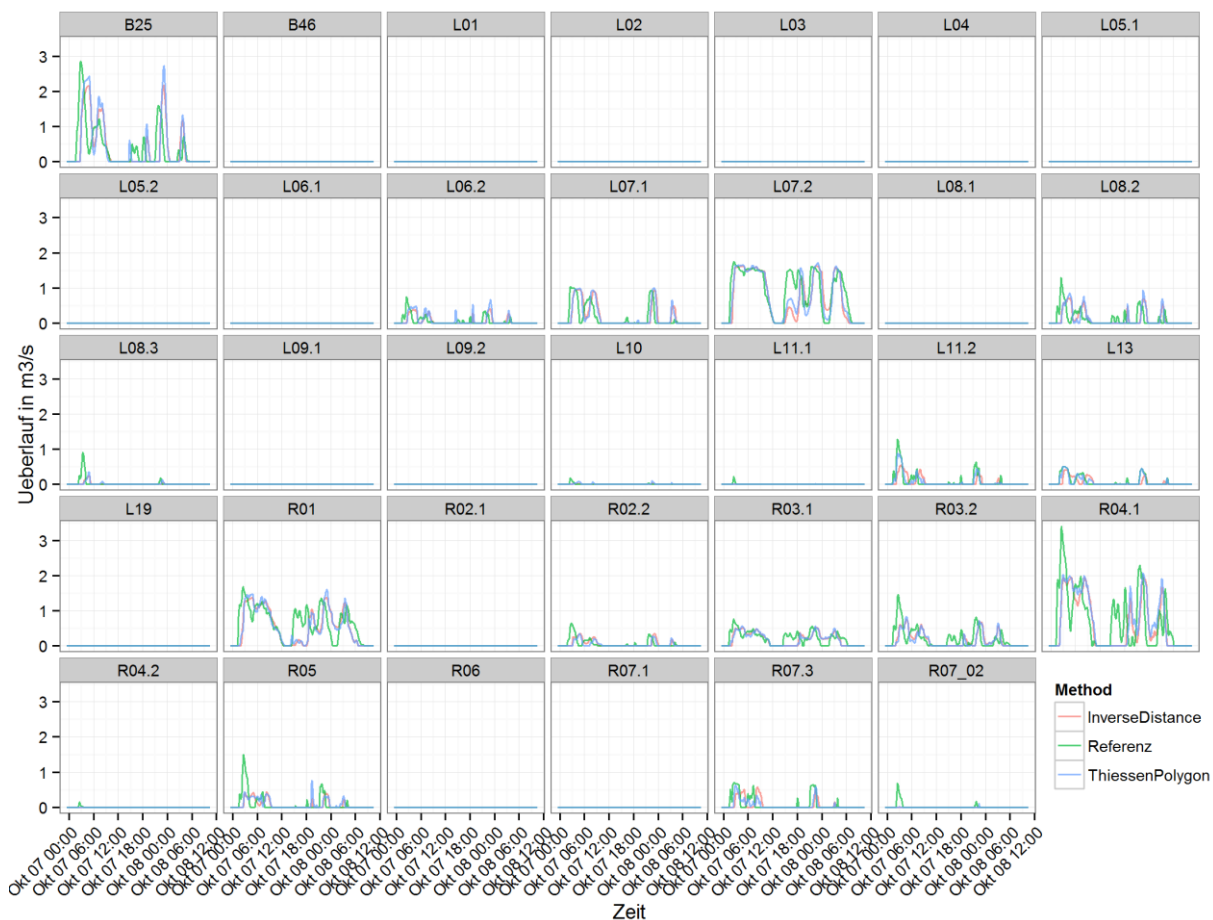


Abbildung 5-20: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 07.10.2015

Abbildung 5-21 zeigt die Abflussdynamik am Überlauf R04.1 bei diesem Ereignis vom 07.10.2015 im Detail. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Abflusssimulationen beim homogenen Referenzverfahren die höchsten Abfluss- bzw. Überlaufspitzen erreichten. Das TPV und das EIDV verhalten sich wieder ähnlich. Der zeitliche Versatz beträgt auch hier wiederum an die 60 Minuten.

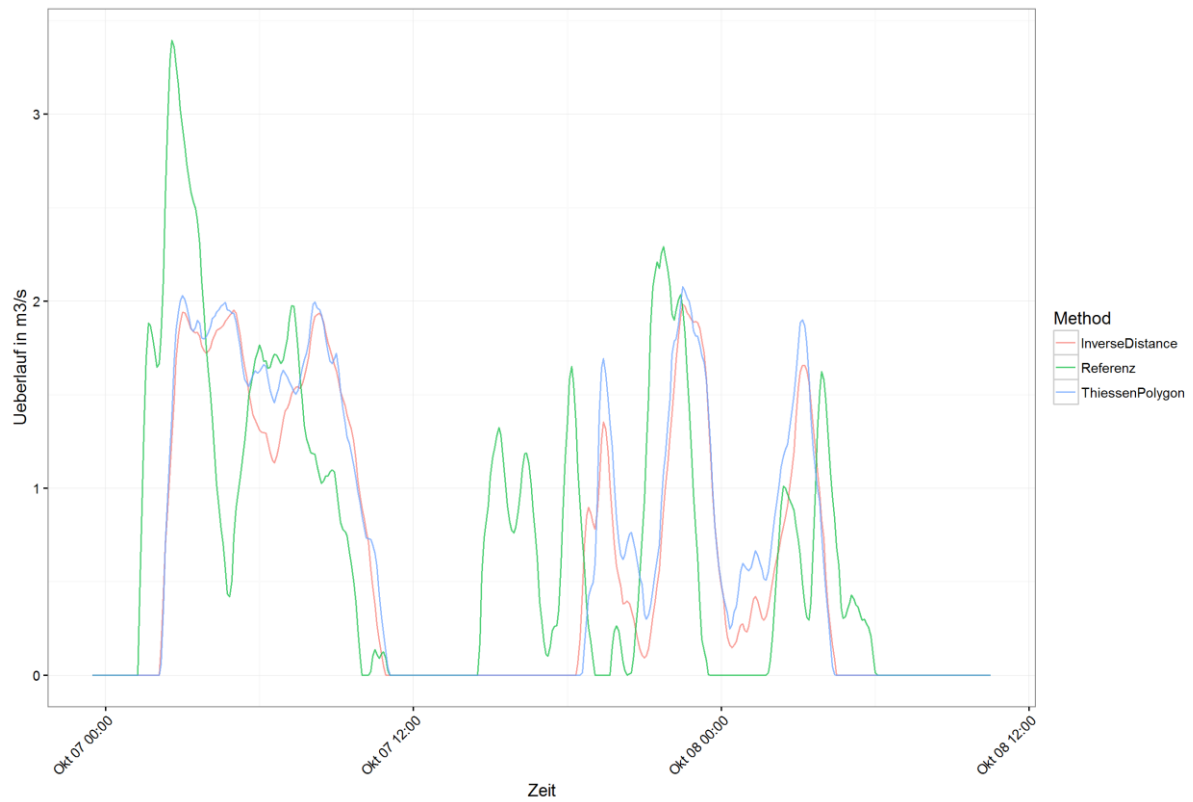


Abbildung 5-21: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 07.10.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungssätzen

## 6 Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick

Diese Masterarbeit widmet sich dem Vergleich von unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen in der Stadt Graz. Das Ziel der Arbeit war es, die Auswirkung einer inhomogenen Niederschlagsverteilung in einem Niederschlag/Abflussmodell (N/A-Modell) abzuschätzen. Bis dato wurde zur Simulation eine homogene Niederschlagsverteilung verwendet, um z. B. die Überlaufvolumina an den Mischwasserüberläufen (MÜs) für die Stadt Graz modelltechnisch zu ermitteln. Dazu wurden bisher die Niederschlagsdaten einer einzelnen Messstation herangezogen und damit für das gesamte Grazer Stadtgebiet eine homogene Niederschlagsverteilung angenommen. Tatsächlich treten jedoch sehr oft inhomogene und regional unterschiedliche Niederschläge auf, welche in weiterer Folge Auswirkungen auf die Ergebnisse des Niederschlags/Abflussmodells haben.

Weil es in der Stadt Graz öfter konvektive Niederschläge gibt, kann es durch die homogene Methode je nach Niederschlagsereignis sowohl zu Unterschätzungen als auch zu Überschätzungen der Gesamtniederschlagsmenge kommen.

Die Voraussetzung für eine inhomogene Niederschlagsverteilung, bei der mehrere Messstationen herangezogen werden können, wurde durch das Zusammenführen und Verfügbarmachen von dzt. 16 Onlinemessstationen geschaffen, die in Graz und in Graz Umgebung von unterschiedlichen Organisationseinheiten betrieben werden. Diese Stationen werden dzt. von fünf Organisationseinheiten (Stadt Graz – Abteilung Gewässer und Grünraum, Holding Graz Services Wasserwirtschaft, Land Steiermark – Hydrografie, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) inkl. Austro Control Graz am Flughafen Graz und TU Graz – SWW) betrieben.

Die Organisationseinheiten verfügten bisher jeweils nur über die Messdaten ihrer eigenen Messstationen. Im Jahr 2014 wurden diese Messstationen zum kooperativen hydrologischen „Messnetz Graz“ zusammengeschlossen und seither stellen sich die Projektteilnehmer ihre Messdaten gegenseitig über ein zentrales Onlinesystem sehr zeitnah zur Verfügung.

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurden zunächst sämtliche Niederschlagsmessstationen des Messnetzes Graz aufgenommen und mittels Formblättern dokumentiert. Darin wurden die spezifischen Daten der einzelnen Stationen, deren exakte Koordinaten, sowie auch Bilder der Stationen dokumentiert und protokolliert. In Zusammenarbeit mit den Betreibern konnten im Zuge dessen auch noch fehlende Metadaten (z. B. Wartungsverantwortliche und deren Kontaktdaten) ergänzt werden. Abschließend wurden alle Metadaten dieser Stationen in einem GIS-System einheitlich erfasst und stehen damit wieder allen Kooperationspartnern zur Verfügung.

In einem nächsten Schritt wurden zwei unterschiedliche Ansätze für eine inhomogene Niederschlagsverteilung in einem bestehenden N/A-Modell umgesetzt und jeweils mit einem homogenen Referenz-Ansatz verglichen. Dabei wurden für die inhomogene

Niederschlagsverteilung das Thiessen-Polygon-Verfahren (TPV) und das Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV) verwendet. Das Thiessen-Polygon-Verfahren wird so beschrieben, dass jeder Messstation eine bestimmte Fläche zugeteilt wird. Dabei wird angenommen, dass die zugewiesene Fläche jeder Station einen konstanten, der jeweiligen Messung entsprechenden Niederschlag aufnimmt. Als zweites Verfahren wird das Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahren (EIDV) angewendet. Dabei handelt es sich um ein Interpolationsverfahren, welches mit Hilfe der Wichtung von den umliegenden Messstationen und deren Abständen vom Schwerpunkt der Einzugsgebietsfläche arbeitet. Die Berechnung der Wichtung erfolgte mit Hilfe eines Skripts, das den Abstand der Schwerpunkte des Einzugsgebietes zu jeder Messstation berechnet und ausgibt. Messstationen die außerhalb eines bestimmten Radius liegen und damit keinen Einfluss auf das Einzugsgebiet haben, werden ignoriert. Weiteres spielt auch noch der Winkel zwischen den Stationen eine Rolle. So werden abgeschattete Stationen ebenfalls ignoriert und anstatt dessen die Daten der näherliegenden Station verwendet. Die Wichtung der übrigen Stationen erfolgt abschließend anhand ihrer Abstände zum Schwerpunkt des Einzugsgebiets.

Für die abschließenden, vergleichenden Berechnungen wurden die beiden Verfahren in einem existierenden N-A-Simulationsmodell des Grazer Stadtgebiets implementiert. Dadurch wurde es in weiterer Folge auch möglich, die jeweiligen Überlaufvolumina an den MÜs entlang der Mur zu ermitteln. Als Vergleich diente dabei jeweils ein homogener Referenzansatz, wofür sämtliche Niederschlagsmessstationen die Niederschlagsdaten der zentralen Messstation „UNIV“ angenommen wurden.

Um die Auswirkungen von unterschiedlichen Niederschlagsansätzen auf die Entlastungsaktivitäten der MÜs der Stadt Graz abschätzen zu können, wurde zusätzlich auch noch ein Euler-Typ-II-Modellniederschlag erstellt, welcher modelltechnisch mit einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 10 km/h aus verschiedenen Himmelsrichtungen über Graz angenommen wurde. Dabei zeigte sich bei der N-S-Niederschlagshauptzugrichtung, dass das homogene Referenzverfahren als erstes Verfahren mit den Entlastungen startete. Demgegenüber starteten die Entlastungen bei der S-N-Niederschlagshauptzugrichtung gegenüber den inhomogenen Verfahren jeweils mit einer Verzögerung als letztes Verfahren. Für die Niederschlagshauptzugrichtungen O-W und W-O konnten diesbezüglich keine Korrelationen festgestellt werden.

Schließlich wurden für das Jahr 2015 insgesamt 6 verschiedene Niederschlagsereignisse ausgewählt und deren Auswirkungen auf die Überlaufvolumina an den MÜs der Stadt Graz zufolge unterschiedlicher Niederschlagsverteilungsansätze modelltechnisch abgeschätzt und miteinander verglichen. Für jedes ausgewählte und analysierte Niederschlagsereignis wurde der Gesamtniederschlag für das jeweilige Verfahren ermittelt und einzugsgebietsweise in GIS-Karten dargestellt.

Anhand der ausgewählten Niederschlagsereignisse konnten die unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätze miteinander verglichen werden. So konnte gezeigt

werden, dass anhand eines Niederschlagsereignisses vom 16.08.2015 durch die Verwendung des homogenen Niederschlagsverteilungsansatzes gegenüber den inhomogenen Ansätzen es zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmengen kommt, wohingegen das Niederschlagsereignis vom 07.10.2015 zu einer Überschätzung führt.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass inhomogene Niederschlagsverteilungsmethoden gegenüber homogenen Ansätzen zu einer realistischeren Annäherung der Gesamtniederschlagsmenge führen. Obwohl das TPV und das EIDV annähernd gleiche Ergebnisse lieferten, wird hier eine Empfehlung zugunsten des EIDV ausgesprochen, da sich dieses aufgrund seiner Implementierung als automatisiertes Skript wesentlich leichter an etwaige Messstationsausfälle oder Veränderungen im Messnetz adaptieren lässt und damit auch eine automatische Integration in diverse Modellierungsumgebungen möglich ist.

Kritisch angemerkt sei noch, dass die derzeitigen Vergleichsergebnisse hinsichtlich der Entlastungsvolumina in die Mur nur auf modelltechnischen Vergleichen beruhen, weshalb in absehbarer Zeit noch Messkampagnen geplant sind, in denen alle relevanten Mischwasserüberläufe (MÜs) der Stadt Graz entlang der Mur erfasst werden sollen, um das tatsächliche Überlaufverhalten der MÜs während Niederschlagsereignissen auch messtechnisch verifizieren zu können. Dies würde auch eine verbesserte Kalibrierung des verwendeten N-A-Modells ermöglichen. In Abhängigkeit davon können die aus den Messungen und Simulationen gewonnenen Daten bzw. Erkenntnisse zukünftig z. B. für Frühwarnsysteme herangezogen und auch als Entscheidungsgrundlage für eine Echtzeitsteuerung des Kanalsystems und der Abwasserreinigungsanlage verwendet werden.

---

## Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK (2004) Merkblatt ATV-DVWK-M 165 - Anforderungen an Niederschlags-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung, ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- Baumgartner, A. and Liebscher, H. (1996). Allgemeine Hydrologie, Berlin.
- Bronstert, P. A. (2004). Einführung in die Hydrologie. [online] <http://lanpar-tei.de/~anubis/Gecko/Faecher/Hydrologie/HydroScript.pdf> (Accessed September 14, 2016).
- Camhy D., Gruber G., Steffelbauer D., Hofer T. F., and Muschalla D. (2014). "OpenSDM - An Open Sensor Data Management Tool" in 11th International Conference on Hydroinformatics.
- Dillig, B. (2006). Inbetriebnahme, Justage und Kalibrierung einer Regenwippe. [online] <http://dk0te.dhbw-ravensburg.de/studienarbeit-regenmesser/regenwippe-test.pdf> (Accessed September 29, 2016).
- Dracos, T. (1980). Hydrologie, Eine Einführung für Ingenieure, Springer, Wien, New York.
- Fürst, J. (2012). "Gewässerkunde und Hydrometrie" in Gewässerkunde und Hydrometrie. Wien, Österreich, 236. [online] <https://iwhw.boku.ac.at/gkhydrometrie/gksb2012.pdf> (Accessed August 24, 2016).
- Gattermayer (2000). "Niederschlag: Übliche Meßmethoden- unübliche Auswertungsmethoden" Zitiert nach Thaler (2004)
- Golger, T. (2014). Untersuchung von Spüleinrichtungen zur Reinigung von Stauraumkanälen der Mischwasserbewirtschaftung.
- Hofer, T., Maier, R., Gamerith, V., and Gruber, G. (2015). Projekt iZSK - Gemeinsame Betrachtung der Emissionen aus dem System Zentraler Speicherkanal und Kläranlage Graz durch integrierte Modellierung (Endbericht)
- Heyer, E. (1977). Witterung und Klima, BSB B.G Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig.
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser> [online] [https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser#/media/File:Rain\\_Gauge\\_crop-DSC\\_0003w.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser#/media/File:Rain_Gauge_crop-DSC_0003w.jpg) (Accessed September 19, 2016).
- <http://www.mondorf-wetter.de> [online] [http://www.mondorf-wetter.de/wetter/n\\_arten.htm](http://www.mondorf-wetter.de/wetter/n_arten.htm) (Accessed August 24, 2016).
- <http://www.slideshare.net/> [online] <http://www.slideshare.net/yourmohsin/precipitation-and-its-estimation> (Accessed August 24, 2016).
- Illgen, M. (2009). Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung.

- Itwh (2008). KOSIM 7.2 - Modellbeschreibung, Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie, Hannover, Germany.
- Janssen, 1998/99 zitiert nach Thaler (2004). Messung, Auswertung und Erosivität von Niederschlägen, Graz.
- Kainz, H., Sprung, W., Maurer, G., Pirkner, W., Gamerith, V., and Gruber, G. (2011). "Speicherkanäle für die Mischwasserbewirtschaftung in Graz" in *Aqua Urbanica* 2011. Graz, Austria, 44.
- Koch, M. (2003). Hydrologie I. [online] [http://www.uni-kassel.de/fb14/geohydrolik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro4a.pdf](http://www.uni-kassel.de/fb14/geohydrolik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro4a.pdf) (Accessed August 24, 2016).
- Maier, R., Hofer, T., Kryeziu, S., Gruber, G., and Muschalla, D. (2016) "Messnetz Graz – Anwendung einer inhomogenen Überregnung unter Verwendung verschiedener geometrischer Interpolationsverfahren" in *Aqua Urbanica* 2016 - Miss es oder vergiss es! EAWAG, Rigi-Kaltbad, Schweiz, 70–73.
- Maniak, U. (1997). Hydrologie und Wasserwirtschaft, 4, Berlin - Heidelberg, Germany.
- Muschalla, D. (2009). Vorlesungsunterlagen "Modellierung in der Siedlungswasserwirtschaft," Download: [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU\\_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i2150/lehre/](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i2150/lehre/), 01.09.2009, Graz University of Technology.
- Paulsen, O. (1987). Kontinuierliche Simulation von Abflüssen und Stofffrachten in der Trennentwässerung, Universität Hannover, Hannover, Germany.
- Pleinert, F. (2014). Abschätzung von Spurenstoffeinträgen mittels Schmutzfrachtmodellierung an Mischwassereinleitungspunkten.
- R Core Team (2016). *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [online] <http://www.r-project.org/>.
- Sevruk, B. (1981). Methodische Untersuchungen des systematischen Messfehlers der Hellmann-Regenmesser im Sommerhalbjahr in der Schweiz, Zürich, Switzerland. [online] [http://people.ee.ethz.ch/~vawweb/vaw\\_mitteilungen/052/052\\_g.pdf](http://people.ee.ethz.ch/~vawweb/vaw_mitteilungen/052/052_g.pdf) (Accessed August 24, 2016).
- Shepard, D. (1968). "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data" in *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*. ACM, 517–524. [online] <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=810616> (Accessed June 17, 2015).
- Thaler, M. (2004). Fehler bei der Messung und Kalibrierung von Niederschlagswippen.
- Thiessen, A. H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 39(7), 1082–1089. [online] <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281911%2939%3C1082b%3E2.0.CO%3B2> (Accessed March 9, 2016).

Thomson Higher Education, 2008 zitiert nach Wallner (2008) Bild, Graz.

Vasvári, V. (2005). Calibration of tipping bucket rain gauges in the Graz urban research area. *Atmospheric Research*, 77(1–4), 18–28. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809505000840> (Accessed September 16, 2016).

Verworn, H. R. (1999). *Die Anwendung von Kanalnetzmodellen in der Stadthydrologie*, SuG-Verlagsgesellschaft, Hannover, Germany. Zitiert nach Pleinert (2014)

Wallner, A. (2008). *Räumlich hochaufgelöste Klimatologien von Starkregenereignissen in der Oststeiermark einschließlich der Fokusregion WegenerNet*, Graz, Österreich. [online] <http://wegcwww.uni-graz.at/publ/wegcreports/2008/WCV-WissBer-No24-AWallner-Okt2008.pdf> (Accessed August 24, 2016).

Wastl, C. (2008). *Klimatologische Analyse von orographisch beeinflussten Niederschlagsstrukturen im Alpenraum*. [online] [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/9545/1/Wastl\\_Clemens.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/9545/1/Wastl_Clemens.pdf) (Accessed August 24, 2016).

WMO (1992) *Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System*. [online] [http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Publications/WMO\\_485\\_Vol\\_I.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Publications/WMO_485_Vol_I.pdf) [Zugriff August 24, 2016] (Accessed August 24, 2016).

Weusthoff, T. (2005). *Beiträge zur Entwicklung eines stochastischen Niederschlagsmodells zur Simulation postfrontaler Schauer*. Zitiert nach Wallner (2008)

[www.dwd.de](http://www.dwd.de) [online] <http://www.wetterstationen.info/forum/fachwissen/dwd-anforderungen-an-standort-fur-eine-wetterstation/> (Accessed September 29, 2016).

[www.geomantie-graz.at](http://www.geomantie-graz.at) [online] <http://www.geomantie-graz.at/archiv/2015/> (Accessed September 19, 2016).

[www.gerd-pfeffer.de](http://www.gerd-pfeffer.de) [online] [http://www.gerd-pfeffer.de/risk\\_gewitter.html](http://www.gerd-pfeffer.de/risk_gewitter.html) (Accessed September 14, 2016).

[www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com) [online] [http://www.onsetcomp.com/files/manual\\_pdfs/18473-B%20RG3%20and%20RG3-M%20Manual%20German.pdf](http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/18473-B%20RG3%20and%20RG3-M%20Manual%20German.pdf) (Accessed September 29, 2016).

[www.slideplayer.org](http://www.slideplayer.org) [online] <http://slideplayer.org/slide/2951910> (Accessed August 24, 2016).

[www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) [online] <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/niederschlag/5498> (Accessed September 14, 2016).

[www.tk.de](http://www.tk.de) [online] <https://www.tk.de/tk/a-z-navigation/r/wie-entsteht-regen-10002366/536768> (Accessed August 24, 2016).

[www.water-for-africa.org](http://www.water-for-africa.org) [online] <https://www.water-for-africa.org/de/hydrologie/articles/wasserkreislauf.html> [Zugriff August 24, 2016] (Accessed August 24, 2016).



[www.wetter.andreae-gymnasium.de](http://wetter.andreae-gymnasium.de/station/regenmesser.htm) [online] <http://wetter.andreae-gymnasium.de/station/regenmesser.htm> (Accessed September 15, 2016).

[www.wetterstation-schlickelde.de](http://www.wetterstation-schlickelde.de/index.htm) [online] <http://www.wetterstation-schlickelde.de/index.htm> (Accessed August 24, 2016).

[www.wupperverband.de](https://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/C08B3CC2B5C0F034C12578C4004235EA/$file/2008_niederschlagsmessung.pdf) [online] [https://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/C08B3CC2B5C0F034C12578C4004235EA/\\$file/2008\\_niederschlagsmessung.pdf](https://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/C08B3CC2B5C0F034C12578C4004235EA/$file/2008_niederschlagsmessung.pdf) (Accessed August 24, 2016).

[www.zamg.ac.at](https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/satellitenbild-animation) [online] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/satellitenbild-animation> (Accessed September 19, 2016).

# Anhang

## Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>i</b>
Die 5 Kooperationspartner des Messnetz Graz und deren Niederschlagsmessstationen.....	iii
Anmerkungen zum verwendeten N-A-Modell KOSIM der Fa. Itwh: .....	vi
Duplikate im CAD.....	x
Nicht existente Flächen in KOSIM.....	xiv
Namensungleichheiten.....	xix
Durchgeführte Aktionen zur Fehlerkorrektur: .....	xix
Ergebnisse aus den Modellniederschlag.....	xxi
Hauptzugrichtung W-O .....	xxi
Hauptzugrichtung O-W .....	xxii
Weitere Ergebnisse aus tatsächlichen Niederschlagsereignissen .....	xxv
Ereignis 1: 2015-07-19, 20:00:00 - 2015-07-20 01:00:00.....	xxv
Ereignis 2: 2015-07-24, 00:30:00 - 2015-07-24 05:00:00.....	xxviii
Ereignis 4: 2015-09-02, 13:20:00 - 2015-09-02 17:40:00.....	xxxii
Ereignis 5: 2015-09-05, 08:30:00 - 2015-09-05 16:30:00.....	xxxvi

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle B 1:	Die Einzugsgebietsflächen der Stadt Graz .....	vi
Tabelle B 2:	Die Einzugsgebietsflächen und deren Schwerpunkte, welche mehr als eine Fläche im CAD zugordnet wurden.....	x
Tabelle B 3:	Einzugsgebietsflächen aus dem KOSIM, die im CAD-File nicht zu finden waren .....	xiv
Tabelle B 4:	Die Einzugsgebietsflächen, die im CAD nicht abgebildet waren, eingetragen.....	xv
Tabelle B 5:	Die Einzugsgebietsflächen EZ_B17 enthält die Einzugsgebiete aus der CAD-Datei.....	xvii
Tabelle B 6:	Die Einzugsgebietsflächen EZ_L20 enthält die Einzugsgebiete aus der CAD-Datei.....	xviii
Tabelle B 7:	Benennung im KOSIM sowie die alte Benennung aus der CAD-Datei .....	xix

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung B 1:	Die Einzugsgebiete: links (EZ_B17_10), rechts (EZ_B17_24)	xi
Abbildung B 2:	Das Einzugsgebiet EZ_B17_13	xii
Abbildung B 3:	Das Einzugsgebiet EZ_B20_01	xii
Abbildung B 4:	Die Einzugsgebiete: links (EZ_HS_L05_L04), rechts (EZ_HS_L07_L06)	xii
Abbildung B 5:	Die Einzugsgebiete: links (EZ_L04_02), rechts (EZ_L05_01)	xiii
Abbildung B 6:	Die Einzugsgebiete: links (EZ_L09_01), rechts (EZ_L17_02)	xiii
Abbildung B 7:	Die Einzugsgebiete: links (EZ_L10_03), rechts (EZ_L11_01)	xiv
Abbildung B 8:	Das Einzugsgebiet EZ_L19	xv
Abbildung B 9:	Die Einzugsgebiete EZ_P2 und EZ_P3	xvi
Abbildung B 10:	Das Einzugsgebiet EZ_L17	xvii
Abbildung B 11:	Das Einzugsgebiet EZ_L20	xviii
Abbildung B 12:	Die Einzugsgebiete EZ_HS_R13_B28 und EZ_B03_02	xx
Abbildung C 1:	Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II - Modellniederschlag (W-O Richtung)	xxi
Abbildung C 2:	Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (W-O Richtung)	xxii
Abbildung C 3:	Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II - Modellniederschlag (O-W Richtung)	xxiii
Abbildung C 4:	Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (O-W Richtung)	xxiv
Abbildung C 5:	Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 19.07.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)	xxv
Abbildung C 6:	Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 19.07.2015	xxvi
Abbildung C 7:	Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 19.07.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen	xxvii
Abbildung C 8:	Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 19.07.2015	xxviii
Abbildung C 9:	Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 24.07.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)	xxix
Abbildung C 10:	Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 24.07.2015	xxx

---

Abbildung C 11: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 24.07.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen .....	xxxix
Abbildung C 12: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 24.07.2015 .....	xxxii
Abbildung C 13: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 02.09.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts).....	xxxiii
Abbildung C 14: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 02.09.2015 .....	xxxiv
Abbildung C 15: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 02.09.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen .....	xxxv
Abbildung C 16: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 02.09.2015 .....	xxxvi
Abbildung C 17: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 05.09.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts).....	xxxvii
Abbildung C 18: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 05.09.2015 .....	xxxviii
Abbildung C 19: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015 .....	xxxix
Abbildung C 20: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen .....	xl
Abbildung C 21: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015.....	xli
Abbildung C 22: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015 .....	xlii
Abbildung C 23: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 05.09.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätzen.....	xliii

## Anhang A

### Die 5 Kooperationspartner des Messnetz Graz und deren Niederschlagsmessstationen

Die Organisationseinheiten des kooperativen, hydrologischen Messnetzes Graz sind:

- Stadt Graz – Abteilung Gewässer und Grünraum (GuG)
- Berufsfeuerwehr der Stadt Graz (BFG)
- Holding Graz Services GmbH - Abteilung Wasserwirtschaft (HGS)
- Land Steiermark – Abteilung A14 (Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit – Hydrografie Steiermark)
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) inkl. Austro Control Graz (ACG)
- TU Graz – Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau (TUG-SWW)

Weiteres besitzt auch das Land Steiermark – Abteilung A15 (Energie, Wohnbau, Technik) zwei Niederschlagsmessstationen, die dzt. nicht in das Messnetz Graz eingebunden sind und daher in dieser Masterarbeit für die Niederschlagsermittlung nicht berücksichtigt wurden:

**Station\_Graz\_Nord:** Gemessen werden Niederschlag, Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, SO<sub>2</sub>, NO<sub>X</sub>, PM<sub>10</sub> kontinuierlich, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> gravimetrisch, Staubdeposition. Nachdem das für die Niederschlagsmessung an dieser Messstation verwendete Wippensystem dzt. nicht online in das Messnetz Graz eingebunden ist, standen die Niederschlagsdaten dieser Messstation für die Bearbeitung der Masterarbeit nicht zur Verfügung.

**Station\_Judendorf\_Süd:** Gemessen werden Niederschlag, Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, SO<sub>2</sub>, NO<sub>X</sub>, PM<sub>10</sub> kontinuierlich. Nachdem das für die Niederschlagsmessung an dieser Messstation verwendete Wippensystem dzt. nicht online in das Messnetz Graz eingebunden ist, standen die Niederschlagsdaten dieser Messstation für die Bearbeitung der Masterarbeit nicht zur Verfügung.

**GuG** besitzt und betreibt dzt. 10 Messstationen, an denen zum Teil nicht nur der Niederschlag, sondern auch andere Parameter wie Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Wasserstände und Abflüsse gemessen werden.

**Graz\_Einödbach-Krottendorferstraße:** Da an dieser Messstation nur der Wasserstand gemessen wird, standen von dieser Messstation keine Niederschlagsdaten zur Verfügung.

**Graz\_Gösting\_Thalstraße:** Bei dieser Messstation wird nicht nur der Niederschlag erfasst, sondern auch der Wasserstand gemessen. Das verwendete Messgerät zur Niederschlagsmessung ist eine Niederschlagswaage (Pluvio Waage) mit einer installierten Begleitheizung, wodurch an dieser Messstation auch der Schnee miterfasst

werden kann. Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_Mur Keplerbrücke:** Da an dieser Messstation nur der Wasserstand gemessen wird, war sie für die Masterarbeit nicht relevant.

**Graz\_Petersbach\_Einlauf\_Überdeckungsstrecke:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_RHB Bründlbach\_Krottendorferstraße:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_RHB Einödbach\_Schererpark:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_RHB Gabriachbach:** Dadurch, dass diese Messstation nur den Wasserstand erfasst, spielte sie in dieser Arbeit keine Rolle.

**Graz\_RHB Mariatrosterbach\_Kurzeggerweg:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Weinitzen\_RHB Schöcklbach\_2:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Weinitzen\_Rinneggerstraße-Schöckelbach 1:** Dadurch, dass diese Messstation nur den Wasserstand erfasst, spielte sie in dieser Arbeit keine Rolle.

**HGS** besitzt und betreibt dzt. 7 Messstationen. Die Messstation „Graz\_Klusemannstraße\_AHS“ misst auch die Staubdeposition.

**Graz\_Annabach\_Lang:** Diese Messstation ist zwar aktiv, ihr verwendetes Wippen-system zur Messung des Niederschlags war allerdings zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Masterarbeit in das Messnetz Graz noch nicht online eingebunden, weshalb die Messdaten manuell ausgelesen werden mussten. Diese Messdaten wurden im Rahmen der Masterarbeit verwendet.

**Graz\_Keplergymnasium:** Diese Messstation ist mittlerweile außer Betrieb, weshalb sie für diese Masterarbeit keine Rolle spielte.

**Graz\_Klusemannstraße\_AHS:** War zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Masterarbeit zwar aktiv, wurde jedoch bei den Auswertungen nicht berücksichtigt, da sie nur etwa 200 m von der Messstation „Graz\_Strassgang“ der ZAMG entfernt liegt. Diese Messstation wurde im August 2016 aufgelassen und ihre Niederschlagswaage sollte zukünftig das Wippen-System an der Messstation „Graz\_Annabach\_Lang“ ersetzen.

**Graz\_Mariatrost\_VS\_St\_Johann** Diese aktive Messstation, welche in der Arbeit berücksichtigt wurde, trug früher einen anderen Namen.

**Graz\_Petrifelderstraße\_Prüfstelle:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_Prochaskagasse\_VS:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_Strassgang (Bad Strassgang):** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

Die **Hydrografie** des Landes Steiermark ist der Inhaber und Betreiber von den zwei folgenden Messstationen:

**Graz\_Andritz:** Diese Messstation ist zwar aktiv in das Messnetz Graz eingebunden, nachdem es hier jedoch während der Bearbeitung der Masterarbeit zu Problemen kam, mussten ihre Messdaten teilweise mit den Niederschlagsdaten der Prochaskagasse ersetzt bzw. mit dem Inverse-Distance-Verfahren angenähert werden.

**Graz\_Gries:** Nachdem an dieser Messstation der Niederschlag nur mittels eines Totalisators summarisch erfasst wird, konnten die manuell aufgezeichneten summarischen Tageswerte für die Bearbeitung der Masterarbeit nicht berücksichtigt werden.

Von der **ZAMG** werden aktuell zwei Messstationen betrieben bzw. hat die ZAMG auch auf die Niederschlagsmessstation der Austro Control Graz (ACG) am Flughafen Graz Thalerhof Zugriff:

**Graz\_Strassgang (ZAMG):** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

**Graz\_Universität:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.

Die **TU Graz** (SWW) besitzt zwei Niederschlagsmessstationen, von denen zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Masterarbeit allerdings nur noch eine aktiv war.

**Graz\_CSO\_R05:** Diese Messstation am Mischwasserüberlaufbauwerk R05 wurde im Jahr 2015 abgebaut, weshalb ihre Niederschlagsdaten bei der Bearbeitung der Masterarbeit nicht berücksichtigt wurden.

**Graz\_Stremayrgasse:** Diese Messstation war zum Zeitpunkt der Masterarbeit aktiv, weshalb ihre Niederschlagsdaten verwendet werden konnten.



## Anhang B

### Anmerkungen zum verwendeten N-A-Modell KOSIM der Fa. Itwh:

Die Stadt Graz wurde für die Modellierung in 184 Einzugsgebietsflächen unterteilt (siehe Tabelle B 1), welche von der Holding Graz als CAD-Datei zur Verfügung gestellt wurden.

Tabelle B 1: Die Einzugsgebietsflächen der Stadt Graz

Name der Einzugsgebiete	Name Kosim	X	Y
EZ_B03_01	1302	-70040,05810	218056,41910
EZ_B03_02	1301	-69613,52750	217416,65320
EZ_B04	1303	-70113,34390	217522,57790
EZ_B05	1304	-70249,10460	217865,30480
EZ_B07_01	1105	-65704,78650	217925,43710
EZ_B07_02	1104	-65815,42150	218309,26200
EZ_B07_03	1106	-65484,45310	217979,67370
EZ_B07_04	1107	-65432,83220	218396,21340
EZ_B08	2101	-67136,96340	215270,99580
EZ_B09	3001	-66444,42340	216124,38330
EZ_B10	3013	-66252,82240	216356,00890
EZ_B11	3111	-66151,71080	216799,37800
EZ_B12	3002	-66872,97960	216845,44800
EZ_B13_01	3112	-66571,31510	217072,06970
EZ_B13_02	1102	-66657,98380	217763,87910
EZ_B14	1103	-65783,18320	217801,02830
EZ_B15_01	1110	-65129,32830	217833,04000
EZ_B15_02	1109	-64735,71090	218262,05310
EZ_B15_03	1112	-63864,41480	218998,22190
EZ_B16	2902	-66098,90450	215142,73890
EZ_B17_01	2016	-66416,74920	215333,75800
EZ_B17_02	2017	-66810,25940	214808,96990
EZ_B17_03	2018	-67024,80010	214828,77550
EZ_B17_04	2019	-66992,21770	214902,89920
EZ_B17_05	2020	-66965,63860	214973,80780
EZ_B17_06	2021	-66910,74980	215207,72570
EZ_B17_07	A102	-67126,53280	215071,54930
EZ_B17_08	A101	-67170,08710	215035,28610
EZ_B17_09	2001	-67134,61150	214747,74640
EZ_B17_10_1	6023	-67436,95130	214464,29180
EZ_B17_10_2	2015	-67088,67350	214804,02020
EZ_B17_11	6203	-67164,41900	214586,58310
EZ_B17_13	6025	-67358,07530	214516,72410
EZ_B17_13	A103	-67830,08860	214654,40320
EZ_B17_14	6024	-67424,77720	214530,46920

EZ_B17_16	6022	-67518,03150	214533,82040
EZ_B17_17	6019	-67519,70530	214411,28550
EZ_B17_18	6020	-67594,33850	214453,35370
EZ_B17_19	6018	-67638,68610	214321,61300
EZ_B17_20	6017	-67677,50920	214439,70240
EZ_B17_21	6014	-67764,93640	214352,58030
EZ_B17_22	6013	-67836,71030	214366,11520
EZ_B17_23	6012	-67879,50690	214325,16780
EZ_B17_24_1	6011	-67947,73690	214378,97440
EZ_B17_24_2	6015	-67801,22160	214530,03670
EZ_B18	9202	-65593,33380	215537,59440
EZ_B19	2014	-66284,11670	215222,03070
EZ_B20_01_1	6008	-67890,41900	214278,62560
EZ_B20_01_2	6021	-67355,39080	214450,44870
EZ_B20_02	6202	-66433,46660	214448,18410
EZ_B20_03	2002	-67059,41490	214575,11330
EZ_B20_04	2003	-66892,37590	214562,77610
EZ_B20_05	2004	-66945,92430	214653,75800
EZ_B20_06	2006	-66779,30720	214602,06900
EZ_B20_07	2005	-66870,47010	214712,63840
EZ_B20_08	2007	-66714,86260	214677,86340
EZ_B20_09	2008	-66817,76590	214755,05550
EZ_B20_10	2011	-66755,18940	214759,30970
EZ_B20_11	2009	-66721,68580	214823,43110
EZ_B20_12	2010	-66680,75430	214763,80870
EZ_B20_13	2901	-65970,02360	214902,76500
EZ_B20_14	2012	-66622,25880	214925,37980
EZ_B21_01	2013	-66501,02690	214893,49130
EZ_B21_02	1101	-65873,57820	217270,54610
EZ_B22	1108	-64980,05960	218273,52060
EZ_B23	1111	-64601,64030	218364,54530
EZ_B25_01	7003	-65256,57450	209318,19250
EZ_B25_02	7001	-66287,76300	208995,71780
EZ_B26_01	9002	-65219,03170	215451,06120
EZ_B26_02	9101	-64677,16510	215710,60200
EZ_B27_01	9001	-63602,21000	215356,52470
EZ_B27_02	1001	-64275,49510	216151,20790
EZ_B28	4006	-69059,89660	216326,00360
EZ_B29	1021	-64984,75040	215963,68440
EZ_B30	1031	-65538,39380	216185,64440
EZ_B31	1002	-65330,51220	216738,77510
EZ_B32	1003	-64567,42000	217029,78760
EZ_B33_01	1307	-71909,43230	218115,12290
EZ_B33_02	1306	-70797,58340	218483,37950
EZ_B36_01	4012	-69527,93000	217077,31830

EZ_B36_02	1341	-69971,04730	217068,18060
EZ_B36_03	1305	-70759,81930	217556,25730
EZ_B42	1701	-67487,80400	209835,53840
EZ_B43	1716	-69802,41940	210136,00770
EZ_B48	1201	-69436,60700	217920,76290
EZ_HS_L01_01	7007	-66508,52030	209656,76870
EZ_HS_L01_Ende	7002	-66133,67750	209027,80450
EZ_HS_L02_L01	7005	-66327,33180	209528,92150
EZ_HS_L03_L02	7009	-66542,69620	210036,55140
EZ_HS_L04_L03	7012	-66714,68020	210368,51610
EZ_HS_L05_L04_1	7014	-66877,98100	210683,57310
EZ_HS_L05_L04_2	7017	-67032,61520	210970,32550
EZ_HS_L06_L05	7019	-67388,57440	211462,31090
EZ_HS_L07_L06_1	7022	-67490,87820	212029,96540
EZ_HS_L07_L06_2	7023	-67385,07860	212351,66370
EZ_HS_L08_L07	6002	-67633,59860	212709,41370
EZ_HS_L09_L08	6003	-67903,83730	213200,74590
EZ_HS_R13_B28	4007	-68894,95380	216492,12740
EZ_L01_01	7006	-65238,29650	209957,30490
EZ_L01_02	7004	-66437,86080	209370,88560
EZ_L01_02	7008	-66637,30360	209921,38760
EZ_L02_02	7010	-65793,30050	210054,42970
EZ_L03_01	7801	-65268,66850	211764,80050
EZ_L03_02	7011	-66809,52510	210332,13110
EZ_L03_03	8901	-64076,74770	213915,34410
EZ_L04_01	7024	-66361,85390	211003,67500
EZ_L04_02_1	7013	-66499,70020	210519,38120
EZ_L04_02_2	7015	-66980,13820	210785,75270
EZ_L04_02_3	7016	-66849,85720	210850,69180
EZ_L05_01	7018	-66602,05280	211391,59620
EZ_L05_02	7020	-67222,13420	211835,88220
EZ_L06_01	7601	-66137,24510	213092,69810
EZ_L06_02	7021	-67441,97370	212047,47110
EZ_L07	6001	-67123,27830	212730,09890
EZ_L08	6201	-66730,55330	213558,07820
EZ_L09_01_1	9201	-65158,06390	214757,23120
EZ_L09_01_2	6026	-67171,57660	213981,87630
EZ_L09_02	6005	-67702,18300	213920,53860
EZ_L09_03	6004	-67994,28110	213678,38180
EZ_L10_01	6006	-67600,64510	214219,40880
EZ_L10_02	6010	-67992,58520	214423,47050
EZ_L10_03_1	6007	-68105,26020	214218,72460
EZ_L10_03_2	6009	-68120,43210	214381,34610
EZ_L11_01_1	6016	-67792,80060	214460,58010
EZ_L11_01_2	1002	-67522,39680	215105,17830

EZ_L11_02	3201	-66649,14390	215731,65270
EZ_L11_03	1001	-68087,76960	214871,85100
EZ_L11_04	A105	-67838,39770	214818,56130
EZ_L11_05	A104	-68007,47560	214732,67660
EZ_L11_06	A106	-67949,91950	214953,69950
EZ_L11_07	A107	-67993,77250	215010,55870
EZ_L11_08	A108	-67902,13370	215348,92000
EZ_L13_01	A109	-68030,65480	215255,23140
EZ_L13_02	A110	-68126,38360	215411,69810
EZ_L14	A111	-68141,99750	215601,26960
EZ_L15_01	3101	-67175,65780	216124,64100
EZ_L15_02	3003	-68143,71840	216000,34770
EZ_L16_01	3005	-67718,62290	216494,75440
EZ_L16_02	3004	-68514,97720	216482,66630
EZ_L16_03	3006	-68825,04210	216812,70720
EZ_L16_04	3007	-68187,29410	216849,71330
EZ_L16_05	3008	-67482,10890	217517,63810
EZ_L16_06	3009	-68580,19370	216853,56440
EZ_L17_01	3010	-68465,00220	217075,71390
EZ_L17_02_1	3011	-68897,96460	217215,70130
EZ_L17_02_2	1232	-69153,54030	217638,95880
EZ_L17_03	3012	-68690,11030	217420,95500
EZ_L18_01	1203	-69199,43130	218708,79860
EZ_L18_02	1204	-68857,53330	220172,98030
EZ_L18_03	1231	-68387,41590	218245,95960
EZ_L18_04	1202	-69471,09790	218214,63110
EZ_R01_01	1702	-67483,16440	210824,21470
EZ_R01_02	1704	-68001,72760	211121,43980
EZ_R01_03	1703	-67643,53060	211307,42500
EZ_R02_01	1617	-69413,00770	211490,03560
EZ_R02_02	5171	-67845,44250	212088,84930
EZ_R03_01	1516	-70427,05460	212496,03070
EZ_R03_02	5001	-68062,69210	212904,28570
EZ_R03_03	5002	-68718,79970	212740,46850
EZ_R04_01	5003	-68817,57470	213090,98680
EZ_R04_02	5004	-68271,08680	213349,33910
EZ_R05_01	1514	-70309,64950	213824,35530
EZ_R05_02	5005	-68208,47110	213616,27930
EZ_R06_01	5007	-68460,84530	213875,15230
EZ_R06_02	1415	-72428,82390	213601,00860
EZ_R06_03	5006	-68249,89800	214095,27290
EZ_R06_04	5008	-68503,36650	214101,26570
EZ_R06_05	5009	-68464,06550	214360,64470
EZ_R06_06	5010	-68296,99570	214443,44090
EZ_R07_01	5011	-68803,37810	214502,58370

EZ_R07_02	5012	-68199,70510	214702,10080
EZ_R08	1454	-70549,32430	215126,40230
EZ_R09_01	5401	-69374,48590	215185,18640
EZ_R09_02	5141	-68254,22170	215102,33180
EZ_R10_01	4001	-69068,93970	215645,14850
EZ_R10_02	4002	-68376,86260	215633,00690
EZ_R11_01	4004	-68767,79610	215960,01420
EZ_R11_02	4003	-68500,45120	216014,72700
EZ_R12	4005	-68738,11790	216172,84070
EZ_R13_01	4008	-68965,22080	216649,84210
EZ_R13_02	4141	-69951,40360	216300,23140
EZ_R13_03	4009	-69036,94640	216666,33640
EZ_R14_01	4011	-69354,25980	216750,16890
EZ_R14_02	4010	-69282,79150	217135,59620

## Duplikate im CAD

Im vorhandenen KOSIM-Modell der Holding Graz Services Wasserwirtschaft konnten einige Fehler gefunden werden, die ihre Ursache in der bereits fehlerhaften CAD-Datei hatten. Die Einzugsgebietsflächen wurden im CAD nicht ausschließlich als einziges Einzugsgebiet grafisch dargestellt. D. h., es wurden dieselben Bezeichnungen für z. B. zwei unterschiedliche Einzugsgebiete verwendet.

Die Einzugsgebietsflächen, bei denen dieses Problem auftrat, sind nachfolgend in Tabelle B 2 angeführt.

Zur Lösung des Problems wurden die Einzugsgebiete, wo möglich, miteinander verbunden, um eine Fläche daraus zu erstellen oder umbenannt.

Tabelle B 2: Die Einzugsgebietsflächen und deren Schwerpunkte, welche mehr als eine Fläche im CAD zugordnet wurden

Einzugsgebiet	Niederschlags-schreiber EIDV	Niederschlags-schreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_B03	1310	ANDR	-70040,0581	218056,4191
EZ_B03_01	1302		-70040,05810	218056,41910
EZ_B03_02	1301		-69613,52750	217416,65320

EZ_L05_L04	7014	PETR	-66982.6127	210877.6014
EZ_HS_L05_L04_1	7014		-66877,98100	210683,57310
EZ_HS_L05_L04_2	7017		-67032,61520	210970,32550

EZ_L07_L06	7022	PETR	-67409.614	212277.0605
EZ_HS_L07_L06_1	7022		-67490,87820	212029,96540
EZ_HS_L07_L06_2	7023		-67385,07860	212351,66370

EZ_L04_02	7013	PETR	-66572.4093	210576.3492
-----------	------	------	-------------	-------------

EZ_L04_02_1	7013		-66499,70020	210519,38120
EZ_L04_02_2	7015		-66980,13820	210785,75270
EZ_L04_02_3	7016		-66849,85720	210850,69180

EZ_L09_01	9201	ANNA	-65871.9941	214482,3140
EZ_L09_01_1	9201		-65158,06390	214757,23120
EZ_L09_01_2	6026		-67171,57660	213981,87630

EZ_L10_03	6007	STRE	-68114.9375	214322.4517
EZ_L10_03_1	6007		-68105,26020	214218,72460
EZ_L10_03_2	6009		-68120,43210	214381,34610

EZ_L11_01	6016	UNIV	-67529.2708	215088.7919
EZ_L11_01_1	6016		-67792,80060	214460,58010
EZ_L11_01_2	1002		-67522,39680	215105,17830

EZ_L17_02	1232	PROC	-68963.7076	217324.5779
EZ_L17_02_1	3011		-68897,96460	217215,70130
EZ_L17_02_2	1232		-69153,54030	217638,95880

Die Einzugsgebietsflächen, bei denen dieses Problem auftrat, sind nachfolgend grafisch dargestellt.

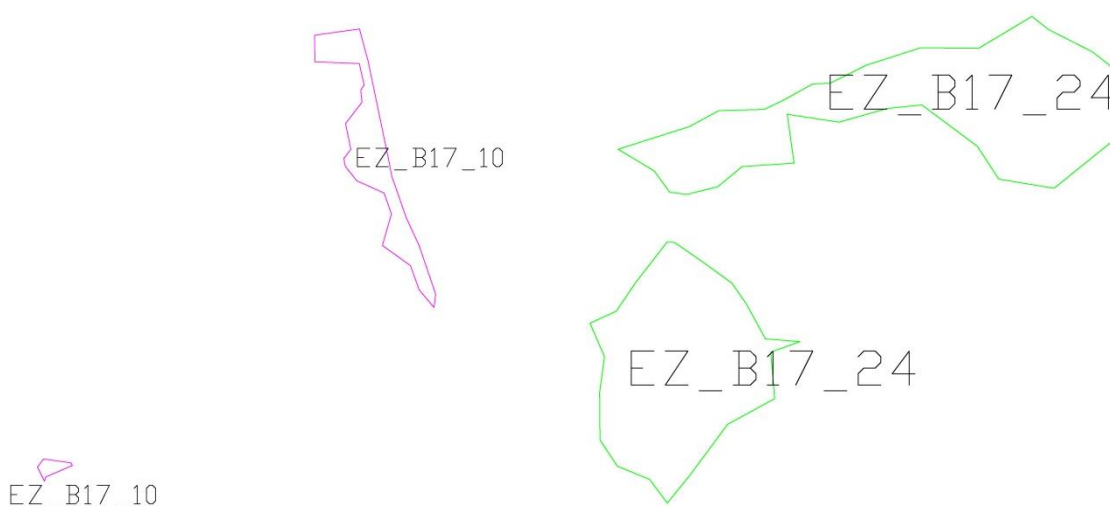


Abbildung B 1: Die Einzugsgebiete: links (EZ\_B17\_10), rechts (EZ\_B17\_24)

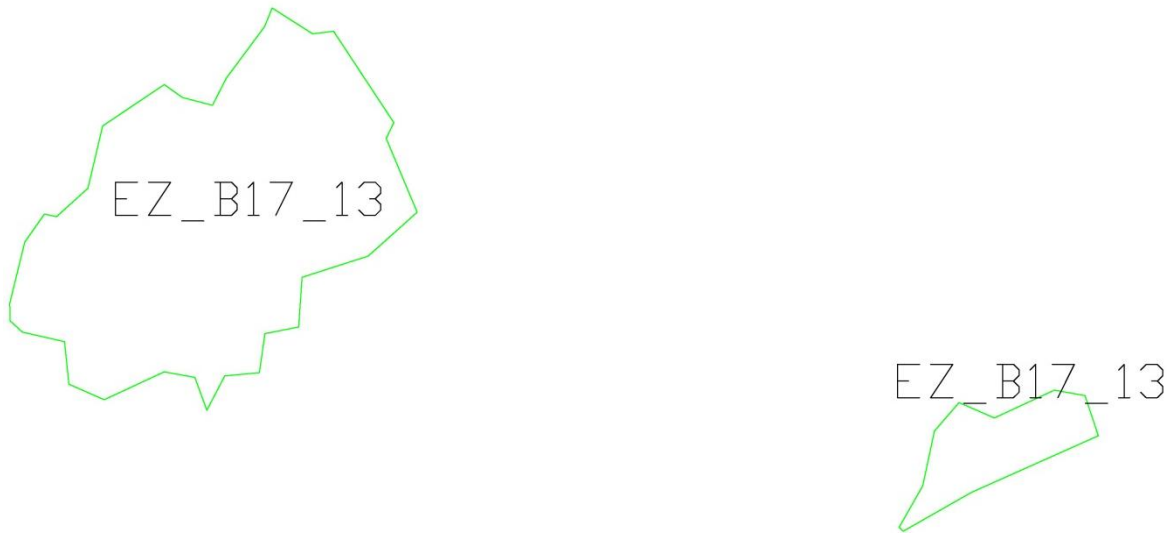


Abbildung B 2: Das Einzugsgebiet EZ\_B17\_13

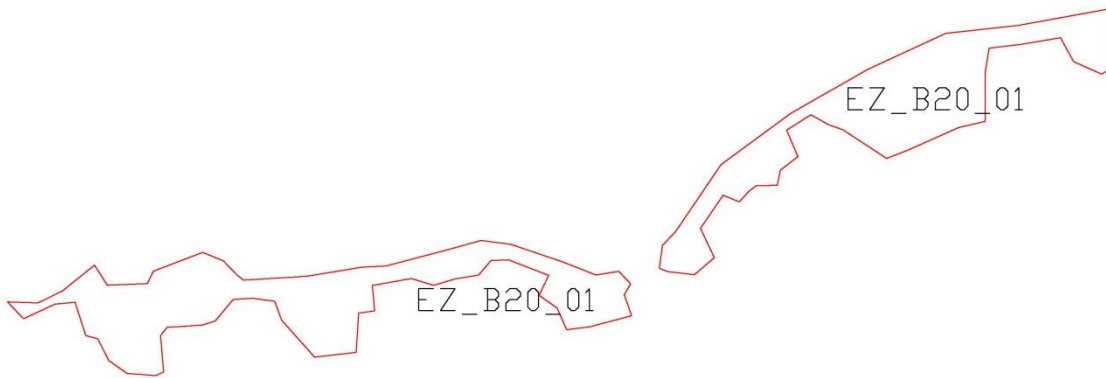


Abbildung B 3: Das Einzugsgebiet EZ\_B20\_01

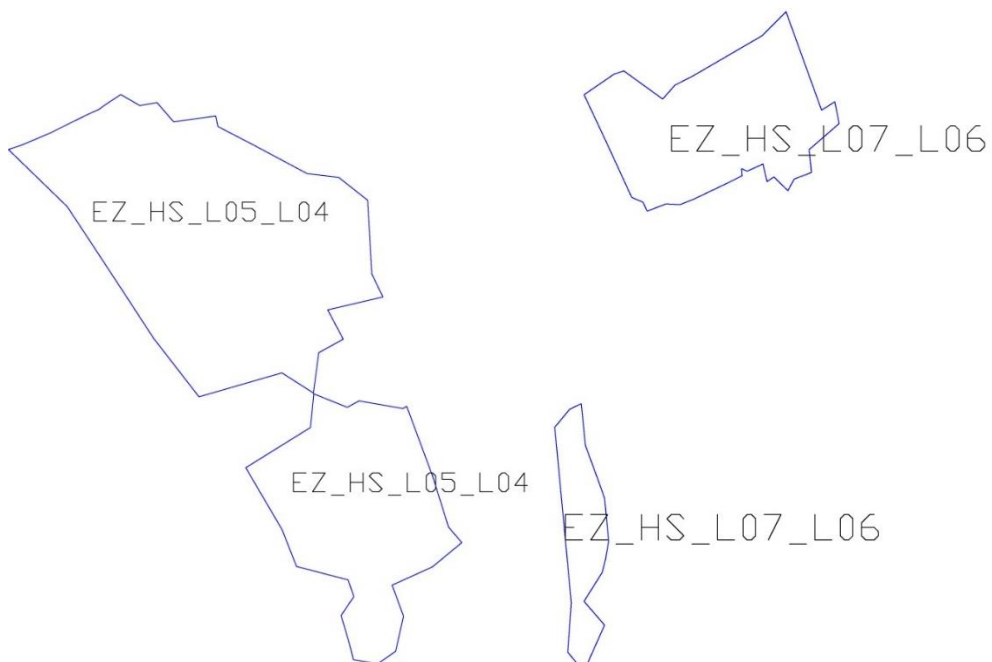


Abbildung B 4: Die Einzugsgebiete: links (EZ\_HS\_L05\_L04), rechts (EZ\_HS\_L07\_L06)

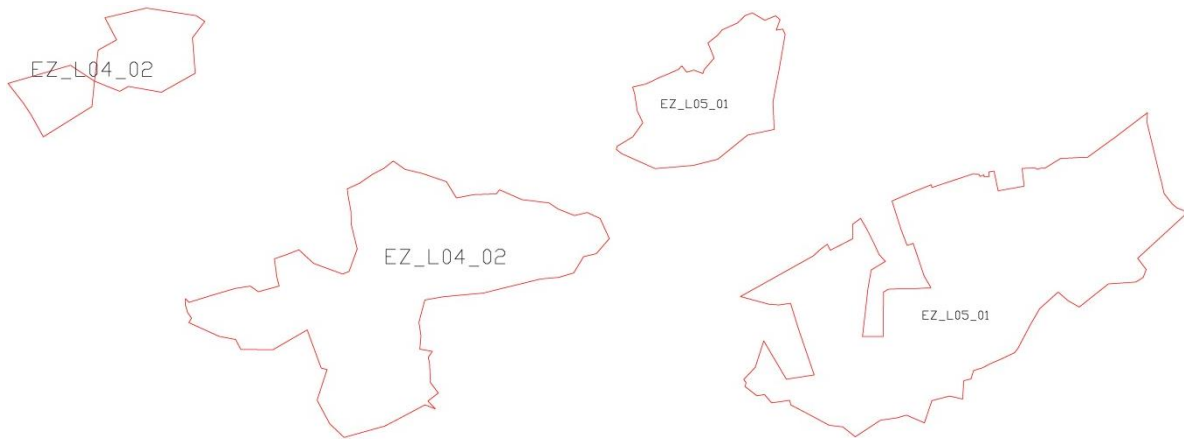


Abbildung B 5: Die Einzugsgebiete: links (EZ\_L04\_02), rechts(EZ\_L05\_01)



Abbildung B 6: Die Einzugsgebiete: links (EZ\_L09\_01), rechts (EZ\_L17\_02)





Abbildung B 7: Die Einzugsgebiete: links (EZ\_L10\_03), rechts (EZ\_L11\_01)

### Nicht existente Flächen in KOSIM

Die Einzugsgebietsflächen, die in der Tabelle B 3 dargestellt sind, waren zwar im KOSIM-Modell vorhanden, konnten allerdings in der CAD-Datei nicht gefunden werden.

Tabelle B 3: Einzugsgebietsflächen aus dem KOSIM, die im CAD-File nicht zu finden waren

Einzugsgebiet	Niederschlagsschreiber EIDV	Niederschlagsschreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_B03	1310	ANDR	-70040,0581	218056,4191
EZ_B17	2610	UNIV	-66806,2821	215082,5953
EZ_B20	2910	STRE	-66323,9928	214684,1330
EZ_L01_ende	7002	FLUG	-66133.6775	209027.8045
EZ_L02_L01	7005	PETR	-66327.3318	209528.9215
EZ_L03_L02	7009	PETR	-66542.6962	210036.5514
EZ_L04_L03	7012	PETR	-66714.6802	210368.5161
EZ_L05_L04	7014	PETR	-66982.6127	210877.6014
EZ_L06_L05	7019	PETR	-67388.5744	211462.3109
EZ_L07_L06	7022	PETR	-67409.614	212277.0605
EZ_L08_L07	6002	PETR	-67633.5986	212709.4137
EZ_L09_L08	6003	STRE	-67903.8373	213200.7459
EZ_L04_02	7013	PETR	-66572.4093	210576.3492
EZ_L09_01	9201	ANNA	-65871.9941	214482,3140
EZ_L10_03	6007	STRE	-68114.9375	214322.4517
EZ_L11_01	6016	UNIV	-67529.2708	215088.7919

EZ_L17_02	1232	PROC	-68963.7076	217324.5779
EZ_L19	7030	PETR	-66794.2903	211750,1010
EZ_P2	1308	ANDR	-70552,9463	218728,5507
EZ_P3	1309	ANDR	-70433,8652	218484,6185

In der Tabelle B 4 sind die Einzugsgebietsflächen, die im CAD nicht abgebildet waren, eingetragen.

Tabelle B 4: Die Einzugsgebietsflächen, die im CAD nicht abgebildet waren, eingetragen

Einzugsgebiet	Niederschlagsschreiber EIDV	Niederschlagsschreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_L19	7030	PETR	-66794.2903	211750.101
EZ_P2	1308	ANDR	-70552,9463	218728,5507
EZ_P3	1309	ANDR	-70433,8652	218484,6185
EZ_B17	2610	UNIV	-66806,2821	215082,5953
EZ_B20	2910	STRE	-66323,9928	214684,1330

Das Einzugsgebiet EZ\_L19 ist die freie Fläche östlich des Einzugsgebietes EZ\_HS\_L06\_L05.

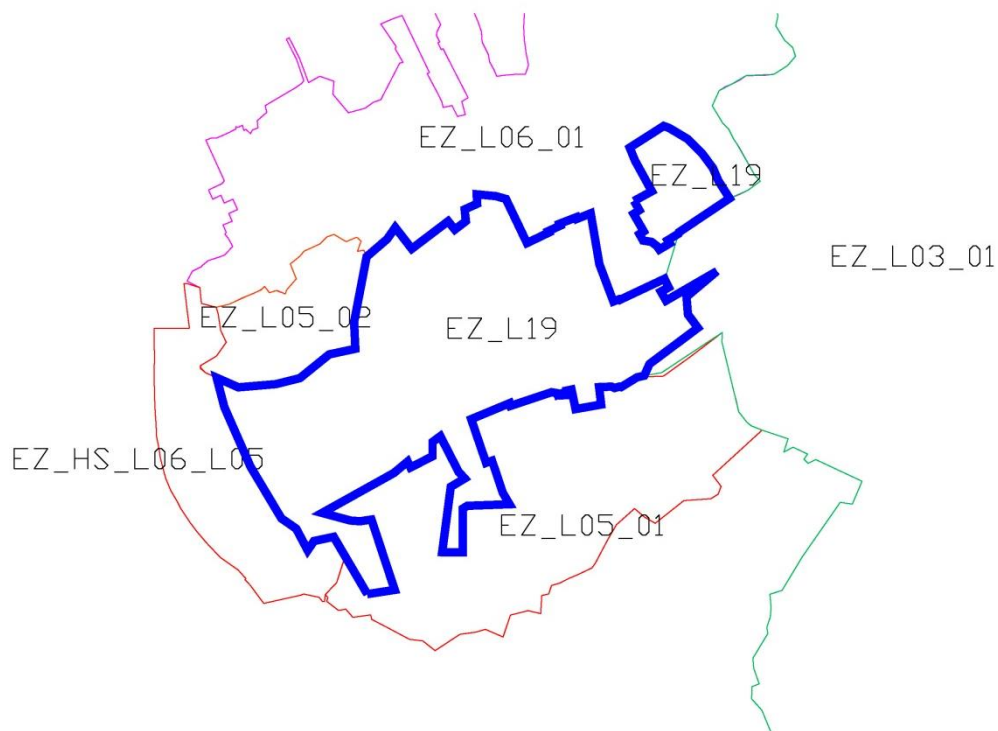


Abbildung B 8: Das Einzugsgebiet EZ\_L19

Die Einzugsgebiete EZ\_P2 und EZ\_P3 sind in der Abbildung B 9 dargestellt.

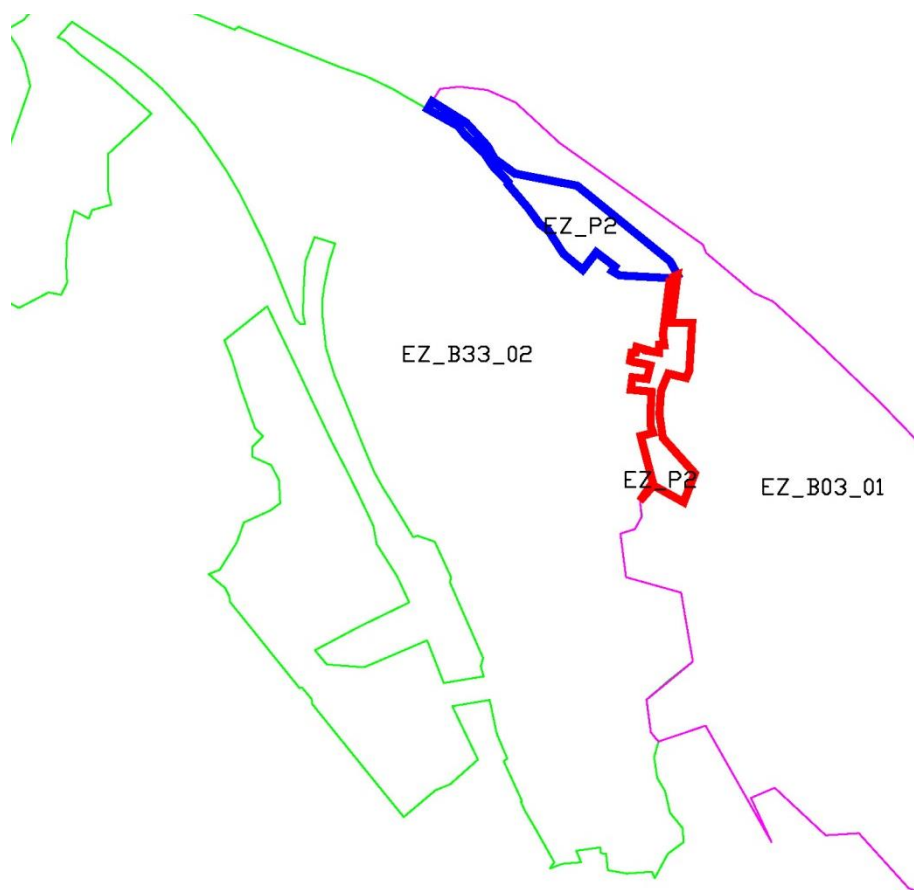


Abbildung B 9: Die Einzugsgebiete EZ\_P2 und EZ\_P3

Das Einzugsgebiet EZ\_L17 wie in der Abbildung B 10 dargestellt, ist zusammengefasst aus allen Einzugsgebiete EZ\_B17.....

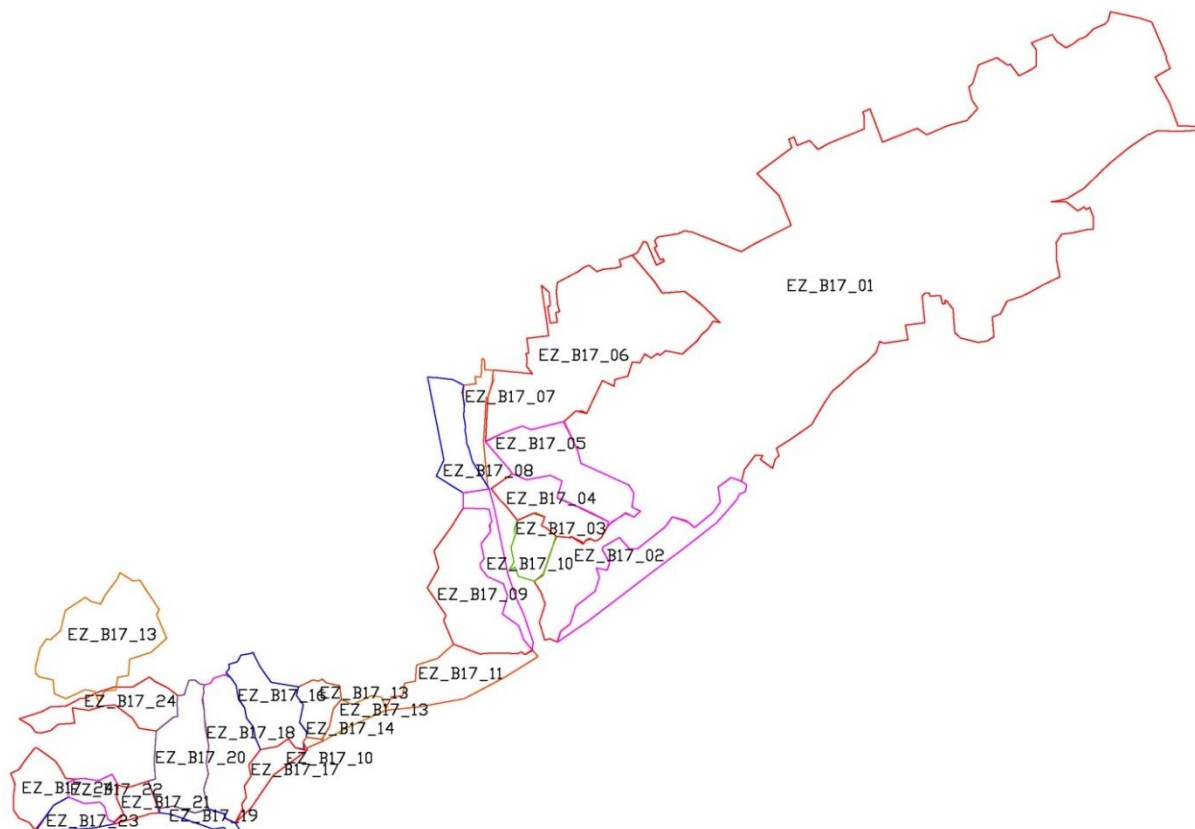


Abbildung B 10: Das Einzugsgebiet EZ\_L17

Tabelle B 5: Die Einzugsgebietsflächen EZ\_B17 enthält die Einzugsgebiete aus der CAD-Datei

Einzugsgebiet	Niederschlagsschreiber EIDV	Niederschlagsschreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_B17	2610	UNIV	-66806,2821	215082,5953
EZ_B17_01	2016		-66416,74920	215333,75800
EZ_B17_02	2017		-66810,25940	214808,96990
EZ_B17_03	2018		-67024,80010	214828,77550
EZ_B17_04	2019		-66992,21770	214902,89920
EZ_B17_05	2020		-66965,63860	214973,80780
EZ_B17_06	2021		-66910,74980	215207,72570
EZ_B17_07	A102		-67126,53280	215071,54930
EZ_B17_08	A101		-67170,08710	215035,28610
EZ_B17_09	2001		-67134,61150	214747,74640
EZ_B17_10_1	6023		-67436,95130	214464,29180
EZ_B17_10_2	2015		-67088,67350	214804,02020
EZ_B17_11	6203		-67164,41900	214586,58310
EZ_B17_13_1	6025		-67358,07530	214516,72410
EZ_B17_13_2	A103		-67830,08860	214654,40320
EZ_B17_14	6024		-67424,77720	214530,46920
EZ_B17_16	6022		-67518,03150	214533,82040
EZ_B17_17	6019		-67519,70530	214411,28550
EZ_B17_18	6020		-67594,33850	214453,35370

EZ_B17_19	6018		-67638,68610	214321,61300
EZ_B17_20	6017		-67677,50920	214439,70240
EZ_B17_21	6014		-67764,93640	214352,58030
EZ_B17_22	6013		-67836,71030	214366,11520
EZ_B17_23	6012		-67879,50690	214325,16780
EZ_B17_24_1	6011		-67947,73690	214378,97440
EZ_B17_24_2	6015		-67801,22160	214530,03670

In der Abbildung B 11 ist das Einzugsgebiet EZ\_L20 dargestellt, welches aus allen Einzugsgebiete EZ\_B20 zusammengefasst ist

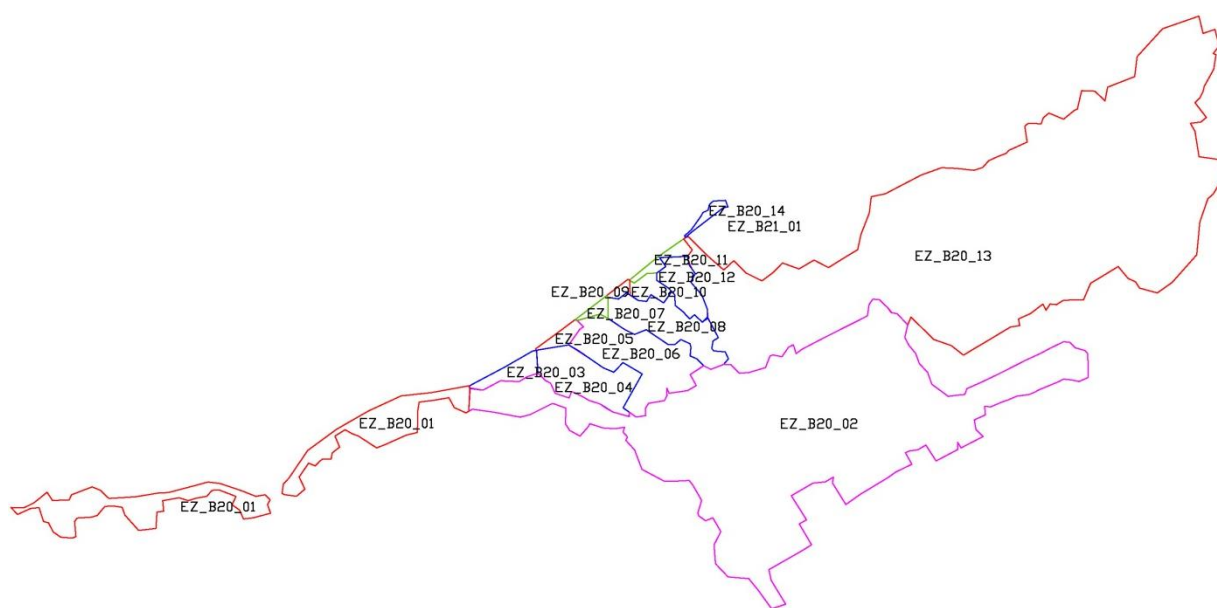


Abbildung B 11: Das Einzugsgebiet EZ\_L20

Tabelle B 6: Die Einzugsgebietsflächen EZ\_L20 enthält die Einzugsgebiete aus der CAD-Datei

EZ_B20	2910	STRE	-66323,9928	214684,1330
EZ_B20_01_1	6008		-67890,41900	214278,62560
EZ_B20_01_2	6021		-67355,39080	214450,44870
EZ_B20_02	6202		-66433,46660	214448,18410
EZ_B20_03	2002		-67059,41490	214575,11330
EZ_B20_04	2003		-66892,37590	214562,77610
EZ_B20_05	2004		-66945,92430	214653,75800
EZ_B20_06	2006		-66779,30720	214602,06900
EZ_B20_07	2005		-66870,47010	214712,63840
EZ_B20_08	2007		-66714,86260	214677,86340
EZ_B20_09	2008		-66817,76590	214755,05550
EZ_B20_10	2011		-66755,18940	214759,30970
EZ_B20_11	2009		-66721,68580	214823,43110
EZ_B20_12	2010		-66680,75430	214763,80870
EZ_B20_13	2901		-65970,02360	214902,76500

EZ_B20_14	2012		-66622,25880	214925,37980
-----------	------	--	--------------	--------------

## Namensungleichheiten

Es gibt Einzugsgebietsflächen im KOSIM-Modell, welche im CAD anders benannt waren.

Die Benennung im KOSIM-Modell ist in den Tabelle B 7 stets an erster Stelle eingetragen, während alle Bezeichnungen aus dem CAD einen grünen Hintergrund aufweisen.

Tabelle B 7: Benennung im KOSIM sowie die alte Benennung aus der CAD-Datei

Einzugsgebiet	Niederschlags-schreibe EIDV	Niederschlagsschreiber TPV	Schwerpunkt X	Schwerpunkt Y
EZ_L01_ende	7002	FLUG	-66133.6775	209027.8045
EZ_HS_L01_Ende	7002		-66133,67750	209027,80450
EZ_L02_L01	7005	PETR	-66327.3318	209528.9215
EZ_HS_L02_L01	7005		-66327,33180	209528,92150
EZ_L03_L02	7009	PETR	-66542.6962	210036.5514
EZ_HS_L03_L02	7009		-66542,69620	210036,55140
EZ_L04_L03	7012	PETR	-66714.6802	210368.5161
EZ_HS_L04_L03	7012		-66714,68020	210368,51610
EZ_L05_L04	7014	PETR	-66982.6127	210877.6014
EZ_HS_L05_L04_1	7014		-66877,98100	210683,57310
EZ_HS_L05_L04_2	7017		-67032,61520	210970,32550
EZ_L06_L05	7019	PETR	-67388.5744	211462.3109
EZ_HS_L06_L05	7019		-67388,57440	211462,31090
EZ_L07_L06	7022	PETR	-67409.614	212277.0605
EZ_HS_L07_L06_1	7022		-67490,87820	212029,96540
EZ_HS_L07_L06_2	7023		-67385,07860	212351,66370
EZ_L08_L07	6002	PETR	-67633.5986	212709.4137
EZ_HS_L08_L07	6002		-67633,59860	212709,41370
EZ_L09_L08	6003	STRE	-67903.8373	213200.7459
EZ_HS_L09_L08	6003		-67903,83730	213200,74590

## Durchgeführte Aktionen zur Fehlerkorrektur:

Das Einzugsgebiet EZ\_B43 wurde am Bauwerk B45 aufgeteilt in EZ\_B43, EZ\_B43\_f und B45.

Das Einzugsgebiet EZ\_R02\_01 wurde am Bauwerk B35 aufgeteilt in EZ\_R02\_03 und EZ\_R02\_01.

Das Einzugsgebiet EZ\_R08 wurde aufgeteilt in EZ\_R08 und EZ\_R08\_2.

Das Einzugsgebiet EZ\_R10\_01 wurde am Bauwerk B53 aufgeteilt in EZ\_R10\_03 und EZ\_R10\_01.

Die Entlastung B01 wurde aufgelassen.

Das Einzugsgebiet EZ\_L09\_01 wurde am Bauwerk B01 aufgeteilt in EZ\_B01 und EZ\_L09\_01.

Für die Einzugsgebietsflächen, die mit der Benennung EZ\_.....\_f endeten und für die Einzugsgebietsfläche ein „Außengebiet“ wurden wurde eine Messstation zugewiesen, deren Wert Null beträgt.

Die Einzugsgebiete, welche nicht berücksichtigt wurden, sind in der Abbildung B 12 dargestellt.

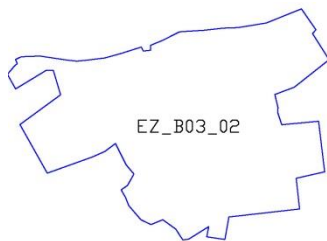


Abbildung B 12: Die Einzugsgebiete EZ\_HS\_R13\_B28 und EZ\_B03\_02

## Anhang C

### Ergebnisse aus den Modellniederschlag

#### Hauptzugrichtung W-O

In Abbildung C 1 sind die Berechnungsergebnisse in W-O-Richtung wiedergegeben. Trotz des Richtungswechsels auf W-O finden die größten Entlastungen in der Mur wiederum beim MÜ B25 und R04.1 statt. Ähnlich wie bei den anderen Richtungen (N-S und S-N) fanden auch hierbei bei neun MÜs keine Entlastungen statt.



Abbildung C 1: Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II -Modellniederschlag (W-O Richtung)

Die Abbildung C 2 zeigt deutlich, dass in den MÜ-Bauwerken B25 bis L13 die Entlastungen bei allen drei Verfahren gleichzeitig beginnen. Zusätzlich liegen die Höchstwerte der drei Methoden mit Ausnahme des Bauwerks L08.2, in welchem das TPV einen höheren Wert als die restlichen aufwies, auf dem gleichen Niveau. Ab dem R01 bis zum R05 beginnen die Entlastungen beim homogenen Referenzverfahren im Vergleich zu dem EIDV und dem TPV immer zuletzt.



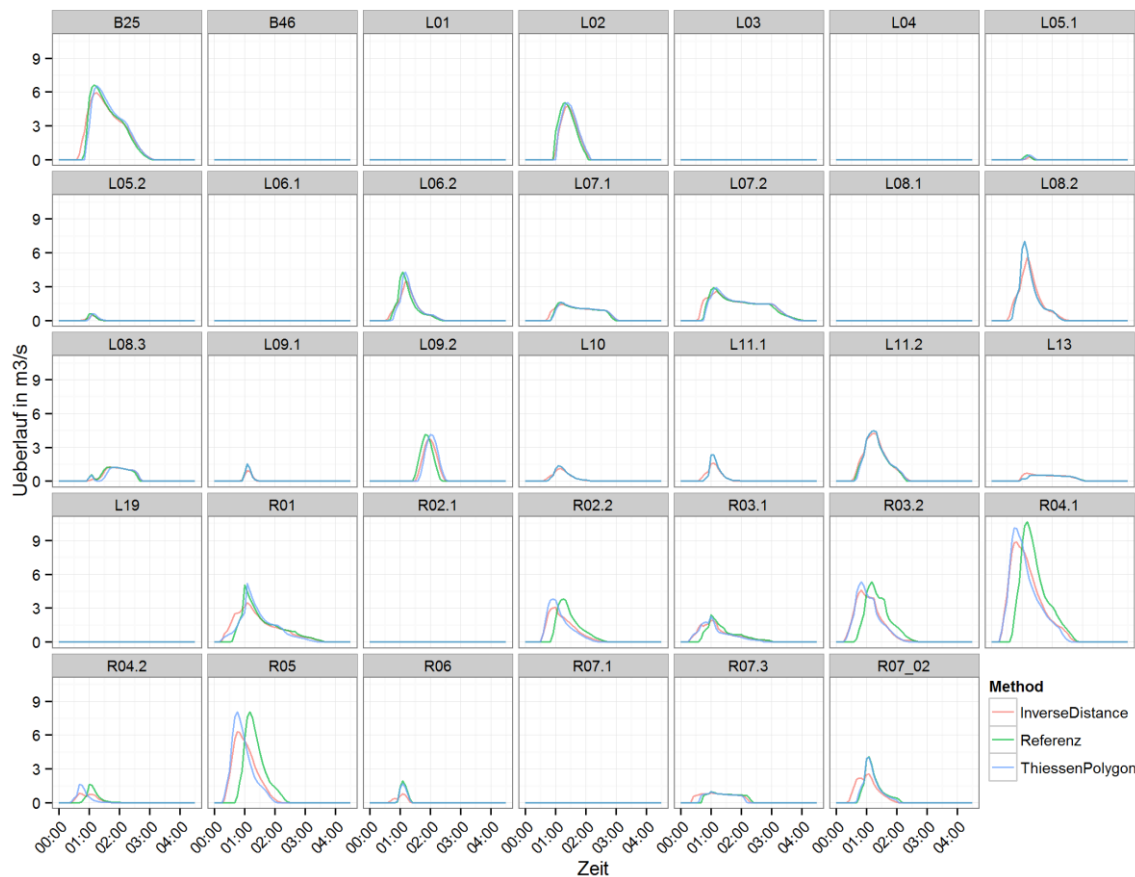


Abbildung C 2: Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (W-O Richtung)

### Hauptzugrichtung O-W

In Abbildung C 3 sind die Berechnungsergebnisse in O-W-Richtung dargestellt. Nachdem das Euler-Typ-II-Niederschlagsmodell in alle Haupthimmelsrichtungen angewendet wurde, kann man abschließend feststellen, dass in neun MÜs (B46, L01, L03, L04, L05.1, L05.2, L06.1, L08.1, L19, R02.1 und R07.1) gar kein Volumenübertritt ermittelt werden konnte. Bei den MÜs L05.1, L05.2, L09.1, L10, L11.1, L13, R04.2 und R06 trat nur eine geringe Wassermenge über, welche für die Wasserverschmutzung bei diesen Ereignissen als eher irrelevant betrachtet werden kann. Die höchsten Werte des Überlaufvolumens traten modelltechnisch stets in den MÜs B25 und R04.1 auf.



Abbildung C 3: Abflussvolumendiagramm, Euler-Typ -II -Modellniederschlag (O-W Richtung)

In den Überlaufkurven der Abbildung C 4 kann kaum ein Zusammenhang zwischen der Niederschlagsrichtung und den MÜs hergestellt werden.

Während bei der N-S-Niederschlagshauptzugrichtung das homogene Referenzverfahren als erstes Verfahren mit den Entlastungen begann, starteten sie bei der S-N-Niederschlagshauptzugrichtung gegenüber den inhomogenen Verfahren jeweils mit einer Verzögerung als letztes Verfahren. Für die Niederschlagshauptzugrichtungen O-W und W-O konnten diesbezüglich keine Korrelationen festgestellt werden.

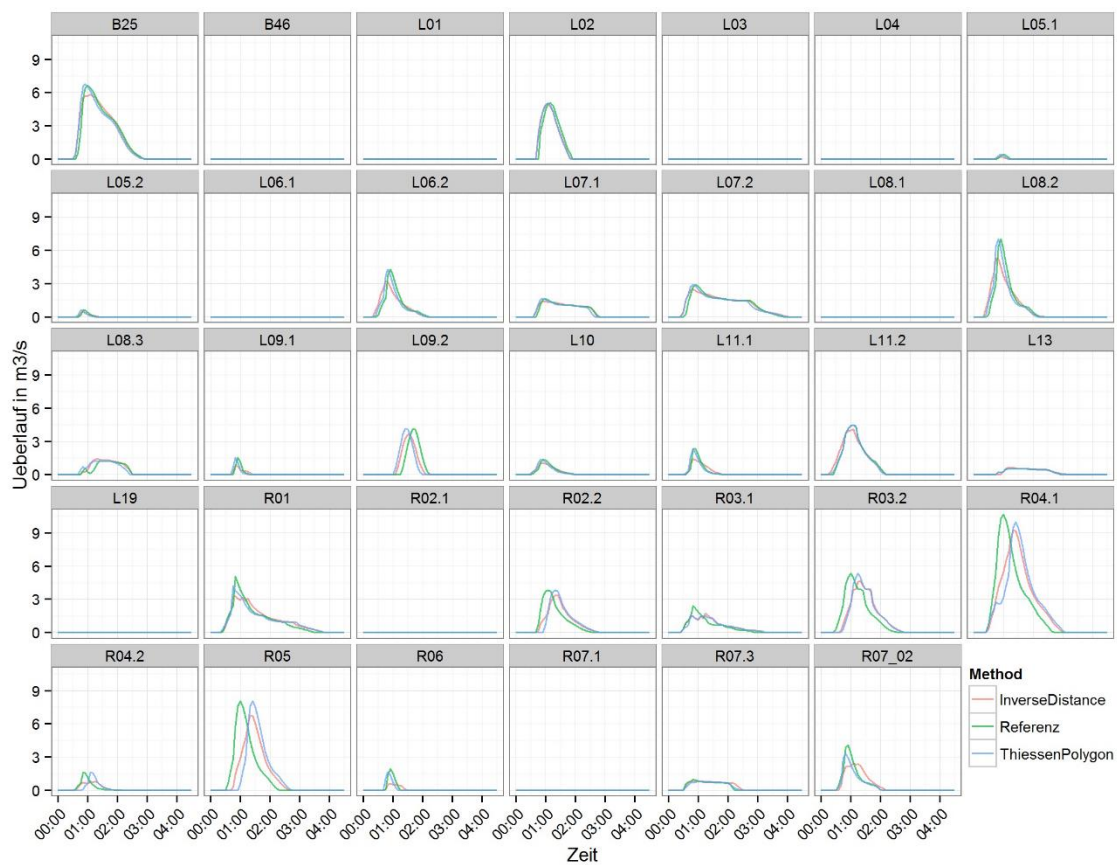


Abbildung C 4: Abflusskurvendiagramm, Euler-Typ-II-Modellniederschlag (O-W Richtung)

## Weitere Ergebnisse aus tatsächlichen Niederschlagsereignissen

*Ereignis 1: 2015-07-19, 20:00:00 - 2015-07-20 01:00:00*

Für jedes ausgewählte Niederschlagsereignis wurden die gemessenen Niederschlagsmengen für das jeweilige Verfahren ermittelt und jeweils in einer GIS-Karte dargestellt. Der linke Teil der Abbildung C 5 zeigt die Niederschlagsmengen bei homogenem Niederschlagsverteilungsansatz (Referenz) für das ganze Gebiet der Stadt Graz, der rechte Teil bei Ansatz des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV).

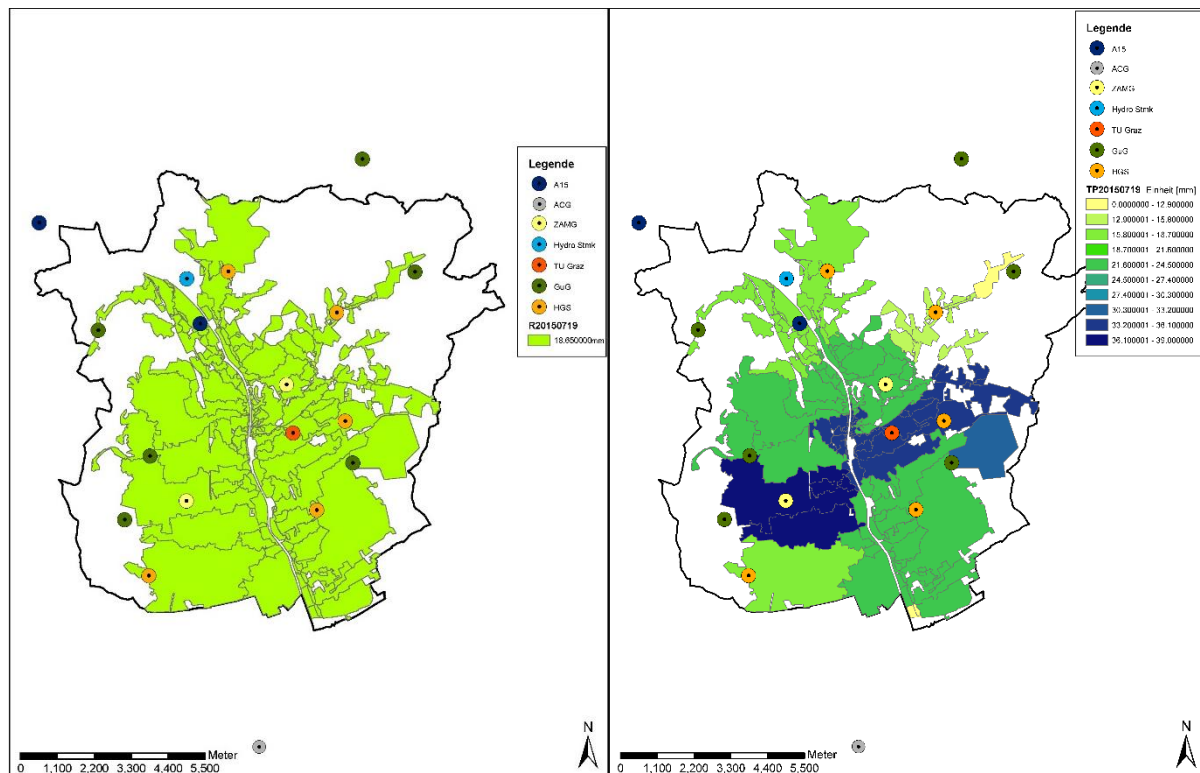


Abbildung C 5: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 19.07.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

In Abbildung C 6 sind die resultierenden Niederschlagsmengen bei Anwendung des Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahrens (EIDV) dargestellt. Daraus ist bereits rein visuell erkennbar, dass bei diesem Ereignis die Niederschlagsmengen beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) unterschätzt werden, weil der an der Messstation der Universität Graz erfasste Niederschlag der Referenzmessstation geringer war als in großen Teilen des übrigen Einzugsgebietes.

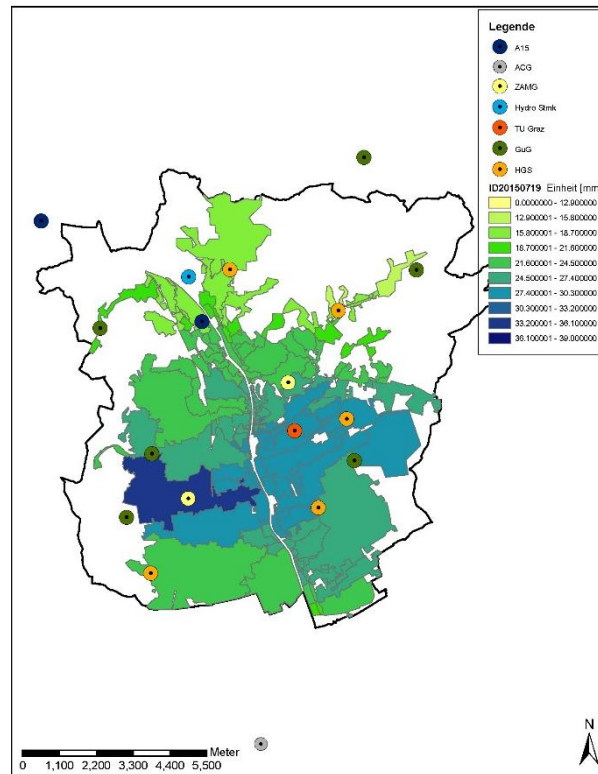


Abbildung C 6: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 19.07.2015

In der Abbildung C 7 sind die resultierenden Überlaufvolumina an den 34 MÜs in die Mur bei modelltechnischer Anwendung der drei unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätze dargestellt.

Bei diesem Niederschlagsereignis kam es nicht an allen MÜs zu einer Entlastung in die Mur. Aus den MÜs B46, L01, L03, L04, L05.1, L06.1, L08.1, L19, R02.1 und R07.1 wurde bei diesem Ereignis modelltechnisch kein Mischwasser abgeschlagen. An den MÜs L05.1, L05.2, L09.1, L10, L11.1, L13, R04.2 und R06 kam es zu geringfügigen Entlastungen. Das größte Abwasservolumen wurde an den beiden MÜs B25 und R04.1 abgeschlagen. Zusätzlich ist aus der Abb. erkennbar, dass bei diesem Ereignis das entlastete Überlaufvolumen beim homogenen Referenzverfahren mit Ausnahme der MÜs L11.1 und R05 zumeist geringer ausfiel als bei den beiden inhomogenen Verfahren.



Abbildung C 7: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 19.07.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

Wie man in der Abbildung C 8 erkennen kann, sprangen die MÜs L02, L07.1, L08.3, L09.1, L09.2, L10, L11.1, L13, R02.2, R04.2, R06 und R07\_2 bei diesem Niederschlagsereignis beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung zumeist deutlich später an als bei den inhomogenen Niederschlagsverteilungsansätzen. Dieses Verhalten zeigte starke Ähnlichkeiten mit dem Euler-Typ-II-Modellniederschlag-Szenarium in W-O Richtung.

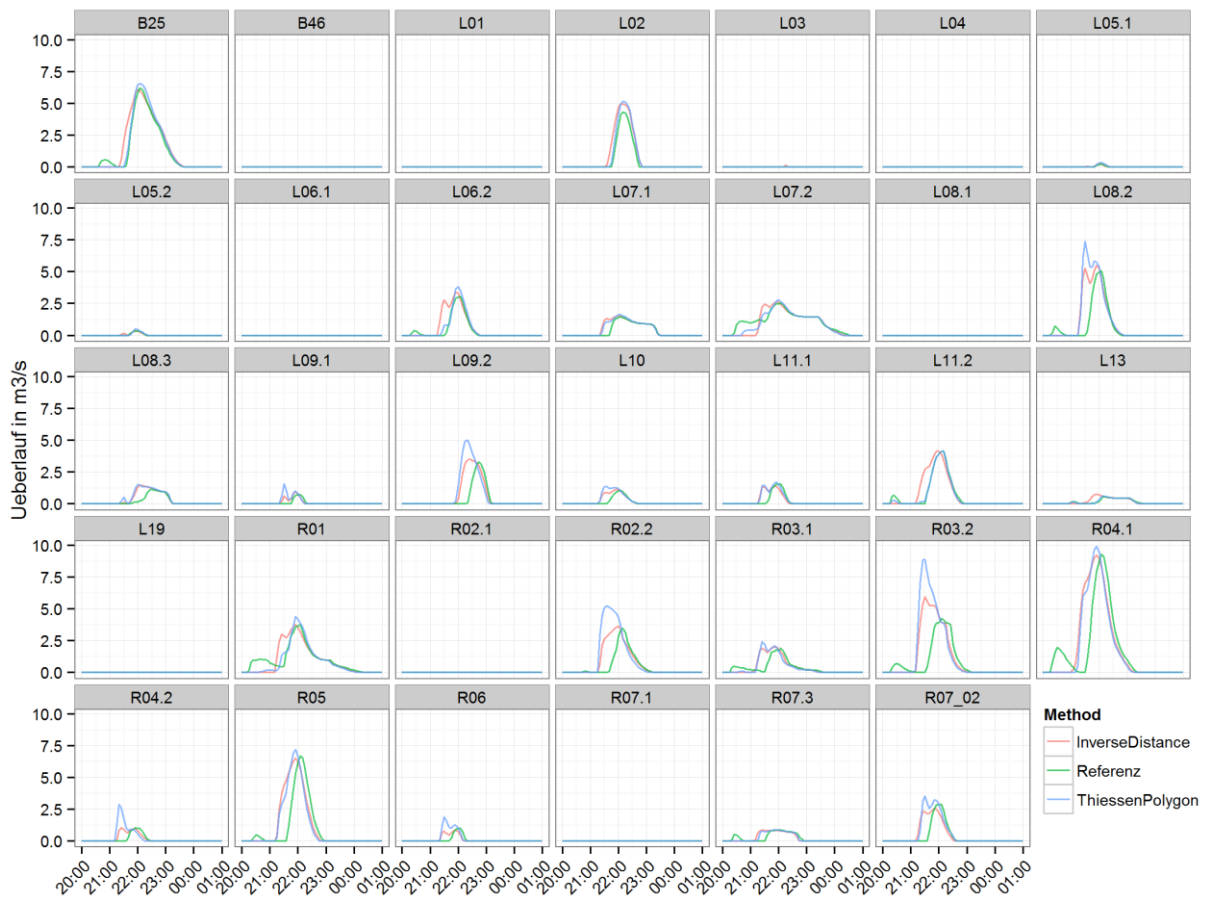


Abbildung C 8: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 19.07.2015

**Ereignis 2: 2015-07-24, 00:30:00 - 2015-07-24 05:00:00**

Im Vergleich zum ersten Beispiel kam es beim Niederschlagsereignis 2 zu einer extremen Unterschätzung der Niederschlagsmenge mittels der Referenz Methode. Dieses Beispiel bestätigt die Annahme, dass das Referenzverfahren nicht sehr realitätsgetreu ist und teilweise zu starken Abweichungen führen kann.

Im linken Teil der Abbildung C 9 ist die Niederschlagsmenge der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) für das ganze Stadtgebiet von Graz dargestellt, im rechten Teil die unterschiedlichen Niederschlagsmengen bei Anwendung des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV).

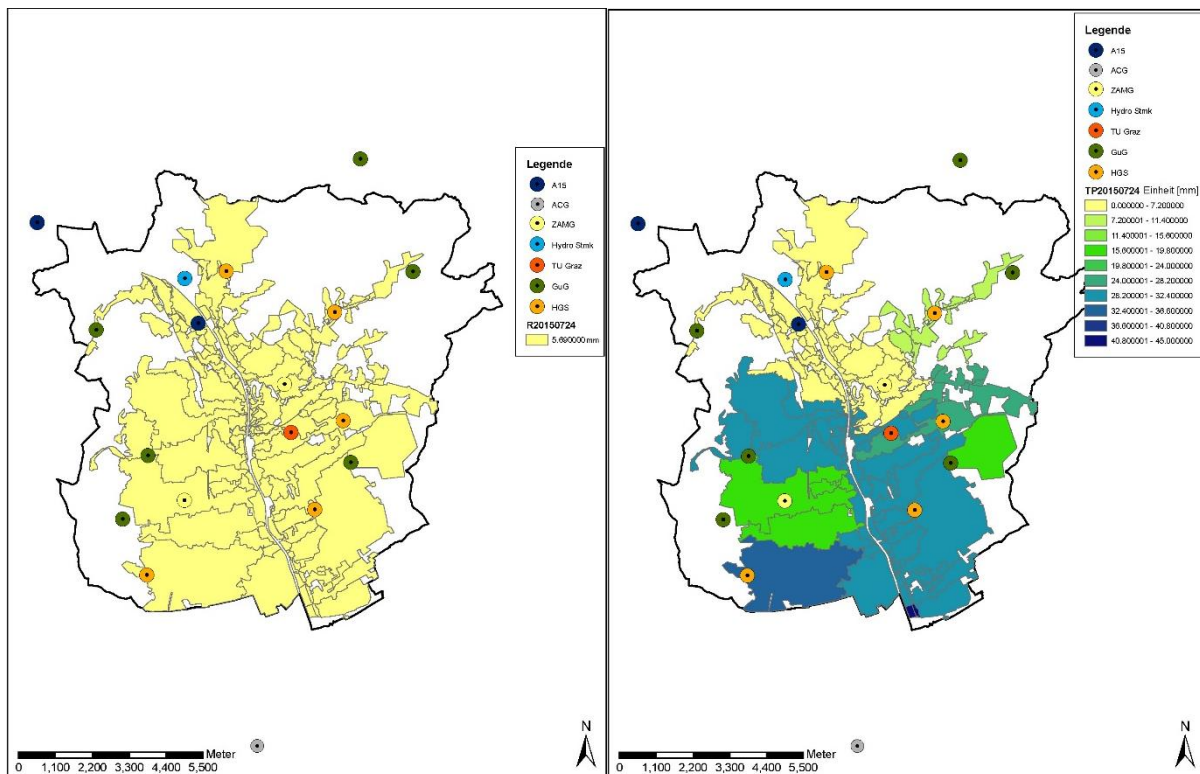


Abbildung C 9: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 24.07.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

Es ist zumeist sinnvoll die Niederschlagsmenge, welche mit dem TPV und dem EIDV ermittelt wurde, untereinander als mit dem Referenzverfahren zu vergleichen. Im Gegensatz zu einem Vergleich mit dem Referenzverfahren, welches zu größeren Unter- und Überschätzungen führen kann, ist eine Gegenüberstellung zwischen dem TPV und EIDV akkurater und führt zu Ergebnissen, die mehr dem Istzustand entsprechen.

Die resultierenden Niederschlagsmengen bei Anwendung des Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahrens (EIDV) sind in der Abbildung C 10 dargestellt. Daraus ist bereits rein visuell erkennbar, dass bei diesem Ereignis die Niederschlagsmengen beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) unterschätzt werden, weil der an der Messstation der Universität Graz erfasste Niederschlag der Referenzmessstation geringer war als in großen Teilen des übrigen Einzugsgebietes.



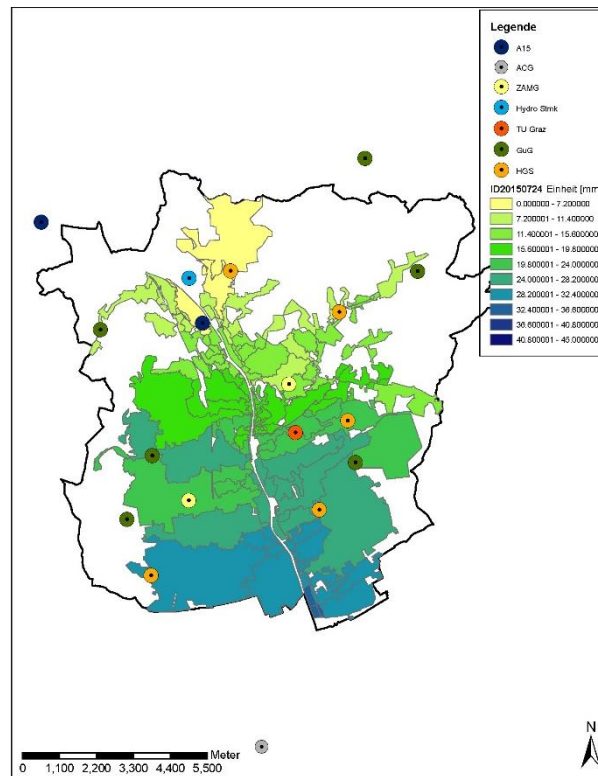


Abbildung C 10: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 24.07.2015

Bei den Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 24.07.2015 in der Abbildung C 11 wiedergeben, ist erkennbar, dass das Referenzverfahren die kleinsten Werte aufwies bzw. bei 8 MÜ gar keine Werte zu verzeichnen waren. In diesem Niederschlagsfall waren die Niederschlagswerte, welche durch das TPV ermittelt wurden, entweder größer oder gleichen jenen aus dem EIDV. Daher kommt man zu dem Entschluss, dass ein Vergleich des Referenz Verfahrens mit den anderen Verfahren in diesem Fall nicht sehr sinnvoll erscheint, weil die ermittelten Volumenwerte der Referenz eine große Unterschätzung liefern. In diesem Fall erscheint der Vergleich zwischen dem TPV und dem EIDV wesentlich plausibler.

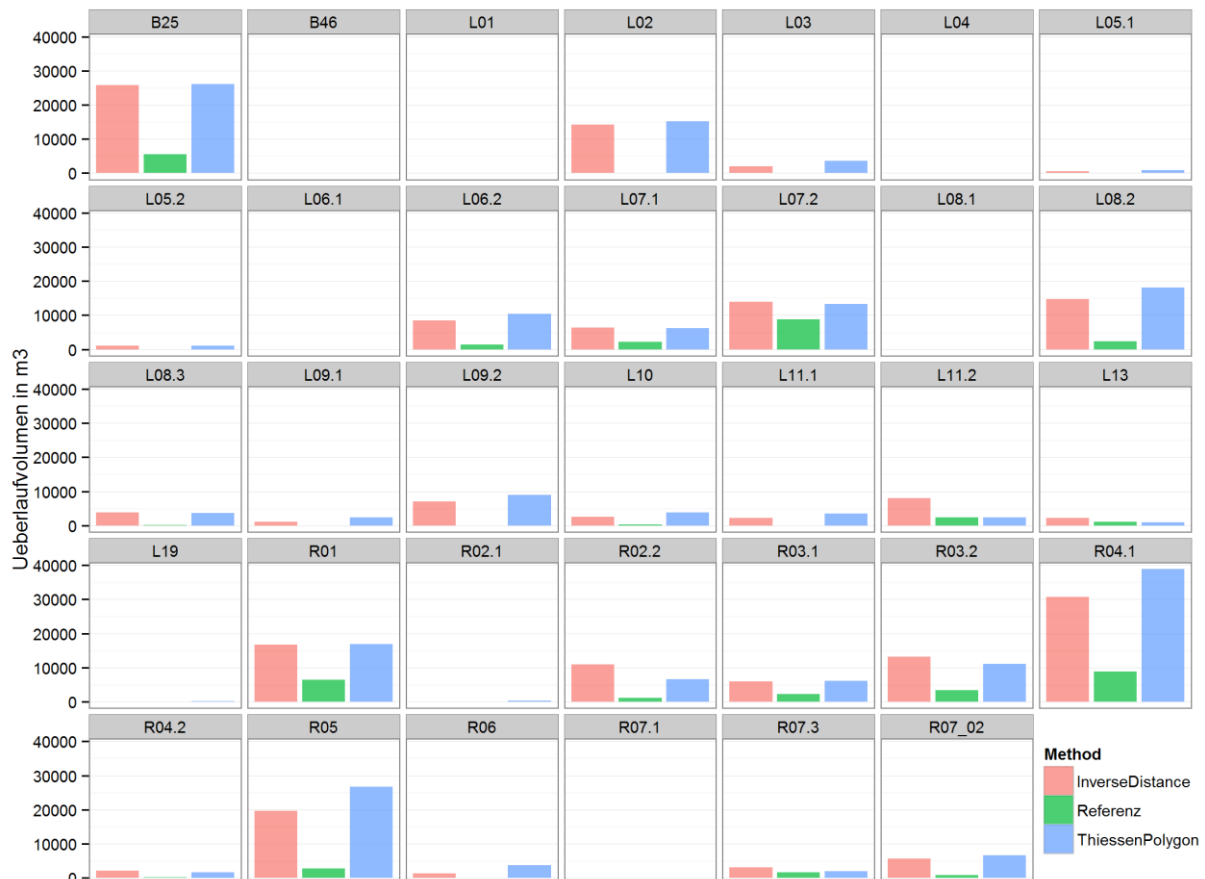


Abbildung C 11: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 24.07.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

In der Abbildung C 12 ist erkennbar, dass das Referenzverfahren eine Unterschätzung der Niederschlagsmenge liefert.

Obwohl das Referenzverfahren die kleinsten Werte aufwies, begann die Entlastung, aus den MÜ in die Mur, am schnellsten, während bei den zwei anderen Verfahren die Entlastung mit einer Verzögerung, jedoch gleichzeitig, erfolgte. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass das Referenzverfahren keine exakten Ergebnisse liefern konnte. Außerdem ist aus der obigen Abbildung C 12 zu entnehmen, dass trotz der gleichzeitigen Entlastung aus den MÜ, die Spitzenwerte der Ablaufkurve beim TPV, im Gegensatz zum EIDV, einen leichten Sprung aufweisen



Abbildung C 12: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 24.07.2015

#### *Ereignis 4: 2015-09-02, 13:20:00 - 2015-09-02 17:40:00*

Der Niederschlagsfall, der für diese Bewertung vierte Niederschlagsfall, ist im Vergleich zu den anderen vorherigen Niederschlagsfällen, ein Fall, bei dem es zu einer Überschätzung der ermittelten Niederschlagsmenge bei Anwendung der Referenz-Methode kam.

Dies ist bei der Darstellung der Niederschlagsmenge leicht ersichtlich, da die Niederschlagsmengen mittels drei verschiedener Methoden ermittelt wurden.

Im linken Teil der Abbildung C 13 ist die Niederschlagsmenge der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) für das ganze Stadtgebiet von Graz dargestellt, im rechten Teil die unterschiedlichen Niederschlagsmengen bei Anwendung des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV)

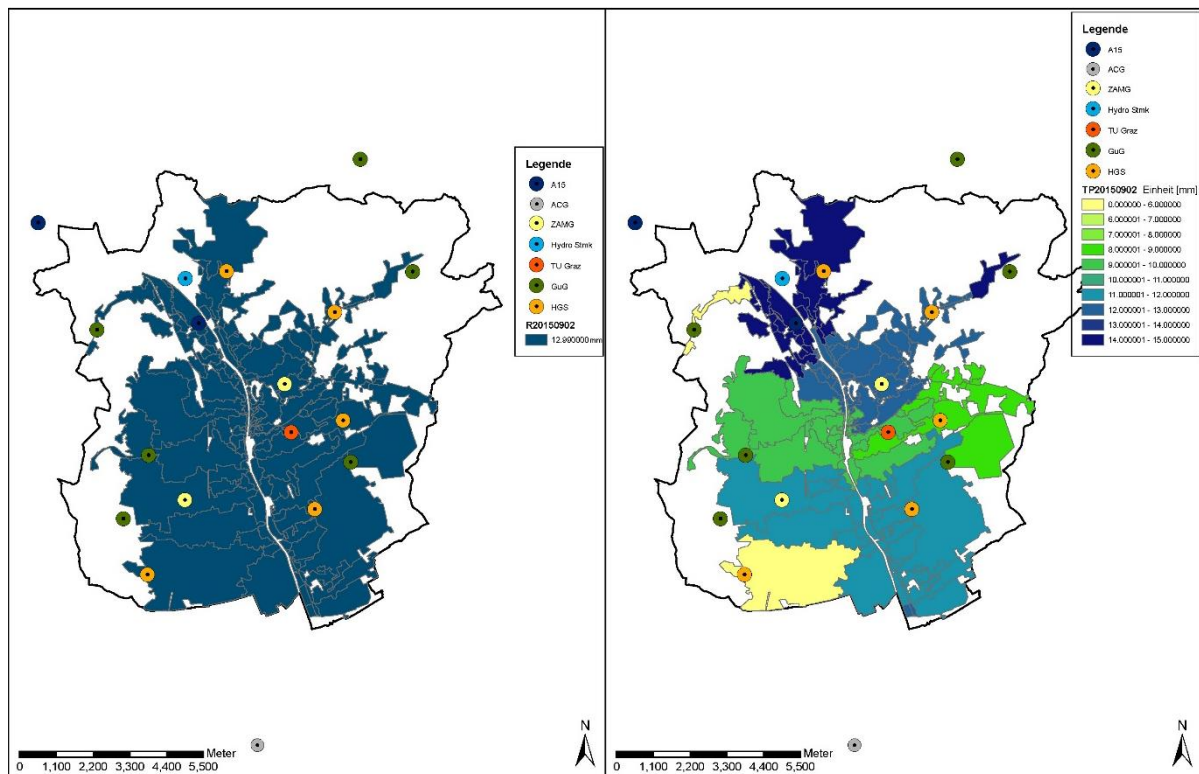


Abbildung C 13: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 02.09.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

In Abbildung C 14 sind die resultierenden Niederschlagsmengen bei Anwendung des Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahrens (EIDV) dargestellt. Daraus ist bereits rein visuell erkennbar, dass bei diesem Ereignis die Niederschlagsmengen beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) überschätzt werden, weil der an der Messstation der Universität Graz erfasste Niederschlag der Referenzmessstation größer war als in großen Teilen des übrigen Einzugsgebietes.

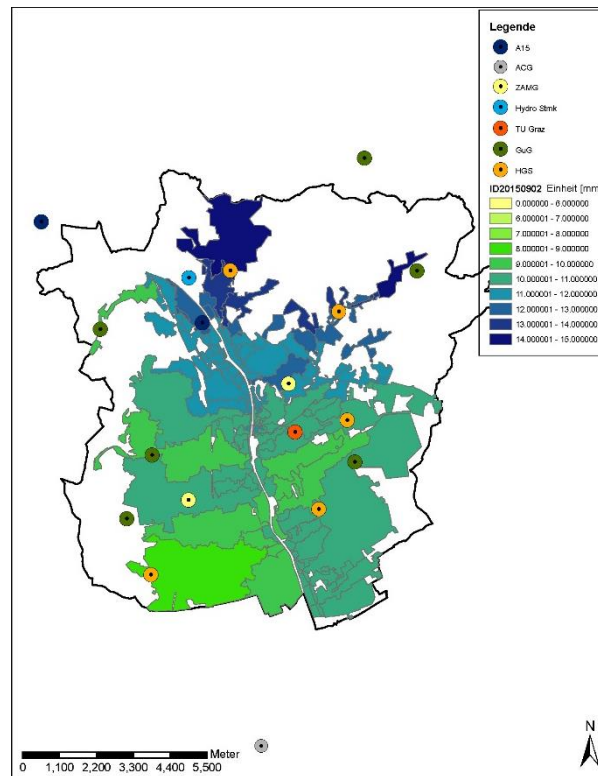


Abbildung C 14: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 02.09.2015

Eine viel deutlichere Erklärung stellt das Abflussvolumendiagramm in der Abbildung C 15 dar, welche die Volumenwerte des Referenz-Verfahrens der MÜs abbildet. Diese sind größer als die aus den restlichen zwei Verfahren. Im Vergleich dazu sind die Ergebnisse aus den TPV und EIDV beinahe identisch.

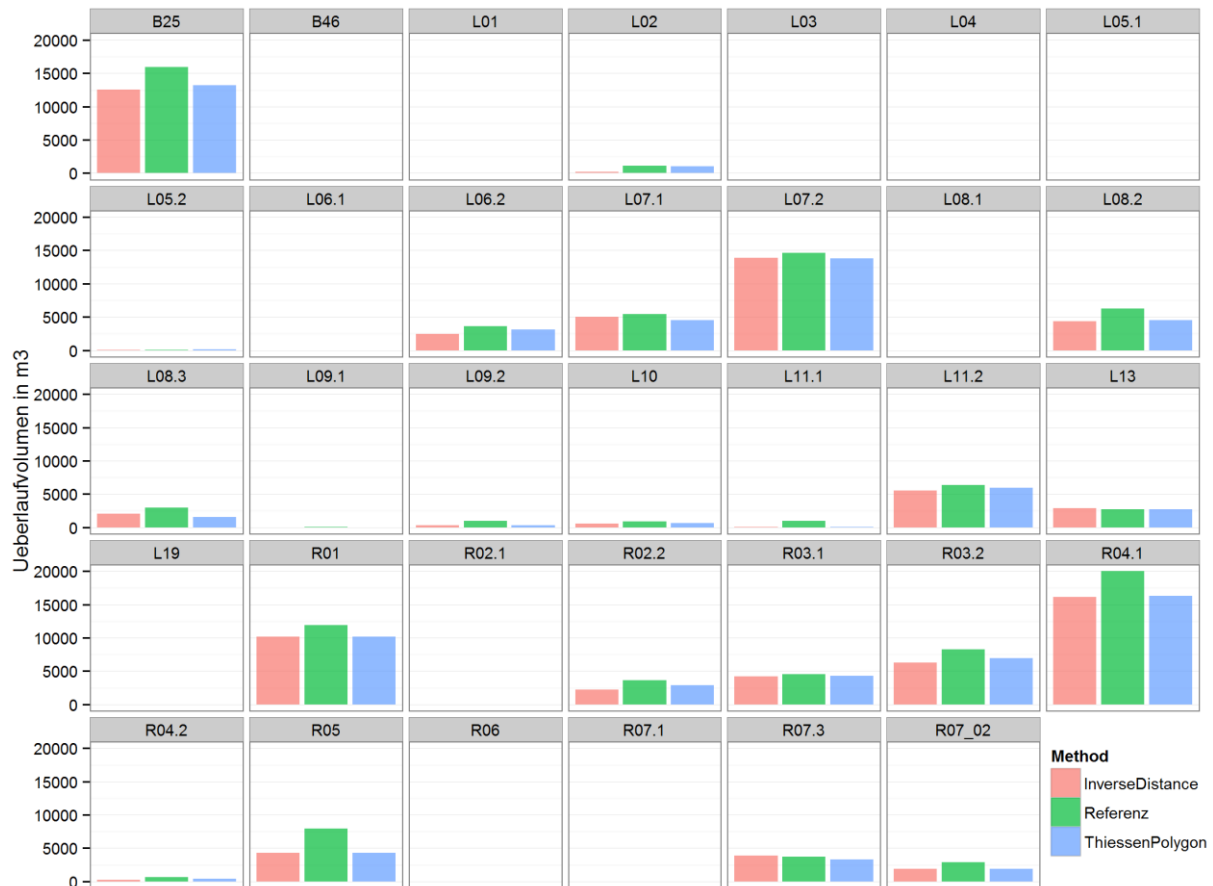


Abbildung C 15: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 02.09.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

Die in der Abbildung C 16 dargestellte Abflusskurve schildert deutlich, dass das Niederschlagsvolumen, welches durch das Referenzverfahren ermittelt wurde, als letztes aus den MÜ entlastet wird. Auf der anderen Seite wird die Niederschlagsmenge, welche durch TPV und EIDV berechnet wurde, gleichzeitig entleert. Dieses Beispiel gleicht dem aus dem Euler-Typ-II-Modellniederschlag, mit N-S Richtung. Einzig beim MÜ L11.2. fing die Entlastung zuerst mit den berechneten Werten aus EIDV an. Bei MÜs R04.1 und R05 wiederum, wird das ermittelte Niederschlagsvolumen zuerst vom TPV entlastet.

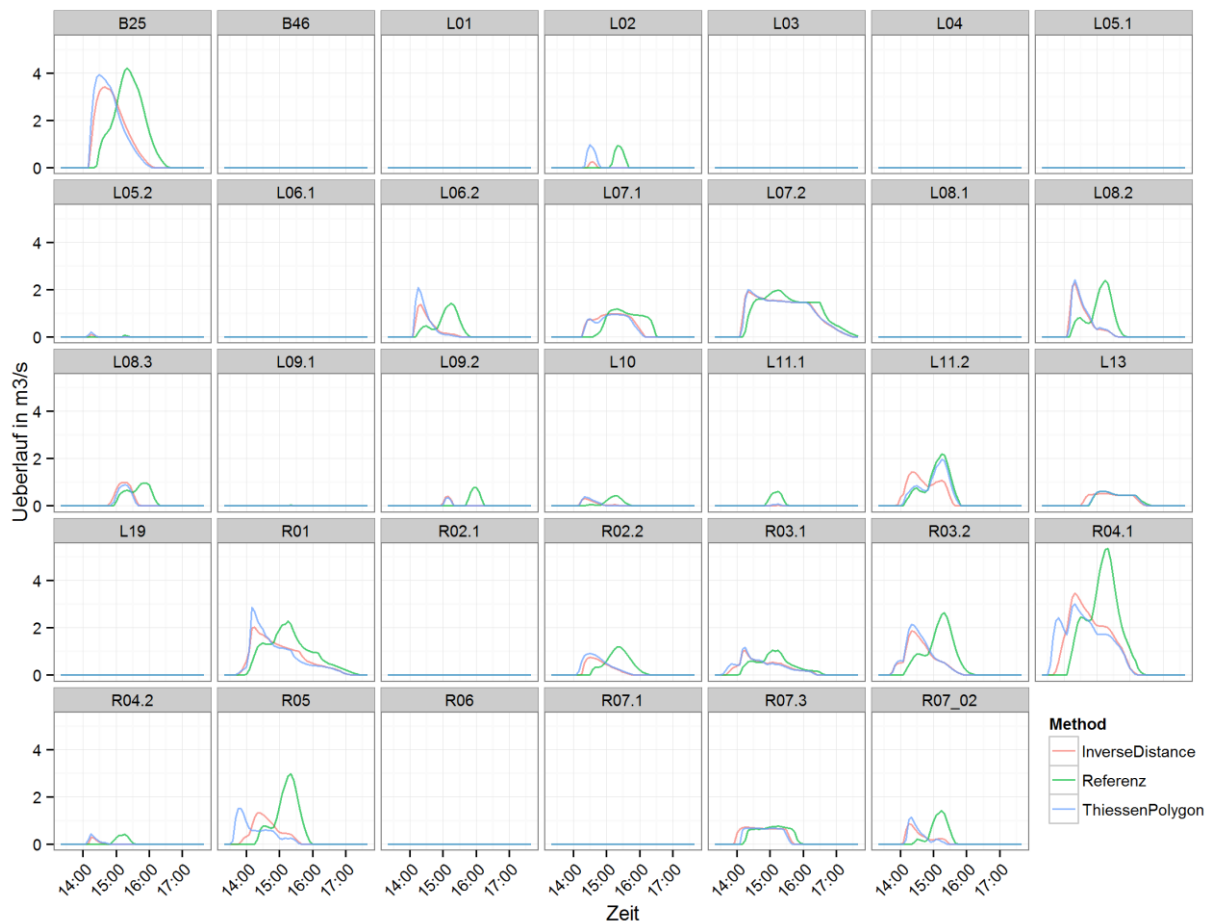


Abbildung C 16: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 02.09.2015

### *Ereignis 5: 2015-09-05, 08:30:00 - 2015-09-05 16:30:00*

Bei diesem ausgewählten Niederschlagsereignis, kam es erneut zu einer Überschätzung durch die Ermittlung der Referenz-Methode.

Im linken Teil der Abbildung C 17 ist die Niederschlagsmenge der homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) für das ganze Stadtgebiet von Graz dargestellt, im rechten Teil die unterschiedlichen Niederschlagsmengen bei Anwendung des Thiessen-Polygon-Verfahrens (TPV)

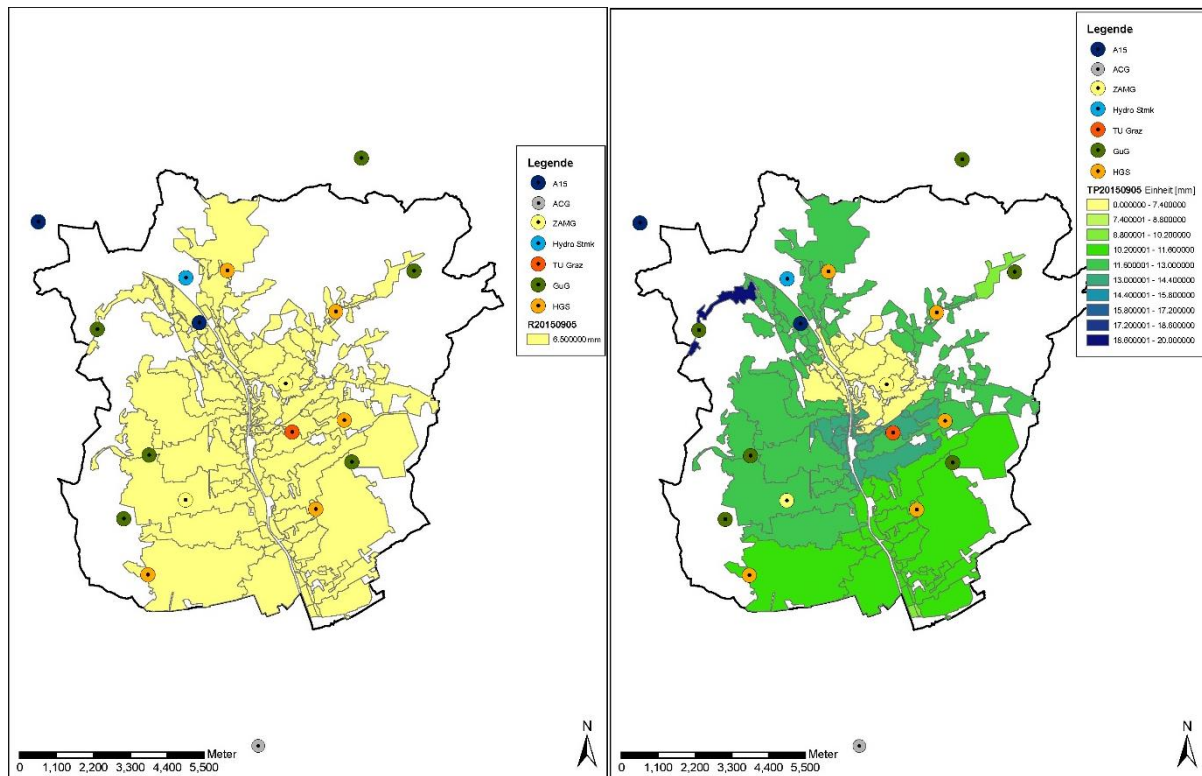


Abbildung C 17: Niederschlagsmenge in mm des Ereignisses vom 05.09.2015 bei homogener Niederschlagsverteilung (links, Referenzverfahren) und nach dem TPV (rechts)

Die resultierenden Niederschlagsmengen bei Anwendung des Erweiterte-Inverse-Distanz-Verfahrens (EIDV) sind in der Abbildung C 18 dargestellt. Daraus ist bereits rein visuell erkennbar, dass bei diesem Ereignis die Niederschlagsmengen beim Ansatz einer homogenen Niederschlagsverteilung (Referenz) unterschätzt werden, weil der an der Messstation der Universität Graz erfasste Niederschlag der Referenzmessstation geringer war als in großen Teilen des übrigen Einzugsgebietes.



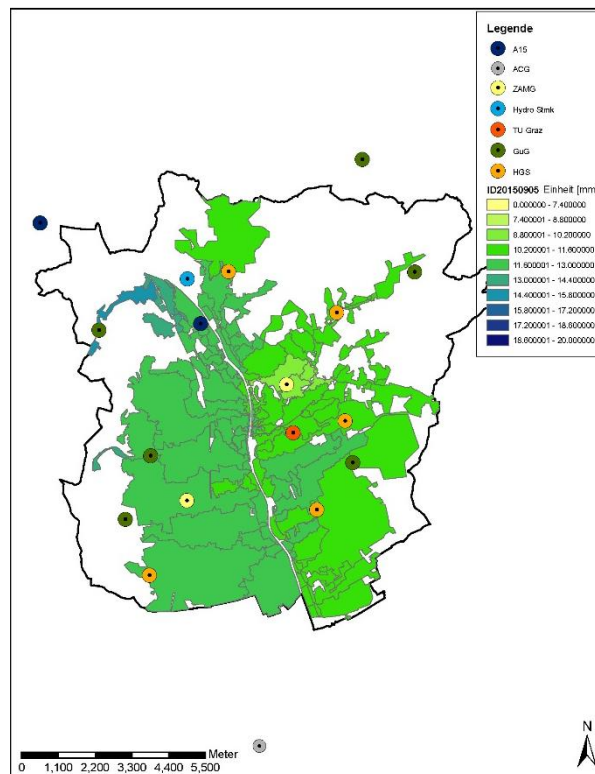


Abbildung C 18: Niederschlagsmengen in mm bei Anwendung des EIDV beim Niederschlagsereignis vom 05.09.2015

In diesem Niederschlagsereignis ist ebenfalls leicht zu erkennen, dass die Messdaten von der Messstation Universität Graz, welche für das Referenzverfahren ausschlaggebend sind, zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmenge führt. Die Messstation „FLUG“ weist die maximale Niederschlagshöhe und die größte Niederschlagsmenge auf.

Um die Unterschiede zwischen homogenen und inhomogenen Verfahren besser darzustellen, sind in Abbildung C 19. von 3 Messstationen die Niederschlagsverläufe für das Ereignis am 05.09.2015 mit einem 5-minütigen Zeitintervall dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Verläufe keineswegs homogen sind. Wenn man, wie nachfolgend geschehen, das Gesamtniederschlagsvolumen vergleicht, erkennt man, dass „FLUG“ eine wesentlich höhere Gesamtniederschlagsmenge als „UNIV“ hat. Wenn das Ereignis also nur mit den Niederschlagsdaten der Messstation der Universität Graz simuliert wird, erfolgt eine deutliche Unterschätzung des Gesamtniederschlags für den Raum Graz.

Die Messdaten der Messstation „UNIV“

- Gesamtniederschlag: 6,5 mm
- Niederschlagsdauer: 6 Std
- Max. Niederschlagshöhe: 0,5 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „FLUG“

- Gesamtniederschlag: 9,6 mm
- Niederschlagsdauer: 6 Std

- Max. Niederschlagshöhe: 1,5 mm / 5 min

Die Messdaten der Messstation „RWEI“

- Gesamtniederschlag: 8,1 mm
- Niederschlagsdauer: 6 Std
- Max. Niederschlagshöhe: 0,6 mm / 5 min

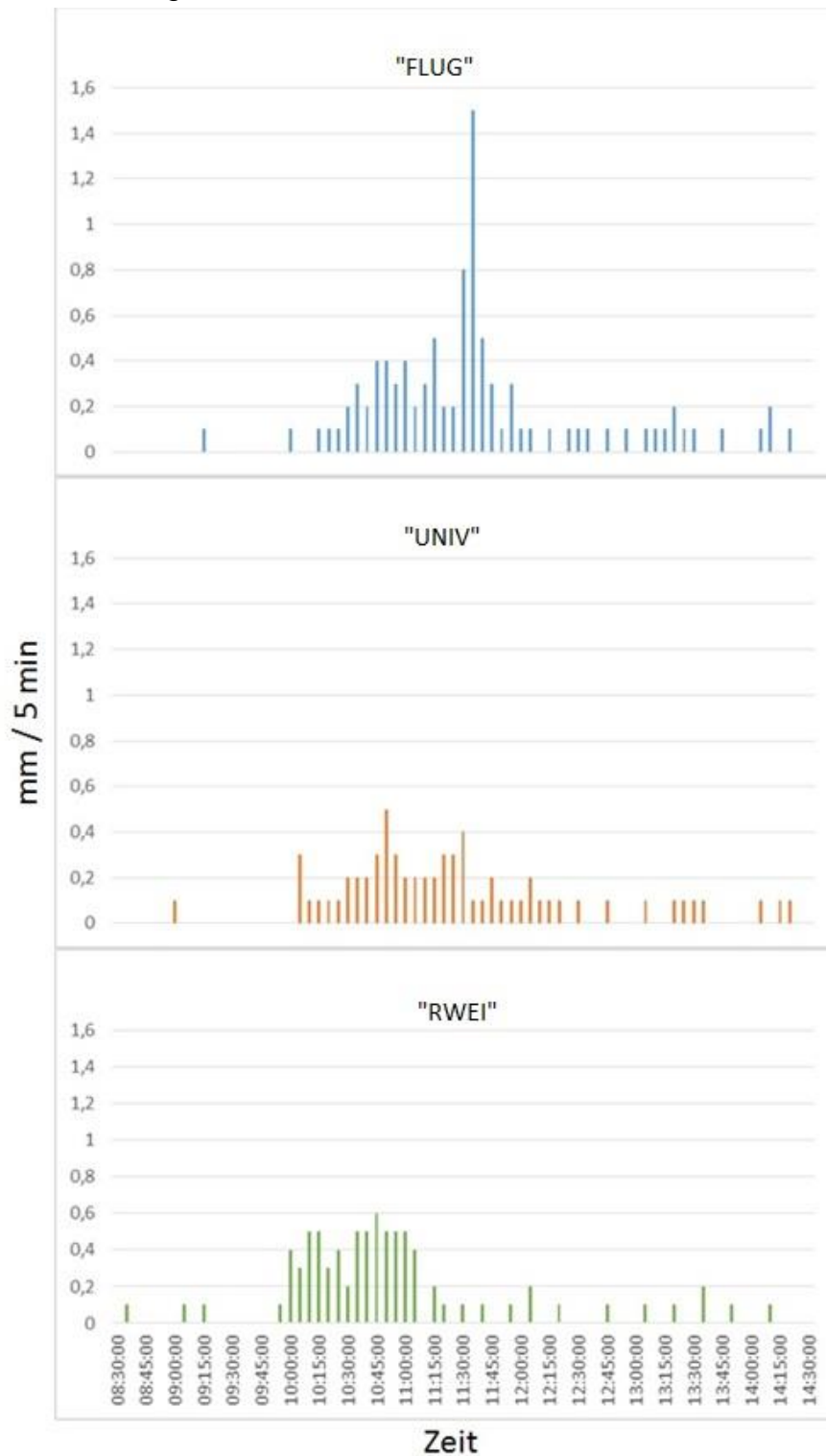


Abbildung C 19: Niederschlagsmessdaten des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015

Bei diesem Niederschlagsereignis sind jene Überlaufvolumina in der Abbildung C 20, welche mit dem homogenen Referenz-Verfahren ermittelt wurden, in allen MÜs die kleinsten.

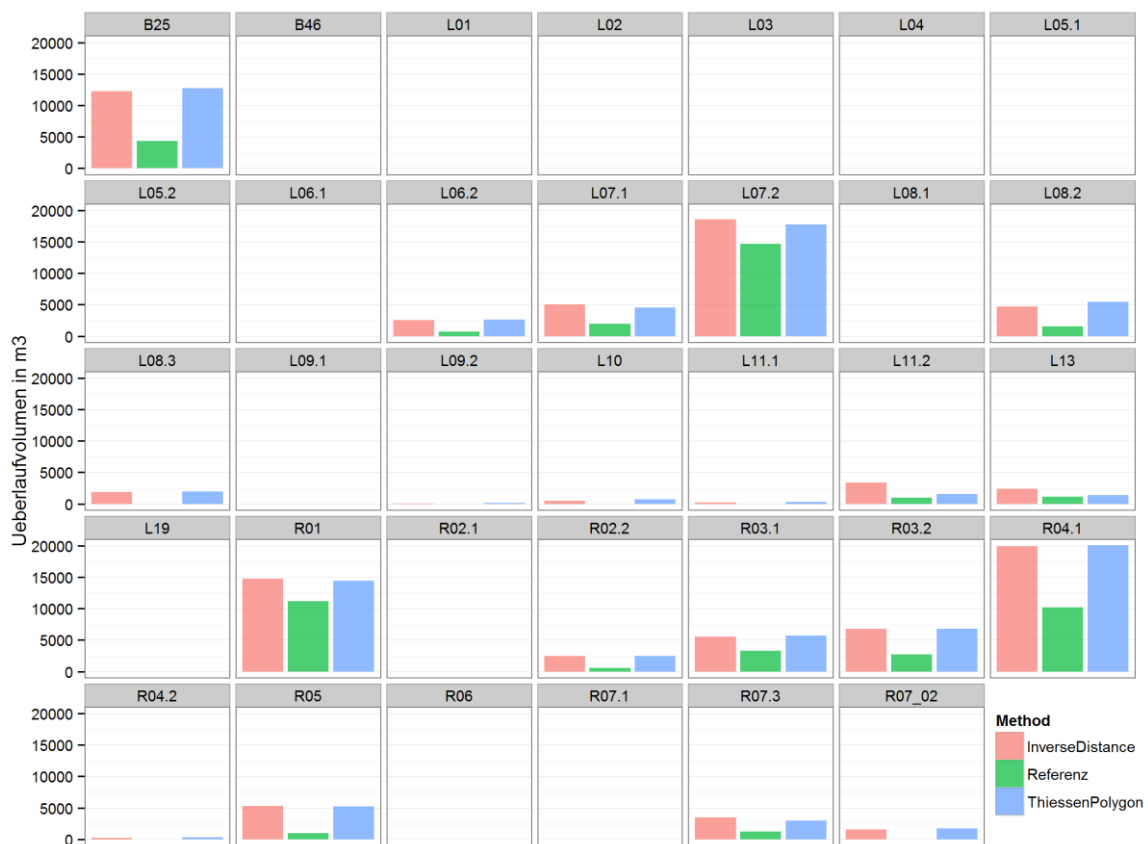


Abbildung C 20: Überlaufvolumina des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015 aus den KOSIM-Simulationsberechnungen

In Abbildung C 21 sind die Überlaufvolumina am MÜ R04.1 vergleichend gegenübergestellt. Das Niederschlagsereignis am 05.09.2015 war mit ca. 6 h ein kurzes Ereignis. In der Abbildung C 21 kann man erkennen, dass das mit KOSIM simulierte Überlaufvolumen bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens kleiner ist als bei den beiden inhomogenen Verfahren, was auf die Unterschätzung des Verfahrens bei diesem speziellen Niederschlagsereignis zurückzuführen ist.

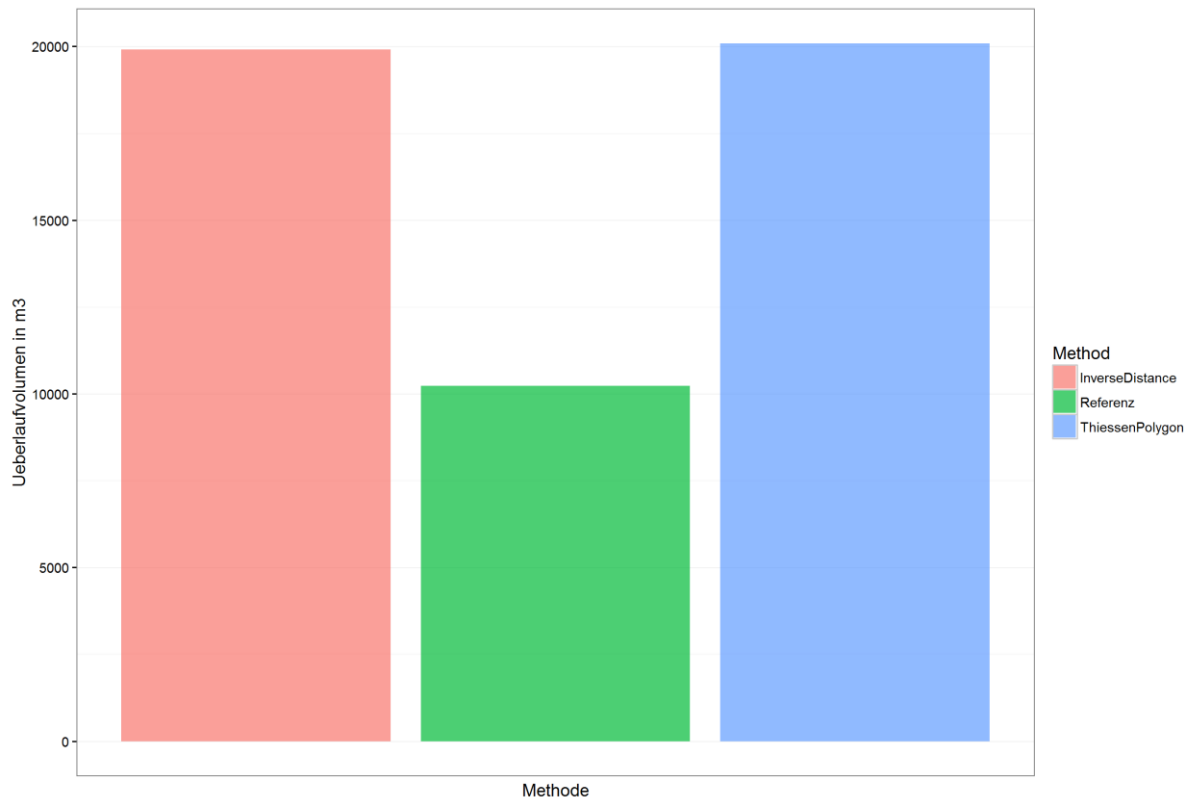


Abbildung C 21: Überlaufvolumina am MÜ-Bauwerk R04.1 im Zuge des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015

Die in der Abbildung C 22 dargestellte Abflusskurve schildert deutlich, dass das Niederschlagsvolumen, welches durch das Referenzverfahren ermittelt wurde, als letztes aus den MÜ entlastet wird. Auf der anderen Seite wird die Niederschlagsmenge, welche durch TPV und EIDV berechnet wurde, gleichzeitig entleert. Dieses Beispiel gleicht dem aus dem Euler-Typ-II-Modellniederschlag, mit N-S Richtung. Beim MÜ L11.2. und L.13 fing die Entlastung zuerst mit den berechneten Werten aus EIDV an.

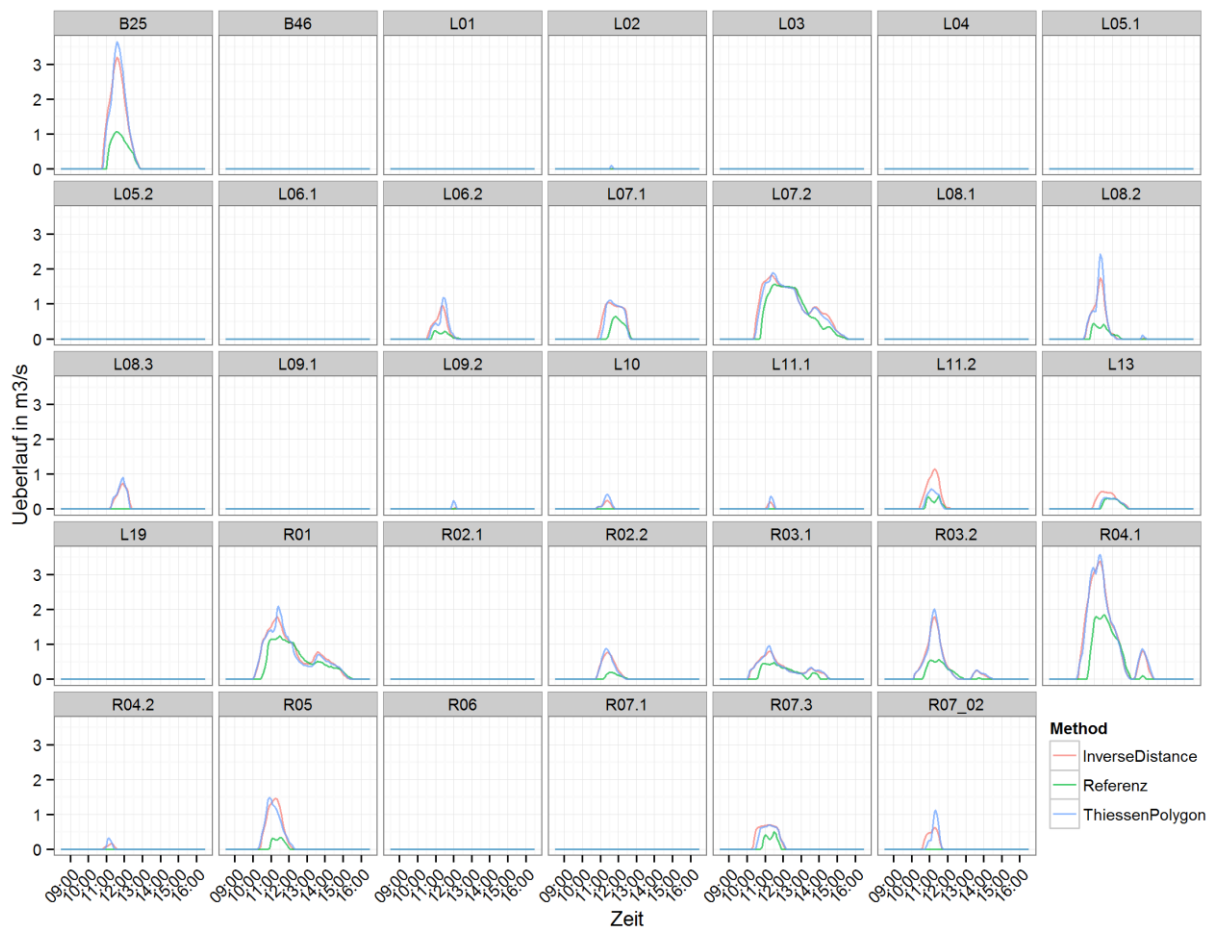


Abbildung C 22: Abflusskurvendiagramm aus den 34 modellierten MÜs des KOSIM-Modells zufolge des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015

Die Abbildung C 23 zeigt deutlich, dass die Charakteristik der Überlaufabflusskurve beim MÜ R04.1 während des Niederschlagsereignisses vom 05.09.2015 bei Anwendung des homogenen Referenzverfahrens deutlich von der Charakteristik des TPV und des EIDV abweicht. Im Gegensatz dazu weisen das TPV und das EIDV fast identische Verläufe auf. Daher kann man davon ausgehen, dass die beiden letzteren Verfahren bei diesem Niederschlagsereignis ein korrekteres Bild der Überlaufabflussdynamik am R04.01 wiedergeben

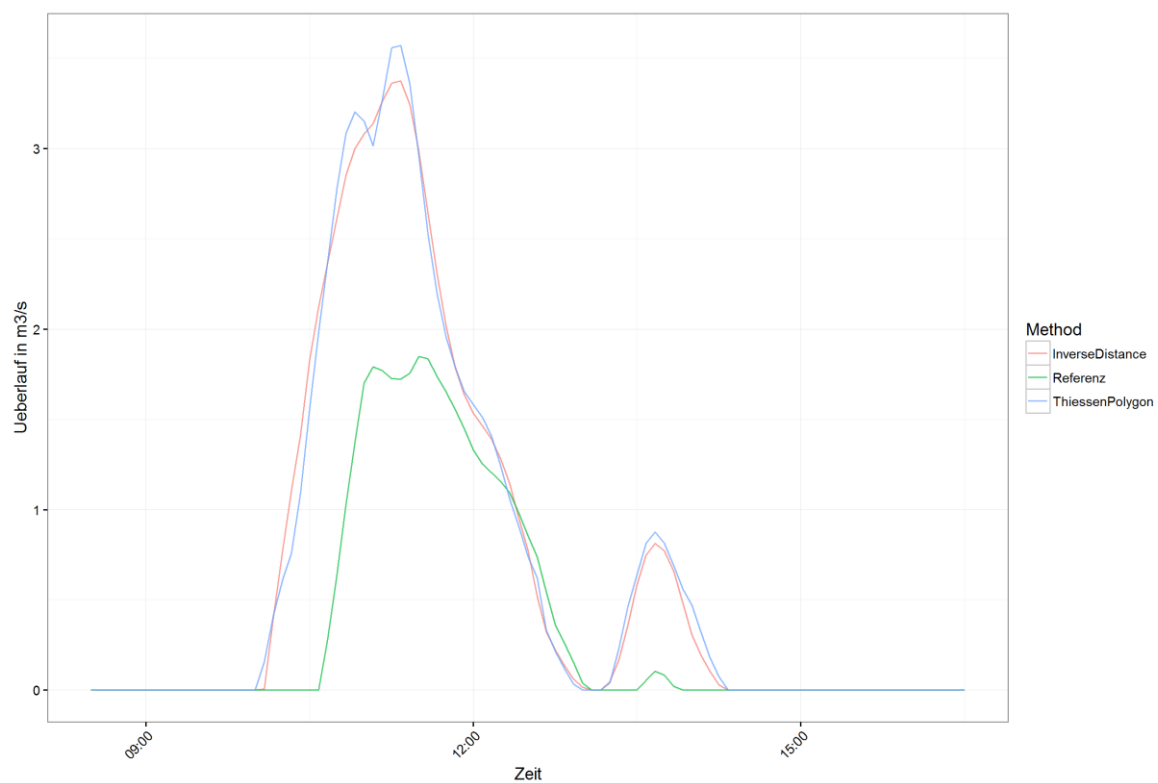


Abbildung C 23: Abflusskurven der Überläufe am Bauwerk R04.1 beim Niederschlagsereignis vom 05.09.2015 bei den unterschiedlichen Niederschlagsverteilungsansätzen