



Julia Holzer, BSc.

Dimensionierung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen und Bauten bezüglich Überflutungsprävention

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer:

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

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Stefan Reinstaller, BSc.

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, April 2021

Kontakt:
Julia Holzer, BSc.
julia.holzer@student.tugraz.at

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

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

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

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

Ein großes Dankeschön möchte ich Herrn Univ.Prof.Dr.Ing. Dirk Muschalla und meinem Mitbetreuer Dipl.Ing. Stefan Reinstaller, BSc aussprechen. Ich habe mit meiner Masterarbeit im Jahr 2020 begonnen, das durch bekannte Ereignisse für alle große Herausforderungen einbrachte. Trotz der ungewöhnlichen Umstände war die Betreuung der Masterarbeit herausragend. Die Online-Infrastruktur, die am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau in kürzester Zeit aufgebaut wurde, war eine große Erleichterung in der Bearbeitung und Erstellung der Masterarbeit. Die Online-Privatissimum des Instituts für Siedlungswasserbau und Landschaftswasserbau waren sehr gut organisiert und schufen großes Selbstvertrauen in die geleistete Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meinem Mitbetreuer Dipl.Ing. Stefan Reinstaller BSc., der mich in der Bearbeitung immer unterstützt hat und für alle Fragen stets da war. Die ausgesprochen schnellen Antworten und die unzähligen Online-Meetings konnten es möglich machen, dass ich diese Danksagung nun zu diesem Zeitpunkt schreibe. Ich würde allen diese sehr gute Betreuung für die eigene Masterarbeit wünschen. Durch die Bearbeitung meiner Masterarbeit konnte ich am Ende meines Studiums sehr viel neues Wissen aneignen, das unter anderem durch die gute Betreuung möglich war.

Als nächstes möchte ich meinem Onkel Mag. Alexander Zens und meinem guten Freund Haris Felic für die Korrektur meiner Arbeit danken. Gerade die letzten Wochen waren sehr intensiv für mich, ich war daher sehr froh über die Unterstützung in dieser Hinsicht.

Ein weiterer großer Dank gilt dem Grazer Kunstverein und seinem Team für die Unterstützung. Während der Bearbeitung meiner Masterarbeit konnte ich die Räumlichkeiten des Grazer Kunstvereins nutzen.

Im nächsten Schritt möchte ich ein paar Namen nennen, die mich während des Bearbeitens meiner Masterarbeit und meines Studiums immer unterstützt haben. Ich bin sehr dankbar für die guten Gespräche während der letzten Jahre. Danke an meine gesamte Familie für die Unterstützung, Geduld und das Ermöglichen, studieren zu können. Danke an meine ehemalige Mitbewohnerin und gute Freundin Christina für das großartige Zusammenwohnen und alles andere. Großes Danke an meine neue WG im Stiftingtal für die Unterstützung. Danke an meine sehr guten Freundinnen Jasmin, Helena und Pia, die mich immer wieder aufbauten, wenns mal nicht so gut lief. Und ich danke einer besonderen Gruppe, die mich im letzten Jahr begleitete und die mir sehr ans Herz gewachsen ist. Danke an Magdalena, Lisa, Haris, Mathias und Benni für die schöne Zeit mit euch.

Außerdem möchte ich einen großen Dank an alle Studienkolleginnen und Studienkollegen des Verkehrswesenzeichensaales aussprechen, mit denen ich eine sehr tolle Studienzeit verbracht habe. Durch die Unterstützung des VZS konnte ich mein Studium sehr gut meistern.

Kurzfassung

Für die in der Siedlungswasserwirtschaft angewandten Anlagen und Bauten sind in den zugehörigen Normen und Regelblättern zur Bemessung beziehungsweise Betriebs- & Wartungsvorgängen eindeutige Kenngrößen vorhanden. Hinweise zu Verhalten der Anlagen und Bauten außerhalb der Bemessungsereignisse sind meist nicht verfügbar. Mit diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit eine Untersuchung durchgeführt, um hinsichtlich *außerhalb des Bemessungsereignisses* der Anlagen und Bauten, Aussagen tätigen zu können. Der Fokus liegt dabei auf Anlagen und Bauten der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung. Im Rahmen dieser Arbeit wurden vorerst alle relevanten Bemessungsgrößen für dezentrale als auch zentrale Anlagen und Bauten in Deutschland, Österreich und der Schweiz (D-A-CH Raum) zusammengefasst. Die Bemessungsgrößen beziehen sich auf die besonderen Jährlichkeiten bestimmter Niederschlagsdatentypen. Außerdem wurden Betriebs- und Wartungsvorgänge in den drei Ländern betrachtet und aufgelistet. Des Weiteren wurden zukünftige und aktuelle Ansätze der urbanen Entwässerung auf internationaler Ebene untersucht, um hier für Neuplanungen einen Überblick zu bekommen. Mit den gefundenen Bemessungsgrößen wurden aufbauend zwei kleine fiktive hydrodynamische Oberflächenabflussmodelle erstellt, in denen dezentrale Anlagen und Bauten zum Einsatz kamen. Die eingesetzten Anlagen und Bauten wurden anhand der relevanten Dimensionierungsjährlichkeiten vorbemessen und dann mit unterschiedlichen Niederschlagsdaten simuliert. Für die Simulationen kamen ein Bemessungsereignis und zwei reale Niederschlagsereignisse von Graz zum Einsatz. Zur Bewertung der Ergebnisse wurden Zielgrößen wie der Oberflächenabfluss oder die Überflutungsflächen in einem Einzugsgebiet verwendet. Es konnte anhand den gefundenen Bemessungsparametern festgestellt werden, dass der D-A-CH Raum prinzipiell ähnliche Größen zur Dimensionierung verwendet. Gerade bei dezentralen Maßnahmen liegen ähnliche Bedingungen in den drei Ländern vor. In der Dimensionierung der Mischwasserentlastungen und des Standards der Wartungsvorgänge liegen unter den drei Ländern erkennbare Unterschiede vor. Anhand den Simulationen der relevanten Bemessungsgröße und zwei realen Niederschlagsereignissen, konnten annehmbare Widerstandsfähigkeiten für die dezentralen Anlagen und Bauten sichtbar gemacht werden. Die Anlagen und Bauten waren für die angewandten Niederschlagsereignisse zwar größtenteils ausreichend bemessen, wiesen jedoch nicht ausreichend Toleranz bezüglich der Einstauhöhen auf. Des Weiteren konnte anhand der Bewertung bestimmter Zielgrößen aufgezeigt werden, dass ein Versagen mancher Anlagen auftrat und zusätzliche Überflutungen im Einzugsgebiet verursacht wurden. Alle Ergebnisse konnten nur auf Basis von Einzelereignissen bewertet werden. Um aktuelle Niederschlagscharakteristika berücksichtigen zu können, sollte diese Untersuchung mit einer Langzeitsimulation erneut bewertet werden.

Stichwörter:

Bemessungsgrößen, Betriebs- und Wartungsvorgänge, zukünftige Entwässerungssysteme, hydrodynamisches Oberflächenabflussmodell, Niederschlagseinzelereignisse

Abstract

For the plants and structures used in urban water management, clear parameters are available in the standards and guidelines of practice for design, operation and maintenance procedures. Information on the behaviour of plants and structures outside of the design events is usually not available. With this background, an investigation was carried out in this work in order to be able to make statements beyond the design event of the plants and structures. The focus is on plants and structures for decentralised stormwater management. Within the scope of this work, all relevant design parameters for decentralised as well as centralised plants and buildings in Germany, Austria and Switzerland were summarised. The design values refer to the particular annualities of certain precipitation data. In addition, operating and maintenance procedures in the three countries were considered and listed. Furthermore, future and current approaches to urban drainage were examined on an international level in order to obtain an overview for new planning. Based on the design parameters, two small fictive hydrodynamic surface runoff models were created in which decentralised plants and structures were integrated. The plants and structures used were pre-designed using the relevant designing annualities and then simulated with different precipitation data. A design event and two real precipitation events from Graz were used for the simulations. In order to evaluate the results, parameters such as the surface runoff or the flooded areas were taken into account.

Based on the design parameters, it was possible to establish that Germany, Austria and Switzerland use similar sizes for designing urban water infrastructure elements. Especially in the case of decentralised plants and structures, similar conditions exist in the three countries. There are noticeable differences between the three countries in the design of combined sewer overflows and the standard of maintenance procedures. Based on the simulations of the relevant design parameter and two real precipitation events, acceptable resistance capacities for the decentralised plants and structures could be made visible. For the most part, the facilities and structures were adequately designed for the applied precipitation events, but did not have sufficient tolerance with regard to the flood heights. Furthermore, the evaluation of certain target values showed that some plants failed and caused additional flooding in the catchment area. However, all results could only be evaluated on the basis of single events. In order to be able to take current precipitation characteristics into account, this study should be re-evaluated with a long-term simulation.

Keywords:

design parameters, operational and maintenance procedures, future drainage systems, hydrodynamic surface runoff model, precipitation single events

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Symbolverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufgabenstellung	2
2 Grundlagen	3
2.1 Begriffserklärung	3
2.2 Entwässerungssysteme	6
2.3 Zentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers	7
2.3.1 Kanalisation	8
2.3.2 Anlagen und Bauten der Kanalisation	8
2.3.3 Abwasserreinigungsanlagen	9
2.3.4 Abscheideranlagen	9
2.4 Semizentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers	9
2.5 Dezentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers	10
2.5.1 Naturnahe Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	10
2.5.2 Gründächer	12
2.6 Niederschlagswasserbecken	13
2.7 Hydrologische und hydraulische Grundlagen	15
2.7.1 Berechnungsverfahren	15
2.7.2 Niederschlagsdatenformate	17
2.8 Modellaufbau	21
2.8.1 SWMM - Modell	21
2.8.2 Integriertes 1D-2D Modell	22
3 Zukünftige Ansätze der urbanen Entwässerung	25
3.1 Urbane Resilienz	28
3.2 3 Points Approach	29

4	Bemessungsgrößen der Anlagen und Bauten	31
4.1	Der D-A-CH Raum	31
4.1.1	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	31
4.1.2	Niederschlagswasser- und Mischwasserkanäle	32
4.1.3	Mischwasserentlastungen	37
4.1.4	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten	40
4.1.5	Naturnahe Maßnahmen der dezentralen Niederschlagswasserbe- wirtschaftung	41
4.1.6	Niederschlagswasserrückhalteräume	46
4.1.7	Betrieb und Wartung von Niederschlagswasserbecken	48
4.1.8	Gründächer	48
4.2	Zusammenfassung und Fazit der Literaturrecherche	50
5	Oberflächenabflussmodelle	55
5.1	Die zwei fiktiven Einzugsgebiete und die Szenarien	55
5.1.1	Einzugsgebiet 1: Urbanes Gebiet	56
5.1.2	Einzugsgebiet 2: Rurales Gebiet	58
5.2	Vorbemessung der in den Einzugsgebieten angewandten Anlagen und Bauten	60
5.2.1	Einzugsgebiet 1 und 2: Ist-Zustand - zentrale Anlagen	60
5.2.2	Einzugsgebiet 2: Ist-Zustand - dezentrale Anlagen	60
5.2.3	Einzugsgebiet 1 und 2: Szenario 1	64
5.2.4	Einzugsgebiet 1: Szenario 2	65
5.2.5	Einzugsgebiet 2: Szenario 2	69
5.2.6	Einzugsgebiet 1: Szenario 3	70
5.3	Datengrundlage zur Modellerstellung und Simulation	73
5.3.1	Digitales Geländemodell	73
5.3.2	Niederschlagsdaten	74
5.3.3	Klimadaten	76
5.4	Modellaufbau	77
5.4.1	Modellierungsparameter	80
5.4.2	Simulationsoptionen	85
5.4.3	Modelle	87
5.4.4	Erstellung der Szenarien	88
5.5	Zusammenfassung der Modellerstellung	89
6	Modellergebnisse	91
6.1	Bewertungsmatrix	91

6.2	Vergleich 1: IST zu SZENARIO für Einzugsgebiet 1 - Urbanes Gebiet . . .	93
6.3	Vergleich 2: BEMESSUNG zu REAL für Einzugsgebiet 1 - Urbanes Gebiet	101
6.4	Vergleich 1: IST zu SZENARIO für Einzugsgebiet 2 - Rurales Gebiet . . .	102
6.5	Vergleich 2: BEMESSUNG zu REAL für Einzugsgebiet 2 - Rurales Gebiet	109
7	Diskussion der Modellergebnisse	111
7.1	Urbanes Gebiet	111
7.2	Rurales Gebiet	115
8	Fazit und Ausblick	119
	Literaturverzeichnis	123
	Anhang	131

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Übersichtsskizze eines Mischwassersystems - Zentrale Abwasserbehandlung (abgeändert nach Gujer (2007))	8
Abbildung 2.2:	Maßnahmen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung (Grimm Roland, 2016; Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V, 2020)	10
Abbildung 2.3:	Die Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung (abgeändert nach Krebs et al. (2017) und AGE (2008))	11
Abbildung 2.4:	Beispiel einer Gestaltung eines öffentlichen Platzes mit naturnahen Maßnahmen in Form von Retentionen zur Aktivierung der Versickerung und Verdunstung	12
Abbildung 2.5:	Übersicht der Systematik der Niederschlagswasserbecken in der Siedlungswasserwirtschaft (abgeändert nach Gujer (2007))	13
Abbildung 2.6:	Beispiel eines in die Landschaft integrierten Niederschlagswasserrückhaltebeckens in Graz-Umgebung	14
Abbildung 2.7:	Anwendungsbereiche der Verfahren zur Abflusssimulation nach ÖNORM EN 752 (2008)	16
Abbildung 2.8:	Beispiel von Niederschlagsintensitätskurven (Toffol, 2006)	18
Abbildung 2.9:	Beispiel des Niederschlagsdatenformates Blockregen (Toffol, 2006)	19
Abbildung 2.10:	Beispiel der Berechnungsprozedur zum Euler-Modellregen Typ II. D ist die Niederschlagsdauer und h_n die Niederschlagshöhe eines Bemessungsniederschlags (Toffol, 2006)	20
Abbildung 3.1:	Wasserkreislauf in natürlichen Systemen (links), Urbane Fläche ohne Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) (mitte), Urbane Fläche mit SUDS (rechts) (abgeändert nach Hoyer et al. (2011))	25
Abbildung 3.2:	Schematische Skizze des Prinzipes einer Spongecity mit allen wichtigen naturnahen Maßnahmen (Drainage Services Department, 2017)	26
Abbildung 3.3:	Das SUDS-Dreieck	27
Abbildung 3.4:	Die Komponenten von WSUD - Water Sensitive Urban Design (Hoyer et al., 2011)	29
Abbildung 3.5:	Das Schema des 3 Points Approach (3PA). Beide Achsen werden logarithmisch dargestellt. (Fratini et al., 2012)	30

Abbildung 4.1:	Tabelle 3: Regelintervalle für die Überwachung und Wartung nach Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a)	37
Abbildung 4.2:	<i>Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten</i> nach Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007)	38
Abbildung 4.3:	<i>Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten</i> nach Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007)	39
Abbildung 4.4:	Beispiel eines regionsspezifischen Bemessungsdiagrammes der Schweiz für die Zone Alpen (VSA, 2019a; SN 640 350, 2005) . . .	45
Abbildung 5.1:	Einzugsgebiet 1: URBANES Gebiet: (a) IST-Zustand, (b) Szenario 1	57
Abbildung 5.2:	Einzugsgebiet 1: URBANES Gebiet: (a) Szenario 2 und (b) Szenario 3	58
Abbildung 5.3:	Einzugsgebiet 2: RURALES Gebiet: (a) IST-Zustand ,(b) Szenario 1 und (c) Szenario 2	59
Abbildung 5.4:	Schema einer Sickermulde mit Drainagerohr nach ÖNORM B 2506-1 (2013)	61
Abbildung 5.5:	Eingabeparameter nach ÖNORM B 2506-1 (2013) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) für die Vorbemessung der Versickerungsmulden im EZG 2	64
Abbildung 5.6:	Aufbau eines Gründaches mit wurzelfester Abdichtung als Wurzelschutzsystem (nach ÖNORM L 1131 (2010))	65
Abbildung 5.7:	Entwässerungsflächen im EZG 1: Szenario 2 mit zugehörigen naturnahen Maßnahmen	66
Abbildung 5.8:	Eingabeparameter nach ÖNORM B 2506-1 (2013) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) für die Vorbemessung der Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2	68
Abbildung 5.9:	Empirische Berechnung des Abminderungsfaktors nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013)	71
Abbildung 5.10:	Eingabeparameter nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) für die Bemessung des Retentionsvolumens am Marktplatz	72
Abbildung 5.11:	Höhenverlauf des realen Digitalen Gelände Modelles (DGM) aus Graz-Andritz in m ü. A. als Grundlage für das DGM der fiktiven Einzugsgebiete	74
Abbildung 5.12:	Reales Einzelereignis vom 17.06.2020 17:00-21:00 in Graz	75

Abbildung 5.13: Reales Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020 17:00-22:00 in Graz	76
Abbildung 5.14: Bounding-Layer des Urbanen Gebietes mit Netzgeometrien & - größen und Hindernisse	78
Abbildung 5.15: Bounding-Layer des Ruralen Gebietes mit Netzgeometrien & - größen und Hindernisse	79
Abbildung 5.16: Urbanes Gebiet - finales Modell des IST-Zustandes	87
Abbildung 5.17: Rurales Gebiet - finales Modell des IST-Zustandes	88
Abbildung 5.18: Bearbeitetes DGM mit verankerten Einstauhöhen der Versicke- rungsanlagen - Urbanes Einzugsgebiet Szenario 2	89
Abbildung 6.1: Bewertungsmatrix der Ergebnisse - eingeteilt in Szenarien und verwendete Niederschlagsdaten	92
Abbildung 6.2: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$	94
Abbildung 6.3: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 1: Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$	95
Abbildung 6.4: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Reales Ereignis vom 17.06.2020, $D=3\text{h}11\text{min}$	96
Abbildung 6.5: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 1: Reales Ereignis vom 17.06.2020 $T_n=\text{max. } 6,4a$, $D=3\text{h}11\text{min}$	98
Abbildung 6.6: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Strakniederschlagsereignis vom 13.08.2020, $D=4\text{h}08\text{min}$	99
Abbildung 6.7: Abflussganglinie des Auslasses unteren Ende des letzten Kanal- stranges - Einzugsgebiet 1: Starkniederschlagsereignis 13.08.2020, $T_n=\text{max. } 90,4a$, $D=4\text{h}08\text{min}$	101
Abbildung 6.8: Einzugsgebiet 2 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$	103
Abbildung 6.9: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$	104
Abbildung 6.10: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Reales Ereignis vom 17.06.2020, $D=3\text{h}11\text{min}$	105
Abbildung 6.11: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Reales Ereignis vom 17.06.2020 $T_n=\text{max. } 6,4a$, $D=3\text{h}11\text{min}$	107

Abbildung 6.12: Einzugsgebiet 2 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020, D=4h08min	107
Abbildung 6.13: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Starkniederschlagsereignis 13.08.2020, Tn= max. 90,4a D=4h08min	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Bemessungsniederschlagshäufigkeiten für das einfache Verfahren nach ÖNORM EN 752 (2008)	33
Tabelle 4.2:	Überflutungshäufigkeiten für das komplexe Verfahren nach ÖNORM EN 752 (2008)	34
Tabelle 4.3:	Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis für Neuplanungen und nach Sanierungen nach Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006)	35
Tabelle 4.4:	Wartungs- und Kontrollintervalle von Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten nach Regelblatt 16 (ÖWAV, 2006)	41
Tabelle 4.5:	Häufigkeit des Bemessungsniederschlages nach vorherigem Regelblatt 35 (ÖWAV, 2003)	42
Tabelle 4.6:	Jährlichkeit und Häufigkeit des Bemessungsniederschlages für dezentrale Versickerungsanlagen nach ÖNORM B 2506-1 (2013), Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005)	42
Tabelle 4.7:	Jährlichkeit und Häufigkeit des Bemessungsniederschlages für zentrale Versickerungsanlagen nach Arbeitsblatt A 138 (DWA, 2005)	42
Tabelle 4.8:	Jährlichkeit des Niederschlagsereignisses bei größeren Beeinträchtigungen zur Errichtung einer Retentionsmöglichkeit nach Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b)	43
Tabelle 4.9:	Dimensionierungsjährlichkeiten von Versickerungs- und Retentionsanlagen nach Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter nach der Richtlinie für Abwasserbehandlung (VSA, 2019b)	44
Tabelle 4.10:	Jährlichkeit und Niederschlagsdauer des Bemessungsniederschlages für die Entwässerung von Dächern nach ÖNORM B 2501 (2016)	49
Tabelle 4.11:	Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen der Kanalisation, Mischwasser-Entlastungen und Abscheideranlagen	53
Tabelle 4.12:	Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen von naturnahen Maßnahmen, Niederschlagsrückhalteräume und Gründächern	54
Tabelle 5.1:	Querschnittsannahmen für die Sammler des Kanalnetzes im EZG 1 und EZG 2: Ist-Zustand	60
Tabelle 5.2:	Abflusswirksame berechnete Gesamtflächen und wirksame Versickerungsflächen für Flächenversickerungen im EZG 2: Ist-Zustand	62

Tabelle 5.3:	Abflusswirksame berechnete Gesamtflächen und wirksame Versickerungsflächen für Vorbemessung der Versickerungsmulden im EZG 2: Ist-Zustand	63
Tabelle 5.4:	Berechnete Einstauhöhen und gewählte Tiefen für Versickerungsmulden des EZG 2: Ist-Zustand	64
Tabelle 5.5:	Vorbemessung der Gründächer - Einzugsgebiet 1 und 2: Szenario 1	65
Tabelle 5.6:	Eingangsparameter und errechnete wirksame Versickerungsfläche für Weg-Flächenversickerung im EZG 1: Szenario 2	67
Tabelle 5.7:	Abflusswirksame berechnete Gesamtfläche und wirksame Versickerungsfläche für Vorbemessung der Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2	68
Tabelle 5.8:	Berechnete Einstauhöhen und gewählte Tiefen für Versickerungsanlagen des EZG 1: Szenario 2	69
Tabelle 5.9:	Abflusswirksame berechnete Gesamtfläche und wirksame Versickerungsfläche für Vorbemessung des Versickerungsgrabens im EZG 2: Szenario 2	69
Tabelle 5.10:	Abmessungen des Versickerungsgrabens im EZG 2: Szenario 2	70
Tabelle 5.11:	Bemessungsgrundlagen für die Vorbemessung des Rückhalteraaumes im EZG 1: Szenario 3	70
Tabelle 5.12:	Abmessungen des Retentionsraumes im EZG 1: Szenario 3	72
Tabelle 5.13:	Bemessungs-Blockregen für die Simulation der Modelle mit Bemessungsniederschläge lt. hydrographischen Dienst Österreich (eHYD, 2020)	75
Tabelle 5.14:	Bodencharakteristiken für Green-Ampt Infiltrationsfunktion nach Rawls und Miller (1983)	80
Tabelle 5.15:	Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydrologische Modell und die Szenarien	81
Tabelle 5.16:	Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydrologische Modell und die Szenarien	81
Tabelle 5.17:	Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane hydraulische Modell - 1D Komponenten	82
Tabelle 5.18:	Modellierungs- und Eingangsparameter für das rurale hydraulische Modell -1D Komponenten	82
Tabelle 5.19:	Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydraulische Modell - Oberflächen 2D Netz	83
Tabelle 5.20:	Eingangsparameter für die naturnahen Maßnahmen der urbanen und ruralen Szenarien - Teil 1	84

Tabelle 5.21: Eingangsparameter für die naturnahen Maßnahmen der urbanen und ruralen Szenarien - Teil 2	85
Tabelle 5.22: Simulationsoptionen für das urbane und rurale Modell	86
Tabelle 6.1: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für Bemessungsgröße Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min	94
Tabelle 6.2: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für reales Ereignis $T_n= \max. 6,4a$, $D=3h11$ min	97
Tabelle 6.3: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für Starkniederschlagsereignis $T_n= \max. 90,4a$, $D=4h08$ min	100
Tabelle 6.4: Vergleich Bemessung zu Real: max. Wasserstandshöhen in den Anlagen - EZG 1: Urbanes Gebiet	102
Tabelle 6.5: Ergebnisse des EZG 2: Rurales Gebiet für Bemessungsgröße Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min	104
Tabelle 6.6: Ergebnisse des EZG 2: Urbanes Gebiet für Reales Ereignis $T_n= \max. 6,4a$, $D=3h11$ min	106
Tabelle 6.7: Ergebnisse des EZG 2: Urbanes Gebiet für Starkniederschlagsereignis $T_n= \max. 90,4a$, $D=4h08$ min	108
Tabelle 6.8: Vergleich Bemessung zu Real: max. Wasserstandshöhen in den Anlagen - EZG 2: Rurales Gebiet	110
Tabelle 7.1: Übersichtstabelle der Modellergebnisse für alle Niederschlagstypen - Urbanes Gebiet EZG 1	112
Tabelle 7.2: Übersichtstabelle der Modellergebnisse für alle Niederschlagstypen - Rurales Gebiet EZG 2	116

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
CEN	Comité Européen de Normalisation
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
MWK	Mischwasserkanal
SWK	Schmutzwasserkanal
NWK	Niederschlagswasserkanal
RWK	Regenwasserkanal
MÜ	Mischwasserüberlauf
MRB	Mischwasserrückhaltebecken
RB	Regenbecken
NB	Niederschlagswasserbecken
RRB	Regenrückhaltebecken
NRB	Niederschlagswasserrückhaltebecken
RRR	Regenrückhalteräume
NRR	Niederschlagswasserrückhalteräume
RKB	Regenklärbecken
NKB	Niederschlagswasserklärbecken
RÜB	Regenüberlaufbecken
MÜB	Mischwasserüberlaufbecken
FB	Fangbecken
DB	Durchlaufbecken
VB	Verbundbecken
SK	Stauraumkanal
LID	Low Impact Development
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
BGD	BlueGreenSolutions

WSUD	Water Sensitive Urban Design
LIUDD	Low impact urban design and development
BMP	Best Management Practices
3PA	3 Points Approach
ZSK	Zentraler Speicherkanal
D-A-CH	Deutschland, Österreich, Schweiz
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
VÖB	Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke
SWMM	Stormwater Management Model
DGM	Digitales Geländemodell
EZG	Einzugsgebiet
RS	Retentionsstreifen
RSF	Retentionsfläche
VM	Versickerungsmulde
NS	Nebenstraße
OÖ	Oberösterreich
ÜF	Überflutungsflächen

Symbolverzeichnis

ψ_s	—	mittlerer Abflussbeiwert für Oberflächen
ψ_{s1}	—	Abflussbeiwert für Grünflächen: <0,5; gew. 0,4
ψ_{s2}	—	Abflussbeiwert für Ziegel-Schrägdach: 0,9
ψ_{s2}	—	Abflussbeiwert für Kies-Flachdach: 0,8
ψ_{s3}	—	Abflussbeiwert für Pflasterungen mit offenen Fugen: 0,5
ψ_{s4}	—	Abflussbeiwert für Straßen: 0,9
ψ_{s5}	—	Abflussbeiwert für Geh- & Radwege: 0,9
T_n	a	Jährlichkeit eines Niederschlagsereignisses
n	1/a	Häufigkeit eines Niederschlagsereignisses
h_n	mm	Bemessungsniederschlag
$r_{D,Tn}$	l/s * ha	Niederschlagsspende
D	min	Niederschlagsdauer
i	mm/min	Intensität eines Niederschlagsereignisses
Q_{Dr}	l/s	Drosselabfluss
q_{Dr}	l/s * ha	Drosselabflussspende
n_u	1/a	Überstauhäufigkeit
x	—	Anzahl der Ereignisse mit Überstau je Schacht
M	—	Anzahl der Jahre, die der Niederschlagsserie zugrunde liegen
$r_{720,1}$	l/s * ha	Niederschlagsspende D=12h, Tn=1a
t_f	min	Rechnerische Fließzeit im Kanalnetz bei Vollfüllung
h_s	m	Stauhöhe bei Versickerungsanlagen
f_z	—	Zuschlagsfaktor bei Bemessung von Versickerungsanlagen und NRR
f_a	—	Abminderungsfaktor bei Bemessung von NRR
A_s	m ²	wirksame Versickerungsfläche
A_{ent}	m ²	abflusswirksame berechnete Gesamtfläche
k_f	m/s	Sickerfähigkeit

Symbolverzeichnis

v_f	mm/min	Sickergeschwindigkeit
β	–	Sicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung einer Verschlämmung
V	m ³	Volumen

1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Motivation, die Aufgabenstellung und die Zielsetzung dieser Arbeit genauer beschrieben. Des Weiteren wird aus diesen drei Punkten die Fragestellung der Arbeit ausgearbeitet.

1.1 Motivation

Die Wasserwirtschaft entwickelte sich im 18. Jahrhundert, um die Bereitstellung von Wasser für den Betrieb der Bergwerke ermöglichen zu können (Maniak, 2016). Dieser Begriff definiert sich dieser Tage anders. Heute ist die Ordnung aller menschlichen Einwirkungen auf das ober- und unterirdische Wasser gemeint (Maniak, 2016). Die wesentlichen Grundbausteine der Wasserwirtschaft sind die Wassergüte und die Ökologie (Maniak, 2016). Teil der Wasserwirtschaft ist die Siedlungswasserwirtschaft, die sich mit Trinkwasser, Abwasser, Betriebswasser und Niederschlagswasser im Bereich von Siedlungen beschäftigt (KHT Media GmbH, 2020). Allgemeine Entwässerungssysteme dienen zum Sammeln und Ableiten von Abwasser (ÖNORM EN 752, 2008). Entwässerungssysteme sind ein wichtiger Bestandteil um hygienische Verhältnisse für alle Lebewesen und die Nutzbarkeit der Siedlungsflächen zu gewährleisten (DWA, 2006). Außerdem dienen sie dazu, weitreichende Schäden durch Überflutung zu vermeiden (DWA, 2006). Eine weitere essentielle Aufgabe eines Entwässerungssystems ist die Sicherstellung von sauberem Trinkwasser, indem dieses vor Verunreinigungen geschützt wird (ÖNORM EN 752, 2008). Entwässerungssysteme bestehen aus unterschiedlichen Anlagen und Bauten, um jene erwähnten Punkte sicherstellen zu können und die Funktion aufrecht zu erhalten. Die Grundlage zur Planung von Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft wird von Bemessungsgrößen dargestellt. Ein Beispiel dazu ist der sogenannte Bemessungsniederschlag (Weilguni, 2018). Verschiedene Normen und Regelblätter geben hinsichtlich der Bemessungsgrößen für Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft spezifische Empfehlungen ab. Betrieb und Wartung tragen einen essentiellen Beitrag zur Funktionalität der Anlagen und Bauten bei. Beide Kriterien sind in der Literatur vorhanden. Durch Auftreten von Starkniederschlagsereignissen werden die auf bestimmte Bemessungsgrößen dimensionierten Anlagen und Bauten dementsprechend belastet (Zahnt et al., 2018). Bei Vernachlässigung der Betriebs- und Wartungsarbeiten kann dieser Effekt noch verstärkt werden. Alle Betrachtungen hinsichtlich der Entwicklung von Entwässerungssysteme gehen aus diesem Grund stets von einwandfreien und voll funktionsfähigen Anlagen und Bauten aus. Hinweise außerhalb des Bemessungsereignisses sind in der Literatur schwer zu finden.

Daher stellt sich die Frage, was passiert mit den Anlagen und Bauten jenseits des Bemessungsereignisses, und welche Anlagen haben welchen Effekt bezüglich Überflutungsprävention? Wie verhalten sich Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft, und wie müssen die urbanen Entwässerungssysteme zukünftig gestaltet werden, um mit Bevölkerungszuwächse und dem Klimawandel umgehen zu können?

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, Hinweise zum und außerhalb des Bemessungsereignisses von Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft zu finden. Dafür sind aussagekräftige Zielgrößen notwendig. Hier ist von Bedeutung, wie bestimmte Parameter, wie der Oberflächenabfluss oder die gesamte Überflutungsfläche in einem Einzugsgebiet, durch den gezielten Einsatz von Anlagen und Bauten, beeinflusst werden. Die übergeordnete Fragestellung ist daher: Welche sind die relevanten Bemessungsgrößen, Hinweise zu Betrieb- und Wartungsvorgängen von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen und Bauten, und was passiert mit diesen, wenn diese dem Bemessungsereignis und darüber hinaus ausgesetzt sind? Zudem soll eine etwaige konkrete Antwort durch diese Arbeit auf die gestellte Frage gefunden werden. Allfällige Nicht-Antworten sind jedenfalls zu begründen und dokumentieren.

1.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, die relevanten Bemessungsgrößen für die Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft zu sammeln und übersichtlich darzustellen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den relevanten Jährlichkeiten bestimmter Niederschlagsereignisse. Des Weiteren sind Hinweise zu den Betriebs- und Wartungsintervallen bzw. -vorgängen der Anlagen und Bauten von Bedeutung und ebenso zu dokumentieren. Für diesen Teil der Arbeit werden die Länder Deutschland, Österreich, Schweiz (D-A-CH) betrachtet. Falls etwaige Ergebnisse und Anmerkungen hinsichtlich jenseits des Bemessungsereignisses und der Resilienz vorhanden sind, sind diese bei Bedarf zu erwähnen. Aufbauend auf den gefundenen Ergebnissen bezüglich der Bemessungsgrößen wird anschließend ein Oberflächenabflussmodell mit zwei fiktiven Einzugsgebieten und einer Auswahl an bestimmten Anlagen und Bauten erstellt. Die Modellierung der fiktiven Einzugsgebiete wird an reale Einzugsgebiete angelehnt. Die Ergebnisse werden am Ende diskutiert und daraus ein Fazit gezogen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden Begriffe und die verschiedenen Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft erklärt. Diese sind wichtig, um einen Überblick der unterschiedlichen Einteilung zur Abwasserbehandlung und den dazugehörigen Anlagen und Bauten zu erlangen.

Des Weiteren werden die hydrologischen und hydraulischen Grundlagen sowie der Modellaufbau für die Simulation des Oberflächenabflussmodelles erklärt.

2.1 Begriffserklärung

Niederschlagswasser

Niederschlagswasser ist jenes Wasser, das bei einem Niederschlagsereignis auf eine Oberfläche fällt. Wenn es nicht direkt versickert, sondern über eine Oberfläche abfließt, wird es Niederschlagsabwasser genannt (VSA, 2019a).

Schmutzwasser

Definiert sich als das anfallende Abwasser von Haushalten, Betrieben oder Industrie.

Komponenten des natürlichen Wasserkreislaufes

Der natürliche Wasserkreislauf bildet einen Kreis aus Gleichgewicht zwischen Niederschlag, Versickerung, Oberflächenabfluss, Verdunstung und Kondensation (Hoyer et al., 2011).

Starkniederschlagsereignis

Bei einem Starkniederschlagsereignis tritt eine große Niederschlagsmenge je Zeiteinheit auf. Als Starkniederschlag gelten jene Ereignisse, die mit einer Jährlichkeit von $T_n = 1$ a oder seltener auftreten (Deutscher Wetterdienst, 2020).

Jährlichkeit [T_n in a]

Die mittlere Wahrscheinlichkeit, wie oft ein Niederschlagsereignis tatsächlich auftritt. Die Jährlichkeit ist der Kehrwert der Häufigkeit und nimmt mit selteneren Ereignissen zu (ÖWAV, 2009). Die Jährlichkeit wird vorrangig in Österreich und der Schweiz verwendet.

$$T_n = 5 \text{ a} = 1 \text{ mal in } 5 \text{ Jahren} \quad (2.1)$$

Häufigkeit [n in 1/a]

Anzahl der Niederschlagsereignisse, die im Mittel innerhalb eines Jahres einen Wert erreichen oder überschreiten. Die Häufigkeit ist der Kehrwert der Jährlichkeit und nimmt mit selteneren Ereignissen ab (ÖWAV, 2009). Die Häufigkeit wird in deutscher Literatur vorrangig verwendet.

$$n = 0,2 \quad 1/a = 0,2 \text{ mal in 1 Jahr} \quad (2.2)$$

Bemessungsniederschlag [h_n in mm]

Der Bemessungsniederschlag wird für die Planung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen und Bauten herangezogen (Weilguni, 2018). In dieser Arbeit wird der Begriff Bemessungsniederschlag verwendet. In der Literatur kann der Bemessungsniederschlag öfters mit Bemessungsregen bezeichnet sein. Diese beiden Begriffe können in ihrer Bedeutung jedoch gleichgesetzt werden. Anlagen und Bauten unterliegen Bemessungsgrößen, die in Normen und Regelblättern empfohlen werden. Der wesentliche Bestandsfaktor des Bemessungsniederschlages ist die Jährlichkeit (Wiederkehrzeit T), die Intensität und die Niederschlagsdauer (Dauerstufe D [min]) eines Niederschlagsereignisses (ÖWAV, 2015b).

Niederschlagsspende [$r_{D,Tn}$ bzw. $r_{D,n}$ in l/s*ha]

Das Volumen des Niederschlages steht im Verhältnis zu der Zeit und der Fläche; beinhaltet die Niederschlagsdauer und die Jährlichkeit/Häufigkeit (DWA, 2013). In der Literatur wird dieser Begriff manchmal auch als Regenspende bezeichnet. Diese Arbeit verwendet den Begriff der Niederschlagsspende und kann mit der Regenspende gleichgesetzt werden.

Berechnung der Niederschlagsspende:

Grundstein der Niederschlagsspende ist der Bemessungsniederschlag, welcher für einzelne Gebiete auf der Homepage des Österreichischen Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (eHYD, 2020) abgerufen werden kann. Dort sind für ganz Österreich Gitterpunkte mit den entsprechenden Niederschlagsdaten bereitgestellt. In Deutschland können diese Informationen beim Deutschen Wetterdienst und in der Schweiz beim Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) bezogen werden. Der Bemessungsniederschlag wird in der Einheit [mm] mit Niederschlagsdauern von 5 Minuten bis zu 6 Tagen und Jährlichkeiten von 1-100 angegeben.

Beispiel der Niederschlagsspende $r_{15,5}$ für den Gitternetzpunkt 2949 Gunskirchen, Wels-Land, Oberösterreich (OÖ) (siehe Anhang C):

$$h_n(D = 15min, Tn = 5a) = 19,9 \text{ mm} \equiv 19,9 \text{ l/m}^2 \quad (2.3)$$

$$r_{15,5} = \frac{19,9 \text{ mm} * 10.000 \text{ m}^2}{15 \text{ min} * 60 \text{ s}} = 221,1 \text{ l/s} * \text{ha} \quad (2.4)$$

Überflutung

Eine Überflutung definiert sich als ein bestimmtes Ereignis, bei dem Schmutzwasser oder Niederschlagswasser entweder aus einem Entwässerungssystem austritt oder nicht mehr aufgenommen werden kann und dann auf Oberflächen zurückbleibt oder in Gebäude eindringt. Bei Überflutungen treten immer Schäden auf. (DWA, 2016).

Überflutungsrisiko

Ein Überflutungsrisiko ist die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit eines Überflutungsereignis und den potenziellen negativen Auswirkungen für die menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe und die wirtschaftlichen Aktivitäten verbunden mit einem Überflutungsereignisses (Vitale et al., 2019).

Überstau

Findet ein Überstau statt, tritt Wasser aus der Kanalisation aus und überschreitet somit ein bestimmtes Bezugsniveau. Ein Überstau bedeutet jedoch nicht gleich eine Überflutung, da keine Schäden auftreten müssen. Das Bezugsniveau kann der Geländeoberkante gleichgesetzt werden. (DWA, 2016)

Dezentrale Versickerungsanlagen

Jene Versickerungsanlagen, die am Grundstück und am direkten Auftretungsort des Niederschlages errichtet werden (DWA, 2005).

Zentrale Versickerungsanlagen

Versickerungsanlagen, die das anfallende Niederschlagswasser mehrerer Grundstücke ableiten (DWA, 2005).

maßgebliche Niederschlagsdauer [D in min]

Dauer eines Niederschlagsereignisses, die Teil des Bemessungsniederschlages zur Dimensionierung von Anlagen und Bauten ist (ÖNORM B 2506-1, 2013).

Intensität [i in mm/min]

Die Intensität eines Niederschlagsereignisses wird durch den Bemessungsniederschlag und die gewählte Niederschlagsdauer definiert (ÖNORM B 2506-1, 2013).

$$i_{15,5} = \frac{19,9 \text{ mm}}{15 \text{ min}} = 1,33 \text{ mm/min} \quad (2.5)$$

Drosselabfluss [Q_{Dr} in l/s]

Definiert den reduzierten Abfluss unterhalb eines Niederschlagsrückhalteraumes (DWA, 2013).

2.2 Entwässerungssysteme

Im europäischen Raum kommt vor allem die Schwemmkanalisation (Maniak, 2016) als Abwasserentsorgungssystem zum Einsatz. Bis 1990 war das vorwiegende Ziel in der Planung der Entwässerung, das Abwasser schnell aus Siedlungen abzuleiten (Gujer, 2007). Die Schwemmkanalisation kann in ein Mischwasser- und ein Trennwassersystem eingeteilt werden (Creative Commons, Austria Forum, 2019). Anfangs wurde das gesamte Abwasser in einem Mischwasserkanal gesammelt und in das nächstliegende Gewässer abgeleitet. Zu diesen Abwässern zählen das Schmutzwasser aus Haushalten, Industrie, Landwirtschaft und sonstigen Abflüssen sowie das Wasser resultierend aus Niederschlagsereignissen. Im Laufe der Jahre wurden Abwasserreinigungsanlagen (ARA) am Ende eines Kanalsystems errichtet. Diese sind jedoch nur auf einen bestimmten Zufluss ausgelegt und erfordern bei größeren Niederschlagsereignissen eine hydraulische Entlastung. Im Mischwassersystem sind hier bestimmte Anlagen und Bauten notwendig, um eine Entlastung zu erzielen. Mischwasserkanäle werden aus historischen Gründen überwiegend im urbanen Bereich vorgefunden. Im Trennwassersystem werden Schmutzwasser und Niederschlagswasser in separaten Kanälen geführt und erleichtern den Zufluss zur ARA, da nur das Schmutzwasser zur ARA geleitet wird. Im Trennsystem wird das Niederschlagswasser in separate Bauten zum Zwischenspeichern oder direkt Klären abgeleitet. Die Kanalisation und die zugehörigen Anlagen und Bauten gehören zur Mischwasserbewirtschaftung und sind Teil einer zentralen Behandlung, die bis 1990 vorwiegend in der Planung der Entwässerungssysteme angewendet wurde (Gujer, 2007). Ab 1990 entwickelte sich aufgrund von öfters auftretenden Starkniederschlagsereignissen (Zahnt et al., 2018) ein Umdenken in der Planung von Entwässerungssystemen. Es entwickelten sich modifizierte Abwassersysteme, die eine konkrete Niederschlagswasserbewirtschaftung vorsehen (Gujer, 2007). In der Niederschlagswasserbewirtschaftung sind die im deutschsprachigen Raum sogenannten *naturnahen Maßnahmen* (DWA, 2005) beinhaltet. Ein aktuell häufig benutzter Begriff ist jener der *Schwammstadt oder Spongecity* (Sieker, 2020b). Unter beiden Begriffen sind Maßnahmen der dezentralen Niederschlagswasserbehandlung (Krebs et al., 2017) gemeint, die im Kapitel 2.5 näher erläutert werden.

Die Idee hinter der Niederschlagswasserbewirtschaftung ist, das anfallende teilweise verschmutzte Niederschlagswasser noch vor dem Einleiten in die Kanalisation am Auftretungsort zu klären bzw. den Abfluss zu verhindern oder zu vermindern und durch Begrünung von Oberflächen die Rekonstruktion des natürlichen Wasserkreislaufes zu fördern (Sieker, 2020b). Eine detaillierte Beschreibung über aktuelle Ansätze zukünftiger Entwässerungssysteme befindet sich im Kapitel 3.

2.3 Zentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers

Bei der zentralen Abwasserbehandlung besitzt jede Einheit einen eigenen Anschluss zu den Sammlern der Misch- oder Trennkanalisation. Das anfallende Abwasser unterteilt sich hierbei in Schmutz- und Niederschlagswasser (Nowak, 2014). Die zentrale Behandlung enthält zusätzlich zu den Kanälen, weitere Anlagen und Bauten. In Abbildung 2.1 ist eine Übersichtsskizze eines zentralen Mischwasserbehandlungssystems ersichtlich. Ein Beispiel eines zentralen Bauwerkes ist der Mischwasserüberlauf (MÜ), der bei großen Niederschlagsereignissen, aktiviert wird. Ein MÜ hat die Aufgabe, die Abwasserreinigungsanlage (ARA) hydraulisch zu entlasten. Die Reinigung des verschmutzten Abwassers in einer zentralen Anlage erfolgt vor der Einleitung in ein Gewässer. In urbanen Gebieten wird die Niederschlagswasserbehandlung und -ableitung aus historischen Gründen ebenso meistens zentral durchgeführt (Hoppe, 2017). Diese Entwicklung lässt sich aus dem Ansatz der schnellen Ableitung des Wassers aus Siedlungen ableiten (Gujer, 2007). In den letzten Jahren wurden durch das Auftreten von vermehrten Starkniederschlagsereignissen (Zahnt et al., 2018) die Abwassersysteme stark beansprucht. Starkniederschlagsereignisse führen zu einem Öfteren notwendigen Entlasten der ARA, dementsprechend wird ungereinigtes Abwasser ungeklärt in die Gewässer geleitet. Durch naturnahe Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung sollen die Böden und Gewässer besser geschützt werden (DWA, 2005). In der Zukunft soll die Niederschlagswasserbehandlung abgestimmt mit zentralen und dezentralen Anlagen kombiniert werden (Hoppe, 2017).

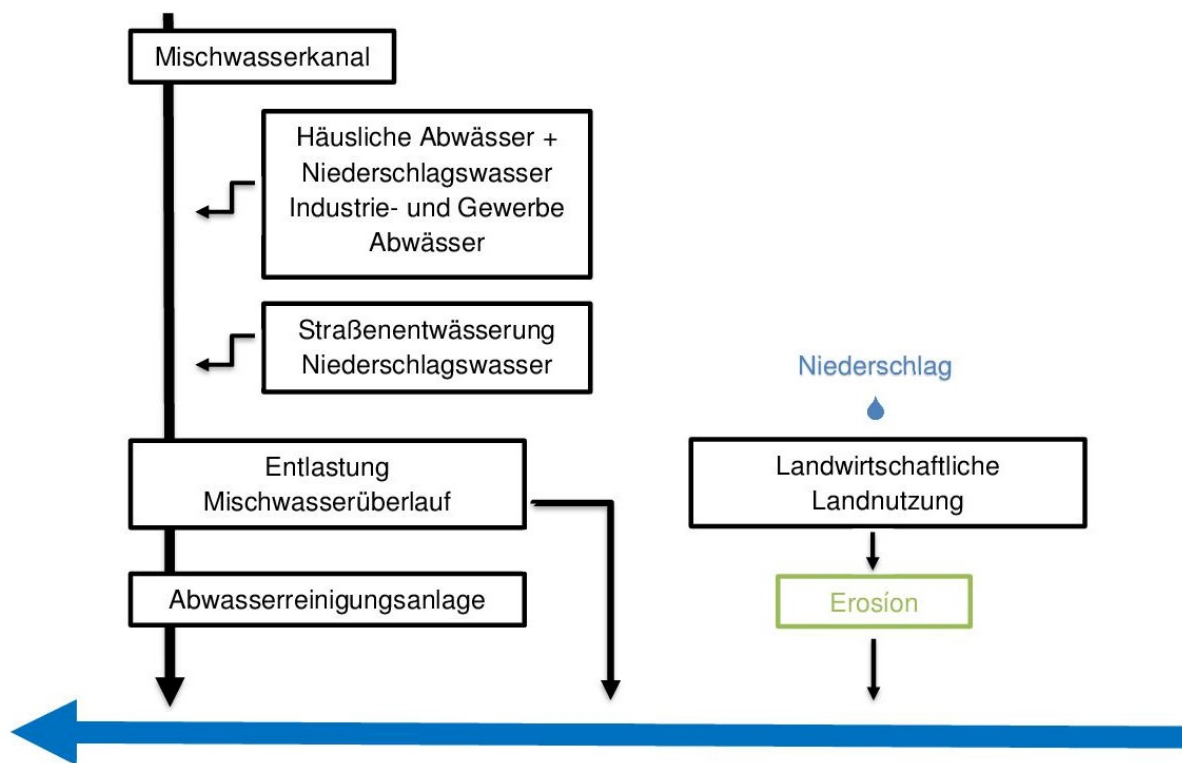


Abbildung 2.1: Übersichtsskizze eines Mischwassersystems - Zentrale Abwasserbehandlung (abgeändert nach Gujer (2007))

2.3.1 Kanalisation

Die Schwemmkanalisation ist Teil der zentralen Abwasserbehandlung und besteht aus verschiedenen Kanalsammlern mit unterschiedlichen Profilgrößen. Grundsätzlich werden die Kanäle mit genormten Profilen, Kreis- oder Eiprofil, ausgestattet und als Freispiegelleitungen geführt (Gujer, 2007). Die Kanalisationssysteme bestehen entweder aus einem Misch- oder einem Trennsystem. Im Anhang A befindet sich eine genaue Beschreibung des Kanalisationssystems.

2.3.2 Anlagen und Bauten der Kanalisation

Neben den Sammlern der Kanalisation beinhaltet die zentrale Abwasserbehandlung einige Anlagen und Bauwerke, die für den einwandfreien Betrieb notwendig sind. Diese Anlagen und Bauten werden im Anhang A genauer beschrieben. Das wichtigste Bauwerk der zentralen Behandlung ist der Mischwasserüberlauf, der zu den Entlastungsbauwerken gezählt wird.

2.3.3 Abwasserreinigungsanlagen

Abwasserreinigungsanlagen (ARA) werden vorwiegend als zentrale Anlagen angesehen, wobei eine dezentrale Anordnung durchaus möglich ist. Bei der zentralen Behandlung wird das gesamte Abwasser eines Gebietes in der Kanalisation gesammelt und zu einer am Ende platzierten ARA geleitet. Bei der dezentralen Anordnung besitzt jede zu entwässernde Einheit, entweder ein Grundstück oder mehrere kleine Grundstücke, eine eigene kleine ARA mit einer Einleitung in ein naheliegendes Gewässer (Nowak, 2014). Die ARA wird nicht Teil dieser Arbeit sein, da sie im Kanalnetz durch das letzte Bauwerk entkoppelt wird.

2.3.4 Abscheideranlagen

Abscheideranlagen werden angeordnet, um bestimmte Stoffe und Flüssigkeiten vor der Einleitung in das Entwässerungssystem abzusondern. Abscheideranlagen können in Fettabscheider für pflanzliche und tierische Öle/Fette und Leichtflüssigkeitsabscheider für Öl, Benzin oder Diesel (Mall GmbH Austria, 2019) sowie Amalgamabscheider und Sicherheitsabscheider unterschieden werden (Reblu GmbH, 2020). Des Weiteren gibt es noch Sand- und Kiesfänge, die Sedimente vor Eindringen ins Kanalsystem abhalten (ÖNORM EN 752, 2008). Die Abscheideranlagen arbeiten meistens nach dem Schwerkraftprinzip (Reblu GmbH, 2020). Da die Stoffe und Flüssigkeiten eine kleinere Dichte als das Wasser aufweisen, schwimmen sie oben auf. Durch die Bauart der Abscheideranlagen wird die Strömungsgeschwindigkeit des Abwassers verringert und die Stoffe und Flüssigkeiten werden dadurch abgesondert (Reblu GmbH, 2020). Abscheideranlagen sind auf Grundstücken überall dort anzuordnen, wo zuvor erwähnte Stoffe und Flüssigkeiten auftreten (DWA, 2007). Abscheideranlagen werden an Tankstellen und bei Restaurants angeordnet (Reblu GmbH, 2020).

2.4 Semizentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers

Eine semizentrale Behandlung wird definiert mit der Reinigung des verschmutzten Niederschlagswassers innerhalb eines Kanalsystemes. Diese Reinigung findet vor der Vermischung mit unbelastetem Niederschlagswasser statt (Hoppe, 2017). Ein Beispiel dafür wäre das Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) (Rieckermann et al., 2017).

2.5 Dezentrale Behandlung des Abwassers / Niederschlagswassers

Dezentrale Anlagen und Bauten zur Behandlung des anfallenden Abwassers sollen an dem Ort errichtet werden, an dem das Abwasser direkt anfällt. Bei diesen Überlegungen besitzt jede Einheit seine eigene kleine ARA und zusätzlich ist für jedes Grundstück einer Einheit eine Vorflut erforderlich (Nowak, 2014). Kleine ARA in Siedlungsgebieten bilden eher die Ausnahme, daher werden dezentrale Anlagen hauptsächlich zur Behandlung des Niederschlagswassers angewendet (Krebs, 2011). Damit sollen das schnelle Ableiten aus Siedlungen verringert und Anlagen und Bauten der zentralen Schwemmkanalisation entlastet werden. Der Abfluss des verschmutzten Niederschlagswassers wird demnach verhindert oder minimiert (Hoppe, 2017). In der Abbildung 2.2 sind naturnahe Maßnahmen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung ersichtlich.

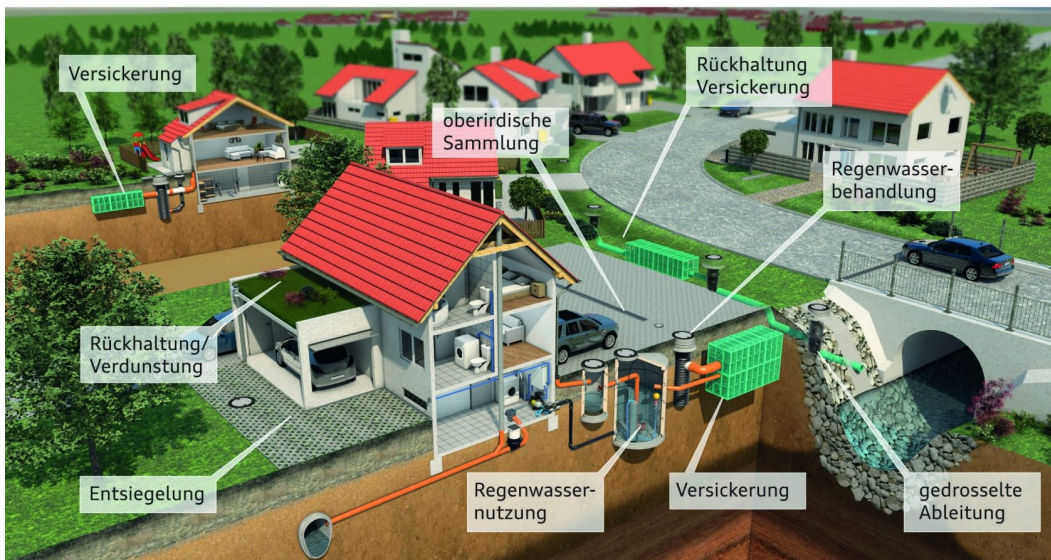


Abbildung 2.2: Maßnahmen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung (Grimm Roland, 2016; Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V, 2020)

2.5.1 Naturnahe Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Die naturnahen Maßnahmen und Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung zählen hauptsächlich zur dezentralen und teilweise semizentralen Behandlung des Niederschlagswassers. Die Grundideen der Niederschlagswasserbewirtschaftung beinhalten, die Vorfluter und Gewässer durch verunreinigtes entlastetes Mischwasser zu entlasten und die Neubildung von Grundwasser anzureichern (Gujer, 2007).



Abbildung 2.3: Die Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung (abgeändert nach Krebs et al. (2017) und AGE (2008))

Diese Philosophie wird durch die Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung erkenntlich gemacht (Abbildung 2.3). Demnach werden diese vier Punkte abgearbeitet und Anlagen und Bauten der dezentralen Behandlung errichtet. Das Gesamtkonzept der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung stellt die Verringerung der Direktabflüsse, die Nutzung, die Versickerung und die kontrollierte Ableitung des Niederschlagswassers dar (Krebs et al., 2017). Eine genauere Beschreibung der Methoden und der naturnahen Anlagen und Bauten befindet sich im Anhang A. In der Abbildung 2.4 ist ein Beispiel einer Platzgestaltung mit Retentionsmaßnahmen, die das anfallende Niederschlagswasser speichern und die Rekonstruktion des natürlichen Wasserkreislaufes fördern, sichtbar.



Abbildung 2.4: Beispiel einer Gestaltung eines öffentlichen Platzes mit naturnahen Maßnahmen in Form von Retentionen zur Aktivierung der Versickerung und Verdunstung

2.5.2 Gründächer

Gründächer sind ebenso ein essenzieller Teil der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung, denn durch die Speicherung des Niederschlagswassers am Ort des Auftretens des Niederschlages, wird eine rasante Ableitung in das Kanalisationssystem verhindert. Außerdem sind Gründächer natürliche Klimaanlage, die im Winter als Wärmedämmung dienen und im Sommer eine Kühlung erzeugen. Im Vergleich tritt bei einem Gründach ein 3-10% niedrigerer Wärmeverlust als bei einem Kiesdach auf (Hermes Sandra, 2020). Durch die Speicherung des Wassers verdunstet das Wasser, bindet den Feinstaub und verbessert somit das Umgebungsklima (Hermes Sandra, 2020). Grundsätzlich können Gründächer in extensive und intensive Begrünung eingeteilt werden. Wird ein Dach extensiv begrünt, können sich die verwendeten Pflanzenarten weitestgehend selbst erhalten und weiterentwickeln. Es werden spezielle Pflanzenarten mit einer hohen Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit verwendet (ÖNORM L 1131, 2010). Anders bei der Intensivbegrünung, hier werden Rasen-, Stauden- und Gehölzflächen bis hin zu Bäume verwendet. Diese Form der Dachbegrünung muss laufend mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden und stellt ebenso hohe Ansprüche an den Schichtaufbau (ÖNORM L 1131, 2010).

2.6 Niederschlagswasserbecken

In dieser Arbeit wird für Bauten der Speicherung, Retention und Klärung des Niederschlagswassers der Sammelbegriff Niederschlagswasserbecken (NB) benutzt. In der Literatur wird oft von Regenbecken (RB) gesprochen (Gujer, 2007). Beide Begriffe können als gleichwertig betrachtet werden. Da in dieser Arbeit jedoch bei der Speicherung, Retention und Klärung vom gesamtem Niederschlagswasser gesprochen wird, werden die Bauten dementsprechend bezeichnet. Des Weiteren muss für die in der Literatur oft verwendete Bezeichnung des Regenüberlaufbeckens (RÜB) (Gujer, 2007) eine weitere Umbenennung erfolgen. In dieser Arbeit wird der Begriff Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) für das bekannte Regenüberlaufbecken (RÜB) verwendet. Diese Becken dienen dem Speichern und Klären von Mischwasser. In der Abbildung 2.5 werden die unterschiedlichen NB systematisch aufgelistet und die Funktion der einzelnen Becken angeführt. Die NB sind Sonderbauwerke der Siedlungswasserwirtschaft, die sowohl im Misch- als auch im Trennsystem ihre Anwendung finden. Ebenso werden sie sowohl in der zentralen, semizentralen als auch in der dezentralen Abwasserbehandlung eingesetzt. Bei erhöhten Niederschlagsereignissen stellen sie Speichervolumen für Niederschlags-, Schmutzwasser oder Mischwasser zur Verfügung (Gujer, 2007).

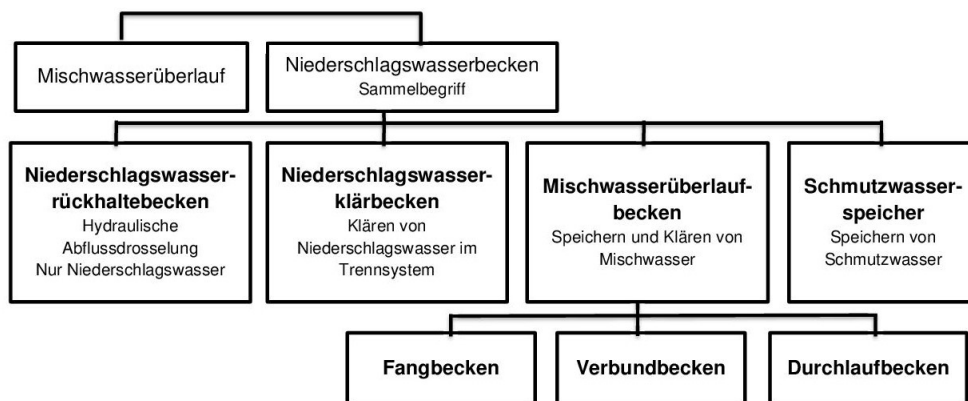


Abbildung 2.5: Übersicht der Systematik der Niederschlagswasserbecken in der Siedlungswasserwirtschaft (abgeändert nach Gujer (2007))

Niederschlagswasserrückhalteräume oder -becken

Niederschlagswasserrückhalteräume (NRR) oder Niederschlagswasserrückhaltebecken (NRB) werden dort angeordnet, wo bekanntlich mehr Niederschlag anfällt, als abgeleitet werden kann. Sie weisen ein großes Volumen auf und laufen meistens nur alle fünf Jahre über (Gujer, 2007).

NRR oder NRB können mit dem bekannten Begriff Regenrückhaltebecken (RRB) gleichgesetzt werden. NRR/NRB können temporär auch große Parkflächen darstellen, die dann eingestaut werden. Vereinzelt werden sie auch mit Biotopen kombiniert. Bei der Planung und Errichtung wird oft darauf geachtet, dass sie in die Landschaft integriert sind. NRR/NRB zählen zur dezentralen Behandlung des Niederschlagswassers. Sie werden an dem unmittelbaren Ort errichtet, an dem der Niederschlag auftritt. In der Abbildung 2.6 ist ein in die Landschaft integriertes NRB in Graz-Umgebung ersichtlich. Das Niederschlagswasserrückhaltebecken enthält ein Auslaufbauwerk mit einem bestimmten Drosselabfluss Q_{Dr} , das je nach Bedarf aktiviert werden kann.



Abbildung 2.6: Beispiel eines in die Landschaft integrierten Niederschlagswasserrückhaltebeckens in Graz-Umgebung

Niederschlagswasserklärbecken

Niederschlagswasserklärbecken (NKB) werden im Trennsystem der Schwemmkanalisation angewandt und zählen zur semizentralen Behandlung des Niederschlagswassers (Rieckermann et al., 2017). In der Literatur wird auch vom Regenklärbecken (RKB) gesprochen, das dem NKB gleich gesetzt werden kann. Sie werden dann eingesetzt, wenn ein erhöhtes verschmutztes anfallendes Niederschlagswasser erwartet wird (Gujer, 2007). NKB werden des Weiteren oft als Havariebecken errichtet. Diese kommen bei erhöhtem Risiko von Unfällen zum Einsatz, da sie diese vermindern sollen. Sie werden meistens in Industrie- und Gewerbebauten angeordnet, wo mit wassergefährdenden Stoffen gearbeitet wird oder ein erhöhtes Brandrisiko vorliegt, die Unfälle verursachen können (Gujer, 2007).

Mischwasserüberlaufbecken

Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) gehören wie die NKB zur semizentralen Behandlung des Abwassers (Rieckermann et al., 2017) und dienen zum Speichern und Klären von Mischwasser. Sie werden öfters auch Regenüberlaufbecken genannt. MÜB finden daher überwiegend Anwendung im Mischsystem und können wie folgt weiters eingeteilt werden:

- Fangbecken
- Verbundbecken
- Durchlaufbecken

MÜB können im Hauptschluss oder im Nebenschluss angeordnet werden. Im Hauptschluss erfolgt der Abfluss zur ARA nach dem Becken, das gesamte Abwasser fließt auch bei Trockenwetter durch das Becken durch (Gujer, 2007). Becken im Hauptschluss weisen konzeptionelle Schwachstellen in der Praxis auf und sollten daher nicht mehr errichtet werden (VSA, 2019a). Im Nebenschluss erfolgt der Abfluss des Abwassers vor dem Becken, bei Trockenwetter fließt das Abwasser dann nicht durch das Becken durch, sondern der Abfluss zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) erfolgt davor (Gujer, 2007). MÜB sind oft mit Sieben und Rechen ausgestattet. Diese dienen dazu, Grob- und Feinstoffe aus entlastetem Mischwasser zurück zu halten (Gujer, 2007). Eine genauere Beschreibung der MÜB befindet sich im Anhang A.

Schmutzwasserspeicher

Im Trennsystem werden oft Schmutzwasserspeicher dort angeordnet, wo ein Schmutzwasserkanal (SWK) in einen Mischwasserkanal (MWK) mündet. Das Schmutzwasser weist eine höhere Konzentration als das Mischwasser auf, daher wird das Schmutzwasser bei Niederschlagsereignissen zwischengespeichert und erst bei Trockenwetter wieder in den MWK geleitet (Gujer, 2007).

2.7 Hydrologische und hydraulische Grundlagen

2.7.1 Berechnungsverfahren

Zur Bemessung und Nachweisführung von Entwässerungssystemen, Anlagen und Bauten in der Siedlungswasserwirtschaft können unterschiedliche Berechnungsverfahren angewendet werden, die in der Abbildung 2.7 anhand deren Anwendungsbereiche aufgliedert sind. Diese werden in zwei unterschiedliche Verfahren eingeteilt (ÖNORM EN 752, 2008):

1. Einfaches Verfahren

Bei diesem Verfahren wird auf empirische Daten zurückgegriffen, und der Abfluss ist stationär und gleichförmig angenommen. Dieses Verfahren wird nur für kleine Entwässerungssysteme angewendet. In der Literatur wird hier vom Zeitbeiwertverfahren oder Fließzeitverfahren gesprochen.

2. Komplexes Verfahren

- Hydrologisches Verfahren

Dieses Verfahren kann bei ungleichförmigem, stationärem Abfluss angewendet werden und eignet sich für große Entwässerungssysteme, Überprüfung bestehender Systeme sowie Langzeitsimulationen.

- Hydrodynamisches Verfahren

Dieses Verfahren kann bei ungleichförmigem, instationärem Abfluss angewendet werden. Hierbei kann der Abfluss sogar bei Überlastung und möglichem Überstau simuliert werden. Es eignet sich für große Entwässerungssysteme, um diese auf Überflutung zu überprüfen.

Anwendungsbereich	Verfahren		
	Einfache empirische Verfahren	Hydrologische Verfahren	Hydrodynamische Verfahren
Auslegung von kleinen Entwässerungssystemen	E	E	^b
Auslegung von großen Entwässerungssystemen	^a	E	E oder D
Hydraulisch einfache Straßenentwässerungssysteme	E	—	—
Überprüfung der Überflutungshäufigkeit	^a	^a	E oder D
Nachrechnung bestehender Systeme	^a	E oder D	E oder D
Planung von Ausläufen/Entlastungen	^a	E oder D	E oder D
Qualitative Auswirkungen auf Vorfluter	^a	E	E oder D
Quantitative Auswirkungen auf Vorfluter	^a	E	E oder D
Echtzeit-Kontrolle eines Systems	^a	E oder D	E oder D
ANMERKUNG	E Oberflächenabfluss auf einfache Weise berücksichtigt D Oberflächenabfluss auf detaillierte Weise berücksichtigt		
^a Nicht anwendbar.			
^b Im Allgemeinen nicht empfohlen.			

Abbildung 2.7: Anwendungsbereiche der Verfahren zur Abflusssimulation nach ÖNORM EN 752 (2008)

2.7.2 Niederschlagsdatenformate

Für die Berechnungsverfahren einfach oder komplex sind dementsprechende Niederschlagsdatenformate notwendig, die nachfolgend genauer beschrieben werden (Toffol, 2006; Hydro-IT GmbH, 2007).

- **Historische Zeitserien - Niederschlagskontinuum**
Bei diesem Datenformat sind alle verfügbaren Niederschlagsdaten inklusive den Trockenwetterperioden einer bestimmten Dauer beinhaltet. Bei Niederschlagskontinuen werden die Messfehler meistens vorher schon korrigiert. Niederschlagskontinuen bringen die verlässlichsten Simulationsergebnisse, denen jedoch eine längere Rechenzeit gegenübersteht.
- **Niederschlagsserie**
Bei einer Niederschlagsserie werden die am stärksten beobachteten Ereignisse in den vorhandenen Niederschlagsaufzeichnungen ausgewählt. Die Rechenzeit wird verkürzt, da die Trockenwetterperioden nicht Teil der Niederschlagsserien sind.
- **Statistische Niederschlagsintensität**
Dieses Datenformat muss berechnet werden. Früher wurde das nach dem Arbeitsblatt ATV A 121 empfohlen, das von dem Arbeitsblatt DWA-A 531 (DWA, 2017) abgelöst wurde.
- **Niederschlagsintensitätskurven**
Jenes Format ist das Ergebnis aus statistischen Analysen von Niederschlagsdaten aus bestimmter Einzugsgebiete. Ein Beispiel mehrerer Niederschlagsintensitätskurven mit den Jährlichkeiten T_n von 1 a - 5 a ist in Abbildung 2.8 sichtbar. Die Niederschlagsintensitätskurven sind abhängig von der relevanten Niederschlags-spende und der Dauer eines Ereignisses und können aus Niederschlagskontinuen berechnet werden.

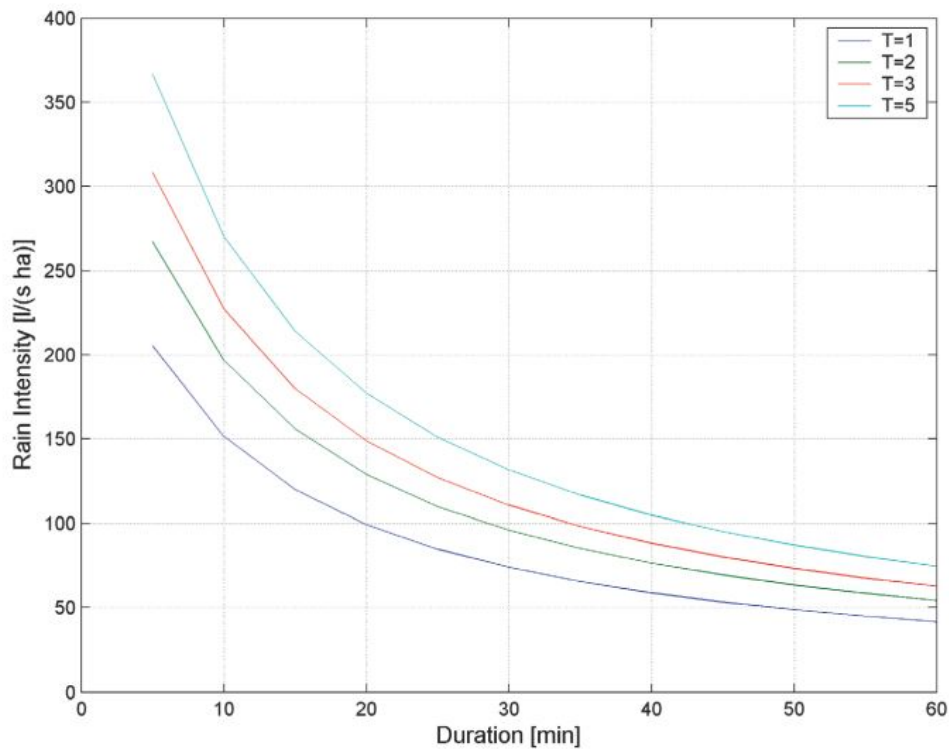


Abbildung 2.8: Beispiel von Niederschlagsintensitätskurven (Toffol, 2006)

- Historische Einzelereignisse

Dieses Datenformat wird aus dem Niederschlagskontinuum gewählt. Historische Einzelereignisse werden für die Erweiterung des Systemverständnisses und der Kalibrierung und Validierung von Abflusssimulationen verwendet.
- Bemessungsniederschläge

Die vorhandenen Daten der Bemessungsniederschläge sind reine statistische Auswertungen in Form von Niederschlagsspendenlinien und bauen daher nicht auf Originaldaten auf. Die Jährlichkeit des Ereignisses ist identisch mit der des auftretenden Durchflusses im Kanalsystem. Bemessungsniederschläge bringen ähnliche Ergebnisse wie Niederschlagsserien, sie können jedoch nicht für alle Analysen verwendet werden (z.B.: Untersuchung der Effekte von Echtzeitkontrollmessungen oder Retentionseffekte). Bemessungsniederschläge werden von Niederschlagsintensitätskurven hergeleitet (VSA, 2019a).

- Blockregen

Blockregen sind die einfachste Form und basieren darauf, dass starke Regen kurz und schwache Regen lang andauern. Für den Blockregen wird die mittlere Niederschlagsspende abhängig von der Niederschlagsdauer D und der Jährlichkeit T_n herangezogen, die Intensität bleibt über die Dauer gleich (siehe Abb. 2.9) (ÖNORM B 2506-1, 2013). Blockregen sind nur für kleine Entwässerungssysteme und reine Plausibilitätsprüfungen und nicht für Nachweisberechnungen geeignet.

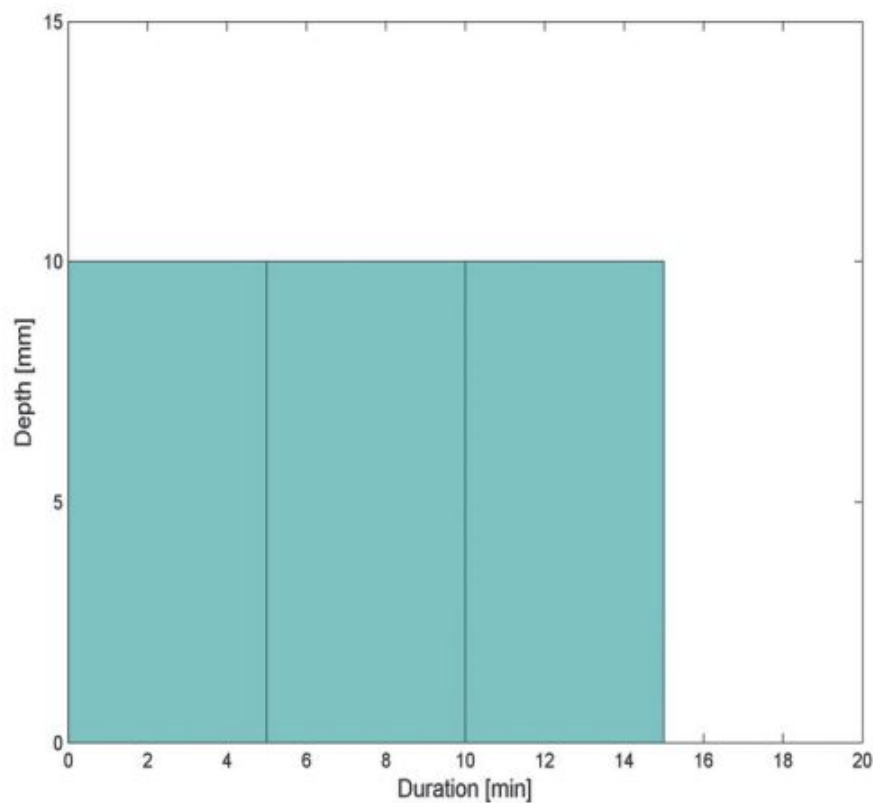


Abbildung 2.9: Beispiel des Niederschlagsdatenformates Blockregen (Toffol, 2006)

- Einzelmodellregen

Dieses Niederschlagsdatenformat kann sowohl für das einfache als auch für das komplexe Verfahren verwendet werden. Einzelmodellregen kommen den Niederschlagsserien sehr nahe. Die Dimensionierung basiert darauf, dass die Auftretungswahrscheinlichkeit des Modellregens derjenigen des resultierenden Abflusses entspricht. Der meistverwendete Einzelmodellregen ist jener des Euler-Modellregen Typs II. Dabei wird der Zeitpunkt für den Beginn des Regenintervalles mit höchster Niederschlagsintensität bei $1/3$ der Modellregendauer festgelegt und auf ein Vielfaches von 5 Minuten abgerundet.

Die Dauer sollte mindestens zweimal der Fließzeit im Kanalnetz entsprechen. In der Abbildung 2.10 ist die Berechnungsprozedur exemplarisch für eine Dauerstufe von 60 min und einer Jährlichkeit von X dargestellt. Als erstes wird der Bemessungsniederschlag h_N für eine bestimmte Jährlichkeit herangezogen. Dann wird der Euler-Modellregen Typ I gebildet, indem immer die vorherige Differenz einer Dauerstufe gebildet wird. Anschließend wird das höchste Regenintervall bei einer Niederschlagsdauer von insgesamt 60 Minuten auf 20 Minuten gesetzt (1/3 der Modellregendauer).

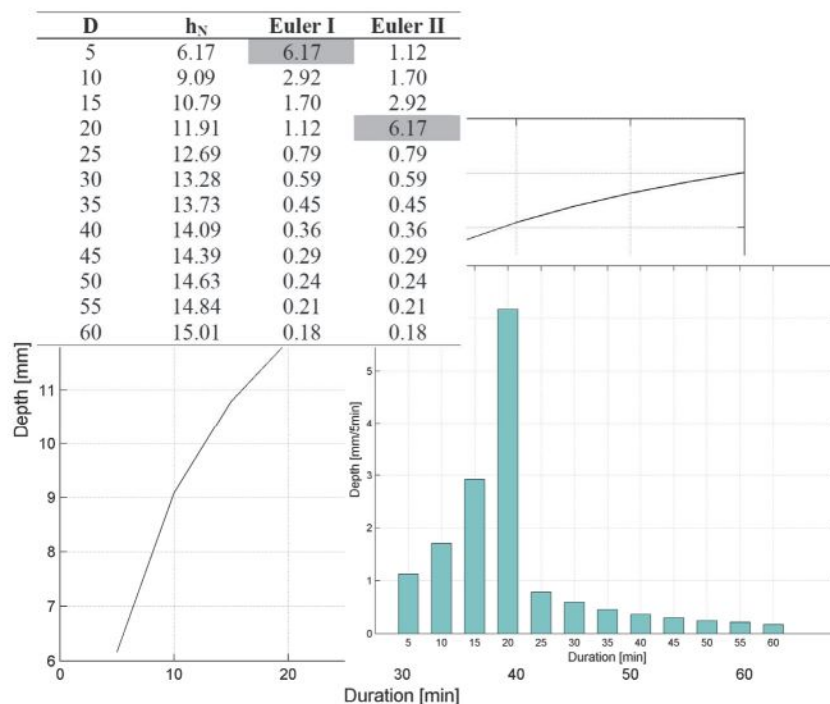


Abbildung 2.10: Beispiel der Berechnungsprozedur zum Euler-Modellregen Typ II. D ist die Niederschlagsdauer und h_N die Niederschlagshöhe eines Bemessungsniederschlags (Toffol, 2006)

- Modellregengruppen
Dabei werden mehrere Einzelmodellregen zu einer Gruppe zusammengefügt. Diese können bei längeren Fließzeiten und bei der Bemessung und dem Überstaunachweis angewendet werden (Nachweis siehe Kapitel 4, Tabelle 4.3).

2.8 Modellaufbau

Für die Erstellung des Oberflächenabflussmodells wird das von der USA EPA (Rossman, 2015) entwickelte SWMM- Modell verwendet. SWMM steht für *Storm Water Management Model* und wurde das erste Mal in den 1960er Jahren von Bob Schubinsky entwickelt (Computational Hydraulics Int., 2021). Seitdem gab es einige Überarbeitungen, wobei das aktuelle nun das SWMM-Modell 5 ist. Dieses Modell wird weltweit überwiegend für Niederschlagsabflussberechnungen verwendet (James et al., 2010). Das SWMM-Modell wird angewendet, um hydrodynamischen Niederschlagsabfluss für Einzelereignisse oder Langzeitserien (entweder kontinuierlich oder für einen bestimmten Aufzeichnungszeitraum) bezüglich Abflussqualität und -quantität für bereits entworfene oder neu zu entwerfende Einzugsgebiete im urbanen und ruralen Bereich darstellen zu können und Analysen durchzuführen (James et al., 2010). Das SWMM-Modell basiert auf mehreren Differentialgleichungen, die zur Berechnung des Abflusses im Kanal und der Oberfläche gelöst werden müssen.

2.8.1 SWMM - Modell

Ein SWMM-Modell besteht aus verschiedenen Layer, mit denen unterschiedliche Elemente eines Entwässerungssystems beschrieben und modelliert werden können. Weiters gibt es Elemente, die zur Simulation eines Oberflächenabflussmodelles notwendig sind. Nachfolgend sind die grundlegenden SWMM-Elemente angeführt: (James et al., 2010):

1. Niederschlagsdaten in unterschiedlichen Formen (siehe Kapitel 2.7.2) (Rain Gage)
2. Landnutzungsoberflächen in Form von mehreren Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften. Die Oberflächeneigenschaften werden in durchlässig, undurchlässig oder naturnahe Maßnahmen (LID) unterteilt. Einzugsgebiete erhalten einen Zufluss in Form von Regen oder Schneefall. Der Abfluss erfolgt in Form von Versickerungen in das Grundwasser oder durch den Oberflächenabfluss in das Entwässerungssystem (Subcatchments).
3. Das Grundwasser wird durch Oberflächenversickerungen angereichert, ein Teil davon wird anhand Zwischenzufluss in das Entwässerungssystem abgeleitet (Aquifer)
4. Das Entwässerungssystem wird anhand eines Netzes von Transportelementen dargestellt. Dieses Netzwerk kann aus Kanälen, Rohren, Pumpen, Drosseln oder Speicherelementen (siehe Kapitel 2.2) bestehen. Der Zufluss kann aus dem Oberflächenabfluss, dem Grundwasser-Zwischenzufluss, dem Trockenwetterzufluss oder den benutzerdefinierten Zufluss-Ganglinien bestehen (Junctions und Conduits)

Für den Aufbau eines SWMM-Modelles sind nicht immer alle Komponenten notwendig, dies entspricht der Entscheidung des/der Planenden. Es können beispielsweise vordefinierte Ganglinien für die Punkte 2 und 3 verwendet werden und nur die Transportelemente erstellt werden.

2.8.2 Integriertes 1D-2D Modell

In dieser Arbeit wird für die Simulation des Oberflächenabflussmodelles der zwei fiktiven Einzugsgebiete die kommerzielle Software *PC SWMM 2D Professional CHI-water* (Computational Hydraulics Int., 2021) verwendet, welche auf die zuvor beschriebene SWMM Umgebung basiert. Damit kann ein Niederschlagsabflussmodell aufgebaut werden, welches sowohl die hydrologischen Prozesse der Abflussbildung sowie den Abflusstransport im Entwässerungssystem eindimensional und hydrodynamisch berücksichtigt. Zusätzlich wird der Oberflächenabfluss mit Hilfe eines fiktiven zweidimensionalen Leitungsnetzwerks hydrodynamisch berechnet. Damit können die Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche berechnet werden (Reinstaller et al., 2020). Beide Prozesse sind vollständig parallel integriert, sodass ein vollständig integriertes 1D-2D Modell zur Simulation des Oberflächenabflusses aufgebaut werden kann. Im Falle eines Überstauereignisses werden die 1D-Kanalkomponenten mit dem 2D-Oberflächenabflussmodell vereint, wobei hier ein bidirektionaler Austausch stattfindet (Reinstaller et al., 2020). Der Wassereintritt - bzw. -austritt aus dem Kanal muss mit unterschiedlichen hydrodynamischen Berechnungen festgelegt werden. Hier können Berechnungen wie die Energie- oder Kontinuitätsgleichung (Kanal unter Druck) oder die Überfallformel (Freispiegelkanal) herangezogen werden (Reinstaller et al., 2020). Prinzipiell basiert das hydrodynamische Modell auf den ein-dimensionalen De-Saint-Venant Gleichungen (partielles Differentialgleichungssystem) (Muschalla, 2015). Der Vorteil des integrierten 1D-2D Modelles ist, dass sowohl die Kanalnetzrechnungen als auch der Oberflächenabfluss hydrodynamisch berechnet wird (Leitner, 2018). Ein integriertes 1D-2D Modell kann zur Bewertung von Überflutungsanalysen in Einzugsgebieten mit bekannten flussbasierten Überflutungen, Bachüberflutungen oder Kanalüberstau im urbanen Bereich oder ganzheitlichen Modelle für gesamte Stadtgebiete, verwendet werden. Um das 2D-Modell erstellen zu können, sind drei grundlegende Layer und Eingangsdaten notwendig:

- Die Grenze des Einzugsgebietes muss definiert werden. Innerhalb dieses Gebietes wird dann ein zweidimensionales Netz an der Oberfläche mit unterschiedlichen Netzgeometrien und -größen für die Überflutungsanalysen erstellt.

Aufbauend auf der Grenzfläche können beliebig viele Polygone mit unterschiedlichen Landnutzungen hinzugefügt werden, um ein Einzugsgebiet möglichst real darstellen zu können. (Bounding-Layer)

- In Form der unterschiedlichen Netzgeometrien werden Punkte angeordnet, mit dem das zweidimensionale Netz an der Oberfläche erstellt werden kann. (2DNodes)
- Mit dem Digitalen Geländemodell (DGM) werden die Oberflächenhöhen bestimmt, die als Grundlage zur Erstellung des zweidimensionalen Netzes an der Oberfläche dienen. (DGM-Eingangsdatei)

Für das 1D-2D integrierte Modell werden vorerst die 1D-Komponenten des Kanales und das zweidimensionale Netz an der Oberfläche auf Basis aller wichtigen Flächen mit bestimmter Landnutzung erstellt. Anschließend kann das zweidimensionale Netz an der Oberfläche mit den modellierten Kanalhalterungen und Kanalknoten gekoppelt werden. Die generierten 2D-Flächen des zweidimensionalen Netzes an der Oberfläche werden dann in das SWMM-Element *Subcatchments* integriert. Damit wird der hydrologische Teil aufgebaut und das ganzheitliche verteilte Modell fertig gestellt.

3 Zukünftige Ansätze der urbanen Entwässerung

In diesem Kapitel werden aktuelle Ansätze für die zukünftige Planung von Entwässerungssystemen erläutert. Diese werden vermehrt mit den klimatischen Veränderungen und der zunehmenden Urbanisierung konfrontiert sein (Zhou, 2014).

Derzeitige zentrale Entwässerungssysteme erfahren immer mehr an Kritik, da die Kapazität des Systems und die Flexibilität hinsichtlich des Umganges mit klimatischen Veränderungen und der Urbanisierung begrenzt sind (Zhou, 2014). Zukünftige Entwässerungssysteme müssen lernen, das vermehrte Auftreten von Starkniederschlagsereignissen zu bewältigen. Überflutungen müssen akzeptiert werden, sollten jedoch nur in akzeptablen Abständen auftreten (Zhou, 2014). Um diesen Aspekten gerecht werden zu können, werden verschiedene nachhaltige Niederschlagswasserbewirtschaftungsansätze in die städtische Raumplanung integriert. Die derzeitige hohe Versiegelung in den Städten generiert negative Folgen, wie urbane Sturzfluten oder urbane Überhitzung (Sieker, 2020b). Die Hauptaufgabe der zukünftigen Entwässerungssysteme besteht darin, den natürlichen Wasserkreislauf zu rekonstruieren und zu erhalten (Fuchs, 2017). In der Abbildung 3.1 sind die drei unterschiedlichen möglichen Wasserkreisläufe sichtbar. Die linke Graphik stellt den Wasserkreislauf natürlicher Oberflächen dar, der ein Gleichgewicht unter dem Niederschlag, der Versickerung, der Verdunstung und der Kondensation darstellt. Der Oberflächenabfluss ist hierbei als klein anzusehen. In der mitte ist der derzeitige urbane Wasserkreislauf zu sehen. Dieser besteht hauptsächlich aus der Komponente *Oberflächenabfluss*, während die anderen Komponenten aufgrund der hohen Versiegelung nicht aktiviert werden. Die Grundsätze der zentralen Entwässerung tragen mitunter einen großen Teil zu dieser Entwicklung bei. Zukünftige Planungen von öffentlichen Räumen und Entwässerungssystemen sollen daher die Möglichkeit anstreben, eine Rekonstruktion des Wasserkreislaufes zu erzielen (siehe Abbildung 3.1 rechts).

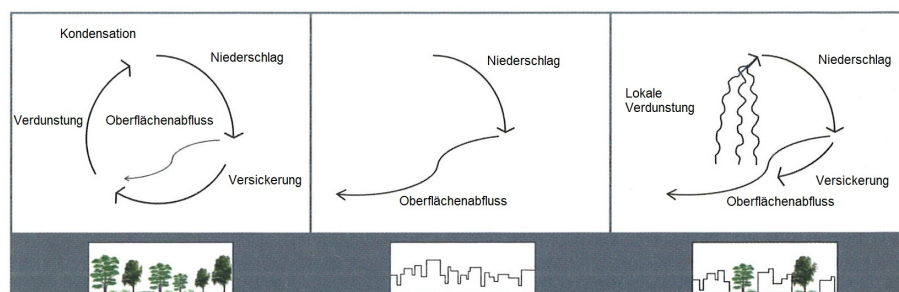


Abbildung 3.1: Wasserkreislauf in natürlichen Systemen (links), Urbane Fläche ohne Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) (mitte), Urbane Fläche mit SUDS (rechts) (abgeändert nach Hoyer et al. (2011))

Ein solches international anerkanntes Konzept zum nachhaltigen Umgang mit Niederschlagswasser in den Städten ist das sogenannte *Sustainable Urban Drainage Design* (Zhou, 2014). SUDS werden in der Welt unterschiedlich bezeichnet, sie vertreten jedoch alle ähnliche Bemessungsphilosophien (Zhou, 2014; Sieker, 2020b):

- Schwammstadt/Spongecity - weltweit
- naturnahe Maßnahmen - D-A-CH
- Low Impact Development (LID) - USA, Großbritannien und Kanada
- Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) - Asien (China), weltweit
- BlueGreenSolutions (BGD) - Prägung durch das EU-Projekt BlueGreenDream
- Water Sensitive Urban Design (WSUD) - wassersensible Stadtentwicklung - Australien
- Low impact urban design and development (LIUDD) - Neuseeland
- Best Management Practices (BMP) - USA

Das Prinzip aller besteht darin, Extremereignisse wie Starkniederschlagsereignisse, urbane Hitzeinseln und langanhaltende Trockenzeiten zu kompensieren (Sieker, 2020b). Dies ist mit der Begrünung von Oberflächen und der Errichtung von naturnahen Maßnahmen am Auftretungsort des Niederschlages möglich. Das Prinzip der Schwammstadt (siehe Abb. 3.2) wird zudem vermehrt in der Volksrepublik China und generell im asiatischen Bereich umgesetzt, dort werden solche Städte mit sehr großen finanziellen Mitteln gefördert (Fuchs, 2017).



Abbildung 3.2: Schematische Skizze des Prinzips einer Spongecity mit allen wichtigen naturnahen Maßnahmen (Drainage Services Department, 2017)

Derzeit gibt es weltweit einige Forschungsprojekte zu SUDS. Das Ziel liegt darin, die zukünftige Umwelt der Städte lebenswerter und resilienter gegenüber vermehrte Starkniederschlagsereignisse und resultierende Überflutungen zu gestalten (Zhou, 2014). Sustainable Urban Drainage Systems sind grundsätzlich auf drei Standbeinen aufgebaut, die gemeinsam das SUDS-Dreieck bilden (siehe Abb. 3.3) (Zhou, 2014):

- Wasserquantität
- Wasserqualität
- Biodiversität

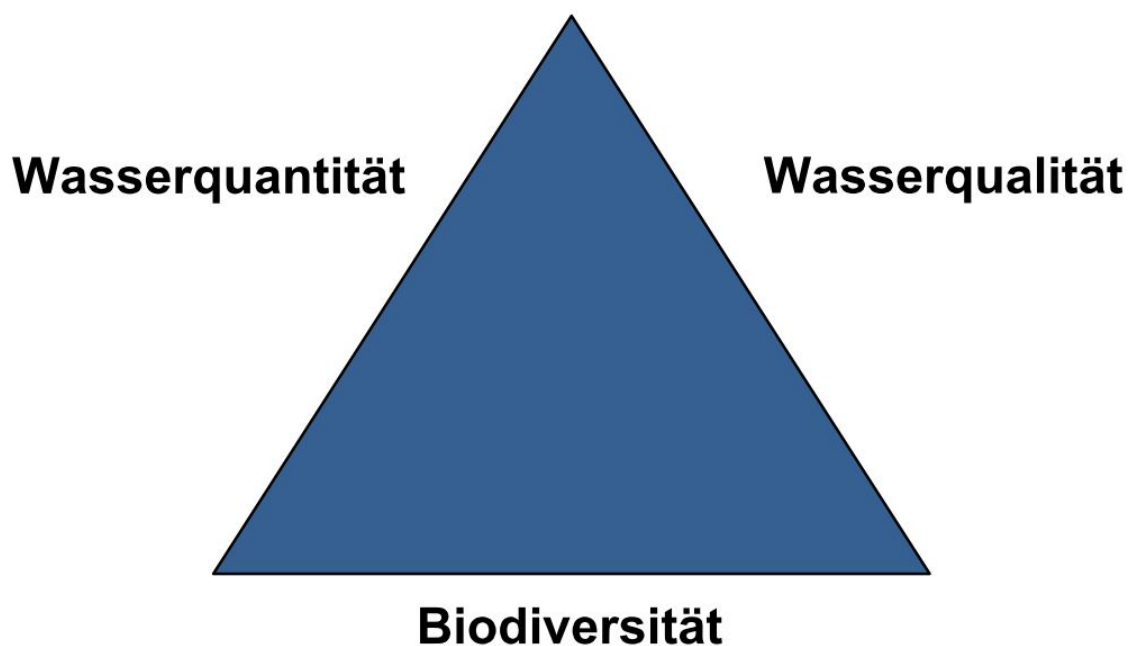


Abbildung 3.3: Das SUDS-Dreieck

Prinzipiell bleibt die Anwendung von SUDS eine herausfordernde Aufgabe. Derzeit sind Modelle zwar vorhanden, trotzdem sind diese noch immer limitiert, die natürlichen Vorgänge hinsichtlich Qualität und Quantität zu simulieren (Zhou, 2014). Zukünftige SUDS müssen mit dem Klimawandel und der Urbanisierung umgehen und zudem flexibler gegenüber sich ändernden Zukunftsbedingungen werden (Zhou, 2014). Durch die geschickte Kombination von zentralen und dezentralen Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft kann auf solche Probleme besser reagiert werden (Hoppe, 2017).

3.1 Urbane Resilienz

Die urbane Resilienz definiert sich als ...

„... the capacity of individuals, communities, institutions, businesses and systems within a city to survive, adapt, and grow, no matter the chronic stresses and acute shocks they experience.“

(100 Resilient Cities, 2016)

Urbane Resilienz speziell hinsichtlich des Überflutungsrisikos stellt daher einen entscheidenden Punkt für die Zukunft dar. Das Ziel besteht darin, die Städte resilienter gegenüber Extremereignisse zu gestalten. Dafür ist mehr Effektivität unter den Verantwortlichen für SUDS, Verkehrsinfrastrukturen und Raumplanung notwendig. Das Stichwort in diesem Zusammenhang lautet - mehr Kommunikation (McClymont et al., 2020). Städteplanende, IngenieurInnen, Kommunen, EntscheidungsträgerInnen und Betreibende müssen zukünftig die Erfahrungen und das Wissen in ihrem Bereich miteinander teilen, mehr kommunizieren und voneinander lernen (McClymont et al., 2020). Ein Beispiel dafür wäre, die Entwicklung eines geeigneten Überflutungsrisikomanagements in der Raumplanung (Vitale et al., 2019). Der natürliche Wasserkreislauf steht dabei als gesamte Planungseinheit im Vordergrund. Grundsätzlich sollen wirtschaftliche, soziale und ökologische Faktoren gleichwertig betrachtet werden (Zhou, 2014). Nicht nur in der Kommunikation innerhalb InteressensvertreterInnen sind unterschiedliche Stadien der Sensibilisierung von Überflutungsrisiken vorhanden, auch unter verschiedenen Ländern besteht ein Unterschied. Die Niederlande ist mit dem Überflutungsrisiko, da mehrere Regionen unterhalb des Meeresspiegels liegen, ständig konfrontiert. Dort verstehen fast alle das Risiko einer Überflutung und das Verlangen einer hohen Priorität dieses Themas (Fratini et al., 2012). Folglich haben IngenieurInnen mehr Freiheiten hinsichtlich der Umsetzung von SUDS-Maßnahmen. In Dänemark ist die urbane Überflutung vergleichsweise eine relativ neue Erscheinung, und daher ist die breite Masse weniger offen für neue Ansätze (Fratini et al., 2012). Die IngenieurInnen brauchen zumindest stärkere Mittel, um Ansätze und Entscheidungen besser zu verteidigen.

Das Prinzip der urbanen Resilienz kann als Water Sensitive Urban Design (WSUD) bezeichnet werden. Water Sensitive Urban Design (WSUD) sieht eine Kooperation unter den StädteplanerInnen, SiedlungswasserwirtschaftsplanerInnen und RaumplanerInnen vor. Es wird ebenso der natürliche Wasserkreislauf in Zusammenhang mit dem Wassermanagement und der Städteplanung gebracht und eine enge Zusammenarbeit unter den InteressensvertreterInnen verlangt (Hoyer et al., 2011). In Abbildung 3.4 sind die einzelnen Komponenten des WSUD und dementsprechend auch das Prinzip der Urbanen Resilienz sichtbar.

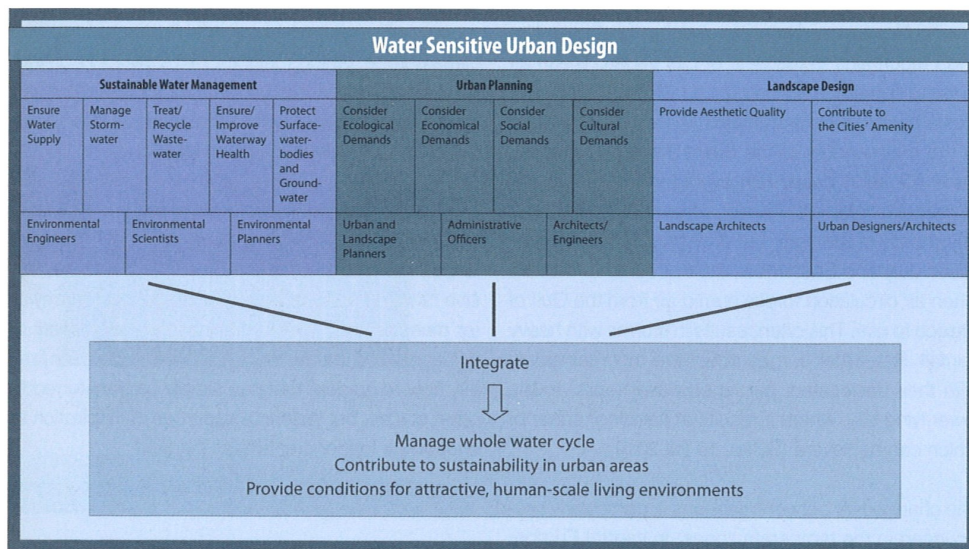


Abbildung 3.4: Die Komponenten von WSUD - Water Sensitive Urban Design (Hoyer et al., 2011)

3.2 3 Points Approach

Der 3 Points Approach (3PA) für das urbane Überflutungsrisikomanagement wurde das erste Mal auf der 11th International Conference of Urban Drainage 2008 in Edinburgh präsentiert. Das Grundprinzip des 3PA sagt aus, dass IngenieurInnen zukünftig nicht nur die technischen Beziehungen unter den Systemkomponenten betrachten dürfen, sondern ebenso die Unsicherheiten von Natur und Gesellschaft in Betracht ziehen müssen (Fratini et al., 2012), was wiederum dem Prinzip der Urbanen Resilienz entspricht. Das Ziel des 3PA ist daher nicht, die Effekte von Überflutungen mathematisch zu betrachten und daraus eine Kosten-Nutzen-Analyse zu erstellen, sondern InteressensvertreterInnen von urbanen Entwässerungssystemen mit dem Thema Überflutungsrisiko zu sensibilisieren (Fratini et al., 2012). Dafür ist eine Kommunikationsbasis notwendig, um mögliche Zukunftsszenarien und Lösungsansätze diskutieren zu können (Fratini et al., 2012). Der 3PA ist daher ein Ansatz, Städte resilienter gegenüber Überflutungsrisiken zu gestalten, denn Überflutungen können nicht eliminiert werden. Städte können lediglich resilienter solchen Extremereignissen gegenüberstehen (Fratini et al., 2012; McClymont et al., 2020). Die 3 Punkte sind in der Abbildung 3.5 ersichtlich und werden nachfolgend näher erläutert. Die Hauptaussage des 3PA besteht darin, zukünftig den Punkt 2 mehr in Betracht zu ziehen und gleichzeitig aber die drei Punkte parallel gleichwertig zu betrachten, um Veränderungen wie Klimawandel und Urbanisierung besser bewältigen zu können (Fratini et al., 2012).

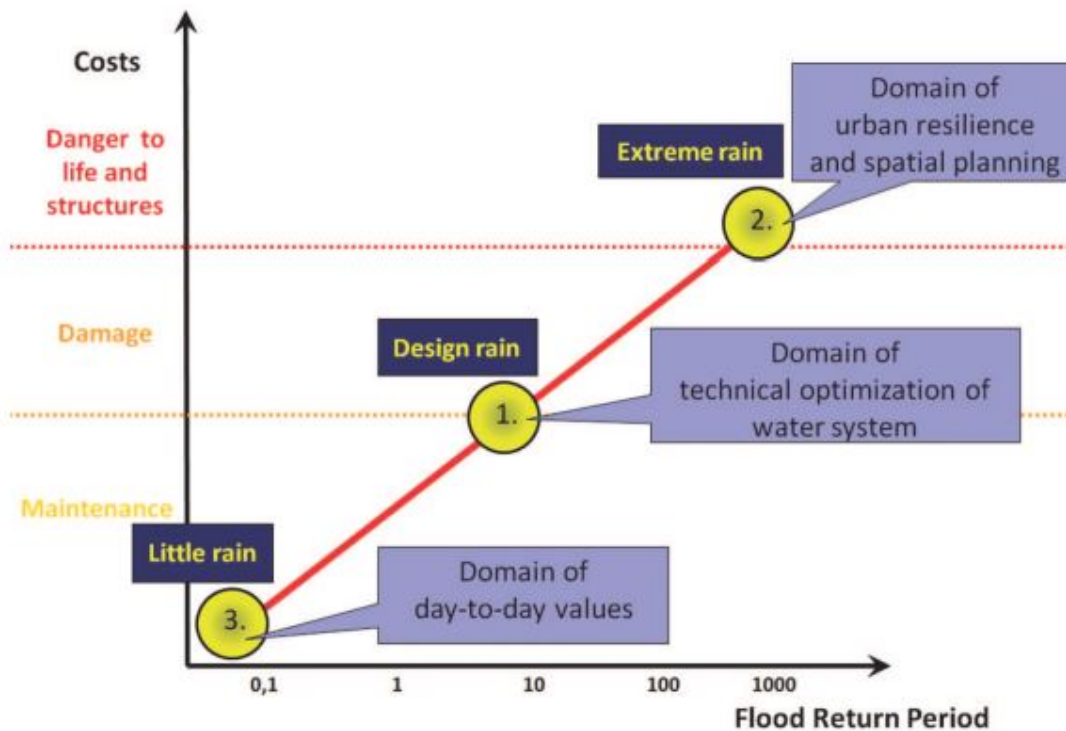


Abbildung 3.5: Das Schema des 3PA. Beide Achsen werden logarithmisch dargestellt. (Fratini et al., 2012)

1. Domain of technical optimisation - Technische Optimierung

Normen und Richtlinien für urbane Entwässerungssysteme

Punkt 1 ist zwingend notwendig, um eine einwandfreie Entwässerung sicher stellen zu können. Die Abflussbildung kann Infrastrukturen und Privatgut zerstören, wenn keine richtige Entwässerung gegeben ist (Fratini et al., 2012).

2. Domain of urban resilience and spatial planning - Raumplanung

Urbane Flächen resilienter gegenüber Zukunftsänderungen zu gestalten

Punkt 2 stellt die große Jährlichkeit einer Überflutung dar und generiert Schaden von Infrastrukturen und Privatgut bis hin zur Gefahr von Mensch und Tier. Je unflexibler und unvorbereiteter die urbanen Bereiche auf solche Ereignisse sind, desto größer wird der Schaden (Fratini et al., 2012).

3. Domain of day-to-day values - Tag-für-Tag Werte

Das Bewusstsein, die Akzeptanz und die Beteiligung der InteressensvertreterInnen verbessern

Punkt 3 stellt Niederschlagsereignisse auf eine tägliche Basis, wo Niederschläge eine natürliche Quelle für Leben darstellen. An diesem Punkt finden die üblichen Vorgänge der Entwässerung und der Wartung statt (Fratini et al., 2012).

4 Bemessungsgrößen der Anlagen und Bauten

In diesem Kapitel werden die relevanten Bemessungsgrößen für die Dimensionierung der Anlagen und Bauten in der Siedlungswasserwirtschaft aufgelistet. Des Weiteren werden Betriebs- und Wartungsintervalle der Anlagen und Bauten dargestellt.

4.1 Der D-A-CH Raum

Die Dimensionierung der Anlagen und Bauten erfolgt je nach Unterscheidung in den beschriebenen Abwasserbehandlungen (siehe Kapitel 2.3, 2.4 und 2.5) mit relevanten Bemessungsgrößen. Diese können in den Ländern Österreich, Deutschland und der Schweiz entweder gleich oder unterschiedlich gehandhabt werden. Grundsätzlich können die Entwässerungssysteme im D-A-CH Raum physisch aber als sehr gleich betrachtet werden (Rieckermann et al., 2017).

4.1.1 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

Ein Entwässerungssystem beschreibt den Überbegriff für das komplexe System der Kanalisation. Die Hauptaufgaben bestehen in der Sammlung, Ableitung, Behandlung und Einleitung in ein Gewässer (ÖNORM EN 752, 2008). Bei der Planung von Entwässerungssystemen müssen stets vier Ziele eingehalten werden (ÖNORM EN 752, 2008):

- öffentliche Gesundheit und Sicherheit
- Gesundheit und Sicherheit für Personal
- Umweltschutz
- nachhaltige Entwicklung

Des Weiteren müssen nach ÖNORM EN 752 (2008) in der Planung von Entwässerungssystemen bei der hydraulischen Berechnung bestimmte Kriterien eingehalten werden:

- Schutz vor Überflutung
- Unterhaltbarkeit
- Aufrechterhaltung des Durchflusses

Betrieb und Wartung von Entwässerungssystemen

Bei Entwässerungssystemen werden hauptsächlich nur die hydraulischen Komponenten beobachtet. Daten über die Stoffströme & -dynamik und dezentralen Anlagen und Bauten sind kaum vorhanden (Rieckermann et al., 2017). Derzeit sind detaillierte Vorhersagen nur in folgenden Bereichen realisierbar (Rieckermann et al., 2017):

- Niederschlagsvorhersagen
- Überflutungs- und Risikokarten
- Echtzeitprognose der Badegewässerqualität

Fortschrittliche Kanalnetzsteuerungen bieten eine flexible und robuste Möglichkeit, um optimal auf veränderliche Ereignisse, wie dem klimatischen und demographischen Wandel zu reagieren (Hoppe, 2017).

4.1.2 Niederschlagswasser- und Mischwasserkanäle

Bei der Planung und Errichtung von Niederschlagswasserkanälen sind Überflutungen weitestgehend zu vermeiden (ÖNORM EN 752, 2008). Aus wirtschaftlichen Gründen können diese jedoch nicht immer allen Niederschlagsereignissen trotzen und stoßen daher sehr häufig an ihre Kapazitätsgrenzen (DWA, 2006). Dabei soll möglichst wenig Schaden für Mensch, Tier und Sachgüter entstehen (ÖNORM EN 752, 2008). Das Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) sieht vor, dass Bemessungsgrößen aus regionalen Messdaten verwendet werden. Dafür wurde der „ÖWAV-Leitfaden Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19“ (ÖWAV, 2009) erstellt. In diesem Leitfaden sind Jährlichkeiten $[T_n]$ von 0,5 bis 100 Jahren und Niederschlagsdauern von 5 Minuten - 6 Tagen vorhanden. Das Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) empfiehlt deutlich, diesen Leitfaden für die Anwendung des Fließzeitverfahrens (Einfaches Verfahren) und zur Vorbemessung von Anlagen und Bauten bei Abflusssimulationen zur Berechnung von größeren Entwässerungssystemen (Komplexes Verfahren) zu verwenden. Grundsätzlich liegt der Planung von Niederschlags- und Mischwasserkanälen ein Risikoansatz einer Überflutung oder eines Überstaus (Bezugsniveau = Geländeoberkante) zugrunde (ÖWAV, 2009). Laut ÖNORM EN 752 (2008) müssen die Bemessungskriterien etwaige Durchflussänderungen über die Nutzungsdauer berücksichtigen. Zudem sind für die Planung Bemessungsüberflutungshäufigkeiten (ÖNORM EN 752, 2008) zu bestimmen. Damit sollte das Überflutungsrisiko beurteilt und in Betracht gezogen werden.

Bei der Planung muss das Überflutungsrisiko von den zuständigen Planenden bewertet werden und mit den Bemessungsüberflutungshäufigkeiten dementsprechend angepasst werden (ÖNORM EN 752, 2008). Die Bemessungskriterien werden in einfache und komplexe Bemessung unterschieden (ÖNORM EN 752, 2008).

1. Bemessungsgrößen von Niederschlagswasserkanälen

Für die Bemessungsgrößen von Niederschlagswasserkanälen (NWK) und Mischwasserkanälen (MWK) wird die ÖNORM EN 752 (2008) herangezogen, die vom Comité Européen de Normalisation (CEN) im Jahr 2007 veröffentlicht wurde. Unter den CEN-Mitgliedern befindet sich der gesamte D-A-CH Raum. Die ÖNORM EN 752 (2008) empfiehlt zur Bemessung beim Einfachen Verfahren sogenannte *Häufigkeiten von Bemessungsregen* (Bemessungsniederschlag) lt. Tabelle 4.1. Das Einfache Verfahren wird zur Bemessung von einfachen Kanalnetzen herangezogen. Hierfür werden Niederschlagspendenlinien und Blockregen verwendet (DWA, 2006). Es ist zu erwähnen, dass die Rohre für *Vollfüllung ohne Überlastung* bemessen werden, d.h. die maximale Auslastung liegt bei 90% (ÖNORM EN 752, 2008). Das komplexe Verfahren wird zur Bemessung von größeren Entwässerungssystemen mit Abflusssimulationen angewandt und erfordert vorerst ein Nachweisverfahren der Überstauhäufigkeit nach Arbeitsblatt A-118 (DWA, 2006) und dann eine Bemessung auf *Überflutungshäufigkeiten* lt. Tabelle 4.2. Je nach Entwässerungssystem werden Einzelmodellregen, Modellregengruppen oder Niederschlagsserien angewandt. Beide Bemessungskriterien dürfen in der Jährlichkeit oder in der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung in einem Jahr angegeben werden (Häufigkeit).

Einfaches Verfahren

Tabelle 4.1: Bemessungsniederschlagshäufigkeiten für das einfache Verfahren nach ÖNORM EN 752 (2008)

Ort	Bemessungsniederschlagshäufigkeiten	
	Jährlichkeit [Tn]	Häufigkeit [n]
Ländliche Gebiete	1 a	1/a
Wohngebiete	2 a	0,5/a
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	5 a	0,2/a
Unterirdische Verkehrsanlagen	10 a	0,1/a

In Tabelle 4.1 sind die *Bemessungsniederschlagshäufigkeiten* für das einfache Bemessungsverfahren nach ÖNORM EN 752 (2008) und in Tabelle 4.2 die *Überflutungshäufigkeiten* für das komplexe Bemessungsverfahren nach ÖNORM EN 752 (2008) sichtbar. Beide Tabellen sind Empfehlungen auf europäischer Ebene, welche national in den Mitgliedsstaaten angepasst werden können. Beim einfachen Verfahren im Fließzeitverfahren kann die entsprechende geographische Jährlichkeit der Niederschlagsspende den nationalen hydrographischen Datenbanken entnommen werden, und die Niederschlagsdauer D soll gleich der Fließzeit im Kanalnetz betragen (Sieker, 2020c).

Komplexes Verfahren

Tabelle 4.2: Überflutungshäufigkeiten für das komplexe Verfahren nach ÖNORM EN 752 (2008)

Ort	Überflutungshäufigkeiten	
	Jährlichkeit [Tn]	Häufigkeit [n]
Ländliche Gebiete	10 a	0,1/a
Wohngebiete	20 a	0,05/a
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	30 a	0,03/a
Unterirdische Verkehrsanlagen	50 a	0,02/a

Nachweis der Überstauhäufigkeit von Niederschlagswasserkanälen

Das Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006) gibt bei Neuplanungen und nach Sanierungen für den Nachweis der Überstauhäufigkeit Empfehlungen ab. Im Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) wird ebenso auf diesen Nachweis nach Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006) verwiesen. Der Nachweis der Überstauhäufigkeit sollte jedenfalls mit einer hydrodynamischen Kanalnetzberechnung erfolgen (Sieker, 2020c). Je nach Bedarf können entweder ein Euler - Modellregen Typ II, Modellregengruppen oder eine Niederschlagsserie zur Berechnung verwendet werden (DWA, 2006). Demnach soll als erstes dieser rechnerische Nachweis mit den Überstauhäufigkeiten nach Tabelle 4.3 geführt werden und dann der Überflutungsschutz mit den Werten aus der Tabelle 4.2 sichergestellt werden (DWA, 2006).

Tabelle 4.3: Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis für Neuplanungen und nach Sanierungen nach Arbeitsblatt DWA-A 118 (DWA, 2006)

Ort	Überstauhäufigkeiten bei Neuplanung und nach Sanierungen
	Jährlichkeit [Tn]
Ländliche Gebiete	2 a
Wohngebiete	3 a
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	seltener als 5 a
Unterirdische Verkehrsanlagen	seltener als 10 a ¹

Für die Auswahl der Niederschlagsperiode im Euler-Modellregen Typ II gelten die Jährlichkeiten nach Tabelle 4.3, und die Niederschlagsdauer D sollte mindestens zweimal der Fließzeit im Kanalnetz entsprechen (ÖWAV, 2009) (Sieker, 2020c). Bei der Nachweisrechnung mit Niederschlagsserien wird die Überstauhäufigkeit n_u aus der Anzahl der Überstauereignisse pro Schacht errechnet (DWA, 2006):

$$n_u = \frac{x}{M} \quad (4.6)$$

mit:

x ... Anzahl der Ereignisse mit Überstau je Schacht

M ... Anzahl der Jahre, die der Niederschlagsserie zugrunde liegen

2. Mischwasserkanäle

Prinzipiell werden Mischwasserkanäle gleich bemessen, wie Niederschlagswasserkanäle. Der einzige Unterschied besteht darin, dass ein Trockenwetterzufluss miteinberechnet werden muss. Da dieser im Vergleich zu dem Niederschlagszufluss relativ klein ist, kann er nahezu vernachlässigt werden (ÖNORM EN 752, 2008). Aus diesem Grund kann nach Tabellen 4.1, 4.2 und 4.3 vorgegangen werden (ÖNORM EN 752, 2008).

¹Bei Unterführungen liegt bei Überstau über Gelände meist sofort eine Überflutung vor, darum kann der Wert aus Tabelle 4.2 $T_n = 50$ a gleichgesetzt werden. (DWA, 2006)

3. Betrieb und Wartung von NWK und MWK

Durch die regelmäßige Kontrolle, Wartung und Inspektion von Kanälen kann jedenfalls eine Optimierung erfolgen und muss zudem gemäß §3 Abschnitt 5 der *Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung* (Rechtsinformationssystem des Bundes, 1996) erfolgen. Für die Betriebsplanung werden drei verschiedene Strategien angewandt, diese lauten (ÖWAV, 2015a):

1. Feuerwehrstrategie
2. Präventivstrategie
3. Zustands- bzw. bedarfsorientierte Strategie

ad 1) Hierbei erfolgt die Wartung erst, wenn der Schaden bereits eingetreten ist. Diese verursacht höhere Kosten und belastet weiters die Umwelt.

ad 2) Dabei werden periodisch vorbeugende Wartungsarbeiten im gesamten Netz durchgeführt.

ad 3) Die erforderliche Wartung und Kontrolle erfolgt durch eine Überwachung und regelmäßige Inspektion.

Prinzipiell sieht das Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a) eine Anwendung der bedarfsorientierten Strategie vor, und die Arbeiten müssen im System erfasst werden. Dabei liegen die Regelintervalle für Überwachung und Wartung der Anlagen des zentralen Entwässerungssystems laut Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a) Tabelle 3 in einem Bereich zwischen einmal pro Monat und alle 10 Jahre (Abbildung 4.1). Es wird des Weiteren immer auf bedarfsorientierte Regelintervalle verwiesen.

Bauwerk / Objekt	Tätigkeit	Intervall
Kanäle und Schächte		
Schächte	Sicht-/Funktionskontrolle	alle 5 Jahre oder bedarfsorientiert
Schmutzfänger	Entleerung + Sicht-/Funktionskontrolle	alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert
Alle Kanäle und Schächte	detaillierte bauliche und betriebliche Zustandserfassung (ÖWAV-RB 43, Tab. 1)	alle 10 Jahre oder bedarfsorientiert
Druck- bzw. Unterdruckleitungen	Überwachung bzw. Überprüfung	permanent, jährlich oder bedarfsorientiert
	Reinigung	bedarfsorientiert
Schmutzwasser bzw. Mischwasser	HD-Reinigung	alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert
Regenwasser	HD-Reinigung	alle 6 Jahre oder bedarfsorientiert
begehbare Kanäle	Reinigung	alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert
Straßeneinläufe	Reinigung mit Sicht-/Funktionskontrolle	alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert
Pumpwerke	Wartung (maschinell, elektrotechnisch) und Reinigung	jährlich oder bedarfsorientiert
	Sicht-/Funktionskontrolle	monatlich oder bedarfsorientiert
Entlastungs-, Retentions- und Auslaufbauwerk und Drosselorgane	Sicht-/Funktionskontrolle	monatlich oder bedarfsorientiert (z. B. nach größeren Niederschlagsereignissen)
Sand- bzw. Schotterfänge	Sicht-/Funktionskontrolle	vierteljährlich oder bedarfsorientiert

Abbildung 4.1: Tabelle 3: Regelintervalle für die Überwachung und Wartung nach Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a)

4.1.3 Mischwasserentlastungen

Die Mischwasserentlastungen werden mit unterschiedlichen Bemessungsparametern geplant, da mehrere Faktoren wie das Abflussvolumen, Schadstoffkonzentration und -frachten miteinfließen. Die Bemessung erfährt zudem in den drei Ländern eine unterschiedliche Herangehensweise. Im Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007) werden nur Mischwasserentlastungen behandelt, NRB und NKB sind davon ausgenommen. Anders ist es in der Schweiz und in Deutschland, die in ihren Richtlinien (VSA, 2019a; DWA/BWK, 2016) für die Abwasserbehandlung alle NB explizit anführen und detailliert beschreiben. Für die hydraulischen Nachweisgrößen befindet sich in der Richtlinie für Abwasserbehandlung der Schweiz (VSA, 2019a) die Tabelle DB6: *Hydraulische Nachweisgrößen für verschiedene Typen von Regenbecken und deren Ausrüstungen und Anlageteile*. Grundsätzlich können verschiedene Bemessungsmethoden in Betracht gezogen werden (VSA, 2019a):

- Einfache hydrologische Bemessungsmethoden
Orts- bzw. Regionsspezifische Niederschlagsintensitätskurven und regionsspezifische Bemessungsdiagramme (siehe Abb. 4.4): geeignet für kleine Rechen- und Siebanlagen
- Langzeitsimulationen
Verwendung einer Niederschlagsserie, die nicht kürzer als 10 Jahre sein sollte.
- Hydraulische und verfahrenstechnische Bemessungen
 - Empirische Formeln
Für die Bemessung von Anlageteilen oder einfache verfahrenstechnische Bemessungen von Sedimentationsanlagen
 - Simulationsmodelle
Kombination aus einem 3-D Modell (numerisches Modell) und einem physikalischen Modell (hydrologisch-hydraulisches 1D-2D Modell) sollte für die Zukunft vermehrt eingesetzt werden

Die Anwendung von Nachweisverfahren sieht in Deutschland eine Schmutzfrachtsimulation vor, bei der eine Niederschlagsserie mit mindestens 10 Jahren vorgesehen ist, die das örtliche Niederschlagsgeschehen abbilden soll (DWA/BWK, 2016). Außerdem müssen zukünftig die dezentralen Maßnahmen berücksichtigt werden (DWA/BWK, 2016).

In Österreich werden bei den MW-Entlastungen Wirkungsgrade der Weiterleitung eingesetzt, die mit anerkannten Berechnungsverfahren bestimmt werden. Meistens wird eine Abflusssimulation der Abflussvorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz herangezogen. Als Niederschlagsdatenformat soll eine langjährige Niederschlagsserie, die mindestens 10 Jahre betragen sollte, verwendet werden (ÖWAV, 2007).

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

Abbildung 4.2: *Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten nach Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007)*

Bei der Abflusssimulation werden Mindestwirkungsgrade für gelöste und abfiltrierbare Stoffe mit bestimmten Rahmenbedingungen ermittelt. Die Ergebnisse der Wirkungsgrade für die berechnete Zeit im Mittel muss den entsprechenden Mindestwirkungsgrad lt. den Abbildungen 4.2 und 4.3 erreichen oder überschreiten (ÖWAV, 2007). Die Mindestwirkungsgrade gelten immer für das gesamte Einzugsgebiet.

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

Abbildung 4.3: *Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten nach Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007)*

Die Mindestwirkungsgrade setzen sich wie folgt zusammen:

1. Charakteristik des Niederschlagsverhaltens
2. Einwohnerdichte
3. angeschlossene Trennsysteme

ad 1) Für das Niederschlagsverhalten wird die Niederschlagsspende $r_{720,1}$ herangezogen. Diese entspricht einer Niederschlagshöhe in 12 h mit einer Jährlichkeit von 1 Jahr. Die Niederschlagsspende $r_{720,1}$ sollte sich im Bereich von 27mm/12h und 66mm/12h befinden. Dieser Wert ist weitestgehend unabhängig vom lokalen Niederschlagsereignis, da es sinnfrei ist, in Gebieten mit hohem Niederschlag überdimensional große MÜB zu errichten und dort viel sauberes Niederschlagswasser einzuleiten (ÖWAV, 2007). Falls eine Überschreitung der Niederschlagsspende $r_{720,1}$ in einem Einzugsgebiet (EZG) auftreten sollte, müssen die zuständigen Planenden jedenfalls einen Wert aus dem zuvor erwähnten Bereich auswählen.

ad 2) Hier wird die Einwohnerdichte bezogen auf die abflusswirksame befestigte Fläche in einem Einzugsgebiet berücksichtigt.

ad 3) Je nachdem, ob ein Trennsystem an das Mischwassersystem angeschlossen ist, verändern sich die Konzentrationen der Schmutzstoffe.

Betrieb und Wartung von MW-Entlastungen

Die Überwachung im Betrieb unterliegt einer kontinuierlichen Messung bzw. Berechnung folgender Punkte (ÖWAV, 2007):

- Einstau- und Überstauhäufigkeit
- Einstau- und Überstaudauer
- im Kanalnetz weitergeleitete Abwassermengen
- Betriebszeiten

Grundsätzlich empfiehlt das Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007), die Kalibrierung der Messeinrichtungen nach Vorschrift der Herstellerfirma einmal jährlich durchzuführen. Die Messgerinne müssen anhand den Eichkurven ebenso jährlich überprüft werden. Zudem ist es wichtig, dass die Mischwasserentlastungsanlagen nur von speziell ausgebildetem Personal gewartet werden. Eine Sicht- und Funktionskontrolle ist nach Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a) einmal monatlich oder nach größeren Niederschlagsereignissen erforderlich (siehe Abb. 4.1). In Deutschland wird der Betrieb hinsichtlich Eigenüberwachung und Erfolgskontrolle der Anlagen und Bauten im Misch- und Trennsystem innerhalb der Bundesländer verschieden gehandhabt (DWA/BWK, 2016). Demnach wird im Arbeitsblatt A-102 (DWA/BWK, 2016) und im Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007) auf einen Leitfaden für den Umgang mit Messdaten und Messeinrichtungen von MÜB des Bayrischen Landesamtes für Umwelt verwiesen, der sich ebenso mit der Überstauhäufigkeit und der Überstaudauer beschäftigt.

4.1.4 Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten

1. Bemessungsgrößen

Sowohl im Regelblatt 16 (ÖWAV, 2006) als auch im Merkblatt 167 (DWA, 2007) wird für die Bemessung von Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten auf die EN 858 verwiesen. Des Weiteren stellt der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband in Zusammenarbeit mit dem Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke ein Bemessungsprogramm (ÖWAV, 2020) nach den Vorgaben der ÖNORM EN 858 auf deren Homepage frei zur Verfügung. Bei der Bemessung von Ölabscheideranlagen werden mehrere verschiedene Bemessungsgrößen nach ÖNORM EN 858 herangezogen, die in dem Bemessungsprogramm detailliert beschrieben werden. Im Anhang B sind alle notwendigen Bemessungsgrößen ersichtlich.

Grundsätzlich wird für die Auswahl der Bemessungsniederschlagsspende r auf örtliche Gegebenheiten verwiesen und ein Niederschlagsereignis mit einer Mindestjährlichkeit von 1 a vorgegeben. Eine Niederschlagsspende von $150l/s*ha$ soll jedoch nicht unterschritten werden (ÖWAV, 2020).

2. Betrieb und Wartung von Abscheideranlagen

Der Betrieb von Abscheideranlagen in Österreich darf nur durch sachkundiges Personal erfolgen, und es ist ein Wartungsbuch zu führen (ÖWAV, 2006). Dies gilt ebenso für Deutschland, lediglich die Namensgebung unterscheidet in Betriebstagebuch. Abscheideranlagen reagieren sehr sensibel auf äußere Einflüsse und müssen daher ausreichend geschützt werden. Die Kontrolle der Abscheideranlage hat durch die betreibenden Personen oder eine von ihnen beauftragte fachkundige Person mindestens 1 mal im Monat oder nach besonderen Ereignissen zu erfolgen (DWA, 2007) (ÖWAV, 2006). Die Wartung der Abscheideranlage erfolgt in Deutschland halbjährlich und muss im Betriebstagebuch erfasst werden, wenn notwendig, ist diese zu entleeren (DWA, 2007). Laut dem Regelblatt 16 (ÖWAV, 2006) muss die Wartung in Österreich ebenso alle 6 Monate durch sachkundiges Personal erfolgen. Grundsätzlich müssen Abscheideranlagen in einem Zeitraum von maximal 5 Jahren überprüft, vollständig entleert und gereinigt werden (DWA, 2007) (ÖWAV, 2006). In der Tabelle 4.4 sind die jeweiligen Intervalle ersichtlich.

Tabelle 4.4: Wartungs- und Kontrollintervalle von Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten nach Regelblatt 16 (ÖWAV, 2006)

	Ölscheideranlagen
Kontrolle	monatlich/anlassbezogen
Wartung	alle 6 Monate
Generalinspektion	alle 5 Jahre
Dichtheitsprüfung	1) nach dem Bau/vor dem Betrieb 2) alle 5 Jahre

4.1.5 Naturnahe Maßnahmen der dezentralen

Niederschlagswasserbewirtschaftung

1. Bemessungsgrößen

In der Literatur sind klare Aussagen für die Bemessungsgrößen der naturnahen Maßnahmen dargestellt. Vor 2015 wurden die naturnahen Maßnahmen in Österreich durch das Regelblatt 35 (ÖWAV, 2003) geregelt. Darin wurde eine Häufigkeit des Bemessungsniederschlags für Versickerungsanlagen wie folgt vorgegeben (siehe Tab. 4.5).

Tabelle 4.5: Häufigkeit des Bemessungsniederschlags nach vorherigem Regelblatt 35 (ÖWAV, 2003)

	Häufigkeit [n]
dez. Versickerungsanlagen	0,2/a
zentr. Versickerungsanlagen	0,1/a

Ab 2015 wurde ein eigenes Regelblatt für naturnahe Maßnahmen veröffentlicht, welches das vorige Regelblatt 35 ablöste. In der 2. völlig überarbeiteten Auflage des Regelblattes 35 (ÖWAV, 2019), das nur mehr die Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer regelt, wird explizit auf das Regelblatt 45 verwiesen. Im Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b), das die Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund regelt, wird für die hydraulische Bemessung mindestens ein 5-jährliches Niederschlagsereignis zur Dimensionierung von Sickeranlagen empfohlen (siehe Tab. 4.6).

Bei dieser Bemessungsgrundlage darf zudem bei einem 1-jährlichen Niederschlagsereignis die Entleerungsdauer maximal 24h betragen. In der ÖNORM B 2506-1 (2013) und dem Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) wird gleichermaßen die Mindestbemessung für Sickeranlagen für eine Jährlichkeit $T_n = 5$ a und eine Häufigkeit $n = 0,2$ vorgegeben (siehe Tab. 4.6). Die richtige Auswahl der Jährlichkeit trägt entscheidend zur Betriebssicherheit bei. Die Dauer und Intensität für den Bemessungsniederschlag soll nach örtlichen Gegebenheiten bestimmt werden und kann bei den hydrographischen Dienststellen erhoben werden (ÖNORM B 2506-1, 2013).

Tabelle 4.6: Jährlichkeit und Häufigkeit des Bemessungsniederschlags für dezentrale Versickerungsanlagen nach ÖNORM B 2506-1 (2013), Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005)

	Jährlichkeit [T _n]	Häufigkeit [n]
dez. Versickerungsanlagen	5 a	0,2/a

Das Arbeitsblatt DWA-A-138 (DWA, 2005) unterscheidet zudem in dezentrale und zentrale Versickerungsanlagen und gibt jene Werte laut Tabelle 4.7 für zentrale Versickerungsanlagen an, die im Arbeitsblatt DWA-A-138 (DWA, 2005) in der Tabelle 3 detailliert abgebildet sind.

Tabelle 4.7: Jährlichkeit und Häufigkeit des Bemessungsniederschlags für zentrale Versickerungsanlagen nach Arbeitsblatt A 138 (DWA, 2005)

	Jährlichkeit [T _n]	Häufigkeit [n]
zentr. Versickerungsanlagen	≥ 10 a / ≥ 5 a	$\leq 0,1/a$ / $\leq 0,2/a$

Laut ÖNORM B 2506-1 (2013) muss bei größeren Beeinträchtigungen oder Schäden eine Erhöhung der Jährlichkeit vorgenommen werden. Das Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) empfiehlt zur Reduzierung des Schadensrisikos daher eine Errichtung einer Retentionsmöglichkeit mit folgenden Jährlichkeiten zur Bemessung (siehe Tab. 4.6).

Tabelle 4.8: Jährlichkeit des Niederschlagsereignisses bei größeren Beeinträchtigungen zur Errichtung einer Retentionsmöglichkeit nach Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b)

Ort	Jährlichkeit [Tn]
ländliche Gebiete (geringe Babauungsdichte)	10 a
Wohngebiete	20 a
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	30 a

Für die Bemessung der naturnahen Anlagen soll das Niederschlagsdatenformat Blockregen verwendet werden (ÖNORM B 2501, 2016). In Deutschland empfiehlt das Arbeitsblatt A-138 (DWA, 2005) für dezentrale Anlagen eine einfache Bemessung mit dem Lastfallkonzept in Form einer Niederschlagsspendenlinie und für zentrale Anlagen eine Vorbemessung und eine Abflusssimulation mit einer Niederschlagsserie von mindestens 10 Jahren. In der Literatur wird für die Dauer des Niederschlagsereignisses meistens auf örtliche Gegebenheiten nach den hydrographischen Dienststellen verwiesen. Die Niederschlagsdauer des Bemessungsniederschlags soll über eine Bilanzierung zwischen der Sickerleistung und dem Zufluss der Anlage bestimmt werden (ÖWAV, 2015b). Die ÖNORM B 2506-1 (2013) gibt für die bestimmte Art der Versickerungsmaßnahme - *Flächenversickerung* - eine Dauer von 5 Minuten an. Das Arbeitsblatt A-138 (DWA, 2005) empfiehlt für Flächenversickerungen eine Dauer von 10-15 Minuten, während für die restlichen Versickerungsanlagen eine schrittweise Niederschlagsdauer ermittelt wird. *Einleitungszonen*, die unterschiedliche Einleitungsbeschränkungen vorgeben, eingeteilt. Die Einleitungsbeschränkungen werden als maximale Abflussspenden angegeben, denen ein 5-jährliches Niederschlagsereignis mit einer Dauer von 15 Minuten zugrunde liegt (Lehmann, 2017).

In der Schweizer Richtlinie für Abwasserbehandlung (VSA, 2019a) beschreibt das Modul DA die Dimensionierung von naturnahen Maßnahmen in der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung. Die Richtlinie unterscheidet in Versickerungs- und Retentionsanlagen und gibt eine Dimensionierungsjährlichkeit von normalerweise $T_n = 10$ a an. Änderungen sind jedoch nicht ausgeschlossen, die Richtlinie verweist hier auf die Verantwortung der zuständigen Planenden (siehe Tab. 4.9).

Tabelle 4.9: Dimensionierungsjährlichkeiten von Versickerungs- und Retentionsanlagen nach Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter nach der Richtlinie für Abwasserbehandlung (VSA, 2019b)

Art der Anlage	Dimensionierungsjährlichkeit [Tn]
Versickerung mit/ohne Retention	<1 bis 10 a
Retention mit/ohne Versickerung im Mischsystem	abhängig von Kapazität im Kanalsystem
Retention mit/ohne Versickerung im Trennsystem	2, 1 evt. sogar <1
Behandlungsanlagen mit/ohne Retention	<1

Für die Bemessung wird für kleine Versickerungs- und Retentionsanlagen die Verwendung von orts- bzw. regionsspezifischen Niederschlagsintensitätskurven oder regionsspezifischen Bemessungsdiagrammen empfohlen. In der Abbildung 4.4 ist ein Bemessungsdiagramm der Zone Alpen sichtbar. Die Schweiz wurde für diese Bemessungsdiagramme in verschiedene Zonen eingeteilt, die ähnliche Bedingungen teilen. Weitere Zonen sind beispielsweise Engadin/Wallis oder Mittelland-Tessin Nord. Die Bemessungsdiagramme wurden auf Basis von Niederschlagsserien erstellt. Es kann entweder mit einer gewählten Versickerungsleistung eine erforderliche Retentionsleistung oder mit einer gewählten Retentionsleistung eine erforderliche Versickerungsleistung ermittelt werden (VSA, 2019a). Dies ist für bestimmte Jährlichkeiten von $T_n = 0,5 - 10$ a möglich (siehe Abb. 4.4). Bei großen Versickerungs- und Retentionsanlagen ist eine Langzeitsimulation mittels Niederschlagskontinuum vorgesehen (VSA, 2019a).

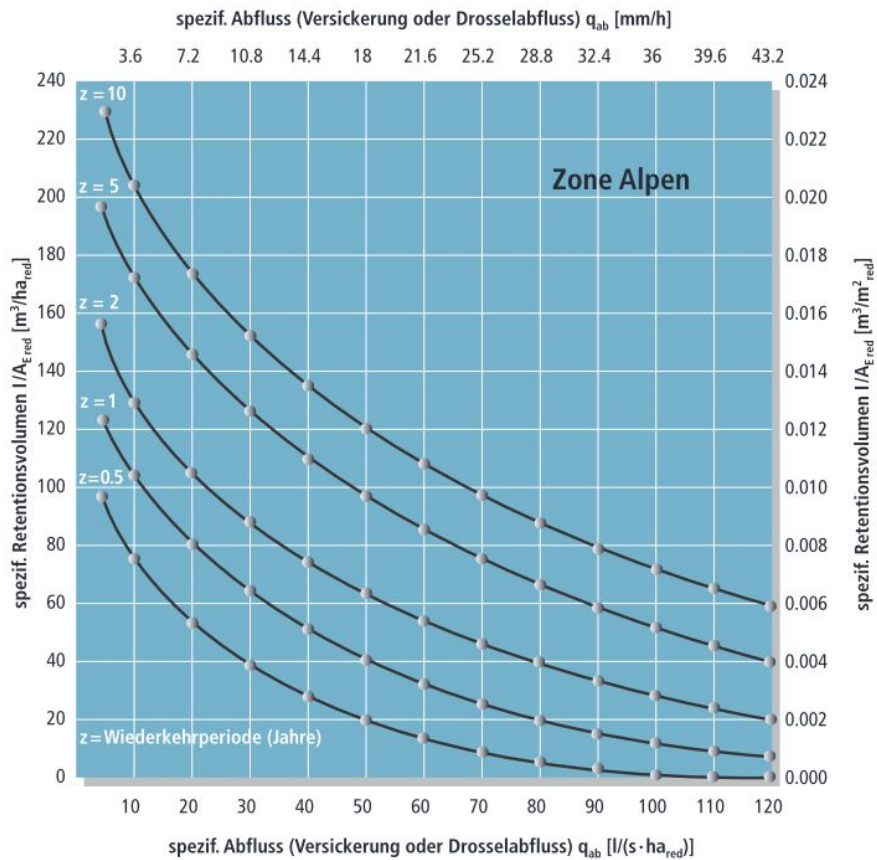


Abbildung 4.4: Beispiel eines regionsspezifischen Bemessungsdiagrammes der Schweiz für die Zone Alpen (VSA, 2019a; SN 640 350, 2005)

2. Betrieb und Wartung von naturnahen Maßnahmen

Die Wartungsintervalle werden unterschiedlich nach der Häufigkeit und Intensität der Niederschlagsereignisse eingeteilt. Wichtig für die Organisation der Intervalle ist der Feststoffeintrag einer Versickerungsanlage (ÖNORM B 2506-1, 2013). Grundsätzlich empfiehlt die ÖNORM B 2506-1 (2013) eine optische Kontrolle aller Versickerungsanlagen halbjährlich und nach außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen. Dies soll im Auftrag der Anlagenbetreibenden durch eine befugte Fachperson erfolgen (ÖWAV, 2015b). Das Arbeitsblatt A 138 (DWA, 2005) hat genaue Empfehlungen zu den Wartungsintervallen der verschiedenen Versickerungsanlagen nach Anhang A aufgelistet. Prinzipiell befinden sich die Wartungsintervalle in einem Bereich von mindestens halbjährlich - jährlich. Zudem soll nach Bedarf des Öfteren gewartet werden. Im Arbeitsblatt A 138 (DWA, 2005) befindet sich die detaillierte Tabelle 5: *Betriebliche Maßnahmen für Versickerungsanlagen (verändert nach Dohmann und Hamacher (1998))*, die alle betrieblichen Intervalle regelt.

Die Schweiz sieht regelmäßige Kontrollen der Versickerungs- und Retentionsanlagen vor, grundsätzlich ist aber für Anlagen ohne Mängel eine Untersuchung nur alle 15 Jahre notwendig (VSA, 2019a). Bei auftretenden Mängeln müssen diese innerhalb von 5 Jahren behoben werden und bei einer Gefährdung des Grundwassers muss dies unverzüglich stattfinden (VSA, 2019a). Für die dezentralen Anlagen und Bauten fehlen aus derzeitiger Sicht belastbare Langzeiterfahrungen zum Betrieb. Dies gilt für alle drei Länder des D-A-CH Raumes (Hoppe, 2017). Des Weiteren sind praktisch keine systematischen Messdaten hinsichtlich hydraulischer oder qualitätsbezogener Leistungsfähigkeit bei dezentralen Bauten vorhanden (Rieckermann et al., 2017). Außerdem werden die Betriebs- und Erfolgskontrollen vernachlässigt und in Österreich und der Schweiz fehlen zudem praxisnahe Ziele für die Erfolgskontrolle (Rieckermann et al., 2017). Die Betriebs- und Erfolgskontrollen könnten durch gezieltes Einsetzen von Messungen an den Anlagen eine Optimierung ermöglichen und zudem die Kosten von Messprogrammen durch die Verbesserung ausgleichen (Rieckermann et al., 2017).

4.1.6 Niederschlagswasserrückhalteräume

Im österreichischen Regelblatt 35 (ÖWAV, 2019) wird zur Bemessung von Rückhaltemaßnahmen explizit auf das deutsche Arbeitsblatt A 117 (DWA, 2013) verwiesen. Ebenso befindet sich im Modul DB in der Abwasserrichtlinie der Schweiz (VSA, 2019a) ein Verweis auf das Regelblatt 117 (DWA, 2013). Die Bemessung und Bestimmung des Volumens eines Niederschlagswasserrückhalterumes (NRR) ist abhängig vom zulässigen Drosselabfluss, der gewählten Überschreitungshäufigkeit und der angeschlossenen abflusswirksamen Fläche (DWA, 2013). Laut dem Arbeitsblatt A 117 (DWA, 2013) sind einige Hinweise bezüglich der Überschreitungshäufigkeit zu beachten. Befinden sich NRR im Kanalnetz, so sind die Überschreitungshäufigkeiten lt. den Tabellen 4.1, 4.2 und 4.3 zu beachten (DWA, 2013). Bei NRR vor Einleitung in Gewässer sind mehrere Faktoren wichtig. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Gewährleistung des Schutzes von Gewässern und die zu erwartende Belastung des Fließgewässers. Außerdem können der Drosselabfluss und die Überschreitungshäufigkeit zwischen den betreibenden Personen und den Behörden abgestimmt werden (DWA, 2013). Das Schadenspotential bei Hochwasserereignissen in einem Einzugsgebiet ist jedoch zu beachten (DWA, 2013). Bei der Bemessung von NRR kann ebenso zwischen *Einfaches Verfahren* und *Komplexes Verfahren* unterschieden werden.

1. Einfaches Verfahren

Beim Einfachen Verfahren werden Niederschlagsspenden zur Bemessung herangezogen, vereinfacht kann hier die Häufigkeit der Niederschlagsspende mit der Überschreitungshäufigkeit gleichgesetzt werden (DWA, 2013). In der Schweiz sollten Niederschlagsintensitätskurven verwendet werden (VSA, 2019a). Außerdem wird vereinfacht angenommen, dass der Drosselabfluss von der Füllhöhe nicht abhängig ist (DWA, 2013). Für das Einfache Verfahren gelten die folgenden Randbedingungen (DWA, 2013):

- Das Einzugsgebiet beträgt max. 200 ha oder die max. Fließzeit ist $t_f = 15$ Minuten
- Die Überschreitungshäufigkeit muss $n \geq 0,1/a$ bzw. $Tn \leq 10$ a sein
- Der Regenanteil der Drosselabflussspende muss ≥ 2 l/s*ha sein

Wenn das Einfache Verfahren nicht angewandt werden kann, ist eine Abflusssimulation notwendig.

2. Abflusssimulation in Form einer Langzeitsimulation

Abflusssimulationen können natürliche Abfolgen von Niederschlagsereignissen und die Überlagerung von Füll- und Entleerungsvorgängen rechnerisch erfassen (DWA, 2013). Anders als beim Einfachen System werden hier für ein vorgegebenes Volumen von NRR die Überschreitungshäufigkeiten im Nachweis bestimmt. Die Größen der Volumina von NRR sollten vorerst abgeschätzt werden, und dann iterativ geändert werden, um die geforderte Überschreitungshäufigkeit zu ermitteln (DWA, 2013). Die NRR sollten im Bereich von $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ bis $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ befestigte Fläche des Einzugsgebietes liegen (DWA, 2013). Der Modellbildung stehen folgende Anforderungen gegenüber (DWA, 2013):

- Niederschlagsdaten: mehrjährige Niederschlagsserie $Tn = \text{mind. } 10$ Jahre; sollte nicht unterschritten werden (angestrebter Wert = $3 * Tn$)
- Abflussbildung: Die Oberflächeneigenschaften müssen hier berücksichtigt werden (befestigte/unbefestigte Flächen)
- Abflusskonzentration: Am Ende eines Einzugsgebietes soll eine Abflussganglinie bereit gestellt werden.
- Abflustransport: Damit sollen die dynamischen Abflussprozesse dargestellt werden.

4.1.7 Betrieb und Wartung von Niederschlagswasserbecken

Beim Betrieb und der Wartung von Niederschlagswasserbecken und -rückhalteräume (NB) (NRR) sind größere Unterschiede unter den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz vorhanden. Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) und NKB werden zwar in den letzten Jahren sukzessive mit Messtechnik ausgestattet, diese Messdaten werden aber des Öfteren nicht sinngemäß verwendet (Rieckermann et al., 2017). Denn falls Messdaten vorhanden sind, sollten diese zur Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle auch benutzt werden. Datenbasierte Konzepte ist das ausschlaggebende Stichwort (Rieckermann et al., 2017). Die Messdaten geben Auskunft zur Einstauhäufigkeit und -dauer sowie zur Überlaufdauer. Aus derzeitiger Sicht werden in Österreich bei NB nur Sicht-/Funktionskontrollen durchgeführt. Diese werden nach Regelblatt 22 (ÖWAV, 2015a) monatlich oder bedarfsorientiert nach größeren Niederschlagsereignissen empfohlen (siehe Abb. 4.1).

Seit 1995 gibt es die Selbstüberwachungsverordnung in Deutschland, die bei NB eingesetzt wird. Derzeit wird diese nur für die Retentionsanlagen und noch nicht für dezentrale Anlagen angewandt, daher fehlen hier Messdaten (siehe Kapitel 4.1.5; Betrieb und Wartung). Im Bereich der NB zeigt die Selbstüberwachungsverordnung in Deutschland Wirkung. Dies ist in Österreich und der Schweiz nicht der Fall, da es etwas Ähnliches nicht gibt. In Österreich und der Schweiz wissen Aufsichtspersonen zumeist nicht, wann ein MÜB unbehandeltes Mischwasser in den nächsten Vorfluter entlastet. Verordnungen wie die Selbstüberwachungsverordnung müssten auf österreichischer Bundesebene entworfen und umgesetzt werden. In der Schweiz werden Messdaten zwar verwendet, jedoch nicht ausreichend für die Erfolgskontrolle. Die Selbstüberwachungsverordnung könnte auch für Österreich und die Schweiz eingeführt werden, um eine Verbesserung in Betrieb und Wartung zu erzielen. (Rieckermann et al., 2017)

4.1.8 Gründächer

1. Bemessungsgrößen

Die Planung und Vorgaben für Dachbegrünungen unterliegen der ÖNORM L 1131 (2010). In der ÖNORM L 1131 (2010) wird zur Entwässerungsplanung speziell die ÖNORM B 2501 (2016) angegeben. Laut der ÖNORM B 2501 (2016) liegt für die Entwässerung von Dächern der Bemessungsniederschlag mit einer Niederschlagsdauer von 5 min und einer Jährlichkeit von 5a zugrunde (siehe Tabelle 4.10). Der Bemessungsniederschlag für die Dachentwässerung unterliegt in Deutschland ebenso einer Jährlichkeit von mindestens 5a (Sieker, 2020a).

Laut dem Arbeitsblatt DWA-A 102 (DWA/BWK, 2016) wird für den flächenspezifischen Aufteilungswert für den Direktabfluss eine mittlere Niederschlagshöhe im Bereich von 500 - 1700 mm/a angegeben. Als Niederschlagsdatenformat werden einfache Niederschlags-spenden herangezogen, eine Berechnung mit dem einfachen Verfahren ist ausreichend (Sieker, 2020a) (ÖNORM B 2501, 2016). Die Gründächer werden in der Schweiz unter *Dachretentionen auf Liegenschaften* gezählt. Grundsätzlich gilt eine Bemessungsjährlichkeit von $T_n = 10$ a, die aber je nach Verantwortung der Planenden abgeändert werden kann (siehe Tabelle 4.9). Für kleine Dachretentionen können orts- bzw. regionsspezifische Niederschlagsintensitätskurven oder regionsspezifische Bemessungsdiagramme (siehe Abb. 4.4) verwendet werden. Für die Bemessung von großen Dachretentionen wie größere Überbauungen ist eine Langzeitsimulation mit einem Niederschlagskontinuum vorgesehen.

Tabelle 4.10: Jährlichkeit und Niederschlagsdauer des Bemessungsniederschlags für die Entwässerung von Dächern nach ÖNORM B 2501 (2016)

	Jährlichkeit [T_n]	Niederschlagsdauer [D]
Dächer	5 a	5 min

2. Betrieb und Wartung von Gründächern

Während die ÖNORM L 1131 (2010) für Extensivbegrünungen eine Erhaltungspflege von ein bis zwei Kontrollgängen pro Jahr vorsieht, unterliegt die Intensivbegrünung einer strengeren Erhaltungspflege, welche laut ÖNORM L 1120 (2016) sinngemäß übertragen werden muss. Daher kann für eine Intensivbegrünung ein laufendes Wartungsintervall festgesetzt werden. In der Schweiz wird nicht zwischen extensiver und intensiver Dachbegrünung unterschieden, sondern es gilt für beide Fälle ein generell laufendes Wartungsintervall (VSA, 2019a).

4.2 Zusammenfassung und Fazit der Literaturrecherche

Im ersten Teil dieser Arbeit wurden relevante Bemessungsgrößen für bestimmte Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft des D-A-CH Raumes zusammengefasst. Jene Anlagen und Bauten umfassen die Niederschlagswasser- und Mischwasserkanäle (NWK/MWK), die Mischwasserentlastungen (MW-Entlastungen), die Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten, die naturnahen Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung, die Niederschlagswasserrückhalteräume (NRR) und die Gründächer.

Prinzipiell verwenden alle drei Länder des D-A-CH Raumes vergleichbare Bemessungskriterien. Deutschland und Österreich benutzen aufgrund einer grundsätzlichen engen Zusammenarbeit und der Angehörigkeit zur Europäischen Union meist gleiche Bemessungsvorgaben. In diesem Punkt lässt sich ein geringer Unterschied zur Schweiz erkennen. Zu erwähnen ist jedoch, dass Deutschland als wichtiges Vorbild für die Schweiz und Österreich gilt. Sowohl die Schweiz, als auch Österreich verweisen des Öfteren auf deutsche Regelwerke. Die Bemessung für NRR laut dem deutschen Arbeitsblatt A-117 (DWA, 2013) wird beispielsweise in der Schweiz und in Österreich vollkommen übernommen, da kein vergleichbares Regelblatt in den beiden Ländern existiert. Auch im Betrieb und der Wartung werden deutliche Unterschiede von Österreich und der Schweiz gegenüber Deutschland sichtbar. Hinsichtlich der Niederschlagswasserbecken (NB) werden in Deutschland vermehrte automatische Messungen durchgeführt, die in Österreich und der Schweiz fehlen. In der Schweiz ist wiederum erwähnenswert, dass Gründächer einen höheren Stellenwert in der Planung von naturnahen Entwässerungsmethoden erfahren als in Deutschland und Österreich. Dementsprechend werden bessere Bemessungskriterien für Gründächer empfohlen, die ebenso für Abflusssimulationen geeignet sind (VSA, 2019a). In Österreich werden mit dem Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) für Versickerungsanlagen zumindest bei höheren Schutzanforderungen die Bemessungsjährlichkeiten erhöht. Des Weiteren ist erwähnbar, dass Anlagen und Bauten der zentralen Abwasserbehandlung seit Jahren gleichen Bemessungskriterien unterliegen. Anders bei den naturnahen Maßnahmen, die sich erst in den letzten 30 Jahren etablierten (Gujer, 2007). Für diese Art der Entwässerungsplanung stehen neuere Regelwerke zur Verfügung. Dies ist anhand der Literaturstudie von Möderl und Rauch (2010) ersichtlich, da naturnahe Maßnahmen nicht angeführt sind und diese Studie aus dem Jahr 2010 stammt. Es werden lediglich die NWK/MWK nach ÖNORM EN 752 (2008) und die MW-Entlastungen nach Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007) erwähnt. Die Bemessungsgrößen von NWK/MWK und MW-Entlastungen der Literaturstudie der Universität Innsbruck und dieser Arbeit stimmen vollkommen überein, da in der Zwischenzeit keine Überarbeitung der Normen oder Regelblätter stattgefunden hat.

Es stellt sich nun die Frage, ob die Normen und Regelblätter Stand der Technik sind, da zukünftige Herausforderungen wie der Klimawandel oder die Urbanisierung (Zhou, 2014) unbedingt in Betracht gezogen werden müssen. Jene Veränderungen und aktuelle Niederschlagscharakteristiken können nur mit Langzeit- und kontinuierlichen Simulationen erfasst werden (Leimgruber et al., 2019). Auch in Bezug auf die neueren Regelblätter der dezentralen Entwässerungstechnik werden meist nur einfache Verfahren empfohlen, obwohl diese in den letzten zehn Jahren veröffentlicht wurden und manche Studien zu Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) mit Hinweisen zu jenen Problemstellungen schon vor 20 Jahren publiziert wurden (siehe Hellström et al. (2000)). Aktuelle Forschungsarbeiten weisen zudem darauf hin, dass Langzeitsimulationen (Komplexe Verfahren) auch gerade bei der Planung und Modellierung von naturnahen Maßnahmen zwingend verwendet werden sollen um aktuelle Niederschlagscharakteristiken berücksichtigen zu können (Leimgruber et al., 2019). Um urbanen Veränderungen robuster gegenüber stehen zu können, sind hydrologische und hydrodynamische Abflusssimulationen von Modellen mit zentralen als auch dezentralen Anlagen und Bauten der Siedlungswasserwirtschaft notwendig. Diese Überlegungen fehlen vor allem in den Regelblättern von Deutschland und Österreich. Die Schweizer Richtlinie Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter (VSA, 2019a) verweist hinsichtlich dieser Problemstellung zumindest auf die Verantwortung der zuständigen Planenden. Die Neuplanung von reinen zentralen Anlagen und Bauten steht zudem immer mehr in Kritik, da diese limitierte Kapazitäten und Flexibilität gegenüber zukünftige klimatische Veränderungen und der Urbanisierung aufweisen (Zhou, 2014). Aufgrund von steigenden Intensitäten und häufigerem Auftreten von Starkniederschlagsereignissen (Zahnt et al., 2018) werden oftmals urbane Überflutungen generiert, die jedoch nicht eliminiert werden können (Fratini et al., 2012). Städte müssen urbanen Überflutungen bestandskräftiger gegenüberstehen. Für die Zukunft sind daher vermehrt dezentrale in Kombination mit zentralen Anlagen und Bauten notwendig, um sich den zukünftig ständigen Veränderungen anpassen zu können (Zhou, 2014).

Aufbauend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche, werden im zweiten Teil der Methodik zwei kleinere Modelle mit fiktiven Einzugsgebieten erstellt und Szenarien entwickelt, die dann weitere Antworten zur Fragestellung dieser Arbeit bringen sollen. Der Fokus liegt dabei auf der Kombination von zentralen und dezentralen Anlagen und Bauten und der Anwendung des empfohlenen Bemessungsereignisses. Des Weiteren werden Simulationen mit zwei realen Einzelereignissen durchgeführt, um eine Aussage außerhalb des Bemessungsereignisses treffen zu können.

Die wichtigsten Bemessungsgrößen werden in den zwei Übersichtstabellen 4.11 und 4.12 auf den nächsten Seiten und im Anhang D dargestellt. Dort enthalten sind Angaben zu den Bemessungsjährlichkeiten T_n , zur empfohlenen Niederschlagsverteilung für die Bemessung und zu den Wartungsintervallen der Anlagen und Bauten, eingeteilt in Deutschland, Österreich und Schweiz.

Abkürzungsverzeichnis für die Tabellen

*	oder bedarfsorientiert
**	Messeinrichtungen
***	lt. ÖWAV Regelblatt 35 (ÖWAV, 2003) alte Version, vor Regelblatt 45
****	bei Langzeitsimulation
1	Unterführungen werden meist geflutet; $T_n=50a$ nach Bem. Überflutung empfohlen
L	Ländliche Gebiete
W	Wohngebiete
S	Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete
U	Unterirdische Verkehrsanlagen
dV	dezentrale Versickerungen
zV	zentrale Versickerungen
V	Versickerung mit/ohne Retention
M	Retention mit/ohne Versickerung im Mischsystem
T	Retention mit/ohne Versickerung im Trennsystem
B	Behandlungsanlagen mit/ohne Retention
EX	Extensive Begrünung
IN	Intensive Begrünung

Tabelle 4.1.1: Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen der Kanalisation, Mischwasser-Entlastungen und Abscheideranlagen

		D	A	CH	
NWK/MWK	Jährlichkeit Tn	Nachweis Überstau	L	2 a	
			W	3 a	
			S	seltener als 5 a	
			U	seltener als 10 a (1)	
	Bemessung Überflutung	L	10 a		
		W	20 a		
		S	30 a		
		U	50 a		
	Niederschlagsdatenformat	Fließzeitverfahren	Niederschlagsspendenlinie, Blockregen		
		Abflusssimulation	Euler Modellregen Typ II, Modellregengruppen, Niederschlagsserien		
Wartungsintervall	Kontrolle	3 - 5 a*			
	Wartung	3 - 6 a*			
	Überprüfung	10 a*			
MW-Entl.	Jährlichkeit der Niederschlagsspende $r_{720,1}$	1 a			
	Niederschlagsdatenformat	Niederschlagsserie ≥ 10 Jahre			
		Kontrolle	1/Mo		
		Wartung	1 a**		
Überprüfung	teilweise Eigenüberwachung				
Abscheider	Jährlichkeit Tn	1 a			
	Niederschlagsdatenformat	Niederschlagsspenden			
		Kontrolle	1/Mo	1/Mo*	
		Wartung	0,5 a		
Überprüfung	≤ 5 a				

Tabelle 4.12: Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen der naturnahen Maßnahmen, Niederschlagsrückhalteräume und Gründächern

		D	A	CH		
naturnahe Maßnahmen	Jährlichkeit Tn	einfach	zV	≥ 10 a***	10 a	
			dV			
	Niederschlagsdatenformat	komplex	V	Niederschlagsspendenlinie bei dV, Niederschlagsserie ≥ 10 Jahre bei zV	Blockregen	<1 bis 10 a
			M			abh. von Kapazität
			T			2, 1, ev. <1 a
			B			<1 a
			L			10
			W			20
	S	30				
	Wartungsintervall		0,5 - 1 a	0,5 a	15 a ohne Mängel 5 a bei Mängel	
NRR	Jährlichkeit Tn	einfach	≤ 10	Niederschlagsspenden	Niederschlagsintensitätskurven	
		komplex		mehrfährige Niederschlagsserie ≥ 10 Jahre, angestrebter Wert = 3*Tn		
	Wartungsintervall	Kontrolle		1/ Mo*	teilweise Eigenüberwachung	
		Wartung				
	Jährlichkeit Tn		≥ 5 a	5 a	0,5 - 10 a	
		Mittlere Niederschlagshöhe	min			
max			500 mm/a 700mm/a			
Niederschlagsdatenformat		Niederschlagsspenden		siehe oben naturnahe Maßnahmen		
Wartungsintervall	Kontrolle	EX	0,5 a - 1 a laufend	laufend		
		IN				

5 Oberflächenabflussmodelle

In diesem Kapitel wird die Erstellung, die Vorbemessung und der Modellaufbau der zwei kleineren fiktiven Einzugsgebiete (EZG) erklärt. Diese zwei EZG sollen einen urbanen und einen ruralen Bereich darstellen. Aufbauend auf dem Ist-Zustand der zwei fiktiven EZG werden bis zu drei Szenarien erstellt und Simulationen mit unterschiedlichen Niederschlagsereignissen durchgeführt. Es werden die im Kapitel 4 ermittelten Bemessungsgrößen zur Vorbemessung bestimmt ausgewählter Anlagen und Bauten der zwei fiktiven Einzugsgebiete und zur Simulation des Oberflächenabflussmodells herangezogen. Außerdem werden reale Niederschlagsereignisse außerhalb der Bemessungsgrößen ebenso zur Simulation verwendet, um bezüglich der Fragestellung *außerhalb des Bemessungsereignisses* Aussagen treffen zu können. Anschließend werden die einzelnen Szenarien mit jeweils dem Ist-Zustand verglichen und ein Fazit daraus gezogen.

5.1 Die zwei fiktiven Einzugsgebiete und die Szenarien

Die für die Modellierung verwendeten Einzugsgebiete sind fiktiv. Alle notwendigen Eingangsdaten (z.B. Landnutzung) sind fiktiv, einzig das Digitale Geländemodell wurde aus einem realen Einzugsgebiet in Graz entnommen. Die für die Vorbemessung und zur Erstellung der Modelle benötigten Niederschlags-, Bodendaten und etwaige weitere Daten werden von österreichischen Institutionen, Behörden und Organisationen herangezogen. Trotzdem können Regelblätter und Normen durchaus von Deutschland oder der Schweiz angewendet werden. Diese Annahme kann aufgrund der im Kapitel 4 beschriebenen engen Zusammenarbeit und ähnlichen Entwässerungssysteme begründet werden. Da die Kombination der zentralen und dezentralen Anlagen für die Zukunft ein wichtiger Vorgang sein wird, liegt der Fokus in dieser Arbeit, in der Auswahl der bestimmten Anlagen und Bauten, bei dezentralen Maßnahmen. Die IST-Zustände beider EZG stellen zumindest auf öffentlich zu entwässernden Flächen eine reine zentrale Lösung dar. Nur beim EZG 2 im IST-Zustand werden die privaten Grundstücke bereits mit naturnahen Maßnahmen ausgestattet. Der Einsatz bestimmter Anlagen in den einzelnen Szenarios soll demnach vorrangig das zentrale Kanalsystem entlasten, um dieses robuster gegenüber Starkniederschlagsereignisse zu gestalten. Beide EZG mit allen Szenarien sind im Anhang E detailliert dargestellt.

5.1.1 Einzugsgebiet 1: Urbanes Gebiet

Das Urbane EZG 1 beschreibt einen Bestand in einer Innenstadt. Die Abbildung 5.1 (a) zeigt das EZG im IST-Zustand. Zu sehen ist das Mischwasser-Kanalnetz mit zwei Nebensammlern und einem Hauptsammler, welches vereinfacht kein externer Zufluss zugeführt wird. Zusätzlich befindet sich im Nordwesten ein MÜ mit einem Überlaufwehr zum Fließgewässer. Nach dem MÜ befindet sich der letzte Kanalstrang des EZG 1, an dem sich am unteren Ende der Auslass des Kanalsystems des EZG 1 befindet. Die Fließrichtungen der Kanalstränge sowie der Oberflächen erfolgt von Süden nach Norden. Im Norden des Einzugsgebietes befindet sich ein urbanes Fließgewässer, das in diesem Bereich mit einer Brücke überwunden wird. Entlang des Fließgewässers befindet sich ein Geh- und Radweg, der unter der Brücke verläuft. Durch die Unterführung soll fiktiv ein kritischer Überflutungspunkt generiert werden, der ebenso mit dem Einsatz bestimmter Anlagen und Bauten reduziert werden soll. Neben der Straße befindet sich ein Marktplatz mit einer Fläche von 2800 m², welcher ganzheitlich versiegelt ist und die Oberflächeneigenschaft Beton aufweist. Südlich des Marktplatzes befindet sich ein Parkplatz und gegenüber des Marktplatzes ist ein Altbau mit einem Steildach (Neigung 70%) angeordnet. Die Gesamtdachfläche des Daches beträgt 2200 m². Der Altbau weist einen Innenhof auf, der die Oberflächeneigenschaft Asphalt aufweist. In dem Innenhof ist ein Neubau-Haus mit einer Fläche von 120 m² angeordnet. Dieser Neubau wird als Kies-Flachdach mit einer Neigung von 2,5% ausgeführt. Der Innenhof ist mit dem öffentlichen Straßennetz anhand eines Durchganges im Altbau verbunden und wird asphaltiert ausgeführt. Der Neubau wird durch einen asphaltierten Weg mit dem Durchgang verbunden. Östlich des Altbau und des Marktplatzes befindet sich ein Wohngebäude, das ebenfalls mit Kies-Flachdächern und einer Neigung von 2,5% ausgeführt ist. Die große Hauptstraße, die von Süden bis zur Brücke führt, wird durch spezielle gepflasterte Bodenschwellen geteilt. Die gesamte Entwässerungsfläche des Wohngebäudes beträgt 1600 m². Das anfallende Niederschlags- und Schmutzwasser im Einzugsgebiet wird an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen. Insgesamt weist das Einzugsgebiet eine Gesamtfläche von 1,44 ha auf (ohne Fließgewässer) und alle Entwässerungsflächen weisen eine undurchlässige Oberfläche auf. In der Abbildung 5.1 (b) ist das Szenario 1 des EZG 1 sichtbar. Hier werden die Kies-Flachdächer des Wohnbaues und des Neubaus durch Gründächer ersetzt. Weitere bauliche Anlagen werden in diesem Szenario nicht eingesetzt.

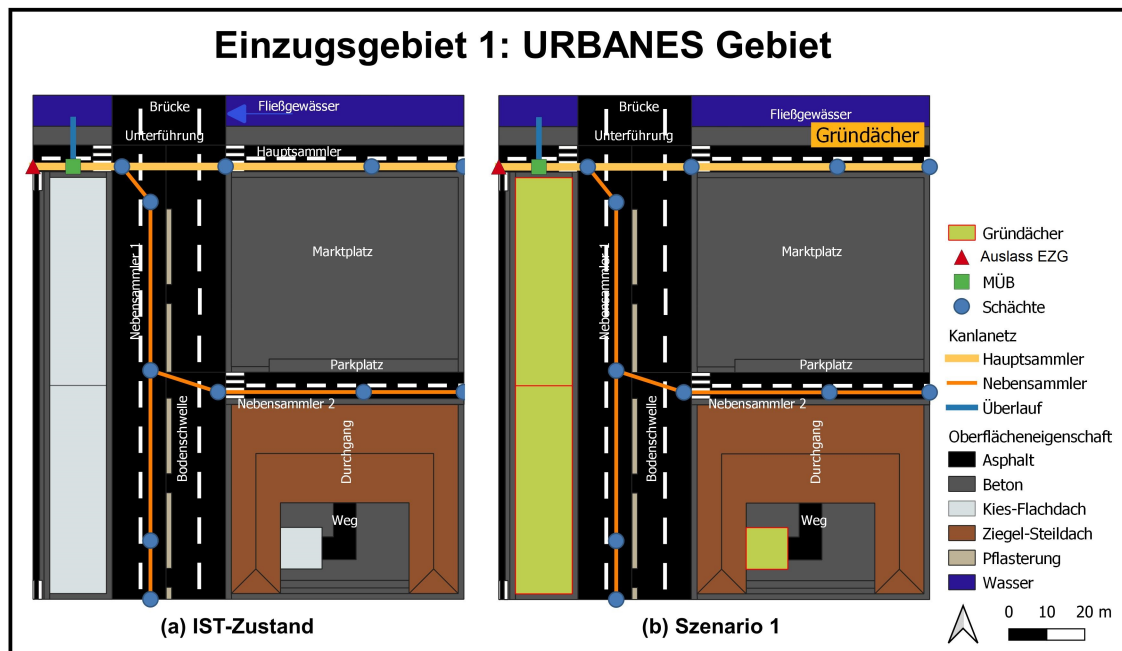


Abbildung 5.1: Einzugsgebiet 1: URBANES Gebiet: (a) IST-Zustand, (b) Szenario 1

In Abbildung 5.2 sind Szenario 2 (a) und Szenario 3 (b) des EZG 1 ersichtlich. Hier werden mehrere bauliche Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung kombiniert angewendet. Grundsätzlich ist vorgesehen, dass alle Dachflächen in bestimmte Anlagen entwässert werden (siehe Abbildung 5.7 im Kapitel 5.2). Am westlichen Rand der großen Hauptstraße wird ein Retentionsstreifen mit Pflanzen (RS- HS) angeordnet, und die Bodenschwellen werden nun als Retentionsstreifen mit Pflanzen ausgeführt. Der Marktplatz wird ganzheitlich umgestaltet, ein Teil davon wird entsiegelt und mit insgesamt 14 Bäumen ausgestattet. Zusätzlich werden im Nordwesten (RS-NW), im Nordosten (RS-NO) und im Süden (RS-S) Retentionsstreifen mit Pflanzen angelegt. In der Mitte des Marktplatzes wird eine Retentionsfläche mit verschiedenen Pflanzenarten und Aufenthaltsmöglichkeiten errichtet. Der Parkplatz und der Weg, der den Neubau mit dem öffentlichen Straßennetz verbindet, werden nun als Flächenversickerungen ausgeführt. Im Innenhof wird am südlichen Teil, entlang der Mauer, eine Versickerungsmulde errichtet, und der gesamte Innenhof wird entsiegelt und als Grünfläche ausgeführt. Im Szenario 3 wird der Marktplatz als hybride multifunktionale Fläche angesehen, dem zusätzlich 14 Bäume hinzugefügt werden. Der Marktplatz wird bei stärkeren Niederschlagsereignissen als Niederschlagswasserrückhaltebecken (NRB) verwendet und die Dachflächen werden gezielt in den vorgesehen Retentionsraum (NRR) abgeleitet. Es ist vorgesehen, dass das anfallende Niederschlagswasser erst bei Trockenwetter über die Verdunstung und einem gedrosseltem Abfluss in das urbane Fließgewässer eingeleitet wird.

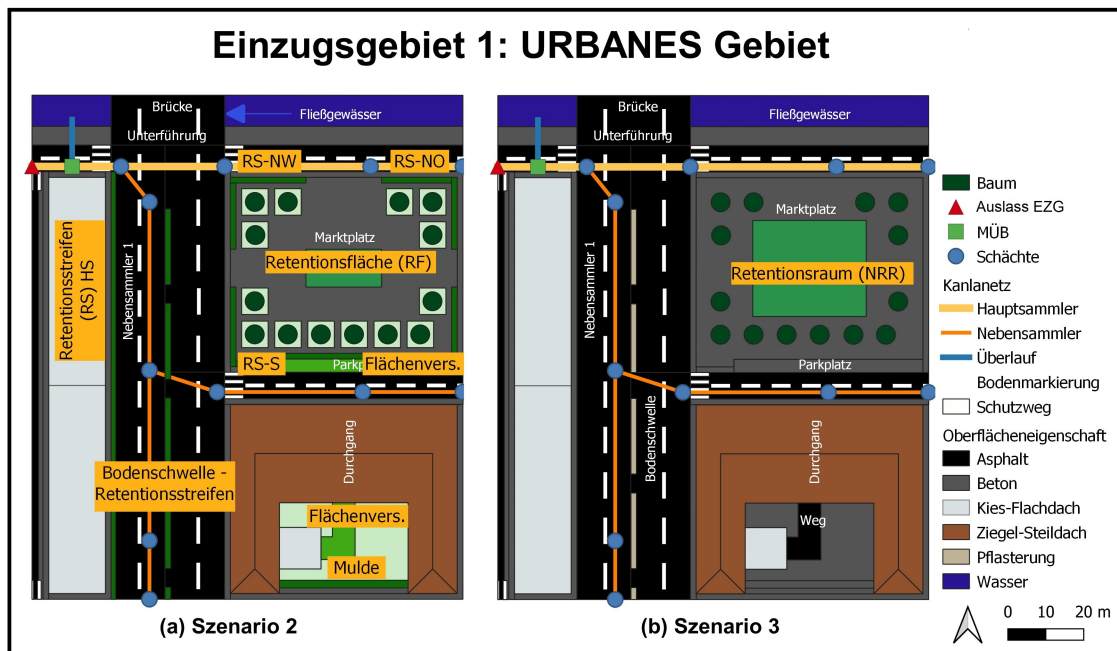


Abbildung 5.2: Einzugsgebiet 1: URBANES Gebiet: (a) Szenario 2 und (b) Szenario 3

5.1.2 Einzugsgebiet 2: Rurales Gebiet

In Abbildung 5.3 sind EZG 2 im IST-Zustand (a), im Szenario 1 (b) und Szenario 2 (c) sichtbar. Das EZG 2 wird als Neubaugebiet am Stadtrand angenommen. Es wird vorgesehen, das anfallende Niederschlagswasser jeweils am eigenen Grundstück zu entwässern. Die öffentlichen Verkehrsflächen werden in das Kanalnetz abgeleitet. Die Fließrichtungen der Kanalstränge sowie der Oberflächen erfolgt von Süden nach Norden. Am nördlichen Rand des EZG 2 befindet sich das Fließgewässer, nebenbei verlaufen der Geh- und Radweg sowie eine Straße. Der Hauptsammler verläuft im Norden von Osten nach Westen, an dem zwei Nebensammler angeschlossen werden. Im Nordwesten ist ein MÜ angeordnet, das mit einem Seitenüberlaufwehr ins Fließgewässer ausgestattet ist. Nach dem MÜ befindet sich der letzte Kanalstrang des EZG 2, an dem am unteren Ende der Auslass des Kanalsystems des EZG 2 angeordnet ist. Das EZG 2 beinhaltet 12 Grundstücke mit verschiedenen Dachflächen. Die Nummerierung der Grundstücke beginnt am nordwestlichen Teil mit 1 und wird horizontal weitergeführt, das Grundstück 12 befindet sich demnach im südöstlichen Teil des EZG 2. Die Grundstücke 1, 3, 8, 11 und 12 weisen Ziegel-Steildächer mit einer Neigung von 70% auf. Die restlichen Einfamilienhäuser und teilweise Garagen (Grundstück 8, 11 und 12) werden mit Kies-Flachdächern und einer Neigung von 2,5% ausgeführt. Das EZG 2 stellt eine Neubausiedlung in OÖ dar.

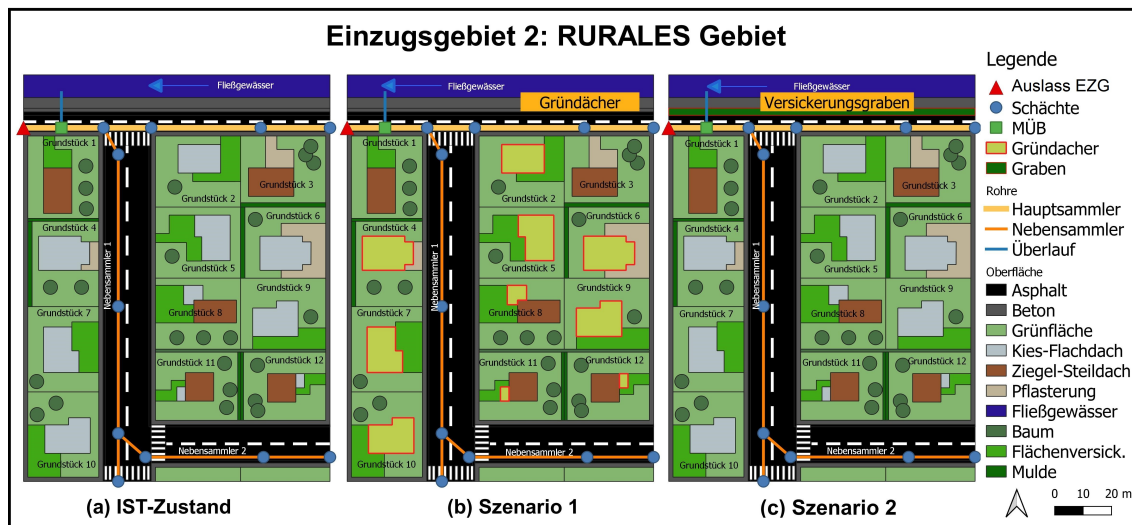


Abbildung 5.3: Einzugsgebiet 2: RURALES Gebiet: (a) IST-Zustand ,(b) Szenario 1 und (c) Szenario 2

Laut dem OÖ Abwasserentsorgungsgesetz 2001 §2 gilt: „Der Anfall von häuslichen und betrieblichen Abwässern ist weitgehend zu vermeiden. Nicht oder nur gering verunreinigte Niederschlagswässer sind möglichst direkt in den natürlichen Kreislauf zurückzuführen. Nicht erforderliche Bodenversiegelungen haben zu unterbleiben.“ (Rechtsinformationssystem des Bundes, 2001). Aus diesem Grund werden dezentrale Anlagen schon im IST-Zustand angewandt. Die Grundstücke 1,2,5 und 7 bis 12 besitzen für die Garageneinfahrt eine befahrbare Flächenversickerung. Die Grundstücke 1,3-6,11 und 12 werden jeweils hinterm Haus mit einer Versickerungsmulde ausgestattet. Die Grundstücke sind als durchlässige Grünflächen ausgeführt, zusätzlich befindet sich im südlichen Teil eine unbebaute Grünfläche. Alle Grundstücke weisen bis zu 3 Bäume auf. Der Anschluss an die Kanalisation der Grundstücke 6 und 9 verläuft unter den Grundstücken 3 und 12. Im Szenario 1 (siehe Abbildung 5.3 (b)) werden alle Kies-Flachdächer durch Gründächer ersetzt. Weitere Änderungen sind in diesem Szenario nicht vorgesehen. In der Abbildung 5.3 (c) im Szenario 2 wird im Norden zwischen der Straße und dem Geh- und Radweg ein Versickerungsgraben gesetzt, der ein Entlasten der Kanalisation vorsehen soll, weitere Anlagen werden hier nicht eingesetzt. Beim EZG 2 werden nur 2 aufbauende Szenarien erstellt, da eine Anwendung der naturnahen Maßnahmen bereits im IST-Zustand erfolgt.

5.2 Vorbemessung der in den Einzugsgebieten angewandten Anlagen und Bauten

Für die Vorbemessung der angewandten Anlagen und Bauten werden die relevanten Regelblätter, Normen und etwaige Bemessungsprogramme verwendet. Da es sich um fiktive Einzugsgebiete handelt, werden ebenso zufällig gewählte Bemessungsniederschläge (siehe Anhang C) vom hydrographischen Dienst Österreich herangezogen. Für das EZG 1 - Urbanes Gebiet der Gitternetzpunkt 5214, Graz und für das Rurale Gebiet der Gitternetzpunkt 2949, Gunskirchen.

5.2.1 Einzugsgebiet 1 und 2: Ist-Zustand - zentrale Anlagen

Da der Fokus auf dem Einsatz von dezentralen Anlagen liegt, wird das Kanalsystem für diese Arbeit nicht explizit bemessen. Für die Haupt- und Nebensammler der beiden Einzugsgebiete werden Annahmen zu den Querschnittsangaben getroffen (siehe Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1: Querschnittsannahmen für die Sammler des Kanalnetzes im EZG 1 und EZG 2: Ist-Zustand

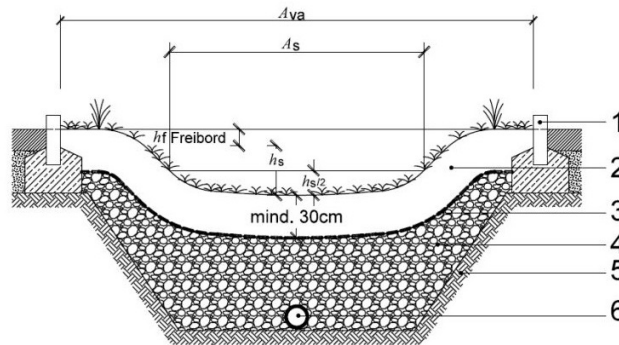
Sammler des Kanalnetzes im EZG 1 und 2: Ist-Zustand			
	Hauptsammler	Nebensammler 1	Nebensammmler 2
Querschnitt Rohr	EI 1000/1500	EI 600/900	DN 500

Prinzipiell wird das anfallende Niederschlagswasser der öffentlichen Straßen, Geh- & Radwege, Plätze in den IST-Zuständen beider EZG über das zentrale Mischwasserkanalsystem abgeleitet. Die Grundstücksflächen des EZG 2 werden am eigenen Grundstück dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt. Im urbanen EZG 1 im Ist-Zustand werden zusätzlich die Dachflächen ins zentrale Mischwasserkanalnetz abgeleitet. Bezüglich der Dimensionierung der Kanalrohre können in der Modellerstellung noch Änderungen durchgeführt werden (siehe Tabelle 5.17).

5.2.2 Einzugsgebiet 2: Ist-Zustand - dezentrale Anlagen

Das EZG 2 befindet sich am Standort Gunskirchen, OÖ und stellt eine Neubausiedlung dar. Hier wird für das EZG 2 eine Niederschlagsentwässerung am eigenen Grundstück vorgesehen, für das dezentrale Maßnahmen verwendet werden.

Für die Vorbemessung werden die ÖNORM B 2506-1 (2013) und das Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) verwendet. Die Einfahrten der Grundstücke 1-2, 5 und 7 bis 12 enthalten Flächenversickerungen in Form von Rasensteinen. Die Grundstücke 1, 11 und 12 werden zusätzlich mit Versickerungsmulden versehen. Bei diesen Grundstücken wird die Hälfte der Grünfläche über die Flächenversickerung abgeleitet, die andere Hälfte der Grünfläche und das Dach werden über die Versickerungsmulden gespeichert und dem Grundwasser zugeführt. Die Einfahrten der Grundstücke 3, 4 und 6 werden als Pflasterung mit offenen Fugen ausgeführt und mit Versickerungsmulden ausgestattet. In Abbildung 5.4 ist ein schematischer Aufbau einer Versickerungsmulde nach ÖNORM B 2506-1 (2013) sichtbar.



- Es bedeutet:
- 1 Bordstein
 - 2 belebte Bodenzone
 - 3 Trennschicht: zB Geotextil-Trenngewebe
 - 4 Grobkies, zB 16/32 gewaschen
 - 5 gewachsener Boden
 - 6 Drainagerohr zur besseren horizontalen Verteilung oder als Kontrolleitung
 - h_f Sicherheitsabstand (Freibord), in m
 - h_s Stauhöhe, in m

Abbildung 5.4: Schema einer Sickermulde mit Drainagerohr nach ÖNORM B 2506-1 (2013)

1. Flächenversickerung

Die ÖNORM B 2506-1 (2013) gibt die Ermittlung der erforderlichen Sickerfläche A_s laut Gleichung 5.7 vor:

$$A_s > \frac{i * A_{ent}}{v_f * \beta} \quad (5.7)$$

mit:

A_s wirksame Versickerungsfläche [m^2]

i Regenintensität mit Bemessungsniederschlag h_n ($T_n = 5$ a und $D = 5$ min) [mm/min]

A_{ent} abflusswirksame beregnete Gesamtfläche [m^2]

v_f Sickergeschwindigkeit [mm/min]

β Sicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung einer Verschlämmung

Für die Bestimmung der Parameter zur Bemessung der Flächenversickerung werden Annahmen getroffen. Die abflusswirksame beregnete Gesamtfläche A_{ent} variiert unter den Grundstücken und wird mit zugewiesenen Abflussbeiwerten ψ_s abhängig von der Oberflächeneigenschaft nach Arbeitsblatt DWA-A117 (DWA, 2013) berechnet. In der Tabelle 5.2 sind diese Flächen, welche der wirksamen Versickerungsflächen A_s und der tatsächlichen vorhandenen wirksamen Versickerungsfläche entsprechen, sichtbar. Für den Aufbau des Unterbaus werden ein Schotterbett mit der Tiefe = 40cm und Rasensteine mit einer Höhe = 8 cm gewählt (Ebenseer Außenanlagen, 2021).

Eingangsparameter:

- Regenintensität i mit $T_n=5a$, $D=5\text{min}$ (siehe Anhang C) nach ÖNORM B 2506-1 (2013)
2,44 mm/min
- Sickergeschwindigkeit v_f (ÖNORM B 2506-1, 2013): gewählte Bodenart für den Oberbau:
sandiger Kies **6 mm/min**
- Sicherheitsbeiwert β nach (ÖNORM B 2506-1, 2013):
1,0

Tabelle 5.2: Abflusswirksame beregnete Gesamtflächen und wirksame Versickerungsflächen für Flächenversickerungen im EZG 2: Ist-Zustand

Flächenversickerungen im EZG 2: Ist-Zustand			
	$A_{ent}[m^2]$	$A_s[m^2]$	$tats.A_s[m^2]$
Grundstück 1	91	37	84
Grundstück 2	336	137	143
Grundstück 5	337	137	140
Grundstück 7	353	144	150
Grundstück 8	357	145	154
Grundstück 9	348	141	145
Grundstück 10	358	145	157
Grundstück 11 & 12	96	39	44

2. Versickerungsmulden

Die Versickerungsmulden werden durch die abflusswirksamen berechneten Gesamtfächen A_{ent} bestimmt, die je nach Grundstück variieren. Die wirksame Versickerungsfläche A_s kann frei gewählt werden und ist abhängig von der Grundstückgeometrie und den Platzverhältnissen. Prinzipiell soll durch eine Versickerungsmulde so wenig wie möglich an Platz eingenommen werden, um das Grundstück perfekt nutzen zu können. Diese Flächen sind in der Tabelle 5.3 ersichtlich.

Tabelle 5.3: Abflusswirksame berechnete Gesamtfächen und wirksame Versickerungsflächen für Vorbemessung der Versickerungsmulden im EZG 2: Ist-Zustand

Versickerungsmulden im EZG 2: Ist-Zustand					
	$A_s [m^2]$	Grünfläche * ψ_{s1}	Dachfläche * ψ_{s2}	Pflasterung * ψ_{s3}	ges $A_{ent} [m^2]$
Grundstück 1	30	112	144		286
Grundstück 3	45	184	144	42	415
Grundstück 4	45	206	162	16	429
Grundstück 6	37,5	128	162	94	421,5
Grundstück 11 & 12	30	135	90		255

mit (DWA, 2013):

ψ_{s1} Abflussbeiwert für Grünflächen: <0,5 gew. 0,4

ψ_{s2} Abflussbeiwert für Ziegel-Schrägdach: 0,9

ψ_{s2} Abflussbeiwert für Kies-Flachdach: 0,8

ψ_{s3} Abflussbeiwert für Pflasterungen mit offenen Fugen: 0,5

Für die Vorbemessung aller Versickerungsmulden sind weitere Annahmen zu treffen, die für jedes Grundstück ident sind (siehe Abbildung 5.5). Das Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015a) empfiehlt zur Bemessung von Versickerungsmulden für die Bodenart des Bodenfilters einen Mittelsand mit der Sickerfähigkeit $k_f = 1 \cdot 10^{-5} m/s$ nach ÖNORM B 2506-1 (2013). Der Zuschlagsfaktor kann bei dieser Annahme $f_z = 1,0$ gesetzt werden (DWA, 2005). Der Sicherheitsbeiwert β wird bei Versickerungsmulden 1,0 angenommen (ÖNORM B 2506-1, 2013). Des Weiteren wird eine Bemessungsjährlichkeit $T_n = 5$ a gewählt, da laut Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015a) Versickerungsanlagen nach einer Jährlichkeit von 5 Jahren bemessen werden sollen, das gilt ebenso für Dachflächen (ÖNORM B 2501, 2016).

Sickerfähigkeit des Bodenfilters	k_f	1,E-05 m/s
Zuschlagsfaktor	f_z	1,0
Sicherheitsbeiwert	β	1,0

Abbildung 5.5: Eingabeparameter nach ÖNORM B 2506-1 (2013) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) für die Vorbemessung der Versickerungsmulden im EZG 2

Mit der Bestimmung aller Eingangsparameter wurden folgende Einstauhöhen berechnet (siehe Tabelle 5.4):

Tabelle 5.4: Berechnete Einstauhöhen und gewählte Tiefen für Versickerungsmulden des EZG 2: Ist-Zustand

Versickerungsmulden im EZG 2: Ist-Zustand					
	Grundstück 1	Grundstück 3	Grundstück 4	Grundstück 6	Grundstück 11 & 12
Einstauhöhe $h_s [m^2]$	0,33	0,31	0,33	0,43	0,27
gew. Tiefe $[m^2]$	0,4	0,35	0,35	0,5	0,35

5.2.3 Einzugsgebiet 1 und 2: Szenario 1

Im EZG 1 und 2 - Szenario 1 werden die Kies-Flachdächer der Plattenbauten, des Neubaus und der ausgewählten Einfamilienhäuser durch Gründächer ersetzt. Die Entwässerung des Niederschlagswassers wird ident wie im EZG 1 und 2: Ist-Zustand gehandhabt. Das gesamte anfallende Niederschlagswasser wird im EZG 1 in das zentrale Mischwasser-Kanalnetz abgeleitet. Im EZG 2 wird das anfallende Niederschlagswasser der privaten Grundstücke am eigenen Grundstück dem natürlichen Wasserkreis zugeführt und das des öffentlichen Raumes dem Mischwasser-Kanalnetz zugeführt.

Die Vorbemessung der Gründächer erfolgt nach der ÖNORM L 1131 (2010), ÖNORM B 2506-1 (2013) und der Schweizer Richtlinie VSA (2019a). In der Abbildung 5.6 ist ein Schichtaufbau eines Gründaches mit wurzelfester Abdichtung nach ÖNORM L 1131 (2010) ersichtlich. In der Tabelle 5.5 sind die relevanten Parameter für die Gründächer der zwei fiktiven Einzugsgebiete im Szenario 1 sichtbar. Für die Bestimmung der wesentlichen Parameter werden vereinfachend Annahmen getroffen (ÖNORM L 1131, 2010):

1. Die Vegetationsschicht und die Dränschicht sind gegenseitig mechanisch filterstabil, darum ist ein Einbau einer Filterschicht nicht notwendig.

2. Bezogen auf die Gesamtdicke ist die Dicke der Durchwurzelungsschicht vernachlässigbar gering.
3. Wird von *der Gesamtdicke des Begrünungsaufbaues* gesprochen, handelt es sich hierbei um den durchwurzelbaren Raum, und dieser definiert sich aufgrund Punkt 1 und 2 aus der *Vegetationsschicht* und *Dränschicht*.

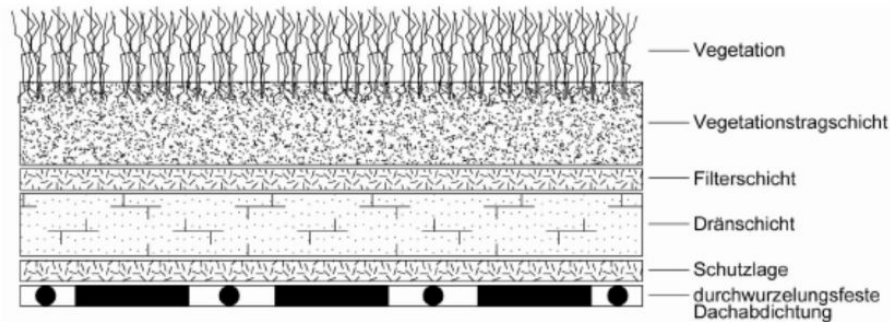


Abbildung 5.6: Aufbau eines Gründaches mit wurzelfester Abdichtung als Wurzelschutzsystem (nach ÖNORM L 1131 (2010))

Tabelle 5.5: Vorbemessung der Gründächer - Einzugsgebiet 1 und 2: Szenario 1

Gründächer im EZG 1 und 2: Szenario 1		
	EZG 1	EZG 2
Begrünungsart	extensiv; Gras-Kraut	extensiv; Sedum-Gras
Gesamtdicke	≥ 19 cm; gewählt 20cm	≥ 12 cm; gewählt 15cm
Abdichtungsneigung	2,5%	2,5%
Bemessungsniederschlag (siehe Anhang C)	$h_n(D=5\text{min}, T_n=5a)=$ 12,7mm	$h_n(D=5\text{min}, T_n=5a)=$ 12,2mm
Abflussbeiwert ψ_s	0,3	0,3
Ablaufbegrenzung und Notüberlauf	ja	ja

5.2.4 Einzugsgebiet 1: Szenario 2

Im Einzugsgebiet 1 - Szenario 2 werden naturnahe Maßnahmen angewandt, um das zentrale Mischwasserkanalnetz zu entlasten. Zur Anwendung kommen Retentionsstreifen mit Pflanzen, Flächenversickerungen, Versickerungsmulden und eine Retentionsfläche mit Pflanzen. Zusätzlich werden am Marktplatz Bäume gepflanzt, und der Innenhof wird durch eine Grünfläche entsiegelt.

Naturnahe Maßnahmen werden in diesem Szenario gezielt eingesetzt, um jener Fragestellung der Literaturrecherche (siehe Kapitel 4.2) entgegen zu kommen. Das Hauptziel besteht darin, zentrale mit dezentralen Anlagen zu kombinieren, da diese gemeinsam robuster gegen zukünftige Veränderungen reagieren können (Zhou, 2014). Des Weiteren sind Aussagen zu den vorgesehenen Bemessungsniederschlägen für dezentrale Anlagen von Bedeutung. Alle Entwässerungsflächen im Einzugsgebiet werden in diesem Szenario in die dafür vorgesehenen naturnahen Maßnahmen abgeleitet. Ausgenommen ist der Geh- und Radweg im Norden, dieser wird über die Unterführung direkt ins urbane Fließgewässer abgeleitet. In der Abbildung 5.7 sind jene Entwässerungsflächen sichtbar, die in die zugehörigen naturnahen Maßnahmen abgeleitet werden. Die in der Legende beschriebenen Flächen stellen die Bemessungsgrundlage für die zu bemessenden naturnahen Maßnahmen dar. Aufbauend auf dieser Aufteilung der Flächen kann die Vorbemessung nach ÖNORM B 2506-1 (2013) und mit dem Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) durchgeführt werden. Eine detaillierte Ansicht der aufgeteilten Entwässerungsflächen befindet sich im Anhang E. Es ist zu erwähnen, dass die durchgeführte Vorbemessung mit dem Bemessungsprogramm des ÖWAV für Versickerungsmulden vereinfacht für die Retentionsstreifen und der Retentionsfläche angewandt wird. Die Vorbemessung dient dazu, eine bestimmte Einstauhöhe für die Speicherung des anfallenden Niederschlagswassers zu ermitteln. Im Modellaufbau werden die unterschiedlichen Ausführungen der Anlagen berücksichtigt.

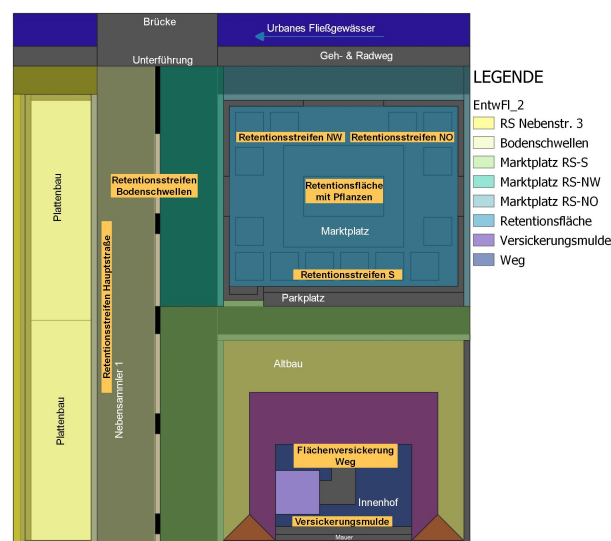


Abbildung 5.7: Entwässerungsflächen im EZG 1: Szenario 2 mit zugehörigen naturnahen Maßnahmen

1. Flächenversickerung

Für die Vorbemessung der Weg-Flächenversickerung gilt die Gleichung 5.7. Laut der Abbildung 5.7 wird eine abflusswirksame berechnete Gesamtfläche von $A_{ent} = 231 \text{ m}^2$ generiert (siehe Tabelle 5.6). Die Eingangparameter Regenintensität i mit dem Bemessungsniederschlag h_n ($T_n=5a$, $D=5\text{min}$) des Gitternetzpunktes 5214, Graz, die Sickergeschwindigkeit für den gewählten Oberbau mit sandigem Kies v_f und der Sicherheitsbeiwert β können ebenso der Tabelle 5.6 entnommen werden. Die gewählte Dauerstufe wird nach der ÖNORM B 2506-1 (2013) für Flächenversickerungen gewählt. Laut Gleichung 5.7 wird eine wirksame Versickerungsfläche von 98 m^2 errechnet.

Die Flächenversickerung am Parkplatz wird nicht explizit berechnet, da sie für dieses Szenario nur als zusätzliche Anlage zur Rückbildung des natürlichen Wasserkreislaufes angesehen wird. Für den Aufbau des Unterbaus der Flächenversickerungen werden ein Schotterbett mit der Tiefe von 40cm und Rasensteine mit einer Höhe von 8 cm gewählt (Ebenseer Außenanlagen, 2021).

Tabelle 5.6: Eingangparameter und errechnete wirksame Versickerungsfläche für Weg-Flächenversickerung im EZG 1: Szenario 2

Flächenversickerung im EZG 1: Szenario 2						
	$v_f [mm/min]$	$i [mm/min]$	$\beta [-]$	$A_{ent} [m^2]$	$A_s [m^2]$	$tats. A_s [m^2]$
Weg	6	2,54	1,0	231	98	108

2. Versickerungsanlagen

Laut Abbildung 5.7 wird jeweils eine bestimmte abflusswirksame berechnete Gesamtfläche A_{ent} für die jeweilige Versickerungsanlage generiert. Die wirksame Versickerungsfläche A_s wird von der Planungsseite gewählt. In der Tabelle 5.7 sind die relevanten Flächen zur Vorbemessung der einzelnen Versickerungsanlagen aufgelistet.

mit (DWA, 2013):

ψ_{s1} Abflussbeiwert für Grünflächen: <0,5; gew. 0,4

ψ_{s2} Abflussbeiwert für Ziegel-Schrägdach: 0,9

ψ_{s2} Abflussbeiwert für Kies-Flachdach: 0,8

ψ_{s4} Abflussbeiwert für Straßen: 0,9

ψ_{s5} Abflussbeiwert für Geh- & Radwege 0,9

Tabelle 5.7: Abflusswirksame berechnete Gesamtläche und wirksame Versickerungsfläche für Vorbemessung der Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2

Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2						
	$A_s[m^2]$	Dachfläche * ψ_{s2}	Straße * ψ_{s4}	Geh-& Radweg * ψ_{s5}	Grünfläche * ψ_{s1}	ges $A_{ent}[m^2]$
Retentionsstreifen (RS) HS	135	1320	320	173		1948
Bodenschwellen	125		1539	173		1837
Marktplatz RS-S	150	1094	1167	168		2579
Marktplatz RS-NW	56		783	68		907
Marktplatz RS-NO	56		397	152		605
Retentionsfläche (RF)	200			1691	274	2165
Versickerungsmulde	68	890				958

Zur Berechnung der weiteren Versickerungsanlagen sind weitere Annahmen zu treffen. Die Bemessungsjährlichkeit wird auf $T_n = 5$ a festgelegt. Für die Ausführung der Versickerungsanlagen wird für die Wahl des Bodenfilters in diesem Szenario ein sandiger Kies mit der Sickerfähigkeit von $k_f = 1 * 10^{-4} m/s$ gewählt (ÖNORM B 2506-1, 2013). Das Arbeitsblatt DWA -A 138 (DWA, 2005) empfiehlt bei dieser Wahl des Bodenfilters einen Zuschlagsfaktor f_z von 1,2. Der Sicherheitsbeiwert β kann bei Versickerungsmulden als 1,0 angenommen werden (siehe Abbildung 5.8).

Sickerfähigkeit des Bodenfilters	k_f	1,E-04 m/s
Zuschlagsfaktor	f_z	1,2
Sicherheitsbeiwert	β	1,0

Abbildung 5.8: Eingabeparameter nach ÖNORM B 2506-1 (2013) und Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) für die Vorbemessung der Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2

Mit der Bestimmung aller Eingangsparameter wurden folgende Einstauhöhen berechnet (siehe Tabelle 5.8):

Tabelle 5.8: Berechnete Einstauhöhen und gewählte Tiefen für Versickerungsanlagen des EZG 1: Szenario 2

Versickerungsanlagen im EZG 1: Szenario 2							
	RS HS	Boden- schwelle	RS-S	RS- NW	RS- NO	RF	VM
Einstauhöhe $h_s [m^2]$	0,45	0,47	0,58	0,53	0,29	0,29	0,44
gew. Tiefe $[m^2]$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,35	0,35	0,5

5.2.5 Einzugsgebiet 2: Szenario 2

Im Szenario 2 des EZG 2 werden die öffentlichen Straßen und Geh- & Radwege nicht in das zentrale Mischwasserkanalsystem abgeleitet. Im Norden wird zwischen der Straße und dem Geh- & Radweg ein Versickerungsgraben errichtet, der das aktuelle zentrale Mischwasserkanalnetz entlasten soll. Für die Vorbemessung des Versickerungsgrabens wird das Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) verwendet. Für die bestimmten Eingangsparemeter Sickerfähigkeit des Bodenfilters k_f , Zuschlagsfaktor f_z , Sicherheitsbeiwert β und Bemessungsjährlichkeit ($T_n=5a$) werden die gleichen Annahmen wie im EZG: Ist-Zustand getroffen (siehe Abbildung 5.5). Für die abflusswirksame berechnete Gesamtfläche A_{ent} und die wirksame Versickerungsfläche A_s gelten die Annahmen der Tabelle 5.9. Mit den Eingangsparemetern errechnet sich eine Stauhöhe des Versickerungsgrabens von 0,85 m. Die gewählte Tiefe wird mit 1m gesetzt. Die Abmessungen des Versickerungsgrabens sind in der Tabelle 5.10 ersichtlich.

Tabelle 5.9: Abflusswirksame berechnete Gesamtfläche und wirksame Versickerungsfläche für Vorbemessung des Versickerungsgrabens im EZG 2: Szenario 2

Versickerungsgraben im EZG 2: Szenario 2					
	$A_s [m^2]$	Grünfläche * ψ_{s1}	Straße * ψ_{s4}	Geh- & Radweg * ψ_{s5}	ges $A_{ent} [m^2]$
Graben	270	123	2948	1302	4643

mit (DWA, 2013):

ψ_{s1} Abflussbeiwert für Grünflächen: <0,5, gew. 0,4

ψ_{s4} Abflussbeiwert für Straßen: 0,9

ψ_{s5} Abflussbeiwert für Geh- & Radwege 0,9

Tabelle 5.10: Abmessungen des Versickerungsgrabens im EZG 2: Szenario 2

Versickerungsgraben im EZG 2: Szenario 2				
	Länge [m]	Breite [m]	gew.Tiefe [m]	err.Tiefe [m]
Versickerungsgraben	108	2,5	1,0	0,85

5.2.6 Einzugsgebiet 1: Szenario 3

Im Szenario 3 des EZG 1 werden alle Entwässerungsflächen in einen integrierten Retentionsraum am Marktplatz abgeleitet. Der Marktplatz dient als hybride multifunktionale Fläche. An Trockenwetterereignissen kann der Marktplatz öffentlich für Aufenthalt und Treffen genutzt werden. Bei starken Niederschlagsereignissen wird ein Retentionsraum aktiviert, der das anfallende Niederschlagswasser speichert und über die Verdunstung und einen gedrosselten Abfluss ins urbane Fließgewässer an dem nächstfolgenden Trockenwetterereignis entleert wird. Dadurch wird das anfallende Niederschlagswasser vom zentralen Mischwasserkanalnetz entkoppelt, das eine Entlastung erzielen soll. Es ist zu beachten, dass ein Überstau aus dem zentralen Mischwasserkanalnetz nicht auftreten darf, um Verunreinigungen durch das Schmutzwasser zu verhindern. Der Retentionsraum steht daher rein für Niederschlagswasser zur Verfügung. Die Vorbemessung erfolgt nach dem Regelblatt DWA-117 (DWA, 2013) und dem darauf aufbauenden Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013). Im Kapitel 4.1.6 werden die Randbedingungen für die Verwendung des einfachen Verfahrens genauer erläutert, anhand denen die Bemessungsgrundlagen bestimmt werden können:

Tabelle 5.11: Bemessungsgrundlagen für die Vorbemessung des Rückhalteraaumes im EZG 1: Szenario 3

Rückhalterraum im EZG 1: Szenario 3	
gew. Bemessungsjährlichkeit T_n	5 a
gew. mittlerer Drosselabfluss Q_D	15 l/s
mittlere Drosselabflussspende q_D	11,12 l/s*ha
längste Fließzeit t_f	1 min
Zuschlagsfaktor f_z	hoch 1,10
Abminderungsfaktor f_a	$\approx 1,0$

Für die Berechnung der gewählten Fließzeit wird eine Abflussgeschwindigkeit von 2,5 m/s angenommen (Hoeft, 2003). Der längste zurückgelegte Weg im Einzugsgebiet beträgt 150 m. Nach Gleichung 5.8 wird die max. Fließzeit zu 1 Minute berechnet.

$$t_f = \frac{150}{2,5 * 60} = \mathbf{1 \text{ min}} \quad (5.8)$$

Der Zuschlagsfaktor ist abhängig vom Risikomaß, das als *hoch* angenommen wird. „Dieser Wert sagt aus, dass das mit dem einfachen Verfahren bemessene Volumen mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 45 % kleiner und mit einer Wahrscheinlichkeit von 55 % größer ist als das Volumen, das bei Vorgabe derselben Berechnungsgrundlagen durch eine Langzeitsimulation als erforderlich nachgewiesen würde“ (DWA, 2013). Die Wahl des Risikomaßes *hoch* wird damit begründet, dass der Retentionsraum am Marktplatz als hybride multifunktionale Fläche angenommen wird und nicht als reines NRB funktioniert. Der Abminderungsfaktor wird nach Arbeitsblatt DWA-117 (DWA, 2013) empirisch berechnet und ist abhängig von der max. Fließzeit t_f , der mittleren Drosselabflusspende q_D und der gewählten Bemessungsjährlichkeit T_n (siehe Abbildung 5.9).

Abminderungsfaktor f_A nach Arbeitsblatt DWA - A 117	
empirische Funktion	$f_A = (0,6134 \cdot n + 0,3866) \cdot f_1 - (0,6134 \cdot n - 0,6134)$
mit	n Überschreitungshäufigkeit in 1/a f_1 Hilfsfunktion $f_1 = 1 - (1,00 \cdot 10^{-10} \cdot t_f^3 - 8,00 \cdot 10^{-9} \cdot t_f^2 + 1,00 \cdot 10^{-8} \cdot t_f) \cdot q_{Dr,R,u}^3$ $\quad + (1,60 \cdot 10^{-8} \cdot t_f^3 - 9,15 \cdot 10^{-7} \cdot t_f^2 + 1,14 \cdot 10^{-6} \cdot t_f) \cdot q_{Dr,R,u}^2$ $\quad + (1,80 \cdot 10^{-7} \cdot t_f^3 - 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot t_f^2 + 1,56 \cdot 10^{-5} \cdot t_f) \cdot q_{Dr,R,u}$ t_f Fließzeit in min $q_{Dr,R,u}$ Regenanteil der Drosselabflusspende der undurchlässigen Fläche

Abbildung 5.9: Empirische Berechnung des Abminderungsfaktors nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013)

In der Abbildung 5.10 sind alle Bemessungsgrundlagen und Eingabeparameter ersichtlich. Ebenso sind die einzelnen Entwässerungsflächen mit den verschiedenen Oberflächeneigenschaften und daraus resultierenden Abflussbeiwerten ψ_s nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) sichtbar, die sich wie folgt aufgliedern:

- Ziegel-Steildach; $\psi = 0,9$; $A = 2184m^2$

- Kies-Flachdächer,; $\psi = 0,7$; $A = 1771m^2$
- Straßen, Plätze; Geh-Radweg,; $\psi = 0,9$; $A = 11.347m^2$
- Bodenschwellen, $\psi = 0,75$; $A = 100m^2$

EINGABEN				
Einzugsflächen				
Bezeichnung Einzugsfläche	Art der Entwässerungsfläche	Abflussbeiwert α_n	A_n [m ²]	Teileinzugsflächen A_{red} [m ²]
Teilfläche 1	Ziegel-Steildach	0,90	2184,0 m ²	1965,6 m ²
Teilfläche 2	Kies-Flachdach	0,70	1771,0 m ²	1239,7 m ²
Teilfläche 3	Straße, Plätze, Geh-Radweg	0,90	11347,0 m ²	10212,3 m ²
Teilfläche 4	Bodenschwellen	0,75	100,0 m ²	75,0 m ²
Teilfläche 5				0,0 m ²
GESAMTEINZUGSFLÄCHE			15402,0 m²	13492,6 m²
Fließzeit vom entferntesten Punkt [min]				1,00 min
mittlerer Drosselabfluss [l/s]			Q_D	15,00 l/s
mittlere Drosselabflussspende [l/s * ha]			q_D	11,12 l/s * ha
Zuschlagsfaktor			f_z	1,10
Abminderungsfaktor			f_a	1,00

Abbildung 5.10: Eingabeparameter nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) für die Bemessung des Retentionsvolumens am Marktplatz

Für die Vorbemessung des Retentionsraumes am Marktplatz im EZG 1: Szenario 3 wird der Bemessungsniederschlag des Gitternetzpunktes 5214 Graz, Steiermark verwendet. Mit den Bemessungsgrundlagen, den Eingangsparemtern und den Niederschlagsdaten wurde ein Retentionsvolumen von mind. $595m^3$ berechnet. Der Retentionsraum wird mittig am Marktplatz angeordnet und weist eine Länge von 30m, eine Breite von 25,4m und eine Tiefe von 0,8m auf. Das gewählte Retentionsvolumen beträgt somit **610 m³** (siehe Tabelle 5.12).

Tabelle 5.12: Abmessungen des Retentionsraumes im EZG 1: Szenario 3

Rückhalteraum im EZG 1: Szenario 3					
	Länge [m]	Breite [m]	gew.Tiefe [m]	tats. V [m ³]	err. V [m ³]
Retentionsraum Marktplatz	30	25,4	0,8	610	595

5.3 Datengrundlage zur Modellerstellung und Simulation

Die Zusammenstellung für die zwei fiktiven Einzugsgebiete besteht aus teilweise konstruierten und realen Daten. Die realen Daten werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

5.3.1 Digitales Geländemodell

In der Erstellung von Oberflächenabflussmodelle ist der Fließweg des Wassers, der von Höhenunterschiede abhängig ist, von großer Bedeutung. Für diese Arbeit wird ein Digitales Geländemodell (DGM) aus Graz-Andritz mit dem Einzugsgebiet des Stufenbaches herangezogen. Dieses Gebiet wird gewählt, da es ein flaches Gebiet mit geringen Höhendifferenzen und Fließgewässerprofil aufweist. In der Abbildung 5.11 ist das DGM mit dem Höhenverlauf des realen Einzugsgebietes ersichtlich, das für die fiktiven Bedingungen verwendet wird. Die blaue Linie stellt das Fließgewässer dar. Anhand dem Farbverlauf ist sichtbar, dass der Fließweg des Wassers von Süden nach Norden in Richtung des Flusses verläuft. Um das reale DGM im Modell verwenden zu können, müssen Nachbearbeitungen in einem GIS-basiertem Programm durchgeführt werden. Diese Änderungen beinhalten unter anderem die Darstellung des Höhenunterschiedes zwischen den Straßen und den Gehwegen oder der Brücke und dem Fließgewässer im Einzugsgebiet 1. Außerdem sollen die in der Vorbemessung berechneten Einstauhöhen der verwendeten Anlagen und Bauten in beiden Einzugsgebieten ebenso im DGM vorhanden sein (siehe Kapitel 5.2).

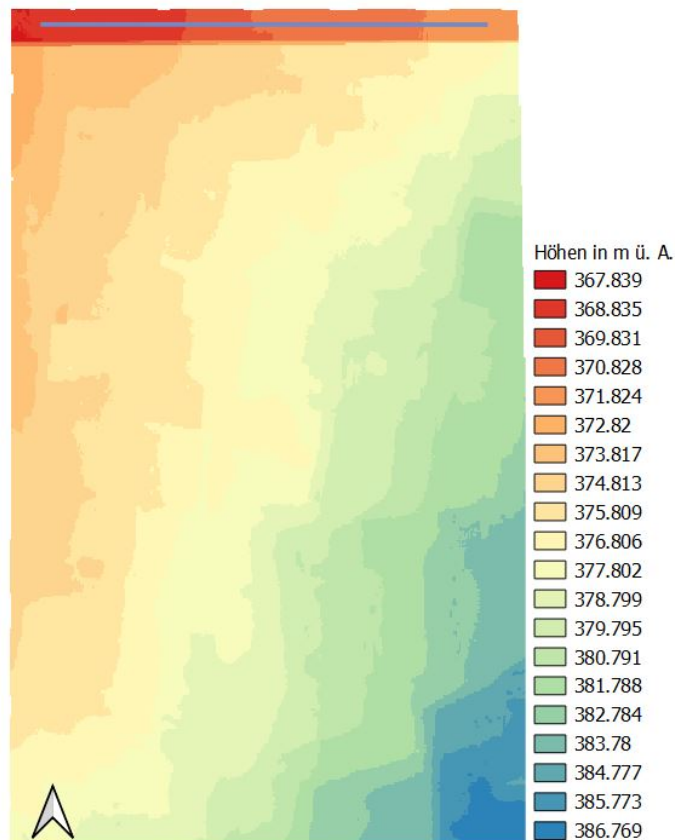


Abbildung 5.11: Höhenverlauf des realen Digitalen Gelände Modelles (DGM) aus Graz-Andritz in m ü. A. als Grundlage für das DGM der fiktiven Einzugsgebiete

5.3.2 Niederschlagsdaten

Anhand den in dem Kapitel 4 beschriebenen gefundenen Bemessungsgrößen der einzelnen Anlagen und Bauten, werden Niederschlagsdaten mit bewusst gewählten Jährlichkeiten (T_n) und Niederschlagsdauern (D) herangezogen. Prinzipiell werden zentrale und dezentrale Anlagen in den Einzugsgebieten kombiniert, wobei der Fokus auf den dezentralen Anlagen liegt. Deshalb wird ein Blockregen nach Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und Arbeitsblatt A-138 (DWA, 2005) mit einer Jährlichkeit $T_n = 5a$ und einer $D = 15\text{min}$ für die naturnahen Maßnahmen herangezogen. Die Wahl des Blockregens erfolgt nach dem Regelblatt 45 und dem Arbeitsblatt A-138. Es ist zu erwähnen, dass für die Vorbemessung der Flächenversickerungen eine Dauerstufe von 5 Minuten nach ÖNORM B 2506-1 (2013) gewählt wurde. Die restlichen Versickerungsanlagen, wie Mulden, weisen vorerst eine unbekannte Niederschlagsdauer auf, die dann schrittweise mit einer Bilanzierung zwischen Sickerleistung und dem Zufluss der Anlage ermittelt wird (ÖWAV, 2015b).

Für diese Arbeit wurde anhand diesen Aussagen vereinfacht ein Blockregen mit $T_n=5a$ und einer konstanten Niederschlagshöhe [mm] über 15 min laut Tabelle 5.13 zur Simulation gewählt. Die Grundlage zur Erstellung des Blockregens sind die bereits in dem Kapitel 5.2 erwähnten zufällig gewählten Bemessungsniederschläge (Anhang C) der zwei Gitternetzpunkte 5214 Graz, Steiermark für das urbane EZG 1 und 2949 Gunskirchen, Oberösterreich für das rurale EZG 2 des hydrographischen Dienstes Österreich (eHYD, 2020).

Tabelle 5.13: Bemessungs-Blockregen für die Simulation der Modelle mit Bemessungsniederschläge lt. hydrographischen Dienst Österreich (eHYD, 2020)

Blockregen [mm]		
Minuten	Urban	Rural
	$T_n = 5 a, D = 15 \text{ min}$	$T_n = 5 a, D = 15 \text{ min}$
00:05	12,7	12,2
00:10	12,7	12,2
00:15	12,7	12,2

Zusätzlich werden jeweils zwei reale Ereignisse pro EZG verwendet, um hier Vergleiche zu der gewählten Bemessungsgröße durchführen zu können. Für die realen Einzelereignisse werden Daten von Graz verwendet, die vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz zur Verfügung gestellt werden. Diese Einzelereignisse sind in den Abbildungen 5.12 und 5.13 sichtbar. Das erste Ereignis stellt ein übliches reales Einzelerignis dar, wobei das zweite ein Starkniederschlagsereignis repräsentiert. Die Ordinate beschreibt die Niederschlagshöhe in [mm] des auftretenden Niederschlages und die Abszisse die Dauer des Niederschlages. In den Abbildungen ist zudem ersichtlich, dass kurze Trockenzeiten vorhanden sind.

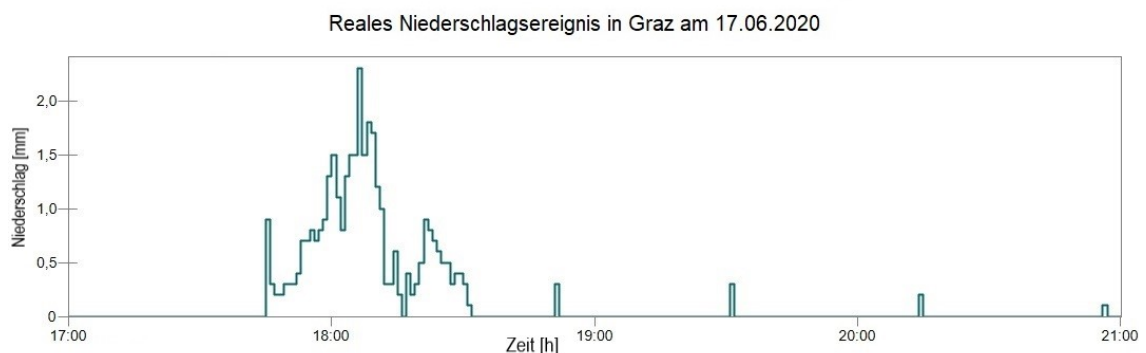


Abbildung 5.12: Reales Einzelereignis vom 17.06.2020 17:00-21:00 in Graz

- Verwendete Niederschlagsdaten für die Einzugsgebiete
 - Bemessungskriterium Blockregen $T_n = 5$ a, $D = 15$ min nach Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und Arbeitsblatt A-138 (DWA, 2005)
 - Reales Einzelereignis von Graz vom 17.06.2020 $D = 3$ h 11 min, max. Jährlichkeit bei 45 Minuten: 6,4 a, gesamte Niederschlagssumme 35,2 mm
 - Reales Starkniederschlagsereignis von Graz vom 13.08.2020 $D = 4$ h 08 min, max. Jährlichkeit bei 20 Minuten: 90,4 a, gesamte Niederschlagssumme 41,1 mm



Abbildung 5.13: Reales Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020 17:00-22:00 in Graz

5.3.3 Klimadaten

Für die Aktivierung des natürlichen Wasserkreislaufes ist die Verdunstung von Bedeutung. Diese wird je nach spezieller Speicherung durch Pflanzen oder an Oberflächen aktiviert. Um diese im Modell zu berücksichtigen, wird eine Datei mit Temperaturdaten hinzugefügt. Das Modell kann so über den Berechnungsansatz nach Hargreaves (Hargreaves und Allen, 2003) die potentielle Verdunstung berechnen (Rossman, 2015). Die Temperaturdaten stammen von Graz und starten am 23.07.2020. Diese werden vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz zur Verfügung gestellt. Die Temperaturdaten werden für beide Einzugsgebiete ident verwendet, unabhängig von den geographischen Unterschieden.

5.4 Modellaufbau

Für die Erstellung des ganzheitlich verteilten Oberflächenabflussmodell werden vorerst die 1D-Elemente des Einzugsgebietes aufgebaut. Diese beinhalten die Kanalrohre, die Kanalschächte, den Mischwasserüberlauf (MÜ), den Auslass des EZG und das Seitenüberlaufwehr. Anschließend wird das fiktive zweidimensionale Netz an der Oberfläche generiert (räumliche Diskretisierung). Der benötigte Bounding-Layer wird auf Basis der fiktiven Einzugsgebiete im QGis Programm erstellt. In diesem Layer sind alle Flächen vorhanden, die aufgrund ihrer Geometrie und Ihrer Oberflächeneigenschaft Unterschiede aufweisen und daher verschiedene Eingangsparameter hinsichtlich Auswahl der Oberflächenrauigkeit, Netzgeometrie und -größe aufweisen. Zusätzlich wird ein Layer generiert, der Hindernisse darstellt. In diesem Bereich findet kein Oberflächenabfluss statt. Bei beiden Einzugsgebieten wird dieser Layer von den Gebäuden repräsentiert. Durch Festlegen der Eingangsparameter Rauigkeit, Netzgeometrie und -größe können die 2DNodes als Basis für das zweidimensionale Netz an der Oberfläche berechnet werden. In den Abbildungen 5.14 und 5.15 ist der Bounding-Layer mit den Netzgeometrien-und -größen und der Hindernisse-Layer sichtbar. Die Auswahl der speziellen Netzgeometrien hängt von der Größe der Teilflächen und der Oberflächeneigenschaft ab und wird für diese Arbeit anhand diesen zwei Punkten ausgewählt. Für Straßen wird ein rechteckiges Netz (rectangular oder directional) bevorzugt, da eine eindeutige Fließrichtung vorhanden ist. Ebenso werden für kleine Flächen eher rechteckige Netzgeometrien verwendet. Die Auswahl des sechseckigen Netzes (hexagonal) eignet sich gut für die Plätze und Grundstücke der Einzugsgebiete.

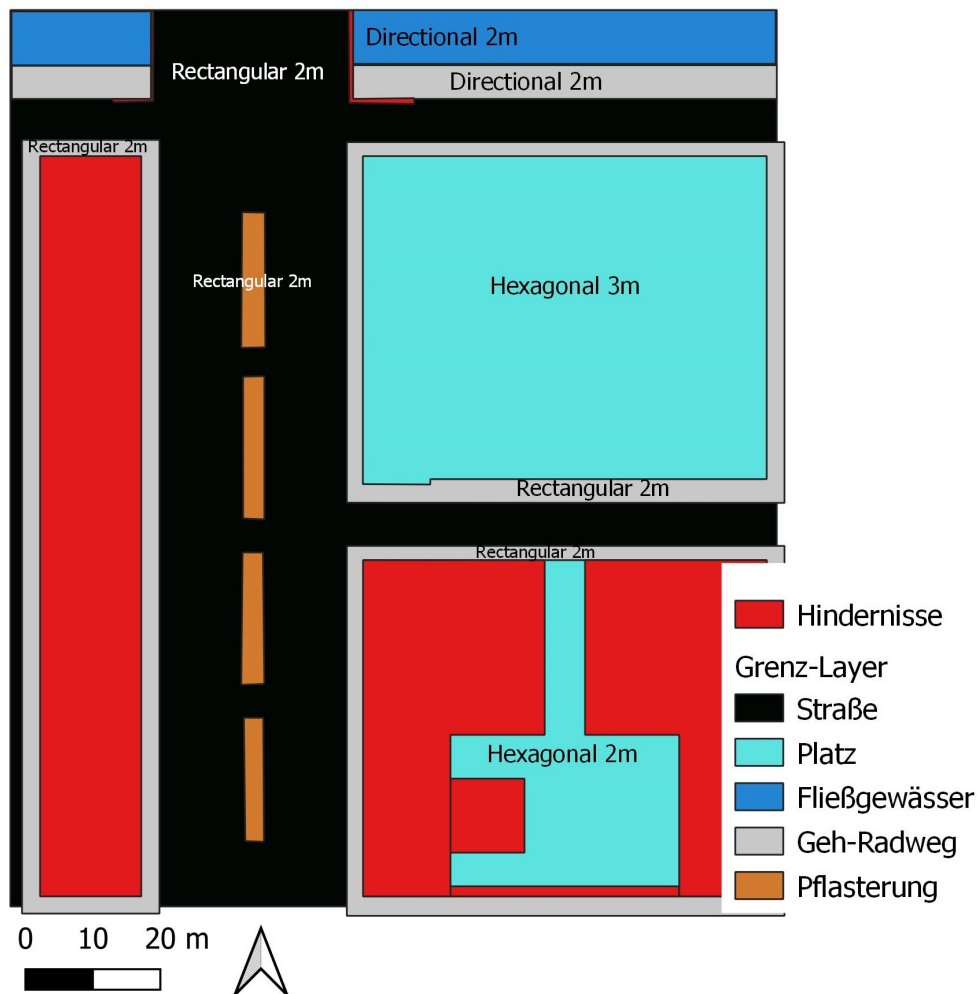


Abbildung 5.14: Bounding-Layer des Urbanen Gebietes mit Netzgeometrien & -größen und Hindernisse

Indem kleine Adaptierungen durch Hinzufügen von weiteren 2DNodes durchgeführt werden, kann das zweidimensionale Netz an der Oberfläche verfeinert werden um etwaige Bereiche besser abdecken zu können. Mit der Erstellung des Oberflächen-2D Netzes und den 1D-Elemente liegt nun die Basis des hydraulischen Modelles vor. Durch Einfügen von Überlaufschwelen an den 1D-Kanalschächten und dem MÜ können die 1D Komponenten mit dem Oberflächen-2D Netz verbunden werden. Damit können eventuelle Überstauer-ereignisse aus dem Kanalnetz simuliert werden. Zusätzlich werden 2D-Bounding Überfälle in das Modell eingefügt, die einen Abfluss in ein imaginäres weiteres Einzugsgebiet simulieren. Damit kann verhindert werden, dass unrealistische Anstauungen des Wassers in den Einzugsgebieten generiert werden.

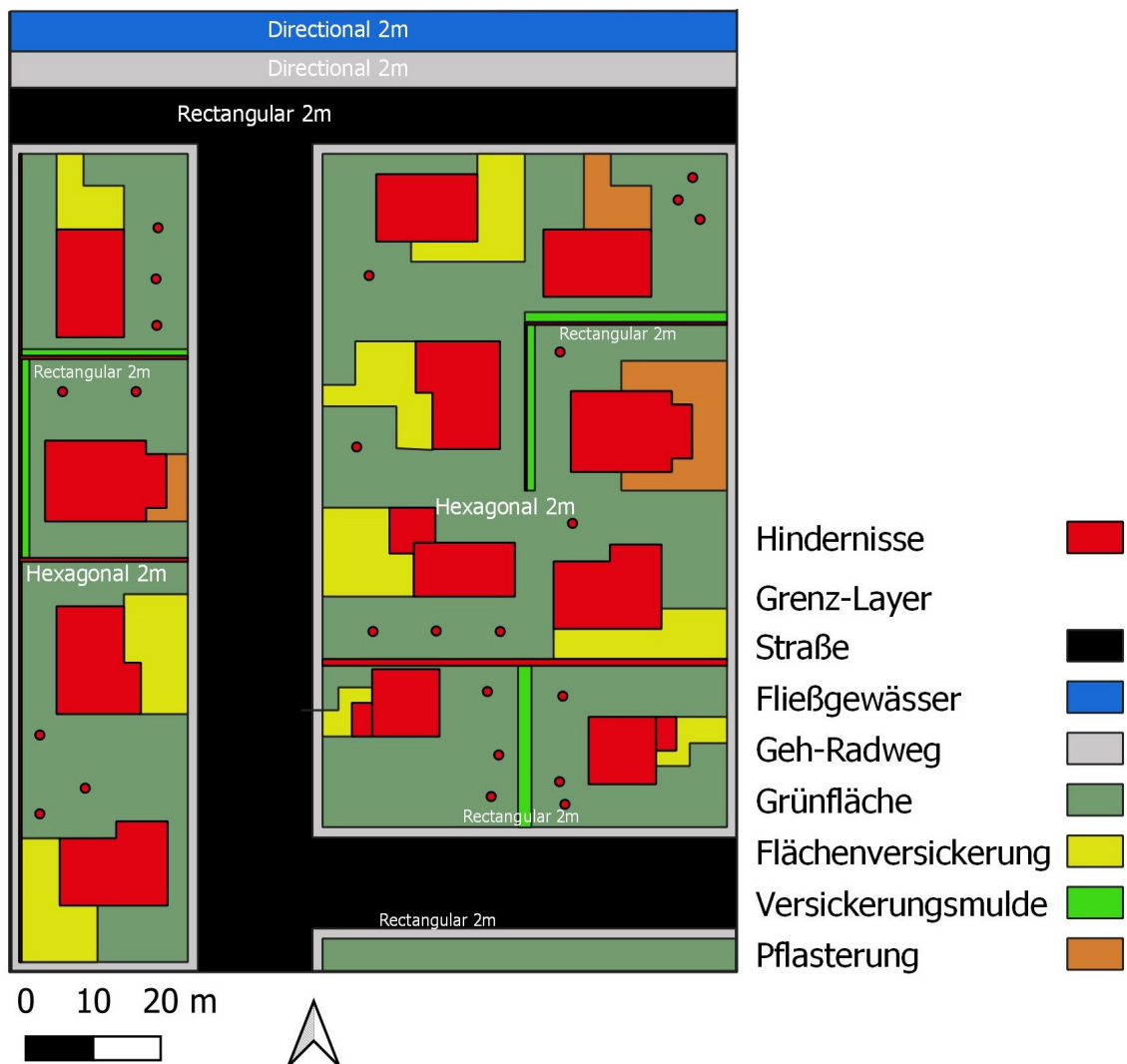


Abbildung 5.15: Bounding-Layer des Ruralen Gebietes mit Netzgeometrien & -größen und Hindernisse

Im Erstellungsvorgang des Oberflächen-2D Netzes werden zusätzlich 2D-Flächen generiert, die als Grundlage für das hydrologische Modell dienen. Da die Flächen klein sind, können diese entweder als ganzheitlich durchlässig oder undurchlässig angenommen werden. Das ist wiederum ein Vorteil des ganzheitlich verteilten Modelles. Zusätzlich werden die Dächer im hydrologischem Modell ebenso mit ganzheitlich undurchlässigen Flächen modelliert. Die Infiltration wird mittels den Ansatz nach Green Ampt berechnet, welcher folgende Eingangsparameter benötigt (Rossman, 2015):

Tabelle 5.14: Bodencharakteristiken für Green-Ampt Infiltrationsfunktion nach Rawls und Miller (1983)

Bodencharakteristiken		
	Urban sandiger Lehm	Rural lehmiger Sand
suction head [mm]	109,98	60,96
conductivity [mm/h]	10,92	0,39
initial deficit [%]	10,92	0,39

5.4.1 Modellierungsparameter

Für die Modellerstellung müssen bestimmte Parameter bestimmt werden, um hydrologische und hydraulische Eigenschaften modellieren zu können. Diese Parameter werden teilweise aus Werten der Literatur, der Vorbemessung und Annahmen bestimmt. Die nachfolgenden Tabellen 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 und 5.19 zeigen alle wichtigen Modellparametern, die zur Erstellung des hydraulischen und hydrologischen Modelles im IST-Zustand von Bedeutung sind. Diese Modellparameter gelten ebenso für die auf dem IST-Zustand aufbauenden Szenarien. Etwaige Änderungen und Annahmen für die Erstellung der Szenarien werden in dem Kapitel 5.4.4 beschrieben. Außerdem befinden sich in den Tabellen 5.20 und 5.21 die Kenngrößen für die in den Szenarien eingesetzten naturnahen Maßnahmen. Die Tabellen umfassen jene Parameter, an denen Änderungen zur benutzerdefinierten Version durchgeführt werden. In der Spalte *Komm./Quelle* sind Anmerkungen der jeweiligen Bezugsquelle erwähnt. Manche Parameter werden durch Annahmen gewählt, die mit dem Kürzel *gew.* gekennzeichnet sind. Die Größen, welche durch andere Prozesse innerhalb des Modelles generiert werden, sind mit dem Kürzel *gener.* versehen. Die restlichen Parameter werden mit einer Bezugsquelle versehen. Die in den Tabellen verwendeten Begriffe entsprechen denen des Programmes und werden deshalb in Englisch angegeben. Die Tabellen 5.15, 5.16, 5.19, 5.20 und 5.21 gelten sowohl für das urbane als auch das rurale Modell. Für die Modellierung der Bäume werden die Baumkronen als undurchlässige Flächen mit hohem Rückhaltespeicher modelliert, welche nach der Füllung des Speichers auf eine darunterliegende durchlässige Fläche entwässern (Wang et al., 2008). Für die Erstellung des Oberflächen-2D Netzes und dem Aufbau des hydrologischem Modelles werden alle Versickerungsmulden, Retentionsstreifen und Retentionsflächen als gleichwertig angesehen. Unterschiede werden erst bei der Erstellung der naturnahen Maßnahmen im Programm berücksichtigt.

Tabelle 5.15: Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydrologische Modell und die Szenarien

Modellierungs- und Eingangsparameter für das URBANE und RURALE Modell						
Parameter	Hydrologisches Modell - Flächen					
	Asphalt	Beton	Fließgewässer	Kies-Flachdach	Ziegel-Steildach	Pflaster
Outlet	Auto- Select oder Select in map					
Area [ha]	in GIS-basiertem Programm berechnet und gemessen					
Flow Length [m]						
Slope [%]	von DGM		2,5	70	von DGM	
Imperv. [%]	100					
N Imperv. [-]	0,011	0,012	0,04	0,02	0,01	0,014
	(McCuen et al., 1996)	(McCuen et al., 1996)	(ASCE, 1991)	(Endreny, 2005)	(Lucas, 2010)	(Endreny, 2005)
Depr. stor. [mm]	1,25	1,8	0	4	2	2
	(ASCE, 1991)	(ASCE, 1991)	gew.	(Endreny, 2005)	(Endreny, 2005)	(Endreny, 2005)
Zero Imperv. [%]	0	0	0	25	25	0

Tabelle 5.16: Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydrologische Modell und die Szenarien

Modellierungs- und Eingangsparameter für das URBANE und RURALE Modell				
Parameter	Hydrologisches Modell - Flächen			
	Grünfläche	Bäume	Flächenversick.	Mulden/Retent.
Outlet	Auto- Select oder Select in map			
Area [ha]	in GIS-basiertem Programm berechnet und gemessen			
Flow Length [m]				
Slope [%]	von DGM	70	von DGM	
Imperv. [%]	0	100	0	0
N Imperv. [-]	0,24	0,13	0,13	0,13
	(McCuen et al., 1996)	(Endreny, 2005)	(Endreny, 2005)	(Endreny, 2005)
Depression storage [mm]	3	10	2	2
	(Endreny, 2005)	(Endreny, 2005)	gew.	gew.
Zero Imperv. [%]	0	50	0	0

Tabelle 5.17: Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane hydraulische Modell
- 1D Komponenten

Modellierungs- und Eingangsparameter für das URBANE Modell					
Hydraulisches Modell - 1D Komponenten					
Layer	Objekt	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Überfälle		Type	Free		gew.
	1D	Invert. Elev.	Rim.Elev. - 2,3	m	gew.
	2D	Invert. Elev.	Rim.Elev. - 10	m	gew.
Speicher		Depth	3	m	gew.
		Surcharge Depth	30	m	gener. 2D-Netz
		Storage Curve	Functional		gew.
		Coefficient	100		gew.
Kanalrohre		Roughness	0,012		(ASCE, 1991)
		Geometry	EI 1000/1500	mm	gew.
			EI 600/900	mm	gew.
			EI 800/1200	mm	gew.
			DN 600	mm	gew.
Wehr		Type	Sideflow		gew.
		Inlet Offset	0,9	m	gew.
Überlaufschw.		Inlet Offset	variiert	m	gener.
Kanalschächte		Invert.Elev.	Rim.Elev. - 3,0	m	gew.
		Surcharge Depth	30	m	gener. 2D-Netz

Tabelle 5.18: Modellierungs- und Eingangsparameter für das rurale hydraulische Modell
-1D Komponenten

Modellierungs- und Eingangsparameter für das RURALE Modell					
Hydraulisches Modell - 1D Komponenten					
Layer	Objekt	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Überfälle		Type	Free		gew.
	1D	Invert. Elev.	Rim.Elev. - 7	m	gew.
	2D	Invert. Elev.	Rim.Elev. - 30	m	gew.
Speicher		Depth	7	m	gew.
		Surcharge Depth	30	m	gener. 2D-Netz
		Storage Curve	Functional		gew.
		Coefficient	100		gew.
Kanalrohre		Roughness	0,012		(ASCE, 1991)
		Geometry	EI 1000/1500	mm	gew.
			EI 600/900	mm	gew.
			DN 500	mm	gew.
Wehr		Type	Sideflow		gew.
		Inlet Offset	0,9	m	gew.
Überlaufschw.		Inlet Offset	variiert	m	gener.
Kanalschächte		Invert.Elev.	Rim.Elev. - 5	m	gew.
		Surcharge Depth	30	m	gener. 2D-Netz

Tabelle 5.19: Modellierungs- und Eingangsparameter für das urbane und rurale hydraulische Modell - Oberflächen 2D Netz

Modellierungs- und Eingangsparameter für das URBANE und RURALE Modell					
Hydraulisches Modell - Oberflächen - 2D Netz					
Layer	Objekt	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Bouding	Fließgewässer	Style	Directional		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,04		(ASCE, 1991)
	Geh-Radweg	Style	Directional		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,012		(McCuen et al., 1996)
	Straße	Style	Rectangular		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,011		(McCuen et al., 1996)
	Gehweg	Style	Rectangular		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,012		(McCuen et al., 1996)
	Marktplatz	Style	Hexagonal		gew.
		Resolution	3	m	gew.
		Roughness	0,012		(McCuen et al., 1996)
	Innenhof	Style	Hexagonal		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,012		(McCuen et al., 1996)
	Pflasterung	Style	Rectangular		gew.
		Resolution	2	m	gew.
		Roughness	0,014		(Endreny, 2005)
		Style	Hexagonal		gew.
	Grünfläche	Resolution	3	m	gew.
		Roughness	0,24		(McCuen et al., 1996)
Mulde/Retent.	Style	Rectangular		gew.	
	Resolution	2	m	gew.	
	Roughness	0,13		(Endreny, 2005)	
Flächenvers.	Style	Hexagonal		gew.	
	Resolution	2,5	m	gew.	
	Roughness	0,13		(Endreny, 2005)	

Tabelle 5.20: Eingangsparameter für die naturnahen Maßnahmen der urbanen und ruralen Szenarien - Teil 1

Eingangsparameter naturn. Maßnahmen des URBANEN und RURALEN Modelles				
Retentionsstreifen				
Layer	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Oberfläche	Berm height	150	mm	(Leimgruber et al., 2018)
	Veget. Vol.	0,1		- -
	Surf. Roughn.	0,2		- -
	Surface Slope	2,5	%	gew.
Humus	Thickness	300	mm	(Leimgruber et al., 2018)
	Porosity	0,4		- -
	Field capac.	0,1		- -
	Conductivity	100	mm/h	- -
	Conduct. slo.	40		- -
	Suct. Head	80	mm	- -
Speicher	Thickness	variiert	mm	Vorbemessung
	Void ratio	0,3		(Leimgruber et al., 2018)
	Seepage rate	50	mm/h	
Versickerungsmulde / -graben				
Layer	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Oberfläche	Berm height	20	mm	gew.
	Surf. Roughn.	0,02		(Endreny, 2005)
	Surface Slope	2,5	%	gew.
Speicher	Thickness	variiert	mm	Vorbemessung
	Void ratio	0,2		(Leimgruber et al., 2018)
	Seepage rate	29,97	mm/h	(Rawls und Miller, 1983)
Retentionsfläche				
Layer	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Oberfläche	Berm height	1000	mm	gew.
	Veget. Vol.	0,1		(Leimgruber et al., 2018)
	Surf. Roughn.	0,2		- -
	Surface Slope	5	%	gew.
Humus	Thickness	350	mm	(Leimgruber et al., 2018)
	Porosity	0,4		- -
	Field capac.	0,1		- -
	Conductivity	100	mm/h	- -
	Conduct. slo.	40		- -
	Suct. Head	80	mm	- -
Speicher	Seepage rate	72	mm/h	- -

Tabelle 5.21: Eingangsparmeter für die naturnahen Maßnahmen der urbanen und ruralen Szenarien - Teil 2

Eingangsparmeter naturn. Maßnahmen des URBANEN und RURALEN Modelles				
Flächenversickerung				
Layer	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Oberfläche	Berm height	20	mm	gew.
	Surf. Roughn.	0,13		(Endreny, 2005)
	Surface Slope	2,5	%	gew.
Pflasterung	Thickness	80	mm	(Ebenseer Außenanlagen, 2021)
	Void ratio	0,15		gew.
	Imper. Surf.	0,65		(Ebenseer Außenanlagen, 2021)
	Permeability	1000	mm/h	gew.
Speicher	Thickness	400	mm	(Ebenseer Außenanlagen, 2021)
	Void ratio	0,65		(Leimgruber et al., 2018)
	Seepage rate	29,97	mm/h	(Rawls und Miller, 1983)
Gründach				
Layer	Parameter	Wert	Einheit	Komm./Quelle
Oberfläche	Berm height	20	mm	gew.
	Veget. Vol.	0,1		(Leimgruber et al., 2018)
	Surf. Roughn.	0,2		- -
	Surface Slope	2,5	%	gew.
Humus	Thickness	variiert	mm	Vorbemessung
	Porosity	0,5		(Leimgruber et al., 2018)
	Field capac.	0,2		- -
	Conductivity	50	mm/h	- -
	Conduct. slo.	25		- -
	Suct. Head	75	mm	- -
Drainage mat	Thickness	15	mm	(Leimgruber et al., 2018)
	Void fract.	0,3		- -
	Roughness	0,02		- -

5.4.2 Simulationsoptionen

Die richtigen Simulationsoptionen können je nach Größe und Art hinsichtlich der Komplexität des Modelles unterschiedlich sein. Die Berechnung der gesuchten Variablen Wasserstand und Fließgeschwindigkeit basiert auf ein partielles Differentialgleichungssystem, welches in der Literatur auch als De Saint Venant Gleichungen bekannt ist (Muschalla, 2015). Durch Anwendung dieses Ansatzes wird der Abflussprozess nur ein-dimensional berücksichtigt, wodurch eine Kopplung mit dem Abfluss im Kanalsystem parallel erfolgen kann (Leitner, 2018).

Die Simulationszeit ist von mehreren Faktoren abhängig, wie beispielsweise den Zeitschritten Δt für die den Volumenfehler der Abflussbildung oder der Courant Bedingung (*surface runoff* und *routing*). Beide Zielgrößen werden im Programm als Fehler ausgegeben, anhand denen das Modell bewertet werden kann. Der Kontinuitätsfehler berechnet sich nach Gleichung 5.9.

$$100 * (1,0 - \text{gesamter Abfluss} / \text{gesamter Zufluss}) \quad (5.9)$$

mit:

gesamter Zufluss = Niederschlag + anfänglicher Speicher

gesamter Abfluss = Verdunstung + Versickerung + Oberflächenabfluss + finaler Speicher

Diese beiden Fehler reagieren auf kleine Veränderungen von Parametern und vorallem den Zeitschritten sehr sensibel. Die Fehler der Kontinuität des Oberflächenabflusses und der Courant-Bedingung sollen möglichst klein gehalten werden, damit das Modell überhaupt aussagekräftig ist. Sie können entweder positiv oder negativ auftreten, jedenfalls sollte ab einem Wert von $\leq \pm 10\%$ das Modell hinterfragt werden (Rossman, 2015). Bevorzugte Werte befinden sich in einem Bereich von $\leq \pm 1\%$ (James et al., 2010). Durch mehrere Simulationen und Iterationsschritten und unter Einhaltung des Fehlerrahmens von $\leq \pm 1\%$ der beiden Bedingungen werden die Simulationsoptionen nach Tabelle 5.22 verwendet:

Tabelle 5.22: Simulationsoptionen für das urbane und rurale Modell

		Urban	Rural
Zeitschritte Δt	Runoff: dry weather	10 sec	10 sec
	Runoff: wet weather	5 sec	5 sec
	Routing Ist-Zustand	0,05 sec	0,1 sec
	Routing Szenario 1	0,05 sec	0,1 sec
	Routing Szenario 2	0,07 sec	0,1 sec
	Routing Szenario 3	0,07 sec	
Hydrodyn. Ber.	Inertial terms	Ignore	Ignore
	Normal flow criterion	Slope & Froude	Slope & Froude
	Force main equation	Darcy-Weisbach	Darcy-Weisbach
	Surcharge method	Extran	Extran
	variable time steps	90%	75%
	min. variable time step	0,1	0,1
	min. nodal surface	0,01	0,01
	max.trials per time step	8	20
	head convergence tolerance	0,001	0,0015
	number of threads	8	8

5.4.3 Modelle

Mit der Grundlage der realen und konstruierten Daten können die Modelle aufgebaut werden und die Simulationen mit den Niederschlagsdaten durchgeführt werden. Die Abbildungen 5.16 und 5.17 zeigen die zwei fertigen Modelle im IST-Zustand. Zu sehen sind die 1D Komponenten sowie das zweidimensionale Netz an der Oberfläche, die Flächen mit den unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften (siehe Kapitel 5.1) inklusive den Dächern und dem Fließgewässer. Der IST-Zustand der beiden Modelle bildet die Grundlage für die darauf aufbauenden Szenarien (siehe Kapitel 5.1). Um das Fließgewässer mit dem konstantem Abflussgeschehen zu simulieren wird ein direkter Zufluss bestimmt, der am obersten Knoten des zweidimensionalen Netzes an der Oberfläche eingefügt wird (siehe Abbildungen 5.16 und 5.17). Der Zufluss wird für beide Einzugsgebiete mit dem konstanten Wert von $2m^3/s$ gewählt. Das Fließgewässer wird durch eine Simulation mit einer reinen hydrodynamischen Berechnung ohne Niederschlag simuliert. Dieser Vorgang wird extern in eine sogenannte *HOTSTART-Datei* gespeichert und wird für die weiteren Simulationen verwendet. In dieser Hotstart-Datei sind Informationen der Durchflussrate in jedem Knoten und Kanalstrang, welche vom direkten Zufluss durchflossen werden, gespeichert (James et al., 2010). Damit kann die Simulationszeit reduziert werden.

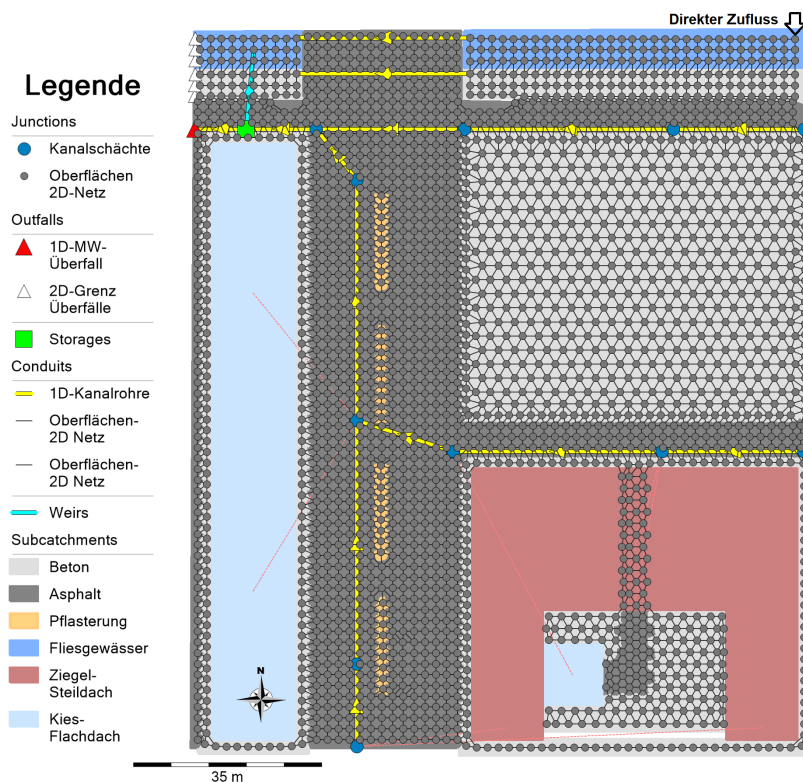


Abbildung 5.16: Urbanes Gebiet - finales Modell des IST-Zustandes

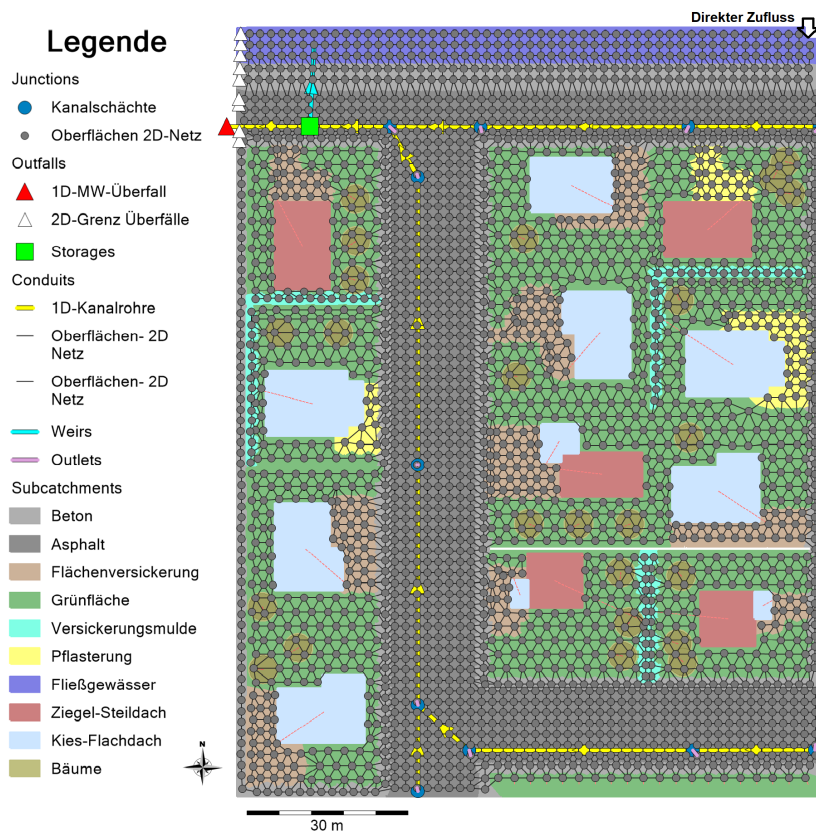


Abbildung 5.17: Rurales Gebiet - finales Modell des IST-Zustandes

5.4.4 Erstellung der Szenarien

Für die weiteren Szenarien werden die zwei Modelle dupliziert und darauf die in dem Kapitel 5.1 beschriebenen Szenarien mit den naturnahen und dezentralen Maßnahmen, der Vorbemessung und den in den Tabellen 5.20 und 5.21 gezeigten Eingangsparametern erstellt. Für die weiteren Szenarien ist es notwendig, das Digitale Geländemodell (DGM) erneut zu bearbeiten. Die berechneten Einstauhöhen sollen auch in den Szenarien im DGM verankert sein (siehe Abbildung 5.18). Auf Basis der Änderung des DGM muss das zweidimensionale Netz an der Oberfläche neu erstellt werden und die generierten 2D-Flächen neu in dem hydrologischen Modell aufgebaut werden. Die 1D-Komponenten des Kanalnetzes bleiben jedoch unverändert. Für die naturnahen Maßnahmen der verschiedenen Versickerungsanlagen wird eine anfängliche Sättigung von 2% angenommen.

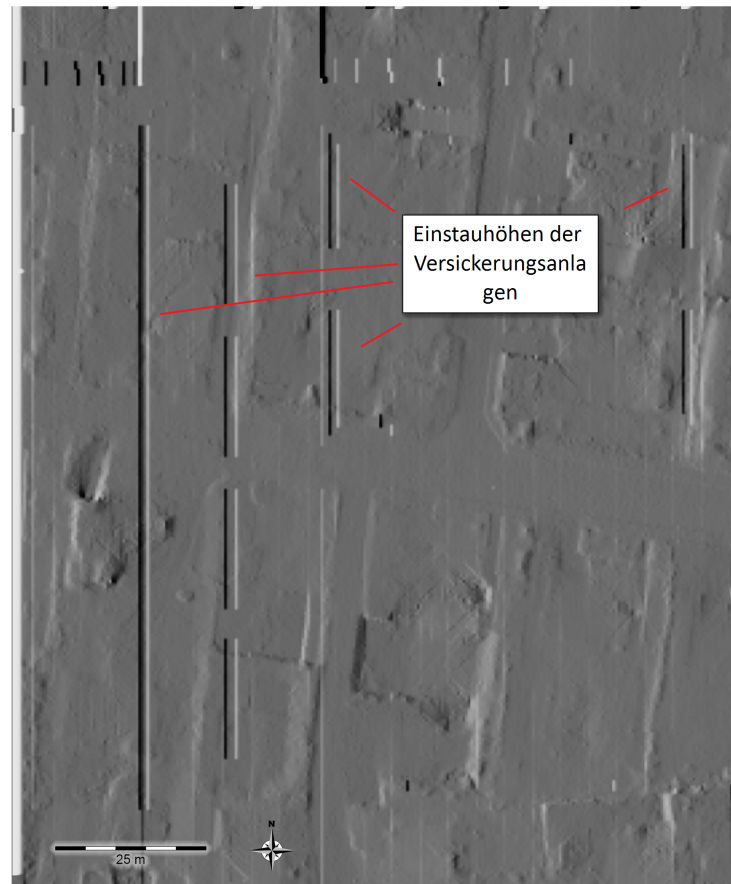


Abbildung 5.18: Bearbeitetes DGM mit verankerten Einstauhöhen der Versickerungsanlagen - Urbanes Einzugsgebiet Szenario 2

5.5 Zusammenfassung der Modellerstellung

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden zwei kleine Modelle mit fiktiven Einzugsgebieten (EZG) erstellt. Grundlegende Daten wurden dafür teilweise konstruiert oder von realen Ortsangaben herangezogen (Digitales Geländemodell, Niederschlagsdaten). Die Einzugsgebiete stellen einen urbanen und einen ruralen Ort dar. Aufbauend auf den IST-Zuständen wurden Szenarien entwickelt, die vom IST-Zustand abweichen und bewusst gewählte Anlagen und Bauten enthalten. Der Fokus der gewählten Anlagen und Bauten liegt dabei auf dem Einsatz dezentraler Maßnahmen. Die verwendeten Anlagen wurden zuerst nach den relevanten Normen und Regelwerken vorbemessen und danach in die Modelle integriert. An den fertigen Modellen wurden danach, mit dem maßgebendem Bemessungskriterium und zwei realen Niederschlagsereignissen, Simulationen durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Kapitel 6 dargestellt und im Kapitel 7 diskutiert.

6 Modellergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Simulation der Oberflächenabflussmodelle beider fiktiver Einzugsgebiete dargestellt. Für die Auswertung der Oberflächenabflussmodelle werden vorerst die Bewertungsgrößen näher erläutert, anhand denen die Einzugsgebiete miteinander verglichen werden, und dann die Ergebnisse diskutiert.

6.1 Bewertungsmatrix

Die Auswahl der richtigen Bewertungsgrößen ist je nach Art und Größe des Einzugsgebietes und dementsprechend des Modelles unterschiedlich. Ebenfalls haben die verschiedenen Niederschlagsdaten einen großen Einfluss auf die Auswertung der einzelnen Kenngrößen. Die Komponente *Verdunstung* des natürlichen Wasserkreislaufes ist für Bemessungsgrößen mit Einzelereignisse schwer zu bewerten, da für diesen Vorgang vor allem die Zeit einen wichtigen Faktor darstellt. In dieser Arbeit wurden für die Simulationen ein Bemessungsereignis laut Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und Arbeitsblatt A-138 (DWA, 2005) (Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$) und zwei reale Niederschlagsereignisse herangezogen (siehe Kapitel 5.3). Eine Langzeitsimulation wurde nicht durchgeführt. In Abbildung 6.1 ist die Bewertungsmatrix dargestellt, die den Aufbau des Ergebnisvergleichs zeigt. Innerhalb der Bewertungsmatrix wird die Abweichung zum IST-Zustand relativ mit vier Zielgrößen bewertet: 1.) Oberflächenabfluss, 2.) finale Speicherung, 3.) Abflussganglinie am Auslass, 4.) Überflutungsflächen. Wobei ein relativer Vergleich in zwei Richtungen in der Bewertungsmatrix erfolgt. Zum einen wird die räumliche Struktur des Einzugsgebietes verändert (Szenario i). Zum anderen werden für jedes Szenario, 3 unterschiedliche Niederschlagstypen simuliert (Blockregen, reales Bemessungsereignis, reales Starkniederschlagsereignis). Im Anschluss daran wird anhand der festgelegten Zielgrößen ein relativ Vergleich durchgeführt. Mit der Zielgröße *Wasserstandshöhe in den Anlagen* wird zusätzlich ein Vergleich in den Szenarien Bemessung zu Real ausgeführt. Damit soll eine Bewertung der in der Vorbemessung berechneten Einstauhöhen und eine Einschätzung der überfluteten Anlagen erfolgen. Die Zielgrößen sind auf der nächsten Seite detailliert beschrieben.

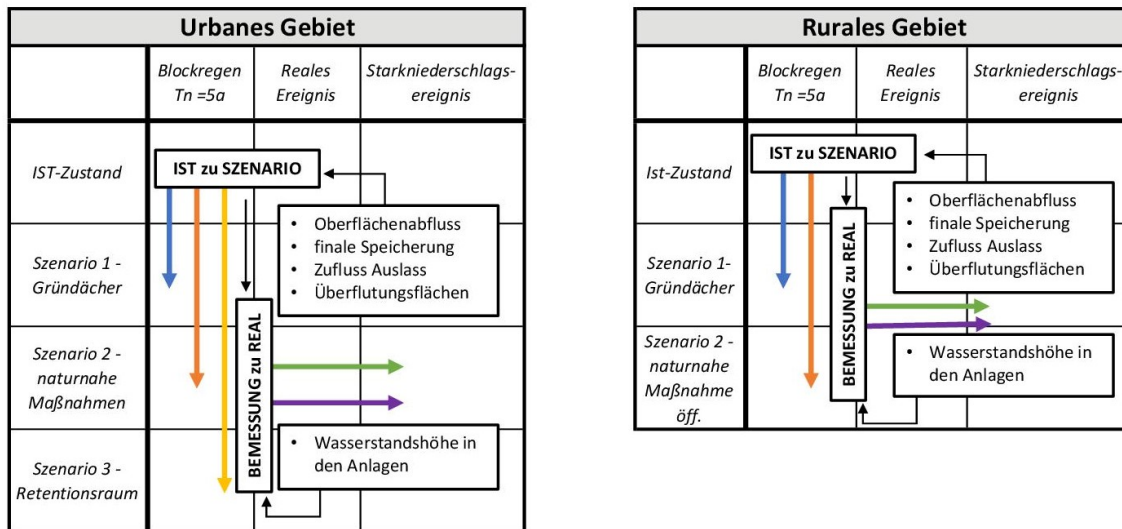


Abbildung 6.1: Bewertungsmatrix der Ergebnisse - eingeteilt in Szenarien und verwendete Niederschlagsdaten

Vergleich 1: IST zu SZENARIO und BEMESSUNG zu REAL

1. **Oberflächenabfluss:**

Verminderung oder Steigerung des Oberflächenabflusses in den Einzugsgebieten

2. **finale Speicherung:**

Das zurückgehaltene Wasser in einem Einzugsgebiet, das nach einem Niederschlagsereignis gespeichert wird (James et al., 2010); Teil-Komponente des natürlichen Wasserkreislaufes - dient als Grundlage zur Aktivierung der Verdunstung des Wassers bei Trockenzeiten

3. **Abflussganglinie am Auslass:**

Beschreibt den Durchfluss am unteren Ende des letzten Kanalstranges; Durchflussverminderung oder -steigerung im Kanalsystem in den Einzugsgebieten

4. **Überflutungsflächen:**

Tatsächliche Überflutungen in einem Einzugsgebiet.

Definition (gilt für beide Einzugsgebiete):

- alle Überflutungsflächen (ÜF) ab einer Größe von 0,1 m werden bewertet. Diese Höhe wird gewählt, da ab dieser Größe Schäden entstehen können (Reinstaller et al., 2020). Dafür werden die maximalen auftretenden Wasserstände herangezogen.

- Alle ÜF, die in den Anlagen und Bauten in den Szenarien entstehen, werden nicht in den Vergleich integriert. Sie werden jedoch in den Abbildungen dargestellt.
- Verringerungen des Wasserstandes [Δ m] infolge des Einsatzes bestimmter Anlagen und Bauten werden nicht berücksichtigt, lediglich vollständige Reduktionen einzelner ÜF im gesamten Einzugsgebiet.

Vergleich 2: BEMESSUNG zu REAL:

1. Wasserstandshöhe in den Anlagen:

Damit soll eine grobe Aussage zu der in der Vorbemessung ermittelten Einstauhöhe getroffen werden. Wie die einzelnen Anlagen und Bauten auf reale Einzelereignisse reagieren ist hier von Bedeutung. Das Szenario 1 wird nicht bewertet, da die Dachflächen vom Oberflächen 2D-Netz ausgenommen sind.

6.2 Vergleich 1: IST zu SZENARIO für Einzugsgebiet 1 - Urbanes Gebiet

Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15min$

In der Abbildung 6.2 ist das Einzugsgebiet im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(d) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit der Bemessungsgröße Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15min$ sichtbar. Im Bild (a) ist deutlich zu erkennen, dass Überflutungen auf der öffentlichen Hauptstraße am westlichen Rand entstehen. Des Weiteren bildet sich eine Ansammlung von Wasser im Innenhof nördlich des Neubaus. Im Szenario 1 können durch die Anordnung der Gründächer Überflutungsflächen reduziert werden. In den Szenarien 2 und 3 ist eine deutliche Ansammlung von Wasser in den Anlagen und dem Retentionsraum sichtbar.

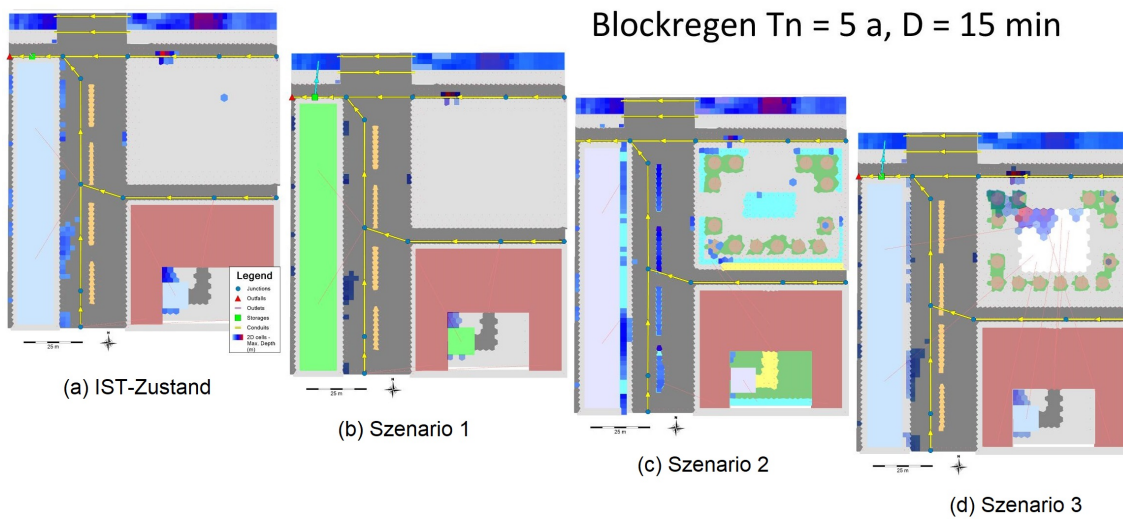


Abbildung 6.2: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$

In der Tabelle 6.1 sind die Ergebnisse des Einzugsgebietes 1 mit der Simulation der Bemessungsgröße Blockregen $T_n=5a$, $D=15 \text{ min}$ sichtbar. Der Oberflächenabfluss im IST-Zustand beträgt $23,59 \text{ mm}$, die finale Speicherung des Wassers im EZG $1,96 \text{ mm}$ und die gesamten Überflutungsflächen weisen eine Fläche von 369 m^2 auf. Die Werte der Szenarien können der Tabelle 6.1 entnommen werden.

Tabelle 6.1: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für Bemessungsgröße Blockregen $T_n=5a$, $D=15 \text{ min}$

Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15 \text{ min}$, Gesamtniederschlagssumme: $25,4\text{mm}$				
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	Unterschied zu IST-Zustand
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	23,59	mm	
	Finale Speicherung	1,96	mm	
	Überflutungsflächen	369	m^2	
Szenario 1	Oberflächenabfluss	21,27	mm	-10%
	Finale Speicherung	4,52	mm	+57%
	Überflutungsflächen	290	m^2	-21%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	19,63	mm	-17%
	Finale Speicherung	4,97	mm	+61%
	Überflutungsflächen	134	m^2	-64%
Szenario 3	Oberflächenabfluss	23,03	mm	-2%
	Finale Speicherung	2	mm	+2%
	Überflutungsflächen	414	m^2	+10%

Für das Szenario 1 verringert sich demnach der Oberflächenabfluss um 10%, die finale Speicherung steigert sich um 57% und die Überflutungsflächen werden um 21% verringert. Durch den Einsatz der verschiedenen naturnahen Maßnahmen im Szenario 2 kann der Oberflächenabfluss um 17% verringert werden, die finale Speicherung um 61% gesteigert werden und die Überflutungsflächen um 64% gesenkt werden. Diese Werte sind ebenso deutlich in der Abbildung 6.2 im Szenario 2 (c) sichtbar, da geringe ÜF abseits der Anlagen entstehen. Im Szenario 3 wird der Oberflächenabfluss um 2% gesenkt, die finale Speicherung um 2% gesteigert. Die Überflutungsflächen werden jedoch um 9% gesteigert. Die Ansammlung des Wassers am westlichen Rand der Straße und im Innenhof kann im Szenario 3 mit dem dafür vorgesehenen Retentionsraum nicht reduziert werden. Ebenso entstehen am westlichen Rand der Straße mehr Überflutungsflächen als im IST-Zustand. Im Szenario 3 werden alle Dachflächen in den vorgesehenen Retentionsraum (NRR) am Marktplatz abgeleitet. Anhand der Überflutungsflächen ist aber sichtbar, dass die Funktionalität des NRR hinterfragt werden muss. Dies könnte durchaus auch eine Reaktion aus der Kombination der fiktiven Bedingungen und dem realen Digitalen Geländemodell sein.

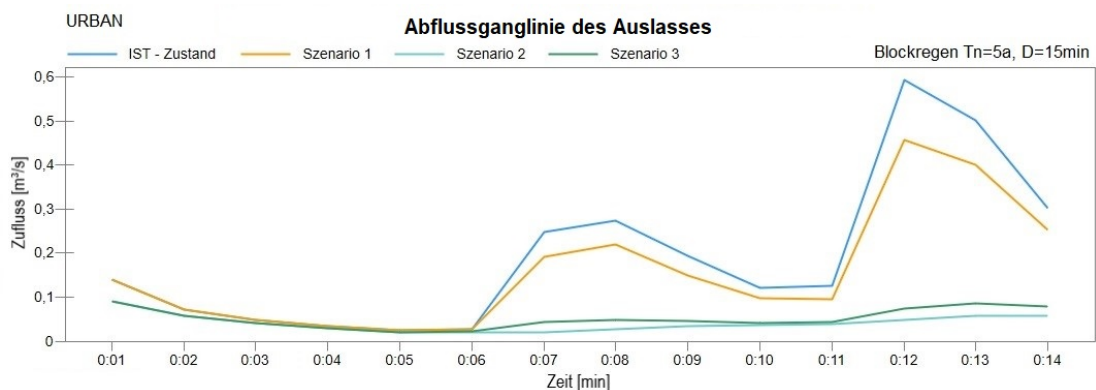


Abbildung 6.3: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 1: Blockregen Tn=5a, D=15min

Die Abbildung 6.3 zeigt die Abflussganglinie am unteren Ende des letzten Kanalstranges. Damit soll eine etwaige Entlastung des Kanalnetzes bewertet werden. Es ist zu erwähnen, dass kein Zufluss aus einem externen Einzugsgebiet zugeführt und modelliert wurde. Anhand der Graphik ist sichtbar, dass eine deutliche Entlastung durch die Szenarien 2 und 3 erzielt wird. Hinsichtlich der anderen Bewertungsparameter Oberflächenabfluss, finale Speicherung und Reduktion der ÜF können im Szenario 3 nur kleinere Reduktionen bis hin zu Steigerungen erzielt werden, in der Entlastung des Kanalnetzes wird jedoch eine sichtbare Verbesserung erzielt.

Der durchschnittliche Durchfluss im IST-Zustand beträgt $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$, im Szenario 1 $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ (-19%), im Szenario 2 $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (-81%) und im Szenario 3 $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (-76%). Das Szenario 3 kann zwar die Kalaisation entlasten, generiert aber an den Oberflächen mehr Überflutung, das nicht den Anforderungen gerecht wird.

Reales Ereignis 17.06.2020 $T_n = \text{max. } 6,4a, D= 3h11min$

In der Abbildung 6.4 ist das Einzugsgebiet 1 im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(d) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit dem realen Ereignis vom 17.06.2020 $T_n = \text{max. } 6,4a, D= 3h11min$ sichtbar. Die resultierenden Überflutungsflächen im gesamten EZG (285 m^2) liegen dabei unter den Größen des Blockregenszenarios (369 m^2). In den Szenarien 2 und 3 erfolgen im realen Ereignis ebenso Ansammlungen in den dafür vorgesehen Anlagen und Bauten. Es ist jedoch sichtbar, dass der Retentionsstreifen am westlichen Rand der Hauptstraße geflutet wird, das im Bemessungskriterium nicht auftritt.

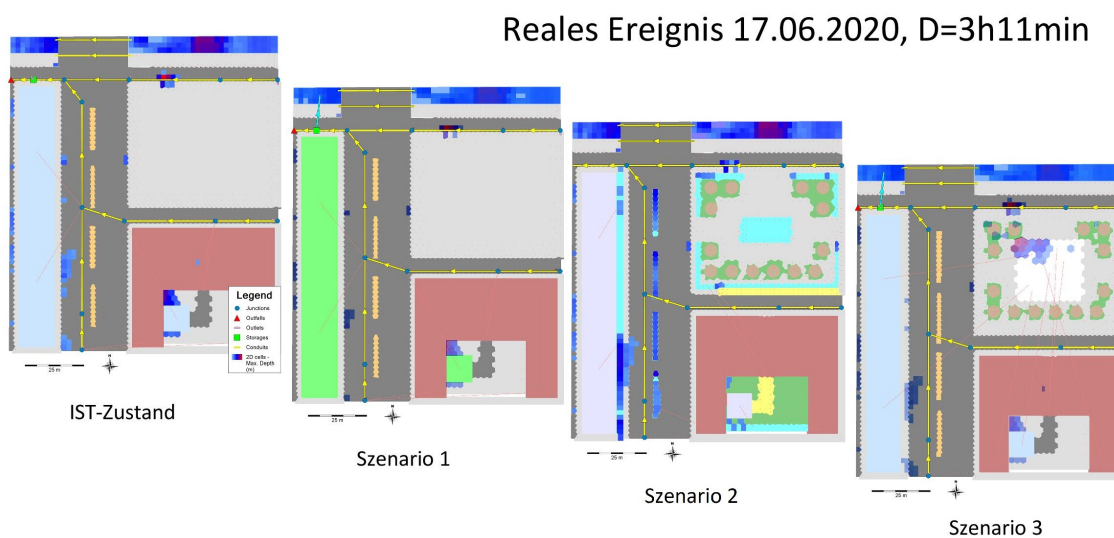


Abbildung 6.4: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Reales Ereignis vom 17.06.2020, $D=3h11min$

In der Tabelle 6.2 sind die Ergebnisse der Bewertungsparameter des Einzugsgebietes 1 für das reale Ereignis sichtbar. Im IST-Zustand wird ein Oberflächenabfluss von $32,92 \text{ mm}$, eine finale Wasserspeicherung im EZG von $1,63 \text{ mm}$ und eine gesamte Überflutungsfläche von 285 m^2 generiert. Die Werte für die Szenarien können der Tabelle 6.2 entnommen werden.

Tabelle 6.2: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für reales Ereignis Tn= max. 6,4a, D=3h11 min

Reales Ereignis 17.06.2020 max Tn=6,4a, D= 3h11min min, Gesamt =35,2mm					
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	Δ zu IST	Δ zu Bemessung
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	32,92	mm		
	Finale Speicherung	1,63	mm		
	Überflutungsflächen	285	m ²		
Szenario 1	Oberflächenabfluss	29,29	mm	-11%	9%
	Finale Speicherung	5,53	mm	+71%	20%
	Überflutungsflächen	232	m ²	-18%	14%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	26,65	mm	-19%	10%
	Finale Speicherung	4,79	mm	+66%	7,5%
	Überflutungsflächen	145	m ²	-49%	23%
Szenario 3	Oberflächenabfluss	31,77	mm	-3%	33%
	Finale Speicherung	1,6	mm	-2%	200%
	Überflutungsflächen	306	m ²	+7%	30%

mit:

deutliche Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis >10%

Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis ≤ 10%

Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis ≤ 100%

deutliche Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis ≥ 100%

Resultierend kann der Oberflächenabfluss im Szenario 1 um 11% gesenkt werden, die finale Speicherung um 71% gesteigert und die Überflutungsflächen um 18% verringert werden. Verglichen mit der Bemessungsgröße ist anhand der finalen Speicherung (57%) sichtbar, dass Gründächer über längere Zeiten eine bessere Wirkung zeigen, als für kurze intensive Ereignisse. Hinsichtlich des Oberflächenabflusses werden ähnliche Ergebnisse erzielt (10% Bemessung, 11% reales Ereignis). Das Szenario 2 erzielt eine Verringerung des Oberflächenabflusses von 19%, eine finale Speicherung von 66% und eine Reduktion der Überflutungsflächen von 49%. Trotz der Verringerung der ÜF, ist eine Ansammlung des Wassers am westlichen Rand der Hauptstraße neben dem Retentionsstreifen erkennbar. Dies deutet auf ein Versagen der Anlage hin. Im Szenario 3 kann der Oberflächenabfluss um 3% verringert werden, die finale Speicherung im EZG sinkt gegenüber dem IST-Zustand um 2% und die Überflutungsflächen steigern sich um 7%. Im Szenario 3 werden alle Dachflächen in den dafür vorgesehenen Retentionsraum abgeleitet. Trotz der Ansammlung in dem dafür vorgesehenen Bereich, findet dennoch eine Steigerung der Überflutungsflächen im Einzugsgebiet statt. Durch die Simulation des realen Ereignisses, kann der Retentionsraum am Marktplatz zwar eine kleine Verbesserung aufweisen, jedoch muss seine Funktion im EZG auch hier in Frage gestellt werden.

In der Tabelle 6.2 sind zusätzlich Verbesserungen (grün) oder Erhöhungen (orange, rot) gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen dargestellt. Die Einteilung und Klassifizierung in den Farben zu Δ Bemessung ergeben sich anhand der relativen Verbesserung oder Verschlechterung gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min. Sowohl im Szenario 1 als auch im Szenario 2 konnten die ÜF zwar reduziert werden, diese entsprechen aber nicht den hohen Erwartungen, die in der Bemessungsgröße gegeben sind.

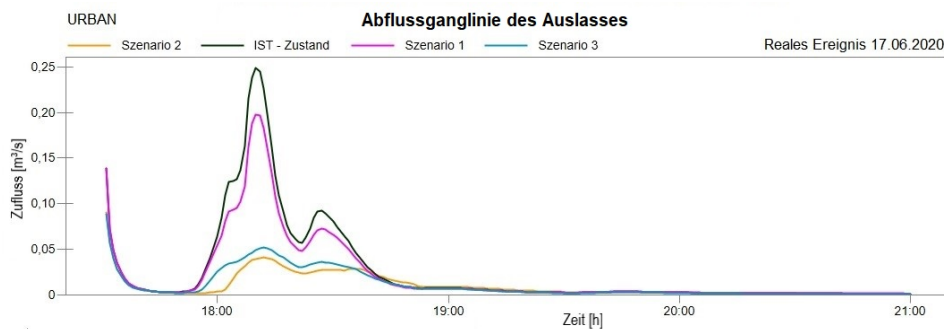


Abbildung 6.5: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 1: Reales Ereignis vom 17.06.2020 $T_n = \max. 6,4a$, $D=3h11min$

In der Abbildung 6.5 ist die Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges für das Reale Ereignis sichtbar. Alle Szenarien können auch bei realen Bedingungen eine Entlastung erzielen. Der durchschnittliche Durchfluss beträgt im IST-Zustand $0,025m^3/s$, im Szenario 1 $0,021m^3/s$ (-16%), im Szenario 2 $0,009m^3/s$ (-64%) und im Szenario 3 $0,011m^3/s$ (-56%).

Starkniederschlagsereignis 13.08.2020 $T_n = \max. 90,4a$, $D= 4h08min$

In der Abbildung 6.6 ist das Einzugsgebiet 1 im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(d) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit dem Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020, $D=4h08min$ sichtbar. Bei Anordnung der Überflutungsflächen ist eine Ähnlichkeit zum Bemessungskriterium sichtbar ($322m^2$ Starkniederschlag zu $369m^2$ Blockregen). Im IST-Zustand erfolgt ebenso eine deutliche Ansammlung von Wasser am westlichen Rand der Hauptstrasse und im Innenhof. Durch den Einsatz von Gründächer können diese im Szenario 1 reduziert werden. Im Szenario 2 und 3 ist zudem ersichtlich, dass ein Ablauf in die vorgesehenen Anlagen und Bauten erfolgt. Die Überflutungen am westlichen Ende der Hauptstrasse können im Szenario 3 gegenüber dem IST-Zustand nicht reduziert werden, es werden ebenso mehr generiert.

Dies kann auf das Versagen der Anlage hinweisen. In der Tabelle 6.3 sind die Ergebnisse der Simulation mit dem Starkniederschlagsereignis sichtbar. Im IST-Zustand tritt ein Oberflächenabfluss von 39,9 mm, eine finale Speicherung im EZG von 1,1 mm und eine gesamte Überflutungsfläche von 322 m² auf. Die Werte der Szenarien können der Tabelle 6.3 entnommen werden. Durch den Einsatz von Gründächern im Szenario 1 kann der Oberflächenabfluss um 12% gegenüber dem IST-Zustand reduziert werden. Die finale Speicherung des Wassers wird um 81% gesteigert, hier ist durch die längere Dauer und die höhere Niederschlagssumme deutlich eine Erhöhung gegenüber dem realen Ereignis sichtbar (71%). Die Überflutungsflächen werden um 19% reduziert. Verglichen mit dem Bemessungsereignis werden die Überflutungsflächen (Blockregen 21%) nicht im selben Ausmaß reduziert, das den Unterschied von 9% in der letzten Spalte darstellt. Der

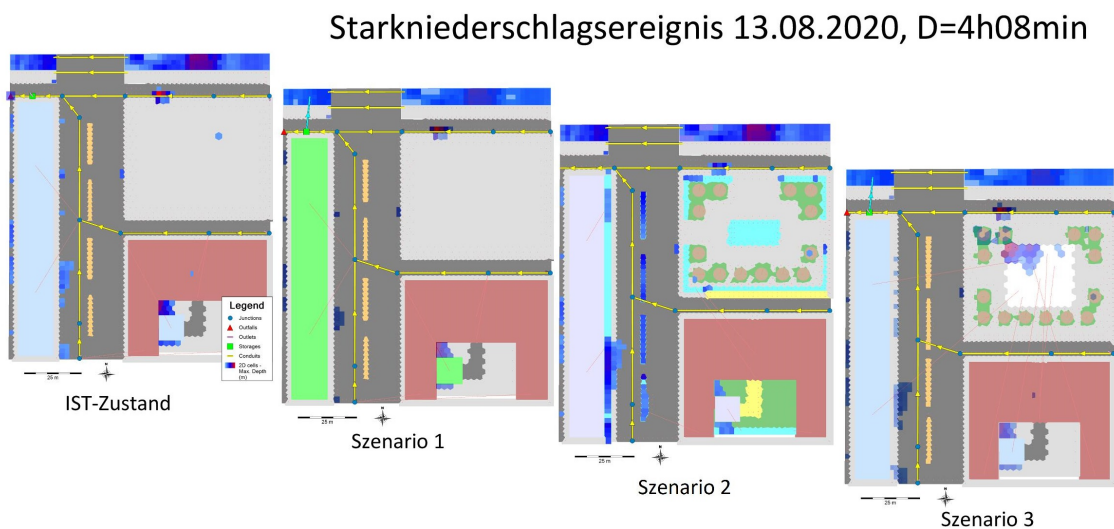


Abbildung 6.6: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Strakniederschlagsereignis vom 13.08.2020, D=4h08min

Oberflächenabfluss kann im Szenario 2 durch den Einsatz der naturnahen Maßnahmen um 12% reduziert werden, die finale Speicherung um 76% gesteigert werden und die gesamte Überflutungsfläche um 28% gesenkt werden. Anhand der letzten Spalte in der Tabelle 6.3 wird der deutliche Unterschied zum Bemessungsereignis Blockregen sichtbar. Demnach konnten durch den Einsatz von naturnahen Maßnahmen lt. Bemessung 64% reduziert werden, im Starkniederschlagsereignis waren es nur mehr 28%. Das entspricht einem Unterschied von 56% und stellt daher eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich des Bemessungskriteriums dar. Im Szenario 3 finden sich ähnliche Ergebnisse wie im realen Ereignis vor.

Tabelle 6.3: Ergebnisse des EZG 1: Urbanes Gebiet für Starkniederschlagsereignis $T_n = \text{max. } 90,4\text{a, } D=4\text{h}08 \text{ min}$

Starkniederschlag 13.08.2020 max $T_n=90,4 \text{ a; } D= 3\text{h}11\text{min min; Gesamt}=41,1\text{mm}$					
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	Δ IST	Δ Bemessung
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	39,9	mm		
	Finale Speicherung	1,1	mm		
	Überflutungsflächen	322	m ²		
Szenario 1	Oberflächenabfluss	34,93	mm	-12%	17%
	Finale Speicherung	5,71	mm	+81%	30%
	Überflutungsflächen	260	m ²	-19%	9%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	32,67	mm	-18%	5%
	Finale Speicherung	4,67	mm	+76%	20%
	Überflutungsflächen	234	m ²	-28%	56%
Szenario 3	Oberflächenabfluss	38,27	mm	-4%	50%
	Finale Speicherung	1,12	mm	+2%	0%
	Überflutungsflächen	355	m ²	+9%	10%

mit:

deutliche Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis $> 10\%$

Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis $\leq 10\%$

Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis $\leq 100\%$

kein Unterschied gegenüber dem Bemessungsereignis

Der Oberflächenabfluss kann um 4% reduziert werden und die finale Speicherung um 2% gesteigert werden. Die gesamte Überflutungsfläche steigert sich gegenüber dem IST-Zustand ebenso wie im realen Ereignis. Beim Starkniederschlagsereignis tritt eine Steigerung von 9% der Überflutungsfläche auf. In der Tabelle 6.3 sind zusätzlich Verbesserungen (grün) oder Erhöhungen (orange, rot) gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen dargestellt.

In der Abbildung 6.7 ist die Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges beim Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020 sichtbar. Anhand der Graphik ist sichtbar, dass eine Verringerung in allen drei Szenarien entsteht. Der durchschnittliche Durchfluss im IST-Zustand beträgt $0,022\text{m}^3/\text{s}$, im Szenario 1 $0,018\text{m}^3/\text{s}$ (-18%), im Szenario 2 $0,007\text{m}^3/\text{s}$ (-68%) und im Szenario 3 $0,011\text{m}^3/\text{s}$ (-50%).

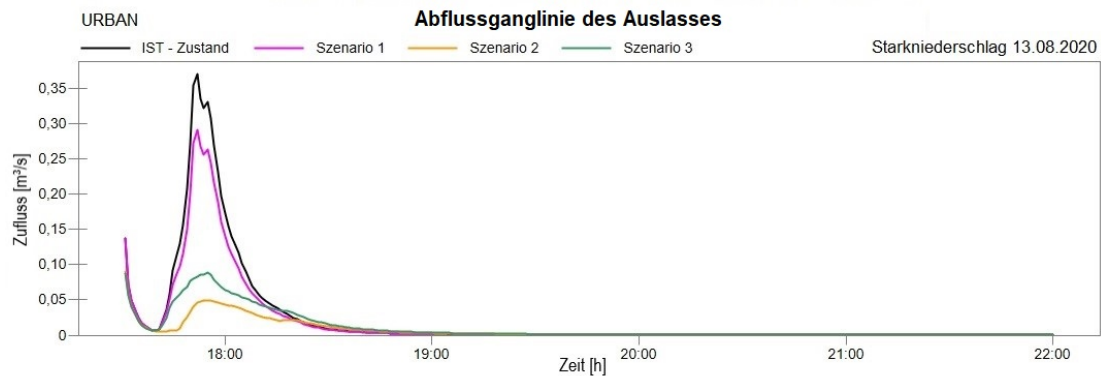


Abbildung 6.7: Abflussganglinie des Auslasses unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 1: Starkniederschlagsereignis 13.08.2020, $T_n = \max.90,4a$, $D = 4h08min$

6.3 Vergleich 2: BEMESSUNG zu REAL für Einzugsgebiet 1 - Urbanes Gebiet

In der Tabelle 6.4 sind alle Anlagen und Bauten ersichtlich, bei denen durch die Simulationen eine bestimmte Wasserstandshöhe generiert wird. Diese Wasserstandshöhen werden mit den bemessenen Einstauhöhen und der gewählten Tiefe des Retentionsraumes (siehe Kapitel 5.2) verglichen. Der Vergleich der Vorbemessung nach der ÖNORM B 2506-1 (2013), dem Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013), dem Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und dem Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und der Simulation mit dem Bemessungsereignis Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15$ min zeigt bei fast allen ähnliche Ergebnisse. Die max. Tiefen beim Blockregen werden gegenüber der Vorbemessung nicht überschritten, lediglich unterschritten. In der Tabelle 6.4 ist des Weiteren sichtbar, dass die Wasserstandshöhe in der Bemessungsgröße Blockregen und im Starkniederschlagsereignis ähnliche Ergebnisse erzielt. Im Starkniederschlagsereignis werden die bemessenen Einstauhöhen bis auf den Retentionsstreifen an der Hauptstraße nicht überschritten. Das reale Ereignis reiht sich zwischen dem Bemessungsereignis und dem Starkniederschlagsereignis ein, daher findet hier ebenso, außer beim Retentionsstreifen an der Hauptstraße, kein Überschreiten der Einstauhöhen statt. Der überflutete Retentionsstreifen wird im Vergleich 1 bereits erwähnt, anhand der Tabelle 6.4 wird das Versagen der Anlage verdeutlicht. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass relativ wenig Toleranz bezüglich der Einstauhöhen bei allen Anlagen vorhanden ist. Beim realen Ereignis und beim Starkniederschlagsereignis sind in den Klammern die relativen Werte des Unterschiedes gegenüber dem Bemessungsereignis Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15$ min sichtbar.

Tabelle 6.4: Vergleich Bemessung zu Real: max. Wasserstandshöhen in den Anlagen - EZG 1: Urbanes Gebiet

Verwendete Anlagen und Bauten im Urbanen Gebiet					
			<i>Blockregen</i>	<i>Reales Ereignis</i>	<i>Starkniederschlag</i>
Szenario 2	Anlage	bem. Einstauhöhe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe[m]
	Bodenschw.	0,47	0,47	0,45 (-4%)	0,46 (-2%)
	RS-HS	0,45	0,4	0,45 (+11%)	0,46 (+13%)
	RS-NW	0,53	0,22	0,22	0,24 (+8%)
	RS-NO	0,29	0,2	0,18 (-10%)	0,19 (-5%)
	RS-S	0,58	0,29	0,24 (-17%)	0,25 (-14%)
Szenario 3	Bauwerk	gew. Tiefe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe[m]
	Retentionsr.	0,8	0,80	0,72 (-10%)	0,75 (-6%)

6.4 Vergleich 1: IST zu SZENARIO für Einzugsgebiet 2 - Rurales Gebiet

Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15min$

In der Abbildung 6.8 ist das Einzugsgebiet 2 im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(c) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit der Bemessungsgröße Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15min$ sichtbar. In dem Einzugsgebiet 2 werden bereits im IST-Zustand naturnahe Maßnahmen angewandt. Im Bild (a) sind Überflutungsflächen in den Versickerungsmulden der Grundstücke 3,4, 6 und 11 sichtbar. Des Weiteren befinden sich in den Grundstücken 7 bis 10 Überflutungsflächen in den mit Flächenversickerungen versehenen Einfahrten. Durch den Einsatz der Gründächer im Szenario 1 können die Überflutungsflächen reduziert werden. Im Szenario 2 wird auf öffentlichen Straßen ein Versickerungsgraben eingesetzt, der eine kleine Reduktion der Überflutungsflächen erzielt. In der Tabelle 6.5 sind die Ergebnisse des Einzugsgebietes 2 der Simulation mit der Bemessungsgröße Blockregen $T_n = 5a$, $D = 15min$ sichtbar.

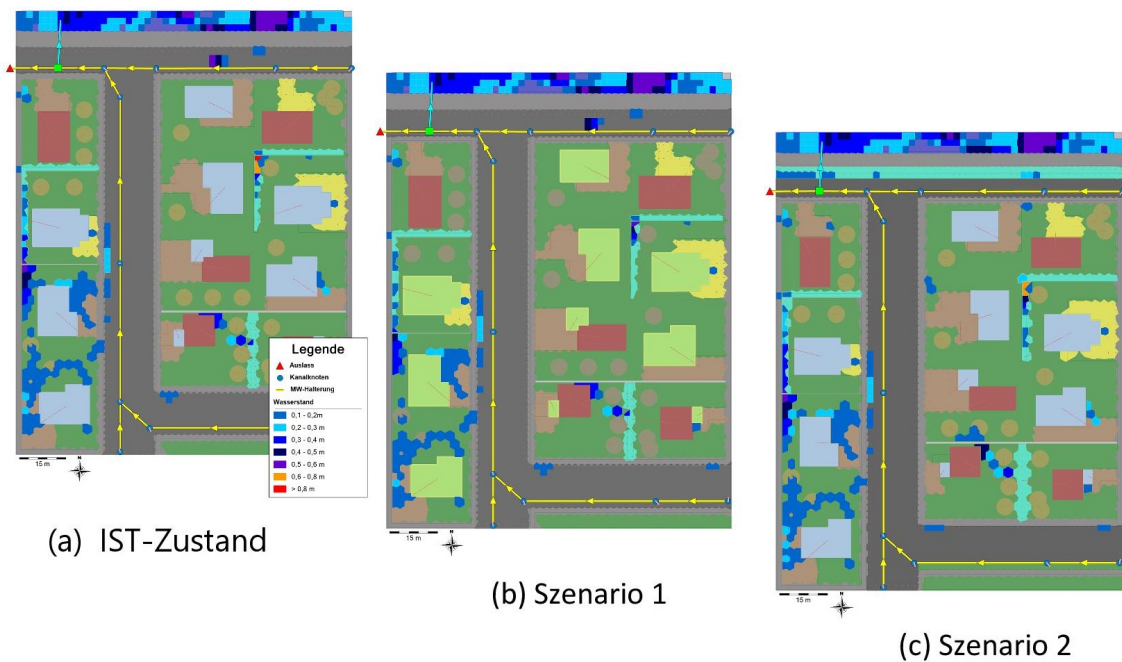
Blockregen $T_n = 5 \text{ a}$, $D = 15 \text{ min}$ 

Abbildung 6.8: Einzugsgebiet 2 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$

Im IST-Zustand beträgt der Oberflächenabfluss 14,85 mm, die finale Speicherung des Wassers im EZG 3,37 mm und die gesamte Überflutungsfläche 572 m². Die Werte der Szenarien können der Tabelle 6.5 entnommen werden. Durch den Einsatz der Gründächer kann eine Reduzierung des Oberflächenabflusses von 10%, eine Steigerung der finalen Speicherung von 32% und eine Reduktion der Überflutungsflächen von 18% erzielt werden. Der Versickerungsgraben im Szenario 2 generiert gegenüber dem IST-Zustand eine Steigerung des Oberflächenabflusses von 4%, reduziert die Überflutungsflächen auf öffentlicher Straße jedoch nur 1%. Die finale Speicherung wird um 96% gesenkt, das möglicherweise mit einer hohen Sickerfähigkeit des Versickerungsgrabens zu begründen ist.

Tabelle 6.5: Ergebnisse des EZG 2: Rurales Gebiet für Bemessungsgröße Blockregen
Tn=5a, D=15 min

Blockregen Tn = 5a, D= 15 min, Gesamtniederschlagssumme: 25,4mm				
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	Unterschied zu IST-Zustand
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	14,85	mm	
	finale Speicherung	3,37	mm	
	Überflutungsflächen	572	m ²	
Szenario 1	Oberflächenabfluss	13,37	mm	-10%
	finale Speicherung	4,93	mm	+32%
	Überflutungsflächen	468	m ²	-18%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	15,46	mm	+4%
	finale Speicherung	1,72	mm	-96%
	Überflutungsflächen	568	m ²	-1%

In der Abbildung 6.9 ist die Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges im Blockregen sichtbar. Unter dem IST-Zustand und den Szenarien ist hier kein signifikanter Unterschied erkennbar, der durchschnittliche Durchfluss im Szenario 2 erfährt demnach sogar eine Steigerung gegenüber dem IST-Zustand. Der durchschnittliche Durchfluss beträgt im IST-Zustand $0,747\text{m}^3/\text{s}$, im Szenario 1 $0,747\text{m}^3/\text{s}$ (0%) und im Szenario 2 $0,767\text{m}^3/\text{s}$ (+2%). Der geringe Unterschied lässt sich durchaus anhand der Niederschlagswasserentwässerung am eigenen Grundstück erklären.

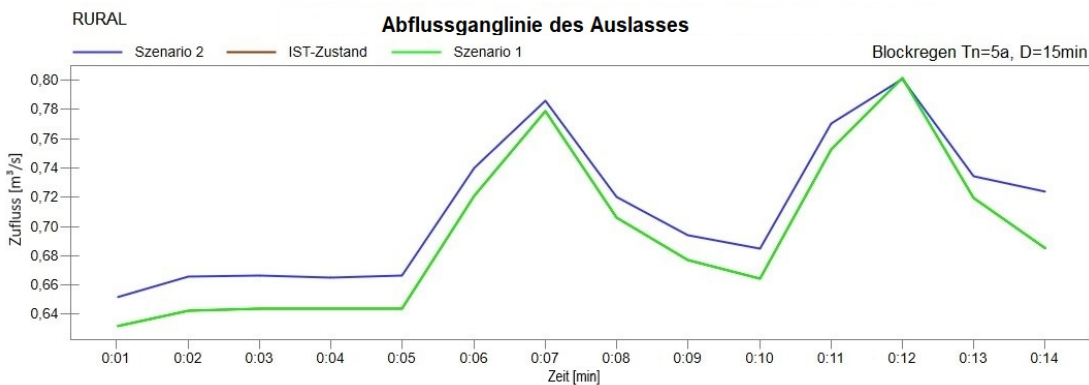


Abbildung 6.9: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Blockregen Tn=5a, D=15min

Reales Ereignis 17.06.2020 Tn = max. 6,4a, D= 3h11min

In der Abbildung 6.4 ist das Einzugsgebiet 2 im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(c) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit dem realen Ereignis vom 17.06.2020 Tn= max. 6,4a, D= 3h11min sichtbar.

Reales Ereignis 17.06.2020, D=3h11min

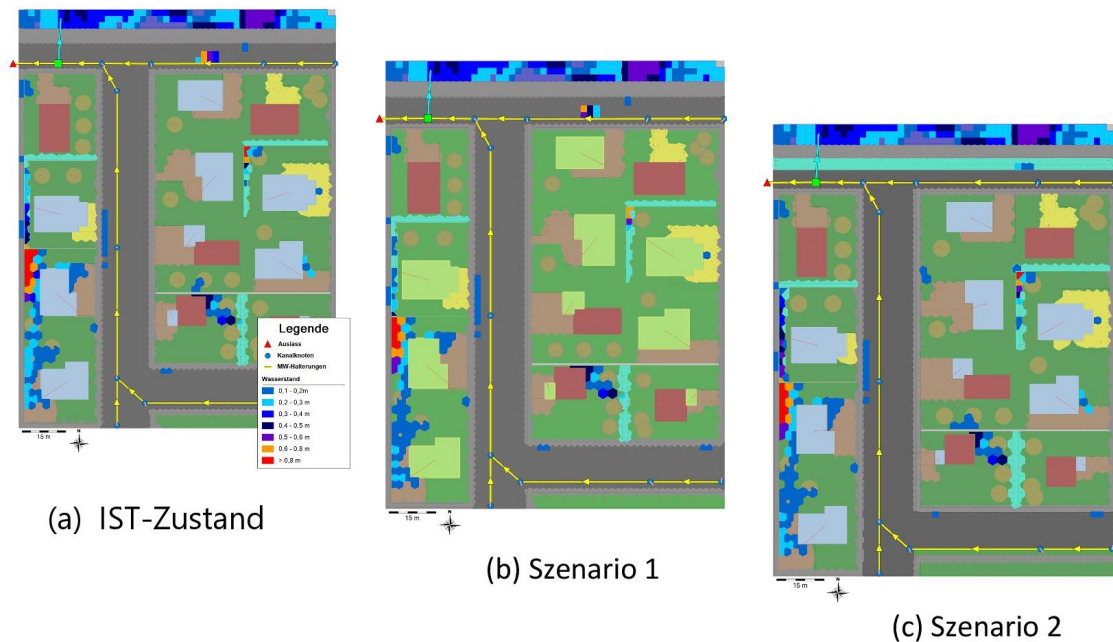


Abbildung 6.10: Einzugsgebiet 1 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Reales Ereignis vom 17.06.2020, D=3h11min

Es ist sichtbar, dass annähernd gleiche Überflutungsflächen wie im Bemessungsereignis auftreten. Das gilt sowohl für den IST-Zustand, als auch für die weiteren Szenarien. In der Tabelle 6.6 sind die Ergebnisse des Realen Ereignisses vom 17.06.2020 im Einzugsgebiet 2 sichtbar. Im IST-Zustand wird ein Oberflächenabfluss von 18,5 mm generiert. Die finale Speicherung des Wassers im EZG beläuft sich auf 1,3 mm und die vorhandenen Überflutungsflächen betragen 557 m². Die Werte der Szenarien können der Tabelle 6.6 entnommen werden. Durch Austauschen der Kies-Flachdächer in Gründächer wird der Oberflächenabfluss im Szenario 1 um 12% gesenkt, die finale Speicherung um 66% gesteigert und die Überflutungsflächen um 12% reduziert. Im Szenario 2 erfolgt eine Reduktion des Oberflächenabflusses gegenüber dem IST-Zustand um 4%. Die Überflutungsflächen werden um 1% gesteigert, obwohl zu erwähnen ist, dass die öffentlichen Straßen durchaus von Überflutungsflächen reduziert werden konnten. In diesem Szenario findet, ebenso wie im Bemessungskriterium, eine Reduktion der finalen Speicherung (35%) statt. Gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen werden im realen Ereignis, in beiden Szenarien in den Bewertungsparametern *Oberflächenabfluss* und *finale Speicherung*, relative Verbesserungen (grün) erzielt (siehe Tabelle 6.6 letzte Spalte).

Die Einteilung und Klasifizierung in den Farben zu Δ Bemessung ergeben sich anhand der relativen Verbesserung oder Verschlechterung gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min. Im Szenario 1 können die Überflutungsflächen beim realen Ereignis reduziert werden, diese Verringerung ist jedoch deutlich geringer als im Bemessungskriterium. Im Szenario 2 konnten zwar die ÜF auf den öffentlichen Straßen reduziert werden, insgesamt betrachtet wurden aber mehr Überflutungsflächen generiert. Sowohl im Szenario 1 als auch im Szenario 2 ist anhand der Überflutungsflächen sichtbar, dass ein Versagen der Anlagen vorausgesetzt ist.

Tabelle 6.6: Ergebnisse des EZG 2: Urbanes Gebiet für Reales Ereignis $T_n= \text{max. } 6,4a$, $D=3h11$ min

Reales Ereignis 17.06.2020 max $T_n=6,4a$, $D= 3h11$min min, Gesamt = 35,2mm					
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	Δ IST	Δ Bemessung
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	18,5	mm		
	Finale Speicherung	1,3	mm		
	Überflutungsflächen	557	m ²		
Szenario 1	Oberflächenabfluss	16,2	mm	-12%	17%
	Finale Speicherung	3,83	mm	+66%	51%
	Überflutungsflächen	490	m ²	-12%	33%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	17,76	mm	-4%	200%
	Finale Speicherung	0,96	mm	-35%	63%
	Überflutungsflächen	561	m ²	+1%	200%

mit:

deutliche Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis $>10\%$

Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis $\leq 100\%$

deutliche Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis $\geq 100\%$

In der Abbildung 6.11 ist die Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges sichtbar. Der durchschnittliche Durchfluss des IST-Zustandes beträgt $0,657m^3/s$, der des Szenario 1 $0,657m^3/s$ (0%) und der des Szenario 2 $0,682m^3/s$ (+2%). Es ist hier eine gleiche relative Verteilung wie im Bemessungskriterium sichtbar. Der Unterschied zwischen dem IST-Zustand und den Szenarien ist klein. Außerdem ist der Durchfluss des Szenarios 2 größer als im IST-Zustand. Dies ist ein Hinweis, dass der Einsatz des Versickerungsgrabens negative Auswirkungen auf die Kanalisation ausübt. Es könnte jedoch ein Versagen der Versickerungsanlagen mitunter ein Grund für die Steigerung des Zuflusses sein.

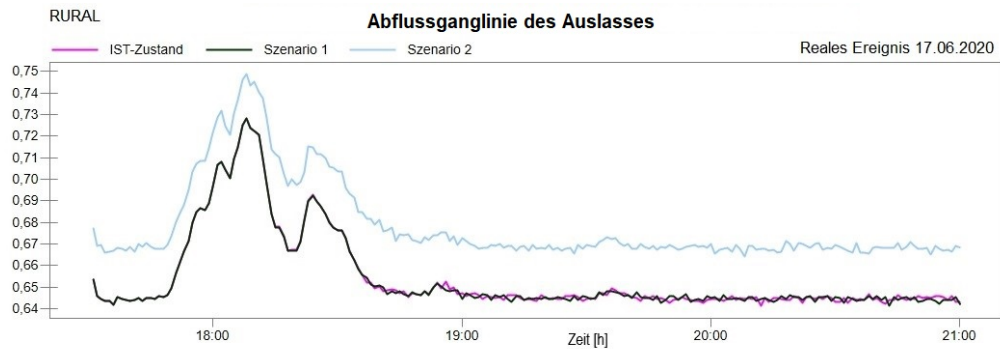


Abbildung 6.11: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Reales Ereignis vom 17.06.2020 $T_n = \max. 6,4a$, $D=3h11min$

Starkniederschlagsereignis 13.08.2020 $T_n = \max. 90,4a$, $D= 4h08min$

In der Abbildung 6.6 ist das Einzugsgebiet 2 im IST-Zustand (a) mit allen Szenarien (b)-(c) und den resultierenden Überflutungsflächen der Simulation mit dem Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020, $D=4h08min$ sichtbar. Mit der Simulation des Starkniederschlagsereignisses werden mehr Überflutungsflächen als im realen Ereignis generiert. Das kann einerseits an der höheren max. Jährlichkeit und andererseits an einer höheren Gesamtniederschlagssumme liegen. Im Szenario 1 können durch das Einsetzen der Gründächer Überflutungsflächen reduziert werden. Im Szenario 2 ist zu erkennen, dass die öffentliche Straße (im Norden) frei von ÜF ist, das günstig wirkt.

Starkniederschlagsereignis 13.08.2020, $D=4h08min$

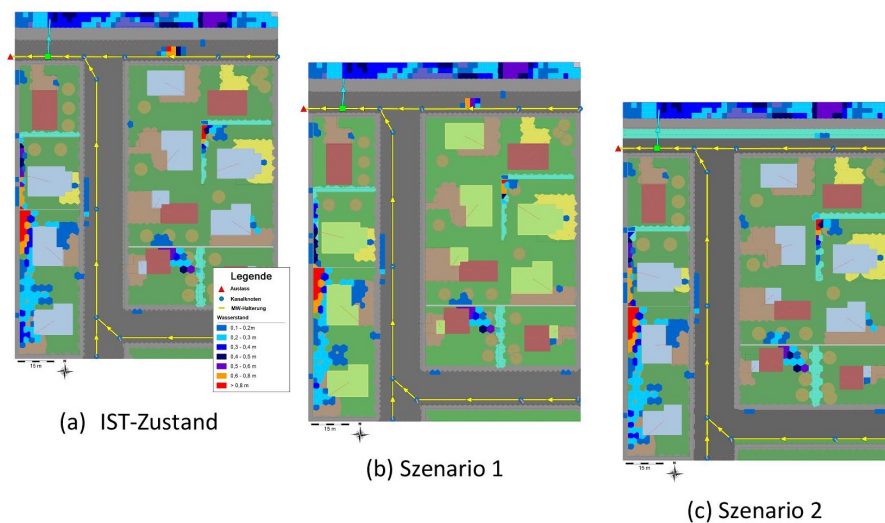


Abbildung 6.12: Einzugsgebiet 2 mit allen Szenarien und den unterschiedlichen Überflutungsflächen - Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020, $D=4h08min$

In der Tabelle 6.7 sind die Ergebnisse des Einzugsgebietes mit dem Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020 ersichtlich. Im IST-Zustand wird ein Oberflächenabfluss von 24,48 mm gebildet, die finale Speicherung des Wassers im EZG beläuft sich auf 0,878 mm und die gesamte Überflutungsfläche auf 791 m². Die weiteren Werte für die Szenarien können der Tabelle 6.7 entnommen werden. Im Szenario 1 kann durch die Gründächer eine Reduzierung der Überflutungsflächen von 17% erzielt werden. Die finale Speicherung erfährt eine Steigerung von 78% und der Oberflächenabfluss wird um 12% reduziert. Im Szenario 2 bleibt der Oberflächenabfluss fast vollständig ident (-1%), die finale Speicherung reduziert sich um 27% und die Überflutungsflächen können um 3,5% abgebaut werden. Verglichen mit dem Bemessungsereignis Blockregen treten in beiden Szenarien und allen Parametern positive Verbesserungen (grün) auf (siehe Tabelle 6.7). Lediglich die Überflutungsflächen können weniger reduziert werden als im Bemessungskriterium (orange).

Tabelle 6.7: Ergebnisse des EZG 2: Urbanes Gebiet für Starkniederschlagsereignis Tn= max. 90,4a, D=4h08 min

Starkniederschlag 13.08.2020 max Tn=90,4a, D= 4h08min min, Gesamt = 41,1mm					
	Bewertungskriterium	Wert	Einheit	△ IST	△ Bemessung
IST-Zustand	Oberflächenabfluss	24,48	mm		
	Finale Speicherung	0,878	mm		
	Überflutungsflächen	791	m ²		
Szenario 1	Oberflächenabfluss	21,6	mm	-12%	17%
	Finale Speicherung	4,053	mm	+78%	59%
	Überflutungsflächen	656	m ²	-17%	5%
Szenario 2	Oberflächenabfluss	24,18	mm	-1%	125%
	Finale Speicherung	0,69	mm	-27%	72%
	Überflutungsflächen	763	m ²	-3,5%	71%

mit:

deutliche Verbesserung gegenüber dem Bemessungsereignis >10%

Verschlechterung gegenüber dem Bemessungsereignis ≤ 100%

In der Abbildung 6.13 ist die Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges sichtbar. Der durchschnittliche Durchfluss im IST-Zustand beträgt 0,655m³/s, im Szenario 1 0,657m³/s (0%) und im Szenario 2 0,679m³/s (+3,5%). Anhand des Starkniederschlagsereignisses werden mögliche Versagenszustände der Anlagen und Bauten sichtbar. Im Szenario 2 wird ebenso wie im realen Ereignis der Zufluss gegenüber dem IST-Zustand erhöht. Es konnten zwar die Überflutungsflächen reduziert werden, trotzdem erfährt die Kanalisation keine Entlastung.

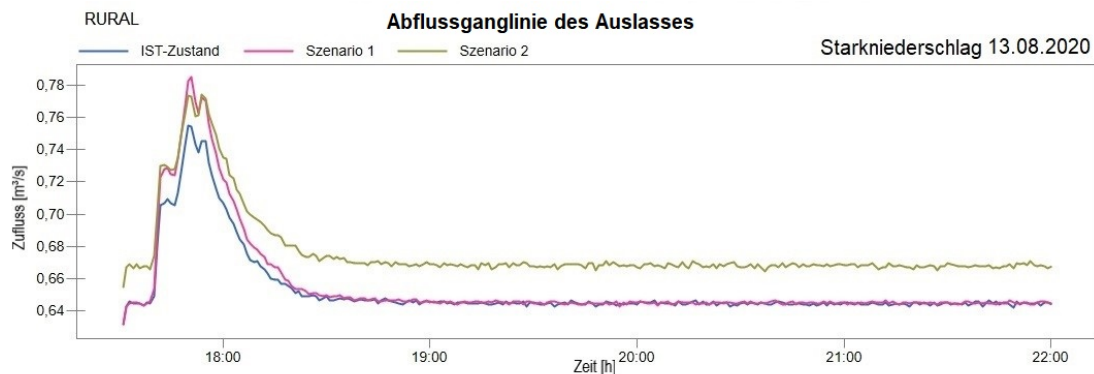


Abbildung 6.13: Abflussganglinie des Auslasses am unteren Ende des letzten Kanalstranges - Einzugsgebiet 2: Starkniederschlagsereignis 13.08.2020, $T_n = \max. 90,4a$ $D=4h08min$

6.5 Vergleich 2: BEMESSUNG zu REAL für Einzugsgebiet 2 - Rurales Gebiet

In der Tabelle 6.8 sind alle Wasserstandshöhen sichtbar, die in dem IST-Zustand und dem Szenario 2 auftreten. Es ist eindeutig sichtbar, dass unterschiedliche Ergebnisse zwischen der Vorbemessung nach der ÖNORM B 2506-1 (2013), dem Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und dem Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015b) und dem Bemessungskriterium Blockregen vorhanden sind. Diese Unterschiede können einerseits an dem fiktiven EZG mit realem Digitalen Geländemodell liegen, oder an der räumlichen Struktur. In dem EZG 2 ist eine Neubausiedlung am Stadtrand dargestellt, wo beispielweise bestimmte Grundstücke Oberflächenabflüsse von anderen Grundstücken erfahren und so unvorhersehbare Überflutungen in den Anlagen generiert werden können. Jene Vorgänge können in der einfachen Vorbemessung nicht berücksichtigt werden und lässt daher die großen Unterschiede zu dem Bemessungskriterium Blockregen in der Simulation erklären. Weitere Unterschiede treten zwischen dem Bemessungskriterium und den realen Ereignissen auf, demnach werden die Wasserstandshöhen gesteigert. Anhand der Tabelle 6.8 ist sichtbar, dass manche Anlagen ausreichend bemessen sind, andere wiederum nicht. Diese ungenügende Bemessung ist demnach auch im Vergleich 1 anhand den Überflutungsflächen und der Abflussganglinie des Auslasses erkennbar. Die Werte in den Klammern stellen die relativen Unterschiede zwischen dem Bemessungskriterium Blockregen $T_n=5a$ und den Realen Ereignissen dar.

Tabelle 6.8: Vergleich Bemessung zu Real: max. Wasserstandshöhen in den Anlagen - EZG 2: Rurales Gebiet

Verwendete Anlagen und Bauten im Ruralen Gebiet					
			<i>Blockregen</i>	<i>Reales Ereignis</i>	<i>Starkniederschlag</i>
	Anlage	bem. Tiefe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe [m]	max.Tiefe[m]
IST-Zustand	GS 4 Mulde	0,33	0,5	0,6 (+16%)	0,82 (+39%)
	GS 6 Mulde	0,43	0,8	0,9 (+11%)	1,03 (+51%)
	GS 7 Flächenvers.	0,48	0,23	0,19 (-17%)	0,22 (-4%)
	GS 9 Flächenvers.	0,48	0,2	0,22	0,23
	GS 10 Flächenvers.	0,48	0,2	0,27 (+25%)	0,34 (+42%)
	GS 11 Mulde	0,27	0,31	0,28 (-35%)	0,28 (-10%)
Szenario 2	VG	0,85	0,23	0,21 (-9%)	0,22 (-4%)

7 Diskussion der Modellergebnisse

In dem Kapitel 6 befinden sich die Simulationsergebnisse der zwei fiktiven Einzugsgebiete mit den unterschiedlichen Niederschlagstypen. In diesem Kapitel werden die Modellergebnisse diskutiert.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss durchaus beachtet werden, dass die Modelle fiktive Einzugsgebiete darstellen und die Datengrundlage eine Mischung aus konstruierten und realen Daten ist. Dies ist des Öfteren an bestimmten Überflutungen in den Einzugsgebieten erkennbar, die in den IST-Zuständen und in den Szenarien immer in den gleichen Bereichen auftreten. Das gilt sowohl für das urbane als auch das rurale Gebiet. Diese Überflutungen resultieren möglicherweise aus der Nutzung eines Digitalen Geländemodelles (DGM) eines zufällig gewählten realen Ortes. Einerseits kann dies eine ungünstige Situation darstellen, andererseits können damit auch wahre Gegebenheiten dargestellt werden. Natürliche Einzugsgebiete weisen ebenso öfters Unebenheiten auf Straßen oder Grundstücken, beispielsweise aufgrund eines beschädigten Unterbaues oder etwaiger Bodensetzungen, auf. Durch das Nachbearbeiten des DGM konnten zumindest die Höhenunterschiede zwischen der Oberfläche und den Anlagen oder zwischen der Straße und den Gehwegen modelliert werden. Es sollten jedenfalls auch die Zeitunterschiede der drei Niederschlagstypen berücksichtigt werden. Für den Blockregen wurde vereinfacht eine konstante Niederschlagsbelastung mit einer Dauerstufe von 15 Minuten gewählt. Die realen Ereignisse weisen eine höhere Dauerstufe und eine höhere Gesamtniederschlagssumme auf (3h11min reales Ereignis, 35,2mm; 4h08min Starkniederschlagsereignis, 41,1mm). Des Weiteren ist zu erwähnen, dass durch die Erstellung der Szenarien die zweidimensionalen Netze an der Oberfläche, aufgrund des eingeführten Höhenunterschiedes von Anlagen zu Oberfläche, neu erstellt wurden und hier kleine Unterschiede im Abflussverhalten möglich sein können.

7.1 Urbanes Gebiet

Die Simulationen zeigen hinsichtlich des Einsatzes der bestimmten Anlagen und Bauten konkrete Ergebnisse im urbanen Gebiet. Sowohl im Bemessungskriterium als auch in den zwei realen Ereignissen erzielt das Szenario 2 mit der Verteilung bestimmter naturnaher Maßnahmen im EZG 1 die signifikantesten Verbesserungen. An zweiter Stelle befindet sich das Szenario 1 mit den Gründächern. Der Retentionsraum im Szenario 3 reiht sich an dritter Stelle mit mäßigen Verbesserungen bis hin zu Erhöhungen gegenüber dem IST-Zustand.

Trotz des Abzuges der auftretenden Überflutungsflächen in dem vorgesehenen Bereich im Szenario 3, wurden insgesamt mehr ÜF im EZG 1 generiert. Dies könnte durchaus aufgrund der Nutzung des realen DGM entstanden sein. Für das Szenario 3 sind bauliche Maßnahmen an der Oberfläche notwendig, um die richtige Neigung und daraus die resultierenden Fließwege zu erzielen, das im Modell nicht durchgeführt wurde.

In der Tabelle 7.1 sind die Modellergebnisse dargestellt. Die Tabelle zeigt den IST-Zustand mit den drei Szenarien und die drei Niederschlagstypen. Für den IST-Zustand sind die absoluten Werte der Zielgrößen angeführt, für die Szenarien sind die relativen Verbesserungen oder Verschlechterungen gegenüber dem IST-Zustand dargestellt. Eine Verringerung der Zielgrößen *Oberflächenabfluss*, *Überflutungsflächen* und *durchschnittlicher Durchfluss (Abflussganglinie am Auslass)* stellen einen positiven Effekt dar. Bei der finalen Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet stellt eine Steigerung den positiven Effekt dar.

Tabelle 7.1: Übersichtstabelle der Modellergebnisse für alle Niederschlagstypen - Urbanes Gebiet EZG 1

Modellergebnisse Urbanes Gebiet - EZG 1				
	<i>Zielgröße</i>	<i>Blockregen 25,4mm</i>	<i>Reales Ereignis 35,2mm</i>	<i>Starkniederschlag 41,1mm</i>
IST	OA	23,59 mm	32,92 mm	39,9 mm
	FS	1,96 mm	1,63 mm	1,1 mm
	ÜF	369 m ²	285 m ²	322 m ²
	ØQ	0,21 m ³ /s	0,025 m ³ /s	0,022 m ³ /s
Szenario 1	OA	-10%	-11%	-12%
	FS	+57%	+71%	+81%
	ÜF	-21%	-18%	-19%
	ØQ	-19%	-16%	-18%
Szenario 2	OA	-17%	-19%	-18%
	FS	+61%	+66%	+76%
	ÜF	-64%	-49%	-28%
	ØQ	-81%	-64%	-68%
Szenario 3	OA	-2%	-3%	-4%
	FS	+2%	-2%	+2%
	ÜF	+10%	+7%	+9%
	ØQ	-76%	-56%	-50%

mit:

OA...Oberflächenabfluss

FS...Finale Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet

ÜF...Überflutungsflächen

ØQ...durchschnittlicher Durchfluss am Auslass

Grundsätzlich konnte die Zielgröße *Oberflächenabfluss* in allen drei Szenarien und in allen drei Niederschlagstypen gegenüber dem IST-Zustand reduziert werden. Es sind ebenso annähernd ähnliche Verteilungen unter den einzelnen Niederschlagstypen vorhanden. Diese befinden sich für das Szenario 1 für das Bemessungskriterium Blockregen bei -10% und für das Starkniederschlagsereignis bei -12%. Im Szenario 2 zeigt sich eine Verteilung zwischen -17% und -18% und im Szenario 3 zwischen -2% und -4%. Die Werte des realen Ereignisses reihen sich zwischen diesen beiden Größen ein. Alle relativen Werte beziehen sich auf die Reduzierung des Oberflächenabflusses durch den Einsatz bestimmter Anlagen und Bauten in den Szenarien gegenüber dem IST-Zustand. Zur Bewertung der Dimensionierung von Anlagen und Bauten bietet die Zielgröße des Oberflächenabflusses nicht aussagekräftige Ergebnisse und könnte auch für weitere Analysen als unwichtig eingestuft werden. Die Zielgröße der *finalen Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet* weist unterschiedliche Ergebnisse in den Szenarien und innerhalb der Niederschlagstypen auf. Im Szenario 1 legt die Zielgröße Werte zwischen +57% (für Blockregen) und +81% (für Starkniederschlagsereignis) vor. Im Szenario 2 befinden sich die Werte zwischen +61% (Blockregen) und +76% (Starkniederschlagsereignis). Die Werte des realen Ereignisses reihen sich dazwischen ein. Im Szenario 3 bilden sich unterschiedliche Verteilungen, die Werte befinden sich bei +2 % (Blockregen und Starkniederschlag) und -2% (reales Ereignis). Alle relativen Werte beziehen sich auf die Steigerung oder Verringerung der Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet nach einem Niederschlagsereignis durch den bestimmten Einsatz von Anlagen und Bauten gegenüber dem IST-Zustand. Es ist deutlich sichtbar, dass diese Komponente nur klare Aussagen hinsichtlich naturnaher Maßnahmen mit Versickerungsmöglichkeit und Retention bringt. Bezüglich des reinen Retentionsraumes können keine relevanten Aussagen getätigt werden. Die Speicherung des Wassers ist eine Teil-Komponente des natürlichen Wasserkreislaufes und könnte bei der Bewertung mit Langzeitsimulationen bessere Ergebnisse erzielen. Die Zielgröße hinsichtlich der Reduktion oder Steigerung der Überflutungsflächen (ÜF) im Einzugsgebiet sowie der Vergleich der Abflussganglinien bringt demnach die aussagekräftigsten Ergebnisse. In den ÜF sind sowohl unter den Szenarien als auch den Niederschlagstypen deutliche Unterschiede zu erkennen. Im Szenario 1 ergeben sich die Werte -21% für das Bemessungskriterium, -18% für das reale Ereignis und -19% für das Starkniederschlagsereignis. Im Szenario 2 sind Werte mit -64% (Blockregen), -49% (reales Ereignis) und -28%(Starkniederschlagsereignis) vorzufinden. Im Szenario 3 werden mit dem Bemessungskriterium Blockregen 10% mehr Überflutungsflächen generiert, im realen Ereignis und im Starkniederschlagsereignis entstehen jeweils 7% und 9% mehr Überflutungsflächen.

Alle Werte beziehen sich auf die relativen Steigerungen der Überflutungsflächen durch den Einsatz bestimmter Anlagen und Bauten in den Szenarien gegenüber dem IST-Zustand. Hinsichtlich der Überflutungsflächen, wird die Sensitivität der einzelnen Niederschlagstypen sichtbar. Im Szenario 1 können zwar die ÜF in den realen Ereignissen reduziert werden, die Reduktion ist jedoch gegenüber dem Bemessungskriterium kleiner. Im Szenario 2 können die ÜF ebenso reduziert werden, die Reduktion nimmt mit Stärke des Niederschlagsereignisses jedoch ab. Im Szenario 3 können trotz der Ansammlung des Wassers und Funktionsfähigkeit des Retentionsraumes die Überflutungsflächen sowohl im Bemessungskriterium, im realen Ereignis als auch im Starkniederschlagsereignis nicht reduziert werden. Es werden sogar mehr generiert. Anhand dieser drei Bewertungsparameter ist ersichtlich, dass es wichtig ist, immer mehrere verschiedene Zielgrößen zum Vergleich zu benutzen. Die hydrologischen Parameter des *Oberflächenabflusses* und der *finalen Speicherung* reagieren unsensibler auf die unterschiedlichen Niederschlagstypen. Bei den Überflutungsflächen, die durch die hydrodynamische Berechnung erstellt werden, entstehen deutliche Unterschiede in den Niederschlagstypen, und die Werte reagieren sensibler. Das überflutete Gebiet deutet demnach auf ein Versagen der Anlagen hin, das im Szenario 2 anhand des Retentionsstreifens an der Hauptstraße sichtbar gemacht werden kann oder anhand des Szenario 3 mit der generellen Erhöhung der ÜF gegenüber dem IST-Zustand. Prinzipiell lässt sich anhand des zweiten Vergleiches mit den Wasserstandshöhen in den Anlagen ebenso erkennen, dass die Bemessungsgröße Blockregen eine unsichere Größe für erste Dimensionierungen bestimmter Anlagen und Bauten darstellt. Die Vorbemessung mit dem Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) war für die Niederschlagsereignisse, bis auf eine Ausnahme (Retentionsstreifen HS), zwar ausreichend, die Anlagen wiesen jedoch nicht viel Toleranz auf. Diese Aussagen lassen daher eine Diskussionsbasis offen, da etwaige vernachlässigte Wartungsarbeiten oder schlechte Zustände der Anlagen nicht modelliert wurden. Außerdem befinden sich die berechneten Werte im oberen Bereich, die Bemessungsgrößen lassen demnach wenig Raum hinsichtlich noch stärkere Ereignisse zu Verfügung. Unter Rücksicht der Wartung von Anlagen oder externen Einflüsse im Modell, sollten Langzeitsimulationen durchgeführt werden. Die getätigten Maßnahmen im Szenario 1, 2 und 3 führten bei allen drei Niederschlagsereignissen zu einem Entlasten des Kanales, das diesen robuster gestaltet. Anhand dieser Zielgröße werden demnach die Auswirkungen auf die Kanalisation der naturnahen Maßnahmen sichtbar.

Hier ist erwähnenswert, dass das Szenario 2 sowohl eine Reduktion der Überflutungsflächen als auch des Durchflusses im Kanal erzielt, was eine sehr hohe Speicherkapazität und Versickerungsleistung der Anlagen verspricht. Anhand der verschiedenen Szenarien ist sichtbar, dass eine Kombination von verschiedenen dezentralen Anlagen genauso wichtig ist, wie die Kombination von zentralen mit dezentralen Anlagen. Einzel verteilte dezentrale Anlagen und Bauten können demnach auch nicht die volle Leistung erbringen, erst durch die Verteilung wird ein Einzugsgebiet aufgewertet. Das Szenario 2 bringt neben der robusten Haltung gegenüber den unterschiedlichen Niederschlagstypen ebenso einen Mehrwert im Einzugsgebiet. Grünflächen bieten Aufenthaltsmöglichkeiten und tragen zum allgemeinen, sozialen und ökologischen Klima bei. Die Kombination von Gründächern mit dem Szenario 2 würde demnach den besten Effekt bringen. Das Szenario 3 ist für dieses kleine Einzugsgebiet ungeeignet, kleinste Unebenheiten oder Baufehler können schnell zur Funktionslosigkeit des Retentionsraumes führen. Prinzipiell ist hinsichtlich der Bemessungsgröße Blockregen $T_n=5a$, $D=15\text{min}$ zu sagen, dass diese zur Dimensionierung von dezentralen Maßnahmen eine unsichere Größe ist. Die Dimensionierung der Anlagen und Bauten zeigte für übliche Ereignisse wie das vom 17.06.2020 und für das Starkniederschlagsereignis vom 13.08.2020 eine annähernd ausreichende Bemessung, jedoch mit wenig Toleranz nach oben. An diesem Punkt wird die Relevanz einer Langzeitsimulation deutlich hervorgehoben.

7.2 Rurales Gebiet

Im ruralen Gebiet lagen andere Anfangsbedingungen als im urbanen Gebiet vor. Das Gebiet ist größtenteils entsiegelt und mit Grünflächen und Bäumen ausgestattet. Außerdem werden bereits im IST-Zustand naturnahe Versickerungsanlagen angewandt. Das setzt eine anfänglich höhere Speicher- und Versickerungsleistung als im urbanen Bereich voraus. In der Tabelle 7.2 sind die Modellergebnisse des Einzugsgebietes 2 sichtbar. Enthalten sind die absoluten Werte des IST-Zustandes und die relativen Werte der Szenarien für alle drei Niederschlagstypen.

Tabelle 7.2: Übersichtstabelle der Modellergebnisse für alle Niederschlagstypen - Rurales Gebiet EZG 2

Rurales Gebiet - EZG 2				
	<i>Zielgröße</i>	<i>Blockregen</i> 25,4mm	<i>Reales Ereignis</i> 35,2mm	<i>Starkniederschlag</i> 41,1mm
IST	OA	14,85 mm	18,5 mm	24,48 mm
	FS	3,37 mm	1,3 mm	0,878 mm
	ÜF	572 m ²	557 m ²	791 m ²
	ØQ	0,747 m ³ /s	0,657 m ³ /s	0,655 m ³ /s
Szenario 1	OA	-10%	-12%	-12%
	FS	+32%	+66%	+78%
	ÜF	-18%	-12%	-17%
	ØQ	+0%	+0%	0%
Szenario 2	OA	+4%	-4%	-1%
	FS	-96%	-35%	-27%
	ÜF	-1%	+1%	-3,5%
	ØQ	+2%	+2%	+3,5%

mit:

OA...Oberflächenabfluss

FS...Finale Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet

ÜF...Überflutungsflächen

ØQ...durchschnittlicher Durchfluss am Auslass

Eine Verringerung der Zielgrößen *Oberflächenabfluss*, *Überflutungsflächen* und *durchschnittlicher Durchfluss (Abflussganglinie am Auslass)* stellt einen positiven Effekt dar. Bei der finalen Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet stellt eine Steigerung den positiven Effekt dar. Für das rurale Gebiet ist kein bestimmtes Szenario vorhanden, das überdurchschnittlich gute Verbesserungen oder Verschlechterungen aufweist. Gegenüber dem Bemessungskriterium Blockregen konnten durch die Simulationen mit den realen Niederschlagsereignissen in den *Überflutungsflächen* Erhöhungen entdeckt werden. Bei den anderen Bewertungsparametern *Oberflächenabfluss* und *finale Speicherung des Wassers im Einzugsgebiet* entwickelten sich Verbesserungen in den realen Ereignissen gegenüber der Blockregenbemessung. Prinzipiell konnte durch die realen Niederschlagsereignisse gezeigt werden, dass der Oberflächenabfluss noch mehr sinkt, die finale Speicherung noch mehr steigt. Anhand des Einzugsgebietes 2 ist sichtbar, dass die *Überflutungsfläche* deutlich sensibler auf reale Ereignisse reagiert als die anderen Zielgrößen. Durch den gezielten Einsatz bestimmter Anlagen konnten die ÜF nicht vergleichsweise wie im Bemessungskriterium reduziert werden.

Im zweiten Vergleich von Bemessung zu real mit den maximalen Wasserstandshöhen in den Anlagen wurden Unterschiedlichkeiten in den Niederschlagstypen festgestellt. Zwei Versickerungsmulden im Einzugsgebiet erreichen demnach ihre Kapazitätsgrenze, sowohl im Blockregen als auch in den realen Niederschlagsereignissen. Hierbei finden bereits Unterschiede zwischen der Vorbemessung mit dem Bemessungsprogramm für Bodenfilteranlagen und Retentionsanlagen des ÖWAV in Anlehnung an die ÖNORM B 2506-1 (2013), das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005) und das Arbeitsblatt DWA-A 117 (DWA, 2013) und der Simulation mit dem Bemessungskriterium Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min statt. Diese Überflutungen könnten von unkontrollierbaren Zuflüssen aus anderen Grundstücken stammen, die bei der einfachen Vorbemessung nicht berücksichtigt werden können. Die gefluteten Mulden sind als alleinige Maßnahme am Grundstück vorgesehen. Auch die Grundstücke mit reinen Flächenversickerungen weisen mehrere Überflutungsflächen auf. Daher kann gesagt werden, dass auch hier die Kombination mehrerer naturnaher Maßnahmen (Mulde + Flächenversickerung) bessere Ergebnisse einbringt als nur eine einzige Anlage am Grundstück. Das beste Szenario würde in diesem Einzugsgebiet ebenso die Kombination aus Gründächern und naturnahen Maßnahmen am eigenen Grundstück darstellen. Anhand der Zielgröße *Abflussganglinie am Auslass* wurde sichtbar, dass die naturnahen Maßnahmen zusätzliche Belastungen für die Kanalisation darstellen können. In allen Niederschlagstypen weisen die Szenarien höhere Durchflüsse als der IST-Zustand auf. Ebenso ist erkennbar, dass der alleinige Versickerungsgraben im Szenario 2 nicht den Erwartungen entspricht und sogar als ungeeignet eingestuft werden kann, da keine signifikanten Verbesserungen im Einzugsgebiet erzielt werden (Steigerung des Durchflusses im Kanal, minimale bis keine Verbesserung der Überflutungsflächen, Verschlechterung der Speicherung des Wassers und minimale Reduktion des Oberflächenabflusses). Anhand des Einzugsgebietes 2 ist des Weiteren erkennbar, dass Abflusssimulationen auch im Neubaubereich sinnvoll sind. Das einfache Bemessungsprogramm ist vorerst ein guter Anhaltspunkt, Anlagen vorzubemessen. Es ist jedoch zu erwähnen, dass unkontrollierte Abflüsse auf Grundstücken zu Überflutungen in den Anlagen führen können. BesitzerInnen eines Einfamilienhauses haben oft nicht die Mittel und den Zugang eine Abflusssimulation durchzuführen, dies müsste jedenfalls von den zuständigen Behörden in Auftrag gegeben werden.

8 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurden eine Literaturrecherche und eine Simulation mit zwei erstellten fiktiven Einzugsgebieten durchgeführt. Die Literaturrecherche umfasste die Zusammenstellung der relevanten Bemessungsjährlichkeiten für bestimmte Anlagen und Bauten in Deutschland, Österreich und der Schweiz (D-A-CH Raum). Weiters wurden Informationen zu den Niederschlagsdaten für die Bemessung der Anlagen und Bauten dargestellt. Zusätzlich zu den Bemessungsgrößen wurden empfohlene Wartungsintervalle für die Kontrolle und Überprüfung der Anlagen und Bauten zusammengestellt. Die betrachteten Anlagen und Bauten umfassten die Niederschlagswasser- und Mischwasserkanäle, Mischwasserentlastungen, die Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten, die naturnahen Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung, die Niederschlagswasserrückhalteräume und die Gründächer. Außerdem wurde ein kurzer Überblick in die zukünftigen Ansätze der urbanen Entwässerung gegeben. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Literaturrecherche wurden anschließend im Zuge einer 1D-2D Modellierung zweier fiktiven Einzugsgebiete validiert. Diese Modelle wurden teilweise durch konstruierte und reale Daten aufgebaut. Mit den IST-Zuständen beider Einzugsgebiete als Grundlage, wurden bis zu drei Szenarien, in denen Anlagen und Bauten integriert wurden, erstellt. Der Fokus der verwendeten Anlagen und Bauten lag dabei auf dezentralen Maßnahmen. Anschließend wurden Simulationen mit dem relevanten Bemessungsereignis und zwei realen Niederschlagsereignissen durchgeführt und anhand ausgewählter Zielgrößen die Ergebnisse verglichen.

Anhand der Literaturrecherche wurde sichtbar, dass der D-A-CH Raum eine enge Zusammenarbeit pflegt. Speziell Deutschland gilt als Vorbild für Österreich und die Schweiz. Es werden jedenfalls übergreifende Verweise auf Normenwerke und Regelblätter unter den Ländern durchgeführt. Die relevanten Bemessungsgrößen für alle Anlagen und Bauten werden sehr stark von der räumlichen Situation abhängig gemacht. Dies beinhaltet die unterschiedlichen Bemessungsjährlichkeiten, beispielsweise zwischen dem städtischen und ländlichen Bereich, die den Niederschlagsdaten zugrunde liegen. Grundsätzlich wird die Jährlichkeit T_n zwischen 2a und 10a in den Normen und Regelblättern empfohlen, um die Anlagen und Bauten zu dimensionieren. Kanäle im ländlichen Bereich sollen auf eine Jährlichkeit von 2a auf Überstau bemessen werden. Niederschlagsrückhalteräume können im einfachen Verfahren mit einer Jährlichkeit von bis zu 10a bemessen werden. Naturnahe Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung sollen grundsätzlich mit einer Jährlichkeit von $T_n=5a$ bemessen werden, wobei hier Unterschiede zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz zu erkennen sind.

Bezüglich der Betriebs- und Wartungsvorgänge treten ebenso Unterschiede unter den drei Ländern auf. In Deutschland werden vermehrt Selbstüberwachungssysteme, zumindest für die Niederschlagswasserbecken, angewandt. Eine Eigenüberwachung in gewissem Umfang ist auch in der Schweiz vorhanden. Lediglich in Österreich gibt es so etwas Vergleichbares nicht, hier werden nur visuelle Kontrollen und Überprüfungen durchgeführt. Kontrollen 1/Monat oder nach besonderen Niederschlagsereignissen sind jedoch für alle Anlagen und Bauten vorgesehen. In diesem Kontext sei zu erwähnen, dass für dezentrale Anlagen derzeit noch ganzheitlich Messdaten zu Betrieb und Wartung in allen drei Ländern fehlen. In der Literatur einiger Forschungsarbeiten wird des Weiteren oft auf Durchführungen von Langzeitsimulationen, sowohl bei zentralen als auch dezentralen Maßnahmen, hingewiesen. Dieser Ansatz fehlt in den Normenwerken und Regelblättern und wird meistens nur nebenbei erwähnt.

Anhand der Modellierung der zwei fiktiven Einzugsgebiete konnten erste Aussagen zur Bemessung von Anlagen und Bauten getroffen werden. Hier ist jedoch eine Unterteilung in lokal & global und in urban & rural zu tätigen. Im urbanen Bereich lokal betrachtet, waren die Anlagen und Bauten in der Vorbemessung, mit dem Bemessungsereignis Blockregen $T_n=5a$, $D=15$ min und in der Simulation mit den Niederschlagsereignissen (Reales Ereignis in Graz 17.06.2020, Starkniederschlagsereignis in Graz 13.08.2020) gerade ausreichend dimensioniert. Die Anlagen und Bauten waren nur ausreichend vormessen, da sie an wenig Toleranzraum hinsichtlich der Einstauhöhe verfügten. Global im Einzugsgebiet betrachtet, konnten durch die Simulationen der Niederschlagsereignisse Unsicherheiten des Bemessungskriteriums Blockregen gezeigt werden. Durch den Einsatz bestimmter Anlagen und Bauten in den Szenarien konnte meist immer eine Reduktion der Überflutungsflächen erzielt werden, diese war aber gegenüber dem Bemessungsereignis deutlich geringer und nicht dementsprechend effektiv. Diese Entwicklungen wiesen daher auch auf ein Überschreiten der Kapazitätsgrenze mancher Anlagen hin. Im ruralen Gebiet lokal betrachtet, waren manche Anlagen nicht ausreichend für die realen Niederschlagsereignisse bemessen. Dies könnte von unkontrollierten Zuflüssen anderer Grundstücke resultieren, die in der Vorbemessung nicht berücksichtigt werden können. Global im Einzugsgebiet betrachtet, entstehen ähnliche Situationen wie im urbanen Bereich. Des Weiteren konnte im ruralen Bereich durch den Einsatz der dezentralen Anlagen keine Entlastung der Kanalisation erzielt werden. In einem Szenario wurde eine Zusatzbelastung aufgrund des Einsatzes einer dezentralen Anlage auf die Kanalisation generiert. Anhand diesen Ergebnissen wird sichtbar, dass der Einfluss von neuen dezentralen Anlagen auf bestehende zentrale Anlagen auch in Betracht gezogen werden muss.

Prinzipiell ist zu erwähnen, dass eine hydrodynamische Abflusssimulation zur Bewertung von Dimensionierungsgrößen zwingend notwendig ist. Anhand dieser Arbeit wurde sichtbar, dass hydrologische Größen hinsichtlich der Dimensionierung keine aussagekräftigen Kennwerte sind. Vergleichsweise anhand der Überflutungsflächen konnten Unsicherheiten gegenüber dem Bemessungsereignis erfasst werden. Dezentrale Anlagen und Bauten tragen durch die Anordnung an mehreren Standorten und durch Variationen zu Verbesserungen in einem Einzugsgebiet bei. Einzeln angeordnete dezentrale Anlagen und Bauten verlieren an Funktionalität.

Eine Langzeitsimulation wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Mit einer Durchführung müssten diese gefundenen Ergebnisse noch einmal bewertet werden, da ein mögliches Versagen der Anlagen und Bauten durch beispielsweise unzureichende Wartungsarbeiten auftreten könnte, und dies in der Langzeitsimulation abbildbar gemacht werden kann. Außerdem wurden nur sehr kleine Gebiete allein betrachtet, der Einfluss von Zuflüssen aus externen Einzugsgebieten kann die Ergebnisse weiters beeinflussen. In den Regelblättern wird meist eine Vorbemessung mit einer Langzeitsimulation mit Niederschlagsserien von mindestens 10 Jahren empfohlen, das jedoch nicht für dezentrale Anlagen gilt. Zukünftig und gegenwärtig ist auch für dezentrale Versickerungsanlagen eine Vorbemessung mit einer Langzeitsimulation empfehlenswert. Speziell urbane Gebiete müssen in Zukunft resilient dem Anstieg an Starkniederschlagsereignissen gegenüber stehen. Dieses Ziel ist nur durch eine enge Zusammenarbeit von InteressensvertreterInnen und eine richtige Kommunikation mit den EinwohnerInnen einer Stadt möglich (McClymont et al., 2020). Diese Arbeit zeigt, dass durch den Einsatz dezentraler Anlagen und Bauten vor allem im urbanen Bereich Veränderungen stattfinden können und das einen Mehrwert für alle bringt. Naturnahe Maßnahmen bieten neben der Funktion des Entwässerns auch die Möglichkeit die Biodiversität in den Städten zu erhöhen, dies wird vor allem durch die stetig wachsenden Städte immer wichtiger werden. Für die Optimierung des Anlageverhaltens in Städten, das zu mehr urbane Resilienz führt, sind Modellierungen mit Simulationen notwendig. Abflusssimulationen für dezentrale Anlagen und Bauten werden in den Normen und Regelblättern nur am Rande erwähnt. Zukünftig sollten die Normenwerke und Regelblätter an diese Anforderungen angepasst werden, damit Ingenieure und Ingenieurinnen mit einer gewissen Eigenverantwortung die Maßnahmen richtig umsetzen können.

Literaturverzeichnis

- 100 Resilient Cities (2016). RioResiliente- Resilience Strategy of the City of Rio de Janeiro, Rockefeller Foundation, Online im Internet: <https://drive.google.com/file/d/0Bw6co0uZu4wldGhKWlp6eUhzdEE/view>. Stand: 30.11.2020.
- AGE (2008). Administration de la gestion de l'eau / Luxembourg - Accueil, Online im Internet: <https://eau.public.lu/>. Stand: 20.11.2020.
- ASCE (1991). Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, Online im Internet: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780872628557>. Stand: 10.02.2021.
- Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V (2020). BDB - Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. - BDB, Online im Internet: <https://www.bdb-bfh.de/>. Stand: 09.12.2020.
- Computational Hydraulics Int. (2021). SWMM5 modeling with PCSWMM, Online im Internet: <https://support.chiwater.com/Articles/Home>. Stand: 10.01.2021.
- Creative Commons, Austria Forum (2019). Kanalisation, Online im Internet: <https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Kanalisation>. Stand: 23.08.2020.
- Deutscher Wetterdienst (2020). Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Glossar - S - Starkregen, Online im Internet: <https://rcc.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102572>. Stand: 07.12.2020.
- Dohmann, M. und Hamacher, R. (1998). Wartung und Betrieb von Anlagen zur Regenwasserversickerung., *Forschungsvorhaben Land NRW-MURL IVB6-042 202, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft* .
- Drainage Services Department (2017). Drainage Services Department Sustainability Report 2016-17 - Sponge City: Adapting to Climate Change - Climate change mitigation and adaption, Online im Internet: https://www.dsd.gov.hk/Documents/SustainabilityReports/1617/executive_summary/en/sponge_city.html. Stand: 08.12.2020.
- DWA (2005). Arbeitsblatt DWA-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

- DWA (2006). Arbeitsblatt DWA-A 118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2007). Merkblatt DWA-M 167-2, Abscheider- und Rückstausicherungsanlagen in der Grunstücksentwässerung: Einbau, Betrieb, Wartung und Kontrolle, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2013). Arbeitsblatt DWA-A 117, Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2016). Merkblatt DWA-M 119, Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2017). Arbeitsblatt DWA-A 531, Niederschlag - Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA/BWK (2016). Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK A-3. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Ebenseer Außenanlagen (2021). Meba Rasengitterstein, Online im Internet: <https://www.ebenseer.at/de/produkte/oekosysteme/produkt/meba-rasengitterstein/>. Stand: 18.02.2021.
- eHYD (2020). eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs, Online im Internet: <https://ehyd.gv.at/>. Stand: 20.11.2020.
- Endreny, T. A. (2005). Land Use and Land Cover Effects on Runoff Processes: Urban and Suburban Development, in M. G. Anderson und J. J. McDonnell (eds), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, Online im Internet: <http://doi.wiley.com/10.1002/0470848944.hsa122>. Stand: 10.02.2021.
- Fratini, C., Geldof, G., Kluck, J. und Mikkelsen, P. (2012). Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality, *Urban Water Journal* **9**(5): 317–331, Online im Internet: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.668913>. Stand: 28.11.2020.

- Fuchs, L. (2017). „Regenwasserbewirtschaftung in China am Beispiel der Stadt Changde“ in Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. Graz. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Band 75.
- Grimm Roland (2016). Starkregen-Studie: Schäden und Vorsorgemaßnahmen, Online im Internet: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/entwaesserung/>. Stand: 09.12.2020.
- Gujer, W. (2007). *Siedlungswasserwirtschaft: mit 84 Tabellen*, 3.bearbeitete Auflage edn, Berlin:Springer Verlag.
- Hargreaves, G. H. und Allen, R. G. (2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **129**(1): 53–63, Online im Internet: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282003%29129%3A1%2853%29>. Stand: 28.02.2021.
- Hellström, D., Jeppsson, U. und Kärrman, E. (2000). A framework for systems analysis of sustainable urban water management, *Environmental Impact Assessment Review* **20**(3): 311–321, Online im Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195925500000433>. Stand: 28.11.2020.
- Hermes Sandra (2020). Pro & Contra einer Dachbegrünung: Mehr grüne Dächer braucht das Land!, Online im Internet: <https://wohnglueck.de/artikel/dachbegruenung-vorteile-nachteile-28176>. Stand: 20.11.2020.
- Hoefl, S. (2003). ÜBUNG: Verfahren zur Bemessung von Kanalnetzen Fließzeitverfahren, Technische Universität Dresden, Online im Internet: <https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/isi/>. Stand: 02.02.2021.
- Hoppe, H. (2017). „Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen “ in Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. Graz. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Band 75.
- Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, W. und Weber, B. (2011). *Water sensitive urban design : principles and inspiration for sustainable stormwater management in the city of the future ; [elaborated in the context of the research project SWITCH - managing water for the city of the future]*, Berlin : Jovis Verl.

- Hydro-IT GmbH (2007). NIEDA - Die Niederschlagsdatenbank, Online im Internet: <http://www.hydro-it.com/produkte/nieda/>. Stand: 23.11.2020.
- James, W., Rossmann, L. E. und James, W. C. (2010). User´s guide to SWMM 5, 13th Edition, *CHI Press Publication R242*, Online im Internet: <https://www.chiwater.com/Files/UsersGuideToSWMM5Edn13.pdf>. Stand: 11.01.2021.
- KHT Media GmbH (2020). Siedlungswasserwirtschaft, Online im Internet: <https://siedlungswasserwirtschaft.com/>. Stand: 10.10.2020.
- Krebs, G., Muschalla, D. und Gruber, G. (2017). Lehrveranstaltung Städtische Wasserinfrastruktur: Niederschlagswasserbewirtschaftung, Technische Universität Graz.
- Krebs, P. (2011). Lehrveranstaltung Grundlagen der Abwassersysteme, Technische Universität Dresden, Online im Internet: https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/isi/sww/ressourcen/dateien/lehre/dateien/grdl_abwassersysteme/GL_AbwS_2_Siedlungsentwsserung.pdf?lang=de. Stand: 31.08.2020.
- Lehmann, T. (2017). „Überflutungsschutz für Wien – zentrale und dezentrale Maßnahmen zum Umgang mit Regenwasser“ in Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. Graz. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Band 75.
- Leimgruber, J., Krebs, G., Camhy, D. und Muschalla, D. (2018). Sensitivity of Model-Based Water Balance to Low Impact Development Parameters, *Water* **10**(12): 1838, Online im Internet: <http://www.mdpi.com/2073-4441/10/12/1838>. Stand: 09.12.2020.
- Leimgruber, J., Krebs, G., Camhy, D. und Muschalla, D. (2019). Model-Based Selection of Cost-Effective Low Impact Development Strategies to Control Water Balance, *Sustainability* **11**(8): 2440, Online im Internet: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2440>. Stand: 09.12.2020.
- Leitner, S. (2018). Integrierte 2-D Modellierung urbaner Sturzfluten im voralpinen Raum, Technische Universität Graz.
- Lucas, W. C. (2010). Modeling Impervious Area Disconnection with SWMM, *Low Impact Development 2010*, American Society of Civil Engineers, San Francisco, California, United States, Online im Internet: <https://www.chijournal.org/Content/Files/R241-21.pdf>, pp. 897–909. Stand: 10.02.2021.
- Mall GmbH Austria (2019). Abscheider, Online im Internet: <https://www.mall-umweltsysteme.at/produkte/abscheider.html>. Stand: 08.10.2020.

- Maniak, U. (2016). *Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure*, Springer Berlin Heidelberg, Online im Internet: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-49087-7>. Stand: 09.06.2020.
- McClymont, K., Fernandes Cunha, D. G., Maidment, C., Ashagre, B., Vasconcelos, A. F., Batalini de Macedo, M., Nóbrega dos Santos, M. F., Gomes Júnior, M. N., Mendiando, E. M., Barbassa, A. P., Rajendran, L. und Imani, M. (2020). Towards urban resilience through Sustainable Drainage Systems: A multi-objective optimisation problem, *Journal of Environmental Management* **275**: 111173, Online im Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720310987>. Stand: 28.11.2020.
- McCuen, R., Johnson, P. und Ragan, R. (1996). Highway Hydrology: Hydraulic Design, Series No: 2. Hydrology, Federal Highway Administration, Washington, DC FHWA-SA-96-067.
- Möderl, M. und Rauch, W. (2010). Achilles Projekt - Literaturstudie zum Thema Regelwerke, Universität Innsbruck.
- Muschalla, D. (2015). Lehrveranstaltung Hydrology - Runoff Processes, Technische Universität Graz.
- ÖNORM B 2501 (2016). Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Planung, Ausführung und Prüfung - Ergänzende Richtlinien zu ÖNORM EN 12056 und ÖNORM EN 752, Österreichisches Normungsinstitut (ON) 2016-08-01.
- ÖNORM B 2506-1 (2013). Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen, Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb, Österreichisches Normungsinstitut (ON) 2013-08-01.
- ÖNORM EN 752 (2008). Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Österreichisches Normungsinstitut (ON) 2007-11-24.
- ÖNORM L 1120 (2016). Gartengestaltung und Landschaftsbau - Grünflächenpflege, Grünflächenerhaltung, Österreichisches Normungsinstitut (ON) 2016-07-01.
- ÖNORM L 1131 (2010). Gartengestaltung und Landschaftsbau - Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken, Österreichisches Normungsinstitut (ON) 2010-06-01.
- Nowak, J. (2014). Lehrveranstaltung Möglichkeiten der dezentralen, semizentralen und zentralen Siedlungswasserwirtschaft, Fachhochschule Potsdam, Online im Internet: <https://www.wasserakademie.de/fileadmin/template/Daten/>

- Veranstaltungen/Themenforen/1._Themenforum/Nowak_Moeglichkeiten_semi-_de-_zentralen_Siedlungswasserwirtschaft_29012014.pdf. Stand: 27.08.2020.
- Rawls, W.J., B. D. und Miller, N. (1983). Green-Ampt Infiltration Parameters from Soils Data,.
- Reblu GmbH (2020). Abscheideranlagen, Online im Internet: <https://www.abwasser-analysezentrum.de/abscheideranlagen>. Stand: 08.10.2020.
- Rechtsinformationssystem des Bundes (1996). Allgemeine Abwasseremissionsverordnung 1996, Online im Internet: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010977>. Stand: 21.03.2021.
- Rechtsinformationssystem des Bundes (2001). Oö. Abwasserentsorgungsgesetz 2001, Online im Internet: <https://www.ris.bka.gv.at/Lr-Oberoesterreich/>. Stand: 10.02.2021.
- Reinstaller, S., Maier, R., Jöbstl, C., Hornich, R. und Muschalla, D. (2020). Leitfaden - Modellbasierte urbane Überflutungsvorsorge, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Online im Internet: <http://link.springer.com/10.1007/s00506-021-00746-4>. Stand: 25.03.2021.
- Rieckermann, J., Gruber, G. und Hoppe, H. (2017). „Zukunftsfähige Systeme zur Regenwasserbehandlung brauchen datenbasierte Betriebs-, Planungs-, und Vollzugskonzepte“ in Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswassermanagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen. Graz. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Band 75.
- Rossman, L. A. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1, p. 353.
- Sieker (2020a). Überflutungsnachweise, Online im Internet: <https://www.sieker.de/fachinformationen/entwaesserungssysteme/article/ueberstaunachweise-35.html>. Stand: 25.11.2020.
- Sieker (2020b). Das Konzept der Schwammstadt (Sponge-city), Online im Internet: <https://www.sieker.de/fachinformationen/umgang-mit-regenwasser/article/das-konzept-der-schwammstadt-sponge-city-577.html>. Stand: 23.11.2020.

- Sieker (2020c). Kanalnetzberechnung, Online im Internet: <https://www.sieker.de/fachinformationen/entwaesserungssysteme/article/kanalnetzberechnung-21.html>. Stand: 24.11.2020.
- SN 640 350 (2005). Oberflächenentwässerung von Strassen; Regenintensitäten, Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV).
- Toffol, S. D. (2006). Sewer system performance assessment – an indicators based methodology, Technische Universität Innsbruck, Online im Internet: https://www.uibk.ac.at/umwelttechnik/teaching/phd/diss_detoffol.pdf. Stand: 23.11.2020.
- Vitale, C., Meijerink, S., Moccia, F. D. und Ache, P. (2019). Urban flood resilience, a discursive-institutional analysis of planning practices in the Metropolitan City of Milan, *Land Use Policy* **95**: 104575, Online im Internet: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837719308269>. Stand: 28.11.2020.
- VSA (2019a). Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter: GESAMTPAKET, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute.
- VSA (2019b). Merkblatt Niederschlagswasser für geübte Anwender - Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter, Online im Internet: <https://vsa.ch/wp-content/uploads/2020/05/Merkblatt-Niederschlagsabwasser-f%C3%BCr-ge%C3%BCbte-Anwender.pdf>. Stand: 16.10.2020.
- Wang, J., Endreny, T. A. und Nowak, D. J. (2008). Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model ¹, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **44**(1): 75–85, Online im Internet: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1752-1688.2007.00139.x>. Stand: 19.02.2021.
- ÖWAV (2003). ÖWAV-Regelblatt 35, Behandlung von Niederschlagswässern, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2006). ÖWAV-Regelblatt 16, Einleitung von Abwasser aus Kfz-Tankstellen, Kfz-Waschplätzen und Kfz-Werkstätten in öffentliche Abwasseranlagen oder in Vorfluter, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2007). ÖWAV-Regelblatt 19, Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2009). ÖWAV-Regelblatt 11, Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

- ÖWAV (2015a). ÖWAV-Regelblatt 22, Betrieb von Kanalisationsanlagen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2015b). ÖWAV-Regelblatt 45, Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2019). ÖWAV-Regelblatt 35, Behandlung von Niederschlagswässern 2.Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV (2020). ÖWAV - Publikationen - Bemessungsprogramm, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Online im Internet: <https://www.oewav.at/Downloads/Bemessungsprogramme>. Stand: 04.11.2020.
- Weilguni, V. (2018). EHYD – AUSWERTUNGEN KARTE BEMESSUNGSNIEDERSCHLAG, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Online im Internet: <https://ehyd.gv.at/assets/ehyd/pdf/bemessungsniederschlag.pdf>. Stand: 09.06.2020.
- Zahnt, N., Eder, M. und Habersack, H. (2018). Herausforderungen durch pluviale Überflutungen – Grundlagen, Schäden und Lösungsansätze, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* **70**(1-2): 64–77, Online im Internet: <http://link.springer.com/10.1007/s00506-017-0451-7>. Stand: 09.06.2020.
- Zhou, Q. (2014). A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts, *Water* **6**(4): 976–992, Online im Internet: <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/976>. Stand: 28.11.2020.

Anhang

- ANHANG A: Detaillierte Beschreibung und Erklärung der Bauten und Anlagen in der Siedlungswasserwirtschaft
- ANHANG B: Übersicht der Bemessungsgrößen von Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten; Bemessungsprogramm des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV, 2020)
- ANHANG C: Bemessungsniederschlag 2020 für Gitternetzpunkt 5214, Graz und Gitternetzpunkt 2949, Gunskirchen (eHYD, 2020)
- ANHANG D: Übersichtstabellen der Bemessungsgrößen von Anlagen und Bauten in der Siedlungswasserwirtschaft
- ANHANG E: Darstellung der zwei fiktiven Einzugsgebiete

Anhang A

Detaillierte Beschreibung und Erklärung der Anlagen und Bauten in der Siedlungswasserwirtschaft

Das Misch- und Trennsystem der Kanalisation

In Abbildung 1 ist das Prinzip des Mischwassersystems sichtbar. Hierbei werden Schmutzwasser und Niederschlagswasser im selben Kanal geführt und zur zentralen Abwasserreinigungsanlage (ARA) geleitet. In der frühen urbanen Entwicklung der Schwemmkanalisation (Maniak, 2016) wurden hauptsächlich Mischwasserkanäle (MWK) errichtet, die teilweise heute noch verwendet werden.



Abbildung 1: Darstellung des Prinzipes des Mischwassersystems anhand eines Hausanschlusses (Landeshauptstadt Düsseldorf, 2020)

Zum Vergleich ist in der Abbildung 2 ein Trennsystem abgebildet, das aus Schmutzwasser- und Regenwasser- bzw. Niederschlagswasserkanälen (NWK) besteht. Schmutz- und Niederschlagswasser werden daher in separaten Kanälen abgeleitet. Beim Trennsystem wird das Schmutzwasser im separaten Kanal zur zentralen ARA geleitet. Das Niederschlagswasser wird entweder sofort in ein Gewässer oder in Anlagen und Bauten des Trennsystems eingeleitet. Das hat den Vorteil, dass der Zufluss zur ARA hydraulisch entlastet wird (Gujer, 2007).



Abbildung 2: Darstellung des Prinzipes des Trennwassersystems anhand eines Hausanschlusses (Landeshauptstadt Düsseldorf, 2020)

Die Schwemmkanalisation kann daher aus einem

- Mischsystem
 - Mischwasserkanal
- Trennsystem
 - Regenwasser- bzw. Niederschlagswasserkanal
 - Schmutzwasser

bestehen. Umgangssprachlich wird oft die Bezeichnung des Regenwasserkanals verwendet, prinzipiell wird in diesem Kanal aber das gesamte Niederschlagswasser gesammelt und abgeleitet. Unter Niederschlag sind alle Kondensationsprodukte gemeint, die aus der Atmosphäre zum Boden gelangen (Maniak, 2016). Die Planung neuer Kanalstränge unterliegt einigen Randbedingungen wie die Anordnung im Straßenquerschnitt, Materialwahl, hydraulische und statische Berechnung oder Dichtigkeit (Gujer, 2007).

Anlagen und Bauten der zentralen Abwasserbehandlung

Kontrollschächte

Kontrollschächte übernehmen mehrere Aufgaben in einem Kanalsystem. Sie sind für begehbare Kanäle der Zugang zur Begehung und bei nicht begehbaren Kanälen die Öffnung für die Überwachung mit speziellen Messwerkzeugen. Des Weiteren werden sie zur Reinigung und Lüftung des Kanalnetzes benötigt. (Gujer, 2007)

Kanalvereinigungen

Diese werden benötigt, um Kanalstränge zusammenzuführen. Bei der hydraulischen Berechnung wird hier auf den Stützkraftsatz gebaut. Die zusammenführenden Kanäle sollten jedoch von gleicher Bedeutung sein, müssen aber nicht zwingend dieselbe Fließgeschwindigkeit aufweisen. (Gujer, 2007)

Absturzbauwerke

Absturzbauwerke werden benötigt, um höher und tiefer liegende Stränge auf kurze Distanz verbinden zu können. Sie haben die Aufgabe, die auftretende kinetische Energie, die aufgrund des Höhenunterschiedes entsteht, umzuwandeln. (Gujer, 2007)

Düker

Düker zählen zu den Sonderbauwerken in der Kanalisation, da sie als Druckleitungen ausgeführt werden. Sie werden benötigt, um spezielle Hindernisse wie Flüsse oder tiefliegende Bahn- oder Straßentrassen überwinden zu können. Freispiegelleitungen können dies nur bedingt mit einem hohen Verlust an Höhe. (Gujer, 2007)

Entlastungsbauwerke

Entlastungsbauwerke sind dann nötig, wenn die Kapazität eines Kanalsystems aufgrund von einem auftretendem Niederschlagsereignis ausgeschöpft ist. Dabei wird das überflüssige Abwasser in den nächsten Vorfluter oder in ein bestimmtes Bauwerk wie z.B. in ein Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) geleitet. Grundsätzlich kann in zwei verschiedene Entlastungsarten unterschieden werden (Gujer, 2007):

- Hochwasserentlastungen
- Kanalentlastungen: Mischwasserüberlauf (MÜ)

Hochwasserentlastungen werden nur in seltenen Fällen aktiviert. Es müssen dafür höhere Regenintensitäten über längere Zeit andauern (Gujer, 2007). Mischwasserüberläufe kommen im Mischsystem öfters zum Einsatz. Bei größeren Niederschlägen muss der Zulauf zur ARA hydraulisch entlastet werden. Darum werden die MWK mit MÜ ausgestattet, um die Entlastung zu erzielen.

Drosselstrecken

Drosselstrecken zählen zu den Sonderbauwerken der Kanalisation, sie werden ebenso wie die Düker teilweise als Druckleitungen geführt, um den Durchfluss zu regeln. Sie dienen dazu, den Ablauf von Entlastungs- und Rückhaltebauwerken kontrollieren zu können. (Gujer, 2007)

Abwasserpumpwerke

Die Abwasserpumpwerke gehören ebenso zu den Sonderbauwerken der Kanalisation, sie werden benötigt um einen verstopfungsfreien und zuverlässigen Betrieb gewährleisten zu können. (Gujer, 2007)

Drosselorgane

Drosselorgane werden benötigt um die Abwassermenge, die zur ARA fließen soll, gleichmäßig weiterleiten zu können. Es werden hier unterschiedlichste Einrichtungen, aber hauptsächlich Wirbeldrosseln, verwendet. Diese haben den Vorteil, dass sie weniger verstopfungsanfällig sind. (Gujer, 2007)

Einleitbauwerke

Einleitbauwerke werden bei der Einmündung des Abwassers in den Vorfluter angeordnet, sie sollen eine Unterspülung verhindern und gewährleisten, dass das Gewässerbett stabil bleibt (Gujer, 2007).

Unterteilung der Mischwasserüberlaufbecken

In der Abbildung 3 ist eine schematische Skizze eines Fangbeckens im Nebenschluss sichtbar. Die Aufgabe eines Fangbeckens stellt das Fangen des Schmutzstoßes dar. Bei Niederschlagsereignissen werden oft Sedimente auf Straßen und Dächern gelöst und durch die Einlaufschächte mit in den MWK transportiert. Erhöhtes Sedimentaufkommen in MWK führt daraus folgend zu einem Schmutzstoß (Gujer, 2007). Beim FB erfolgt der Überlauf in den Vorfluter vor dem Becken, dies ist in der Abbildung 3 mit dem Beckenüberlauf ersichtlich. Ebenso der Abfluss des Abwassers zur ARA nach dem Niederschlagsereignis befindet sich vor dem Becken.

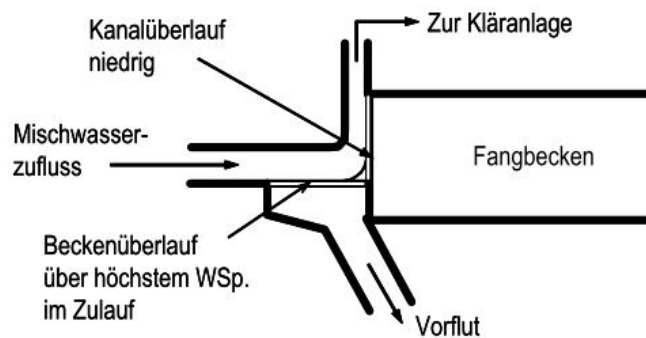


Abbildung 3: Schematische Skizze eines Fangbeckens im Nebenschluss (Gujer, 2007)

Das Durchlaufbecken wird vorrangig zum Klären des Überlaufwassers verwendet. Dabei setzen sich schwere Feststoffe ab und das partiell geklärte Abwasser wird nach dem Becken zum Vorfluter abgeleitet. In der Abbildung 4 ist ein Durchlaufbecken im Nebenschluss ersichtlich. Das Restabwasser mit den Feststoffen, das im Becken zurückbleibt, wird nach dem Niederschlagsereignis zum Ablauf zur ARA gepumpt (Gujer, 2007).

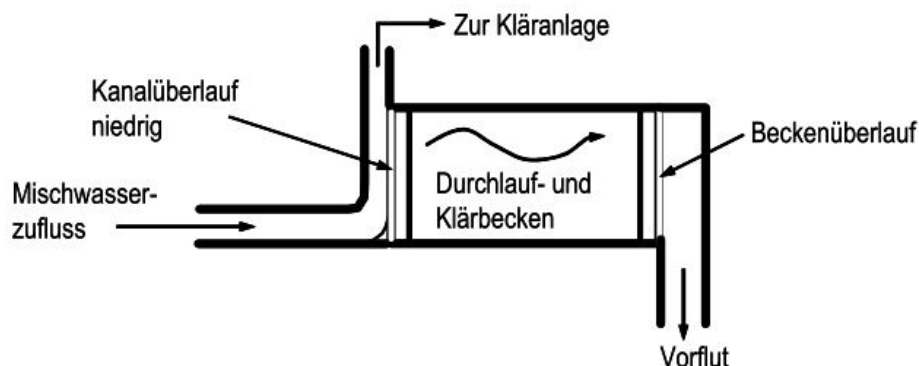


Abbildung 4: Schematische Skizze eines Durchlaufbeckens im Nebenschluss (Gujer, 2007)

In der Abbildung 5 ist ein Verbundbecken sichtbar. Bei diesem Sonderbauwerk werden beide Funktionen des FB und des DB kombiniert. Bei kleineren Niederschlagsereignissen wird demnach nur der Teil des Fangens aktiviert, erst bei zusätzlichem Überlaufwasser erfolgt das Klären (Gujer, 2007).

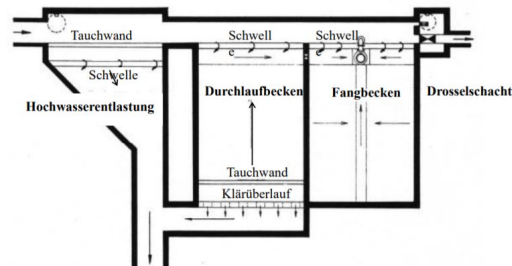


Abbildung 5: Schematische Skizze eines Verbundbeckens im Nebenschluss (Krebs, 2011)

Sonderformen des Mischwasserüberlaufbeckens

In der Siedlungswasserwirtschaft werden öfters Sonderformen des Mischwasserüberlaufbeckens eingesetzt. Diese können sein:

- Mischwasserrückhaltebecken
- Stauraumkanal
- Speicherkanal

Ein Mischwasserrückhaltebecken wird bei schwachen Vorflutern eingesetzt und dient nur der reinen Speicherung. Ein gezielter Überlauf ist nicht vorgesehen, es ist lediglich ein Notüberlauf vorhanden (Maier et al., 2017).

Ein Stauraumkanal stellt im MWK-Strang einen sogenannten Stauraum zur Verfügung. Der Abfluss zur ARA wird mit einer Drossel geregelt. Eine Entlastung des Stauraumkanales kann obenliegend oder untenliegend erfolgen. Die obere Skizze in der Abbildung 6 stellt eine obenliegende und die untere Skizze eine untenliegende Entlastung dar.

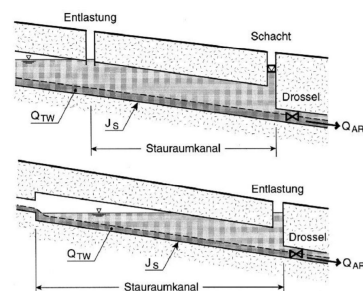


Abbildung 6: Schematische Skizze eines Stauraumkanals mit obenliegender und untenliegender Entlastung (Krebs, 2011)

Ein Speicherkanal wird mit sehr großen Durchmessern gebaut, dieser stellt während einem großen Niederschlagsereignis eine Retentionswirkung dar (Gujer, 2007). Ein solcher Speicherkanal wurde in Graz errichtet. Derzeit befindet sich der Speicherkanal noch in der Installationsphase, die volle Inbetriebnahme wird von 2021 auf 2022 erfolgen (Graz Holding, 2020).



Abbildung 7: Zentraler Speicherkanal von Graz im Bauzustand (Holding Graz - Kommunale Dienstleistungen GmbH, 2020)

In Abbildung 7 ist der Bauzustand des Zentralen Speicherkanales von Graz ersichtlich. Der ZSK weist eine Profilgröße (innenseitig) von 3,20 m in der Breite und 2,40 m in der Höhe auf (Maier et al., 2017).

Beschreibung der Methoden und Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

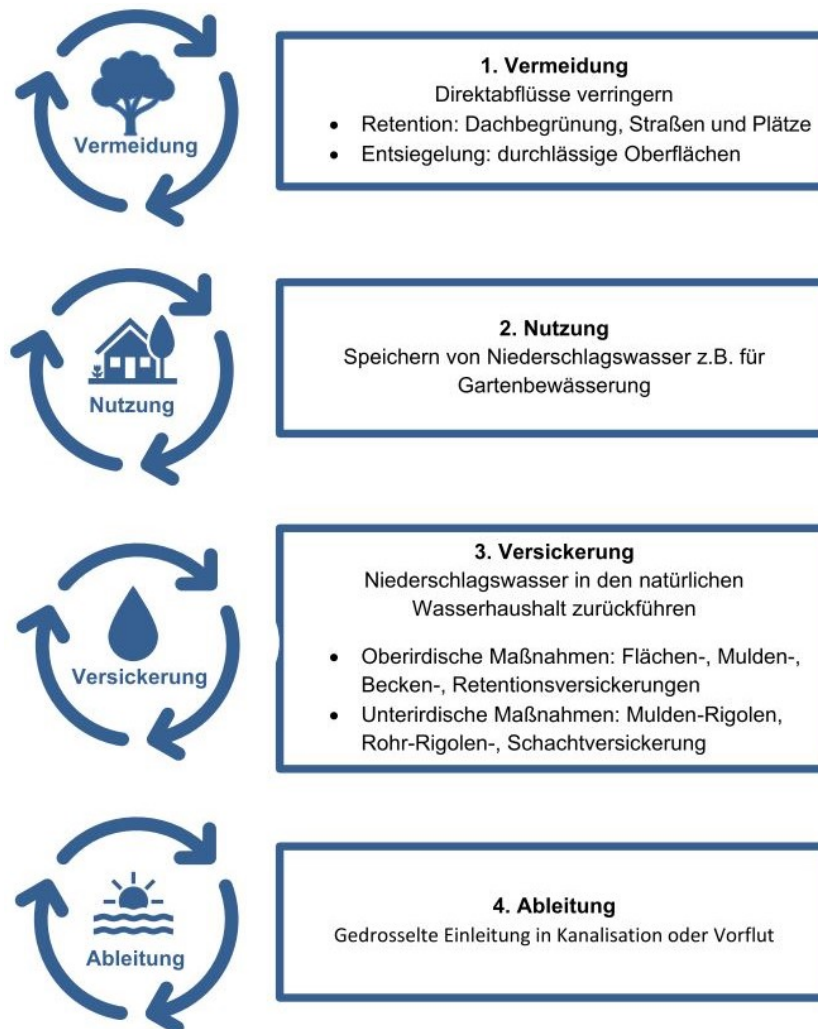


Abbildung 8: Die Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung (abgeändert nach Krebs et al. (2017) und AGE (2008))

Vermeidung

Unter der Vermeidung ist grundsätzlich die Verringerung der Direktabflüsse gemeint. Das schnelle Ableiten des Niederschlagswassers aus Siedlungen soll verzögert werden. Retentionsmaßnahmen können dafür errichtet werden (Gujer, 2007):

- wasserspeichernde Bepflanzung von Dächern
- Einstau von Flachdächern oder Parkplätzen

Einen weiteren Punkt stellt die Entsiegelung von Oberflächen im urbanen Bereich dar (Krebs, 2011). Dabei werden mehr durchlässige Oberflächenbefestigungen angestrebt.

Nutzung

Unter der Nutzung ist das gezielte Sammeln von Regenwasser gemeint. Dazu zählen einfache Regentonnen des privaten Gebrauches für die Gartenbewässerung oder auch die Stapelung von Brauchwasser in Zisternen (Gujer, 2007). Manchmal ist es notwendig das Regenwasser vorher zu behandeln (Krebs et al., 2017).

Versickerung

Versickerungsanlagen stellen den größten Teil der Niederschlagswasserbewirtschaftung dar und sollen das Niederschlagswasser in den natürlichen Wasserhaushalt, zur Anreicherung des Grundwassers, zurückführen. Bei der Versickerung ist ebenso manchmal eine Vorbehandlung notwendig (Krebs et al., 2017). Bei Versickerungsanlagen können spezielle Materialien dabei helfen, dass etwaige Schwermetalle sich nicht anlagern und mitversickern (Gujer, 2007). Es ist jedoch zu erwähnen, dass jene Sonderschicht beim Abbruch dann als Sondermüll gehandhabt werden muss (Gujer, 2007).



Abbildung 9: Beispiel einer oberirdischen Flächenversickerung mit Rasengittersteinen (Redaktion Gartendialog, 2014)

Versickerungsanlagen können in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt werden (Krebs, 2011; Krebs et al., 2017; Gujer, 2007):

- Oberirdische Maßnahmen
 - Leitungen, Rinnen, Vorreinigung, Schlammsammler
 - Flächenversickerung (siehe Abb. 9); sie sind Teil der Entsiegelung
 - Muldenversickerung
 - Beckenversickerung; sie sind meistens künstlich angelegt

- Retentionsraumversickerung
- Unterirdische Maßnahmen
 - Mulden-Rigolenversickerung
 - Rohr-Rigolenversickerung
 - Schachtversickerung (siehe Abb. 10)
 - überdeckter Kieskörper
 - Versickerungsbrunnen oder Schluckbrunnen




Abbildung 10: Beispiel eines unterirdischen Sickerschachtes am Beispiel der TU Graz (Krebs et al., 2017)

Ableitung

Die Ableitung ist der letzte Punkt der Niederschlagswasserbewirtschaftung und stellt den gewöhnlichen Prozess der Ableitung des Niederschlagswassers aus Siedlungen in zentrale Anlagen und Bauten und in die Kanalisation dar. Da zuvor die Vermeidung, Nutzung und die Versickerung angewendet werden, ist diese Ableitung jedoch nicht mit der üblichen zentralen Lösung zu vergleichen. Der Abfluss des Niederschlagswassers wird verringert bzw. verzögert, das Niederschlagswasser wird daher gedrosselt in die Kanalisation oder in das Gewässer geleitet (Krebs, 2011).

Literaturverzeichnis

- AGE (2008). Administration de la gestion de l'eau / Luxembourg - Accueil, Online im Internet: <https://eau.public.lu/>. Stand: 20.11.2020.
- Graz Holding (2020). Zentraler Speicherkanal Graz - Baulicher Zusammenschluss, Online im Internet: <https://www.zentralerspeicherkanalgraz.at/news-update/>. Stand: 31.08.2020.
- Gujer, W. (2007). *Siedlungswasserwirtschaft: mit 84 Tabellen*, 3.bearbeitete Auflage edn, Berlin:Springer Verlag.
- Holding Graz - Kommunale Dienstleistungen GmbH (2020). Facebook - Zentraler Speicherkanal Graz, Online im Internet: https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/86374382_1052635841769488_5961768220095414272_o.jpg?_nc_cat=102&_nc_sid=730e14&_nc_ohc=CyxzKXe6MYMAX_aCU1f&_nc_ht=scontent-vie1-1.xx&oh=16329f545857f17e0c02d492444f81b2&oe=5FA6CC21. Stand: 09.10.2020.
- Krebs, G., Muschalla, D. und Gruber, G. (2017). Lehrveranstaltung Städtische Wasserinfrastruktur: Niederschlagswasserbewirtschaftung, Technische Universität Graz.
- Krebs, P. (2011). Lehrveranstaltung Grundlagen der Abwassersysteme, Technische Universität Dresden, Online im Internet: https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/isi/sww/ressourcen/dateien/lehre/dateien/grdl_abwassersysteme/GL_AbWS_2_Siedlungsentwsserung.pdf?lang=de. Stand: 31.08.2020.
- Landeshauptstadt Düsseldorf (2020). Trenn- und Mischverfahren, Online im Internet: <https://www.duesseldorf.de/kanal/kunden/dichtheit/trenn-misch.html>. Stand: 28.08.2020.
- Maier, R., Muschalla, D. und Gruber, G. (2017). Lehrveranstaltung Städtische Wasserinfrastruktur: Mischwasserbewirtschaftung, Technische Universität Graz.
- Maniak, U. (2016). *Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure*, Springer Berlin Heidelberg, Online im Internet: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-49087-7>. Stand: 09.06.2020.
- Redaktion Gartendialog (2014). Rasengittersteine richtig verlegen - Anleitung, Online im Internet: <https://www.gartendialog.de/rasengittersteine-verlegen/>. Stand: 03.02.2021.

Projekt:			
1)	Definition der Situation		
1.1)	Oberflächenentwässerung von mineralölverschmutztem Regenwasser		
	Projizierte Freifläche A1	<input type="text"/>	m ²
	Regenauffangflächen (Strassen, Tankstellen usw.), auf denen nur geringe Mengen an Schmutz durch Straßenverkehr anfällt		
	Projizierte Freifläche A2	<input type="text"/>	m ²
	Regenauffangflächen (Fahrzeugabstellflächen)		
	Überdachte, seitlich offene Flächen A3	<input type="text"/>	m ²
	Fläche des Schlagregens (Parkhaus)		
	Regenspende i	<input type="text"/>	l/s.ha
	Die Regenspende i ist von den örtlichen Regendaten abhängig und ist entsprechend der behördlichen Auflagen anzusetzen.		
	Dichte der zu erwartenden Leichtflüssigkeit	<input type="text"/>	kg/dm ³
	(siehe Dichte-Tabelle)	Dichte $\gamma =$ bis 0,85 kg/dm ³	
		Dichte $\gamma =$ bis 0,88 kg/dm ³	
		Dichte $\gamma =$ bis 0,90 kg/dm ³	
		Dichte $\gamma =$ bis 0,95 kg/dm ³	
	Biodiesel- bzw. FAME-Anteil im Dieselkraftstoff C_{FAME}	<input type="text"/>	Vol. %
1.2)	Objektsentwässerung von mineralölverschmutztem Betriebsabwasser		
	gewerbliches Abwasser aus industriellen Prozessen, Fahrzeugwaschanlagen, Werkstätten, HD-Reiniger		
	Dichte der zu erwartenden Leichtflüssigkeit	<input type="text"/>	kg/dm ³
	(siehe Dichte-Tabelle)	Dichte $\gamma =$ bis 0,85 kg/dm ³	
		Dichte $\gamma =$ bis 0,90 kg/dm ³	
		Dichte $\gamma =$ bis 0,95 kg/dm ³	
	Anfallstellen		
	Auslaufventile	DN 15 / 1/2"	<input type="text"/> Stk.
		DN 20 / 3/4"	<input type="text"/> Stk.
		DN 25 / 1"	<input type="text"/> Stk.
	Versorgungsdruck	<input type="text"/>	bar
	Autowaschanlagen	<input type="text"/>	Stk.
	Hochdruckreinigungsgeräte	<input type="text"/>	Stk.
	Waschplatz für Lkw, Bau-u. landwirtschaftl. Maschinen	<input type="text"/>	ja=1
	gewählter Erschwernisfaktor f_x (siehe Erschwernisfaktortabelle)	<input type="text"/>	
	gewählter Schlammfangvolumen f_{st}	<input type="text"/>	l / NS
1.3)	Schutz von auslaufenden Flüssigkeiten im Objektsbereich		
	die maximal zu erwartende auslaufende Leichtflüssigkeitsmenge ist anzugeben (zb. bei Lagerung von Ölfässern)		
		<input type="text"/>	l/s

Anmerkung:

Das Berechnungsprogramm wird von der SW-Umweltechnik kostenlos zur Verfügung gestellt. Es wurde unter Beachtung der aktuellen gültigen Normen und von Erfahrungswerten mit größter Sorgfalt erstellt. Dennoch übernimmt die SW-Umweltechnik keine Haftung dafür, dass das Berechnungsprogramm fehlerfrei ist oder es den Anforderungen des Benutzers genügt.

Projizierte Freifläche A1

Hier wird die Summe aller projizierten Freiflächen in [m²] eingegeben, die über den Mineralölabscheider geleitet werden. Die zu erwartende Leichtflüssigkeitsmenge ist als gering zu bezeichnen.

Projizierte Freifläche A2

Hier wird die Summe aller projizierten Freiflächen in [m²] eingegeben, die über den Mineralölabscheider geleitet werden. Die zu erwartende Leichtflüssigkeitsmenge ist als gering zu bezeichnen.

Überdachte, seitlich offene Freifläche A3

Hier wird die Summe der Schlagregenflächen in [m²] von überdachten Flächen eingegeben. Sie errechnet sich:
 $A3 = \sum \text{längste Schlagregenseite} \times \text{Raumhöhe}$

Regenspende i

Es ist die örtliche Regenspende eines mind. jährlichen Regenereignisses in [l/s.ha] eingegeben. 150l/s.ha sollten jedoch nicht unterschritten werden.

Dichte der zu erwartenden Leichtflüssigkeit

Alle auftretenden Leichtflüssigkeiten sind festzulegen. Mittels der Dichtetabelle wird die Dichte jeder Leichtflüssigkeit bestimmt. Der höchste Dichtewert ist in der Eingabetabelle einzusetzen.

Anteil an Biodiesel (Fettsäuremethylester/FAME)

Regelung durch Europäischen Biokraftstoffrichtlinie 2003/30/EG. Biodiesel (FAME) wird zur Zeit in Österreich entweder als B7 (7 Vol.% Biodiesel-Anteil) dem Dieselkraftstoff beigemischt oder als Reinkraftstoff B100 (100 Vol.% Biodiesel bzw. FAME) in Verkehr gebracht

Anfallstelle - Auslaufventile

Hier werden alle Wasseranschlüsse, die gleichzeitig verwendet werden können, eingetragen. Wird ein Anschluss ausschließlich für z.B. ein HD-Gerät oder Autowaschanlage verwendet, so ist dieser nicht den Auslaufventilen zuzuordnen, sondern ist eigens zu betrachten.

Liegt der **Versorgungsdruck** über 4 bar, so ist dieser ebenso einzutragen.

Anfallstelle - Hochdruckreinigungsgeräte

Die Anzahl der HD-Geräte, die gleichzeitig verwendet werden können, ist hier einzutragen.

Waschplatz für Lkw, Bau- u. landwirtschaftl. Maschinen

Werden auf dem Waschplatz Lkw's, Bau- u. landwirtschaftliche Maschinen gereinigt, so ist in das Feld eine 1 einzutragen.

Anfallstelle - Autowaschanlage

Die Anzahl der Autowaschanlagen, die gleichzeitig verwendet werden können, ist hier einzutragen.

gewählter Erschwernisfaktor fx

Beachten Sie bei der NS-Berechnung des Mineralölabscheiders laut EN858-2, dass dieser bei der EN-Prüfung nur mit Heizöl Extraleicht geprüft wird und in der EN858-2 der Erschwernisfaktor mit 2 festgelegt wurde. Bei offensichtlichem starkem Schmutzanfall sollte der Erschwernisfaktor jedoch laut Erschwernisfaktortabelle (empfohlenen Erschwernisfaktor) angesetzt werden, um die geforderten Grenzwerte hinsichtlich des Restölgehaltes im Abwasser einhalten zu können. Sie haben die Möglichkeit einen Schmutzfaktor $fx > 2$ in der Eingabetabelle festzulegen. Wird kein Schmutzfaktor eingegeben, so wird mit dem Schmutzfaktor laut EN858-2 gerechnet.

gewähltes Schlammfangvolumen fst

Hier kann das Schlammfangvolumen frei gewählt werden. Bei starkem Schlammanfall sollte das Volumen von 400 bis 600 l/NS gewählt werden. Das mindest erforderliche Volumen laut EN 858-2 bleibt jedoch automatisch als Rechnungswert erhalten. Bei Einsatz von Biodiesel/FAME sollte das Volumen mind. 400l/NS betragen, jedoch mindesten 2,5m³.

Schutz von auslaufenden Flüssigkeiten im Objektsbereich

Hier soll der max. Abflusswert in [l/s] eingetragen werden, der durch unvorhergesehene auslaufende Flüssigkeiten entstehen kann z.B. Leichtflüssigkeitsauslauf bei Lagerung von undichten Ölfässern

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 5214; (M34, R: -66448m, H: 5215426m)
 Flächenabminderung: keine

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	8.8	10.4	11.7	13.4	15.8	18.2	18.9	19.6	21.3	22.7	23.7
	8.6	10.2	11.3	12.7	14.7	16.7	17.4	18.0	19.4	20.6	21.4
	8.4	9.9	10.8	11.9	13.4	14.9	15.5	15.9	17.0	17.9	18.5
10 Minuten	14.0	16.6	18.2	20.2	24.7	29.1	30.5	31.7	35.0	37.6	39.4
	13.7	16.3	17.8	19.7	23.3	26.8	27.8	28.8	31.4	33.5	35.0
	13.4	15.9	17.3	19.2	21.7	24.3	24.9	25.6	27.5	29.1	30.1
15 Minuten	17.6	21.0	23.0	25.5	30.6	36.4	38.3	39.8	44.0	47.4	49.8
	17.2	20.5	22.4	24.9	29.1	33.5	35.0	36.2	39.5	42.2	44.1
	16.8	20.0	21.9	24.3	27.6	30.7	31.8	32.7	35.0	37.0	38.4
20 Minuten	20.2	24.3	26.6	29.6	34.5	41.1	43.2	44.9	49.8	53.6	56.4
	19.7	23.7	25.9	28.9	33.2	38.4	39.9	41.3	45.2	48.1	50.3
	19.3	23.1	25.3	28.2	31.9	35.8	36.9	37.9	40.8	43.0	44.6
30 Minuten	23.8	28.7	31.5	35.2	40.4	48.2	50.8	52.8	58.6	63.2	66.4
	23.2	27.9	30.7	34.3	39.2	45.2	47.3	48.9	53.3	56.9	59.4
	22.7	27.3	30.0	33.5	38.1	42.7	44.3	45.5	48.8	51.5	53.4
45 Minuten	27.1	32.9	36.2	40.4	46.4	55.5	58.4	60.8	67.4	72.7	76.5
	26.4	32.0	35.2	39.3	45.1	52.1	54.4	56.3	61.3	65.4	68.4
	25.8	31.3	34.5	38.4	44.0	49.4	51.2	52.7	56.6	59.7	62.0
60 Minuten	29.1	35.3	39.0	43.6	50.9	60.8	64.0	66.6	73.9	79.7	83.8
	28.3	34.3	37.9	42.4	48.9	56.4	59.0	60.9	66.5	70.9	74.1
	27.7	33.6	37.1	41.5	47.5	53.2	55.3	56.8	61.0	64.4	66.9
90 Minuten	31.4	38.3	42.2	47.2	57.5	68.6	72.2	75.1	83.3	89.8	94.4
	30.5	37.2	41.0	45.9	53.8	62.1	64.9	67.1	73.1	78.1	81.5
	29.9	36.4	40.2	45.0	51.3	57.8	60.0	61.7	66.2	70.2	72.9

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 5214; (M34, R: -66448m, H: 5215426m)
 Flächenabminderung: keine

Fortsetzung

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
2 Stunden	32.7	39.9	43.9	50.1	62.0	74.0	77.8	81.0	89.8	96.8	101.7
	31.8	38.7	42.6	48.1	56.8	65.6	68.4	70.7	77.3	82.5	86.1
	31.2	38.0	41.8	46.8	53.6	60.3	62.5	64.3	69.4	73.6	76.3
3 Stunden	34.3	41.7	46.3	56.2	69.5	82.9	87.1	90.7	100.5	108.3	113.8
	33.2	40.5	44.7	51.6	61.1	70.4	73.4	75.9	82.8	88.4	92.2
	32.6	39.8	43.8	49.0	56.3	63.3	65.6	67.4	72.6	77.0	79.8
4 Stunden	36.6	43.9	50.1	60.7	75.1	89.4	94.1	97.8	108.4	116.8	122.8
	35.5	42.5	47.5	54.6	64.4	74.0	77.2	79.7	86.9	92.3	96.6
	34.9	41.8	46.1	51.2	58.5	65.4	67.8	69.6	74.9	78.7	82.1
6 Stunden	40.0	49.7	59.0	70.8	86.7	102.7	107.8	112.0	123.7	133.1	139.7
	38.8	46.9	52.9	60.7	71.1	81.3	84.7	87.7	95.4	101.3	105.4
	38.1	45.1	49.1	54.4	61.4	68.1	70.4	72.6	77.8	81.5	84.2
9 Stunden	43.3	58.0	68.2	81.1	98.3	115.4	120.9	125.5	138.2	148.2	155.3
	42.1	52.4	59.1	67.5	79.0	90.2	94.2	97.2	105.6	112.2	116.9
	41.2	48.1	52.0	57.0	64.0	70.7	73.5	75.2	80.2	84.3	87.0
12 Stunden	45.6	64.2	75.2	89.0	106.4	124.2	129.8	134.3	147.1	157.4	164.9
	44.5	56.9	64.3	73.6	85.4	97.6	101.4	104.4	113.4	120.1	125.4
	43.5	50.2	54.2	59.4	66.0	73.0	75.1	76.7	82.1	85.5	88.8
18 Stunden	53.4	74.7	87.0	101.7	118.7	135.3	140.5	144.7	157.1	166.8	173.6
	50.7	65.4	74.0	84.3	96.8	109.4	113.1	116.4	125.6	132.7	137.9
	48.1	56.1	61.0	67.1	75.0	83.6	85.9	88.2	94.3	98.7	102.4
1 Tag	61.8	83.1	96.6	113.7	136.7	155.3	160.8	165.1	177.7	187.8	194.8
	57.6	72.9	82.3	94.1	110.0	123.9	128.2	131.2	141.0	148.8	153.8
	53.5	62.7	68.1	74.6	83.3	92.6	95.7	97.4	104.3	109.9	112.9

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 5214; (M34, R: -66448m, H: 5215426m)
 Flächenabminderung: keine

Fortsetzung

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
2 Tage	72.9	99.3	114.8	134.3	160.7	187.1	195.7	202.6	217.0	229.7	237.4
	67.4	86.4	97.5	111.5	130.7	149.5	155.6	160.8	172.3	182.2	188.4
	61.8	73.4	80.2	88.6	100.6	111.9	115.4	119.0	127.5	134.6	139.3
3 Tage	79.9	108.1	124.6	145.4	173.6	201.8	210.8	218.3	239.0	255.6	263.8
	74.0	94.7	106.9	122.0	142.8	163.3	169.7	175.5	190.8	202.9	209.5
	68.1	81.2	89.2	98.6	112.0	124.8	128.6	132.6	142.5	150.1	155.2
4 Tage	86.1	114.3	131.5	153.2	182.7	212.1	221.6	229.4	251.0	268.2	280.4
	80.0	101.1	113.7	130.0	151.6	173.6	180.4	186.4	202.0	215.3	224.0
	73.8	87.8	95.9	106.7	120.4	135.0	139.2	143.4	153.0	162.3	167.5
5 Tage	91.0	119.1	136.9	159.3	189.7	220.1	229.9	237.8	260.2	278.0	290.6
	84.7	106.4	119.6	136.1	159.0	181.4	189.1	194.7	211.6	224.8	233.8
	78.3	93.6	102.2	112.9	128.3	142.7	148.2	151.6	162.9	171.5	177.0
6 Tage	96.4	123.1	141.3	164.3	195.4	226.6	236.6	244.9	267.8	286.1	299.0
	89.6	110.8	124.4	141.8	164.9	188.6	195.9	201.9	219.2	232.9	242.9
	82.8	98.4	107.4	119.2	134.4	150.6	155.2	158.8	170.6	179.6	186.8

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Gitterpunkt: 5214 (Rot); Bezirksgrenzen (Schwarz); Gewässernetz (Blau)



Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 2949; (M31, R: 46523m, H: 5331971m)
 Flächenabminderung: keine

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	7.0	10.1	11.9	14.2	17.3	20.4	21.3	22.2	24.4	26.2	27.5
	6.6	9.0	10.4	12.2	14.6	17.0	17.7	18.4	20.1	21.5	22.5
	6.1	7.7	8.6	9.7	11.2	12.7	13.1	13.6	14.7	15.5	16.1
10 Minuten	9.8	12.8	15.2	18.2	22.2	26.2	27.4	28.6	31.4	33.8	35.5
	9.6	12.3	14.2	16.7	19.9	23.1	24.1	25.1	27.4	29.4	30.7
	9.3	11.8	13.2	15.0	17.4	19.8	20.6	21.3	23.0	24.5	25.4
15 Minuten	11.9	15.1	17.8	21.3	26.1	30.9	32.3	33.7	37.1	39.8	41.9
	11.6	14.7	17.0	19.9	23.8	27.8	28.9	30.0	32.9	35.1	36.8
	11.4	14.4	16.2	18.5	21.6	24.7	25.6	26.4	28.7	30.4	31.7
20 Minuten	13.3	17.0	19.6	23.5	28.8	34.2	35.7	37.3	41.1	44.1	46.4
	12.9	16.6	18.9	22.2	26.6	31.1	32.3	33.6	36.8	39.3	41.2
	12.6	16.2	18.3	20.9	24.5	28.1	29.1	30.1	32.7	34.8	36.3
30 Minuten	15.0	19.4	22.6	27.2	33.4	39.6	41.4	43.2	47.7	51.3	53.9
	14.6	18.9	21.8	25.6	30.8	35.9	37.5	38.9	42.6	45.6	47.8
	14.3	18.5	21.1	24.2	28.5	32.7	34.1	35.2	38.3	40.7	42.6
45 Minuten	16.6	21.6	25.9	31.2	38.3	45.5	47.6	49.7	54.8	58.9	62.0
	16.2	21.0	24.4	28.6	34.3	40.1	41.8	43.5	47.7	50.9	53.4
	15.9	20.5	23.2	26.6	31.2	35.9	37.3	38.7	42.1	44.7	46.6
60 Minuten	17.8	23.8	28.4	34.1	41.9	49.8	52.3	54.4	60.1	64.7	67.9
	17.3	22.6	26.2	30.6	36.7	42.9	44.7	46.4	50.8	54.4	56.9
	16.9	21.7	24.6	28.1	32.9	37.8	39.2	40.5	44.0	46.9	48.8
90 Minuten	19.9	27.3	32.6	39.3	48.4	57.4	60.4	62.8	69.4	74.7	78.5
	19.4	25.3	29.2	34.1	40.7	47.2	49.4	51.1	55.9	59.7	62.6
	19.0	24.0	26.9	30.6	35.5	40.4	42.0	43.3	46.8	49.6	51.9

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 2949; (M31, R: 46523m, H: 5331971m)
 Flächenabminderung: keine

Fortsetzung

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
2 Stunden	21.6	30.0	35.8	43.2	53.2	63.2	66.5	69.1	76.5	82.3	86.5
	21.0	27.4	31.4	36.5	43.5	50.4	52.7	54.5	59.6	63.6	66.6
	20.6	25.7	28.6	32.3	37.4	42.4	44.0	45.4	49.0	51.9	54.1
3 Stunden	24.3	34.4	41.1	49.7	61.2	72.8	76.5	79.6	88.1	94.9	99.7
	23.5	30.6	35.0	40.5	48.0	55.6	58.0	60.0	65.5	69.9	73.1
	23.1	28.4	31.5	35.3	40.5	45.8	47.4	48.8	52.5	55.6	57.8
4 Stunden	26.4	37.5	44.9	54.3	66.9	79.6	83.7	87.1	96.4	103.8	109.1
	25.6	33.1	37.8	43.6	51.6	59.5	62.1	64.3	70.2	74.9	78.1
	25.1	30.6	33.8	37.7	43.1	48.4	50.1	51.6	55.6	58.9	60.9
6 Stunden	31.1	45.1	53.3	63.7	77.7	91.8	96.3	100.0	110.4	118.6	124.4
	29.4	38.4	43.6	50.1	59.1	68.0	70.8	73.2	79.7	84.9	88.7
	28.4	34.2	37.6	41.7	47.5	53.2	55.0	56.5	60.7	64.0	66.5
9 Stunden	37.6	53.0	62.1	73.2	88.4	103.6	108.5	112.5	123.7	132.5	138.9
	34.5	44.8	50.8	58.2	68.3	78.5	81.7	84.4	91.9	97.8	101.9
	32.1	38.4	42.1	46.6	52.7	59.0	60.9	62.6	67.2	70.8	73.2
12 Stunden	42.3	58.9	68.6	80.3	96.2	112.1	117.2	121.3	132.9	142.2	148.8
	38.5	50.1	57.0	65.2	76.5	87.8	91.3	94.3	102.6	109.2	113.8
	34.9	42.0	46.2	51.3	58.3	65.3	67.3	69.3	74.5	78.6	81.4
18 Stunden	50.0	68.6	79.3	92.8	109.5	125.8	131.1	135.7	147.8	157.3	164.7
	44.6	58.1	66.0	75.8	88.2	100.4	104.5	108.0	117.0	124.1	129.5
	39.2	47.7	52.7	58.8	67.0	75.2	78.0	80.4	86.3	91.1	94.5
1 Tag	56.2	76.2	87.9	102.6	120.1	136.1	141.2	145.0	156.6	167.4	173.5
	49.4	63.8	72.2	83.0	96.0	108.3	112.3	115.3	124.2	132.3	137.1
	42.6	51.5	56.6	63.5	72.0	80.6	83.4	85.6	91.9	97.2	100.7

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten [mm]
 Gitterpunkt: 2949; (M31, R: 46523m, H: 5331971m)
 Flächenabminderung: keine

Fortsetzung

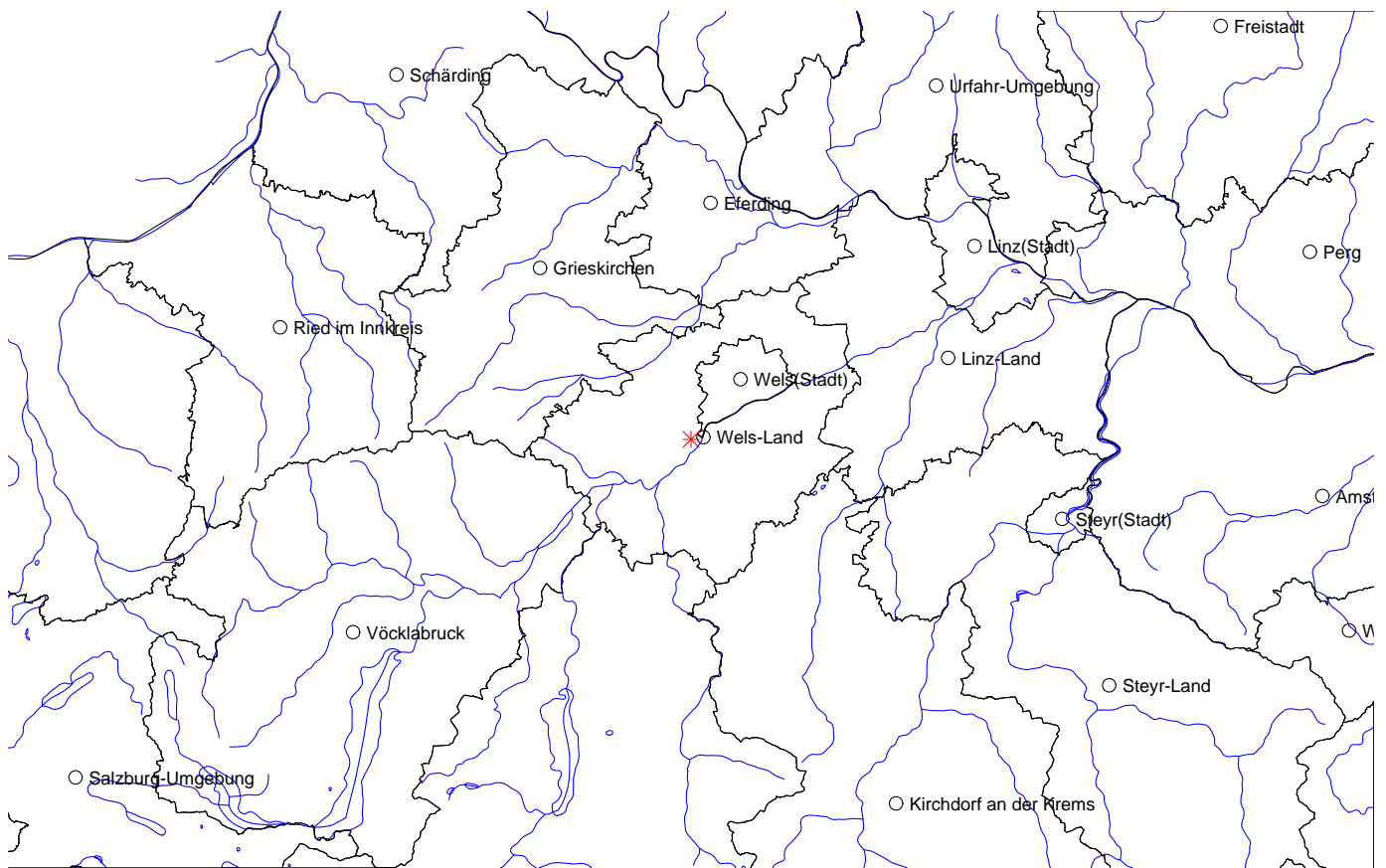
Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
2 Tage	68.7	91.5	104.8	121.5	144.2	167.0	174.4	180.3	197.1	210.4	219.9
	60.6	78.0	88.3	101.1	118.5	136.1	141.7	146.3	159.3	169.6	177.0
	52.5	64.5	71.7	80.6	92.8	105.2	108.9	112.2	121.5	128.8	134.0
3 Tage	75.5	99.7	113.9	131.8	156.0	180.3	188.1	194.5	212.3	226.4	236.5
	67.3	86.5	97.8	111.9	131.1	150.2	156.3	161.5	175.6	186.5	194.6
	59.1	73.3	81.6	91.9	106.1	120.1	124.5	128.4	138.8	146.6	152.6
4 Tage	80.3	105.6	120.4	139.1	164.3	189.6	197.7	204.4	223.1	237.8	248.3
	72.3	92.8	104.7	119.8	140.3	160.6	167.3	172.4	187.5	199.5	207.9
	64.3	80.0	89.0	100.4	116.2	131.5	136.8	140.4	151.8	161.2	167.4
5 Tage	84.1	110.2	125.4	144.7	170.7	196.9	205.3	212.1	231.3	246.6	257.4
	76.3	97.8	110.3	126.2	147.5	168.8	175.8	181.4	197.2	209.5	218.5
	68.5	85.4	95.2	107.6	124.2	140.6	146.2	150.7	163.0	172.4	179.6
6 Tage	87.2	113.9	129.5	149.3	176.0	202.8	211.4	218.4	238.2	253.9	264.9
	79.8	102.1	115.1	131.4	153.5	175.8	182.8	188.6	205.1	218.0	227.3
	72.3	90.2	100.6	113.5	130.9	148.7	154.2	158.7	172.0	182.1	189.6

MaxModN - maximierte Modellniederschläge [HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert)]

Bemessungsniederschlag - gewichteter Wert zwischen MaxModN und ÖKOSTRA

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWA-A 531, modifiziert)

Gitterpunkt: 2949 (Rot); Bezirksgrenzen (Schwarz); Gewässernetz (Blau)



Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen von Kanäle, Mischwasser-Entlastungen und Abscheideranlagen

				D	A	CH
NWK / MWK	Jährlichkeit T _n	Nachweis Überstau	L	2 a		
			W	3 a		
			S	seltener als 5 a		
			U	seltener als 10 a ¹		
		Bemessung Überflutung	L	10 a		
			W	20 a		
			S	30 a		
			U	50 a		
	Niederschlags datenformat	Fließzeitverf.		Niederschlagsspendenlinie, Blockregen		
		Abflusssimu.		Euler Modellregen Typ II, Modellregengruppen, Niederschlagsserien		
Wartungsintervall	Kontrolle			3 - 5 a*		
	Wartung			3 - 6 a*		
	Überprüfung			10 a*		
MW-Entlastungen	Jährlichkeit der Niederschlagsspende f _{720,1}			1 a		
	Niederschlagsdatenformat		Niederschlagsserie ≥ 10 Jahre			
	Wartungsintervall	Kontrolle		Eigenüberwachung	1/Mo	teilweise Eigenüberwachung
		Wartung			1 a**	
Überprüfung						
Abscheideranlagen	Jährlichkeit T _n			1 a		
	Niederschlagsdatenformat		Niederschlagsspenden			
	Wartungsintervall	Kontrolle		1/Mo	1/Mo*	
		Wartung		0,5 a		
		Überprüfung		≤ 5 a		

** Messeinrichtungen

* oder bedarfsorientiert

L...Ländliche Gebiete

W...Wohngebiete

S...Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete

U...Unterirdische Verkehrsanlagen

1... bei Unterführungen liegt bei Überstau

über Gelände meist sofort eine Überflutung vor →

T_n = 50a nach Bemessung Überflutung empfohlen

Übersichtstabelle der Bemessungsgrößen von naturnahen Maßnahmen, Niederschlagsrückhalteräume und Gründächern

				D	A	CH	
naturnahe Maßnahmen	Jährlichkeit T _n	Dimensionierung einfach	zV	≥10 a / ≥ 5 a	≥10 a ^{***}	10 a	
			dV	5 a			
			V				< 1 bis 10 a
			M				abh. von Kapazität
			T				2, 1, ev. < 1 a
			B				< 1 a
			höh. Schutzanforderungen	L	10		
	W	20					
	S	30					
	Niederschlagsdatenformat			Niederschlagsspendenlinie bei dV, Niederschlagsserie ≥ 10 a bei zV	Blockregen	Niederschlagsintensitätskurven oder regionsspezifische Bemessungsdiagramme ≥10 a, Niederschlagskontinuum ^{****}	
Wartungsintervall			0,5 - 1 a	0,5 a	15 a ohne Mängel 5 a bei Mangel		
NRR	Jährlichkeit T _n		≤ 10				
	Niederschlagsdatenformat	Einfaches Verfahren	Niederschlagsspenden	Niederschlagsintensitätskurven			
		Komplexes Verfahren	mehrjährige Niederschlagsserie ≥ 10 a, angestrebter Wert = 3*T _n				
	Wartungsintervall	Kontrolle	Selbstüberwachungssystem	1/ Mo*	teilweise Eigenüberwachung		
Wartung							
Gründächer	Jährlichkeit T _n		≥ 5 a	5 a	0,5 - 10 a		
	Mittlere Niederschlagshöhe		min	500 mm/a			
			max	700mm/a			
	Niederschlagsdatenformat			Niederschlagsspenden	Niederschlagsintensitätskurven oder regionsspezifische Bemessungsdiagramme ≥10 a, Niederschlagskontinuum ^{****}		
	Wartungsintervall	Kontrolle	EX IN		0,5 a - 1 a	laufend	
laufend							

*** lt. ÖWAV RB 35 (2003) alte Version

* oder bedarfsorientiert

V...Versickerung mit/ohne Retention

M...Retention mit/ohne Versickerung im Mischsystem

T...Retention mit/ohne Versickerung im Trennsystem

EX...Extensive Begrünung

**** bei Langzeitsimulation

dV....dezentrale Versickerung

zV...zentrale Versickerungsanlagen

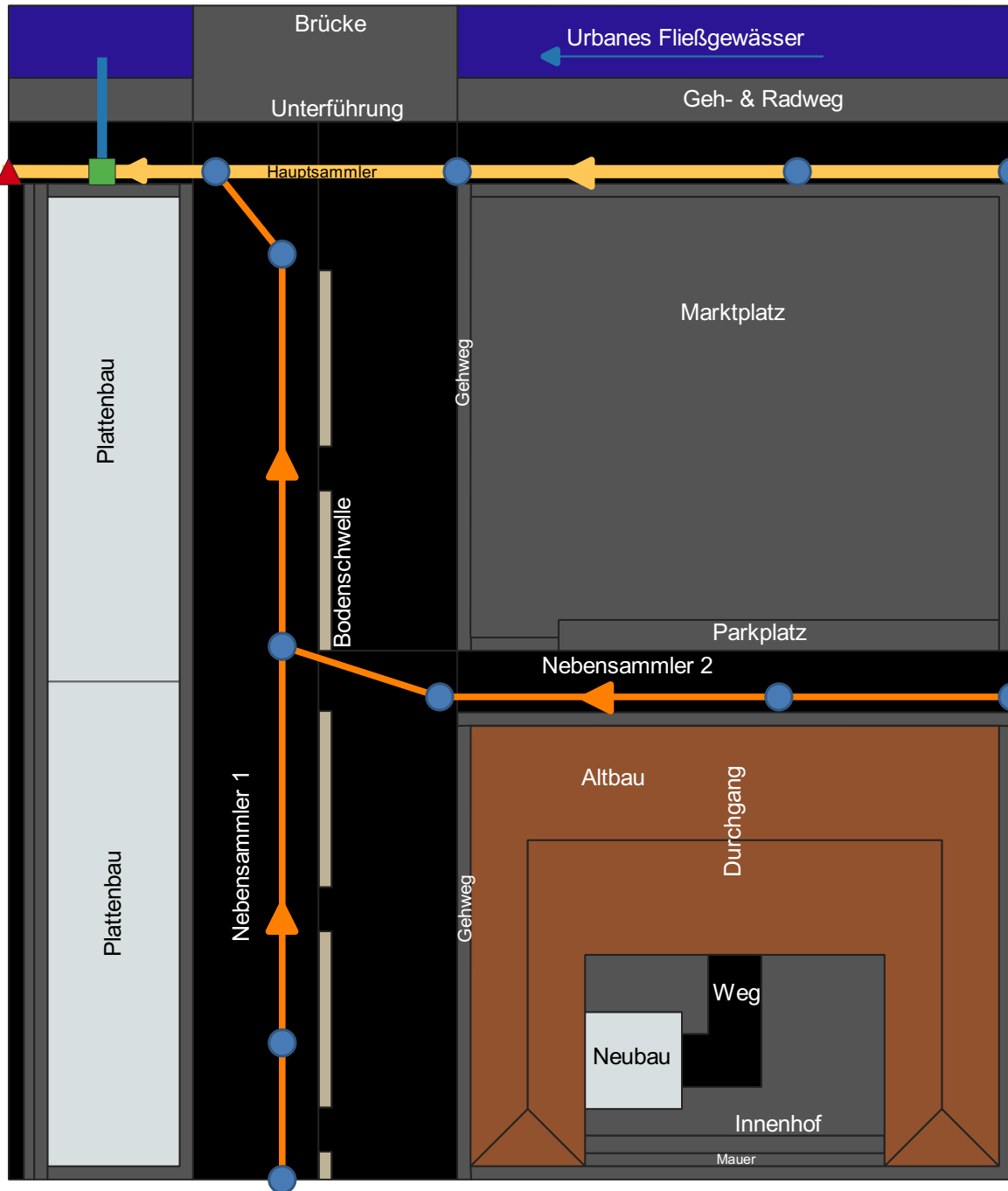
B...Behandlungsanlagen mit/ ohne Retention

IN...Intensive Begrünung

Einzugsgebiet 1

Urbanes Gebiet - 0 Zustand

M 1:750



LEGENDE

- ▲ MW-Überlauf
- Schächte
- MÜB

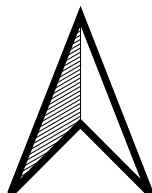
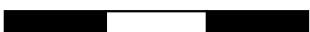
Kanalnetz

- Hauptsammler
- Nebensammler
- Überlauf

Oberflächeneigenschaft

- Asphalt
- Beton
- Kies-Flachdach
- Ziegel-Steildach
- Pflasterung
- Wasser
- Begrünung

0 10 20 30 m

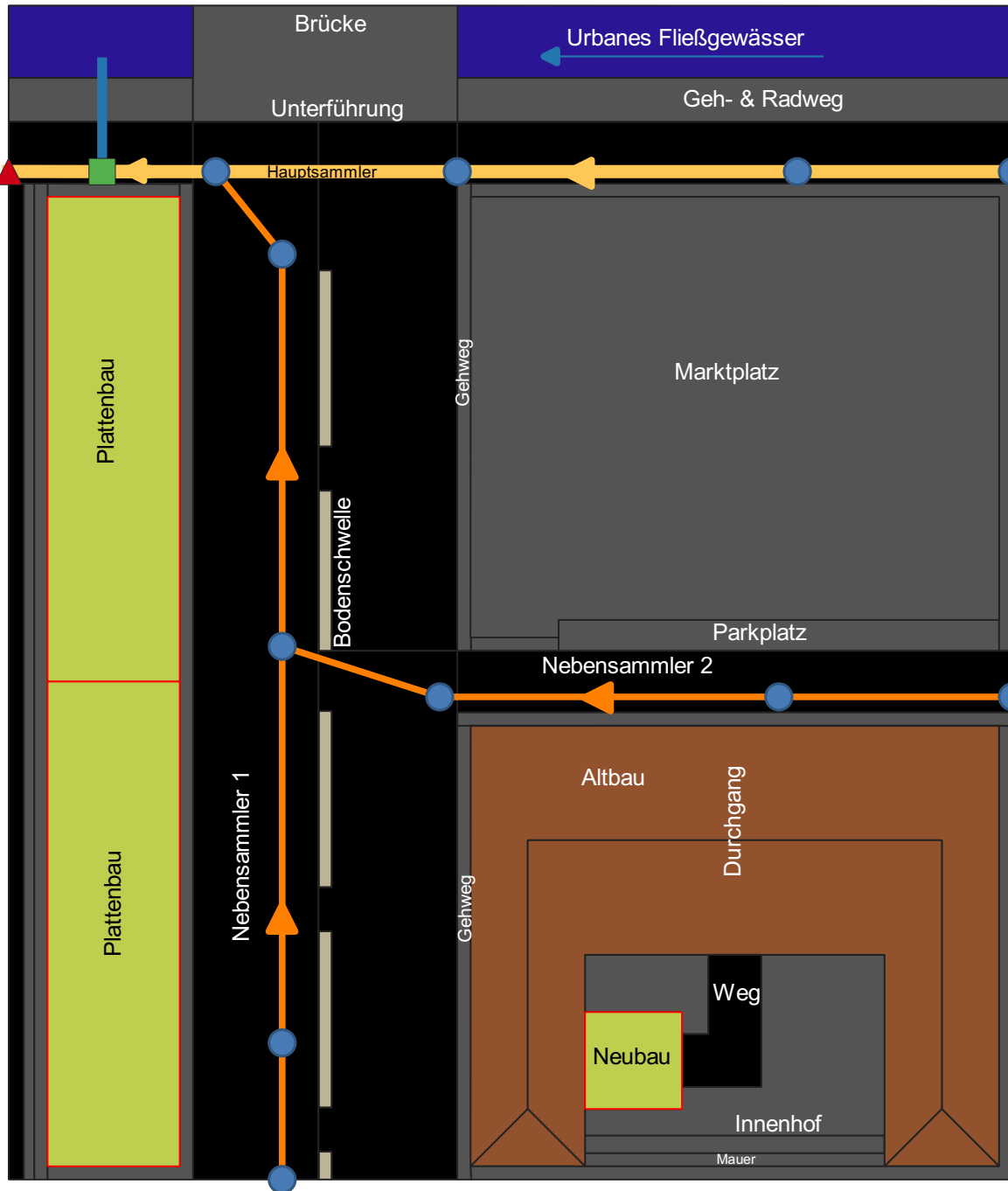


Seite E-i

Einzugsgebiet 1

Urbanes Gebiet - Szenario 1

M 1:750



LEGENDE

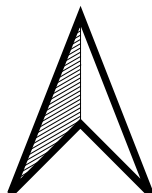
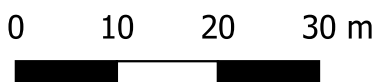
- Gründach
- MW-Überfall
- Schächte
- MÜB
- Kanalnetz**
- Hauptsammler
- Nebensammler
- Überlauf
- Oberflächeneigenschaft**
- Asphalt
- Beton
- Kies-Flachdach
- Ziegel-Steildach
- Pflasterung
- Wasser

Änderungen:

Die Kies-Flachdächer werden in Gründächer umgewandelt.



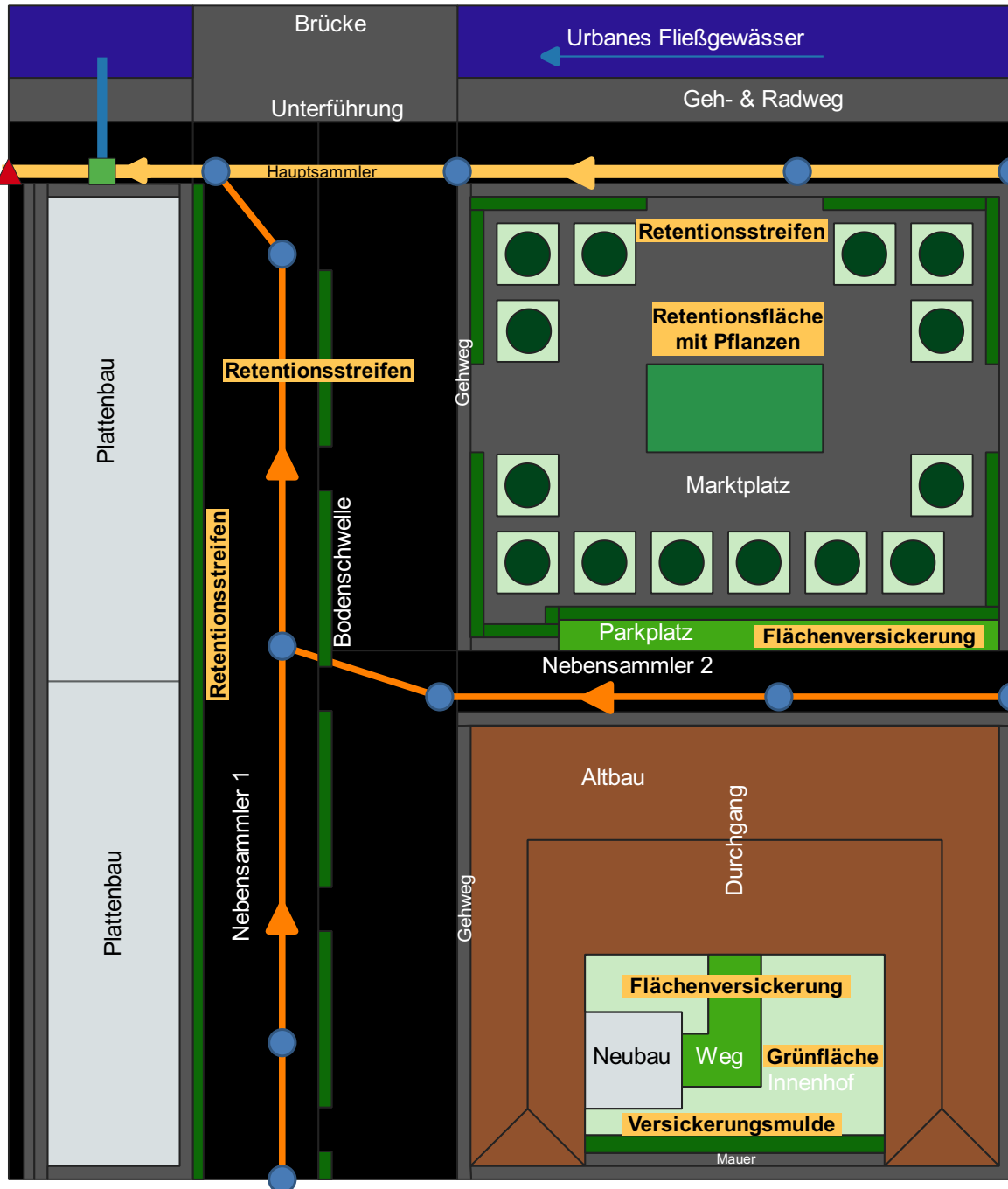
<https://www.baulinks.de/webplugin/2015/1885.php4>



Einzugsgebiet 1

Urbanes Gebiet - Szenario 2

M 1:750



LEGENDE

- Naturnahe Maßnahme**
- Flächenversickerung
 - Durchlässige Fläche
 - Retentionsstreifen
 - Retentionsfläche
 - Baum
 - Versickerungsmulde
- Kanalnetz**
- Hauptsammler
 - Nebensammler
 - Überlauf
- Oberflächeneigenschaft**
- Asphalt
 - Beton
 - Kies-Flachdach
 - Ziegel-Steildach
 - Pflasterung
 - Wasser
- Other symbols:**
- MW-Überfall
 - Schächte
 - MÜB

Änderungen:

- 1.) Der Weg und der Parkplatz werden als Flächenversickerung ausgeführt.
- 2.) Die Bodenschwellen werden durch Retentionsstreifen mit Pflanzen ersetzt. Östlich vom Plattenbau wird ein Retentionsstreifen mit Pflanzen errichtet.
- 3.) Der Marktplatz wird mit Retentionsstreifen mit Pflanzen umrandet, in der Mitte befindet sich eine Retentionsfläche mit Pflanzen und Aufenthaltsmöglichkeiten. Zusätzlich werden 14 Bäume gepflanzt.
- 4.) Der Innenhof wird entsiegelt und entlang der Mauer wird eine Versickerungsmulde errichtet.



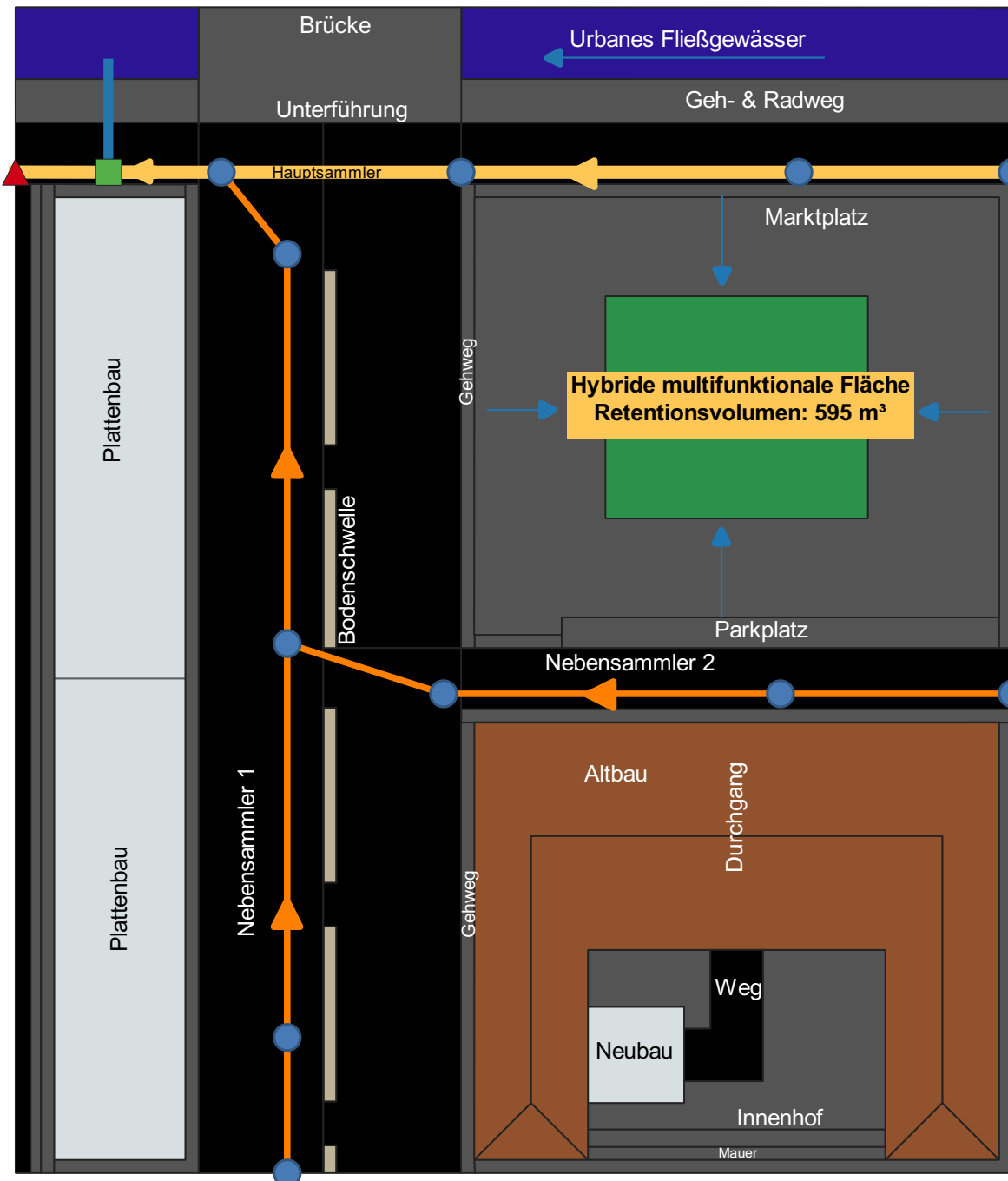
0 10 20 30 m



Einzugsgebiet 1

Urbanes Gebiet - Szenario 3

M 1:750



LEGENDE

NRB

NRB

MW-Überfall

Schächte

MÜB

Kanalnetz

Hauptsammler

Nebensammler

Überlauf

Oberflächeneigenschaft

Asphalt

Beton

Kies-Flachdach

Ziegel-Steildach

Pflasterung

Wasser

Änderungen:

Der Marktplatz wird als hybride multifunktionale Fläche ausgeführt. Es werden 14 Bäume gepflanzt, die Aufenthaltsmöglichkeiten bieten und bei stärkeren Niederschlagsereignissen wird er als Niederschlagswasserrückhaltebecken verwendet. An das NRB werden die gesamten Entwässerungsflächen des EZG angeschlossen. Das Niederschlagswasser wird dann bei Trockenwetter über die Verdunstung und einem gedrosselten Abfluss in das urbane Fließgewässer eingeleitet.

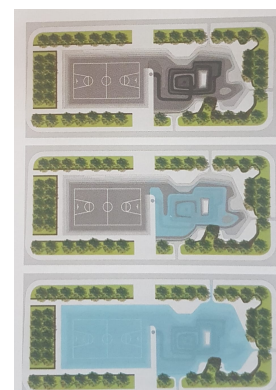


Fig. 28. Top view of the pilot water square—during dry periods, medium rain, and heavy storms (top to bottom) (© De Urbanisten).

Stadt Rotterdam aus Water Sensitive Urban Design, (Hoyer et al., 2011)

0 10 20 30 m

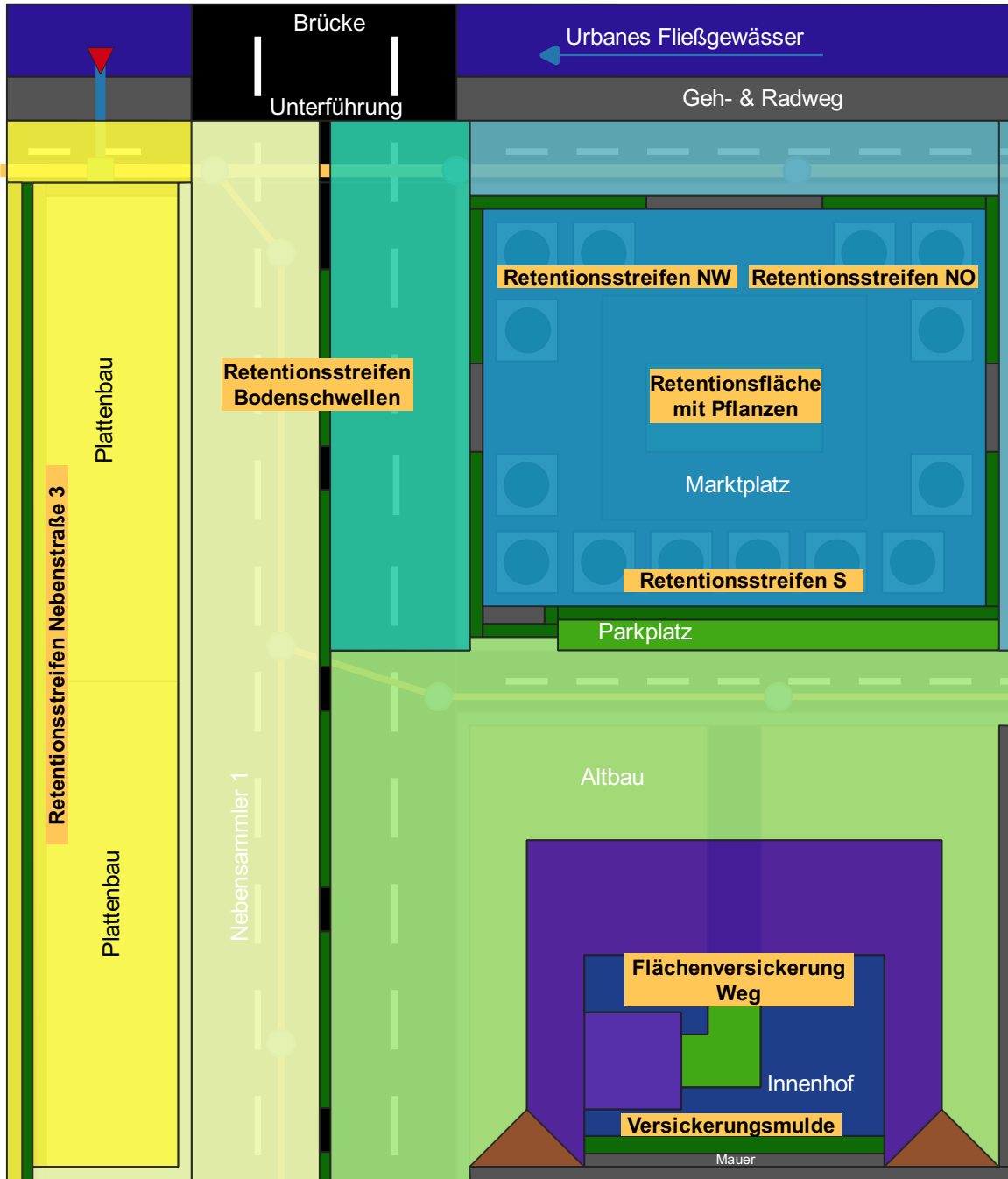


Einzugsgebiet 1

Urbanes Gebiet - Szenario 2

Entwässerungsflächen

M 1:750



LEGENDE

- Entwässerungsflächen**
- RS Nebenstr. 3
 - Bodenschwellen
 - Marktplatz RS-S
 - Marktplatz RS-NW
 - Marktplatz RS-NO
 - Retentionsfläche
 - Versickerungsmulde
 - Weg
- Naturnahe Maßnahmen**
- Flächenversickerung
 - Durchlässige Fläche
 - Retentionsstreifen
 - Retentionsfläche
 - Baum
 - Versickerungsmulde
 - MW-Überfall
 - MÜB
 - Schächte
- Kanalnetz**
- Hauptsammler
 - Nebensammler
 - Überlauf

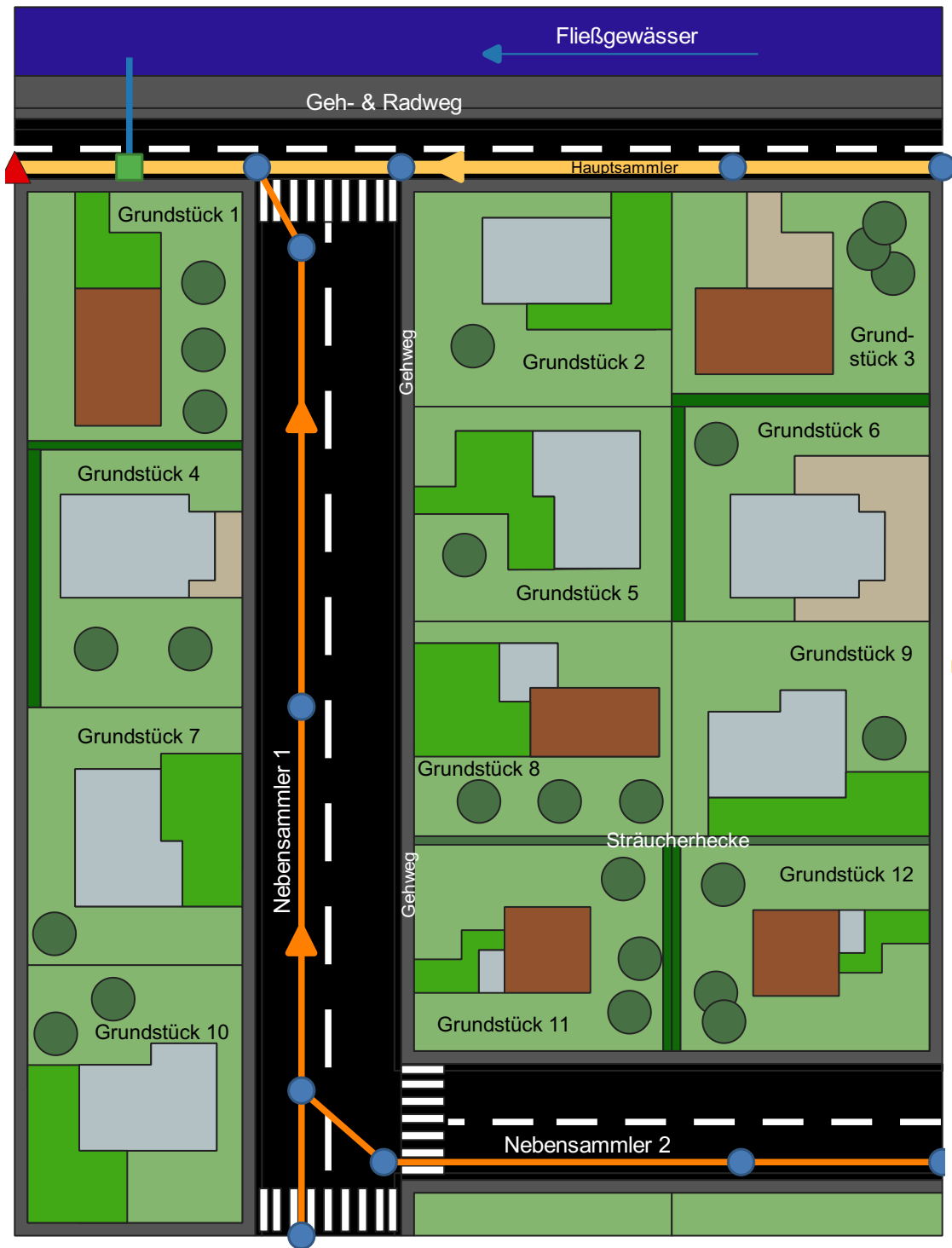
0 10 20 30 m



Einzugsgebiet 2

Rurales Gebiet - 0-Zustand

M 1:750

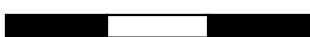


Legende

- MW-Überlauf
- Schächte
- MÜB
- Kanalnetz**
- Hauptsammler
- Nebensammler
- Überlauf
- Oberflächeneigenschaft**
- Asphalt
- Beton
- Grünfläche
- Kies-Flachdach
- Ziegel-Steildach
- Pflasterung
- Wasser
- Baum/Hecke
- Flächenversickerung
- Versickerungsmulde



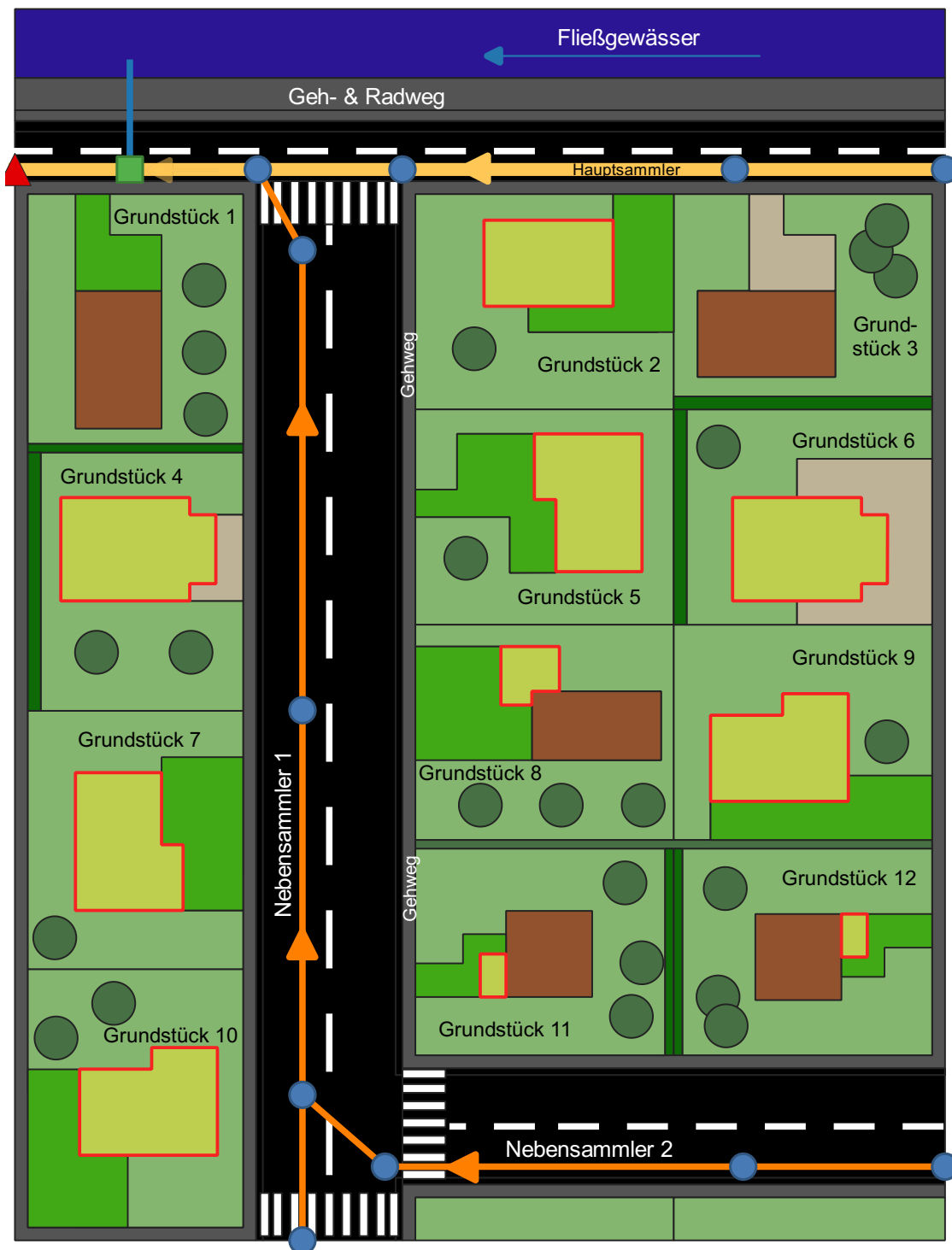
0 10 20 30 m



Einzugsgebiet 2

Rurales Gebiet - Szenario 1

M 1:750



Legende

- Gründach
- MW-Überlauf
- Schächte
- MÜB
- Kanalnetz**
- Hauptsammler
- Nebensammler
- Überlauf
- Oberflächeneigenschaft**
- Asphalt
- Beton
- Grünfläche
- Kies-Flachdach
- Ziegel-Steildach
- Pflasterung
- Wasser
- Bäume/Sträucher
- Flächenversickerung
- Versickerungsmulde

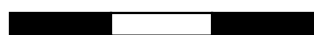
Änderungen:

Die Kies-Flachdächer werden in Gründächer umgewandelt.



<https://www.baulinks.de/webplugin/2015/1885.php4>

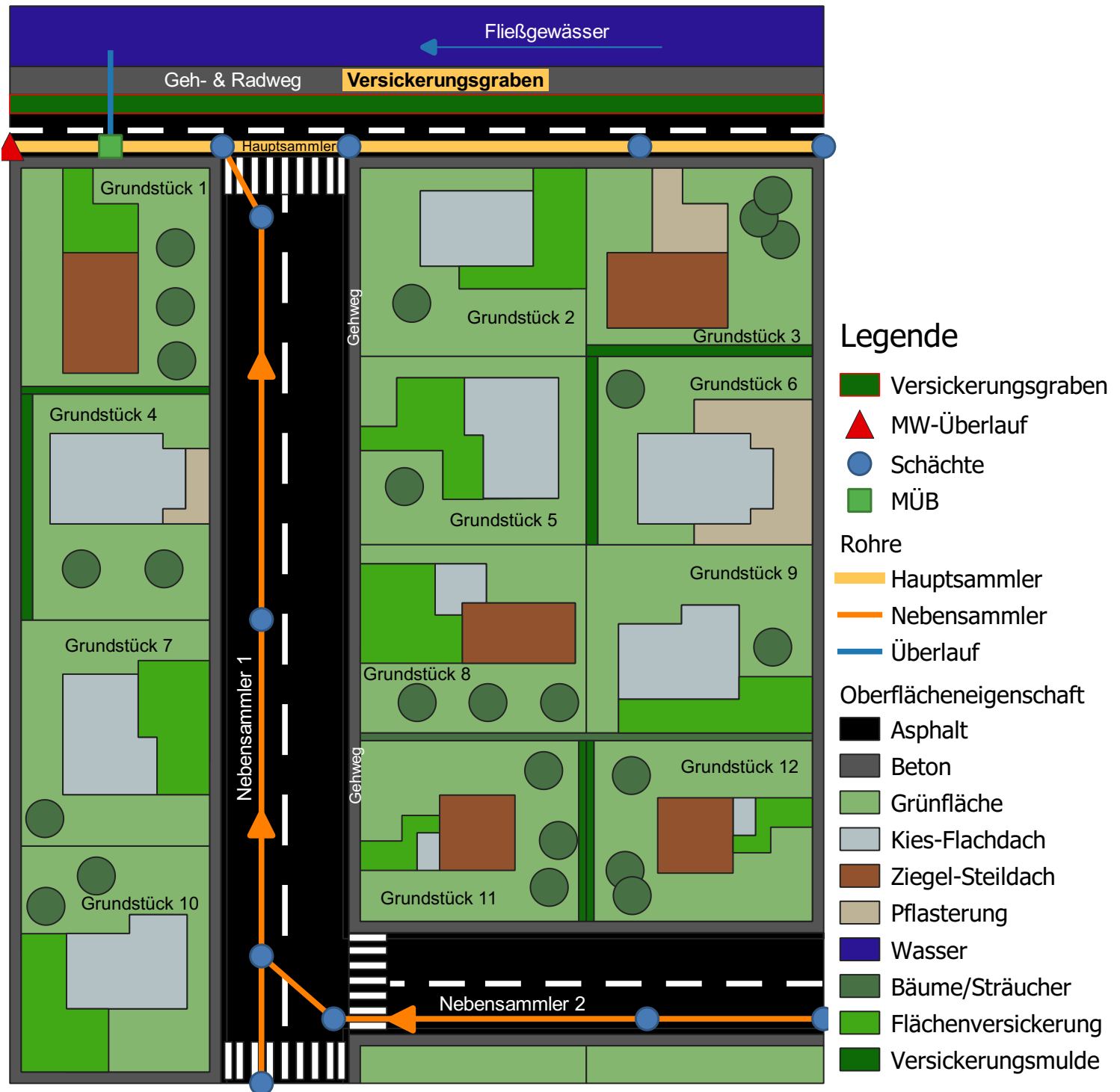
0 10 20 30 m



Einzugsgebiet 2

Rurales Gebiet - Szenario 2

M 1:750



Änderungen:

Im Norden wird zwischen Geh-&Radweg und der Straße ein Versickerungsgraben errichtet.



<https://www.freiburg.de/pb/208752.html>

0 10 20 30 m

