

Endbericht Projekt Flexadapt

Entwicklung flexibler Adaptierungskonzepte für die Siedlungsentwässerung der Zukunft – Langversion inklusive theoretischer Grundlagen



Endbericht Projekt Flexadapt

**Entwicklung flexibler Adaptierungskonzepte für die
Siedlungsentwässerung der Zukunft – Langversion inklusive
theoretischer Grundlagen**

Wien, 2019

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Manfred Kleidorfer (UIBK), Johannes Leimgruber (TUG), Lena Simperler (BOKU), Peter Zeisl (UIBK), Florian Kretschmer (BOKU), Paul Himmelbauer (BOKU), Gerald Krebs (TUG), Thomas Ertl (BOKU), Gernot Stöglehner (BOKU), Dirk Muschalla (TUG)

Gesamtumsetzung: Manfred Kleidorfer, Universität Innsbruck

Fotonachweis: die Autoren, wenn nicht anders angegeben

Wien, 2019. Stand: 17. Juni 2019

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundeskanzleramtes und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtssprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgeifen.

Inhalt

1 Einführung	8
Zukünftige Herausforderungen.....	9
Internationaler Kontext.....	10
Anwendung des Endberichtes und des Leitfadens	11
2 Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft	13
Entwicklungen und Szenarien	14
2.1 Flächenbezogene Entwicklungen	15
2.2 Klimatische Entwicklungen.....	21
2.3 Weitere zu berücksichtigende Entwicklungen	32
2.4 Zusammenfassung	34
3 Anforderungen an die Planung	36
3.1 Ziele der Planung.....	36
3.1.1 Schutz vor Überflutung - Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit (ÖNORM EN 752, ÖWAV-RB 11)	37
3.1.2 Gewässerschutz - Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen (ÖWAV-RB 19)	38
3.1.3 Annäherung an die natürliche Wasserbilanz	41
3.1.4 Robustheit	58
3.1.5 Kosteneffizienz	61
3.2 Rechtliche und technische Randbedingungen	71
3.3 Einzugsgebietsbezogene Randbedingungen.....	77
3.3.1 Klimatische und meteorologische Randbedingungen.....	78
3.3.2 Geologische Randbedingungen	79
3.3.3 Strukturelle und städtebauliche Randbedingungen	81
3.3.4 Wasserwirtschaftliche Randbedingungen	89
3.3.5 Topographische Randbedingungen	92
3.4 Soziologische Randbedingungen.....	93
4 Lösungsansätze	94

4.1 Innovative Ansätze	94
4.2 Spezifische Technologien	97
4.2.1 Mischwasserkanal	97
4.2.2 Regenwasserkanal	99
4.2.3 Transportmulden und Gräben	102
4.2.4 Speicherkanal	103
4.2.5 Fassadenbegrünung.....	105
4.2.6 Flächenversickerung	107
4.2.7 Muldenversickerung.....	110
4.2.8 Beckenversickerung	112
4.2.9 Rigolen- oder Rohrversickerung.....	113
4.2.10 Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung.....	116
4.2.11 Schachtversickerung	117
4.2.12 Retentionsraumversickerung (Versickerungsteiche)	119
4.2.13 Dachbegrünung.....	121
4.2.14 Regenwassernutzung.....	122
4.2.15 Zusammenfassung der Methoden der NWB	125
4.3 Internationale Beispiele	126
5 Entscheidungsfindung	128
5.1 Von der Ist-Situation zu einer nachhaltigen Lösung.....	128
5.2 Vorbereitungsphase	130
5.3 Erkundungsphase	130
5.4 Entwurfsphase.....	132
5.5 Entscheidungsphase.....	134
6 Beispielhafte Darstellung von Aspekten im Planungsprozess	136
6.1 Fallstudien	136
6.1.1 Gemeinde Telfs und Innsbruck	136
6.1.2 Graz - „Waagner-Biro-Viertel“	142
6.1.3 St. Pölten	155

6.2	Werkzeuge, Daten und Modellierung	156
6.3	Berücksichtigung von Siedlungsstrukturtypen	160
6.3.1	Siedlungswasserwirtschaftlich relevante Merkmale.....	161
6.3.2	Abgrenzung von Siedlungsstrukturtypen.....	162
6.3.3	Anpassungsfähigkeit der Siedlungsstrukturtypen.....	169
6.3.4	Anwendung auf Fallstudie Telfs	172
6.4	Sensitivität von Einzugsgebieten.....	176
6.4.1	Sensitivität am Fallbeispiel Telfs	178
6.4.2	Sensitivität am Fallbeispiel Innsbruck	179
6.4.3	Sensitivität am Fallbeispiel St. Pölten	180
6.5	Beteiligung und Information.....	182
6.5.1	Relevante Akteursgruppen	183
6.5.2	Information relevanter Akteure.....	184
6.5.3	Beteiligung relevanter Akteure in der Planung und im Betrieb.....	185
6.6	Herausforderungen im Betrieb von Niederschlagswasser- bewirtschaftungsmaßnahmen	186
6.6.1	Zuständigkeit.....	186
6.6.2	Regelmäßige Inspektion und Wartung.....	187
6.6.3	Gelegentliche Wartung und Sanierungsmaßnahmen	190
7	Schlussfolgerungen	192
7.1	Herausforderungen und Lösungen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	192
7.2	Der Entscheidungsprozess.....	192
7.3	Fazit.....	193
	Tabellenverzeichnis.....	195
	Abbildungsverzeichnis	199
	Literaturverzeichnis	204
8	Anhang.....	216
8.1	Übersicht über ausgewählte Rahmenbedingungen der örtlichen Raumplanung	216

8.2 Sensitivitätsanalyse der Wasserbilanzkomponenten gegenüber NWB-Maßnahmen- Parametern	227
8.3 Internationale Beispiele innovativer Regenwasserbehandlung.....	240

1 Einführung

Der im Jänner 2016 erschienene Bericht "Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2016", herausgegeben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband sowie der Kommunalkredit Public Consulting GmbH, bescheinigt der österreichischen Abwasserwirtschaft ein hohes Niveau und eine große Effizienz im Schutz der österreichischen Gewässer vor Verschmutzungen durch Abwassereinleitungen. Mehr als 95% der österreichischen Bevölkerung sind an öffentliche Abwassernetze angeschlossen. Ein genauerer Blick auf die Niederschlagswasserentsorgung zeigt ein zersplittertes Bild. Die üblicherweise verwendeten Verfahren sind Mischsysteme, Regenwasserkanäle mit oder ohne Vorreinigung und Einleitung in Gewässer oder Vor-Ort-Behandlung von Niederschlagswasser in dezentralen Systemen, zumeist Versickerungsanlagen.

Historisch gesehen wurde mit dem Bau der Kanalisation in den Ballungszentren begonnen und erst ab ca. 1960 weitläufiger vorangetrieben. Für ländliche Gebiete mit dezentralen Siedlungsstrukturen wurde eine abwassertechnische Entsorgung erst später realisiert. Das führt dazu, dass 51% der in Österreich verbauten Kanalleitungen nach 1994 errichtet wurden. Die technische Nutzung eines Kanals wird mit ca. 80 (in Extremfällen bis 100) Jahren angenommen (DWA, 2012). Rein technisch gesehen müsste ein Großteil der ländlichen Infrastruktur demnach erst bis Mitte der zweiten Hälfte des 21. Jahrhundert rehabilitiert werden. Maßgebende Einflussfaktoren für die Gestaltung eines Entwässerungssystems können sich jedoch schneller ändern und Anpassungen notwendig machen. Um in solchen Fällen erneute Investitionen gering zu halten, sollen im Projekt Flexadapt „Entwicklung flexibler Adaptierungskonzepte für die Siedlungsentwässerung der Zukunft“ und ihm daraus entstandenen Leitfaden Lösungsmöglichkeiten für eine flexible Anpassung aufgezeigt werden.

Ungeachtet der statistisch gesehen relativ jungen ländlichen Abwasserinfrastruktur wird laut einer Investitionskostenabschätzung (KPC, 2013) bis 2021 ein Großteil der Neubau- wie auch Sanierungsinvestitionen in kleineren Gemeinden bis 10.000 Einwohnern nötig. Gleichzeitig leben in Österreich 61% der Bevölkerung in Gemeinden mit weniger als 20.000 Einwohner (Januar 2018). Während größere Betreiber Rehabilitationsstrategien verfolgen und damit eine ständige Anpassung leichter möglich ist (Tscheikner-Gratl et al., 2015), fehlen in kleinen und mittleren Gemeinden oft die finanziellen und personellen Ressourcen für eine umfassende Untersuchung der sich ändernden Randbedingungen und der damit verbundenen möglichen Optionen. Dies kann dazu führen, dass die offensichtlichste Option,

die Fortführung der derzeitigen Strategie, nicht hinterfragt wird. Besonders aber in kleinen und mittleren Gemeinden können sich ändernde Randbedingungen deutlich auf die Funktionsfähigkeit eines Systems auswirken.

Zukünftige Herausforderungen

Der Klimawandel ist bereits im Gange und wird selbst bei Einhaltung von ambitionierten Klimaschutzziele spürbare Auswirkungen haben. Insbesondere im Alpenraum reagiert das Klima sensibel auf Veränderungen, wobei es kleinräumig zu weit größeren Effekten kommen kann als es gemittelte Klimaindikatoren auf den ersten Blick andeuten. Die Klimawandelanpassung ist deshalb auch Thema in der internationalen Klimapolitik, um nicht zu verhindernde Auswirkungen abfedern zu können.

In Österreich wurde der Einfluss des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft 2011 erhoben und zuletzt 2017 aktualisiert (Blöschl et al. 2011, Blöschl et al. 2017). Untersucht wurden Auswirkungen auf Hochwasser, Wasserdargebot, Niederwasser und Grundwasser. Für die Niederschlagswasserbehandlung relevant ist die Erkenntnis, dass intensivere Starkniederschläge zu erwarten sind.

Zusätzlich, hat das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus „Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ herausgegeben (BMNT, 2017). Darin wird eine große Bandbreite an Themengebieten behandelt, die vom Klimawandel betroffen sind oder sein werden. Die Niederschlagswasserbehandlung als Teil der Siedlungswasserwirtschaft ist dementsprechend nur ein kleiner Teil in einem großen Spektrum an Herausforderungen. Folglich wurde eine Vielzahl von Studien unter dem Überbegriff der Klimawandelanpassung durchgeführt, wobei der Fokus auf ganz unterschiedlichen Teilbereichen lag. Auf der Webseite www.klimawandelanpassung.at von Umweltbundesamt, Klima und Energiefonds sowie dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus werden Projekte und Informationen zu diesem Thema bereitgestellt.

Eine themenübergreifende Forschungsarbeit ist das Projekt „Climate change act“, in dem Anpassungsmaßnahmen speziell auf Gemeindeebene untersucht wurden. Die Präsentation der Ergebnisse bietet einen guten Überblick über die Herausforderungen und allgemeinen Handlungsmöglichkeiten auf Gemeindeebene in Zeiten des Klimawandels (www.ccact.anpassung.at).

Weitere Projekte aus Österreich sind „DynAlp - Siedlungswasserinfrastruktur im Klimawandel“, „KLAR! - Klimawandel-Anpassungsmodellregionen“, „Methoden und Werkzeuge zur Anpassung an den Klimawandel“, „COIN - Cost of Inaction: Assessing the costs of climate change for Austria“, „Klimawandel in der Wasserwirtschaft“.

Neben dem Klima sind demographische Veränderungen und damit einhergehende Probleme der zweite große Unsicherheitsfaktor für Entwässerungssysteme. Schnell wachsende oder sinkende Bevölkerungszahlen können eine Gemeinde vor große Herausforderungen stellen. Als Beispiele seien hier die Kapazität des Entwässerungssystems, Schmutzstoffkonzentrationen im Abwasser und Ablagerungen im Kanal, Umweltverschmutzung, Kapazität und Funktionalität der Kläranlage oder Gebührengestaltung genannt. Weiters können technische Entwicklungen und rechtliche Vorschriften Anpassungen in einem Entwässerungssystem notwendig machen.

Internationaler Kontext

Auf internationaler Ebene wird die Niederschlagswasserbehandlung derzeit vor allem im Kontext zukünftiger Herausforderungen (z. B. Klimawandelanpassung, Urbanisierung) und im Zusammenhang naturnaher Niederschlagswasserbehandlungskonzepte („water sensitive urban design“, „sustainable urban drainage systems“, „low impact development“, „blue/green infrastructure“) behandelt.

Relevante Forschungsinitiativen in Deutschland sind beispielsweise die INIS-Projekte (Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung). Dabei wurde in 13 großen Verbundprojekten unter anderem auch die Niederschlagswasserbehandlung untersucht. Als Beispiel sei hier das Projekt „KURAS – Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme“ genannt, in dem als Ergebnis eine Methodik und Handlungsempfehlungen vorgestellt wurden.

Auch auf EU-Ebene und weltweit haben sich bereits Projekte mit diesem Thema beschäftigt (z.B. „SWITCH - Managing Water for the City of the Future“, „PREPARED – enabling change“) und ganze Forschungszentren gebildet („Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities“ in Australien).

All diese Projekte haben gemeinsam, dass die Fallstudien zumeist große urbane Ballungsräume (Melbourne, Singapur, Berlin, etc.) behandeln. Die verschiedenen Erkenntnisse sind wertvolle Grundlagen für die gegenständliche Untersuchung, müssen aber

fachkundig interpretiert und adaptiert werden, um sie für österreichische Verhältnisse und vor allem für den ländlichen Raum nutzbar machen zu können.

Anwendung des Endberichtes und des Leitfadens

Der vorliegende Endbericht hat das Ziel bestehendes Wissen der Niederschlagswasserbehandlung zu bündeln und soll besonderes kleinen und mittleren Gemeinden mit 15.000 – 20.000 Einwohnern und besonders bei kleineren Gemeinden oft mit beschränkter personeller Ausstattung und unter Umständen fehlendem Fachwissen als Informationsquelle zu dienen. Dabei sind in diesem Endbericht auch die theoretischen Grundlagen enthalten. Ergänzend zu diesem Dokument ist auch noch ein Leitfaden (Kleidorfer, et al. 2019a) erhältlich, in dem die Kernaussagen und Empfehlungen konzentrierter wiedergegeben werden.

Dafür werden in Kapitel 2 Herausforderungen für die Siedlungswasserwirtschaft inklusive verfügbarer Datenquellen und Informationsportalen zu Bevölkerungsentwicklungen und Klimaszenarien dargestellt.

Kapitel 3 zeigt Anforderungen an die Planung mit zu erreichenden Zielen auf. Neben einer traditionell siedlungswasserwirtschaftlichen Herangehensweise (Überflutungsschutz, Gewässerschutz) werden auch weitergehende Anforderungen (Wasserbilanz, Robustheit, Kosteneffizienz) dargestellt.

Kapitel 4 beschreibt verschiedene Lösungsansätze d.h. Niederschlagswasserbehandlungsmethoden, deren Einsetzbarkeit bei unterschiedlichen Randbedingungen sowie deren Vor- und Nachteile.

Einen besonderen Stellenwert hat auch die Entscheidungsfindung unter Einbeziehung unterschiedlicher Akteure (Gemeindevertreter, Planer, Behörden, etc.), welche in Kapitel 5 näher betrachtet wird. Die zu erwartenden Probleme, die methodische Vorgehensweise zur Entscheidungsfindung, Auswertungen und exemplarische Ergebnisse werden zur besseren Verständlichkeit anhand von verschiedenen Fallstudien aus Österreich Kapitel 6 dargestellt.

Jede der Fallstudien hat unterschiedliche Herausforderungen zu bewältigen. Als mittelgroße Gemeinde im alpinen Raum wurde Telfs (Tirol) ausgewählt. Für Gemeinden im Nahbereich einer größeren Stadt (Speckgürtel) sind die Umlandgemeinden von Graz (Steiermark) und Randgebiete von Innsbruck (Tirol) repräsentativ. St. Pölten (Niederösterreich) kann aufgrund

seiner dörflichen Strukturen außerhalb des Stadtkerns als Beispiel für Gemeinden im österreichischen Alpenvorland dienen.

Zusätzlich werden in einem getrennt vorliegenden Leitfaden die Kernergebnisse kondensiert wiedergegeben. Letztendlich sollen die Ergebnisse dieses Projektes dazu beitragen die Entscheidungsträger dabei zu unterstützen, die Niederschlagswasserbehandlung hin zu einem wassersensiblen Siedlungsraum zu entwickeln.

2 Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft

Im Zusammenhang mit der Siedlungswasserwirtschaft wird sehr oft der Begriff „urbaner Raum“ verwendet, unter dem jedoch nicht nur große Städte, sondern jede Art von Besiedelung zu verstehen, ebenso in ländlichen Gegenden zu verstehen ist. Der Begriff dient als Abgrenzung zur von Menschen unbeeinflussten Hydrologie natürlicher Einzugsgebiete.

Die kommunale Siedlungswasserwirtschaft steht vor vielfältigen Herausforderungen. Alternde Infrastruktursysteme mit steigendem Sanierungsbedarf, potentielle Klimawandeleinflüsse, Herausforderungen durch demographische Veränderungen oder steigende Bedenken gegenüber der Belastung durch (Mikro)schadstoffe treffen auf immer angespanntere Gemeindebudgets. Steht eine Gemeinde vor solchen Herausforderungen, bietet das aber auch die Möglichkeit das Entwässerungskonzept an nachhaltige, flexible Gesichtspunkte anzupassen und nach dem aktuellen Stand der Technik zu gestalten.

Eine der Kernaufgaben der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur besteht in der sicheren Ableitung und unter Umständen Reinigung von Niederschlagswasserabflüssen. Hierfür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Eine leitungsgebundene Entwässerung galt lange Zeit als Mittel der Wahl, ist aber aufgrund der langen Lebensdauer unflexibel und teuer in der Anpassung. In Zeiten unsicherer zukünftiger Entwicklungen werden daher vermehrt dezentrale Lösungen als nachhaltige Verfahren für die Zukunft vorgeschlagen. Die Kernidee besteht darin, auf Investitionen in teure leitungsgebundene Infrastruktur zu verzichten und damit flexibler auf unterschiedliche zukünftige Bedingungen reagieren zu können. Ein weiterer Vorteil wird darin gesehen, dass dezentrale Verfahren wie beispielsweise die Versickerung vor Ort den urbanen Wasserkreislauf in Richtung einer natürlichen Wasserbilanz verschieben und diese Verfahren somit auch ökologische Vorteile wie eine gesteigerte Grundwasserneubildung, eine Verbesserung des Mikroklimas oder eine Reduzierung des schnellen Oberflächenabflusses haben.

In Österreich hat sich ein flächendeckender Einsatz der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung bzw. von integrierten Ansätzen aufgrund der vorhandenen und über Jahrzehnte gewachsenen leitungsgebundenen Infrastruktur noch nicht etabliert. Der Einsatz beschränkt sich derzeit noch auf Einzelmaßnahmen und lokal begrenzte Projekte. Bei Neubauten und Sanierungen bzw. der Rehabilitation von Kanalsystemen wird allerdings zunehmend das Ziel verfolgt, nicht oder gering verunreinigtes Regenwasser z.B. von

Dachflächen wieder dem natürlichen Abflussgeschehen zuzuführen und direkt zu versickern. Der Straßenabfluss hingegen wird meist in die Kanalisation eingeleitet und einer Abwasserreinigung zugeführt, da Vorbehalte für dezentrale Lösungen aufgrund der Belastungen durch Schmutzstoffe und im Winter durch Streusalz bestehen.

Der Anpassungsbedarf der Siedlungsentwässerung der Zukunft hat verschiedenste Ursachen wie Veränderungen in der Bevölkerungs- und Siedlungsstruktur, klimatische Veränderungen, ökologische Anforderungen, technische Entwicklungen, Anforderungen der Gesellschaft, ökonomische Veränderungen, gesetzliche Bestimmungen oder Umstrukturierungen in der Organisation. So unterschiedlich die Ursachen auch sind, die Auswirkungen können durch zwei grundlegende Faktoren beschrieben werden. Einerseits werden rein hydrologisch/technische Randbedingungen verändert wodurch die Funktionalität beeinträchtigt werden kann und andererseits haben die zukünftigen Entwicklungen Einfluss auf die Kosten und Lebensdauer einer Anlage und die finanzielle Situation der Verwaltungseinheit. Während technische Anpassungen immer auch mit einem finanziellen Aufwand einhergehen, sind strukturelle/organisatorische Veränderungen unabhängig von den rein funktionalen Aspekten. Ziel muss es sein flexibel auf die zukünftigen Entwicklungen mit Blick auf Funktionalität und Kosten reagieren zu können.

Durch die in der Regel lange Lebensdauer von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen spielen Zukunftsprognosen und die damit einhergehenden Unsicherheiten in der Konzeptionierung und Planung eine wichtige Rolle. Deshalb ist es wichtig, dass die vielseitigen Entwicklungsmöglichkeiten für jede Gemeinde individuell ausgearbeitet, angepasst und bewertet werden. Dieser Prozess erfordert die Zusammenarbeit von Entscheidungsträgern, Fachleuten und Interessensgruppen um die Situation der Siedlungsentwässerung vielseitig zu betrachten. Dabei müssen die technischen Aspekte und die Organisation der Siedlungsentwässerung betrachtet, aber auch die Wünsche / Bedürfnisse / Forderungen der Bevölkerung berücksichtigt werden. Aus den Zukunftsprognosen der verschiedenen Teilgebiete und deren Auswirkungen auf die Siedlungswasserinfrastruktur sowie den gesellschaftlichen Gesichtspunkten können Szenarien entwickelt und Konzepte für die Siedlungsentwässerungen erarbeitet werden.

Entwicklungen und Szenarien

Das Versiegeln von Oberflächen und Änderungen in der Landnutzung durch Bevölkerungsentwicklung in Kombination mit alternder Infrastruktur stellt die Siedlungswasserwirtschaft vor neue Herausforderungen. Änderungen der Einzugsflächen bewirken Änderungen im Überflutungsrisiko auch an Orten, welche zuvor nicht betroffen

waren. Für eine vorausschauende Planung neuer und einer Adaptierung der bestehenden Wasserinfrastruktur unter Berücksichtigung von Wandel und Dynamik des urbanen Umfelds ist eine umfassende Szenarienanalyse unumgänglich. Nicht nur der urbane / besiedelte Raum ist permanent im Wandel, auch klimatische Veränderungen haben erheblichen Einfluss auf die städtische Wasserinfrastruktur. Besonders kleinräumige Starkregenereignisse sind hierbei von Interesse (Mikovits et al., 2015).

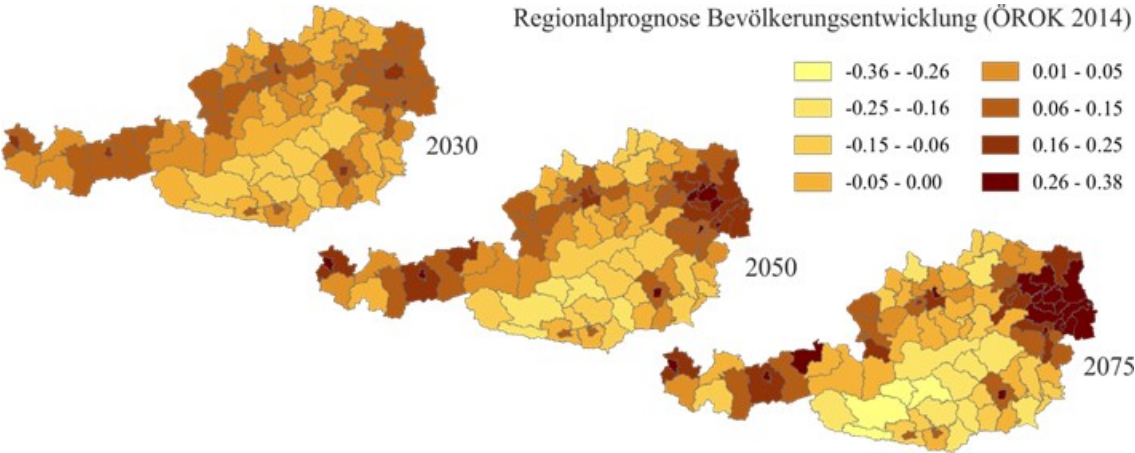
In Österreich nimmt die Versiegelung von Fläche stetig zu, wobei sich diese Entwicklung zum allergrößten Teil auf die Hauptsiedlungsgebiete konzentriert. Zwischen 2001 und 2017 hat die Versiegelung um 24% zugenommen, der größte Verursacher der Neuversiegelung ist der Verkehr, gefolgt von Bauflächen (Quelle: Umweltbundesamt). Niederschlag und die versiegelte Fläche sind die elementaren Faktoren, die Oberflächenabfluss generieren und beeinflussen. Niederschlag wird langfristig durch das Klima gesteuert, die Flächenversiegelung durch demografische und wirtschaftliche Entwicklungen. Für diese beiden Hauptinflussfaktoren werden Szenarien entwickelt.

2.1 Flächenbezogene Entwicklungen

Jedes Siedlungsgebiet verändert sich mit der Zeit. Anzahl und Alter der Einwohner, die Bedürfnisse der Bevölkerung (Wohnraum, Freiraum, Versorgung, Bildung, Mobilität) und die Nutzung und Gestaltung des vorhandenen Raumes sind einem ständigen Wandel unterlegen. Örtliche Entwicklungskonzepte und Bevölkerungsprognosen geben Aufschluss darüber, wie sich der Siedlungsraum in einer Gemeinde zukünftig verändern wird.

Bevölkerungsprognosen werden in Österreich von der Statistik Austria veröffentlicht. Die aktuellste Prognose (Stand November 2017) zeigt einen Anstieg der Bevölkerung für Gesamtösterreich (ausgehend von 2016) um 6,8 % bis 2030, 11,0 % bis 2050 und 13,6 % bis 2075. Regional kann dieser Wert allerdings deutlich variieren bis hin zu rückläufigen Bevölkerungszahlen. Die kleinräumige Bevölkerungsprognose der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) zeigt die lokalen Entwicklungen für 122 Prognoseregionen (politische Bezirke bzw. NUTS III Regionen) bis 2030 und bietet einen Ausblick bis 2075 (Abbildung 1).

Abbildung 1 Regionalprognose für die Bevölkerungsentwicklung in Österreich (ÖROK 2014) für 2030, 2050 und 2075 in Prozent



Die aktuelle Regionalprognose stammt aus dem Jahr 2014 und weist bereits Abweichungen zu den aktuellsten Zahlen auf, die allerdings nur auf Bundesländerebene vorliegen (Tabelle 1).

Tabelle 1 Bevölkerungsprognose 2017 für Gesamtösterreich und die Bundesländer und Abweichungen zur Regionalprognose 2014

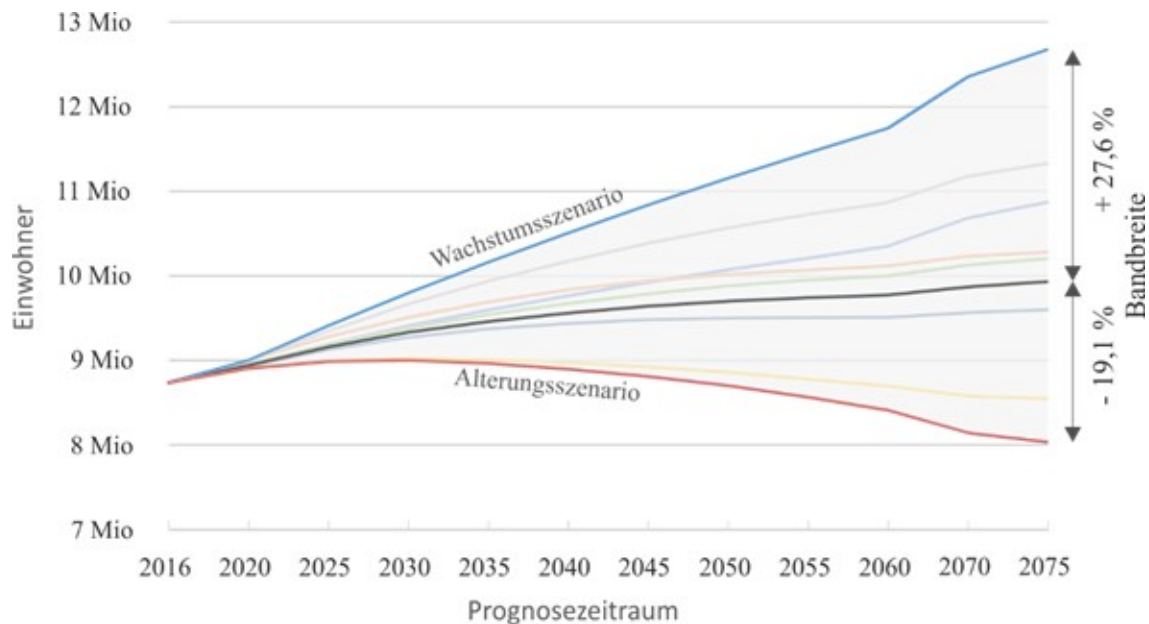
	Bevölkerungsprognose 2017 Abweichungen zur Regionalprognose 2014 (%)						
	2016	2030	(+/-)	2050	(+/-)	2075	(+/-)
Österreich	8.739.806	9.331.401	1.27	9.702.682	1.44	9.931.891	2.81
Burgenland	291.663	312.803	3.79	330.527	6.36	342.149	6.53
Kärnten	561.099	563.480	1.95	553.147	4.72	540.057	9.26
Niederösterreich	1.661.109	1.782.940	2.55	1.902.804	4.51	1.992.758	5.68
Oberösterreich	1.460.276	1.549.344	2.63	1.598.717	4.30	1.622.032	7.61
Salzburg	547.639	580.684	1.99	589.524	2.26	592.900	4.60
Wien	1.235.582	1.276.671	1.72	1.301.890	4.94	1.309.216	9.85
Vorarlberg	742.590	799.134	0.36	831.485	0.12	845.285	1.14
Tirol	386.708	417.277	0.77	429.158	-2.07	431.577	-3.13
Steiermark	1.853.140	2.049.068	-1.36	2.165.430	-5.28	2.255.917	-6.48

Die hier angeführte Prognose entspricht dem Hauptszenario der Bevölkerungsprognose mit mittlerer Fertilität, Lebenserwartung und Zuwanderung und stellt somit einen Mittelwert der möglichen Entwicklungen dar. Um eine Bandbreite abdecken zu können, wurden diese Parameter verändert und Alternativszenarien ausgewertet. Die Abweichungen sind in Abbildung 2 und Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 Bevölkerungsprognose 2017 für Gesamtösterreich, Hauptszenario und alternative Prognosevarianten

	Alternative Prognoseszenarien 2017 Abweichungen zum Hauptszenario (%)					
	2030	(+/-)	2050	(+/-)	2075	(+/-)
Hauptszenario	9.331.401	-	9.702.682	-		
Wachstumsszenario	9,797,654	5,00	11,153,146	14,95		
Alterungsszenario	8,999,894	-3,55	8,699,594	-10,34		
Hohe Wanderungsrate	9,664,896	3,57	10,567,612	8,91		
Niedere Wanderungsrate	9,021,806	-3,32	8,858,253	-8,70		
Fertilität	9,408,453	0,83	10,071,752	3,80		
Hohe Lebenserwartung	9,383,676	0,56	9,882,026	1,85		
Niedere Lebenserwartung	9,275,526	-0,60	9,500,485	-2,08		
Status Quo	9,508,555	1,90	10,017,587	3,25		

Abbildung 2 Bandbreite der Prognosevarianten im Vergleich zum Hauptszenario



In größeren Städten werden oft eigene Bevölkerungsprognosen bereitgestellt, die direkt verwendet werden können. Alle anderen Gemeinden, denen eine maßgeschneiderte Bevölkerungsprognose nicht zur Verfügung steht, müssen die Informationen aus den gröber skalierten Prognosen auf ihr Gebiet herunterbrechen. Die Daten sind frei verfügbar und können einfach auf einzelne Gemeinden umgelegt werden. In Kapitel 6.1 werden auf diese Weise die Bevölkerungsprognosen für Fallstudien erstellt.

Eine Auswertung der Bevölkerungsstatistiken auf Gemeindeebene kann jedoch immer nur ein Richtwert sein, der von lokalen Experten und Entscheidungsträgern bewertet werden muss. In weiterer Folge müssen diese Bevölkerungszahlen in versiegelte Fläche umgelegt werden. Das kann anhand von lokalen Entwicklungskonzepten geschehen. Damit wird die Verteilung der Bevölkerung auf der vorhandenen Fläche, die angestrebte Siedlungsstruktur und Freiraumflächen vorgegeben und damit auch ein Rahmen für die möglichen Entwässerungsmaßnahmen definiert.

Die Alterung der Bevölkerung har zwar keinen direkten Einfluss auf den Flächenbedarf und die Siedlungswasserwirtschaft, soll im Zuge der Bevölkerungsprognose aber nicht unerwähnt bleiben. Im Jahr 2016 waren 24,2 % der Bevölkerung über 60 Jahre, bis 2030 erhöht sich der Wert auf 30,1 % und bis 2050 auf 33,4 %. Eine Verbindung zur Siedlungsentwässerung besteht insofern, als dass sich die Belastung im Abwasser, z.B. durch Medikamentenrückstände, dadurch verändern kann. Ein geeignetes Verfahren zur Reinigung in Kläranlagen ist derzeit noch Gegenstand der Forschung. Nichtsdestotrotz sollte, wie bei

allen stärker belasteten Mischwassersystemen, vermehrt ein Augenmerk auf eine Reduktion von Mischwasserentlastungen gelegt werden, um den Vorfluter zu schützen.

Weiterer Flächenbedarf

Weiterer Flächenbedarf kann sich durch wirtschaftliche Entwicklung ergeben. Nationale Wirtschaftsprognosen sind allerdings sehr kurzfristig und können sich durch globale Ereignisse sehr rasch ändern. Für die Entwicklung auf Gemeindeebene haben die regionale Wirtschaftslage und Entwicklungskonzepte einen wesentlich größeren Einfluss. Vor allem die Politik kann entscheidend darauf Einfluss nehmen, in welche Richtung sich eine Gemeinde entwickeln soll. Für die Szenarien werden sowohl eine Ansiedelung als auch ein Schließen von Betrieben berücksichtigt.

Konkrete Szenarien

Basierend auf den Rahmenbedingungen und Prognosen können Szenarien für die Niederschlagswasserbewirtschaftung entwickelt werden. Die Auswirkungen der Szenarien können in Flächenparameter umgewandelt werden und so in einem Modell des Entwässerungsnetzes und weiterführenden Planungen berücksichtigt werden. Um realistische Szenarien zu entwerfen, können Einzelprognosen und die dazugehörigen Szenarien bzw. Maßnahmen kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Bevölkerungszunahme zur Hälfte durch Verdichtung des bestehenden Siedlungsgebietes und zur anderen Hälfte durch Neubauten gedeckt werden. Zusätzliche Versiegelung ergibt sich durch die Ansiedelung von einem flächenintensiven Betrieb. In Tabelle 3 wird schematisch gezeigt, wie eine Szenarienzusammenstellung aussehen kann.

Tabelle 3 Einflüsse auf bebaute Fläche bzw. Flächenversiegelung

Einzelprognose	Annahmen	Maßnahmen	Auswirkung bis		
			2030	2050	2075
Bevölkerung	Hauptszenario	Neubau	+	+	+
		Verdichtung	+	+	+
	Wachstumsszenario	Neubau	+	+	+
		Verdichtung	+	+	+
	Alterungsszenario	Bebauung bleibt	o	o	o
		Abkoppelung	-	-	-
Wirtschaft	Lokale Planung	Ansiedelung	+	+	+
		Absiedelung	-	-	-
Technologie	Dezentrale Reinigung von Straßenwässern	Straßenabkoppelung	-		

Es wird empfohlen eine derartige Szenarientwicklung in der Gemeinde unter Einbeziehung verschiedener Entscheidungsträger (z.B. Wasserwirtschaft, Mobilität, Raumplanung, Wirtschaft) durchzuführen. Darin können die aktuelle und angestrebte Siedlungsstruktur sowie die lokalen Bedingungen definiert werden. In Kapitel 6.1 werden beispielhaft Möglichkeiten der Szenarientwicklung für die Fallstudien gezeigt.

2.2 Klimatische Entwicklungen

Das Klima verändert sich und alpine Regionen können besonders sensibel darauf reagieren. Selbst bei Verlangsamung dieses Prozesses werden Veränderungen auftreten, weshalb die Klimawandelanpassung mittlerweile neben der Reduktion von Treibhausgasen als zweite wichtige Säule in der Klimapolitik gesehen wird. Damit sollen unausweichliche Folgen der klimatischen Veränderungen abgefedert und die Robustheit der Systeme erhöht werden. International wurde dies auch im Pariser Klimaabkommen 2015 verankert. In Österreich wurde dazu vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus „Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ ausgearbeitet (erste Version 2012, Überarbeitung 2017) (BMNT, 2017). Darin werden 14 Aktivitätsfelder beleuchtet, wobei die

Behandlung von Niederschlagswasser direkt oder indirekt in mehreren Bereichen eine Rolle spielt.

Eine Grundlage für die Klimawandelanpassung sind aussagekräftige Prognosen. Die Bandbreite bei Klimaprognosen ist allerdings sehr groß und kann kleinräumig stark von statistischen Mittelwerten abweichen. Für Gemeinden ist es deshalb umso wichtiger, lokale Gegebenheiten in die Klimaprognosen miteinzubeziehen und so anzupassen.

Die hier in weiterer Folge verwendeten Klimaprognosen wurden dem Bericht „ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich“ des Climate Change Centre AUSTRIA (CCCA) entnommen. Die Prognosen sind jeweils für die nahe (2021 bis 2050) und ferne Zukunft (2071 bis 2100) sowie zwei Treibhausgasszenarien (Klimaschutz Szenario RCP4.5 / „Business-as-usual“ RCP8.5) unterteilt. Die österreichweiten Prognosen stellen die Mittelwerte über das gesamte Bundesgebiet dar, lokal können sich durchaus signifikante Unterschiede ergeben. Beispielsweise zeigt das RCP8.5 Szenario österreichweit eine Zunahme der Jahresniederschlagsmenge von 8.7%, nördlich des Alpenhauptkammes sowie im Hochland nördlich der Donau ist die Zunahme jedoch deutlicher und liegt im Umland von Linz bei 18%. Auch gibt es jahreszeitliche Unterschiede, so zeigt der Winter zunahmen bis 30%, Frühling und Herbst bis 18% während für den Sommer keine signifikanten Änderungen prognostiziert werden.

Eine gesonderte Aufbereitung der Ergebnisse für die Bundesländer ist in Form von „Factsheets“ erhältlich. Auf Anfrage können Prognosen für Gemeinden bereitgestellt werden. Die Studie, Factsheets und Ansprechpartner können über das CCCA-Datenportal (data.ccca.ac.at/) gefunden werden. Für Forschungszwecke werden die hochauflösenden Ergebnisse (1x1 km) der Klimaszenarien über das CCCA-Klimadatenzentrum zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4 Klimaänderung in Österreich, Mittelwerte über Gesamtösterreich

	Klimaindizes	KS	Auswirkungen bis	
			2021 - 2050 (+/-)	2071 - 2100 (+/-)
Niederschlag	Jahresniederschlag	RCP4.5	-	+7,1 % (-8,7 % / +18,1 %)
		RCP8.5	-	+8,7 % (-7,0 % / +28,4 %)
	eintägige Niederschlagsintensität	RCP4.5	+3,8 %	+ 7,3 %
		RCP8.5	+5,5 %	+ 11,9 % (8,5 % Sommer, 17,2 % Winter)
	maximale tägliche Niederschlagsmenge	RCP4.5	+11,0 %	+ 16,2 %
		RCP8.5	+13,5 %	+ 23,5 %
	Regenperioden	RCP4.5	-1,2 %	-0.1 %
		RCP8.5	+1,4 %	-5,0 %
Trockenperioden	RCP4.5	-0.6 %	-2,2 %	
	RCP8.5	-1,9 %	+1,8 %	
Temperatur	Jahresdurchschnitt	RCP4.5	+1,3 °C (+0,9 / + 1,8)	+2,3 °C (+1,8 / +3,5)
		RCP8.5	+1,4 °C (+1,0 / +2,0)	+4,0 °C (+3,3 / +5,3)
	Hitzetage (>30°C)	RCP4.5	+4,3 Tage	+7,0 Tage (+4,6 / +13,1)
		RCP8.5	+4,0 Tage	+17,4 Tage (+11,2 / +32,4)
	Frosttage (< 0°C)	RCP4.5	-20,5 Tage	-41,8 Tage
		RCP8.5	-24,5 Tage	-70,0 Tage

Abbildung 3 Beobachtete Werte (in mm) und simulierte Änderungen der mittleren Niederschlagssummen (in %) für Tirol

	1971-2000		2021-2050				2071-2100			
	jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)	
bis	1.367		+7,1		+10,1		+11,9		+17,0	
Mittel	1.314		+2,8		+4,8		+4,9		+6,5	
von	1.260		-2,1		+0,9		-0,4		-2,9	
	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
bis	257	527	+20,8	+8,9	+22,7	+10,8	+23,0	+17,1	+28,8	+20,4
Mittel	234	500	+9,7	-0,0	+13,1	+2,8	+7,8	+3,3	+18,6	-0,2
von	211	472	-2,6	-9,2	-4,2	-8,6	-10,7	-10,2	-0,1	-20,8

Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August

Abbildung 4 Beobachtete Werte und simulierte Änderungen der mittleren Lufttemperatur (in °C)

1971-2000		2021-2050				2071-2100				
Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		
bis	3,1	+1,9		+2,2		+3,7		+5,9		
Mittel	2,9	+1,3		+1,4		+2,3		+4,2		
von	2,8	+0,9		+1,1		+1,8		+3,5		
	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
bis	-4,3	10,9	+1,9	+2,2	+2,4	+2,5	+3,3	+3,9	+5,6	+7,1
Mittel	-4,7	10,6	+1,5	+1,4	+1,5	+1,6	+2,4	+2,4	+4,5	+4,6
von	-5,0	10,4	+0,9	+1,1	+0,8	+1,1	+1,8	+1,8	+3,5	+3,6

Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August

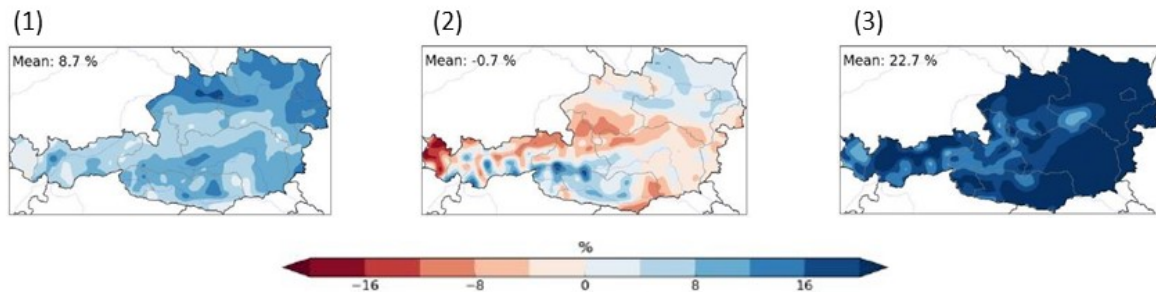
Weitere regionale wie auch saisonale Unterschiede können erst bei genauerer Aufschlüsselung gesehen werden. Die für wissenschaftliche Zwecke bereitgestellten Daten haben eine Auflösung von 1 km². Es wird darauf hingewiesen, dass die Einschränkungen, die sich aus der Erstellung von hochauflösenden Daten ergeben, beachtet werden müssen um eine Überinterpretation zu vermeiden.

Niederschlagscharakteristik

Wird die **gesamte Niederschlagsmenge** in einem Zeitraum betrachtet, werden bis 2050 österreichweit keine signifikanten Veränderungen prognostiziert. Bis 2100 ergeben sich +7,1 % (RCP4.5, Streuung -8,7 % bis + 18,1 %) bzw. +8,7 % (RCP8.5, Streuung -7,0 % bis + 28,4 %) für die jährliche Niederschlagsmenge. Für lokale, jahreszeitliche Höchstwerte werden Steigerungen von bis zu +30 % Jahresniederschlag erwartet. Werden die Jahreszeiten getrennt betrachtet, ist im Winter und Frühling flächendeckend mit einer Zunahme zu rechnen. Die Situation im Sommer und Herbst zeigt ein differenzierteres Bild, da hier die Entwicklungen regional stark variieren (Abbildung 5).

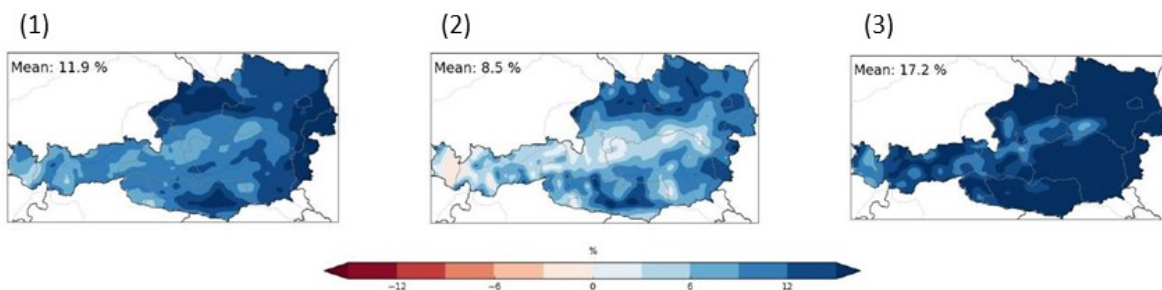
Die zu erwartenden Veränderungen können lokal ausgewertet werden und als Grundlage für eine zukünftige Planung dienen. Wichtig dabei ist, dass die mögliche Entwicklung in beide Richtungen berücksichtigt wird damit die Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen gewährleistet ist bzw. ohne großangelegte Baumaßnahmen Anpassungen vorgenommen werden können.

Abbildung 5 Niederschlagsmenge, Veränderung in Prozent, RCP8.5, 2071 – 2100, (1) Jährlich, (2) Sommer, (3) Winter



Die Niederschlagsmenge ist ein wichtiges Indiz für die klimatische Entwicklung, für die Niederschlagswasserbehandlung sind die kurzzeitigen Spitzen allerdings entscheidender. Um hier Aussagen treffen zu können, stehen unterschiedliche Klimaindizes zur Verfügung. Die **maximale tägliche Niederschlagsmenge** steigt im Mittel zwischen 11% bis 2050 (RCP4.5) und 23,5% bis 2100 (RCP8.5). Die Zunahme fällt in den Sommermonaten am geringsten aus. Die **eintägige Niederschlagsintensität** (mittlere Niederschlagssumme an Niederschlagstagen) zeigt die zu erwartende Tendenz auf einer breiteren Basis, weil nicht nur die Spitzentage, sondern alle Niederschlagstage berücksichtigt werden. Hier werden österreichweit bis 2050 für RCP4.5 nur geringe Änderungen prognostiziert, für RCP8.5 ergeben sich Steigungen von + 6 % bis 9 %. Bis 2100 erhöhen sich diese Werte auf + 7,3 % (RCP4.5) bzw. + 12 % (RCP8.5: 8,5 % im Sommer, 17,2 % im Winter) (Abbildung 6).

Abbildung 6 Eintägige Niederschlagsintensität (mittlere Niederschlagssumme von Niederschlagstagen), RCP8.5, 2071 – 2100, (1) Jährlich, (2) Sommer, (3) Winter



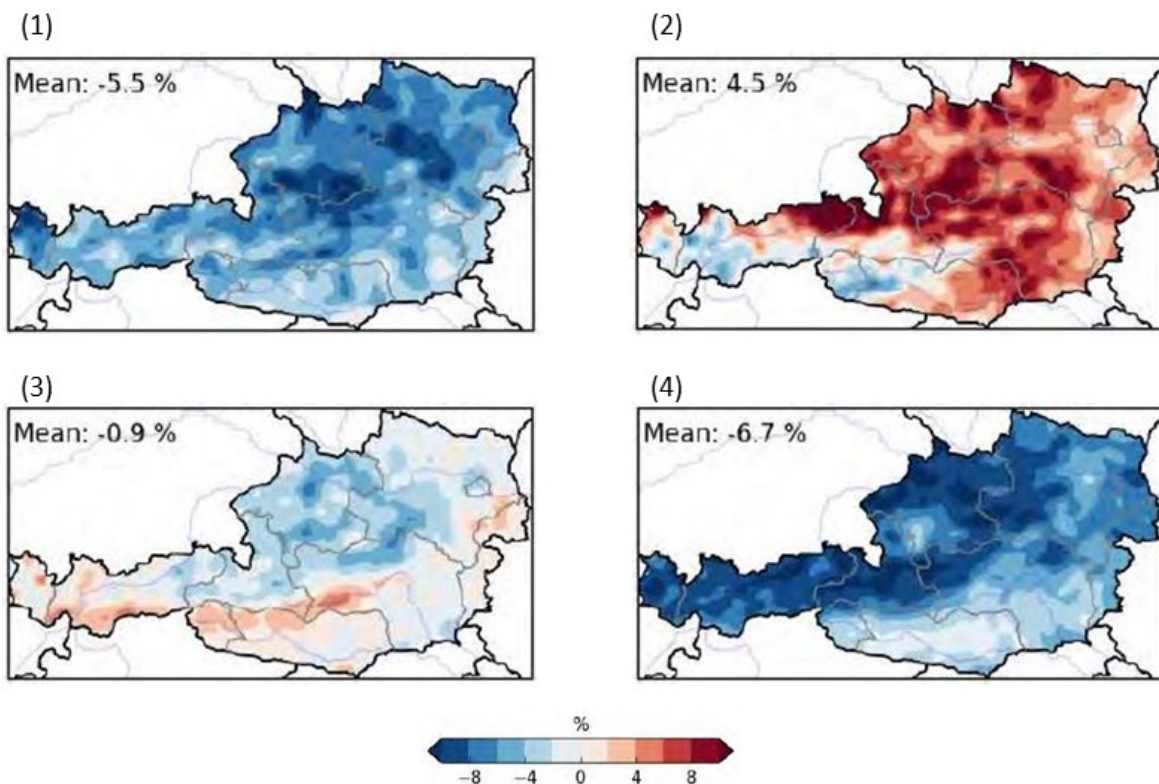
Trocken- und Regenperioden

Für den Betrieb von dezentralen Entwässerungsanlagen sind der Verlauf von Trocken- oder Regenperioden ein wichtiges Kriterium. Im Niederschlagsfall ist die Vorbelastung dieser Anlagen entscheidend für die Funktionsfähigkeit (Bsp.: Retentionsvolumen, Sättigung bei

Versickerungen). Aber auch während **Trockenperioden** verändern sich die Bedingungen für die Anlagen (veränderte Abflussbeiwerte, geringere Versickerungsleistung, Lebensdauer von Pflanzen).

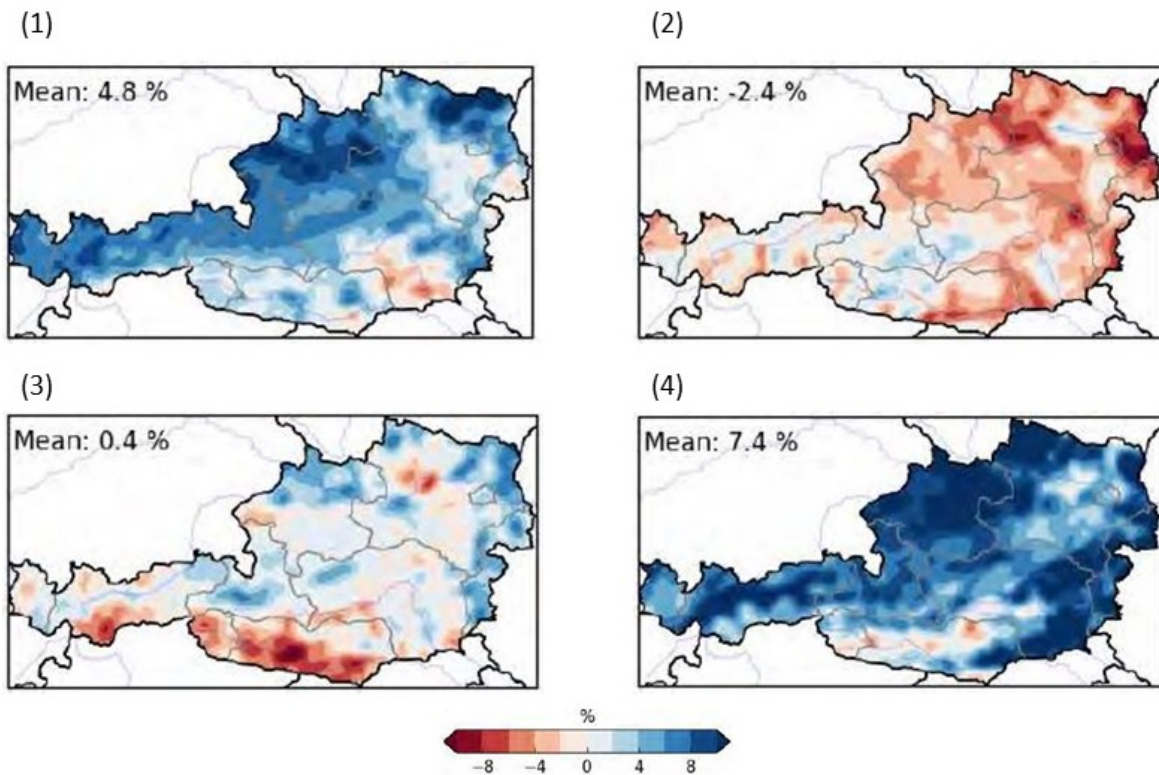
Über ein gesamtes Jahr gesehen werden kaum Veränderungen für Trocken und Regenperioden in Österreich vorhergesagt. Aus den Prognosen lässt sich aber ablesen, dass Trockenperioden im Sommer und Herbst tendenziell länger werden, während sie im Winter und Frühling abnehmen (Abbildung 7). Die in Prozent dargestellten Veränderungen beziehen sich auf die Anzahl der Tage, die zu einer Regen- bzw. Trockenperiode gezählt werden.

Abbildung 7 Veränderung der Länge von Trockenperioden bis 2050 in Prozent, RCP8.5, (1) Frühling, (2) Sommer, (3) Herbst, (4) Winter



Regenperioden verhalten sich gegenläufig zu den Trockenperioden. Für Sommer und Herbst werden kürzere Regenperioden prognostiziert, während im Winter und Frühling längere Phasen erwartet werden (Abbildung 8). Österreichweit können sich große Unterschiede ergeben, weswegen eine lokale Betrachtung der Entwicklung besonders wichtig ist.

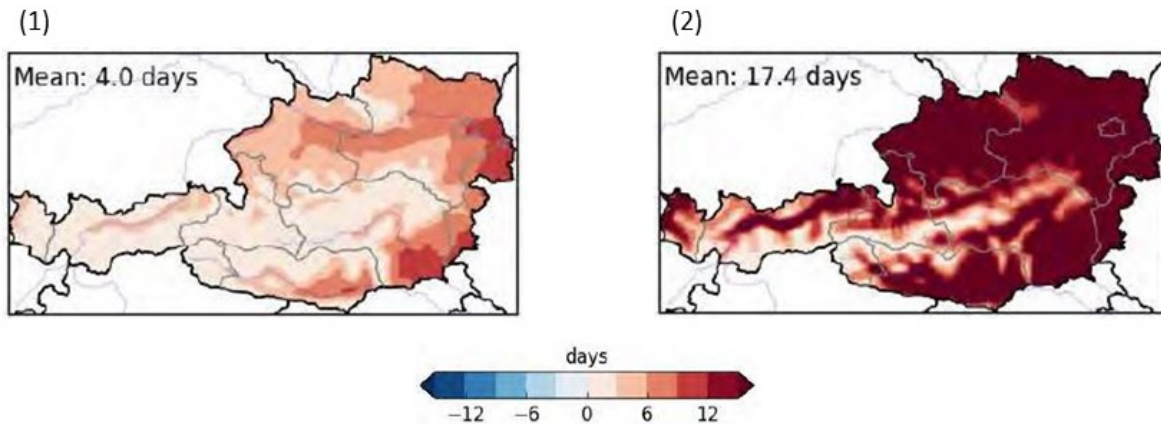
Abbildung 8 Veränderung der Länge von Niederschlagsperioden bis 2050 in Prozent, RCP8.5, (1) Frühling, (2) Sommer (3) Herbst, (4) Winter



Temperatur

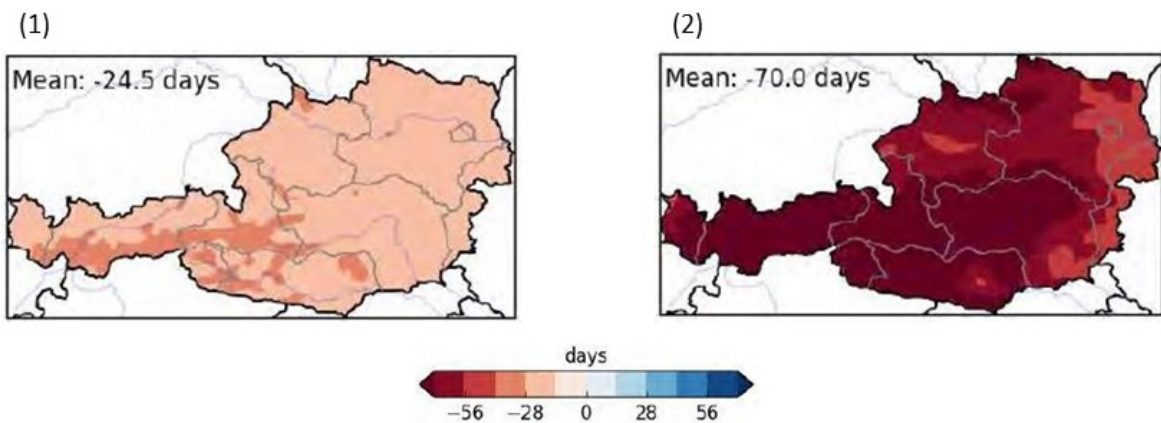
Die Temperaturentwicklung beeinflusst die Auswahl von grüner Infrastruktur. Beispielsweise muss die Art der Bepflanzung an die zu erwartenden Temperaturen (insbesondere Spitzenwerte) angepasst werden. Für **Hitzetage** (Temperatur > 30°C) wird ein österreichweiter Anstieg erwartet (Abbildung 9). Der **durchschnittliche Temperaturanstieg** liegt österreichweit bis 2050 bei +1,3 °C (RCP4.5) bzw. +1,4 °C (RCP8.5) und bis 2100 bei +2,3 °C (RCP4.5) bzw. +4,0 °C (RCP8.5). Die Verteilung ist über das Jahr weitgehend gleichmäßig und auch regional werden in den Klimaprognosen keine großen Unterscheidungen abgebildet. Tendenziell ist der Alpenraum stärker betroffen. Lokale geographische Effekte (z.B. Sonnenlagen) oder Bautätigkeit (weniger Pflanzen, mehr versiegelte Fläche) können sich kleinräumig sehr stark auswirken.

Abbildung 9 Hitzetage (Temperatur >30°C), jährlich für RCP8.5 bis (1) 2050, (2) 2100



Im Gegenzug ist zukünftig mit einer geringen Anzahl von **Frosttagen** zu rechnen (minimale Temperatur < 0°C). Die mittlere jährliche Änderung der Frosttage beträgt bis 2050 -20,5 (RCP4.5) bzw. -24,5 (RCP8.5) Tage und bis 2100 -41,8 (RCP4.5) bzw. -70,0 (RCP8.5) Tage pro Jahr (Abbildung 10). Die Entwicklungen für Frost-Tau-Wechseltage sind österreichweit und abhängig vom Klimaszenario sehr unterschiedlich und reichen von -17 bis +16 Tage.

Abbildung 10 Frosttage (Minimale Tagestemperatur < 0°C), jährlich für RCP8.5 bis (1) 2050, (2) 2100



Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft wurde in der Studie „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und der Technischen Universität Wien im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus und den Bundesländern

2011 untersucht (Blöschl et al. 2011) und 2017 aktualisiert (Blöschl et al. 2017). Die Untersuchungsgebiete gliedern sich in Auswirkungen auf Hochwasser, Niederwasser, Gletscher, Grundwassermenge, Geschiebepotential, Wassertemperatur, Oberflächenwassergüte, Grundwassergüte, Wasserkraft und Nutzungs- und Bedarfsaspekte. Der Einfluss auf die Niederschlagswasserbehandlung wird nicht explizit betrachtet, lässt sich aber zum Teil aus den betrachteten Themenfeldern bzw. Einflussfaktoren ableiten (z.B. Erhöhung der Niederschlagsintensitäten, Veränderung der Trockenzeiten).

Die Studien zeigen, dass für Österreich bis zu Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zu 1971-2000 der Sommerniederschlag um 3% zunimmt, der Winterniederschlag um 14%. Dabei können jedoch die Intensitäten bei Starkniederschlägen überdurchschnittlich zunehmen. Großräumige Starkniederschläge nehmen demnach bis zur Periode 2071 – 2100 im Sommer um +10% bis +25% und im Winter um +15% bis zu +30% zu. Besonders für die für die Siedlungswasserwirtschaft relevanten kleinräumigen und kurzen (<3h) Ereignisse sind dabei jedoch Prognosen mit hohen Unsicherheiten behaftet. Quantifizierende Aussagen über zukünftige Änderungen von konvektiven Starkniederschlägen werden als „spekulativ“ bezeichnet, wenn auch Konsens darüber besteht, dass in einem wärmeren Klima eine Zunahme zu erwarten ist.

Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung

Relevant für die Bemessung von Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung sind konvektive Starkniederschläge, welche sich als kurze kleinräumige Ereignisse zeigen. Aufgrund der schnellen Reaktionszeit auf befestigten Oberflächen ist zudem noch eine zeitlich sehr hoch aufgelöste Darstellung der Niederschlagsinformation notwendig. Mikovits et al. (2017) haben beispielsweise für die Fallstudie Innsbruck gezeigt, dass für die für die Planung von Regenwasserbewirtschaftungsanlagen relevante Wiederkehrzeit von 5 Jahren und kurze Dauerstufen eine Erhöhung der Niederschlagsintensität von bis zu 30% zu erwarten ist. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass dies sehr stark von den jeweiligen Klimaszenarien und auch den Klimamodellen abhängt. Konkrete Quantifizierungen sind daher mit hohen Unsicherheiten behaftet, wenn auch Konsens darüber besteht, dass Starkregenereignisse in einem wärmeren Klima intensiver werden.

Die Herausforderung für die Siedlungsentwässerung besteht in der Diskrepanz zwischen der langen Nutzungsdauer von leitungsgebundener Infrastruktur und unsicheren Klimaprognosen (siehe oben). Um Investitionen nachhaltig zu tätigen und die Funktionalität gewährleisten zu können, wird daher empfohlen Anlagen so zu gestalten, dass möglichst flexibel auf Änderungen reagiert werden kann. Dezentrale / grüne Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung haben dabei den besonderen Vorteil, dass sie flexibel einsetz-

und erweiterbar sind und sollen so die Abhängigkeit von der bestehenden Infrastruktur vermindern. In Bezug auf Flächenversiegelung ist eine sehr gute Skalierbarkeit dezentraler Anlagen mit Änderungen gegeben, sofern darauf geachtet wird, dass die Regenwasserbewirtschaftung im Rahmen der neu versiegelten Flächen geschieht und nicht in bestehende Anlagen eingeleitet wird.

Bei der Gestaltung von dezentralen und insbesondere grünen Anlagen sind in Verbindung mit den klimatischen Veränderungen einige Punkte zu beachten. Retentionsvolumen (längere Niederschlagsperioden), Versickerungsleistung (nach längeren Trockenperioden), Bepflanzung (Verdunstung, Hitze, Wasserbedarf) und Abflusskapazität müssen auf die Änderungen abgestimmt werden. Wie erwähnt sind konkrete Prognosen, vor allem für die bemessungsrelevanten konvektiven Starkniederschläge mit Unsicherheiten behaftet. Eine sinnvolle Vorgangsweise hierfür ist dann die Durchführung von Sensitivitäts- und Robustheitsanalysen. Dabei sollen die entsprechenden Eingangsdaten und Parameter variiert werden und die Anlagen so bemessen werden, dass sie unter einer möglichst großen Bandbreite möglicher Szenarien das gewünschte Behandlungsziel erreichen (siehe konkrete Szenarien unten).

Versickerungen können auch im Winter bzw. im Frühjahr funktionieren (bei üblicherweise verminderter Leistung), wenn die Anlagen darauf ausgelegt sind (Muthanna et al., 2008). Zu beachten ist hier die Korngröße, Einbautiefe, Bewuchs, Zulauf und Wartung um ein Zufrieren oder Verstopfen zu verhindern. Im Winter spielt außerdem der Einsatz von Streugut und vor allem Streusalz eine wichtige Rolle. Salz kann schädlich für die Bepflanzung sein und eine Belastung für das Grundwasser darstellen. In diesem Fall wird häufig eine Ableitung und zentrale Reinigung bzw. Verdünnung der Abwässer angestrebt. Verändern sich die winterlichen Verhältnisse, kann das neue Möglichkeiten für die Siedlungsentwässerung eröffnen. Darüber hinaus existieren bereits Pilotanlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen (Huber et al., 2015).

Konkrete Szenarien

Die in der Tabelle 4 angeführten Werte stellen die mittleren Veränderungen für gesamt Österreich unabhängig der Jahreszeiten dar. Tendenziell kann also davon ausgegangen werden, dass in Zukunft mehr Niederschlag fällt und konzentrierter auftritt. Das bedeutet, dass sowohl Regen- wie auch Trockenperioden länger werden. Durch den allgemeinen Temperaturanstieg werden Hitzetage häufiger, Frosttage tendenziell seltener und Frost-Tau-Wechseltage können vor allem in gebirgigen Gegenden vermehrt auftreten.

Betrachtet man die Klimaprognosen genauer, treten aber deutlich jahreszeitliche Schwankungen auf. Dezentrale Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung können zur Entlastung genutzt werden, die Funktionsfähigkeit muss allerdings über das gesamte Jahr hindurch gegeben sein (z.B. bei Frost, Tauwetter, Extremereignisse, während und nach Trocken- bzw. Regenperioden). Das gibt zum Anlass, sich die Bedingungen der Siedlungsentwässerung im Laufe eines Jahres genauer anzuschauen. So treten die größten Zunahmen bei den Spitzenniederschlägen im Winter auf während im Sommer bei den absolut gesehen größten Intensitäten die Zunahmen deutlich geringer ausfallen. Im Frühling werden die Niederschlagsperioden häufiger und in Sommer und Herbst ist vermehrt mit trockenen Perioden zu rechnen. Ein weiterer wesentlicher Faktor bei diesen Szenarien ist auch der Zustand und Funktionsfähigkeit der Niederschlagsentwässerungsmaßnahme. Beispielsweise kann der ungehinderte Abfluss beeinträchtigt sein (Schnee, Laub), das Retentionsvolumen nicht zur Gänze zur Verfügung stehen (Schnee), die Versickerungsleistung z.B. durch Austrocknung oder Eis geringer sein oder eine andere Verdunstung auftreten. Werden nicht nur die klimatischen Eingangsdaten, sondern auch die Funktionsfähigkeit der Entwässerung an die Jahreszeiten angepasst, kann in den Berechnungsmodellen gezeigt werden, ob ein Entwässerungssystem ausgewogen gestaltet ist und mit den verschiedenen Bedingungen umgehen kann.

Folgende Szenarien stellen praxisnahe Annahmen dar, die dafür verwendeten Zahlen sind der Fachliteratur entnommen. Dies sind typische Szenarien für das Gebiet von Österreich, sollen dabei aber weniger konkrete Prognosen darstellen, sondern können als Szenarien verwendet werden um die Robustheit von Anlagen zu überprüfen indem die Eingangsdaten und Modellparameter entsprechend geändert werden.

- Frühlingsszenario:
Klima: Höhere Regenintensitäten und längere Niederschlagsperioden
Funktion: Die Retentionswirkung ist voll gegeben, die Versickerungsleistung kann aufgrund eines kompakteren Untergrundes nach dem Winter und den allgemein nasserem Verhältnissen reduziert sein, die Verdunstung ist im Vergleich zum Sommer noch relativ gering (kaum Vegetation), der Abfluss in den Kanal ist uneingeschränkt möglich

- Sommerszenario:
Klima: Zunahme der Niederschlagsintensität (geringer), jedoch treten hier die Jahresspitzenwerte auf, längere Trockenperioden
Funktion: Retention, Versickerung und Verdunstung sowie der Abfluss im Kanal sind voll einsatzfähig (in Gebieten mit ausgeprägten Trockenperioden geringere Versickerungsleistung)

- Herbstszenario:
Klima: Zunahme der Niederschlagsintensität (geringer), längere Trockenperioden
Funktion: Retentionswirkung und Verdunstung ist voll gegeben, die Versickerungsleistung ist durch längere Trockenperioden vermindert und der Abfluss ist durch verstopfte Abflüsse (Laub) vermindert.

- Winterszenario:
Klima: im Verhältnis zu den anderen Jahreszeiten die größten Zunahmen der Niederschlagsintensität, höhere Temperaturen (Frost-Tau-Wechsel) führen zu mehr Schmelzwasser
Funktion: Das Retentionsvolumen ist durch abgelagerten Schnee kleiner und die Versickerungsleistung durch Ablagerungen und den gefrorenen Boden vermindert. Durch Schnee kann die Speicherwirkung von Gründächern verringert sein und der Abfluss zum Kanal blockiert werden. („Worst-Case“ Szenario: alle dezentralen Anlagen fallen komplett aus und die Ableitung kann nur mehr über den Kanal erfolgen)

Tabelle 5 Beispiel der jahreszeitlichen Parametrisierung zur Durchführung von Robustheitsanalysen

	Parameter 1 Retention	Parameter 2 Kf-Wert	Parameter 3 Kanalabfluss	Parameter 4 Gründach
Frühling	unbeeinflusst	verringert	unbeeinflusst	verringerte Evaporation
Sommer	unbeeinflusst	Unbeeinflusst, verringert in Gebieten mit ausgeprägten Trockenperioden	unbeeinflusst	unbeeinflusst
Herbst	unbeeinflusst	verringert	verringert	unbeeinflusst
Winter	verringert	verringert	verringert	verringerte Evaporation (Schnee, Temperatur)

2.3 Weitere zu berücksichtigende Entwicklungen

Abgesehen von den ausführlich behandelten Einflussfaktoren können viele weitere Faktoren direkt oder indirekt auf die Entwässerung eines Siedlungsgebietes Einfluss nehmen bzw. die Rahmenbedingungen verändern. Die Auflistung dient als Diskussionsgrundlage für lokale

Experten, Planer und EntscheidungsträgerInnen und muss individuell bewertet und im Bedarfsfall berücksichtigt werden.

1. Ökologisch

- Vorfluter: Aufnahmekapazität (z.B. geändertes Abflussregime im Vorfluter durch den Klimawandel) sowie chemische und limnologische Bedingungen
- Grundwasser: Flurabstand beeinflusst die Versickerungsfähigkeit, Vorbelastung des Grundwassers
- Mikroverunreinigungen: organische Spurenstoffe wie z.B. Rückstände von Medikamenten, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Pflanzenschutzmitteln und weitere Chemikalien (Götz et al., 2011) oder herausgelöste Bestandteile von Baumaterialien (z.B. aus Dachmaterialien und Fassaden). Nach derzeitigem Stand der Technik können Kläranlagen solche Rückstände im Abwasser kaum eliminieren. Deshalb wurde in der Schweiz (Metzger et al., 2015) und in Deutschland (Wunderlin, 2017) damit begonnen, ausgewählte Kläranlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe (4. Reinigungsstufe) nachzurüsten, um Mikroverunreinigungen im Abwasser reduzieren zu können.

2. Technische Entwicklungen

- Geänderte Rahmenbedingungen durch bauliche Maßnahmen
- In der Siedlungswasserwirtschaft: Reinigungsleistung und Langlebigkeit von Filtermaterialien, Nutzung von Regenwasser, Mess- und Steuerungstechnik sowie Monitoring („Real Time Control“) um ein System optimal zu nutzen und an die vorherrschenden Bedingungen anpassen zu können
- Indirekte Auswirkungen: Energieversorgung (Nutzungskonflikte bzw. mögliche Kombinationen), neue Baustoffe können zu neuartigen Verschmutzungen führen (z.B. Nanopartikel), Veränderungen in der Mobilität (weniger Individualverkehr schafft Freiflächen), wassersparende Geräte (geringerer Trockenwetterabfluss)

3. Ökonomische Aspekte und Organisation

- Finanzierung: Einnahmen durch Bevölkerung und Betriebe in Abhängigkeit des demographischen Wandels und der ökonomischen Entwicklung (Betriebsan- und -absiedelungen), Gebührenstruktur
- Übergangsperiode bei Systemumstellung
- Organisationseinheiten und Zusammenarbeit unter den Betreibern
- Privatisierungen in der Siedlungswasserwirtschaft z.B. bei vermehrter privater dezentraler Regenwasserbewirtschaftung auf privatem Grund

4. Gesetzliche Bestimmungen

- Grenzwerte: Eintrag von Schadstoffen, Mischungsverhältnisse und Einleitungsmengen (Schwallproblematik) im Vorfluter, Bewilligungspflicht bei dezentralen Anlagen
- Geforderte Reinigungsleistung bei dezentralen Anlagen und Kläranlagen
- Gefahrenzonen
- Schutzzonen

2.4 Zusammenfassung

Die Liste der Herausforderungen, die auf die Siedlungsentwässerung zukommen, ist lang und sehr weit gefächert. Dennoch können aus heutiger Sicht nicht alle Eventualitäten abgedeckt werden. Unvorhergesehene Ereignisse, sogenannte Wildcard Szenarien oder Black Swan Ereignisse, können nicht prognostiziert werden. Die Entwicklung derartiger Szenarien kann allerdings dazu dienen die Robustheit der Systeme auf unvorhergesehene Änderungen zu untersuchen.

Der Schwerpunkt des Leitfadens liegt auf zentralen und prognostizierbaren Herausforderungen. Das ist erstens der Flächenbedarf aufgrund von verschiedenen treibenden Faktoren und Nutzungskonflikte bei begrenzten Platzverhältnissen und zweitens die klimatische Entwicklung hin zu einer höheren Niederschlagsintensität sowie längeren Niederschlags- und Trockenperioden. Diese Herausforderungen betreffen im Kern alle den dritten Punkt, die Finanzierung des Entwässerungssystems. Es läuft auf die Frage hinaus, welche Methoden der Entwässerung in Bau, Betrieb und Wartung kostengünstiger sind, robuster auf Veränderungen reagieren und einfacher an neue strukturelle und finanzielle Randbedingungen angepasst werden können.

Ein sehr wichtiger Punkt darf bei all den technischen Betrachtungen aber nicht vergessen werden. Die Bevölkerung muss in die Vorhaben miteingebunden werden, um Akzeptanz für neue Technologien und Methoden der Siedlungsentwässerung zu schaffen. Ängste hinsichtlich der Funktionsfähigkeit müssen im Voraus abgebaut und die positiven Effekte, die damit erzielt werden können, plakativ transportiert werden. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der Datenquellen für Österreich.

Tabelle 6 Datenquellen für Österreich

Daten	Datenquelle
Bevölkerung	
Statistik Austria	www.statistik.at - Bevölkerung (für Österreich, Bundesländer)
ÖROK	www.oerok.gv.at - ÖROK Prognosen (für 122 Prognoseregionen)
Geoinformationen	
ÖROK	www.oerok.gv.at
Geodatendienste der Bundesländer	www.geoland.at
Geoinformationsdaten des BMNT	www.bmnt.gv.at/service/geo-informationen.html (z.B. Bodenkarte, Altlasten, Hochwasser, Grundwasser, Hydrographischer Dienst)
Gefahrenzonenplan	Liegt bei Land, Bezirk, Gemeinde oder Gebietsbauleitung der Wildbach und Lawinenverbauung auf
Copernicus Land	land.copernicus.eu – EU-Programm für Erdbeobachtungsdaten
Klima	
Climate Change Centre Austria	www.ccca.ac.at
ÖKS15 Klimabericht	www.bmnt.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/klimaszenarien.html - Klimaszenarien als Bericht und Factsheets für die Bundesländer
CCCA Datenportal	data.ccca.ac.at/ - Klimadaten zu den Szenarien
Offenes Datenportal	www.data.gv.at - frei verfügbare Daten für Österreich aus den verschiedensten Bereiche

3 Anforderungen an die Planung

3.1 Ziele der Planung

Bei der Planung von Entwässerungssystemen stehen folgende Fragestellungen im Mittelpunkt:

- Was ist bei der Planung von Entwässerungssystemen nötig? Welche Ziele müssen hierbei erreicht werden?
- Was ist wünschenswert? Welche Ziele sollen erreicht werden?

In diesem Zusammenhang sind die Ziele bzw. Funktionalanforderungen nach ÖNORM EN 752 (ON, 2017) zu nennen. Hier sind die vier generellen Ziele von Entwässerungssystemen festgehalten:

- Öffentliche Gesundheit und Sicherheit
- Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals
- Umweltschutz
- Nachhaltige Entwicklung

Zudem sind die folgenden Funktionalanforderungen definiert:

- Schutz vor Überflutung
- Unterhaltbarkeit
- Schutz des Oberflächenvorfluters
- Grundwasserschutz
- Vermeidung von Gerüchen sowie giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen
- Vermeidung von Lärm und Erschütterungen
- Nachhaltige Verwendung von Produkten und Werkstoffen
- Nachhaltige Verwendung von Energie
- Baulicher Zustand und Nutzungsdauer
- Aufrechterhaltung des Abflusses
- Wasserdichtheit
- Angrenzende Bauten sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen nicht gefährden
- Beschaffenheit der Abwassereinleitungen in das System

Den Anforderungen nach ÖNORM EN 752 haben auch zukünftige Entwässerungssysteme gerecht zu werden. Für den Umgang mit Regenwasser und dessen Bewirtschaftung sind insbesondere die Überflutungssicherheit und der Gewässerschutz von Belang. In Österreich sind hierbei die ÖWAV-Regelblätter 11 und 19 relevant (ÖWAV, 2007; 2009). Im Folgenden sind die Prinzipien der beiden Regelwerke kurz zusammengefasst. Weiterführende Informationen hierzu, insbesondere zur Nachweisführung mit hydrodynamischen Modellen und einer möglichen kombinierten Nachweisführung, finden sich im Endbericht des Projekts „DATMOD – Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell, Sanierungs- und Anpassungsplanung von kleinen und mittleren Kanalnetzen“ (Muschalla et al., 2015b).

3.1.1 Schutz vor Überflutung - Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit (ÖNORM EN 752, ÖWAV-RB 11)

Die hydraulische Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 „Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen“ basiert auf dem Risikoansatz. Die Kosten der Schutzmaßnahmen (in diesem Fall die Dimension und somit Abflusskapazität der Kanalisation) sind dem Risiko, welche sich als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe berechnen lässt, gegenüberzustellen.

In der ÖNORM EN 752 wird von der Überflutungshäufigkeit als Nachweiskriterium für Überlastungszustände ausgegangen. Eine Überflutung ist dabei als ein Ereignis definiert, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus der Kanalisation entweichen oder nicht in diese eintreten kann. Der Vorgang der Überflutung ist jedoch sehr stark von den lokalen Verhältnissen an der Oberfläche abhängig.

Für den rechnerischen Nachweis wurde daher die Überstauhäufigkeit als Zielgröße eingeführt. Dabei ist der Überstau definiert als das Überschreiten eines bestimmten Bezugsniveaus (Rückstauenebene) durch den rechnerischen Maximalwasserstand (CEN, 2008).

Aufgrund des unterschiedlichen Schutzbedürfnisses bzw. Schadenspotenzials wurde bei den empfohlenen Überstauhäufigkeiten untergliedert in „Ländliche Gebiete“, „Wohngebiete“, „Stadtzentren, Industrie- und Gewerbebetriebe“ und „Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen“. Tabelle 7 gibt die empfohlenen Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung an. Diese gelten vorbehaltlich der Festlegung anderer Werte durch die zuständige Stelle. Zudem sind bei der Wahl der Überstauhäufigkeit die örtlichen Gegebenheiten mit einzubeziehen und zu berücksichtigen.

Tabelle 7 Empfohlene Überstauhäufigkeit für den rechnerischen Nachweis bei der Neuplanung bzw. nach der Sanierung (ÖWAV-Regelblatt 11 – (ÖWAV, 2009))

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

Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen können zu einer Reduktion der Überstauhäufigkeiten führen. Dies erfolgt einerseits dadurch, dass Niederschlagswasserabflüsse vor Ort verdunsten und/oder versickern und nicht in das Entwässerungssystem geleitet werden. Andererseits können Abflüsse zwischengespeichert und zeitlich verzögert dem Entwässerungssystem zugeführt werden, wodurch sich die Abflussspitzen abdämpfen lassen. Gerade diese Reduktion der Abflussspitzen kann sich sehr positiv auf das Überstauverhalten auswirken.

In Niederschlags-Abfluss-Modellen lassen sich Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen / Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen (NWB-Maßnahmen) vielfach ebenso modellieren (siehe Kapitel 6.2), wodurch auch die Auswirkungen auf die Überstauhäufigkeiten untersucht werden können.

3.1.2 Gewässerschutz - Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen (ÖWAV-RB 19)

In Mischwasserkanalisationen werden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen Entlastungsbauwerke (Mischwasserüberläufe, Mischwasserüberlaufbecken, Stauraumkanäle etc.) angeordnet. Durch diese wird der Zufluss zur ARA (Abwasserreinigungsanlage) begrenzt. Die darüber hinaus gehende Wassermenge, die nicht zwischengespeichert werden kann, wird in geeignete Gewässer eingeleitet. Die dabei entlasteten Schmutzfrachten können zu einer Belastung dieser Gewässer führen.

Im ÖWAV-Regelblatt 19 „Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ (ÖWAV, 2007a) sind die Mindestanforderungen an die Mischwasserbehandlung entsprechend dem Stand der Technik festgelegt. Dabei wird die zentrale Zielvorgabe definiert, dass von den Inhaltsstoffen im Mischwasser ein bestimmter Anteil im Jahresmittel zur biologischen Stufe der ARA geleitet werden muss. Es sind also die im Regelblatt festgelegten Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung einzuhalten. Diese gelten dabei für das gesamte Einzugsgebiet einer Mischkanalisation, unabhängig davon, ob die Emissionen in einen oder mehrere Vorfluter geleitet werden. Die Mindestwirkungsgrade sind getrennt für gelöste Stoffe und für abfiltrierbare Stoffe angegeben. In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die entsprechenden Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung η angegeben.

Tabelle 8 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV-Regelblatt 19 – ÖWAV, 2007a)

Mindestwirkungsgrad (%) für gelöste Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW) zu der die Mischkanalisation entwässert	
	maßgeblicher Regen	
	$\leq 5\ 000$	$\geq 50\ 000$
$r_{720,1} \leq 30\ \text{mm}/12\text{h}$	50	60
$r_{720,1} \geq 50\ \text{mm}/12\text{h}$	40	50

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

Tabelle 9 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a))

Mindestwirkungsgrad (%) für abfiltrierbare Stoffe	Bemessungsgröße der Kläranlage (EW) zu der die Mischkanalisation entwässert	
	maßgeblicher Regen	
	$\leq 5\ 000$	$\geq 50\ 000$
$r_{720,1} \leq 30\ \text{mm}/12\text{h}$	65	75
$r_{720,1} \geq 50\ \text{mm}/12\text{h}$	55	65

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

Die allgemeine Definition des Wirkungsgrades der Weiterleitung η eines Jahres findet sich in Abbildung 11.

Abbildung 11 Allgemeine Definition des Mindestwirkungsgrads der Weiterleitung η - adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)

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

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

Abbildung 12 Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)

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

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

Abbildung 13 Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe – adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)

$$\eta_{\text{sed}} = \frac{c_{\text{M,MÜB}} - c_e}{c_{\text{M,MÜB}}} \cdot 100$$

- η_{sed} Sedimentationswirkungsgrad (%)
 $c_{\text{M,MÜB}}$ Konzentration im Mischwasserüberlaufbecken (mg/l)
 c_e Konzentration im entlasteten Mischwasserabfluss (mg/l)

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

- η_{AFS} Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für AFS (%)
 η_{R} Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
 $\eta_{\text{sed},j}$ Sedimentationswirkungsgrad bei Mischwasserüberlaufbecken j (%)
 $VQ_{e,\text{MÜB},j}$ Summe der beim Mischwasserüberlaufbecken j entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m³/a)
 VQ_{R} Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m³/a)

Wie bereits erwähnt wird in einen Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (Abbildung 12) und in einen Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe (Abbildung 13) unterschieden. Je nach Entlastungsbauwerk kann beim Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe ein Sedimentationswirkungsgrad η_{sed} berücksichtigt werden (Abbildung 13).

Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen können positive Auswirkungen auf den Gewässerschutz haben, wenn durch das verminderte oder verzögerte Einleiten von Niederschlagswasserabflüssen die Summe der entlasteten Mischwassermengen reduziert und der Wirkungsgrad der Weiterleitung zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) somit erhöht werden kann.

Auch bezüglich des Gewässerschutzes und der Entlastungsvolumina aus Mischwasserentlastungsbauwerken lassen sich Niederschlags-Abfluss-Modelle (siehe (Muschalla et al., 2015)) nutzen, um die Auswirkungen von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu untersuchen.

3.1.3 Annäherung an die natürliche Wasserbilanz

Neben den in der ÖNORM EN 752 festgehaltenen Zielen und Funktionalanforderungen von Entwässerungssystemen, wurden im Zuge des Projekts Flexadapt auch noch darüberhinausgehende Ziele untersucht, welche flexible Entwässerungssysteme der Zukunft

verfolgen sollten. Ein zentraler Punkt ist hierbei die Annäherung an die natürliche Wasserbilanz. Zunächst wird im Folgenden kurz auf die Zusammensetzung und die Komponenten der Wasserbilanz eingegangen.

3.1.3.1 Die Wasserbilanz

Die Komponenten der Wasserbilanz lassen sich je nach Fragestellung in unterschiedlicher Form und Nomenklatur darstellen. Für die weiteren Ausführungen werden die folgenden Bezeichnungen verwendet:

$$P = R + ET + \Delta S + GR$$

mit:

P Niederschlag (precipitation)

R Abfluss (runoff)

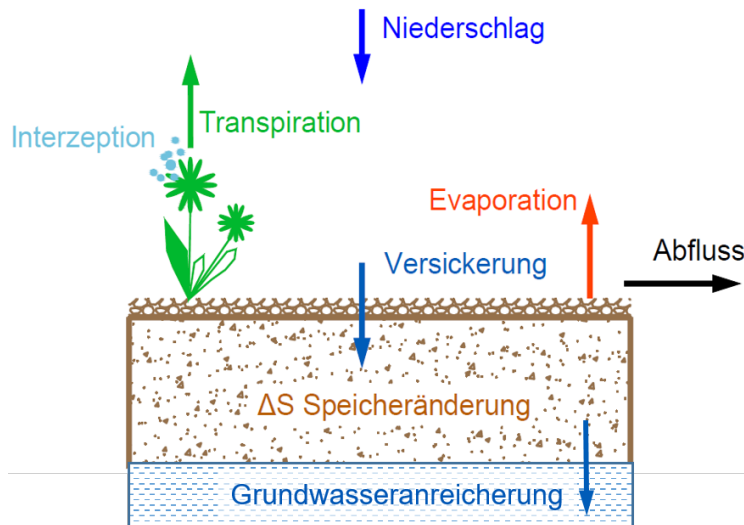
ET Evapotranspiration

ΔS Speicheränderung (storage change)

GR Grundwasseranreicherung (Groundwater Recharge)

In Abbildung 14 sind die Wasserbilanzkomponenten schematisch dargestellt.

Abbildung 14 Schematische Darstellung der Wasserbilanzkomponenten



Niederschlag (precipitation – P):

Der Niederschlag ist die zentrale Eingangsgröße für die Wasserbilanz hydrologischer Systeme. Er ist dabei gekennzeichnet von einer hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität. Als Niederschlagswasser oder niederschlagsfähiges Wasser wird das gesamte in allen drei Aggregatzuständen in der Atmosphäre vorhandene Wasser bezeichnet. (Dyck und Peschke, 1995)

Abfluss (runoff – R):

Der Oberflächenabfluss ist jener Anteil des Niederschlags, welcher weder versickert (gespeichert) noch verdunstet wird. Der Abfluss aus einem Einzugsgebiet ist das Ergebnis der Transformation des Gebietsniederschlags durch das Einzugsgebiet (Dyck und Peschke, 1995). Es lassen sich unterschiedliche Abflusskomponenten unterscheiden, welche sich in ihren Herkunftsräumen, Fließwegen durch das Einzugsgebiet, Verweilzeiten und somit auch in ihrer Dynamik unterscheiden. Nach (Dyck und Peschke, 1995) lassen sich die folgenden Abflusskomponenten identifizieren:

- Schneller Direktabfluss (Oberflächenabfluss): entstammt meist den versiegelten und gewässer- und grundwassernahen Bereichen (Sättigungsflächen) des Einzugsgebiets.

- Verzögerter Direktabfluss (Zwischen- oder hypodermischer Abfluss): entsteht als bodeninnerer lateraler Abfluss bei Bodensättigung und geschichteten Böden.
- Kurzfristiger Basisabfluss: entstammt in Festgesteinen der Mittelgebirge überwiegend der oberen Auflockerungs- und Zersatzzone des anstehenden Festgesteins.
- Langfristiger Basisabfluss: stellt die eigentliche grundwasserbürtige Basisabflusskomponente dar.

In den folgenden Betrachtungen wird unter dem Abfluss (R) der Oberflächenabfluss verstanden.

Evapotranspiration, Verdunstung (ET):

Die Verdunstung ist der physikalische Vorgang, bei welchem Wasser unterhalb des Siedepunktes vom flüssigen in den festen Aggregatzustand übergeht.

Die Gesamtverdunstung eines Einzugsgebiets wird als Evapotranspiration bezeichnet. Der Begriff setzt sich aus zwei Teilprozessen zusammen: Evaporation (E) und Transpiration (T). Die Evaporation umfasst die Verdunstung der unbewachsenen Erdoberfläche, des auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenen Niederschlags (Interzeptionsverdunstung) und von freien Wasserflächen. Unter Transpiration versteht man die Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen.

Speicheränderung/Retention (storage change - ΔS):

Wasser kann an unterschiedlichen Orten gespeichert werden. Hierzu zählen der Boden (ungesättigte Zone, gesättigte Zone – Grundwasser), Mulden an der Oberfläche, Pflanzen (Interzeption), Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Regentonne, Rigole), usw. Gerade bei Betrachtungen von kleineren Zeitabschnitten ist die Änderung der Wasserspeicherung in einem Gebiet nicht vernachlässigbar klein. Bei Langzeitbetrachtungen wird die Speicheränderung im Vergleich zu den anderen Wasserbilanzkomponenten verschwindend klein.

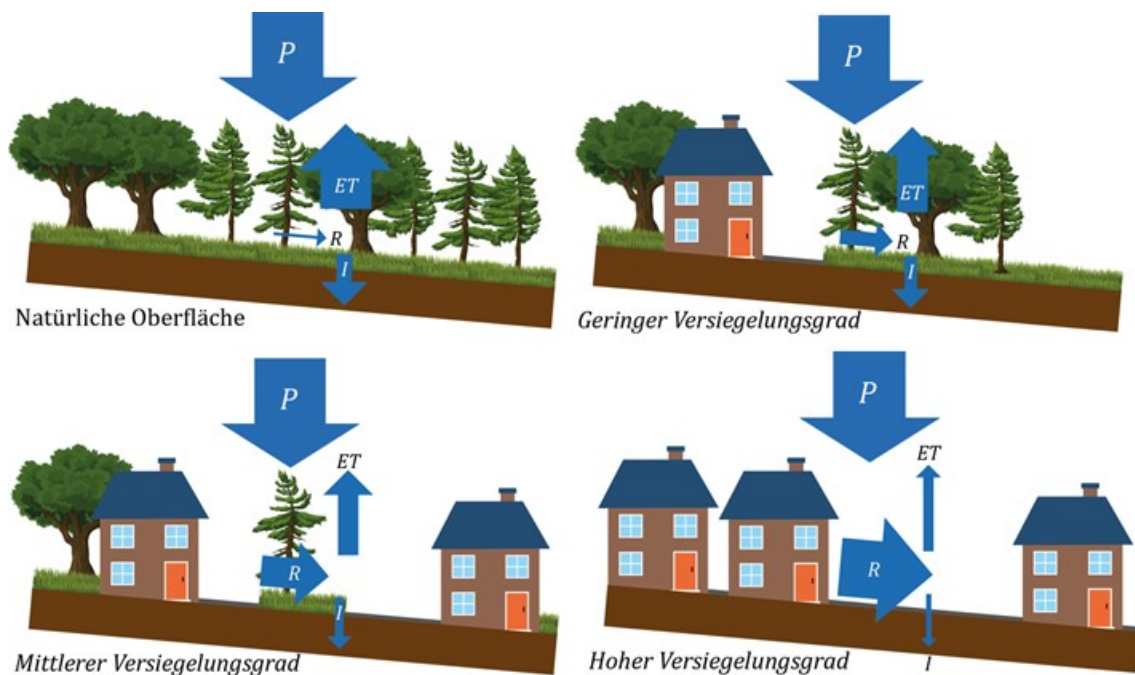
Grundwasseranreicherung (Groundwater Recharge - GR):

In den Boden infiltrierendes Niederschlagswasser perkoliert bei Überschreiten der Feldkapazität des Bodens in den Grundwasserleiter. Dieser Wasserbilanzanteil wird als Grundwasseranreicherung bezeichnet.

3.1.3.2 Wasserbilanz in natürlichen und urbanen Gebieten

Natürliche Einzugsgebiete weisen in der Regel einen sehr geringen Anteil an Abfluss (Oberflächenabfluss) auf. Durch natürliche Böden und die Vegetation können große Wassermengen verdunsten. Die Anteile an Evapotranspiration, Versickerung bzw. Speicheränderung schwanken je nach Bewuchs, Topographie, Untergrund und klimatischen Verhältnissen. Im Vergleich dazu sind die Anteile an Abfluss in urbanen Gebieten mit vielfach versiegelten Flächen deutlich erhöht. Die Anteile an Evapotranspiration sowie Grundwasserneubildung sind reduziert. In Abbildung 15 werden die beschriebenen Unterschiede hinsichtlich der Wasserbilanzkomponenten bei natürlichem Boden und versiegelten Flächen bzw. je nach Versiegelungsgrad ersichtlich.

Abbildung 15 Wasserbilanzkomponenten abhängig vom Versiegelungsgrad



3.1.3.3 Urbane Hitzeinseln

Unter urbanen Hitzeinseln / Urban Heat Islands (UHI) versteht man das Phänomen der Temperaturunterschiede zwischen städtischen Gebieten und dem ländlichen Umland

aufgrund anthropogener Einflüsse. Die Hauptursache für diesen Effekt sind Veränderungen an der Oberflächenbeschaffenheit durch den Menschen (z. B. Versiegelungen – v.a. mit dunklen Oberflächen wie Asphalt). Die Verdunstungskühle wird dadurch in bebauten Gebieten reduziert, wohingegen sich nicht verbaute Flächen durch Beschattung und Verdunstung weniger stark aufheizen. Die wärmeabsorbierenden Oberflächen werden in bebauten Gebieten zudem durch die Geometrie der Gebäude vergrößert. Ebenso ist die Luftzirkulation durch die Bebauung behindert. Zusätzliche Faktoren für den UHI-Effekt sind Abwärme aus industriellen Prozessen, Klimaanlage und Kraftfahrzeugen.

All diese Randbedingungen führen dazu, dass die Temperatur im Umland deutlich niedriger als in der Stadt ist (Abbildung 16 und Abbildung 17). Zudem können auch Temperaturunterschiede im Querschnitt durch die Stadt auftreten (Parks, dichtes Stadtzentrum, usw.).

Abbildung 16 Energie-Budget von Siedlungsgebieten und UHI-Effekt (Brandenburg et al., 2015)

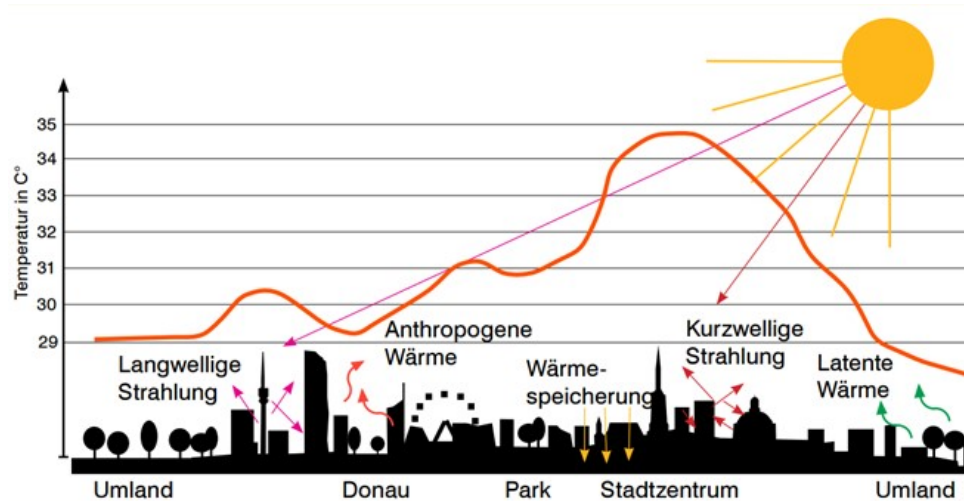
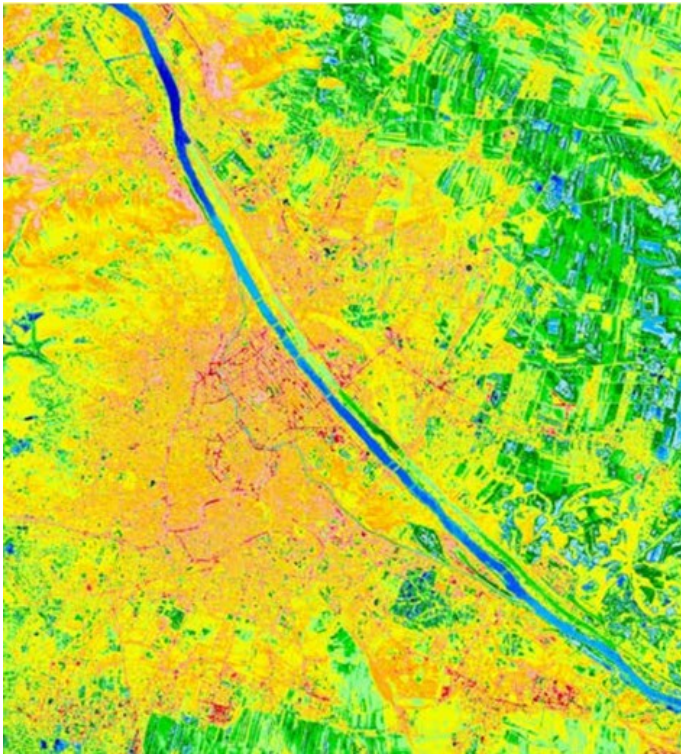


Abbildung 17 Abendliches Thermalbild der Stadt Wien und des Umlandes (Brandenburg et al., 2015); qualitativer Temperaturverlauf von kühl (blau) bis warm (rot)



Methoden der Niederschlagswasserbewirtschaftung können dem UHI-Effekt entgegenwirken. Hierbei wird die kühlende Wirkung des Verdunstungsprozesses, welche durch den Energiebedarf beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand hervorgerufen wird, genutzt. Besonders geeignet sind somit bewachsene, bepflanzte Maßnahmen wie Gründächer.

Um den negativen Auswirkungen der fortschreitenden Urbanisierung entgegenzuwirken, ist eine Annäherung an die natürliche Wasserbilanz anzustreben. Darauf wird im Folgenden näher eingegangen.

3.1.3.4 Beurteilung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz

Die Urbanisierung führt wie bereits beschrieben zu einer erhöhten Versiegelung von vormals natürlichen Oberflächen. Dies beeinflusst die Wasserbilanz wie vorhin beschrieben deutlich (siehe auch Abbildung 15): Der Abfluss nimmt zu, während Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung abnehmen. Daraus resultieren verschiedene negative Auswirkungen wie hohe Abflussvolumina und Abflussspitzen, erhöhte Gefahr von Überflutungen, urbane „heat islands“, usw..

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen können die negativen Auswirkungen der Urbanisierung abmildern. Es ist hierbei das Ziel, das natürliche hydrologische Regime möglichst wiederherzustellen oder sich diesem zumindest anzunähern (natürlicher Zielzustand). Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen wie z. B. Gründächer, Versickerungsmulden oder Rigolen nutzen hierbei hydrologische Funktionen nach dem Vorbild natürlicher Einzugsgebiete wie beispielsweise Infiltration, Evapotranspiration und (Zwischen-)Speicherung.

Hydrologische Simulationen (siehe auch Kapitel 6.2) sind ein adäquates Mittel um die Leistungsfähigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen hinsichtlich der Wasserbilanz zu beurteilen. Um eine angestrebte Annäherung an die natürliche Wasserbilanz zu beurteilen, sind die hydrologischen Verhältnisse im natürlichen und im bebauten Zustand zu analysieren. Meist wird hierbei nur die Abflusskomponente der Wasserbilanz berücksichtigt (z. B. Vorgehensweise nach (Coffman, 2000)). Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung (bzw. Speicheränderung) werden oftmals vernachlässigt, obwohl sie eine bedeutende Rolle beispielsweise bezüglich des UHI-Effekts spielen und der Grundwasserstand verändert werden kann (Fletcher et al., 2013; Goebel et al., 2007).

Im Zuge des vorliegenden Projekts wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt (wie z. B. auch bei (Henrichs et al., 2016)), welcher alle Komponenten der Wasserbilanz berücksichtigt, um die Leistungsfähigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu beurteilen. Zudem wird bei der erarbeiteten Methodik auf die Analyse basierend auf gemessenen Niederschlagskontinua anstelle von durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmengen oder künstlichen Modellregen zurückgegriffen. Modellregen sind aus statistischen Werten erstellte Regen, welche jedoch nicht die real vorkommenden Regencharakteristika abbilden und somit für eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen unzulänglich sind. Die ebenfalls durchgeführte Analyse von Regenereignissen basiert durchwegs auf Langzeitsimulationen, um die Trockenzeit zwischen Regenereignissen zu berücksichtigen (siehe (Leimgruber et al., 2018a)). Die Leistungsfähigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen kann in Abhängigkeit von Regencharakteristika wie Regensumme, Regendauer, Spitzenintensität oder vorangehender Trockenzeiten analysiert werden. Insbesondere bei Untersuchungen zu Klimawandelszenarien ist dies sehr hilfreich.

Für erste Untersuchungen mithilfe der entwickelten Methodik wurde ein sehr einfaches Testmodell herangezogen, welches ein typisches Grundstück mit einem Einfamilienhaus und angrenzender Rasenfläche darstellt. Für den natürlichen Zustand wurde die Fläche als komplett unbebaut und mit Vegetation versehen modelliert. Für den bebauten Zustand

wurde die in Tabelle 10 dargestellten zehn verschiedenen Setups von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen betrachtet.

Tabelle 10 Überblick über Szenarien im bebauten Zustand

Setup			
S1	Gedecktes Dach	→	Kanalisation
S2	Gedecktes Dach	→	Regentonne → Rasen (Bewässerung und Entlastung)
S3	Gedecktes Dach	→	Rasen
S4	Gedecktes Dach	→	Versickerungsgraben (ohne Drainage) → Kanalisation (Entlastung)
S5	Gedecktes Dach	→	Versickerungsgraben (mit Drainage) → Kanalisation
S6	Gedecktes Dach	→	Versickerungsmulde → Kanalisation
S7	Gedecktes Dach	→	Versickerungsmulde → Rasen
S8	Gründach	→	Kanalisation
S9	Gründach	→	Regentonne → Rasen (Bewässerung und Entlastung)
S10	Gründach	→	Rasen

Der möglicherweise auftretende Abfluss vom Rasen wird jeweils in die Kanalisation geleitet. Für die Setups S8-S10 wurde ein Gründach anstelle eines mit Dachziegeln gedeckten Daches modelliert.

Um die unterschiedlichen Setups zu beurteilen wurden die Regenereignisse einerseits für den natürlichen (unbebauten) sowie den bebauten Zustand simuliert und die Wasserbilanz ermittelt. Hierfür wurde das Storm Water Management Model (Rossman, 2010) verwendet. Die Wasserbilanz wurde in der bereits eingeführten Form ausgedrückt:

$$\Delta S = P - ET - R - GR$$

(P... Precipitation/Niederschlag, R... Runoff/Abfluss, ET... Evapotranspiration, ΔS ... Speicheränderung, GR... Groundwater Recharge/Grundwasseranreicherung)

In der Langzeitbetrachtung wird die Speicheränderung vernachlässigbar. Für die Regenereignisbetrachtungen wurde die Speicheränderung (Änderungen in der

Bodenfeuchte, Muldenspeicher und Speicher der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen) mit der Grundwasseranreicherung zusammengefasst.

Die Wasserbilanzkomponenten wurden für jedes Setup und Regenereignis ermittelt und mit dem jeweiligen Ergebnis der Simulation des natürlichen Zustandes verglichen. Dafür wurden die absoluten Differenzen gebildet um sicherzustellen, dass eine Abweichung von der natürlichen Wasserbilanz unabhängig davon behandelt wird, ob es sich um einen Anstieg oder einen Rückgang handelt (siehe hierzu auch Abbildung 18). Um das „beste“ Setup zu finden, wurde jeweils auch eine durchschnittliche Abweichung des bebauten Zustands vom natürlichen Zustand über die Regenereignisse ermittelt.

Abbildung 18 Ermittlung der Absolutabweichungen zwischen bebautem Zustand und natürlichem Zielzustand

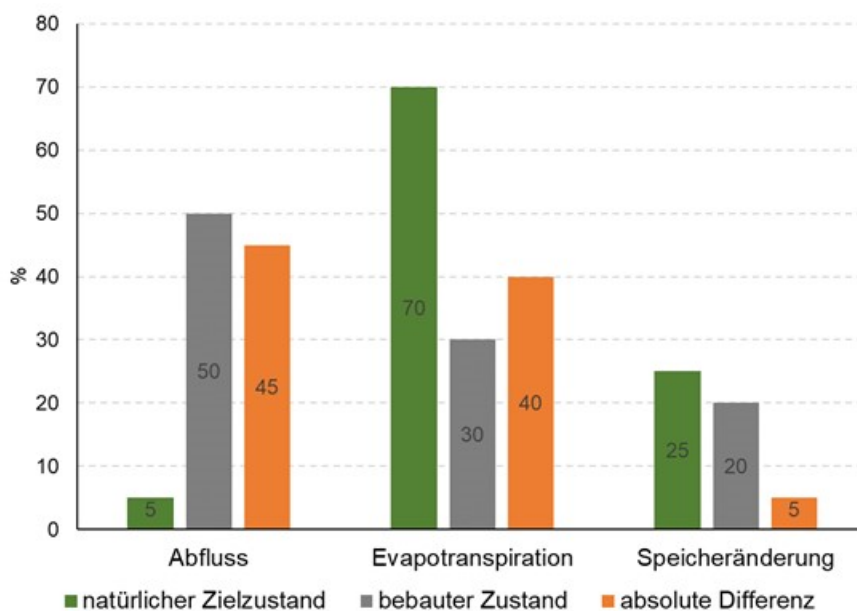
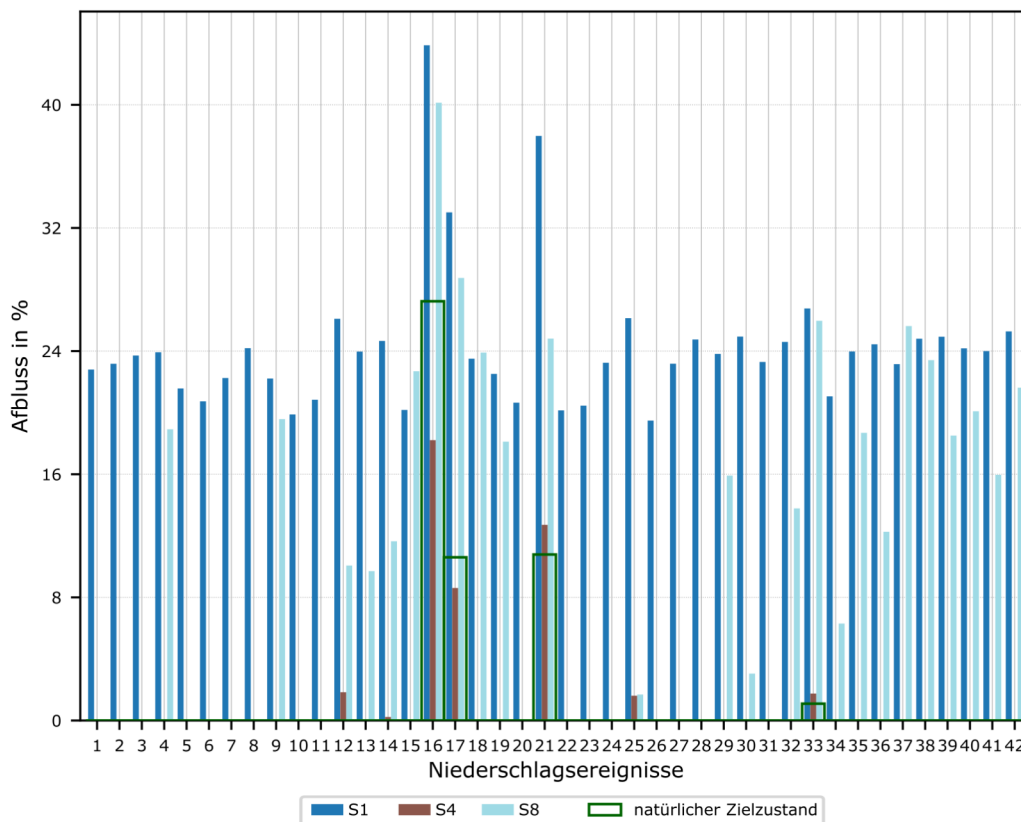


Abbildung 19 (Abfluss), Abbildung 20 (Evapotranspiration) und Abbildung 21 (Speicheränderung + Grundwasseranreicherung) zeigen ein exemplarisches Resultat der beschriebenen Methodik, wobei ein Regenkontinuum von einem Jahr (Station Universität Graz, 1992, (ÖWAV, 2007b)) verwendet wurde. Für dieses Jahr wurden 42 Regenereignisse detektiert und simuliert (Langzeitsimulation). Die Abbildungen zeigen den Vergleich der Wasserbilanz zwischen dem natürlichen Zustand und dem bebauten Zustand für die Szenarien S1, S4 und S8 für jedes Regenereignis und jede Wasserbilanzkomponente.

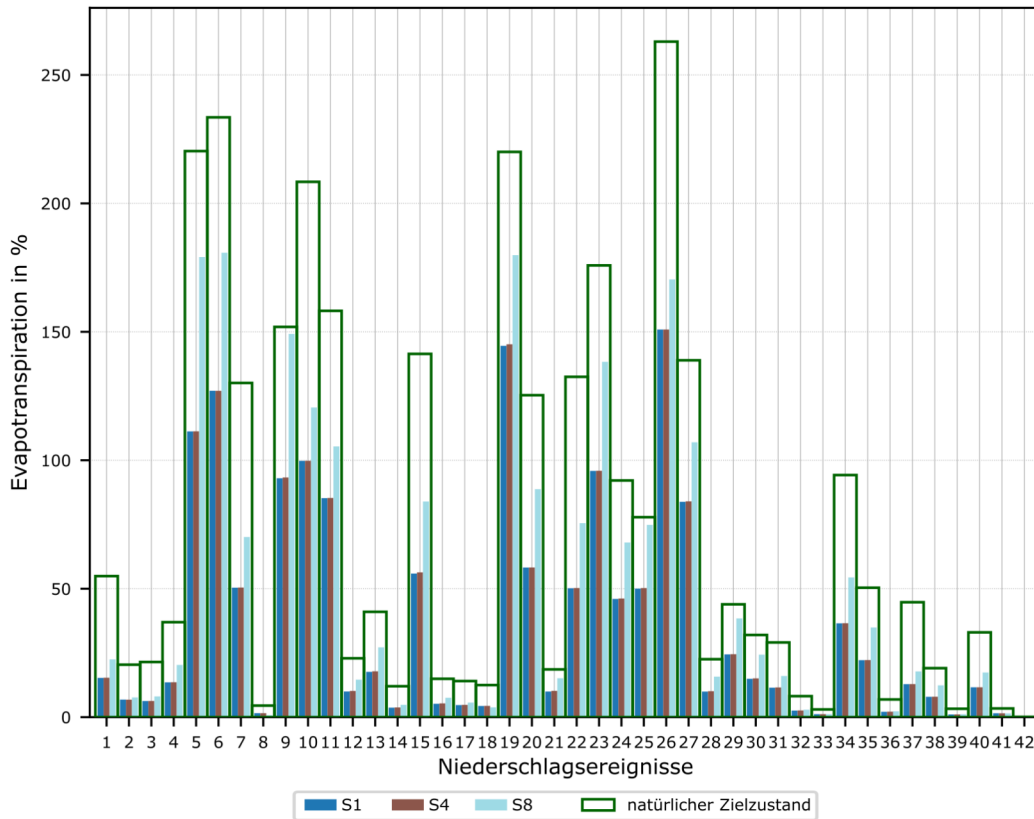
Es ist offensichtlich, dass das Szenario S1 (gedecktes Dach, keine NWB-Maßnahme) den größten Anteil bezüglich der Abflusskomponente aufweist. Szenario S8 (Gründach) hingegen weist aufgrund der Retention von Niederschlagswasser geringere Abflusswerte auf. Dem natürlichen Zielzustand hinsichtlich des Abflusses am nächsten kommt hingegen Szenario S4 (Versickerungsgraben), da hier der Großteil des Niederschlagswassers versickert und es somit wie auch im natürlichen Zielzustand kaum zu Abfluss kommt.

Abbildung 19 Vergleich des Abflusses zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)



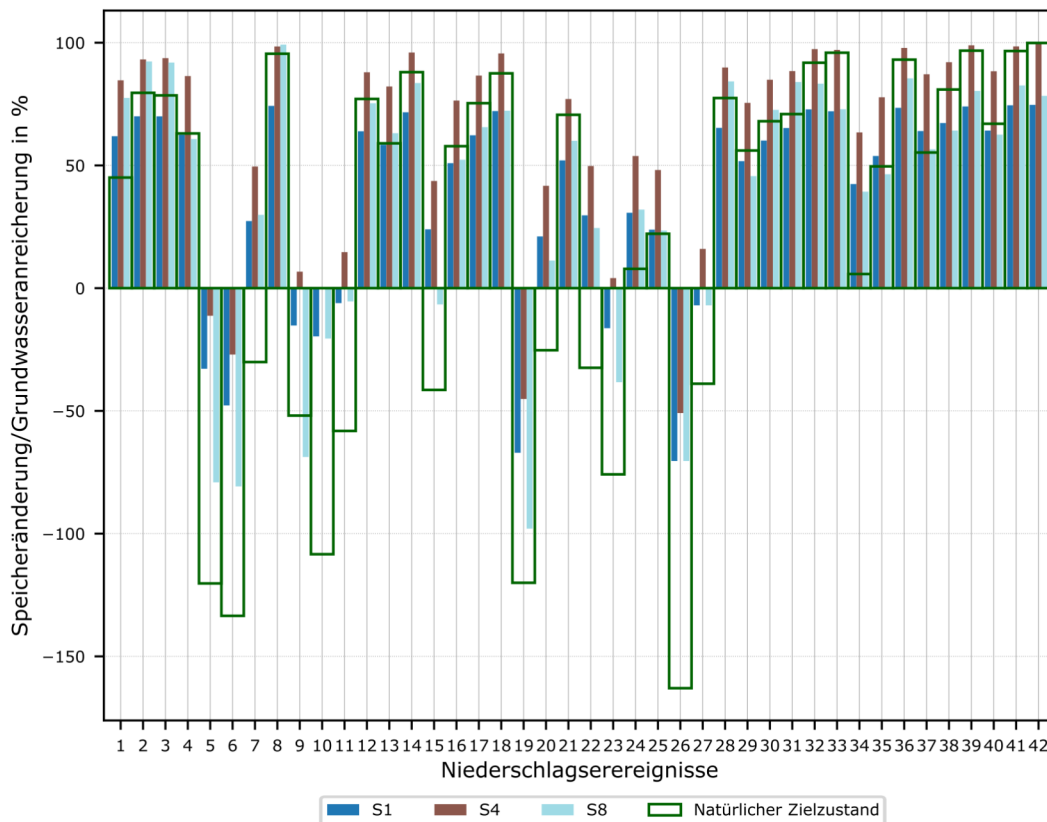
Bezüglich der Evapotranspiration zeigt Szenario S8 die naturnächsten Werte auf, während die Werte für Szenario S1 und S4 nahezu identisch sind, da es für die Evapotranspiration nahezu keine Auswirkungen hat, ob der Abfluss über den Versickerungsgraben versickert oder im Kanal abgeführt wird.

Abbildung 20 Vergleich der Evapotranspiration zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)



Die Speicheränderung bei Szenario S4 übersteigt zum Teil die Werte im natürlichen Zielzustand. Dies lässt beispielsweise auf eine zu hohe künstliche Grundwasseranreicherung schließen.

Abbildung 21 Vergleich der Speicheränderung + Grundwasseranreicherung zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)



Die Verschiebungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zielzustand für die Szenarien S1 und S8 (Abbildung 22 und Abbildung 23) verdeutlichen die bereits gewonnen Erkenntnisse (Abbildung 19 bis Abbildung 21).

Szenario S1 weist einen deutlich höheren Abfluss auf als der natürliche Zielzustand, während die Evapotranspiration deutlich reduziert ist. Szenario S8 hingegen kommt dem natürlichen Zielzustand hinsichtlich des Abflusses sowie der Evapotranspiration deutlich näher.

Abbildung 22 Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 1

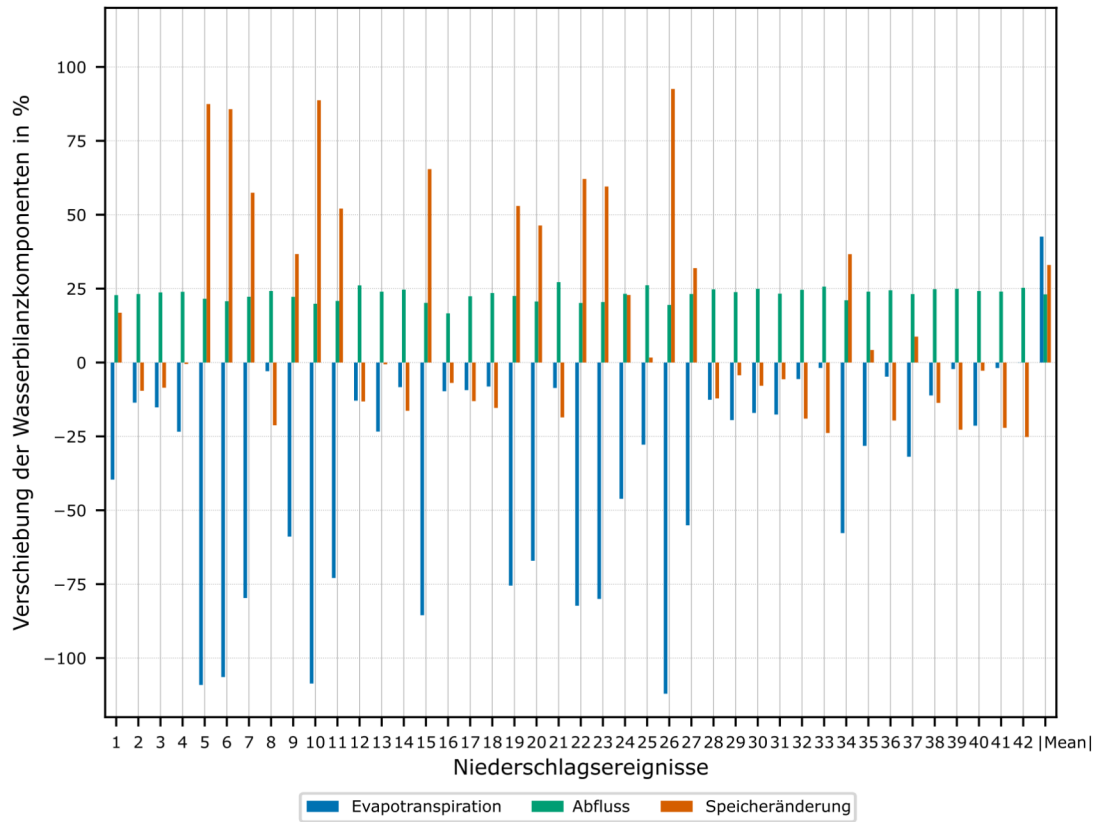
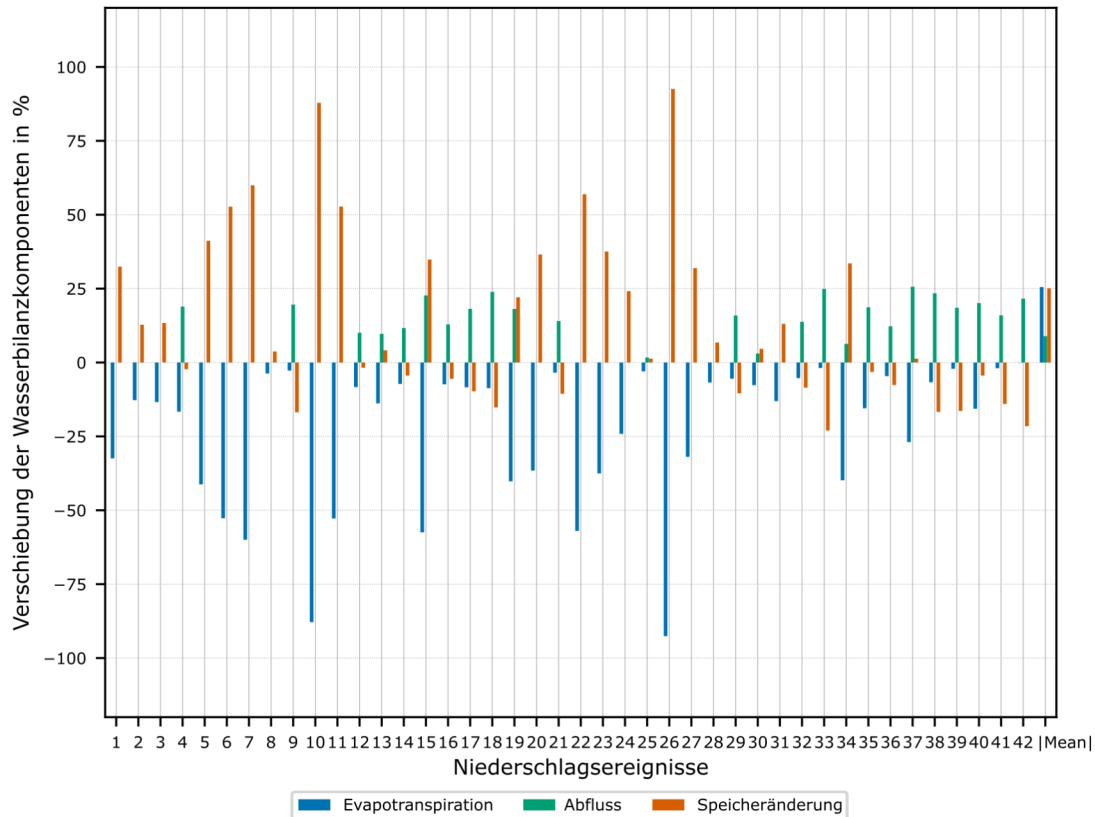
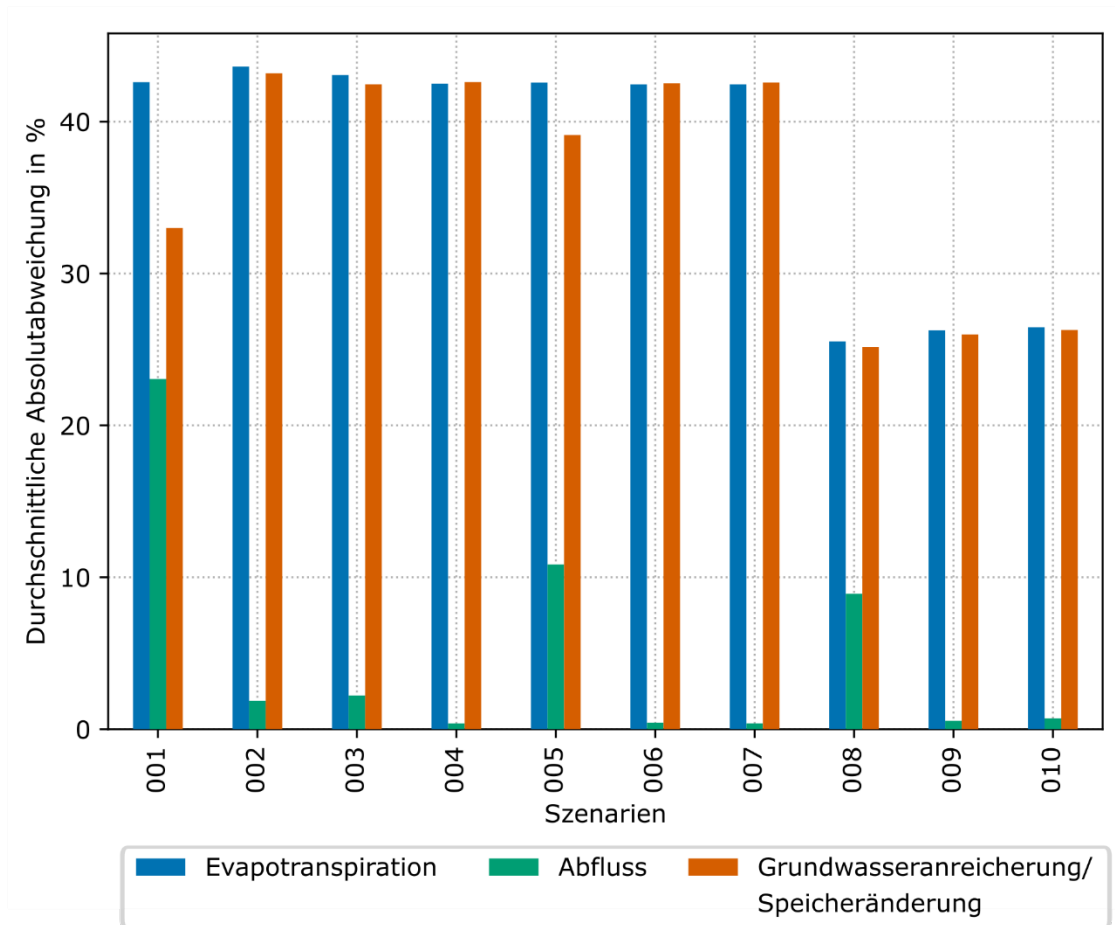


Abbildung 23 Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 8



Abschließend wurde der Mittelwert über alle Regenereignisse der absoluten Abweichungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für alle betrachteten Szenarien gebildet (Abbildung 24). Es ist offensichtlich, dass Szenario S1, S5 und S8 die naturfernsten Abflusswerte aufweisen. Alle anderen Szenarien sind sehr nahe am natürlichen Abflussverhalten, da Regenwasser in diesen Fällen zur Versickerung gebracht wird. Hinsichtlich der Evapotranspiration lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Szenarien S1-S7 und den Szenarien S8-S10 (mit Gründach) erkennen. Durch das Gründach nähert sich die Evapotranspirationskomponente dem natürlichen Zielzustand an, da Regenwasser im Gründachsubstrat gespeichert werden kann und somit zur Verdunstung zur Verfügung steht. Insgesamt kommen die Szenarien S9 und S10 dem natürlichen Zielzustand am nächsten.

Abbildung 24 Durchschnittliche absolute Abweichungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand



Die Ergebnisse zeigen, dass es durchaus zielführend ist, die Betrachtungen nicht nur auf die Abflusskomponente der Wasserbilanz zu beschränken. Auch Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung müssen mitberücksichtigt werden. Die entwickelte Methode kann dazu genutzt werden, die Leistungsfähigkeit einzelner Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen oder von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Kombinationen zu bewerten. Somit kann einerseits die Struktur von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ebenso wie die Kombination von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen optimiert werden.

Die Auswertungen basierend auf einzelnen Regenereignissen lassen zudem in weiterer Folge Analysen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Regencharakteristika zu. Dies ist besonders bei Betrachtungen bezüglich Klimawandelszenarien von Vorteil.

3.1.3.5 Sensitivitätsanalyse der Wasserbilanzkomponenten gegenüber Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parametern

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen können positiv auf die Wasserbilanz wirken und mit dem Ziel einer Annäherung an die natürliche Wasserbilanz eingesetzt werden. Bei der Planung und hydrologischen Modellierung dieser

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, ist es von hoher Wichtigkeit zu wissen, welcher Parameter der NWB-Maßnahme Einfluss auf welche Wasserbilanzkomponente hat. Hierfür ist eine Sensitivitätsanalyse hilfreich. Beispielsweise wurde dies modellbasiert für ein Gründach, einen Versickerungsgraben sowie eine sog. „Bio-Retention-Cell“ (vergleichbar mit einem Mulden-Rigolen-System) durchgeführt. Nachfolgend findet sich eine kurze Zusammenfassung der maßgeblichen Ergebnisse. Weiterführende Informationen sind im Anhang (Kapitel 8.2) sowie in Leimgruber et al. (2018a) zu finden.

Es wurde eine globale Sensitivitätsanalyse auf Langzeitbasis sowie auf Regenereignisbasis durchgeführt. Die langzeitbasierte Sensitivitätsanalyse ergab folgende Parameter, welche keinen Einfluss auf die Wasserbilanz haben:

- Neun Parameter für das Gründach: Freibord, Vegetationsvolumen, Oberflächenrauigkeit, Oberflächenneigung, Konduktivität, Saugspannung, Dränagemattendicke, Dränagemattenporenanteil, Dränagemattenrauigkeit
- Zwei Parameter für den Versickerungsgraben: Oberflächenrauigkeit, Oberflächenneigung
- Drei Parameter für die Bio-Retention Cell: Oberflächenrauigkeit, Oberflächenneigung, Saugspannung

Zudem wurden die Parameter mit dem größten Einfluss auf die Wasserbilanzkomponenten ermittelt:

- Bodendicke für das Gründach-Abflussvolumen und –evapotranspiration
- Speichersickerrate für die gesamte Wasserbilanz des Versickerungsgrabens sowie für das Abflussvolumen und die Grundwasseranreicherung der Bio-Retention Cell
- Konduktivität für die Evapotranspiration der Bio-Retention Cell

Die Ermittlung der einflussreichsten Parameter ist insbesondere für die Praxis hilfreich, um zu wissen, welche Parameter als erstes und mit dem größten Aufwand gemessen werden sollten, um die Varianz der Simulationsresultate möglichst zu reduzieren. Zudem können Parameter, welche keinen Einfluss aufweisen, irgendwo in ihrer Bandbreite der Werte festgelegt werden, ohne die Ergebnisse zu beeinflussen.

Die regenereignisbasierte Sensitivitätsanalyse zeigte auf, dass der Einfluss der Parameter auf die Wasserbilanz zwischen den einzelnen Regenereignissen variiert. Die Regenereignischarakteristika Niederschlagshöhe und vorangehende Trockenzeit beeinflussen insbesondere das Abflussvolumen deutlich, da sie die Anfangsbedingungen zum Start des nachfolgenden Regenereignisses mitbestimmen.

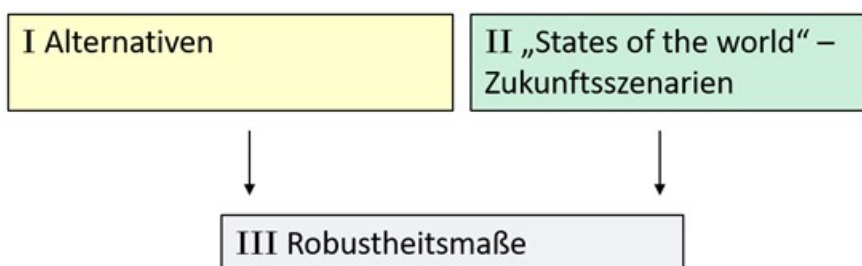
Die regenereignisbasierten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Zeit zwischen den Regenereignissen (Trockenzeit) keinesfalls vernachlässigt werden darf. Demzufolge, müssen bei Wasserbilanzbetrachtungen immer Langzeitsimulationen durchgeführt werden, auch wenn die Analysen auf Regenereignisbasis erfolgen.

3.1.4 Robustheit

Entscheidungsträger sind daran interessiert, verschiedene definierte Ziele für prognostizierte Zukunftsszenarien zu erreichen und dabei robust gegenüber Abweichungen von diesen Prognosen zu bleiben. Unter Robustheit versteht man somit die Insensitivität des Systemdesigns (beispielsweise die Auswahl der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Kombinationen) gegenüber Fehlern, seien es zufällige oder andere, in der Bestimmung der Parameter, welche das Systemdesign (NWB-Auswahl) beeinflussen.

Auch für (Ab-) Wassersysteme existiert eine Systematik für Robustheitsbetrachtungen (Herman et al., 2015) (Abbildung 25).

Abbildung 25 Systematik für Robustheitsbetrachtungen - adaptiert nach (Herman et al., 2015)



Alternativen

Zu Beginn werden Planungsalternativen erarbeitet. Dies sind im Falle von Entwässerungssystemen z. B. unterschiedliche Kombinationen von zentralen oder dezentralen Systemen oder auch unterschiedliche Kombinationen von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Im einfachsten Fall werden die Alternativen

vorab von den Entscheidungsträgern definiert und sind somit für die Untersuchungen im Detail bekannt. Alternativ können die unterschiedlichen Planungsalternativen aber auch erst durch „Suche“, z. B. durch Optimierung, identifiziert werden.

Zukunftsszenarien – „states of the world“

Üblicherweise werden die vorab definierten oder durch Optimierung generierten Planungsalternativen bewertet, indem sie unter unterschiedlichen unsicheren Zukunftsszenarien betrachtet werden. Hierzu werden die unsicheren Faktoren identifiziert (z. B. Regenbelastung, Temperatur, Demographie usw.) und daraus Kombinationen generiert.

Robustheitsmaße

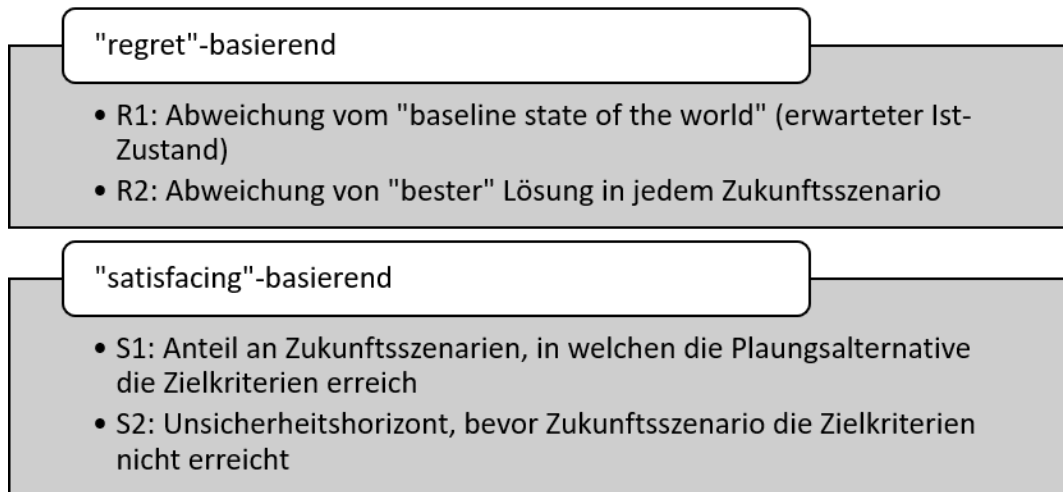
Sind nun die verschiedenen Planungsalternativen bekannt, welche unter verschiedenen Zukunftsszenarien bewertet werden, muss die Robustheit quantifiziert werden, um den Entscheidungsprozess zu ermöglichen. Als Robustheitsmaße kommen hierbei mehrere Möglichkeiten in Frage. Die Hauptunterscheidung liegt hierbei in „regret-basierte“ und „satisficing“ Maße.

„Regret“ bezeichnet hierbei die Kosten, nicht unbedingt in monetärer Form, wenn die falsche Wahl getroffen wird. Es kann sich hierbei um die Abweichung von der „baseline“ (erwartete Performance der Planungsalternative handeln oder aber um die Abweichung von der besten Planungsalternative im jeweiligen Zukunftsszenario.

„Satisficing“ setzt sich aus dem Englischen „satisfying“ (=befriedigend) und suffice (=genügen) zusammen. Es beschreibt hierbei das Verhalten, in einer Entscheidungssituation die erstbeste Alternative zu wählen, welche ein zuvor definiertes Ziel bzw. Anspruchsniveau erfüllt. Auch hierbei gibt es zwei mögliche Maße: Das „domain criterion“ (=Bereichskriterium) quantifiziert das Volumen an unsicheren Faktoren, in welchen eine Planungsalternative die geforderten Ziele erreicht. In der Praxis wird hierbei also der Anteil an Zukunftsszenarien ermittelt, in welchen eine Planungsalternative die geforderten Ziele erreicht. Eine zweite Möglichkeit ist die Ermittlung des sogenannten „Unsicherheitshorizonts“. Dies ist der Bereich an Zukunftsszenarien, in welchen eine Planungsalternative die geforderten Ziele erreicht. Ausgehend vom Ist-Zustand wird also beispielsweise ein unsicherer Zukunftsparameter solange erhöht, bis die geforderten Ziele nicht mehr erreicht werden.

Die beschriebenen Robustheitsmaße sind in Abbildung 26 grafisch zusammengefasst dargestellt.

Abbildung 26 Mögliche Robustheitsmaße, adaptiert nach (Herman et al., 2015)



Aus diesen Möglichkeiten wird das Robustheitsmaß R2 empfohlen. Damit soll gewährleistet werden, dass die gewählte Planungsalternative (Kombination von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen) in keinem der betrachteten Zukunftsszenarien allzu weit von der jeweils „besten“ Lösung abweicht und somit auch unter unsicheren zukünftigen Bedingungen eine akzeptable Leistung bietet. Die Berechnung erfolgt hierbei folgendermaßen:

$$R2 = \max_i [D_{i,90} \cdot P(D_i \leq D_{i,90}) = 0.90]$$

$$D_{i,j} = \frac{|F(x)_{i,j} - \min_s F(x_s)_{i,j}|}{F(x)_i^*}$$

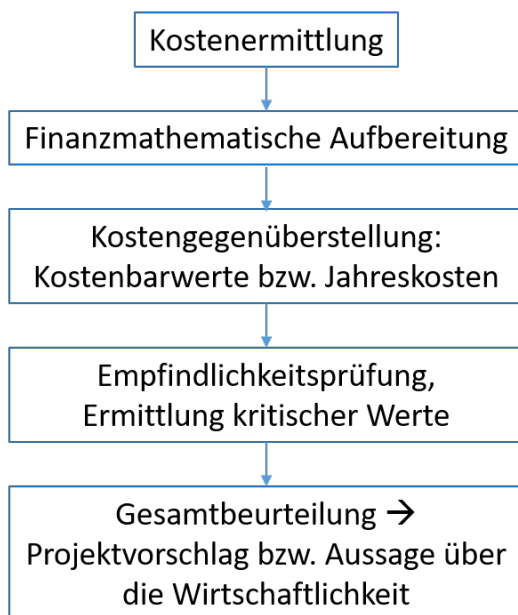
$F(x)_{i,j}$ beschreibt den Wert des Zieles i im Zukunftsszenario j . Der jeweils beste Wert jedes Zieles i wird unter den Planungsalternativen s gesucht. Die Normierung erfolgt durch den Wert des Zieles selbst, da der beste Wert oftmals Null ist und somit keine Division zulässt. Die 90. Perzentile der Abweichungen D wird herangezogen, um einerseits das „schlechte“ Ende der Abweichungen abzubilden, jedoch Ausreißer nicht zu stark zu bewerten.

3.1.5 Kosteneffizienz

3.1.5.1 Life-Cycle-Costs

Bei der Auswahl der geeigneten Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen spielen natürlich auch wirtschaftliche Überlegungen eine entscheidende Rolle. Hierbei sollten sowohl die Herstellungs- als auch die Betriebskosten und Reinvestitionskosten berücksichtigt werden. Zusammen mit der Nutzungsdauer der jeweiligen NWB-Maßnahme gehen diese in eine dynamische Kostenvergleichsrechnung ein. Abbildung 27 zeigt den generellen Ablauf einer Kostenvergleichsrechnung. Im Nachfolgenden wird lediglich eine grobe Übersicht über die Vorgehensweise bei einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung gegeben. Für weiterführende Informationen wird auf die „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Richtlinien)“ (DWA, 2012) verwiesen.

Abbildung 27 Genereller Ablauf einer Kostenvergleichsrechnung nach (DWA, 2012)



3.1.5.1.1 Kostenermittlung

Für jede betrachtete Planungsalternative sind alle kostenwirksamen Effekte nach Kostenarten gegliedert zu erfassen und die jeweiligen Kosten zu ermitteln. Zu den Kostenarten zählen:

- Investitionskosten IK

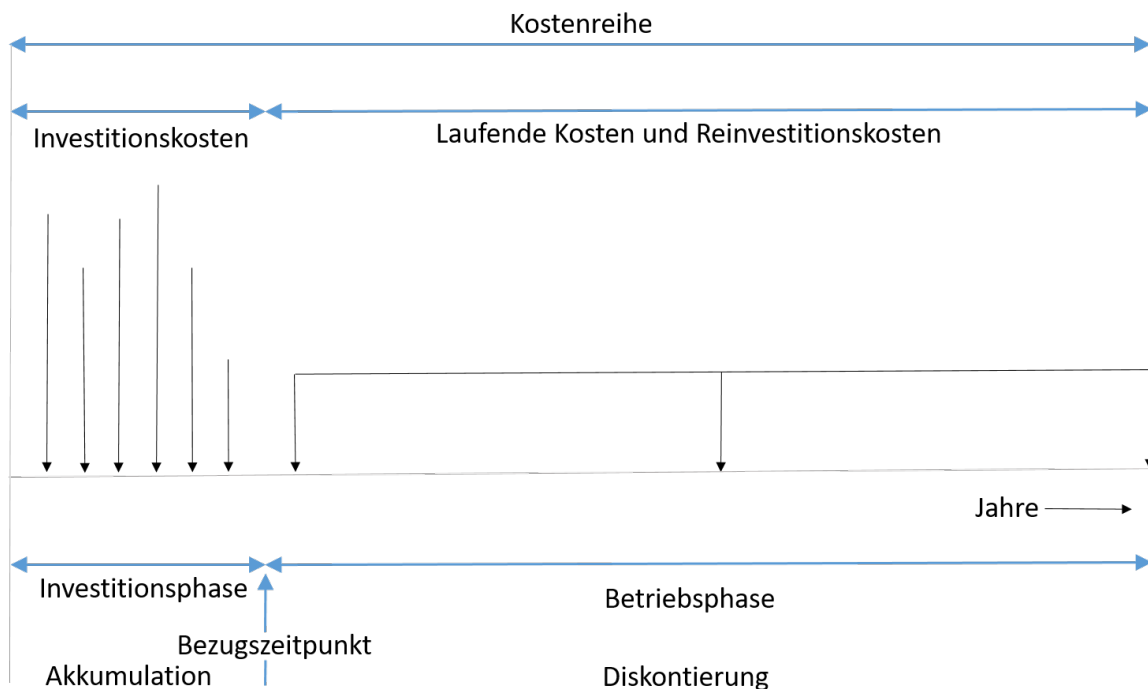
- Laufende Kosten LK
- Reinvestitionskosten IKR

Im Zuge des Projektfortschritts kann in Kostenschätzung, Kostenberechnung und Kostenanschlag unterschieden werden.

3.1.5.1.2 Finanzmathematische Aufbereitung

Die Kosten bei unterschiedlichen Planungsalternativen können zu unterschiedlichen Zeiten auftreten (siehe Abbildung 28). Zudem kann es deutliche Unterschiede geben bezüglich des Verhältnisses von Investitionskosten und laufenden Kosten (z. B. Projekt 1 mit hohen Investitionskosten aber geringen laufenden Kosten, Projekt 2 mit geringen Investitionskosten aber hohen laufenden Kosten). Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, müssen die konkreten Kosten zeitlich gewichtet werden. Dies erfolgt durch Auf- bzw. Abzinsen auf einen bestimmten Bezugszeitpunkt.

Abbildung 28 Auftreten von verschiedenen Kostenarten und zeitlicher Bezug; nach (DWA, 2012)



3.1.5.1.3 Kostengegenüberstellung

Für den Vergleich können sowohl Kostenbarwerte als auch Jahreskosten (gelegentlich auch als Annuitätenvergleich bezeichnet) gegenübergestellt werden. Prinzipiell sind beide Ansätze gleichwertig. Es wird jedoch empfohlen, soweit möglich und sinnvoll, beide Arten der Kostengegenüberstellung vorzunehmen, um eine breitere Informationsbereitstellung zu gewährleisten.

3.1.5.1.4 Sensitivitätsanalyse und Ermittlung kritischer Werte

Bei der Kostenermittlung sind immer gewisse Unschärfen zu berücksichtigen. Diese entstehen aufgrund der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen. Unsicherheiten können beispielsweise bei den angesetzten Zinssätzen und Nutzungsdauern auftreten. Daher empfiehlt es sich, diesen Spielraum der Unsicherheiten mithilfe einer Sensitivitätsanalyse abzuschätzen. Insbesondere ist es von praktischer Relevanz, sogenannte „kritische Werte“ zu ermitteln. Dies sind Werte, bei denen sich die Vorteilhaftigkeit (Reihung) der zu vergleichenden Alternativen maßgeblich ändert.

3.1.5.1.5 Kostenansätze und Nutzungsdauern

Kostenansätze können je nach Land oder sogar Region und der aktuellen Marktlage deutliche Unterschiede aufweisen. Daher können generelle Ansätze kaum geliefert werden. Kosten für eine fundierte Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind daher je Fallbeispiel gesondert zu eruiieren.

Anhaltspunkte zu Kosten liefern Projektberichte wie beispielsweise ECOSTORMA (Muschalla et al., 2014) (siehe hierzu Abbildung 29) oder KURAS (A. Matzinger et al., 2017). Einen Leitfaden zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen liefert beispielsweise die Stadt Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011). Auch hier finden sich Kostenansätze sowie Ansätze zu Nutzungsdauern.

Abbildung 29 Ansätze für Herstellungskosten, Betriebskosten und Nutzungsdauern von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (Muschalla et al., 2014)

Herstellungs- Betriebskosten und Nutzungsdauern von NWB-Maßnahmen			
NWB-Maßnahme	Herstellungskosten	Betriebskosten	Nutzungsdauer
Flächenversickerung	2,50 bis 37 €/m ² A _{red} (A _{red} = abflusswirksame Fläche) bzw. 15 bis 25 €/m ²	0,05 bis 0,15 €/(m ² A _{red} ·a) bzw. 0,25 bis 1,75 €/(m ² ·a)	20 bis 80 Jahre
Muldenversickerung	1,30 bis 7,50 €/m ² A _{red} bzw. 19 bis 45 €/m ²		
Rigolen-/Rohr-Rigolenversickerung	1,25 bis 12 €/m ² A _{red} bzw. 80 bis 240 €/m ³ bzw. 27 bis 200 €/lfd.m	10 bis 25 €/(lfd.m·a)	20 bis 40 Jahre
Mulden-Rigolen-Versickerung unvernetzt vernetzt	12,50 bis 17,50 €/m ² A _{red} 12,50 bis 27,50 €/m ² A _{red} bzw. 211 bis 250 €/m ³ bzw. 150 bis 250 €/lfd.m	15 €/(lfd.m·a) (Rigole) + 0,50 €/(m·a) (Mulde)	15 bis 40 Jahre
Versickerungsschacht	200 bis 1.250 €/aufst.m bzw. 10 bis 20 €/m ² A _{red} bzw. 1.000 bis 2.000 €/Stück	0,50 bis 0,75 €/(m·a)	bis 60 Jahre
Dachbegrünung Intensiv, extensiv	95 €/m ² , 12,50 bis 50 €/m ²	0,50 bis 5,00 €/(m·a)	bis 40 Jahre
Regenwasseremutzungsanlage	400 bis 900 €/m ³ Speicher bzw. 4.000 bis 5.000 € (4- Personen-Standardhaus) bzw. 23 bis 50 €/m ² A _{red}	75 bis 150 €/a (Standardhaus) bzw. 0,75 €/(m ² A _{red} ·a)	20 bis 75 Jahre

Kostenansätze aus verschiedenen Bauvorhaben sind beispielsweise in (Matzinger et al., 2017) zusammengetragen (Abbildung 30). Einen Vergleich aus drei verschiedenen Quellen zeigt Abbildung 31. Einen Ansatz für Kosten bezüglich Investitions- und Betriebskosten bietet Abbildung 32 (siehe auch Abbildung 29). Betriebskosten bestehen hierbei beispielsweise aus der Vegetationspflege auf Gründächern, der Mahd von Versickerungsmulden (ggf. bei Grünflächen ohnehin nötig) oder der Hockdruckspülung von Rohrrigolen.

Abbildung 30 Kostenansätze aus (Matzinger et al., 2017) für: GR_ext = extensives Gründach in €/m²a, MU = Versickerungsmulde in €/m²a, RIG = Rigole in €/m³a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m³a. Minimal-, Median-, und Maximalwerte zusammengetragen aus verschiedenen Bauvorhaben

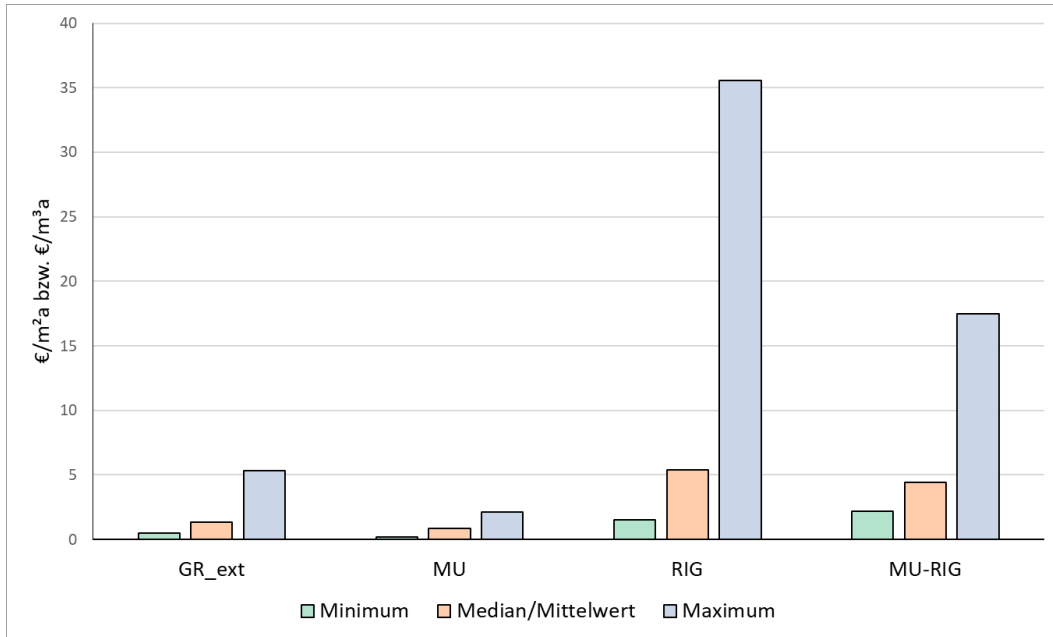


Abbildung 31 Kostenansätze aus (Matzinger et al., 2017) – Kuras, (Sieker - Die Regenwasserexperten, 2018) - Sieker und (Muschalla et al., 2014) – Ecostorma für: MU = Versickerungsmulde in €/m²a, RIG = Rigole in €/m³a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m³a.

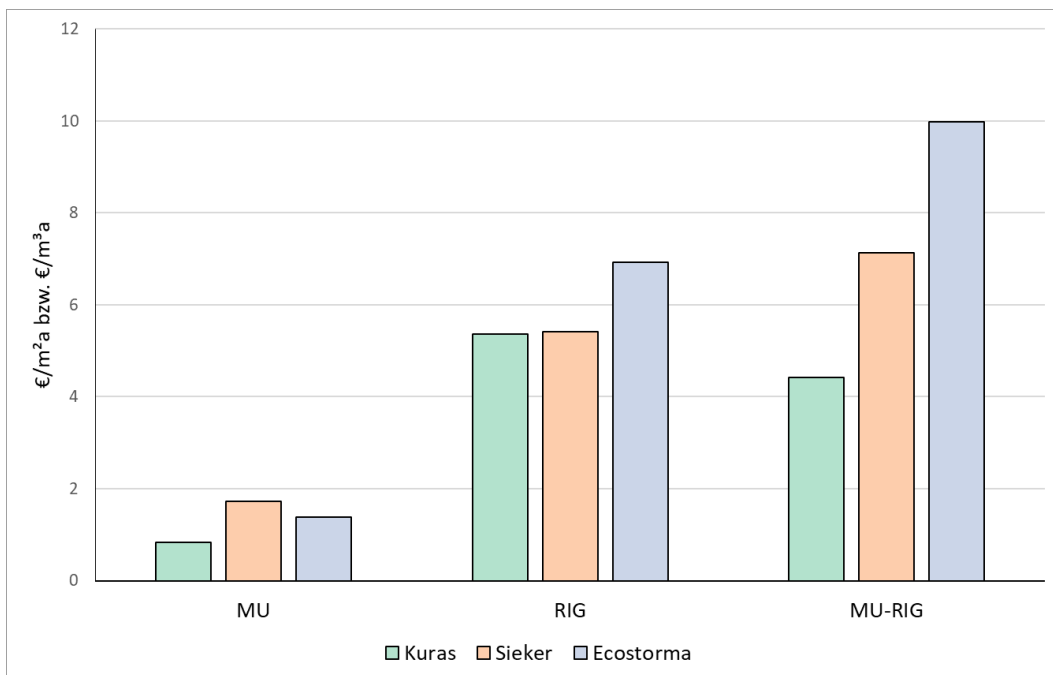
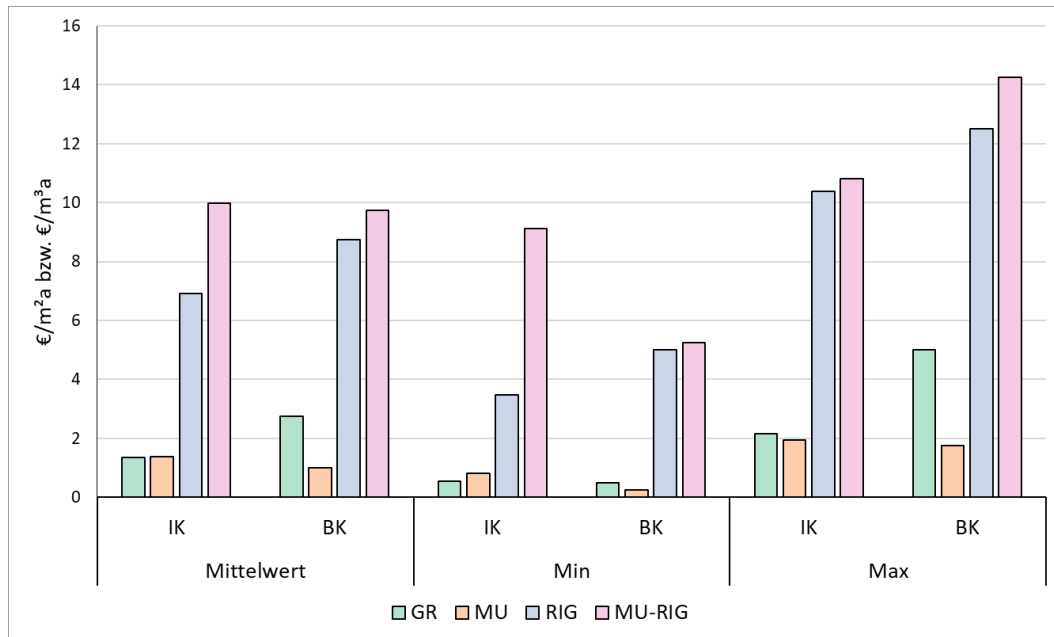


Abbildung 32 Kostenansätze für Investitionskosten (IK) und Betriebskosten (BK) aus (Muschalla et al., 2014) für: GR = Gründach in €/m²a, MU = Versickerungsmulde in €/m²a, RIG = Rigole in €/m³a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m³a. Minimal-, Median-, und Maximalwerte.



3.1.5.2 Anreizsystem: Getrennte Kanalbenutzungsgebühren

Gerade bei der Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Bestand können Anreizsysteme ein wichtiges Mittel zur Steigerung der Umsetzungsbereitschaft sein. Ein mögliches Anreizsystem ist die Einführung getrennter Kanalbenutzungsgebühren („Abwassergebührensplitting“) für Schmutz- und Niederschlagswasser.

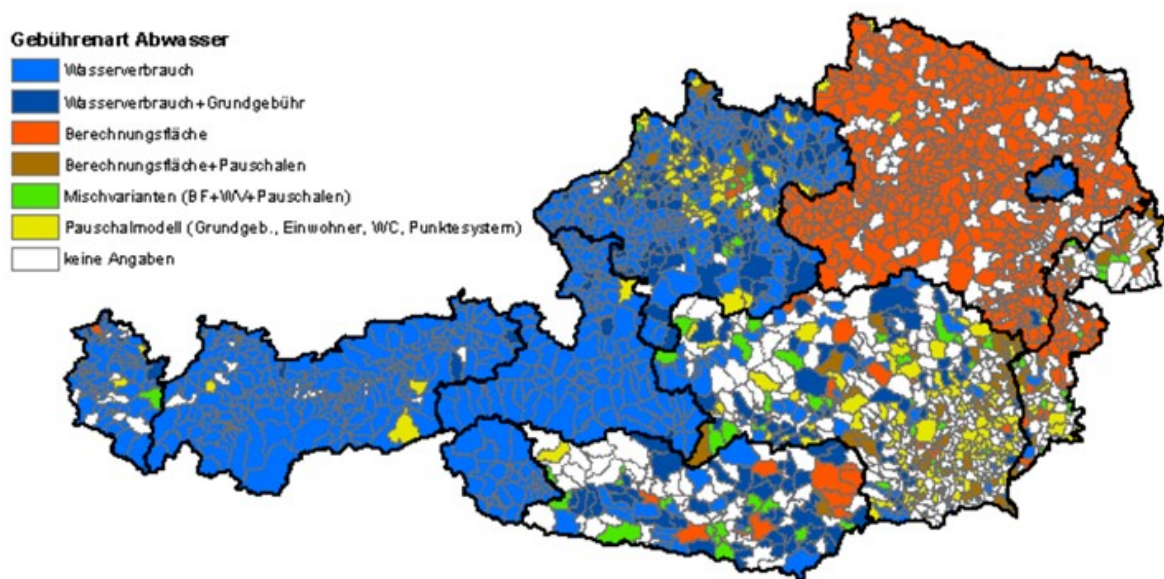
Hierbei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der Berechnungsgrundlage zur Abwassergebührenermittlung und die prozentuale Verteilung in Bundesländern und Gemeinden variiert (Tabelle 11). Auch die räumliche Varianz der verschiedenen Ansätze ist hierbei ausgeprägt (Abbildung 33).

Zum Großteil werden Kanalbenutzungsgebühren in Österreich auf Basis des Wasserverbrauchs (sogenannter Frischwassermaßstab) ermittelt und verrechnet. Grundlage der Berechnung ist hierbei folglich die Menge an verbrauchtem Frischwasser.

Tabelle 11 Abwassergebühren in Österreich – Verteilung nach Gemeinden je Bundesland (KPC, 2012)

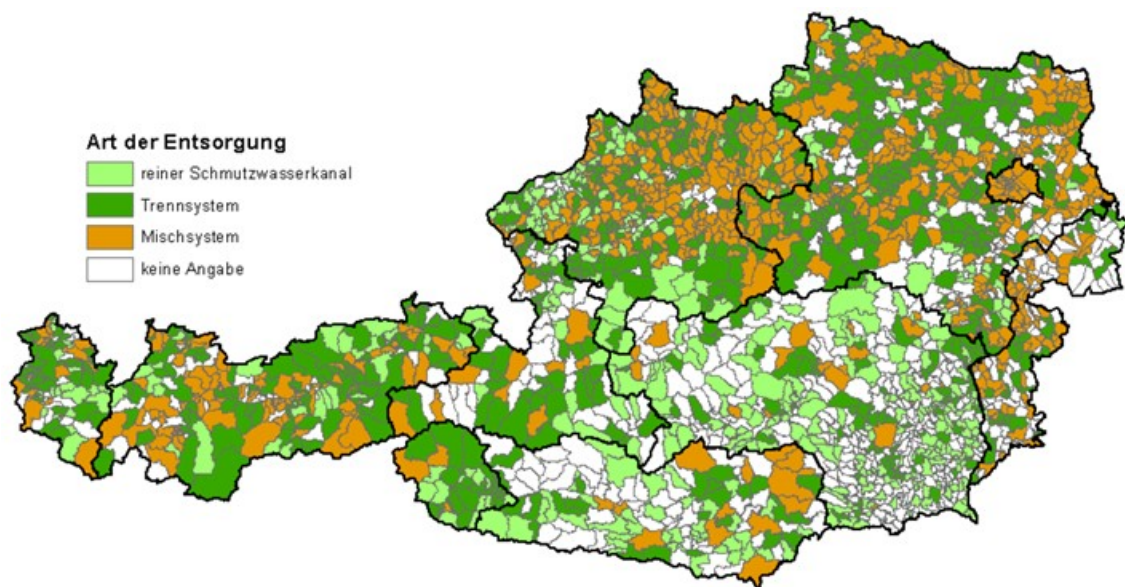
	Wasser- verbrauch [%]	Wasserverbr auch + Grundgebüh r [%]	Berechnungs -fläche [%]	Berechnungs -fläche + Pauschalen [%]	Misch- varianten (Verbrauch + Flächen + Pauschalen) [%]	Pauschal- modelle (WC, Personen, Grundgeb.) [%]
Burgenland	4	3	50	20	12	10
Kärnten	17	53	11	1	17	1
Niederösterreich	0	0	99	0	0	1
Oberösterreich	56	24	1	2	4	14
Salzburg	95	5	0	0	0	0
Steiermark	19	16	4	16	8	37
Tirol	97	1	0	0	0	1
Vorarlberg	87	9	1	0	1	2
Wien	100	0	0	0	0	0
Österreich	40	12	29	4	4	11

Abbildung 33 Abwassergebührensyste in Österreich / Gemeindeebene (KPC, 2012)



In Österreich erfolgt die Entwässerung jedoch größtenteils über Misch- und Trennsystemen (Abbildung 34). Der Ansatz des Frischwasserverbrauchs als Bemessungsgrundlage ist bei dieser Art von Entwässerungssystemen nur für den Schmutzwasseranteil verursachergerecht. Für den Niederschlagswasseranteil ist der Ansatz jedoch nicht mehr verursachergerecht, da die Kosten für die Sammlung und Behandlung von Niederschlagswasser hierbei pauschal enthalten sind. Es macht demzufolge keinen Unterschied, ob das Niederschlagswasser, welches am Grundstück zum Abfluss kommt, in die Kanalisation geleitet wird oder anderweitig bewirtschaftet wird (z. B. Versickerung).

Abbildung 34 Kanalsysteme in Österreich (KPC, 2012)



In Deutschland führte diese Gebührenungerechtigkeit zu mehreren Gerichtsverfahren und in weiterer Folge dazu, dass mittlerweile zum überwiegenden Anteil getrennte Abwassergebühren zum Einsatz kommen. Auch in Österreich (vgl. Abbildung 33 und Abbildung 34) existieren Gebührenmodelle, die der Verursachergerechtigkeit nicht vollends gerecht werden. Um die Abwassergebühren verursachergerecht zu ermitteln, sollte also eine Einteilung erfolgen in:

- Eine Schmutzwassergebühr (nach Frischwasserverbrauch berechnet)
- Eine Niederschlagswassergebühr (berechnet nach dem Anteil an versiegelten und an die Kanalisation angeschlossenen Flächen)

Somit werden dem Verursacherprinzip folgend Bürger, auf deren Grundstück Niederschlagswasserabfluss anfällt, welches über die Kanalisation abgeleitet wird, mit einer

eigenen Gebühr belastet. Somit wird ein Anreiz gesetzt, Flächen zu entsiegeln und Niederschlagswasser beispielsweise zu speichern oder zu versickern.

Nach (Muschalla et al., 2014) sind folgende Schritte bei der Einführung eines Abwassergebührensplittings vorzusehen:

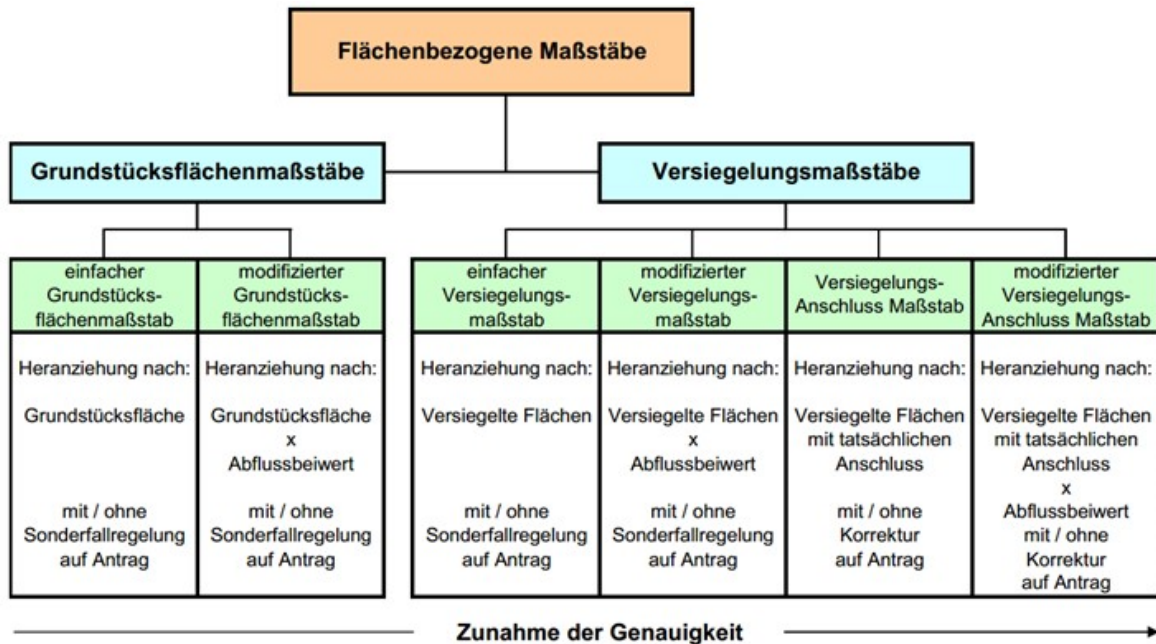
1. Aufteilung der Gesamtkosten des Entwässerungssystems auf die Kostenträger Schmutz- und Niederschlagswasser
2. Festlegung eines flächenbezogenen Maßstabes
3. Flächenermittlung (befestigte, in die Kanalisation entwässernde Flächen)
4. Berechnung der Gebührensätze für die Schmutzwassergebühr [€/m³] und Niederschlagswassergebühr [€/(m²·a)]

Für Grundlagen und den Aufbau einer Kosten- und Leistungsrechnung in der Abwasserentsorgung wird auf den ÖWAV-Arbeitsbehelf 41 „Grundlagen und Aufbau der Kosten- und Leistungsrechnung in der Abwasserentsorgung“ (ÖWAV, 2013) sowie den ÖWAV-Arbeitsbehelf 48 „Grundlagen und Aufbau einer Gebührenkalkulation in der Abwasserentsorgung“ (ÖWAV, 2016) verwiesen.

Für die Aufteilung der Gesamtkosten auf die Kostenträger Schmutz- und Niederschlagswasser gibt es unterschiedliche Ansätze, wie die Verteilungsschlüssel ermittelt werden können. Für das Trennsystem entfällt dieser Schritt. Bei Mischwasserkanalisationen kann z. B. die sogenannte 2-Kanal-Methode zum Einsatz kommen. Hierbei wird ein fiktiver Niederschlagswasser- und Schmutzwasseranteil zugewiesen. Somit wird ein fiktives Trennsystem erstellt, um das Kostenverhältnis von Schmutzwasser- zu Niederschlagswasserkosten zu erhalten.

Bei der Festlegung eines flächenbezogenen Maßstabes gibt es unterschiedliche Möglichkeiten (siehe Abbildung 35).

Abbildung 35 Flächenmaßstäbe zur Festsetzung der Niederschlagsgebühr



Auch bei der eigentlichen Flächenermittlung können unterschiedliche Vorgehensweisen wie eine eigene Erhebung des Auftraggebers, die Hochrechnung von Musterflächen, Selbstauskunftsverfahren, Auswertung von Luftbildaufnahmen, usw., herangezogen werden. Von Vorteil ist hierbei auch, dass durch die Ermittlung der Flächen sehr detaillierte Daten für die mögliche Modellierung (teilflächendifferenzierte Abbildung) vorhanden sind.

Schlussendlich lassen sich die Abwassergebühren berechnen:

$$\text{Schmutzwassergebühr} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = \frac{\text{Jährliche Kosten SW} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right]}{\text{Jährlicher Trinkwasserverbrauch} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right]}$$

$$\text{Niederschlagswassergebühr} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{a}} \right] = \frac{\text{Jährliche Kosten NW} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right]}{\text{Gebührenrelevante Flächen} \left[\text{m}^2 \right]}$$

Weiterführende Informationen zum Abwassergebührensplitting finden sich u.a. in (Muschalla et al., 2014) und (Scheucher, 2006).

3.2 Rechtliche und technische Randbedingungen

Niederschlagswasserbewirtschaftung ist aus rechtlicher Sicht eine Querschnittsmaterie. Unterschiedliche Gesetze und Richtlinien auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene haben Einfluss auf die Umsetzbarkeit von Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Auf Grund der Vielzahl an Bestimmungen kann hier nur ein Überblick über die rechtliche Situation gegeben werden. Die genauen Rahmenbedingungen müssen in den einzelnen Fällen geprüft werden.

(Kroiss und Waitz, 2011) bieten eine ausführliche Zusammenstellung der rechtlichen Grundlagen für die Niederschlagswasserbewirtschaftung. Auf Bundesebene sind vor allem die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV) und das Wasserrechtsgesetz (WRG) von Bedeutung. In der AAEV (§ 1 Abs 3 Z 3) findet sich die Definition von Niederschlagswasser.

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

Das WRG regelt unter anderem die Bewilligungspflicht von Maßnahmen, welche einen Einfluss auf die Gewässerbeschaffenheit haben (WRG §32). Um die QZV Chemie GW, die QZV Chemie OG aber auch die QZV Ökologie OG einzuhalten, spielt das Ausmaß der Verunreinigung des Niederschlagswassers eine wesentliche Rolle. Als Grundlage hierfür dient die Flächentypeneinteilung des (ÖWAV-Regelblatt 45, 2014), welches die Behandlung von Niederschlagswässern beinhaltet. Zusätzlich bietet das Regelblatt eine Übersicht über Anforderungen bei Versickerung und bei Einleitung in Oberflächengewässer je Flächentyp.

Auf Landesebene ist die Niederschlagswasserbewirtschaftung vorrangig über die Bauordnung sowie über Bestimmungen zur Einleitung von Niederschlagswasser in den Kanal in Gesetzen inkludiert. Hierzu zählen das Bgld. Kanalanschlußgesetz, das Ktn. Gemeindekanalisationsgesetz, das NÖ Kanalgesetz, das Oö. Abwasserentsorgungsgesetz, das Steiermärkische Kanalgesetz, das Benützungsgebührengesetz (Salzburg), das Tiroler Kanalisationsgesetz, das Vorarlberger Kanalisationsgesetz sowie das Kanalanlagen- und Einmündungsgebührengesetz (Wien).

Die Landesgesetze überlassen den Gemeinden einen unterschiedlichen Grad an Selbstbestimmung in Bezug auf Niederschlagswasserbewirtschaftung. Während eine oberösterreichische Gemeinde eine eigene Kanalordnung erlassen muss und damit die Einleitungsbedingungen definieren kann, können niederösterreichische Gemeinden nur Gebühren für Niederschlagswassereinleitung festlegen, wobei auch diese vom Landesgesetz beschränkt sind (Kroiss und Waitz, 2011).

Die **Raumordnungsgesetze der Bundesländer** enthalten unterschiedliche Möglichkeiten, das Thema Niederschlagswasser in den Planungsinstrumenten der örtlichen Raumplanung aufzugreifen. Für die Berücksichtigung des Themas in mittelfristigen Entwicklungsstrategien von Gemeinde und die vorausschauende Sicherung von Flächen (z.B. für die Versickerung von Regenwasser) ist es notwendig, das Thema Oberflächenentwässerung nicht erst im Bauverfahren, sondern bereits im Rahmen der örtlichen Raumplanung zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurde eine Übersicht der jeweiligen Bestimmungen der Raumordnungsgesetze erstellt.

Allgemein stehen in Österreich folgende Instrumente auf örtlicher Ebene zur Verfügung:

Das **Örtliche Entwicklungskonzept** als mittelfristige (10-25 Jahre) Entwicklungsstrategie einer Gemeinde (nicht parzellenscharf).

Der **Flächenwidmungsplan** (Maßstab 1:5000) als zentrales Instrument der örtlichen Raumplanung mit einer parzellenscharfen räumlichen Gliederung mit verbindlichen Nutzungskategorien (Widmungen) und Kenntlichmachung übergeordneter Planungsinhalte.

Der **Bebauungsplan** (Maßstab 1:1000) kann detaillierte Regelungen für Bebauung, Verkehrserschließung und Grünflächen enthalten und für eine gesamte Gemeinde oder Teilgebiete erlassen werden.

Einen Überblick über ausgewählte Grundsätze und Ziele, Planungsinstrumente, Rahmenbedingungen für die Eignung als Bauland sowie Möglichkeiten der Bebauungsplanung der unterschiedlichen Bundesländer bietet Kapitel 11.1.

Die **Grundsätze und Ziele** der jeweiligen Gesetze bieten unterschiedliche Ansatzpunkte zur Berücksichtigung von Niederschlagswasser im Bereich der örtlichen Raumplanung. Diese umfassen beispielsweise:

- den umfassenden Schutz der Umwelt vor schädlichen Einwirkungen sowie die Sicherung oder Wiederherstellung eines ausgewogenen Naturhaushaltes;

- eine verstärkte Berücksichtigung der Umweltschutzbelange und entsprechende Wahrnehmung der Klimaschutzbelange bei der Abwägung ökologischer und ökonomischer Ansprüche an den Raum
- die möglichst sparsame Verwendung von Grund und Boden
- die Begrenzung und räumliche Verdichtung von Siedlungsbereichen
- die Entwicklung der Siedlungsstruktur in Bereichen, die bereits mit Infrastruktur erschlossen sind, oder mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand erschlossen werden können
- die Sicherstellung der ordnungsgemäßen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Planungsinstrumente: Für die oben angeführten Instrumente der örtlichen Raumplanung variieren die gesetzlichen Bestimmungen in den Bundesländern, dementsprechend sind sie unterschiedlich etabliert, auch Zusammenhänge zwischen den Instrumenten unterscheiden sich. Das Instrument des Flächenwidmungsplans ist jenes, welches in allen Bundesländern vorhanden ist. Entwicklungskonzepte und Bebauungspläne sind je nach Bundesland entweder verpflichtend zu erstellen, oder Instrumente, die weitere Möglichkeiten zur Steuerung der räumlichen Entwicklung und Bebauung in den Gemeinden bereitstellen. Auf Ebene der Widmung besteht die Möglichkeit, **Flächen**, die im Zusammenhang der Behandlung von Niederschlagswasser stehen zu **sichern bzw. von einer Bebauung freizuhalten**.

Einer der Ansatzpunkte im Kontext der Flächenwidmung ist der Aspekt der **Bauland-Eignung**: Hier wird in den jeweiligen Gesetzen definiert, welche Flächen sich grundsätzlich als Bauland eignen. In manchen Bundesländern findet sich hier ein Verweis auf die wirtschaftlichen Kosten, die mit der infrastrukturellen Ver- und Entsorgung (Wasser, Abwasser, ...) verbunden sind.

Die räumlich detaillierteste Möglichkeit auf die Ausgestaltung von Bebauung, Verkehrsflächen und Grünflächen Einfluss zu nehmen, bietet der **Bebauungsplan**. Die Regelungen der Bundesländer bieten u.a. Möglichkeiten das bauliche Ausmaß einzuschränken (Mindest- bzw. Höchstausmaße), konkrete Vorgaben für die äußere Gestaltung (Firstrichtung, Dachform, Dachneigung) zu machen, die Versickerung bzw. Ableitung von Niederschlagswässern einzuschränken, Bestimmungen über Maßnahmen der Dach- und Gebäudebegrünung, den Erhalt oder die Schaffung von Grünflächen zu treffen sowie den Ausbau und die Ausgestaltung von öffentlichen und privaten Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze) zu bestimmen.

Zusätzlich wurde in vielen Bundesländern (Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, 2016; Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2007; ANKOWITSCH et al., 2012; Buchgeher et al., 2008; Grimm und Achleitner, 2010a) Leitfäden für den Einsatz von Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen herausgegeben (siehe Tabelle 12). Neben einer Zusammenfassung der rechtlichen Grundlagen beinhalten die Leitfäden Grundlagen zu unterschiedlichen Maßnahmen. Fast alle bauen auf den im ÖWAV-Regelblatt 35 bzw. 45 (ÖWAV, 2003, 2015a) definierten Flächentypen auf. Einzig im niederösterreichischen Leitfaden findet sich die Einteilung nicht wieder. Hier wird jedoch ein genauerer Planungsprozess als in den anderen beschrieben (Grimm und Achleitner, 2010a). Die Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Niederschlagswasser im Rahmen der örtlichen Raumplanung werden in den Leitfäden in unterschiedlichem Ausmaß dargestellt bzw. aufgegriffen.

Tabelle 12 Leitfäden der Bundesländer zum Umgang mit Niederschlagswasser (Stand März 2018)

Bundesland	Titel des Leitfadens	Jahr	Raumplanung thematisiert
Niederösterreich	Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete – Leitfaden für die Planung	02/2010	Ja
	Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete - Leitfaden für Gemeinden		
	Maßnahmenkatalog für einen Nachhaltigen Umgang mit Wasser und Boden in NÖ Gemeinden	03/2010	Ja
Oberösterreich	Beseitigung von Dach-, Parkplatz- und Straßenwässern Grundsätze aus wasserrechtlicher und wasserwirtschaftlicher Sicht – Leitfaden	09/2008	Nein
Salzburg	Handbuch Raumordnung Salzburg (Kapitel 7.2)	2012	Ja
Steiermark	Leitfaden für Oberflächenentwässerung	08/2017	Ja
Kärnten	Leitfaden zur Verbringung von Oberflächenwässern für das Bundesland Kärnten	10/2016	Nein
Tirol	Leitfaden Entsorgung von Oberflächenwässern	10/2016	Nein
Vorarlberg	Oberflächenentwässerung - Leitfaden zum Umgang mit Niederschlagswässern aus Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächen	07/2007	Nein
	Entsiegeln und Versickern - Leitfaden für den Wohnbau	07/2008	(Ja)

Weiters gibt es eine Reihe an technischen Normen und Regelwerken, welche für die Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) relevant sind. Diese umfassen unterschiedliche Aspekte der NWB, von generellen Zielen der Entwässerung (z.B.: EN 752, DWA A 100) über die Wahl des Entwässerungssystems (z.B.: ÖWAV-RB 9, ATV A 105) bis zur detaillierten Ausführung (z.B.: ÖWAV-RB 11, ÖWAV-RB 19, ÖNORM B 2506-1). Eine Zusammenstellung relevanter Regelwerke und Normen ist in Tabelle 13 zu finden.

Tabelle 13 Relevante Regelwerke und Normen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

ÖWAV-Regelwerke	
ÖWAV-Regelblatt 9	Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren..
ÖWAV-Regelblatt 11	Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen
ÖWAV-Regelblatt 19	Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen
ÖWAV-Regelblatt 35	Behandlung von Niederschlagswässern
ÖWAV-Regelblatt 45	Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund
Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS)	
RVS 03.08.65	Straßenentwässerung
RVS 04.04.11	Gewässerschutz an Straßen
DWA-Regelwerke	
ATV A 105	Wahl des Entwässerungssystems
ATV A 111	Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen in Abwasserkanälen und -leitungen
ATV A 121	Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer, Niederschlagsmessungen, Auswertung
ATV A 128	Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen
ATV A 200	Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten
ATV-DVWK M 176	Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung
ATV-DVWK-A 157	Bauwerke der Kanalisation
ATV-DVWK-M 165	Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Stadtentwässerung
ATV-DVWK-M 177	Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen – Erläuterungen und Beispiele

ATV-M 101	Planung von Entwässerungsanlagen – Neubau-, Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen
DWA A 100	Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)
DWA A102	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer (Entwurf)
DWA A 110	Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen
DWA A 112	Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserleitungen und -kanälen
DWA A 117	Bemessung von Regenrückhalteräumen
DWA A 118	Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen
DWA A 133	Wertermittlung von Abwasseranlagen – Systematische Erfassung, Bewertung und Fortschreibung
DWA A 138	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA A 166	Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung, Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung
DWA A 178	Retentionsbodenfilteranlagen (Entwurf)
DWA M 153	Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser
DWA M 178	Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem
Normen	
ÖNORM B 2400	Hydrologie – Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen
ÖNORM B 2500	Abwassertechnik – Entstehung und Entsorgung von Abwasser - Benennungen und ihre Definitionen sowie Zeichen
ÖNORM B 2503	Kanalanlagen - Planung, Ausführung, Prüfung, Betrieb - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 476, ÖNORM EN 752 und ÖNORM EN 1610
ÖNORM B 2506-1	Regenwässer-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb
ÖNORM B 2506-2	Regenwässer-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser, sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen
ÖNORM B 2506-3	Regenwasser - Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 3: Filtermaterialien (Anforderungen und Prüfmethode)
ÖNORM B 2572	Grundsätze der Regenwassernutzung
ÖNORM B 2607	Spielplätze – Planungsrichtlinien
ÖNORM B 4422-1	Erd- und Grundbau – Untersuchung von Bodenproben Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit – Laborprüfungen

ÖNORM B 4422-2	Erd- und Grundbau – Untersuchung von Böden Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit – Feldmethoden für oberflächennahe Schichten
ÖNORM B 5101	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten (z.B. Öl und Benzin) – Ergänzende Anforderungen zu den ÖNORMEN EN 858-1 und –2, Kennzeichnung der Normkonformität
ÖNORM B 5102	Reinigungsanlagen für Regenwasser von Verkehrs- und Abstellflächen (Verkehrsflächen – Sicherungsschächte)
ÖNORM EN 1433	Entwässerungsrinnen für Verkehrsflächen
ÖNORM EN 16192	Charakterisierung von Abfällen – Analyse von Eluaten
ÖNORM EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
ÖNORM EN 858-1	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten (z.B. Öl und Benzin), Teil 1: Bau-, Funktions- und Prüfgrundsätze, Kennzeichnung und Güteüberwachung
ÖNORM EN 858-2	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten (z.B. Öl und Benzin), Teil 2: Wahl der Nenngröße, Einbau, Betrieb und Wartung
ÖNORM EN ISO 22475-1	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung
ÖNORM L 1050	Boden als Pflanzenstandort – Begriffe und Untersuchungsverfahren
ÖNORM L 1066	Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Versickerungsintensität mit dem Doppelring- Infiltrimeter (Feldmethode)
ÖNORM L 1080	Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung mit und ohne Berücksichtigung von Carbonaten
ÖNORM L 1081	Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch Nassoxidation
ONR 121131	Qualitätssicherung im Grünraum. Gründach – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Erhaltung
Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V. (FLL)	
	Richtlinie für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen
	Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen
	Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung

3.3 Einzugsgebietsbezogene Randbedingungen

Die Möglichkeiten des Einsatzes unterschiedlicher Maßnahmen werden unter anderem durch natürliche Randbedingungen bestimmt. Bei bestimmten vorherrschenden Randbedingungen bedarf es einer genauen Prüfung der Einsetzbarkeit bestimmter Maßnahmen. Im Folgenden

werden unterschiedliche Randbedingungen und deren Einfluss auf die Anwendbarkeit mehrerer Maßnahmen beschrieben. Die Wirkung der Randbedingungen auf die Maßnahmen wird qualitativ dargestellt und nach Möglichkeit um konkrete Zahlen aus der Literatur ergänzt. Der Einfluss der Grundbedingungen auf die Anwendbarkeit einzelner Maßnahmen oder Maßnahmengruppen ist in Tabellenform zusammengefasst und farblich gekennzeichnet. Grüne Zellen stellen eine generell gute Anwendbarkeit unter den gegebenen Bedingungen dar und orangene Zellen signalisieren, dass eine Umsetzung der Maßnahme schwierig oder eine genauere Prüfung notwendig ist. Die untersuchten Maßnahmen entsprechen den Maßnahmen aus Kapitel 4.2, welche zum Teil nach den vorherrschenden Prozessen (Ableitung, Retention, Versickerung) zusammengefasst sind.

3.3.1 Klimatische und meteorologische Randbedingungen

3.3.1.1 Niederschlag

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen sind auf eine Bemessungsregenspende auszulegen, welche charakteristisch für das geografische Gebiet ist (Ankowitz et al., 2012). Sie ist über die Wiederkehrzeit und Dauer eines Niederschlagsereignisses definiert (Grimm und Achleitner, 2010b). Die zu wählende Wiederkehrzeit, für welche keine Überlastung auftritt, ist abhängig von der Landnutzung und in Tabelle 14 angeführt.

Tabelle 14 Wiederkehrzeit für Bemessungsregenspende nach ÖNORM EN 752 (Überlastung)

Flächennutzung	Wiederkehrzeit (1 mal in „n“ Jahren)
Ländliche Gebiete	1 in 1
Wohngebiete	1 in 2
Stadtzentren, Industrie und Gewerbegebiete	1 in 5
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10

Die zu wählende Wiederkehrzeiten, für welche keine Überflutung auftritt, sind in Tabelle 15 dargestellt und abhängig vom Schadens- oder Gefährdungspotential.

Tabelle 15 Wiederkehrzeit für Bemessungsregenspende nach ÖRNORM EN 752 (Überflutung)

Auswirkung	Beispielhafte Orte	Wiederkehrzeit (1 mal in „n“ Jahren)
Sehr gering	Straßen, offene Flächen abseits von Gebäuden	1 in 1
Gering	Agrarland	1 in 2
Gering bis mittel	Für öffentliche Einrichtungen genutzte offene Flächen	1 in 3
Mittel	An Gebäude angrenzende Straßen oder offene Flächen	1 in 5
Mittel bis stark	Überflutung in genutzten Gebäuden (exkl. Kellerräume)	1 in 10
Stark	Hohe Überflutung in genutzten Kellerräumen oder Straßenunterführungen	1 in 30
Sehr Stark	Kritische Infrastruktur	1 in 50

Die Bemessungsregenspende hat somit Einfluss auf die Größe der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und bei oberirdischen Maßnahmen somit auch auf den Flächenbedarf.

3.3.1.2 Temperatur

Beim Einsatz von Regentonnen und Regenzysternen für die Regenwassernutzung ist auf die Umgebungstemperatur zu achten. Um eine Nutzung bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu ermöglichen, müssen diese unterirdisch oder in Gebäuden untergebracht sein. Im Außenbereich können Regentonnen nur saisonal Verwendung finden (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010).

3.3.2 Geologische Randbedingungen

3.3.2.1 Bodendurchlässigkeit

Die Durchlässigkeit des Bodens hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Wahl des Entwässerungsverfahrens, da sie vor allem die Anwendbarkeit von Versickerungsmaßnahmen beeinflusst. Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist abhängig von dessen Zusammensetzung. Während feinsandige bis kiesige Böden eine gute Sickerfähigkeit aufweisen, ist diese bei schluffigen und tonigen Böden geringer (Grimm und Achleitner, 2010b). Die Sickerfähigkeit variiert stark innerhalb der Bodenarten und kann vom

Untergrund, der Bodenstruktur und auch Bauarbeiten beeinflusst werden. Daher werden Sickerversuche zur genauen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes empfohlen (Woods Ballard et al., 2015a).

Ein geringer Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) des Bodens bewirkt, dass eine Retention vor der Versickerung notwendig ist (Grimm und Achleitner, 2010b). Die Mächtigkeit und räumliche Verteilung von Schichten mit geringem kf-Wert sollte ermittelt werden (Ankowitsch et al., 2012). Ist der Durchlässigkeitsbeiwert jedoch zu groß, kann auch das Grundwasser gefährdet sein, da die Filterwirkung des Bodens nicht gegeben ist (Woods Ballard et al., 2015a). Daher sind in der Literatur für Versickerungsmaßnahmen sowohl maximale als auch minimale Durchlässigkeitsbeiwerte für den Einsatz zu finden.

Im Allgemeinen wird für Versickerungsanlagen ein kf-Wert zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $1 \cdot 10^{-5}$ m/s empfohlen. Bei größeren kf-Werten (bis $2 \cdot 10^{-4}$ m/s) kann bei genauerer Betrachtung auch der Abfluss von wenig verschmutzten Flächen versickert werden (Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, 2016). Bei kleineren kf-Werten wird ein Einsatz von Versickerungsanlagen primär im dezentralen Raum empfohlen (KURAS, 2016). In Tabelle 16 ist der Einfluss des kf-Werts auf den Einsatz unterschiedlicher Maßnahmen zu sehen.

Tabelle 16 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Durchlässigkeitsbeiwerts

Kf-Wert (m/s)	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ableitung über Mischwasserkanal	+	+	+	+	+
Ableitung über Regenwasserkanal	+	+	+	+	+
Ableitung über Transportmulden und Gräben	+	+	+	+	+
Retention in Speicherkanälen	+	+	+	+	+
Fassadenbegrünung	+	+	+	+	+
Gründach	+	+	+	+	+
Regentonne, Regenzisterne	+	+	+	+	+
Flächenversickerung	-	+	+	+	-

Muldenversickerung	-	+	+	+	-
Beckenversickerung	-	-	+	+	-
Rigolen- oder Rohrversickerung	-	-	+	+	-
Schachtversickerung	-	-	+	+	-
Mulden-Rigolen/Rohr- Versickerung	-	-	+	+	-
Retentionsraumversickerung (Teich)	-	-	+	+	-

3.3.2.2 Untergrund

Neben der Sickerfähigkeit des Bodens gibt es auch andere Eigenschaften des Untergrunds, welche vor allem bei Versickerungsmaßnahmen betrachtet werden müssen. Zum einen ist die Möglichkeit der Elution wasserlöslicher Substanzen, welche einen negativen Einfluss auf das Grundwasser haben könnten, zu prüfen. Zum anderen ist die Veränderbarkeit des Untergrundes auf Grund von Veränderungen der Bodensättigung, des Wasserdrucks oder der Durchströmung zu beachten (Ankowitsch et al., 2012). Besonders in Hanglagen ist die Erhaltung der Stabilität des Hangs bei Versickerung wichtig (Woods Ballard et al., 2015a).

3.3.3 Strukturelle und städtebauliche Randbedingungen

Art und Dichte der Bebauung haben einen Einfluss auf den Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Zum einen ist die Flächenverfügbarkeit in einem Siedlungsgebiet von Bedeutung für Maßnahmen, welche an der Oberfläche gesetzt werden und zum anderen kann die Bebauung selbst Einfluss auf die Machbarkeit einzelner Maßnahmen haben. Weiters ist die Einsatzmöglichkeit mancher Maßnahmen von der Oberflächenbeschaffenheit der abflusswirksamen Flächen abhängig. Diese Aspekte werden in den folgenden Unterkapiteln behandelt.

3.3.3.1 Siedlungsstruktur und Flächenverfügbarkeit

Die Dichte der Bebauung ist ein Indikator für die Flächenverfügbarkeit in einer Siedlung. Zusätzlich sind Informationen über die Bevölkerungsdichte ableitbar. Die Bevölkerungsdichte hat einen Einfluss auf die Notwendigkeit von weitergehender Behandlung des Niederschlagswassers, da diese bei einem Verhältnis von Personen in einem Einzugsgebiet zum mittlern Gewässerabfluss (l/s) größer als 10 zu prüfen ist (ÖWAV, 2003). Bei der

Flächenverfügbarkeit spielen je nach Maßnahme die Größe, Breite und Länge der verfügbaren Fläche, die Entfernung zu Gebäuden bzw. die Gestaltung der Gebäude eine Rolle.

Die Gestaltung von Gebäuden stellt eine Randbedingung für den Einsatz von Gründächern und Fassadenbegrünungen dar. Bei denkmalgeschützten Gebäuden kann der Einsatz dieser Maßnahmen beschränkt sein, weshalb eine genaue Prüfung der Anwendbarkeit notwendig ist (KURAS, 2016). Für die Anwendung von Gründächern spielen zum einen die Dachform und zum anderen statische Anforderungen eine wichtige Rolle. Gründächer werden meist als Flachdächer mit geringem Gefälle ausgeführt. Extensive Aufbauten können auch bei größeren Neigungen eingesetzt werden, jedoch sind ab etwa 30 % zusätzlich Schubswellen einzubauen. Der Aufbau des Gründaches ist ausschlaggebend für die Traglast, welche das Dach aufnehmen können muss. Während bei extensiver Begrünung eine Last von 50 bis 170 kg/ m² aufgebracht wird, liegen intensive Begrünungen im Mittel bei 200 bis 300 kg/m². Die Last ergibt sich unter anderem durch das im Substrat speicherbare NW, welches einen wesentlichen Anteil des Gewichts ausmacht (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2010). Die Randbedingungen für intensive und extensive Gründächer sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17 Gebäudespezifische Randbedingungen für den Einsatz von Gründächern
(Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2010)

	Neigung			Traglast	
	< 10°	10° - 45°	> 45°	<170 kg/m ²	>170 kg/m ²
Extensives Gründach	+	+	-	+	+
Intensives Gründach	+	-	-	-	+

Die Verfügbarkeit an Freifläche im Verhältnis zur entwässerten Fläche ist eine Randbedingung beim Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen an der Oberfläche. Zum einen sind Freiflächen für die Versickerung notwendig und zum anderen für die oberflächige Ableitung von NW. Zur Evaluierung des verfügbaren Platzes für kann der Versiegelungsgrad an einem Standort herangezogen werden (Kruse et al., 2014). Die notwendige Maßnahmenfläche reicht von 10 % der entwässerten Fläche bei Retentionsraumversickerung bis zu mehr als 50% bei Flächenversickerung (KURAS, 2016). Desto größer das vorhandene Retentionsvolumen und der Sickerbeiwert sind desto geringer ist der Flächenbedarf. Die genauen Randbedingungen des Flächenverbrauchs sind in Tabelle 18 gegeben.

Tabelle 18 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Flächenbedarfs der Maßnahmen im Verhältnis zur entwässerten Fläche

Flächenbedarf (%)	0	10	20	30	40	50	60	>60
Ableitung über Mischwasserkanal	+	+	+	+	+	+	+	+
Ableitung über Regenwasserkanal	+	+	+	+	+	+	+	+
Ableitung über Transportmulden und Gräben	-	+	+	+	+	+	+	+
Retention in Speicherkanälen	+	+	+	+	+	+	+	+
Fassadenbegrünung	+	+	+	+	+	+	+	+
Gründach	+	+	+	+	+	+	+	+
Regentonne, Regenzisterne	+	+	+	+	+	+	+	+
Flächenversickerung	-	-	-	-	-	+	+	+
Muldenversickerung	-	-	+	+	+	+	+	+
Beckenversickerung	-	-	+	+	+	+	+	+
Rigolen- oder Rohrversickerung	-	+	+	+	+	+	+	+
Schachtversickerung	-	+	+	+	+	+	+	+
Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung	-	+	+	+	+	+	+	+
Retentionsraumversickerung (Teich)	-	+	+	+	+	+	+	+

Die Entfernung von Versickerungsmaßnahmen zu Gebäuden muss in der Beurteilung der verfügbaren Freiflächen mitberücksichtigt werden. Ein minimaler Abstand von vier bis fünf Meter wird empfohlen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). Als weitere Grenze ist ein minimaler Abstand, welcher der 1,5-fachen Kellertiefe entspricht, in der Literatur zu finden (Grimm und Achleitner, 2010b).

Weiters wird für straßenbegleitende Retentionsmulden idealerweise eine minimale Breite von 1 m empfohlen, um ausreichend Retentionsvolumen bei flacher Böschung zu gewährleisten (Grimm und Achleitner, 2010b). Eine weitere Einschränkung stellt der maximale Fließweg über versiegelte Flächen vor Flächenversickerungsmaßnahmen dar, da es

ab einem Fließweg von mehr als 25 m zu einer Konzentration des Abflusses kommt und die flächige Verteilung des Abflusses somit nicht gegeben ist (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010).

3.3.3.2 Oberflächenbeschaffenheit

Zu den städtebaulichen Randbedingungen zählt auch die Art bzw. Nutzung der entwässerten Fläche (ÖWAV, 2008). Je nach Beschaffenheit der Oberfläche ist mit einem unterschiedlich starken Austrag von organischen und anorganischen Stoffen zu rechnen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). In den ÖWAV-Regelblättern 35 (2003) und 45 (ÖWAV, 2015a) ist eine Einteilung der Verunreinigung von NW-Abflüssen in Abhängigkeit der abflusswirksamen Fläche zu finden. Die Flächentypen des Regelblattes sind in Tabelle 19 wiederzufinden und beeinflussen den Einsatz unterschiedlicher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Bei dem Nutzen von NW zur Bewässerung ist zusätzlich das Vorkommen von mit Biozid behafteten abflusswirksamen Flächen zu prüfen (KURAS, 2016).

Abbildung 36 : Einteilung der Niederschlagsabflüsse nach Herkunftsfläche (ÖWAV Regelblatt 45, 2015a)

Flächentyp	Art der Fläche
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen (Glas-, Grün-, Kies- und Tondächer, zementgebundene und kunststoffbeschichtete Deckungen), gering verschmutzt. • Alle anderen Dachflächenmaterialien und Terrassen (gering verschmutzt) mit einem Gesamtflächenanteil nicht größer als 200 m² projizierter Fläche. • Rad- und Gehwege. • Nicht befahrene Vorplätze und Zufahrten für Einsatzfahrzeuge.
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen und Terrassen, gering verschmutzt, die nicht dem Flächentyp F1 zugeordnet werden können. • Parkflächen für Pkw nicht größer als 20 Parkplätze bzw. 400 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt). • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit nicht häufigem Fahrzeugwechsel (Wohnhausanlagen, Mitarbeiterparkplätze bei Betrieben, Park-and-Ride-Anlagen und Parkplätze mit ähnlich geringem Fahrzeugwechsel). • Fahrflächen mit einer JDTV bis 500 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen bis 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke.
F3	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit häufigem Fahrzeugwechsel (z. B. Kundenparkplätze von Handelsbetrieben, wie z. B. Einkaufsmärkte). • Parkflächen für Pkw größer 75 Parkplätze und nicht größer als 1.000 Parkplätze. • Fahrflächen mit einer JDTV von 500 bis 15.000 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen größer 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke. • Park- und Stellflächen für Lkw, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen (z. B. Verluste von Kraft- und Schmierstoffen, Frostschutzmitteln, Flüssigkeiten aus Brems- oder Klimatisierungssystemen etc.) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.
F4	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer 1.000 Parkplätze (z. B. Einkaufszentren). • Betriebliche Fahrflächen mit einer JDTV über 15.000 Kfz/24 h (Straßen mit in der Regel mehr als zwei Fahrstreifen). • Betriebliche Fahrflächen, Plätze und Flächen mit starker Verschmutzung z. B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen und Märkte.
F5	<ul style="list-style-type: none"> • Park- und Stellflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Dachflächen, stark verschmutzt (z. B. in Industriezonen mit hohen Emissionen). • Sonstige Flächen, stark verschmutzt.

Abbildung 37 Herkunftsflächen und damit verbundene Entwässerungsanlagen (ÖWAV Regelblatt 45, 2015a)

FLÄCHENTYP gemäß Tab. 2	Systeme mit mineralischem Filter		Systeme mit Rasen			Systeme mit Bodenfilter		Systeme mit technischem Filter		
	Sickerschacht	Unterirdischer Sickerkörper (Rigolenversickerung)	Rasenfläche	Rasenmulde	Rasenbecken	Bodenfilter in Mulden-/Rinnenform	Bodenfilter in Beckenform	Sickerschacht mit technischem Filter	Technischer Filter in Mulden-/Rinnenform	Technischer Filter in Beckenform
F1	M	M	x	x	x	x	x	x	x	x
F2	–	–	x	x	x	x	x	M	x	x
F3	–	–	M ²⁾	–	–	x	x	i. B.	M	M
F4	–	–	–	–	–	x	x	i. B.	M	M
F5	–	–	–	–	–	i. B.	i. B.	i. B.	i. B.	i. B.

Empfohlen (x):

Die Anwendung dieser Entwässerungssysteme ist für den jeweiligen Flächentyp aus Sicht des Grundwasserschutzes anzustreben.

Zulässig (M):

Diese Entwässerungssysteme stellen aus Sicht des Grundwasserschutzes die Mindestanforderung dar und können für den jeweiligen Flächentyp zur Anwendung kommen.

Zulässig nach individueller Beurteilung (i. B.):

Diese Entwässerungssysteme können für den jeweiligen Flächentyp nur dann zur Anwendung kommen, wenn ein gesonderter Nachweis der erforderlichen Reinigungsleistung vorliegt.

Nicht zulässig (–):

Diese Entwässerungssysteme dürfen für den jeweiligen Flächentyp nicht zur Anwendung kommen.

Tabelle 19 Anwendbarkeit von NBW-Maßnahmen in Abhängigkeit des Flächentyps

Flächentyp nach ÖWAV Regelblatt 35	F1	F2	F3	F4	F5
Ableitung über Mischwasserkanal	+	+	+	+	+
Ableitung über Regenwasserkanal	+	+	+	-	-
Ableitung über Transportmulden und Gräben	+	+	+	-	-
Retention in Speicherkanälen	+	+	+	+	+
Fassadenbegrünung	+	+	+	+	+
Gründach	+	+	+	+	+
Regentonne, Regenzisterne	+	+	+	+	+
Flächenversickerung	+	+	-	-	-
Muldenversickerung	+	+	+	-	-
Beckenversickerung	+	+	+	-	-
Rigolen- oder Rohrversickerung	+	-	-	-	-
Schachtversickerung	+	-	-	-	-
Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung	+	+	+	-	-
Retentionsraumversickerung (Teich)	+	+	+	-	-

Bei den in Tabelle 19 dargestellten Farben steht grün für eine generelle Einsetzbarkeit. Bei orangenen Zellen müssen die Bedingungen näher geprüft werden oder eine Vorreinigung ist notwendig.

3.3.3.3 Altlasten

Altlasten im Untergrund können Problem beim Einsatz von Versickerungsmaßnahmen verursachen, da eine Kontamination des Grundwassers ausgeschlossen werden muss. Daher ist das flächige und vertikale Ausmaß von Altlasten in der Umgebung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu untersuchen und mögliche Auswirkungen in der Planung zu berücksichtigen (Woods Ballard et al., 2015a). Der Einfluss von Altlasten auf die Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ist in Tabelle 20 abgebildet.

Tabelle 20 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Altlasten

Altlasten	Ja	Nein
Ableitung	+	+
Retention	+	+
Verdunstung	+	+
Versickerung	-	+

3.3.4 Wasserwirtschaftliche Randbedingungen

3.3.4.1 Grundwasser – Flurabstand

Der Grundwasserflurabstand stellt den Höhenunterschied zwischen Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche dar. Bei Versickerungsanlagen sollte der minimale Abstand 1 bis 1,5 Meter betragen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010; Grimm und Achleitner, 2010b; ÖWAV, 2003). Der Einfluss auf die Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ist in Tabelle 21 dargestellt. Bei der Bewertung des vorhandenen Grundwasserflurabstandes sind hohe Grundwasserstände sowie Grundwasserschwankungsbereiche zu betrachten (Ankowitz et al., 2012). Weiters ist die Möglichkeit einer lokalen Anhebung des Grundwasserspiegels durch großflächige Versickerung zu prüfen sowie die Folgen dieser zu bewerten. Besondere Aufmerksamkeit sollte hierbei auf Rückstaugefahren bei unterschiedlichen Geländeformen wie zum Beispiel Hanglage gelegt werden (Grimm und Achleitner, 2010b).

Tabelle 21 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Flurabstandes

Flurabstand (m)	<1	>1
Ableitung	+	+
Retention	+	+
Verdunstung	+	+
Versickerung	-	+

3.3.4.2 Grundwassernutzung

Grundwassernutzung hat einen Einfluss auf die Anwendbarkeit von bestimmten Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Durch Versickerungsmaßnahmen kann es zur Beeinträchtigung der Wasserqualität des Grundwassers kommen, weshalb die Menge an Grundwassernutzungen im Einsatzgebiet geprüft werden sollte (Tabelle 22). Die Art des vorherrschenden Grundwassers sollte beim Einsatz von Versickerungsmaßnahmen berücksichtigt werden (Ankowitsch et al., 2012). Eine weitergehende Reinigung vor der Versickerung kann zum Schutz des Grundwassers notwendig sein. Der Einsatz von Schachtversickerungen ist im Einzugsbereich von Brunnen nicht gestattet (Grimm und Achleitner, 2010b).

Tabelle 22 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von vorhandenen Grundwassernutzungen

Grundwassernutzung	Ja	Nein
Ableitung	+	+
Retention	+	+
Verdunstung	+	+
Versickerung	-	+

3.3.4.3 Grundwasserschutz und -schongebiete

In Grundwasserschutz- und -schongebieten kann der Eintrag bestimmter Stoffe ins Grundwasser verboten werden. Dies kann die Anwendbarkeit von Versickerungsanlagen beeinträchtigen (ÖWAV, 2015a). In Grundwasserschutzgebieten gibt es unter anderem Verbote für die Versickerung von Abflüssen von Verkehrs-, Abstell-, Manipulations- und Lagerflächen. In Grundwasserschongebieten ist eine Bewilligung für die Versickerung von Abflüssen dieser Flächen notwendig (Ankowitsch et al., 2012). In internationaler Literatur ist unter anderem die Empfehlung einer minimalen Fließzeit von 2 Jahren von Versickerungsanlagen von Straßen und Parkplätzen bis zu Brunnen zu finden (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). Der Einsatz von Rigolen, Mulden-Rigolen-Systemen und Schachtversickerung bedarf in Schutzgebieten einer Bewilligung

(KURAS, 2016). Die Anwendung von Versickerungsmaßnahmen ist daher in Tabelle 23 mit einer notwendigen Prüfung der Gegebenheiten gekennzeichnet.

Tabelle 23 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Grundwasserschutz- und -schongebieten

Grundwasserschutz- und -schongebiete	Ja	Nein
Ableitung	+	+
Retention	+	+
Verdunstung	+	+
Versickerung	-	+

3.3.4.4 Fließgewässer

Bei Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen sind sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte des Vorfluters zu betrachten. Die ökologische Funktionsfähigkeit des Oberflächengewässers darf durch Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen nicht maßgeblich beeinflusst werden. Dies betrifft sowohl die Gewässergüte als auch die Hydraulik des Gewässers (ÖWAV, 2008). Bei einer Verdoppelung der Gesamtzahl an Geschiebetriebereignissen auf Grund der NWB ist laut Untersuchungen aus der Schweiz von einer Beeinträchtigung der ökologischen Funktionsfähigkeit auszugehen (ÖWAV, 2003). Die in den Vorfluter einleitbaren Mengen sind weiter begrenzt durch die hydraulische Kapazität des Gewässers. Sowohl bei Problemen mit Hochwasser- als auch Niedrigwasserabfluss ist, wie Tabelle 24 zeigt, die direkte Einleitung von Regenwasser ins Gewässer genau zu prüfen (Grimm und Achleitner, 2010b; ÖWAV, 2008).

Tabelle 24 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Hochwasser- und Niedrigwasserabflussproblemen

Probleme mit Hochwasser- oder Niedrigwasserabfluss	Ja	Nein
Ableitung	-	+
Retention	+	+

Verdunstung	+	+
Versickerung	+	+

3.3.5 Topographische Randbedingungen

Zu den Topographischen Randbedingungen zählen die Lage des Gewässers, die Charakteristik und Lage der Außeneinzugsgebiete sowie die Geländeneigung (ÖWAV, 2008). Die Geländeneigung des betrachteten Gebiets kann Aufschluss über passende Orte für den Einsatz bestimmter Maßnahmen geben. So eignen sich beispielsweise flache Bereiche als Retentionsräume (Woods Ballard et al., 2015a). Bei der Errichtung von Maßnahmen in flachen Bereichen oder Senken ist zu beachten, ob eine Ableitung des Abflusses in freiem Gefälle möglich ist, da sonst ein Hebewerk eingesetzt werden muss (Grimm und Achleitner, 2010b). Auch steile Hänge stellen eine Begrenzung für den Einsatz diverser Maßnahmen dar. Optimal geeignet sind Flächen mit einer Neigung von bis zu 5 % für die meisten Maßnahmen. Bei einer Neigung von 3 % wird eine Ausführung als Kaskade empfohlen, um Erosion zu verhindern. Auch die direkte Ableitung ist für steile Hänge nicht geeignet und sollte daher parallel zum Hang erfolgen. In Tabelle 25 sind die Begrenzungen für die einzelnen Maßnahmen zusammengefasst.

Tabelle 25 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Geländeneigung

Hangneigung (%)	0	1-5	6	10-15	>20
Ableitung über Mischwasserkanal	+	+	-	-	-
Ableitung über Regenwasserkanal	+	+	-	-	-
Ableitung über Transportmulden und Gräben	+	+	-	-	-
Retention in Speicherkanälen	+	+	-	-	-
Fassadenbegrünung	+	+	+	+	+
Gründach	+	+	+	+	+
Regentonne, Regenzisterne	+	+	+	+	+
Flächenversickerung	-	+	-	-	-
Muldenversickerung	-	+	+	-	-
Beckenversickerung	-	+	-	-	-
Rigolen- oder Rohrversickerung	-	+	+	+	-
Schachtversickerung	-	+	+	+	-
Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung	-	+	+	-	-
Retentionsraumversickerung (Teich)	-	+	-	-	-

3.4 Soziologische Randbedingungen

Die Einbindung der Öffentlichkeit erhöht die Akzeptanz gegenüber Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (Woods Ballard et al., 2015a). Sie stellt keine technische Randbedingung für den Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen dar, ist jedoch wichtig für die Umsetzung von Maßnahmen, besonders im privaten Raum. Daher ist die Beteiligung der Öffentlichkeit in den allgemeinen Planungsprozess integriert.

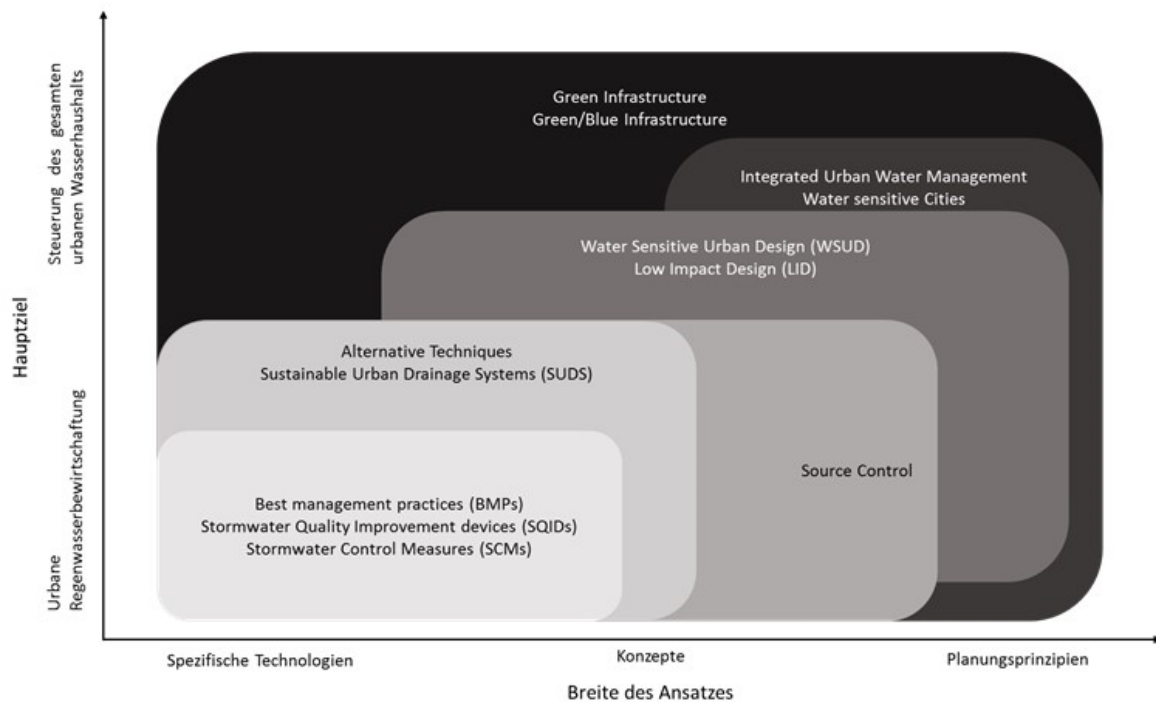
Eine weitere Randbedingung stellen die institutionellen Strukturen dar. Die Verantwortlichkeit für den Betrieb der Anlagen sollte in der Planung mitberücksichtigt werden. Auch diese Randbedingung ist nicht auf eine einzelne Maßnahme beschränkt, sondern bei jeder Maßnahme differenziert zu betrachten.

4 Lösungsansätze

4.1 Innovative Ansätze

Eine Möglichkeit den zukünftigen Herausforderungen in der Siedlungsentwässerung zu begegnen ist die Nutzung von Alternativen zur herkömmlichen Regenwasserableitung z.B. naturnahe, alternative bzw. dezentrale Regenwasserbewirtschaftung. Diese im deutschsprachigen Raum üblichen Begriffen können sich auf spezielle Maßnahmen aber auch auf Gesamtkonzepte beziehen. International haben sich dafür verschiedenste Begriffe entwickelt, welche für ähnliche Methoden in diesem Bereich verwendet werden. Bei der Erläuterung dieser Begriffe folgen wir den Definitionen und Klassifizierungen (siehe Abbildung 38) von (Fletcher et al., 2015). Dieser Überblick über internationale Praktiken soll einen Einblick in die Welt der alternativen Regenwasserbewirtschaftung geben und die zugrundeliegenden Überlegungen der Konzepte klarer verständlich machen.

Abbildung 38 Klassifizierung der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsansätze (adaptiert aus Fletcher et al. 2014)



Green/Blue Infrastructure

Green bzw. Green/Blue Infrastructure (GI) ist der breiteste Ansatz für die Regenwasserbewirtschaftung. Es umfasst untereinander verbundene Cluster von multifunktionalen, zumeist Grünflächen, welche ökologische und soziale Interaktion und Betätigung fördern und ermöglichen (Kambites und Owen, 2006). Der Grundansatz ist daher mehr ein landschafts- und raumplanerischer bzw. ökologischer als ein rein siedlungswasserwirtschaftlicher. Das Ziel ist die Maximierung ökologischer Grünflächen in der Stadtplanung, um auch einen maximalen Nutzen, betreffend Umwelt und Nachhaltigkeit, für die Lebensqualität im urbanen Raum zu erzielen (Foster et al., 2011). Im Kontext mit siedlungswasserwirtschaftlichen Fragestellungen zielt der Ansatz hauptsächlich auf die Nutzung von begrünten Regenwasseranlagen (z.B. Gründächer, etc.) für Oberflächenwasserbehandlung ab, welche gleichzeitig auch noch andere ökologische Funktionen erfüllen können, wie z.B. Verbesserung der Luftqualität, Biodiversität, Lebensqualität und so weiter. Mit der Erweiterung als Green/Blue Infrastructure kann auch noch die Nutzung von Teichen bzw. Biotopen implementiert werden. Die Benennung als „Green“ bzw. „Green/Blue“ sollte als Kontrast zur sogenannten „grey infrastructure“ bestehend aus Rohren und Bauwerken verstanden werden.

Integrated Urban Water Management

Ein auf Wasser, ob natürlich oder durch menschlichen Einfluss verändertes, beschränkter Ansatz ist das „Integrated Urban Water Management“ (IUWM). Es fußt auf dem Ansatz eines integrierten Wasserhaushalts, welcher auf das urbane Anwendungsgebiet heruntergebrochen wird und Wasserversorgung, Grundwasser sowie Schmutz- und Regenwasserableitung bzw. –behandlung beinhaltet sowie die Interaktionen bzw. Verbindungen zwischen den handelnden Akteuren in diesen Bereichen (Fletcher und Deletic, 2008).

Water Sensitive Urban Design

Die Idee des „Water sensitive urban design“ (WSUD) stammt ursprünglich aus Australien und wird oft in Zusammenhang mit „Water Sensitive Cities“ benutzt wobei WSUD den Prozess und die „Water sensitive city“ das Ziel beschreibt. Es ist ein breiterer Stadtplanungsansatz, bei dem das Regenwassermanagement nur einen Teil ausmacht. Die Hauptziele sind die Regelung des urbanen Wasserhaushalts, die Bewahrung bzw. Verbesserung der Wasserqualität der Vorfluter, die Förderung der Wasserverbrauchsreduktion durch Sammlung von Regenwassern bzw. Recycling von gering verschmutztem Abwasser und die Erhaltung bzw. Verbesserung der Erholungs- und Naturschutzfunktion der Gewässer durch

Bewahrung der Gewässerqualität. WSUD umfasst also alle Aspekte des urbanen Wasserhaushalts und zielt daher auf eine gesamtheitliche Betrachtungsweise ab. Für das Regenwassermanagement, als Sub-Disziplin von WSUD, bedeutet das hauptsächlich die Verminderung von Überflutungen, Steuerung und Kontrolle von Durchflussmengen, Verbesserung der Wasserqualität und die Möglichkeit Trinkwasser durch Regenwasser zu ersetzen für die Nutzung in Bereichen welche nicht zwingend Trinkwasserqualität erfordern (Lloyd et al., 2002).

Low Impact Development

Unter „Low impact development“ (LID) und „low impact urban design and development“ (LIUDD) versteht man die Vor-Ort-Behandlung von Regenwasser, um den Einfluss von versiegelten Flächen auf den urbanen hydrologischen Kreislauf zu minimieren, im Gegensatz zu einer Behandlung am Ende der Ableitung (=Kläranlage). Der Name LID (= Entwicklung mit geringerem Einfluss), welcher zumeist in Nordamerika und Neuseeland verwendet wird, weist allerdings auf einen geringeren Einfluss hin als es etwa eine normale Behandlung hätte. Es ist durch kleinere Behandlungsbauwerke wie z.B. Bioretentionsbecken, Gründächer, Versickerungsmulden etc., welche an der Quelle des Abflusses angebracht werden, definiert.

Source Control

Der Terminus „source control“ beschreibt die Nutzung von Methoden an der Quelle der Regenabflussgenerierung. Es kann beides beschreiben: eine Vor-Ort-Behandlung des Regenwassers als auch die Minimierung des Abflusses durch Entsiegelung.

Alternative Technologie

Alternative Technologie („Alternative Techniques“) wurden hauptsächlich in Frankreich definiert, um als Kompensation der Urbanisierung zu wirken, indem die Landnutzung optimiert und die Investitionskosten minimiert werden sollten. Die Hauptziele beschränkten sich dabei hauptsächlich auf Vorteile für die Bevölkerung, durch reduzierte Überflutungsrisiken, während die ökologischen Faktoren weniger Gewicht hatten. Das Ziel sollte durch den Ansatz des Erhalts derselben Abflussmenge, welche auch unter natürlichen Bedingungen auftreten würde, erreicht werden. Oft wird der Terminus aber auch für jedwede bauliche Maßnahme in der Regenwasserbehandlung bzw. –bewirtschaftung genutzt, was aber nicht dem ursprünglichen Gedanken entspricht.

Sustainable Urban Drainage Systems

Eine weitere Einschränkung auf Regenwassersysteme sind die „Sustainable Urban Drainage Systems“ (SUDS) oder „Sustainable Drainage Systems“ (SuDS), welche hauptsächlich aus Großbritannien stammen (Woods, Ballard et al., 2015a). Die Begriffe bedeuten im Wesentlichen dasselbe, nur wird bei einem der Akzent mehr auf urbanes Gebiet gelegt. Das Hauptziel hier ist die Steuerung des Abflusses sowie des Oberflächenabflussvolumens um das Überflutungsrisiko zu minimieren.

Best management practice, Stormwater control measures, Stormwater quality improvement devices

„Best management practices“ (BMPs) wird in den USA als Ansatz zur Vermeidung bzw. Verringerung von Umweltverschmutzung verstanden. Das bedeutet, dass sowohl organisatorische Prozesse, bauliche Maßnahmen und Verbesserung von bestehenden Abläufen darunter subsummiert werden können. Im Bezug mit Regenwasser behandeln BMPs Probleme, welche aufgrund der Quantität und/oder der Qualität des Oberflächenabflusses auftreten. Dazu werden nicht-bauliche Maßnahmen (z.B. Straßenreinigung, Instandhaltung, etc.) mit baulichen Anlagen (z.B. Bioretentionsanlagen) zu einem Gesamtkonzept verbunden. Ein Problem der BMPs ist die fehlende objektive Definition, ob wirklich die „beste“ Methode angewandt wird bzw. was die „beste“ bedeutet. Um dieses Definitionsproblem mit der Wertung widerzuspiegeln, wurde für die Regenwasserbewirtschaftung der allgemeinere und wertfreie Begriff der „stormwater control measure“ (SCM) vorgeschlagen (National Research Council (U.S.), 2009). Ein weiterer verwendeter Begriff (hauptsächlich in Australien) mit derselben Bedeutung ist „Stormwater quality improvement devices“ (SQIDs).

4.2 Spezifische Technologien

4.2.1 Mischwasserkanal

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Ein **Mischsystem** ist ein Entwässerungssystem zur gemeinsamen Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser im gleichen Leitungs-/Kanalsystem (ÖNORM EN 752). Das

modifizierte Mischsystem ist eine Variante des Mischsystems, bei der nur Schmutzwasser sowie behandlungsbedürftiges Regenwasser dem Mischwasserkanal zugeführt werden. Nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser wird unmittelbar am Entstehungsort versickert oder in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet (ÖWAV-Regelblatt 9). Die Verfahren dazu werden in diesem Kapitel separat behandelt.

Für Mischsysteme sind die Kriterien der Mischwasserbewirtschaftung nach dem ÖWAV-Regelblatt 19 zu beachten. Ziel ist es, die bei Niederschlagsereignissen im Mischwasserkanal transportierten Schmutzfrachten weitgehend zur Kläranlage abzuleiten. Im Entlastungsfall wird verdünntes Schmutzwasser in die Gewässer eingeleitet. Dadurch kommt es zu einer Belastung durch stark sauerstoffzehrende und akut toxische Substanzen (z.B. Ammonium) sowie pathogene Keime. In kleinen oder gestauten Gewässern können eingeleitete Mischwässer zu Immissionsproblemen führen (ÖWAV-Regelblatt 9).

Behandlungsbedürftiges Regenwasser soll, wenn die Randbedingungen es zulassen, vor Ort einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die Vorbehandlung erfolgt in Abscheideanlagen (Sand- und Schlammfängen, Fettabscheider (EN 1825), Mineralölabscheider (EN 858)) sowie in Absetzbecken (ÖNORM EN 752). Um die hydraulische Belastung im Mischwasserkanal zu reduzieren, soll behandlungsbedürftiger als auch nicht behandlungsbedürftiger Regenwasserabfluss vor Einleitung in einen Mischwasserkanal zwischengespeichert und gedrosselt eingeleitet werden (ÖWAV-Regelblatt 9).

Tabelle 26 fasst die bei Mischsystemen ablaufenden hydrologischen Prozesse und die Reinigungsfähigkeit zusammen.

Tabelle 26 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
nein	nein	ja ⁽¹⁾	ja	ja ⁽²⁾

(1) bei Ausführung von Sonderbauwerken (Retentionsbecken, Abflusssrosseln)

(2) nicht direkt, Vorbehandlung durch Abscheideanlagen oder in der Kläranlage

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Die Berechnung und Dimensionierung von Mischwasserkanälen ist im ÖWAV-Regelblatt 11 beschrieben. Für die Berechnung von einfachen Systemen kann das Fließzeitverfahren verwendet werden. Bei größeren, komplexeren Systemen wird empfohlen, eine Dimensionierung mit dem Fließzeitverfahren durch eine hydrodynamische Nachweisrechnung abzusichern. Der für die Bemessung maßgebende Abfluss eines kanalisiertes Einzugsgebietes AE_k setzt sich aus Niederschlags- und Trockenwetterabfluss, bestehend aus häuslichen und betrieblichen Schmutzwasser sowie Fremdwasser, zusammen. Die Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen sind im ÖWAV-Regelblatt 19 festgelegt.

Bewertung

In Tabelle 27 sind die Vor- und Nachteile des Mischwassersystems zusammenfassend und überblicksartig gegenübergestellt.

Tabelle 27 Vor- und Nachteile des Mischwassersystems (adaptiert nach ÖWAV Regelblatt 9)

Vorteile	Nachteile
Geringer Platzbedarf vor Ort	Investitionskosten durch Leitungsbau
Schnelle Ableitung	Risiko von Ablagerungen durch größere Dimensionen im Mischwasserkanal
	Wartungsaufwand der Mischwasserüberlaufbauwerke, Retentionsbauwerke, Speicherkanäle, Messeinrichtungen, Steuerungstechnik u.a.
	Im Entlastungsfall Einleitung von Schmutzwasser in die Gewässer
	Höhere Kapazität der Kläranlage erforderlich

4.2.2 Regenwasserkanal

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Regenwasserkanäle dienen der unterirdischen Ableitung von Niederschlagsabflüssen in Trennsystemen und modifizierten Entwässerungssystemen. In Abbildung 39 ist das Schema eines modifizierten Trennsystems dargestellt. Je nach Verschmutzungsgrad des

Niederschlagsabflusses bzw. der abflusswirksamen Fläche sind vor Einleitung in ein oberirdisches Gewässer oder vor Versickerung Reinigungsmaßnahmen notwendig. Dachflächen mit geringen Anteilen an Kupfer, Zink und Blei-Installationen zählen beispielsweise zu wenig verschmutzten Flächen, während Straßen mit höherem Verkehrsaufkommen und Parkplätze mit häufigem Fahrzeugwechsel zu stärker verschmutzten Flächen zählen. Die genaue Einteilung ist dem ÖWAV Regelblatt 35 (2003) zu entnehmen. Stark verunreinigte Niederschlagsabflüsse werden in den Schmutzwasserkanal eingeleitet und damit der Kläranlage zugeführt.

Abbildung 39 Schema modifiziertes Trennsystem (ÖWAV Regelblatt 9, 2008)

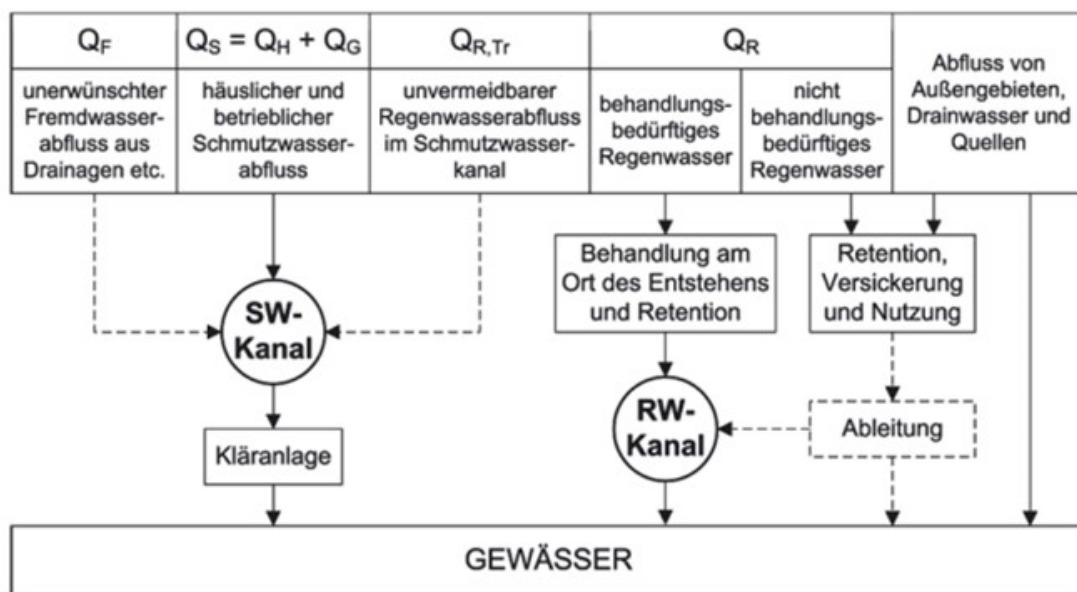


Tabelle 28 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Regenwasserkanälen

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
nein	nein	nein	ja	nein

Um eine Verschmutzung des Oberflächenwassers durch die Ableitung von Niederschlagsabflüssen im Regenkanal zu vermeiden, bestehen eine Reihe an Maßnahmen zur Niederschlagsabflussbehandlung. Hierzu zählen nach ÖWAV Regelblatt 35 (2003):

- Sedimentationsanlagen

- Filteranlagen
- Regenrückhalteanlagen

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Die Dimensionierung von Regenwasserkanälen ist im ÖWAV-Regelblatt 11 definiert, welches unter anderem auf der ÖNORM EN 752 beruht. Ein Mindestdurchmesser von 300 mm wird empfohlen. Zur Berechnung des Durchflusses in einem Kanal wird die allgemeine Fließformel nach Prandtl-Colebrook verwendet (ÖWAV Regelblatt 11, 2008).

Die Größe des Regenwasserkanals ist darauf ausgelegt, eine Bemessungswassermenge ohne Probleme abzuleiten, welche dem maßgeblichen Regenabfluss mit einer gewissen Wiederkehrzeit entspricht. Es darf innerhalb der Wiederkehrzeit zu keiner Überschreitung des Abflussvermögens kommen. Je nach potenziellen Schäden in der Umgebung des Regenwasserkanals ist eine unterschiedliche Wiederkehrzeit der maßgebenden Regenspende zu wählen. Für die Berechnung des Kanalnetzes stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, welche sich in ihrem Detailgrad unterscheiden (Fließzeitverfahren und hydrodynamisches Verfahren). Eine detaillierte Beschreibung der Verfahren ist im ÖWAV-Regelblatt 11 zu finden.

Bewertung

In Tabelle 29 sind die Vor- und Nachteile eines Regenwasserkanals zusammenfassend und überblicksartig gegenübergestellt.

Tabelle 29 Vor- und Nachteile von Regenwasserkanälen

Vorteile	Nachteile
Geringer Flächenbedarf	Fehlanschlüsse möglich
Rasche Ableitung	Kurzfristige Strömungsveränderung in kleinen Gewässern
Ableitung großer Regenmengen	Zusätzliche Reinigung notwendig

4.2.3 Transportmulden und Gräben

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Transportmulden und Gräben stellen bei der Ableitung von Niederschlagsabflüssen eine Alternative zu Regenwasserkanälen dar. Eine schematische Darstellung dieser ist in Abbildung 40 zu finden, welche zeigt, dass Transportmulden flacher ausgebildet sind als Gräben. Die Gräben oder Transportmulden können in Oberflächengewässer, Retentionsbecken oder Versickerungsmulden einleiten (Hoyer et al. 2011). Je nach Versickerungstauglichkeit des Untergrundes kann der Boden durchlässig oder undurchlässig gestaltet sein. Bewachsene Gräben und Transportmulden reduzieren durch ihre Oberflächenrauigkeit die Abflussspitzen und erhöhen den Stoffrückhalt. Bei einer gedrosselten Einleitung wird zusätzlich die Verdunstungs- und Versickerungsrate erhöht. Durch die Einsehbarkeit sind sie gut kontrollierbar und Verunreinigungsquellen können einfach ausgemacht werden (Grimm und Achleitner, 2010; ÖWAV-RB 35, 2003).

Abbildung 40 Schematische Darstellung eines V-Grabens, eines U-Grabens und einer bepflanzen Transportmulde

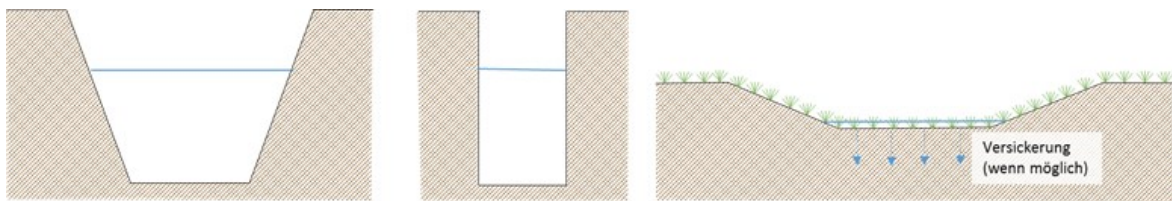


Tabelle 30 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Transportmulden und Gräben

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	ja	ja	je nach Ausführung

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Der Abfluss in offenen Gerinnen kann mit der der Fließformel nach Manning-Strickler berechnet werden. Die Berechnung ist im ÖWAV-Regelblatt 11 (2008) beschrieben. Die

Größe des Gerinnes ist abhängig von der maßgebenden Regenspende und der hydraulischen Aufnahmefähigkeit des Vorfluters (Grimm und Achleitner, 2010). Zusätzlich sollte bei angedachter Versickerung die Versickerungsrate in die Dimensionierung miteinfließen (The SuDS Manual).

Bewertung

In Tabelle 31 sind die Vor- und Nachteile von Transportmulden und Gräben zusammenfassend und überblicksartig gegenübergestellt.

Tabelle 31 Vor- und Nachteile von Transportmulden und Gräben

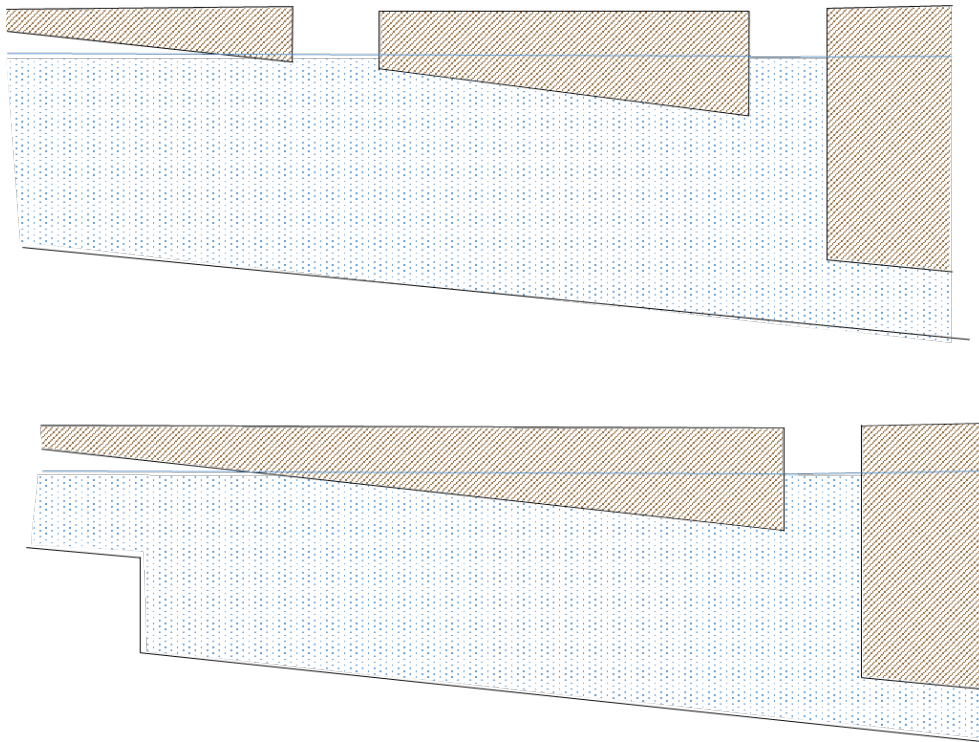
Vorteile	Nachteile
Geringe Verringerung der Abflussmenge	Flächenbedarf
Einfache Wartung	

4.2.4 Speicherkanal

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Speicherkanäle sind Rohre mit überdimensionierten Durchmessern und einem gedrosselten Abfluss. Je nach Anordnung der Entlastung können sie die Funktion eines Fang- oder Durchlaufbeckens erfüllen (siehe Abbildung 41). Zur Anwendung kommen sie vorrangig, wenn auf Grund von beengten Platzverhältnissen keine Becken möglich sind. Ein Einsatz bei Mischwasser- und Regenwasserkanälen ist möglich (Gujer, 2007).

Abbildung 41 Stauraumkanal als Fangbecken (oben) oder Durchlaufbecken (unten)



Die Reinigungswirkung des Speicherkanals entsteht vor allem durch den Rückhalt des häufig stark verschmutzten ersten Teils des Niederschlagsabflusses und durch Sedimentation (Gujer, 2007).

Tabelle 32 fasst die in einem Speicherkanal ablaufenden hydrologischen Prozesse und die Reinigungsfähigkeit zusammen.

Tabelle 32 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Speicherkanälen

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
nein	nein	ja	nein	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Die Bemessung von Speicherkanälen ist im Arbeitsblatt ATV-A 128 (1992) detailliert beschrieben und unterscheidet zwischen Kanälen mit obenliegender Entlastung und Kanälen mit untenliegender Entlastung. Speicherkanäle mit obenliegender Entlastung werden im

Normalfall wie Fangbecken bemessen, außer die Bedingungen für Fangbecken können nicht eingehalten werden. In diesem Fall erfolgt eine Bemessung wie bei Speicherkanälen mit untenliegender Entlastung. Deren Volumen wird über ein spezifisches Speichervolumen, die undurchlässige Fläche des zugehörigen Teileinzugsgebietes sowie einem Zuschlag für die schlechtere Absetzwirkung berechnet. Dem ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) sind Vorgaben zum Wirkungsgrad von Speicherkanälen in Mischwasserkanälen zu entnehmen.

Bewertung

In Tabelle 33 sind die Vor- und Nachteile eines Speicherkanals zusammenfassend und überblicksartig gegenübergestellt.

Tabelle 33 Vor- und Nachteile von Speicherkanälen

Vorteile	Nachteile
Flächenbedarf	Keine Reduzierung des Abflusses
Speicherung großer Wassermengen möglich	Kein Beitrag zum natürlichen Wasserkreislauf
Reduktion der entlasteten Schmutzfracht	

4.2.5 Fassadenbegrünung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Die Wirkung von Fassadenbegrünung als Maßnahme zur Niederschlagswasserbewirtschaftung ist abhängig von ihrem Aufbau und der Bewässerung der Pflanzen. Je nach verwendetem Trägermaterial ergibt sich ein unterschiedliches Wasserrückhaltepotenzial, da die Wasserspeicherkapazität der Substrate variiert (Pitha, 2004). Der Rückhalt von Niederschlagswasser während des Regenereignisses ist bei der Fassadenbegrünung gering, ihr Beitrag zur Niederschlagswasserbewirtschaftung kann durch die notwendige Bewässerung erzielt werden. Bei einer durchschnittlichen Verdunstungsrate von 10 bis 15 l/m² Kübeloberfläche pro Tag ist in der Regel eine Bewässerung notwendig. Eine entsprechende Speicherung des Regenwassers (z.B. in Zisternen) für die Bewässerung ist somit notwendig, für einen Beitrag zur Niederschlagswasserbewirtschaftung werden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2011). Hierbei ist ganz besonders auf die Qualität des Niederschlagswassers zu achten, da toxische Stoffe das Pflanzenwachstum

negativ beeinflussen können (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2010). Eine schematische Darstellung einer Fassadenbegrünung findet sich in Abbildung 42.

Neben der Regenwasserbewirtschaftung werden Fassadenbegrünungen vor allem zur Verbesserung des Stadt- und Gebäudeklimas eingesetzt. Die Evapotranspiration der Pflanzen und die Verdunstung aus dem Substrat führen zu einer Kühlung der Umgebungsluft. Diese senkt den Kühlbedarf in Gebäuden und hilft den natürlichen Wasserkreislauf in der Stadt zu schließen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2010).

Abbildung 42 Hydrologische Prozesse einer Fassadenbegrünung

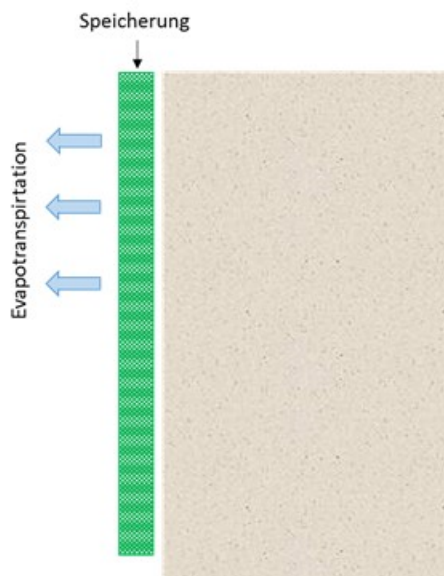


Tabelle 34 fasst die in einer Fassadenbegrünung ablaufenden hydrologischen Prozesse und die Reinigungsfähigkeit zusammen.

Tabelle 34 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Fassadenbegrünung

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
nein	ja	ja	nein	gering

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Die deutsche „Richtlinie zur Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen“ beinhaltet den Stand der Technik zur Umsetzung von Fassadenbegrünungen (FLL, 2000). In Österreich gibt es keine Norm, welche sich direkt mit der Fassadenbegrünung befasst. Es wurden jedoch Leitfäden entwickelt, welche die wichtigsten Aspekte zusammenfassen. Einer dieser ist der Leitfaden Fassadenbegrünung von „ÖkoKauf Wien“. Er gibt einen Überblick über bautechnische und vegetationstechnische Grundlagen, nutzbare Pflanzenarten und deren Anforderungen sowie Praxisbeispiele (Pitha et al., 2013).

Bewertung

In Tabelle 35 sind die Vor- und Nachteile eine Fassadenbegrünung zusammenfassend und überblicksartig gegenübergestellt.

Tabelle 35 Vor- und Nachteile von Fassadenbegrünung

Vorteile	Nachteile
Verbesserung des Stadt- und Gebäudeklimas	Zusätzliche Wasserspeicherung für Bewässerung
Kein zusätzlicher Flächenverbrauch	Hohe Investitions- und Betriebskosten
Verbesserung der Freiraumqualität	

4.2.6 Flächenversickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Bei Flächenversickerungen (schematische Darstellung in Abbildung 43, hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 36) handelt es sich um Entsiegelungen von vormals versiegelten Flächen durch den Einbau von teilversiegeltem Oberflächenmaterial. Dabei kann die Fläche selbst wasserdurchlässig ausgeführt werden, so dass sie ihre Nutzung beibehält und die Versickerung des auf sie fallenden Niederschlagswassers bewältigen kann oder es wird das auf eine undurchlässige Fläche fallende Niederschlagswasser in unmittelbarer Nähe flächig zur Versickerung gebracht.

Flächenversickerungen haben keinen Speicherraum zur Verfügung und müssen eine Versickerung somit ohne wesentlichen Anstau von Niederschlagswasser auf der Oberfläche

gewährleisten. Flächenversickerungen weisen daher einen hohen Flächenbedarf auf, welcher je nach Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Fugenanteil) variieren kann.

Die wesentlichen Einsatzbereiche von Flächenversickerungen sind Flächen, welche ohne jede Nutzungsbeschränkung wasserdurchlässig befestigt werden können (z. B. Grundstückseinfahrten) (Sieker et al., 1996).

Mögliche Befestigungen sind: Grasnarbe, Schotterrassen, Rasengittersteine bzw. -platten, Rasenfugenpflaster, Drainasphalt, etc.

Abbildung 43 Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Flächenversickerung (Johnscher, 2016)

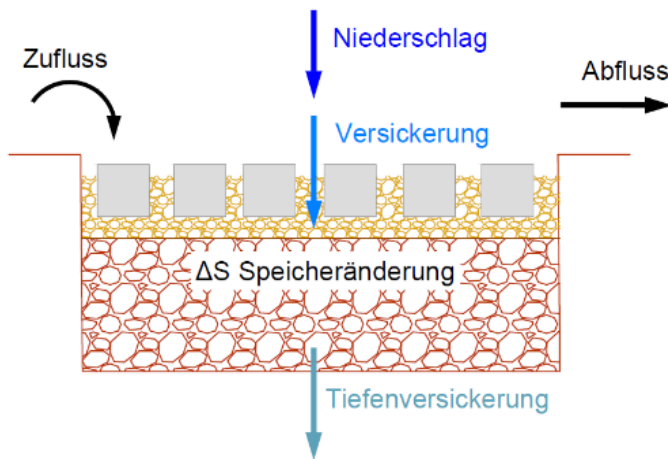


Tabelle 36 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Flächenversickerung

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	eingeschränkt	nur als Entlastung	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Ansätze zur Dimensionierung und baulichen Ausführung von Sickeranlagen ohne Speichervolumen (Flächenversickerung) sind in ÖNORM B 2506-1 (ON, 2013) zu finden. Die Sickerleistung muss aufgrund des allgemein fehlenden Speichervolumens zumindest dem Zufluss aus dem gewählten Regenereignis entsprechen.

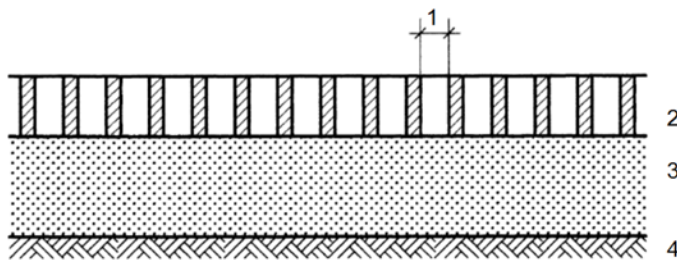
Bei der Dimensionierung ist die erforderlichen Sickerfläche zu bestimmen (Schema z. B. für einer mittels Rasengittersteinen befestigten Fläche in Abbildung 44). Zu beachten ist, dass die ermittelte tatsächliche Sickerfläche A_s im Bereich der Rasengittersteine nur dem durchlässigen Flächenanteil entspricht.

Abbildung 44 Ermittlung der erforderlichen Sickerfläche und Schema einer mittels Rasengittersteinen befestigten Fläche (ON, 2013)

$$A_s > \frac{i \cdot A_{ent}}{v_f \cdot \beta}$$

Es bedeutet:

- A_s wirksame Sickerfläche, in m^2
- i maßgebliche Regenintensität, in mm/min
- A_{ent} abflusswirksame berechnete Gesamtfläche, in m^2
- v_f Sickergeschwindigkeit, in m/s
- β Sicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung einer Verschlämung



Es bedeutet:

- 1 Durchtrittsöffnung (entspricht A_s)
- 2 Rasengittersteine
- 3 Tragschicht
- 4 anstehender Boden

Bewertung

Tabelle 37 Vor- und Nachteile der Flächenversickerung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Geringer technischer Aufwand	Großer Flächenbedarf
Hohes Verdunstungspotenzial	Eingeschränkte Nutzbarkeit der Flächen
Mechanische und biologische Reinigung	Geringe Speicherwirkung
Geringer Wartungsaufwand	Verschlämungsgefahr der Fugen
Gestaltungspotenzial im Freiflächenbereich	

4.2.7 Muldenversickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Bei einer Mulde handelt es sich um „eine längs gestreckte Bodensenke mit Retentionsvolumen“ (ÖWAV, 2015), welche in der Regel mit Rasen begrünt ist.

Eine Versickerungsmulde (Schema in Abbildung 45, hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 38) stellt also einen oberflächlich angeordneten Regenwasserspeicher dar. Die Wasserzuführung sollte möglichst oberirdisch oder zumindest oberflächennah erfolgen.

Voraussetzung für den Einsatz einer Versickerungsmulde ist das Vorhandensein einer Versickerungsfläche von ca. $5 \text{ bis } 15\% \cdot A_{\text{red}}$ in unmittelbarer Nähe einer abflusswirksamen Fläche (Sieker et al., 1996). Zudem müssen die vorhandenen Bodenverhältnisse eine ausschließliche Versickerung in den Untergrund erlauben.

Versickerungsmulden lassen einen kurzzeitigen Einstau zu. Somit können Oberflächenabflüsse zwischengespeichert werden und erst allmählich in den Untergrund versickern. Die Versickerungsrate des anstehenden Bodens kann somit kleiner als der Zufluss zur Versickerungsmulde sein.

Abbildung 45 Funktionsweise einer Versickerungsmulde (Johnscher, 2016)



Tabelle 38 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Versickerungsmulde

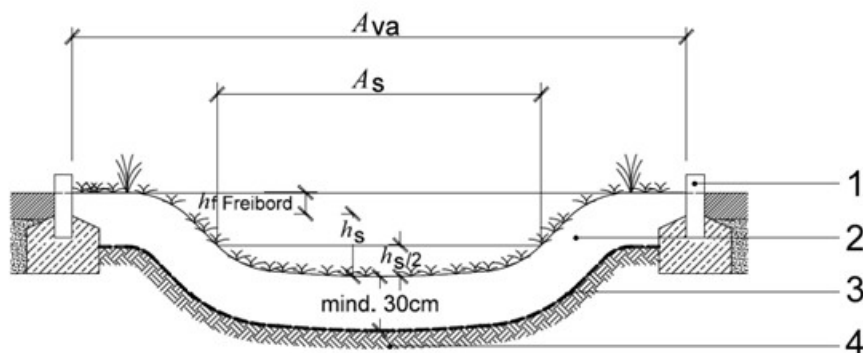
Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	ja	nur als Entlastung	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Ansätze zur Dimensionierung und baulichen Ausführung von Versickerungsmulden finden sich in der ÖNORM B 2506-1 (ON, 2013) (Schema in Abbildung 46) .

Die Dimensionierung basiert auf der Bestimmung eines erforderlichen Speichervolumens V_s . Dieses hängt vom Bemessungsniederschlag, der ermittelten abflusswirksamen Gesamtfläche, der ermittelten Sickerfähigkeit des Untergrundes und der zur Verfügung stehenden bzw. gewählten Sickerfläche ab. Das Speichervolumen ergibt sich schließlich aus der Differenz der über die Dauer des maßgeblichen Regenereignisses zur Versickerungsmulde zufließenden und in der Mulde versickernden Wassermenge. Zu bestimmen ist zudem die Stauhöhe h_s .

Abbildung 46 Schema einer Versickerungsmulde ohne Drainagerohr (ON, 2013)



Es bedeutet:

- 1 Bordstein
- 2 belebte Bodenzone
- 3 Trennschicht (falls erforderlich): zB Geotextil-Trenngewebe, Trennlage Sand
- 4 gewachsener Boden
- h_f Sicherheitsabstand (Freibord), in m
- h_s Stauhöhe, in m

Bewertung

Tabelle 39 Vor und Nachteile der Muldenversickerung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Geringer bis mittlerer technischer Aufwand	Mittlerer bis hoher Flächenbedarf
Hohes Verdunstungspotenzial	Nicht einsetzbar bei hohem Grundwasserstand und Altlastenflächen
Reinigungsleistung durch Versickerung über Oberbodenpassage (mechanische und biologische Reinigung)	Keine intensive Nutzung z. B. als Spielfläche möglich
Geringer Wartungsaufwand	
Gestaltungspotenzial im Freiflächenbereich	

4.2.8 Beckenversickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Beckenversickerungen (hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 40) unterscheiden sich von Versickerungsmulden in erster Linie durch das Verhältnis der angeschlossenen Fläche (A_{red}) zur versickerungswirksamen Fläche (A_S). Bei Versickerungsbecken liegt dieses in der Regel bei Werten größer 15:1. Daher sind sie allgemein hydraulisch wesentlich höher belastete Anlagen (Sieker et al., 1996) und kommen eher als zentrale Maßnahme zur Anwendung. Die Funktionsweise entspricht jener einer Versickerungsmulde (siehe Abbildung 45).

Tabelle 40 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Versickerungsbecken

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	ja	nur als Entlastung	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Ansätze zur Dimensionierung und baulichen Ausführung von Versickerungsbecken finden sich in der ÖNORM B 2506-1 (ON, 2013). Wie bei der Versickerungsmulde gilt der Grundsatz: „Erforderliches Speichervolumen ist gleich der Differenz aus zufließender Niederschlagsmenge zur Versickerungsmenge beim maßgebenden Regenereignis.“

Bewertung

Tabelle 41 Vor- und Nachteile von Versickerungsbecken (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Gute Wartungsmöglichkeit	Großer Flächenbedarf
Hohes Verdunstungspotenzial	Eingeschränkte Nutzbarkeit der Fläche
Gute Reinigungsleistung	Verschlammungsgefahr der Sohle
Gestaltungspotenzial im Freiflächenbereich	Beeinträchtigung des Landschaftsbildes

4.2.9 Rigolen- oder Rohrversickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Versickerungsanlagen mit Rigolen bestehen aus einem künstlich in den Boden eingebrachten Raum, der mit geeigneten Wabenkunststoff-, Kieskörpern oder Lavapackungen gefüllt ist (Geiger et al., 2009). Das nutzbare Retentionsvolumen hängt vom Porenvolumen des eingesetzten Materials ab. Das Einschwemmen von Feinteilen wird mit einem Geotextil verhindert.

Bei der Rohrversickerung wird in ein Rigolenelement zusätzlich ein Sickerrohr eingebaut, um eine bessere und schnellere Verteilung des eingeleiteten Wassers zu erreichen. Die Systeme können oberflächennah oder unterirdisch eingebaut werden.

Rigol- und Rohrversickerungen (Schema in Abbildung 47, hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 42) werden insbesondere dann verwendet, wenn eine unter einer gering mächtigen, bindigen Deckschicht liegende durchlässige Schicht erreicht werden

soll. Dabei weisen die Systeme einen geringen oberirdischen Flächenbedarf auf und sind somit auch für den Einsatz in dicht besiedelten Gebieten geeignet.

Abbildung 47 Prinzipielle Funktionsweise eines Rigolen-Rohr-Systems (Johnscher, 2016)

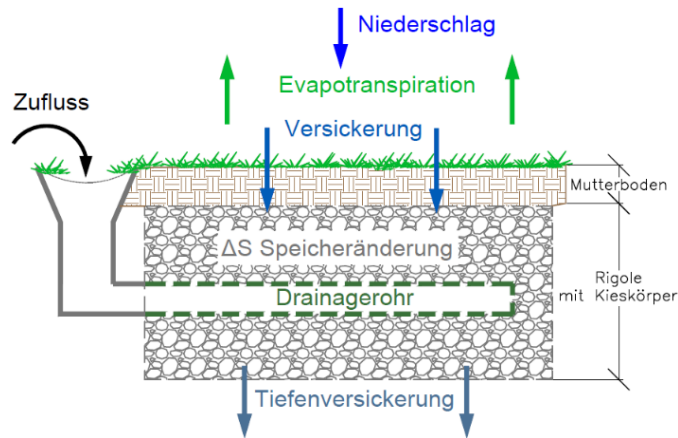


Tabelle 42 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit des Rigolen-Rohr-Systems

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	Nein	ja	bei Anschluss an Kanalsystem	eingeschränkt

Dimensionierung und bauliche Ausführung

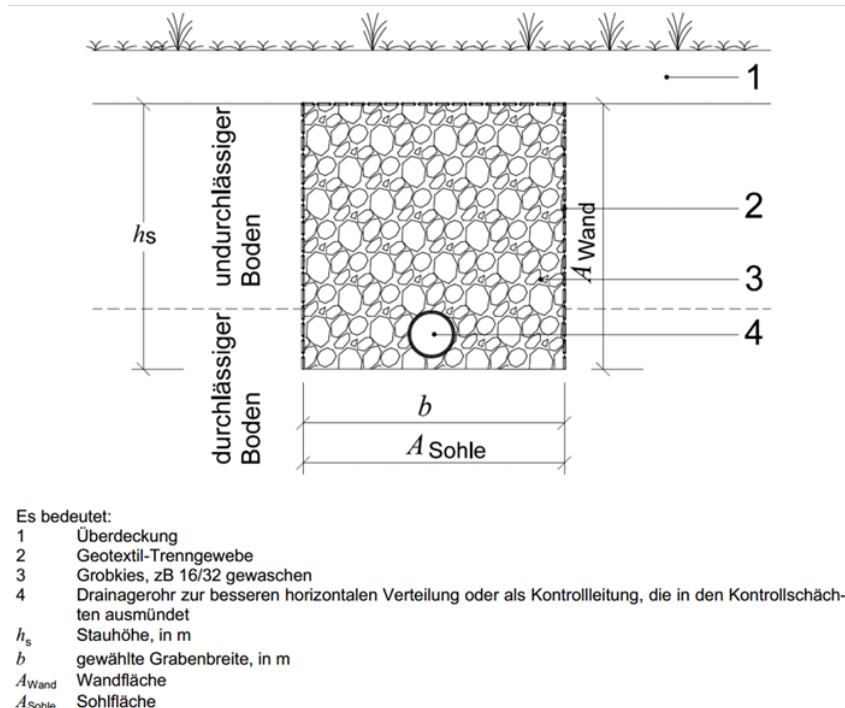
Ansätze zur Dimensionierung und baulichen Ausführung von Rigolen-Rohr-Versickerungen finden sich in der ÖNORM B 2506-1 (ON, 2013) (Abbildung 48).

Abbildung 48 Dimensionierung eines Rigolen-Rohr-Versickerungssystems (ON, 2013)

$$V_s = A_{\text{Sohle}} \cdot h_s \cdot p$$

Es bedeutet:

- A_{Sohle} Sohlfäche
- h_s Stauhöhe, in m
- p nutzbarer Porenanteil des Füllmaterials (zB 0,3 für Drainageschotter), Hohlraumgehalt von Boxensystemen oder ähnliches (zB 0,95 für Sickerboxen)



Bewertung

Tabelle 43 Vor- und Nachteile der Rigolen-Rohr-Versickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Überbauung der Versickerungsanlage mit leichten Bauwerken möglich	Aufwendig in Herstellung
Versickerung in frostfreier Tiefe	Kaum Wartungsmöglichkeiten
Geringer Flächenbedarf	Nur für schwebstofffreie Zuflüsse
Retentionsvermögen, gedrosselter Ablauf	Kein Verdunstungsanteil
	Kaum Reinigungsleistung

4.2.10 Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Bei einem Mulden-Rigolen/Rohr-System (hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 44) handelt es sich um eine Kombination aus den bereits vorgestellten Systemen Muldenversickerung und Rigolen-Rohr-Versickerung. Dabei werden die positiven Aspekte kombiniert:

- Retention des anfallenden Niederschlags in Mulde und in Retentionsraum des Rigolen-/Rohr-Systems
- Vorreinigung durch Versickerung über belebte Bodenschicht
- Umgehung von oberflächennahen, undurchlässigen Schichten

Durch die Kombination der beiden Systeme ergibt sich ein geringerer Flächenbedarf.

Tabelle 44 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit (Mulden-Rigolen/Rohr-System)

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	ja	bei Anschluss an Kanalsystem	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Ansätze zur Dimensionierung und baulichen Ausführung von Mulden-Rigolen/Rohr-Systemen finden sich in der ÖNORM B 2506-1 (ON, 2013). Wie bei der Versickerungsmulde gilt der Grundsatz: „Erforderliches Speichervolumen ist gleich der Differenz aus zufließender Niederschlagsmenge zur Versickerungsmenge beim maßgebenden Regenereignis.“

Bewertung

Tabelle 45 Vor- und Nachteile der Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Geringerer Flächenbedarf im Vergleich zu einzelnen Systemen	Eingeschränkte Nutzung der Flächen
Verbesserung des Retentionsvermögens im Vergleich zu einzelnen Systemen	Eingeschränkte Wartungsmöglichkeiten
Reinigungsleistung	
Anwendung auch bei schlecht versickerungsfähigen Oberbodenschichten	

4.2.11 Schachtversickerung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Die Funktionsweise einer Schachtversickerung (hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 46) ist ähnlich jener einer Rigolenversickerung. Auch hier kann eine bindige Deckschicht umgangen werden. Das Niederschlagswasser wird unterirdisch zwischengespeichert und zur Versickerung gebracht.

Durch die limitierte Speicherwirkung wird diese Maßnahme vorwiegend bei kleinen Privatgrundstücken angewendet (Geiger et al., 2009). Zudem können Schachtversickerungen bei beengten Platzverhältnissen angewandt werden.

Tabelle 46 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Schachtversickerung

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	nein	ja	nein	eingeschränkt

Bewertung

Tabelle 47 Vor- und Nachteile der Schachtversickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Einfache Herstellung	Retentionsraumvolumen aufgrund Schachtringgrößen begrenzt
Geringer Flächenbedarf	Eingeschränkte Wartungsmöglichkeiten
Geringe Nutzungseinschränkungen des Grundstückes	Gefahr der Verschlickung oder Verstopfung
Anwendung auch bei schlecht versickerungsfähigen Oberbodenschichten	Gefahr der Grundwasserverschmutzung durch geringen Abstand zu Grundwasserspiegel

4.2.12 Retentionsraumversickerung (Versickerungsteiche)

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Die Retentionsraumversickerung (Prinzip in Abbildung 50, hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 48) ist ein oberflächlich angeordnetes System, welches Reinigung, Speicherung und Versickerung vereint. Niederschlagswasser wird in einen Speicherteich geleitet, welcher zum Untergrund hin abgedichtet ist. Bei Überschreiten eines bestimmten Wasserpegels (Dauerstaulinie) versickert das Wasser in der angeschlossenen Mulde bzw. über den „offenen“ Böschungsbereich in den Untergrund. Durch Bepflanzung und Sedimentation finden Abbauprozesse statt. Anwendung findet die Retentionsraumversickerung insbesondere als gestalterisches Element in Siedlungsgebieten. Der Flächenbedarf liegt zwischen 1% und 10% des Einzugsgebietes.

Abbildung 50 Prinzip der Retentionsraumversickerung (Geiger et al., 2009)

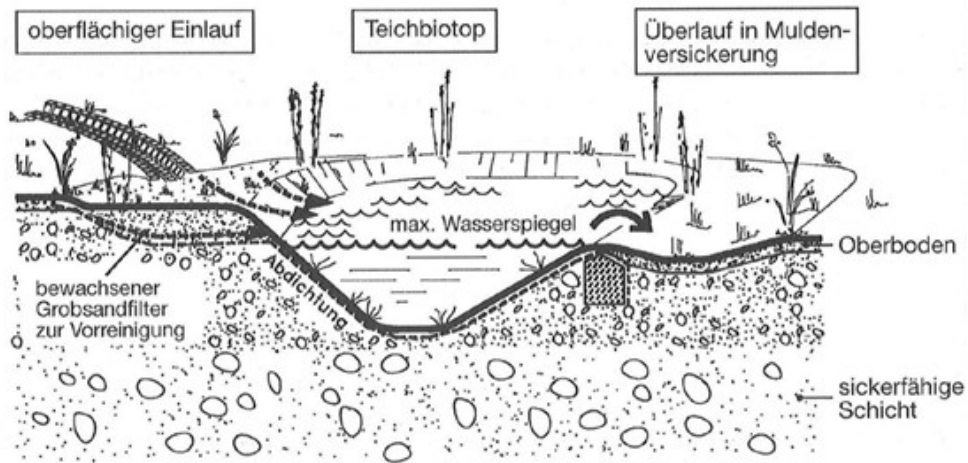


Tabelle 48 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Retentionsraumversickerung)

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
ja	ja	ja	nur zur Entlastung	ja

Bewertung

Tabelle 49 Vor- und Nachteile der Retentionsraumversickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Verbesserung des Kleinklimas durch Dauerstau des Teiches	Relativ hoher Flächenbedarf
Gestaltungselement in Siedlungsgebieten	Eingeschränkte Nutzung des Retentionsraumes (Umzäunung)
Gute Reinigungsleistung	Regelmäßige Wartung
Retentionsvermögen	

4.2.13 Dachbegrünung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Dachbegrünungen (Abbildung 51, hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 50) werden eingesetzt, um einen Teil des Niederschlagswassers durch gezielte Retention nicht oder verzögert zum Abfluss zu bringen und den Anteil der Verdunstung an der Wasserbilanz zu erhöhen (Riechel et al., 2017). Grundsätzlich erfolgt eine Unterscheidung in intensive und extensive Dachbegrünungen. Extensive Dachbegrünungen weisen eine dünnere Substratschicht auf und eine Bepflanzung, welche kaum bzw. keine Pflege erfordert. Bei intensiven Dachbegrünungen mit entsprechend größeren Aufbauhöhen (> 15 cm) kann die Bepflanzung bis zur kompletten Gartenlandschaft mit Bäumen, Wegen, Teichen usw. reichen. Die statischen Voraussetzungen, die Lastannahmen, sind ein entscheidendes Auswahlkriterium für die einsetzbaren Begrünungsarten (FLL, 2008). Hierbei haben extensive Begrünungen (Leichtdachbegrünung) aufgrund der geringeren Aufbauhöhe und somit geringeren Last Vorteile besonders beim Einsatz einer Dachbegrünung im Bestand.

Gründächer lassen sich sowohl bei Neubauten als auch im Bestand bis ca. 45° Dachneigung realisieren (Riechel et al., 2017). Dabei müssen die statischen Verhältnisse des Daches geprüft werden.

Abbildung 51 Aufbau und Funktionsweise eines Gründaches (Johnscher, 2016)

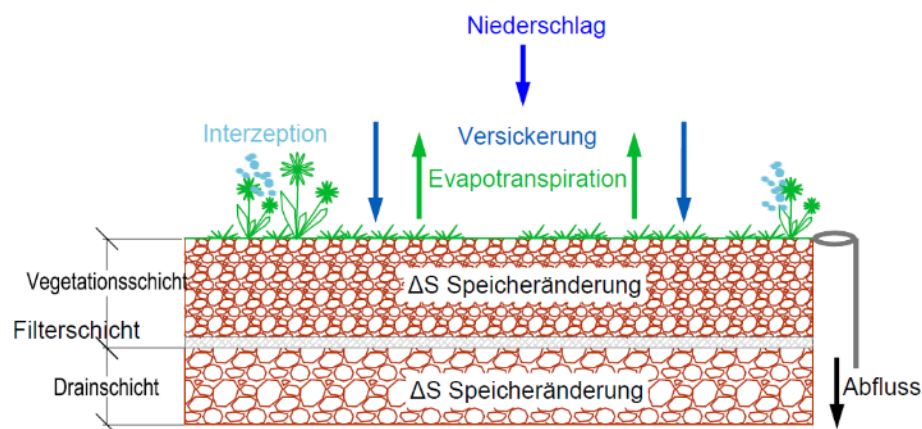


Tabelle 50 fasst die bei einem Gründach ablaufenden hydrologischen Prozesse und dessen Reinigungsfähigkeit zusammen.

Tabelle 50 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit des Gründachs

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
nein	ja	ja	ja	ja

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Zur Dimensionierung und baulichen Ausführung gibt es unterschiedliche Leitfäden. Zu nennen ist hierbei z. B. die deutsche Dachbegrünungsrichtlinie (FLL, 2008). Daneben existieren vielfältige Leitfäden auf Länder- bzw. Städteebene.

Bewertung

Tabelle 51 Vor- und Nachteile der Dachbegrünung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Anwendung in dicht bebautem Stadtgebiet	Höhere Dachlasten
Steigerung der Verdunstungsrate	Hoher Pflegebedarf bei intensiven Begrünungen
Positive Beeinflussung des Mikroklimas	Hohe Anforderung an Abdichtungsausführung
Erhöhung der Biodiversität	
Isolationseffekt des Daches	
Reduktion der Schadstoffe	

4.2.14 Regenwassernutzung

Funktionsweise und Einsatzbedingungen

Regenwasserabflüsse können aufgefangen und u.a. für folgende Anwendungen herangezogen werden:

- Grünflächenbewässerung

- Toilettenspülung, Waschmaschine
- Gebäudekühlung
- Betriebswasser in Gewerbe und Industrie

Anlagen zur Regenwassernutzung (hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit in Tabelle 52) reichen von großen Dimensionen für Gewerbe und Industrie bis zur einfachen Regentonne (Abbildung 52) für den privaten Bereich.

Der Flächenbedarf für Regenzysternen zur Nutzung des Regenwassers als Betriebswasser beläuft sich auf 0,5 – 1 m² Grundfläche für 100 m² Dachfläche. Dies entspricht einem Speichervolumen von 2-6% des Jahresniederschlags (Riechel et al., 2017).

Abbildung 52 Schematische Funktionsweise einer Regentonne (Johnscher, 2016)

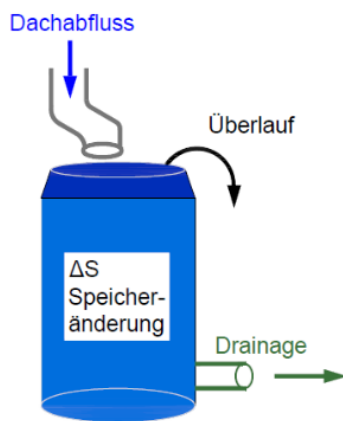


Tabelle 52 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Regenwassernutzung)

Versickerung	Evapotranspiration	(Zwischen-) Speicherung	Abfluss	Reinigung
eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	ja	ja	nein

Dimensionierung und bauliche Ausführung

Die Grundsätze der Regenwassernutzung finden sich in ÖNORM B2572 (ON, 2005).

Bewertung

Tabelle 53 Vor- und Nachteile der Regenwassernutzung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)

Vorteile	Nachteile
Bei Neubauten einfach umzusetzen	Im Bestand (verdichtetes Stadtgebiet) schwer nachzurüsten
Geringer Flächenbedarf	Geringes Retentionsvolumen
Nutzung der Fläche über Bewirtschaftungsanlage eingeschränkt möglich	Evtl. zweites Leitungssystem notwendig
Reduktion des Trinkwasserverbrauchs	
Retentionsvermögen, Pufferung von Abflussspitzen	

4.2.15 Zusammenfassung der Methoden der NWB

Tabelle 54 Übersichtstabelle der Methoden mit Funktion

	Versickerung	Evapotr.	Speicherung	Abfluss	Reinigung
Mischwasserkanal	nein	nein	ja (durch Sonderbauwerke)	ja	ja (Vorbehandlung, Kläranlage)
Regenwasserkanal	nein	nein	nein	ja	nein
Transportmulden und Gräben	ja	ja	ja	ja	Je nach Ausführung
Speicherkanäle	nein	nein	Ja	nein	ja
Fassadenbegrünung	nein	ja	ja	nein	gering
Flächenversickerung	ja	ja	eingeschränkt	Nur als Entlastung	ja
Muldenversickerung	ja	ja	ja	Nur als Entlastung	ja
Beckenversickerung	ja	ja	ja	Nur als Entlastung	ja
Rigolen- oder Rohrversickerung	ja	nein	ja	Bei Anschluss an Kanalsystem	eingeschränkt
Mulden-Rigolen / Rohr-Versickerung	ja	ja	ja	Bei Anschluss an Kanalsystem	ja
Schachtversickerung	ja	nein	ja	nein	eingeschränkt
Retentionsraumversickerung (Teich)	ja	ja	ja	Nur zur Entlastung	ja
Dachbegrünung	nein	ja	ja	ja	ja
Regenwassernutzung	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	ja	ja	nein

4.3 Internationale Beispiele

Es existieren bereits verschiedenste internationale Beispiele anpassbarer Regenwasserbewirtschaftung aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Allen gemein ist, dass die Robustheit durch kombinierte Systeme verbessert und vielfach schon altbekannte Methoden mit neuen Technologien verbunden werden. Durch eine integrierte Betrachtung kann die Problematik in einem größeren Kontext gesehen und so positive Auswirkungen auf verschiedensten Ebenen beleuchtet werden. Eine Beschreibung der Projektinhalte findet sich im Anhang.

Eine Reihe von großen Verbundprojekten in Deutschland, zusammengefasst unter dem Titel **INIS** (Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung), haben sich mit der Anpassung an zukünftige Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft beschäftigt. Ein in einem weiteren Projekt (**KLIMZUG**) wurde das Themenfeld „Stadtentwicklung und Klimawandelanpassung“ von einem interdisziplinären Team im engen Austausch mit Praxispartnern (Behörden, BürgerInnen) untersucht und konkretisiert. Gegenstand waren unter anderem mögliche Maßnahmen und Instrumente zur Anpassung der urbanen Räume an den Klimawandel. Im Projekt **DEMOWAS** wurden der demographischen Wandel in Deutschland (Tränckner et al., 2012) und die Auswirkungen auf die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur untersucht

In der **Schweiz** wurde bereits früh damit begonnen, sich über zukünftige Entwicklungen in der Siedlungswasserwirtschaft Gedanken zu machen. Beispiele dafür sind Untersuchungen zu den Konsequenzen von Privatisierungen bzw. Liberalisierungen der Schweizer Wasserwirtschaft (Lanz, 2003), eine Szenarienanalyse für die Siedlungswasserwirtschaft der Schweiz (Truffer, 2005) und Überlegungen zu Herausforderungen und Zielen der Wasserwirtschaft der Zukunft (Aschwanden, 2012).

Auf europäischer Ebene behandelten die Projekte „**SWITCH** – Sustainable Water Management in the City of the Future“ die Fragestellung, wie eine zukünftige Stadtentwicklung in Bezug auf die Siedlungswasserwirtschaft nachhaltig gestaltet werden kann. (Howe et al., 2012)

Die Erkenntnisse, die aus diesen Projekten gewonnen wurden, können auch für Österreich richtungsweisend sein. Jedoch müssen die Methoden, die in Zusammenarbeit mit großen und urbanen Fallstudien entwickelt wurden, auf die Verhältnisse und Bedürfnisse in kleineren und meist ländlichen Gemeinden in Österreich angepasst werden.

- Maßnahmen und Kombinationen daraus haben Auswirkungen auf verschiedenste Faktoren. Eine Bewertung aller Einflüsse kann dabei helfen, ein ideales Maßnahmenpaket für die Gemeinde zu finden.
- Die Struktur einer Siedlung (derzeitige aber vor allem auch die zukünftig erwünschte) gibt die Rahmenbedingungen für mögliche Entwässerungsmaßnahmen vor.
- Um alle Faktoren richtig bewerten zu können, muss die Planung als partizipativer Prozess zwischen Experten, Entscheidungsträgern und Bevölkerung passieren.

5 Entscheidungsfindung

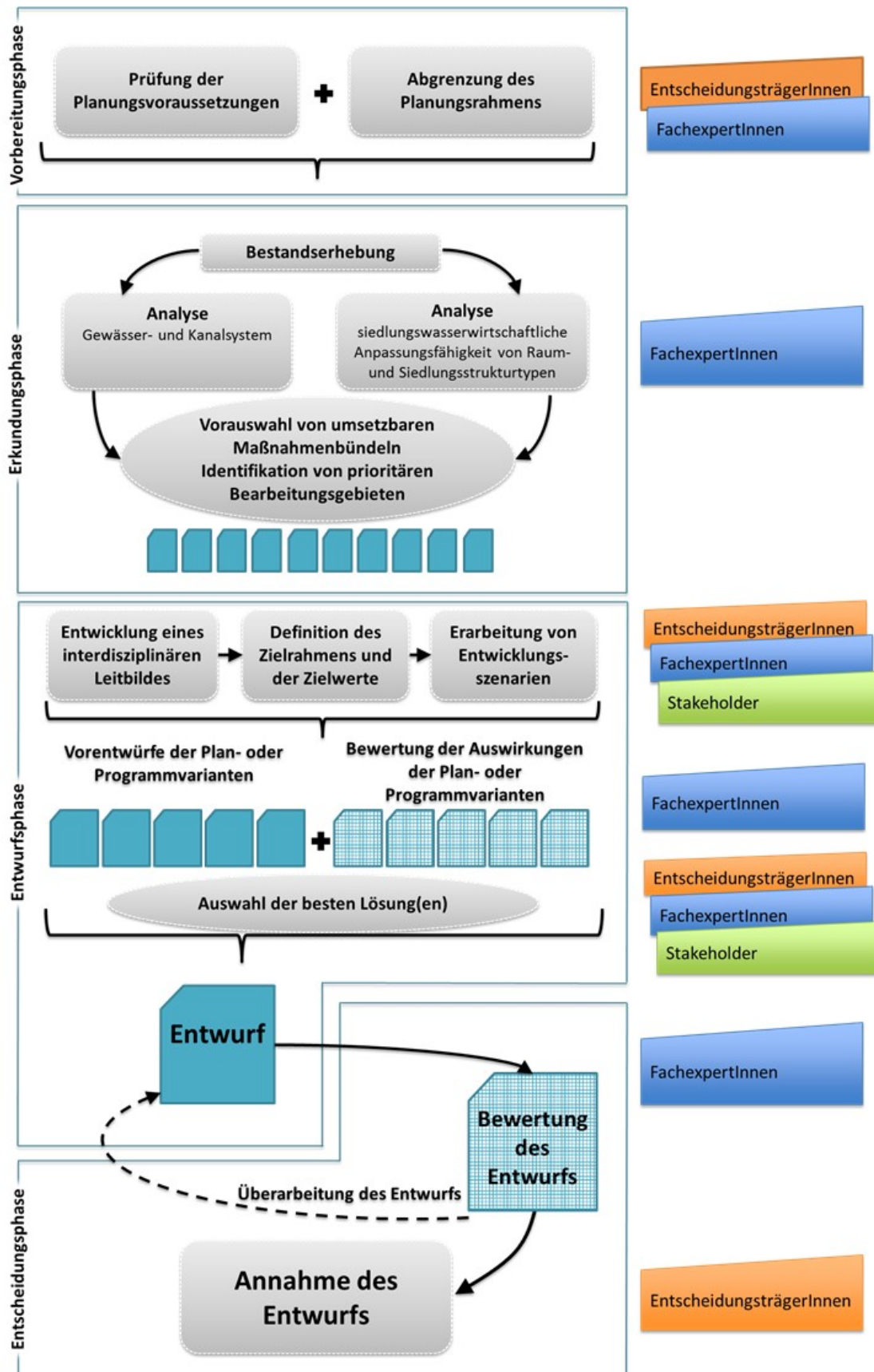
5.1 Von der Ist-Situation zu einer nachhaltigen Lösung

Die Entwicklung integraler Lösungen für die Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) ist ein wichtiges Ziel, um zukunftssichere Entwässerungssysteme zu planen (ON, 2017). Zusätzlich steigt das Bewusstsein für die Vorteile dezentraler naturbasierter Lösungen (European Commission and Directorate-General for Research and Innovation, 2015). Die Entscheidungsfindung, welche konkreten Maßnahmen für ein Gebiet gewählt werden sollen, um eine integrale Lösung zu erreichen, ist komplex, da sowohl mehrere Ziele berücksichtigt werden müssen als auch unterschiedliche Akteure in den Prozess eingebunden werden müssen (Kuller et al., 2017). Um möglichst viele unterschiedliche Aspekte der NWB in der Entscheidung zu berücksichtigen, können strukturierte Planungsprozesse angewandt werden. International gibt es mehrere Forschungsprojekte (Klimzug-Nord, KURAS, SAMUWA, SWITCH), in welchen unterschiedliche Prozesse für die Planung nachhaltiger und anpassungsfähiger NWB entwickelt wurden (Deister et al., 2016b; Kruse et al., 2014; A Matzinger et al., 2017a; van der Steen und Howe, 2009).

Viele Maßnahmen, welche im Maßnahmenkatalog beschrieben werden, befinden sich an der Oberfläche und weisen einen gewissen Flächenbedarf auf. Bei der Adaptierung bestehender Systeme stellen daher vorhandene Strukturen und deren Anpassungsfähigkeit eine wichtige Rolle dar. Deshalb wurde als Grundlage für den in diesem Projekt entwickelten Planungsprozess ein strukturierter Planungsablauf für die örtliche Raumplanung (Stöglehner und Wegerer, 2004) gewählt und um Aspekte einer integrierten NWB aus Erkenntnissen internationaler Forschungsprojekte ergänzt. Der Planungsprozess setzt sich aus mehreren aufeinander folgenden Phasen zusammen. Die Entscheidungsfindung zur Adaptierung bestehender NWB ist in den strukturierten Planungsprozess integriert. Die Arbeitsschritte innerhalb der vier Phasen sind in Abbildung 53 dargestellt und werden in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

Für eine erfolgreiche Umsetzung von NWB-Projekten ist die Einbindung unterschiedlicher Akteure in den Entscheidungsprozess von großer Bedeutung. Die Vorstellungen relevanter Akteursgruppen werden schon in der Planung integriert und mögliches Konfliktpotenzial kann früh erkannt werden (Beierle und Konisky, 2000). Die beteiligten Akteure in den einzelnen Phasen des Planungsprozesses sind in Abbildung 53 abgebildet und werden in den Unterkapiteln näher beschrieben. Möglichkeiten zum Akteursmanagement im Bereich der NWB werden im Detail in Kapitel 6.5 dargestellt.

Abbildung 53 Ablaufschema des Strukturierten Planungsprozesses



5.2 Vorbereitungsphase

Die Beschreibung des Handlungsanlasses, auf Grund welchem die bestehende Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) analysiert und überarbeitet werden soll, steht am Anfang des Planungsprozesses. Der Ausgangspunkt für eine Veränderung der aktuellen NWB kann zum Beispiel eine geplante Sanierung des Kanalsystems, eine Siedlungserweiterung oder eine Überlastung des Kanalsystems sein. Die Analyse der Planungsvoraussetzungen stellt die Möglichkeit dar, zugrundeliegende Probleme für eine notwendige Adaptierung in der NWB zu diskutieren und darauf aufbauend Grobziele für die Planung abzustecken (Stöglehner und Wegerer, 2004). Nach der Definition der Voraussetzungen wird der Untersuchungsrahmen festgelegt. Die Abgrenzung umfasst räumliche, zeitliche, inhaltliche und methodische Aspekte.

Bei der Zusammenstellung des Bearbeitungsteams sollte schon zu Beginn auf Interdisziplinarität gesetzt werden, weil die NWB eine Querschnittsmaterie ist. Auch ist die behördenübergreifende Zusammenarbeit wichtig, da die Umsetzung von Maßnahmen nicht nur den Siedlungswasserbau, sondern unter anderem auch die Raumplanung und die Wasserwirtschaft betrifft (Kruse et al., 2014). Vertreter der unterschiedlichen Gebiete (z.B. Siedlungswasserwirtschaft, Raumplanung, Landschaftsplanung, Verkehrsplanung, Ökologie, ...), welche mit der Planung beauftragt werden, werden im Folgenden allgemein als FachexpertInnen bezeichnet. Diese können je nach personeller Ausstattung MitarbeiterInnen der Gemeinde oder extern beauftragter Planungs- oder Ingenieurbüros sein.

5.3 Erkundungsphase

Zu Beginn der Erkundungsphase erfolgt eine Bestandserhebung der relevanten Grundlagendaten, welche die Randbedingungen für die Planung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen abbilden, durch die jeweiligen FachexpertInnen. Die gesammelten Daten umfassen neben klassischen entwässerungsrelevanten Daten wie Niederschlags- und Abflussmengen und angeschlossenen Flächen auch wasserwirtschaftliche, geologische, meteorologische, topografische und soziokulturelle Aspekte. Zusätzlich sind Daten zu bestehenden Entwässerungssystemen, Raum- und Siedlungsstrukturen (z.B.: Einfamilienhaussiedlung, mehrgeschossiger Wohnbau, Dorfzentrum, ...) sowie je nach Handlungsanlass zu Straßenraum, Verkehr und anderen Leitungsträgern zu erheben. Die vorherrschenden Randbedingungen haben einen Einfluss auf die Auswahl der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. So können zum Beispiel geringe Versickerungsfähigkeit (Geologie), Hangneigung (Topographie) oder der

Grundwasserstand (Wasserwirtschaft) die Anwendbarkeit bestimmter Maßnahmen beeinflussen.

Anschließend erfolgt eine erste Analyse des Untersuchungsgebietes basierend auf den erhobenen Grundlagendaten. Die Analyse des Untersuchungsgebiets zur Priorisierung relevanter Teileinzugsgebiete ist in zwei Teile getrennt, welche parallel oder auch nacheinander ablaufen können. Zum einen wird das Entwässerungssystem auf Engpässe geprüft. Zum anderen werden die räumlichen Randbedingungen anhand von unterschiedlichen Raumstrukturtypen analysiert.

Das bestehende Entwässerungssystem wird auf seinen Zustand und seine Belastung hin analysiert, um prioritäre Gebiete aus Sicht der Siedlungswasserwirtschaft zu identifizieren. Für die Beurteilung der hydraulischen Belastung des Kanalsystems wird eine hydrodynamische Simulation angewandt, da dies die einzige Möglichkeit darstellt Wasserstände im Kanalsystem und somit Engpässe im Kanal zu berechnen (Muschalla et al., 2015a). Ein Teil der Analyse stellen die Nachweise nach Regelblatt 11 und 19 dar, mit welchen die Funktionsfähigkeit der Entwässerung überprüft werden. Neben der Identifikation kritischer Stellen (Hydraulische Zustandsbewertung) kann mit der hydrodynamischen Simulation auch der Einfluss des Abflusses einzelner Teileinzugsgebiete auf die kritischen Punkte bestimmt werden (Sensitivität von Einzugsgebieten sh. Kapitel 6.4). Die Anwendung der Modellierung ist detailliert im DATMOD Leitfaden (Muschalla et al., 2015a) zu finden. Teileinzugsgebiete, welche einen signifikanten Einfluss auf kritische Stellen im Kanalnetz haben, sollten für die weitere Bearbeitung prioritär behandelt werden. Wenn eine bauliche Zustandsbewertung des Kanals vorhanden ist, kann die Information über sanierungsbedürftige Kanalabschnitte als weitere Informationsgrundlage für die Auswahl prioritärer Bearbeitungsgebiete herangezogen werden.

Die Analyse der Anpassungsfähigkeit von Raum- und Siedlungsstrukturtypen zielt auf die unterschiedlichen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken einzelner Strukturtypen bei der Anwendung von Maßnahmen zur NWB ab. So unterscheiden sich beispielsweise Einfamilienhaus-Siedlungen deutlich von Siedlungen im mehrgeschossigen Wohnbau, Dorfzentren oder Gewerbegebieten (z.B.: Nutzungen, Bevölkerungsdichten, Versiegelungsgrade, Dachformen, Eigentumsverhältnisse, potentielle Belastung der Regenabflüsse). Eine differenzierte Betrachtung ermöglicht es, spezifische Maßnahmen je Strukturtyp zu identifizieren (Kruse et al., 2014). Die unterschiedlichen Raum- und Siedlungsstrukturtypen sowie der Anpassungsfähigkeit bezogen auf die NWB werden im Detail in Kapitel 6.3 (Siedlungsstrukturtypen) beschrieben.

Am Ende der Untersuchungsphase erfolgt die Überlagerung der unterschiedlichen Analyseschichten zur Identifikation von prioritären Bearbeitungsgebieten und zur Vorauswahl umsetzbarer Maßnahmenbündel. Die Identifikation der prioritären Bearbeitungsgebiete setzt sich aus der zuvor beschriebenen Analyse des Kanalnetzes sowie der Raum- und Siedlungsstrukturtypen zusammen. Es erfolgt ein Abgleich von Teileinzugsgebieten, welche einen großen Einfluss auf kritische Punkte im Kanalnetz haben, mit deren Anpassungsfähigkeit. Die Auswahl von Bearbeitungsgebieten kann auch auf weitere Problembereiche wie Gebiete mit Hitzestress oder dem Bedarf nach hydraulischer Rehabilitierung ausgedehnt werden. Die Beurteilung der technischen Machbarkeit unterschiedlicher Maßnahmenbündel erfolgt auf Grund der vorherrschenden natürlichen Randbedingungen (z.B.: Geologie, Bebauung, Grünstruktur, Gewässersystem, Topographie). Eine Zusammenstellung von relevanten Randbedingungen und deren Einfluss auf die Umsetzbarkeit einzelner Maßnahmen befindet sich in Kapitel 3.3 (Randbedingungen).

5.4 Entwurfsphase

Die vorausgewählten Maßnahmenbündel werden in der Entwurfsphase weiter untersucht. Zu Beginn der Entwurfsphase steht zuerst die Entwicklung eines interdisziplinären regenwasserbezogenen räumlichen Leitbilds mit Einbindung aller beteiligten Akteursgruppen (Deister et al., 2016b; Kruse et al., 2014). Je nach Planungsrahmen bzw. prioritären Bearbeitungsgebieten sind dies neben lokalen EntscheidungsträgerInnen (Bürgermeister, Gemeinderäte) und Stakeholdern auch private GrundeigentümerInnen, wenn diese von möglichen Maßnahmen betroffen sind. Relevante Akteure und Möglichkeiten diese einzubinden werden in Kapitel 6.5.1 näher beschrieben. Das Leitbild stellt die Vision für die zukünftige Entwicklung dar und wird für das gesamte Untersuchungsgebiet entwickelt. Die Erkenntnisse aus der vorangegangenen Analyse bilden für die Erstellung die Diskussionsgrundlage. Ein integratives Leitbild setzt sich aus unterschiedlichen Aspekten der NWB zusammen und geht über den Entwässerungskomfort und Überflutungsschutz hinaus. Für eine ganzheitliche Betrachtung der NWB sollten bei der Erstellung des Leitbildes für das Untersuchungsgebiet ökologische, ökonomische und soziale Aspekte betrachtet werden (Rotteneder 2018). Das Leitbild bildet die Grundlage für die Ziele der Planung.

Um die Umsetzung des Leitbilds bei der Auswahl von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen beurteilen zu können, wird ein Zielrahmen entworfen. Dieser umfasst die Definition aller maßgeblichen Ziele als Grundlage für die Entscheidungsfindung. Es können weitere Planungsziele im engeren Sinn (Wie soll der Zielzustand sein, wenn die Planung umgesetzt ist?), Umweltziele, soziale Ziele sowie

wirtschaftliche Ziele unterschieden werden. Der Zielrahmen kann neben normativen (z.B.: Gewässerschutz, Grundwasserschutz, ...) auch optionale Ziele (z.B.: lokale Klimaverbesserung durch Verdunstung, Regenwasserrückhalt, Bodenschutz) beinhalten. Neben der Erfüllung des Überflutungs- und Gewässerschutzes (ÖWAV RB 11 und 19) stellt auch die Annäherung an die natürliche Wasserbilanz, welche im Detail in Kapitel 3.1.3 beschrieben wird, ein Beispiel für ein Planungsziel dar. Für eine konsequente Operationalisierung der (mess- bzw. abschätzbaren) Kriterien ist die Definition von konkreten Zielwerten erforderlich. Wenn die Erreichung der Ziele nicht von gleicher Relevanz ist, kann eine Reihung oder Gewichtung der einzelnen Ziele durchgeführt werden, welche im Weiteren einen Einfluss auf die Beurteilung der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen hat. Die Gewichtung der Ziele (z.B.: monetäre / nicht-monetäre Ziele) wird in enger Abstimmung zwischen EntscheidungsträgerInnen, Stakeholdern und FachexpertInnen festgelegt.

Um die Adaptierung der NWB möglichst robust für die Zukunft zu gestalten, werden in einem nächsten Schritt mehrere Szenarien des Wandels durch FachexpertInnen in Zusammenarbeit mit den EntscheidungsträgerInnen und Stakeholdern erarbeitet. Diese können beispielsweise unterschiedliche Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung, den Auswirkungen von Klimawandel und Energiewende sowie zur räumlichen Entwicklung des Untersuchungsgebiets aufgreifen (Kruse et al., 2014). Mehrere Szenarien und deren Auswirkung auf die NWB sind im Kapitel 2 beschrieben.

Basierend auf dem Leitbild und den vorausgewählten Maßnahmenbündeln werden anschließend von FachexpertInnen erste Vorentwürfe der Plan- oder Programmvarianten für die prioritären Bearbeitungsgebiete entwickelt. Die Auswirkungen der Planvarianten werden in Hinblick auf die definierten Ziele und auf deren Robustheit gegenüber den ausgewählten Szenarien des Wandels untersucht. Eine Beschreibung zur Robustheitsanalyse findet sich in Kapitel 3.1.4. Die Planvarianten werden zusätzlich einer ersten ökonomischen Bewertung auf Basis genereller Indikatoren unterzogen. Eine Möglichkeit hierfür stellt die Analyse der Life-Cycle-Costs dar, welche in Kapitel 3.1.5 beschrieben ist.

Die Auswahl der besten Lösungen im Hinblick auf das Leitbild, die Erfüllung des Zielsystems und die Robustheit erfolgt vom Auftraggeber bzw. den verantwortlichen EntscheidungsträgerInnen (ggf. unter Einbindung von Stakeholdern) auf Vorschlag der FachexpertInnen. Zur Bestimmung der besten Planvariante werden die zuvor festgelegte Reihung bzw. Gewichtung der einzelnen Ziele herangezogen.

Anschließend erstellen die FachexpertInnen einen detaillierten Entwurf bzw. Entwurfsvarianten für das/die prioritäre(n) Handlungsgebiet(e).

Exkurs integratives Leitbild

Ein integratives Leitbild baut auf den Kriterien der Nachhaltigkeit auf (ökologisch, ökonomisch, sozial), um möglichst alle Aspekte der NWB abdecken zu können. Das im Folgenden angeführte Leitbild stellt ein Beispiel dar, welche Ziele eine integrative NWB umfassen kann. Das Leitbild kann in der Planung auf die konkreten Gegebenheiten angepasst werden.

Das hier präsentierte Leitbild setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, welche in Summe zu einer nachhaltigen NWB führen. Zu den ökologischen Aspekten, welche bei der NWB beachtet werden sollten, zählen sowohl der Gewässer-, Grundwasser- und Bodenschutz als auch die Wiederherstellung bzw. Aufrechterhaltung des natürlichen Wasserhaushalts sowie die Verbesserung des Mikroklimas. Den ökonomischen Zielen des Leitbilds sind die Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und Flexibilität der Adaptierung der NWB sowie die Wahrung des Entwässerungskomforts und somit dem Hochwasserschutz zuzuordnen. Zusätzlich werden im Leitbild noch soziale Aspekte berücksichtigt, durch die Möglichkeit der Quartiersaufwertung durch Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und der Erhöhung der Lebensqualität in diesen sowie die Partizipation der Akteure bei der Planung und die damit in Zusammenhang stehende Identifikationsstiftung (Rotteneder, 2018).

5.5 Entscheidungsphase

In der letzten Phase des Planungsprozesses erfolgt eine vertiefte Bewertung des detaillierten Entwurfs bzw. der Entwurfsvarianten auf Basis der zuvor beschriebenen Indikatoren. Dieser Schritt dient dazu festzustellen, ob es während der Entwurfsentwicklung zu Änderungen gegenüber der zuvor gewählten Lösung gekommen ist oder erhöhte Detailschärfe zu neuen Erkenntnissen führt. Bei der Detailbearbeitung sollten auch Konzepte für Betrieb und Wartung der NWB-Maßnahmen erstellt werden. Punkte, die es bei Betrieb und Warten unterschiedlicher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu beachten gibt, sind in Kapitel 6.6 zusammengefasst.

Darauf aufbauend erfolgt entweder eine Annahme des Entwurfs seitens des Auftraggebers bzw. der EntscheidungsträgerInnen oder dessen Überarbeitung mit einer darauffolgenden Annahme.

Die Entscheidungsfindung ist an diesem Punkt abgeschlossen und es folgt die Umsetzung des Projektes. Schon bei der Umsetzung sollte ein späteres Monitoring der Maßnahmen mitgeplant werden, um eine Evaluierung der umgesetzten Maßnahmen möglich zu machen. Da Adaptierungen des Entwässerungssystems oft über einen längeren Zeitraum erfolgen, müssen auch Übergangsmaßnahmen bei der Umsetzung von Projekten mit eingeplant werden.

6 Beispielhafte Darstellung von Aspekten im Planungsprozess

6.1 Fallstudien

Die Problemstellungen, Methodik und Prozesse werden anhand von Fallstudien aus Österreich dargestellt. Die 3 Hauptgebiete sind Telfs und Stadtteile von Innsbruck (Tirol), Umlandgemeinden von Graz (Steiermark) und Randgebiete von St. Pölten (Niederösterreich). Die Herausforderungen der untersuchten Gebiete sind aufgrund der geographischen Lage und den demographischen sowie wirtschaftlichen Bedingungen sehr unterschiedlich.

6.1.1 Gemeinde Telfs und Innsbruck

Die Tiroler Gemeinde Telfs konnte dank einer bereits aus früheren Projekten bestehenden Kooperation und interessierten Verantwortlichen als Partner gewonnen werden. Aus einem Vorprojekt („DATMOD – Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell“) sind bereits ein kalibriertes hydrodynamisches Modell und eine Datengrundlage vorhanden. Darüber hinaus stehen hochauflösende Luftbilddaufnahmen sowie Laserscandaten zur Verfügung. Eine darauf aufbauende Detailflächenerhebung sowie eine Messkampagne sollen als Grundlage für ein genaueres Entwässerungsmodell dienen.

Abbildung 54 Entwässerungsnetz von Telfs; Schmutzwasser- bzw. Mischwasserleitungen mit Mischwasserentlastung (CSO) und Kläranlage (ARA Telfs), Pumpen, Regenwasserkanäle und Auslässe



Telfs liegt 27 km westlich von Innsbruck, nördlich des Inns am Fuße der Hohen Munde. Der Ortskern liegt auf 634 m, der höchste Punkt auf 2.662 m Seehöhe. Die Gemeindefläche beträgt 45,5 km², wobei 10,7 km² als Dauersiedlungsraum genutzt werden. Im Ortskern und den industriell genutzten Gebieten liegt der Versiegelungsgrad bei über 90 %, in den Wohngebieten bei ca. 50 %. Die Bevölkerungsanzahl liegt mit Stand 1.1.2017 bei 15.582 (Statistik Austria). Die Gemeinde ist charakterisiert durch alpine klimatische Verhältnisse, d. h. kalte Winter und konvektive Starkniederschläge im Sommer. Die Entwässerung erfolgt teilweise im Mischsystem und teilweise im Trennsystem. Die Gemeinde ist Teil des Abwasserverbandes Telfs und Umgebung mit der gemeinsamen Abwasserreinigungsanlage in Telfs. Die Gemeindekanalisation wird durch die Gemeindewerke Telfs verwaltet, die Verbandsammler durch den Abwasserverband. Vonseiten der Gemeindewerke Telfs wird auch eine engagierte und offensive Öffentlichkeitsarbeit betrieben. Infolgedessen werden das Forschungsvorhaben sowie Ergebnisse den Gemeindepolitikern präsentiert und die Bevölkerung über die Gemeindezeitung „Telfer Blatt“ informiert.

Abbildung 55 Versiegelung (Undurchlässigkeit) im Gemeindegebiet von Telfs; dicht bebauter Ortskern und Gewerbegebiete, Wohngebiete mit deutlich geringerer Dichte (Ein- und Mehrfamilienhäuser)



Die Herausforderungen in Telfs ergeben sich durch begrenzte Platzverhältnisse, wie in vielen Tallagen bzw. alpinen Gegenden üblich. Ein flächiges Wachstum ist daher nur begrenzt möglich und eine Verdichtung des bestehenden Siedlungsraumes bei Flächenbedarf nötig. Als Richtwert für das Bevölkerungswachstum werden die Prognosen aus Kapitel 2.1 verwendet und auf die Gemeindeebene heruntergebrochen. Die Regionalprognose wird mithilfe der neueren Bundeslanddaten aktualisiert (Tabelle 1) und das Verhältnis zwischen Bezirk und Gemeinde auf die Bezirksprognosen übertragen. Für die Alternativszenarien werden die Abweichungen aus Tabelle 2 übernommen.

Tabelle 55 Bevölkerungsprognose, Beispiel Telfs (Anpassungsfaktoren aus Tabelle 1 und Tabelle 2)

	2014	2030	(+/-)	2050	(+/-)	2075	(+/-)
Regionalprognose Innsbruck Land	169.680	190.262		202.483		208.829	
Prognose Tirol 2017		190.945	+0,36%	202.720	+0,12%	211.218	+1,14%
Einwohner Telfs (Hauptszenario)	15.287*	17.203		18.264		19.029	
Wachstumsszenario		18.062	+5,00%	20.994	+14,95%	24.285	+27,62%
Alterungsszenario		16.592	-3,55%	16.376	-10,34%	15.394	-19,10%

* Zentrales Melderegister 31.10.2014 (Statistik Austria)

Der Flächenbedarf bzw. der Verdichtungsgrad, der sich daraus ergibt, kann anhand der definierten Entwicklungsgebiete sowie der derzeitigen und angestrebten Siedlungsstruktur ermittelt werden. Als konkretes Beispiel dient der komplette Neubau einer Siedlung samt angepasstem Entwässerungskonzept.

Flächenbedarf am Beispiel eines Neubaugebietes als Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung (20% Gebäude, 24% versiegelte Fläche ohne Gebäude, 56% nicht versiegelt, durchschnittliche Haushaltsgröße: 2 Personen / Haushalt, durchschnittliche Wohnnutzfläche: 65m², durchschnittliche Geschosshöhe: 2).

Tabelle 56 Beispiel Baulandbedarf bis 2075 für das Hauptszenario der Bevölkerungsprognose bei Bedarfsdeckung durch Neubau

		2030	2050	2075
Zunahme Bevölkerung		+ 1916	+ 2977	3742
Gebäude	20%	3,11 ha	4,84 ha	6,08 ha
Versiegelte Fläche o.G.	24%	3,74 ha	5,81 ha	7,30 ha
Gesamt versiegelt	44%	6,85 ha	10,65 ha	13,38 ha
Nicht versiegelt	56%	8,72 ha	13,55 ha	17,03 ha

Wird ein Wandel in der Siedlungsstruktur angestrebt, beispielsweise von Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung zu einer Reihenhaussiedlung, kann der Flächenbedarf für Neubauten reduziert werden. Gleichzeitig steigt aber die Versiegelung im bestehenden Siedlungsgebiet.

Ein beträchtlicher Teil der Neuversiegelung wird durch den Verkehr verursacht. Für Telfs wird daher der Einfluss der Straßen auf das Abflussverhalten untersucht. In Abbildung 56 sind die Einzugsgebiete des Modells in Straßen und Grundstückseinzugsgebiete unterteilt. Weiters wird innerhalb des Straßennetzes in 3 Kategorien abhängig vom Verkehrsaufkommen unterschieden. Über Abkoppelungen wird einerseits das rein volumetrische Abflussverhalten untersucht und andererseits die Unterschiede in der (schad)stofflichen Belastung aufgezeigt. Damit soll untersucht werden, welche Möglichkeiten bestehen, um den Eintrag von Schadstoffen von Straßen in die Vorfluter zu reduzieren.

Abbildung 56 Einzugsgebiete des hydrodynamischen Modells für Telfs: Straßen rot, Grundstücke grün



Als zweites Untersuchungsgebiet in Tirol wird Innsbruck verwendet. Innsbruck entspricht zwar nicht dem Kriterium einer kleinen Gemeinde, aufgrund der guten Datenlage können allerdings die Methoden dieses Projektes sehr gut dargestellt werden.

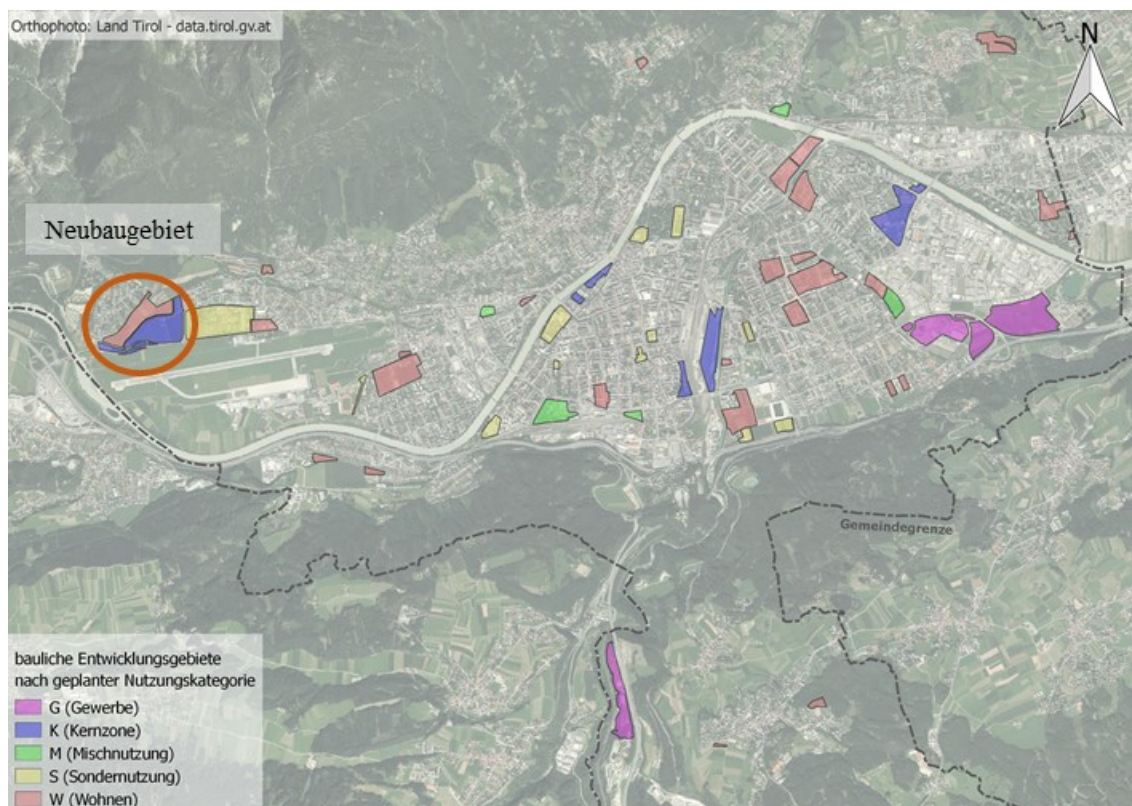
Das neue Raumordnungskonzept (ÖROKO 2.0) für Innsbruck steht kurz vor Beschlussfassung. Im bereits veröffentlichten Entwurf zur Stellungnahme werden eine Reihe von Maßnahmen, Konzepte und Entwicklungsgebiete definiert (Abbildung 57). Besonders interessant ist ein Gebiet im westlichen Randgebiet von Innsbruck, das als Neubaugebiet definiert ist. Dieses Gebiet wird mithilfe eines bereits bestehenden Bebauungskonzeptes

entwässerungstechnisch untersucht. Dabei sollen Probleme, die insbesondere in Tallagen auftreten können, näher behandelt werden.

Die Problematik in diesem Gebiet schaut folgendermaßen aus:

- Aufgrund der lokalen Gesetzeslage darf das Niederschlagswasser nicht in den Kanal eingeleitet werden (Versickerungspflicht). Bei Einleitung in den Kanal müsste das Wasser durch das gesamte Stadtgebiet zur Kläranlage am östlichen Ende von Innsbruck geschleust werden. Dies würde ein potentiell höheres Mischwasserüberlaufvolumen bedeuten.
- Ein Einleiten in den Inn ohne Retention ist aufgrund des Hochwasserschutzes nicht gestattet
- Durch die Nähe zum Inn ist der Grundwasserspiegel sehr hoch, was bei Versickerungsanlagen zu Problemen führt.

Abbildung 57 Siedlungsgebiet Innsbruck, Entwicklungsgebiete im ÖROKO 2.0, Neubaugebiet am Westende von Innsbruck (Vonach et al., 2018)



6.1.2 Graz - „Wagner-Biro-Viertel“

Projektgebietsbeschreibung

An der Fallstudie „Wagner-Biro-Viertel“ sollen insbesondere die Methodik zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz (siehe Kapitel 3.1.3) sowie die wirtschaftliche Bewertung anhand von Lebenszykluskosten (siehe Kapitel 3.1.5.1) angewandt und aufgezeigt werden. Einerseits wurde die erarbeitete Methodik hierdurch getestet und andererseits auch entwickelt bzw. verbessert.

Das Gebiet (prinzipielles Entwässerungssystem in Abbildung 59 (links)) wurde aufgrund seiner sehr dynamischen Entwicklung gewählt. Viele der Bebauungsstrukturen entsprechen auch jenen kleinerer oder mittlerer Gemeinden. Das Projektgebiet liegt im nordwestlichen Teil der steirischen Landeshauptstadt Graz (Abbildung 58), westlich des Hauptbahnhofes, des Bahnhofgürtels sowie der Südbahntrasse und umfasst mit 69,9 ha in etwa ein Fünftel der Gesamtfläche des 4. Grazer Bezirks Lend (370,1 ha).

Abbildung 58 Übersichtskarte Projektgebiet „Wagner-Biro-Viertel“

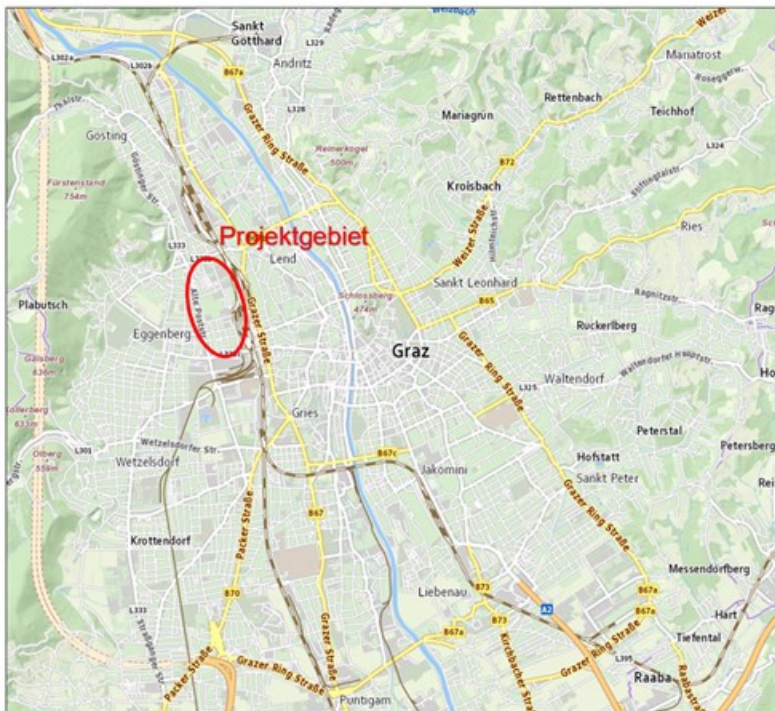
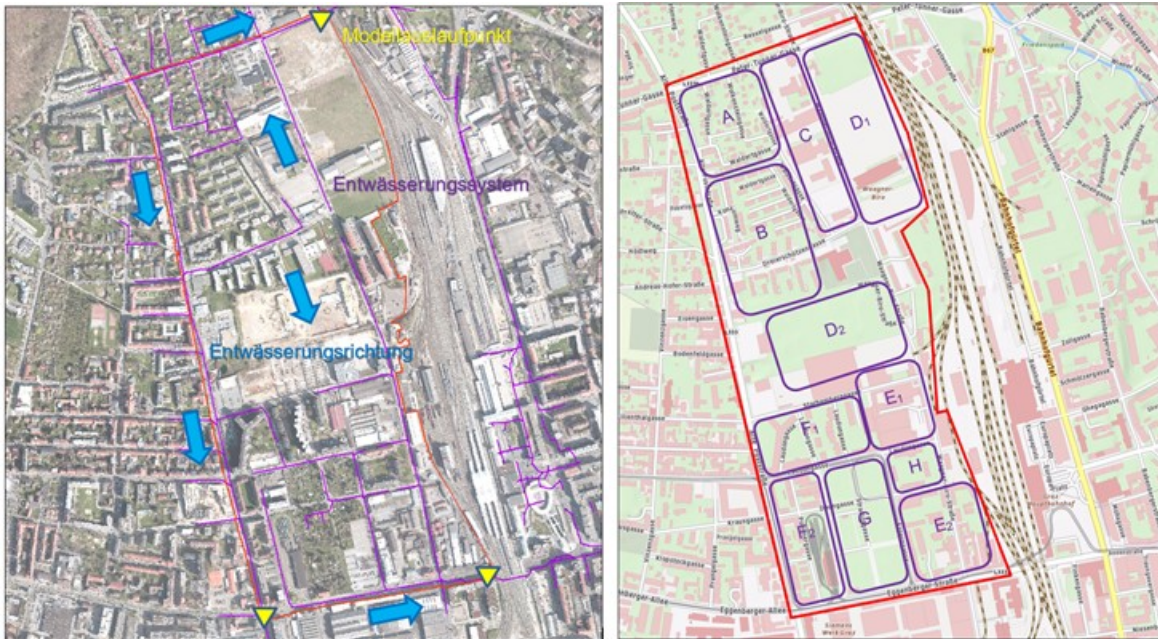


Abbildung 59 Übersicht über das Entwässerungssystem im Projektgebiet (links) und
Detailkarte des Projektgebiets "Waagner-Biro-Viertel" (rechts)



Das Projektgebiet ist in weitere kleinere Gebiete aufgeteilt (Abbildung 59 (rechts), Teilbereiche mit vorwiegender Nutzung und Fläche in Tabelle 61). Genauer betrachtet wird in weiterer Folge das Gebiet E2, da hier ein großes Potenzial zur Verbesserung der Wasserbilanz in Richtung eines natürlichen Zustands vorhanden ist. Das Gebiet E2 ist relativ stark versiegelt, bietet aber durchaus Platz für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Als Siedlungsstrukturtyp kann ein „Gebiet mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte“ festgestellt werden (siehe Kapitel 6.3.2).

Tabelle 57 Teilbereiche des Projektgebiets „Waagner-Biro-Viertel“

Teilbereiche des Projektgebiets	Vorwiegende Nutzung	Fläche [ha]	Fläche vom GPG [%]
A	Wohnen (gering dicht)	~ 6,7	~ 10
B	Wohnen (mitteldicht)	~ 8,8	~ 13
C	Gewerbe	~ 5,1	~ 7,5
D _(1,2)	Smart City (Wohnen)	~ 16	~ 23
E _(1,2)	Gewerbe/ Wohnen	~ 8,5	~ 13
F _(1,2)	Wohnen (dicht)	~ 9,3	~ 13
G	Kleingarten	~ 5,5	~ 8
H	Wohnen (dicht)	~ 1,4	~ 2

Datengrundlage und Modellerstellung

Für den Aufbau eines hydrodynamischen Niederschlags-Abfluss-Modells mit dem Storm Water Management Model SWMM (Rossman, 2015) (Übersicht zu Modellierungstools in Kapitel 6.2) waren die folgenden Datengrundlagen vorhanden und notwendig:

- Digitales Geländemodell (Auflösung: 1m)
- Orthofoto des Projektgebiets (Auflösung: 25cm)
- Grundstückskataster
- Karte über Bodendurchlässigkeiten
- Karte zu Altlastenverdachtsfällen
- Karte zu Grundwasserständen
- Kanalkataster (digitales Leitungsinformationssystem)

Für die Planung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen empfiehlt es sich, bei der räumlichen Auflösung der Oberfläche auf eine teilflächendifferenzierte Ebene (Ebene 4 – siehe (Muschalla et al., 2015b)) zu setzen. Damit wird die Modellierung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen deutlich vereinfacht, da einzelne Flächen direkt als NWB-Maßnahme definiert werden können und keine Aufteilung von Flächen erfolgen muss.

Die Erstellung der Oberflächenkarte und Einteilung in Teilflächen erfolgte automatisiert mit einer nachfolgenden manuellen Nachbearbeitung auf Grundlage des Orthofotos. Für die Oberflächenkategorisierung wurden verschiedene Oberflächen- und Landnutzungstypen definiert (siehe Tabelle 58).

Tabelle 58 Oberflächenkategorisierung, modifiziert nach Krebs et al., 2016

Oberflächentyp	Oberflächentyp Code	Landnutzungstyp
Asphalt	A	Sonstige
		Parkplatz
		Bürgersteig
		Straße
Beton	B	Sonstige
		Parkplatz
		Bürgersteig
		Straße
Schotter	S	Sonstige
		Parkplatz
		Bürgersteig
		Straße
Naturstein	NS	Sonstige
		Bürgersteig
Pflasterstein	PS	Sonstige
		Parkplatz
		Bürgersteig
		Straße
ÖBB	Ö	ÖBB
Ziegel/Bahnen	ZB	Dachfläche
Rasen	R	Grünfläche
Rasen/Vegetation	RV	
Vegetation/Rasen	VR	
Vegetation	V	

Abbildung 61 : Einzugsgebiete im Projektgebiet

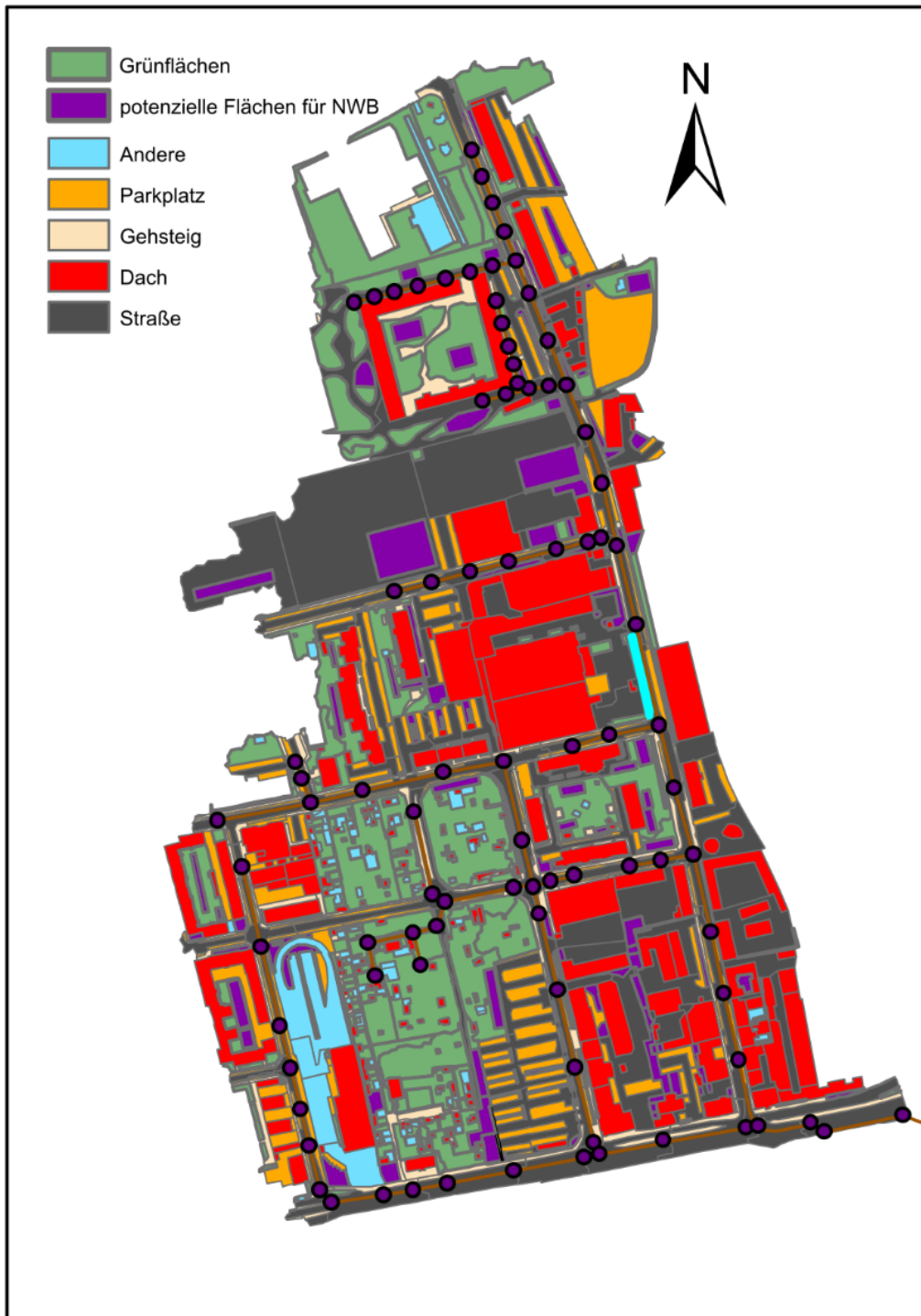


Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz

Am Fallbeispiel wurde insbesondere eine Annäherung an die natürliche Wasserbilanz verfolgt (Methodik siehe Kapitel 3.1.3). Dafür wurde auch der natürliche Zielzustand als Referenz simuliert. Dabei wurde ein Gebiet mit leichtem Waldbestand angenommen. Zur Berücksichtigung der Interzeptionsverluste durch die Bäume wurde in SWMM ein eigener Layer hierfür eingeführt und simuliert. Der Zielzustand kann, wie hier angewandt, hydrologisch modelliert werden (methodischer Ansatz z. B. in (Henrichs et al., 2019)) oder von den Entscheidungsträgern im Vorfeld festgelegt werden.

Zur Ermittlung möglicher Planungsszenarien wurde das Projektgebiet zunächst dahingehend untersucht, an welcher Stelle potenzielle Flächen für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen vorgesehen werden können (Abbildung 62). Dazu wurden die vorhandenen Datengrundlagen (Grundwasserstände, Altlastenverdachtsfälle, Bodendurchlässigkeiten, Dachneigungen, usw.) herangezogen (siehe Kapitel 3.3). Als Dachbegrünung wurde eine extensive Begrünung (Leichtdachbegrünung) aufgrund der geringeren statischen Voraussetzungen gewählt.

Abbildung 62 Potenzielle Flächen für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen



Aufgrund der genannten Randbedingungen für den Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen wurden in dem betrachteten Gebiet insgesamt 49 mögliche Gründächer, 118 mögliche Versickerungsmaßnahmen (Versickerungsmulde, Mulde-Rigole, Versickerungsgraben) sowie 16 Rigolen ermittelt. Rigolen wurden hierbei nur

in Betracht gezogen, wenn es die Platzverhältnisse nicht anders zuließen, um somit die Oberfläche anderweitig nutzen zu können.

In weiterer Folge wurden unterschiedliche Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen an den dafür vorgesehenen Stellen eingesetzt und modelliert. Dabei wurde eine unterschiedliche Anzahl an Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen kombiniert und zufällig angeordnet (siehe Szenarien in Tabelle 59). Die jeweiligen Szenarien wurden mit dem US EPA Storm Water Management Model (SWMM) (Rossman, 2015) simuliert. Die Langzeitsimulationen umfassten hierbei jeweils 10 Jahre. Die Regenzeitserie wurde in Graz gemessen (ÖWAV, 2007b). Aus den Simulationen lässt sich anschließend die Wasserbilanz ermitteln.

Tabelle 59 Untersuchte Maßnahmenkombination

Szenario	Gründächer	Versickerungs- mulden	Mulden- Rigolen	Versickerungs- graben	Rigolen
0	0	0	0	0	0
1	16	0	0	0	0
2	32	0	0	0	0
3	49	0	0	0	0
4	0	59	0	0	0
5	0	0	59	0	0
6	0	0	0	59	0
7	0	118	0	0	0
8	0	0	118	0	0
9	0	0	0	118	0
10	0	0	0	0	16
11	49	118	0	0	0
12	49	0	118	0	0
13	49	0	0	118	0
14	49	0	0	0	16
15	0	0	29	0	0
16	0	0	88	0	0

17	0	0	59	59	0
18	49	0	59	59	0
19	0	59	59	0	0
20	0	39	39	40	0
21	49	39	39	40	0
22	49	39	39	40	16

Ermittlung der Lebenszykluskosten

Für jedes Szenario wurden zudem die Lebenszykluskosten berechnet (für Kostenansätze siehe Tabelle 60). Die Nutzungsdauer wurde mit 30 Jahren und der Zinssatz mit 3% angenommen (Leimbach et al., 2018). Den Literaturwerten aus Tabelle 60 folgend, wurden jährlich 5% als Verhältnis zwischen Instandhaltungs- und Baukosten angesetzt. Der Bezugszeitpunkt wurde mit dem Beginn der Nutzungsdauer festgesetzt. Die einzelnen Baukosten wurden in gleichmäßig verteilte jährliche Kosten umgelegt:

$$GK_a = K_o \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} + K_o \cdot p$$

wobei GK_a die jährlichen Gesamtkosten je Einheit darstellt, K_o sind die Baukosten je Einheit, i ist der Zinssatz, n ist die Nutzungsdauer, p ist das Verhältnis von Instandhaltungs- zu Baukosten.

Tabelle 60 Kostenansätze zur Ermittlung der Lebenszykluskosten

NWB-Maßnahme	Baukosten	Instandhaltungskosten	Gesamtkosten	Quelle
Gründach	35 €/m ²	1,75 €/m ² a	3,54 €/m ² a	(Matzinger et al., 2017), (Sieker, 2018), (Muschalla et al., 2014), adaptiert
Versickerungsmulde	30 €/m ²	1,5 €/m ² a	3,03 €/m ² a	(Matzinger et al., 2017), (Leimbach et al., 2018), (Sieker, 2018), (Muschalla et al., 2014), adaptiert
Versickerungsgraben	105 €/m ³	5,25 €/m ³ a	10,61 €/m ³ a	(Matzinger et al., 2017), (Leimbach et al., 2018), (Sieker, 2018), (Muschalla et al., 2014), adaptiert

Mulde-Rigole	135	€/m ³	6,75	€/m ³ a	13,64	€/m ³ a	(Matzinger et al., 2017), (Leimbach et al., 2018), (Sieker, 2018), (Muschalla et al., 2014), adaptiert
Rigole	105	€/m ³	5,25	€/m ³ a	10,61	€/m ³ a	(Matzinger et al., 2017), (Leimbach et al., 2018), (Sieker, 2018), (Muschalla et al., 2014), adaptiert

Ergebnisse

Für jedes Szenario wurde einerseits die Wasserbilanz als auch die Lebenszykluskosten ermittelt (siehe Tabelle 61).

Der Ausgangszustand (Szenario 0, Abbildung 63) weist wie zu erwarten die höchste Abflusskomponente auf. Durch vermehrten Einsatz von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen kann dieser Wert reduziert werden (siehe Verlauf in Abbildung 63). Dies führt jedoch gleichzeitig auch zu erhöhten Kosten (siehe Kostenverlauf in Abbildung 63).

Ähnliche Erkenntnisse sind auch für die Evapotranspiration festzuhalten. Im Ausgangszustand (Szenario 0) liefern die Simulationsergebnisse den kleinsten Wert. Auch Szenario 10 (nur Einsatz von Rigolen) weist den kleinsten Evapotranspirationswert auf. Wie zu erwarten, liefern Rigolen keinen Beitrag für die Verdunstung. Ein klarer Sprung ist bezüglich der Evapotranspiration zwischen Szenarien mit oder ohne Gründächer zu erkennen. Gründächer sind somit besonders wertvoll für die Erhöhung der Verdunstung einsetzbar. Dies kann mit der damit verbundenen kühlenden Wirkung positive Auswirkungen auf das Mikroklima haben. Jedoch zeigt sich hier abermals, dass eine in Richtung natürlichem Zustand verbesserte Wasserbilanz mit erhöhten Kosten verbunden ist.

Die Ergebnisse bezüglich der Grundwasseranreicherung zeigen (siehe Abbildung 65), dass es im Vergleich zum Zielzustand auch zu erhöhten Werten kommen kann. Dies weist auf einen zu starken Einsatz von Versickerungsanlagen hin (z. B. Szenario 9). Auch solch ein Zustand ist negativ zu bewerten, da es dadurch zu Veränderungen im Grundwasserstand und damit verbundenen Problemen wie vernässten Kellern etc. kommen kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass durchwegs alle Wasserbilanzkomponenten betrachtet werden müssen. Szenario 9 (Einsatz von Versickerungsgräben) liefert nämlich beispielsweise sehr gute Ergebnisse für den Abfluss, schneidet bei der Evapotranspiration jedoch ziemlich schlecht ab. Die Kombination verschiedener NWB-Maßnahmen kann als zielführend bezeichnet werden. Die Szenarien 11, 13, 18 und 21 liefern beispielsweise für die gesamte

Wasserbilanz gute Ergebnisse hinsichtlich einer angestrebten Annäherung an einen natürlichen Zielzustand. Aus diesen vier Szenarien ragt Szenario 11 kostenmäßig als günstigstes heraus. Dies liegt am Einsatz der vergleichsweise günstigen Versickerungsmulden.

Durch weitere Optimierung der Anzahl und Kombination unterschiedlicher Arten von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen können die Ergebnisse bezüglich der Zielgrößen Wasserbilanz und Lebenszykluskosten noch weiter verbessert werden. Auch wenn möglicherweise im betrachteten Gebiet der Zielzustand nicht für jede Wasserbilanzkomponente genau erreicht werden kann, wird das Ziel einer Annäherung verfolgt und die Planungsvarianten werden auch dahingehend bewertet.

Tabelle 61 Überblick über die Ergebnisse für die Wasserbilanz und die Lebenszykluskosten

Szenario	Abflussvolumen in %	Evapotranspiration in %	Grundwasseranreicherung in %	Kosten in €/a
0	58,3	32,1	9,6	0,0
1	55,7	34,6	9,6	43263,7
2	53,2	37,1	9,7	84087,3
3	49,7	40,6	9,8	143366,6
4	39,1	33,4	27,5	31526,5
5	37,7	33,5	28,8	80036,4
6	36,9	32,3	30,8	47398,4
7	17,6	35,0	47,4	68420,1
8	17,4	34,9	47,7	164163,1
9	17,3	32,7	50,0	95743,0
10	52,0	32,1	15,9	38637,0
11	15,1	43,2	41,7	211786,7
12	14,9	43,1	41,9	307529,7
13	14,9	41,1	44,0	239109,6
14	45,2	40,6	14,2	182003,6
15	45,3	32,8	21,9	48791,5

16	25,8	34,5	39,8	126633,4
17	17,4	33,8	48,8	129197,2
18	14,9	42,1	43,0	273834,1
19	17,5	35,0	47,6	116996,4
20	17,4	34,2	48,3	108806,6
21	15,0	42,5	42,5	252173,2
22	11,0	42,4	46,6	290216,7
Natürlicher Zielzustand	8,1	45,2	46,7	0

Abbildung 63 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Abfluss); Wasserbilanz und Kosten

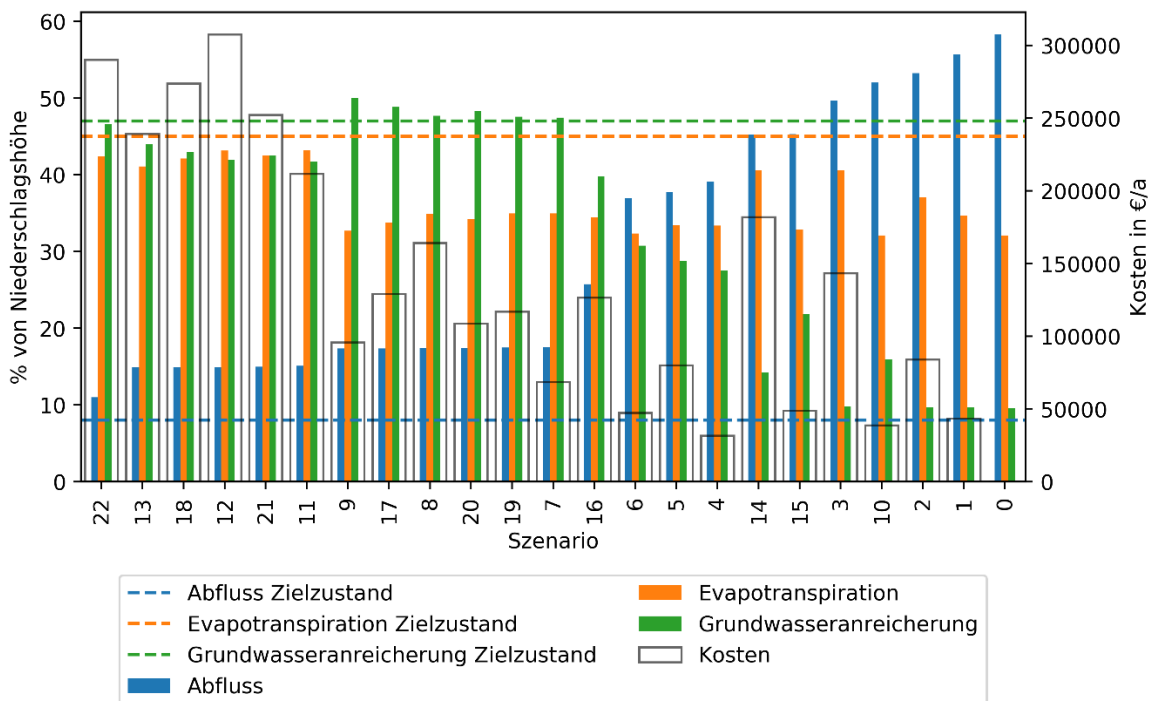


Abbildung 64 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Evapotranspiration); Wasserbilanz und Kosten

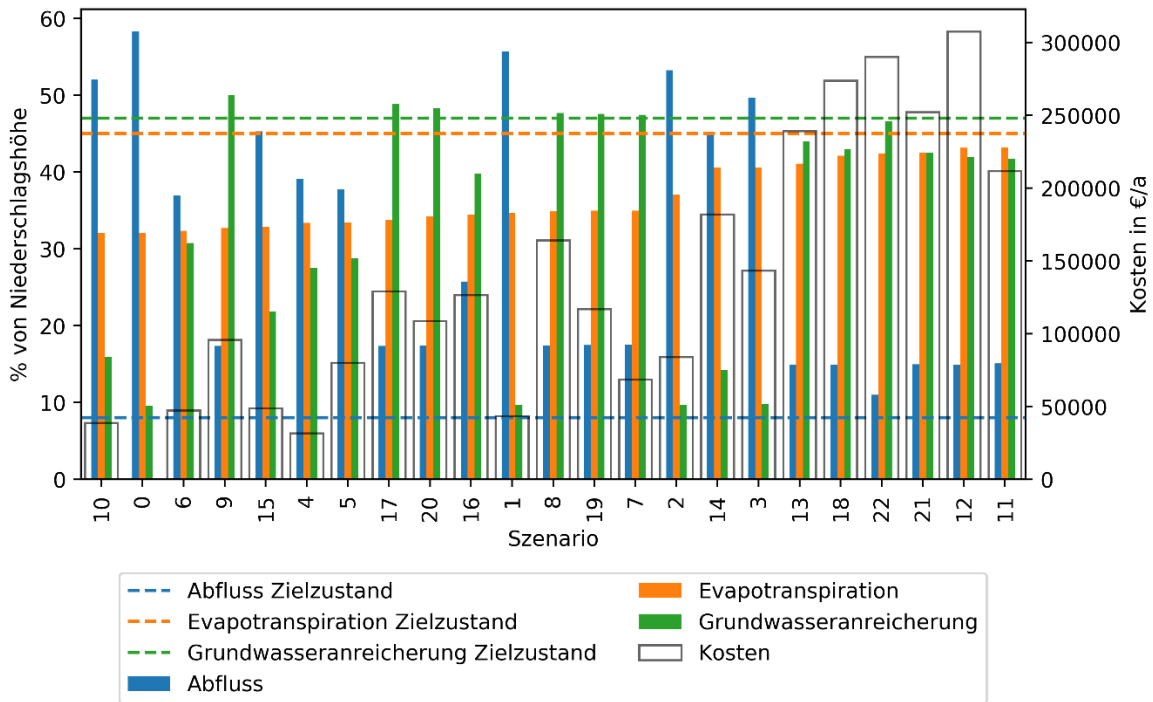
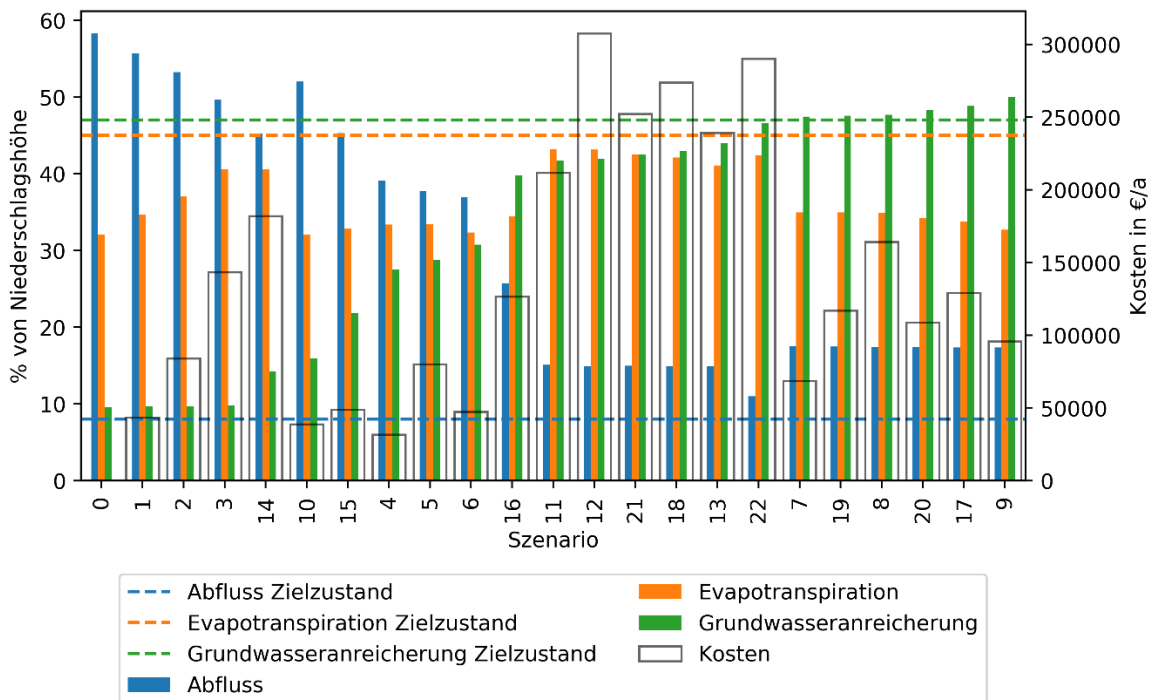


Abbildung 65 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Grundwasseranreicherung); Wasserbilanz und Kosten



Um sich der natürlichen Wasserbilanz anzunähern sind, wie im vorliegenden Fallbeispiel aufgezeigt, eine Vielzahl an Planungsszenarien möglich. Diese unterscheiden sich einerseits in der Anzahl an Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, der Art der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen sowie Kombinationen daraus. Mit hydrologischen Simulationen lassen sich die Planungsszenarien hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wasserbilanz untersuchen. Zudem können die Lebenszykluskosten je Planungsszenario ermittelt werden. In Summe ergibt sich hieraus eine hilfreiche Entscheidungshilfe zur Auswahl einer nachhaltigen Planungsvariante.

6.1.3 St. Pölten

Die Stadt St. Pölten ist im Voralpenland gelegen und erstreckt sich entlang der Traisen. Die Stadt erstreckt sich über eine Fläche von rund 108 km², wobei mehr als die Hälfte davon landwirtschaftliche Flächen sind. Die Bau- und Betriebsflächen umfassen etwa 17 % der Fläche (Magistrat der Stadt St. Pölten). Eiszeitliche Terrassenbildungen prägen das Gelände in St. Pölten. Besonders im Westen der Traisen finden sich große Anteile an Pseudogley und Parabraunerde, welche eine geringe Durchlässigkeit aufweisen (de Buck et al., 2016; Hösl et al., 2016). Der Jahresniederschlag betrug 2017 rund 660 mm und der mittlere Jahresniederschlag (1981-2010) beträgt rund 690 mm (ZAMG). Die größten Niederschlagsmengen treten zwischen Mai und August auf (de Buck et al., 2016).

Obwohl St. Pölten mit rund 54.000 Einwohnern (Magistrat der Stadt St. Pölten) nicht zu den mittleren und kleinen Gemeinden Österreichs gezählt werden kann, wurde die Stadt auf Grund ihrer vielfältigen Siedlungsstrukturen, welche häufig denen kleiner und mittlerer Gemeinden entsprechen, als Fallstudie gewählt. Beispiele dieser Siedlungsstrukturen sind in Abbildung 66 zu sehen. Die in Kapitel 6.3 beschriebenen Siedlungsstrukturen wurden anhand der in St. Pölten vorhandenen Strukturen überprüft.

Abbildung 66 Schrägluftaufnahmen von Ratzersdorf und Wagram (Stadtarchiv St. Pölten)



Die Stadt St. Pölten ist eine von 15 Mitgliedsgemeinden des Abwasserverbands an der Traisen. Während der Hauptsammler des Abwasserverbands auch in dessen Zuständigkeit fällt, ist für die restliche Kanalisation die Stadt St Pölten verantwortlich. Das gesamte Kanalnetz in St. Pölten umfasst etwa 330 km, wovon fast 80 % Mischkanalisation und etwa 20 % Trennkanalisation sind (Magistrat der Stadt St. Pölten). Alternativen zur Ableitung im Kanal wie Versickerung, Retention und Verdunstung sind im Moment nicht häufig umgesetzt.

Der prognostizierte Bevölkerungszuwachs von mehr als 10 % bis 2050 bedingt sowohl eine Nachverdichtung innerhalb der Stadt als auch die Neuerrichtung weiterer Siedlungen (Statistik Austria). Bei geplanten Stadterweiterungen auf Grund des Bevölkerungszuwachses werden vor allem Trennsysteme geplant und Regenwassermanagementkonzepte erstellt. Trotzdem werden auf Grund der bereits bestehenden hohen hydraulischen Belastung des Kanalnetzes auch Adaptierungen im Bestand notwendig sein. Zusätzlich zeigen Klimaprognosen einen leichten Anstieg an Niederschlagsmengen und Niederschlagsintensität für Niederösterreich (Chimani et al., 2016), welche zusätzlichen Druck auf das bestehende Entwässerungssystem ausüben. Um mit diesen Herausforderungen für die Entwässerung auch in Zukunft umgehen zu können, ist es notwendig eine integrative Strategie für die Niederschlagswasserbewirtschaftung zu erarbeiten und mögliche Anpassungsmaßnahmen zu definieren. Dies wird anhand des in Kapitel 5 beschriebenen Planungsprozesses vorgeschlagen. Zusätzlich dient die Fallstudie als Grundlage für die Erstellung von Siedlungsstrukturtypen aus Sicht der Niederschlagswasserbewirtschaftung sowie Analyse der Auswirkungen von Flächenentkoppelung auf das Feststoffmanagement im Kanal (Keckeis, 2018).

6.2 Werkzeuge, Daten und Modellierung

Hydrologische Simulationen sind ein adäquates Mittel um die Leistungsfähigkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu ermitteln. Verschiedene frei oder kommerziell verfügbare Modellierungs-Softwarelösungen bieten die Möglichkeit, Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu modellieren bzw. in ein Niederschlags-Abfluss-Modell zu integrieren. Ein Überblick hierzu findet sich in (Jayasooriya und Ng, 2014) (Abbildung 67).

Das US EPA Storm Water Management Model (SWMM) wird als eines der derzeit am meisten verbreiteten Modellen zur Simulation von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen genannt (Jayasooriya und Ng, 2014).

Abbildung 67 Modellierungstools zur Simulation von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen - adaptiert nach (Jayasooriya und Ng, 2014)

Modellierungstool	Eigentümer/Entwickler
1. RECARGA	University of Wisconsin-Madison, water resources group
2. Program for Predicting Polluting Particle Passage through Pits, Puddles, and Ponds (P8 Urban Catchment Model)	William W. Walker, Jr., Ph.D., Environmental Engineer, Massachusetts
3. EPA Stormwater Management Model (SWMM)	United States Environmental Protection Agency
4. Water Environment Research Foundation (WERF) BMP and LID whole life cycle cost modeling tools	Water Environment Research Foundation, Alexandria
5. The Green Infrastructure Valuation Toolkit	Natural Economy North West UK
6. Centre for Neighborhood Technology (CNT) Green Values National Stormwater Management Calculator	Center For Neighborhood Technology, Chicago
7. EPA System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration Model (SUSTAIN)	United States Environmental Protection Agency
8. Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization (MUSIC)	eWater, Australia
9. Low-Impact Development Rapid Assessment (LIDRA)	eDesign Dynamics, New York
10. Source Loading and Management Model for Windows (WinSLAMM)	PV and Associates, USA

Umfassende Erläuterungen und Hinweise zum Datenbedarf für die Modellierung finden sich im Leitfaden bzw. Endbericht des Projektes „Datmod“ (Muschalla et al, 2015b). Ebenso enthalten sind darin Hinweise zu möglichen Bezugsquellen der Daten.

Um entscheiden zu können, welche Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen an welcher Stelle umgesetzt werden können, sind die Randbedingungen (siehe Kapitel 3.3) zu berücksichtigen. Hierzu sind die entsprechenden Daten für das jeweilige Projektgebiet erforderlich, Hierzu zählen:

- Niederschlag (z. B. Niederschlagsserien aus (ÖWAV, 2007b))
- Siedlungsfaktoren:
- Flächentyp/-nutzung (z. B. werden im ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV, 2015a) Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit der Herkunftsfläche eingeteilt und hierfür zulässige Versickerungssysteme definiert)
- Flächenverfügbarkeit
- Wasserwirtschaftliche Faktoren
- Grundwasserschutzzonen
- Grundwasserflurabstand
- Geogene Faktoren
- Altlastenverdachtsfälle
- Hangneigung
- Bodendurchlässigkeit
- Unterkante der bindigen Deckschicht

Zum Großteil sollten die entsprechenden Daten in GIS-Systemen vorhanden sein oder müssen je nach Projektgebiet ermittelt werden. Näheres zu Datenquellen findet sich unter (Muschalla et al., 2015b).

Für die Modellierung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen werden Daten bezüglich der Geometrie und der Materialien und ihrer hydrologischen Eigenschaften (z. B. Porosität, hydraulische Konduktivität) benötigt. Die genau erforderlichen Daten können je nach verwendeter Modellierungsumgebung variieren. Tabelle 62 zeigt beispielhaft die notwendigen Daten für ein Gründach und Tabelle 63 für einen Versickerungsgraben in SWMM.

Tabelle 62 Benötigte Daten für die Modellierung eines Gründachs in SWMM

Parameter	Einheit
Freibord	mm
Vegetationsvolumen	%
Oberflächenrauigkeit	$s/m^{1/3}$
Oberflächengefälle	%
Bodendicke	mm
Porosität	Volumenanteil
Feldkapazität	Volumenanteil
Welkpunkt	Volumenanteil
Konduktivität	mm/h
Konduktivitätsgefälle	-
Saugspannung	mm
Dränagemattendicke	mm
Dränagemattenporenanteil	Anteil
Dränagemattenrauigkeit	$s/m^{1/3}$

Tabelle 63 Benötigte Daten für die Modellierung eines Versickerungsgrabens in SWMM

Parameter	Einheit
Freibord	mm
Oberflächenrauigkeit	$s/m^{1/3}$
Oberflächengefälle	%
Speicherdicke	mm
Speicherporenanteil	-
Speichersickerrate	mm/h

Wie die Sensitivitätsanalyse unter Kapitel 3.1.3.5 gezeigt hat, sind nicht alle Parameter der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen für die Wasserbilanz von Relevanz. Daher sollte der Fokus bei der Ermittlung der Parameterwerte auf den jeweils sensitivsten Parametern liegen.

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zielen unter anderem auch darauf ab, die Evapotranspiration zu erhöhen. Um diese modellieren zu können, werden Daten zur potenziellen Evapotranspiration benötigt. Zu deren Ermittlung stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, welche unterschiedliche Eingangsdaten benötigen. Die Methode nach (Hargreaves und Samani, 1985) benötigt beispielsweise tägliche min.-max. Temperaturen. Diese können beispielsweise aus (ZAMG, 1996) entnommen werden. Weitere Methoden sind beispielsweise jene von Penman, Penman-Monteith oder Haude (für einen Überblick siehe (Dyck & Peschke, 1995)).

6.3 Berücksichtigung von Siedlungsstrukturtypen

Die räumlichen Strukturen von Städten und Dörfern unterscheiden sich in ihrer Bebauung (Gebäudetypen, Geschossflächenzahl, Bebauungsdichte, Einwohnerdichte), ihrer Nutzung sowie Eigentümerstruktur, In mehreren Disziplinen werden diese Unterschiede genutzt um daraus Strukturtypen abzugrenzen, welche ähnliche Merkmale aufweisen,

Die Zusammenfassung einzelner Parzellen zu größeren Blöcken und die Identifikation unterschiedlicher Siedlungsstrukturtypen kann es erleichtern Potenziale, Restriktionen oder Bedürfnisse abzustecken, Besonders bei Projekten zur Klimawandelanpassung, aber auch in der Energieraumplanung und Stadtplanung gibt es Beispiele für die Abgrenzung von räumlichen Strukturtypen (Berchtold et al., 2015; Gasienica-Wawrytko et al., 2014; Kruse et al., 2014; Stadt Wien und Hauptstadt der SR Bratislava, 2011; Wurzbacher, 2016),

6.3.1 Siedlungswasserwirtschaftlich relevante Merkmale

Für die Anpassungsfähigkeit bestehender Siedlungsstrukturen in Bezug auf die NWB sind unterschiedliche Merkmale relevant. Für die Abgrenzung der Siedlungsstrukturtypen werden vier Kriterien bzw. Indikatoren gewählt, welche sich über in Österreich flächenverfügbare Daten abbilden lassen. Aufbauend auf einer Klassifizierung der Merkmale werden Siedlungsstrukturtypen mit unterschiedlichen Ausprägungen definiert. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in (Simperler et al., 2018).

Besonders bei Maßnahmen, welche an der Oberfläche umgesetzt werden, spielt der Grad der Versiegelung eine wichtige Rolle. Allgemein kann bei der Versiegelung unterschieden werden zwischen der Versiegelung durch Gebäude und durch Gebäudenebenflächen (Grimm und Achleitner, 2010). Da diese häufig nicht detailliert erfasst sind und sie je nach Nutzung das Potenzial haben, die Durchlässigkeit variabel zu gestalten (z.B. Flächenversickerung), werden diese nicht direkt im Versiegelungsgrad auf Blockebene berücksichtigt. Der Bebauungsgrad setzt sich aus Daten des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) sowie der digitalen Katastralmappe (DKM) zusammen.

Zusätzlich zur Bebauungsdichte wird die Geschossflächenzahl als Indikator für die Bebauungsdichte sowie die Versiegelung durch Stellplätze und Flächen zur inneren Erschließung, welche bei Zunahme der Geschossflächenzahl ebenfalls zunehmen (Hegger et al., 2012).

Ein weiteres Merkmal stellt der Verschmutzungsgrad der Oberfläche dar, da die Einsatzmöglichkeit unterschiedlicher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen von diesem abhängt (ÖWAV, 2003, 2015a). Der Verschmutzungsgrad steht meist in direktem Zusammenhang mit der Nutzung der Flächen bzw. mit der Größe von Oberflächen wie Dach- oder Parkplätzen. Die Nutzung kann indirekt über die DKM, die Flächenwidmung das GWR sowie Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS) Daten bestimmt werden. Daraus können generalisierte Annahmen über die Nutzung getroffen werden, die tatsächliche Nutzung kann von der aus den Daten gewonnenen abweichen. Allgemein lassen

sich beispielsweise Nutzungskategorien wie Wohnen, Mischnutzung, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft unterscheiden.

Bei der Bestimmung des Umsetzungspotenzials von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf Grundstücksebene stellen die Eigentümerverhältnisse ein wichtiges Merkmal dar. Hier gibt es Unterschiede in der Wirkmächtigkeit sowie dem individuellen Handlungsspielraum der EigentümerInnen. Weiters kann zwischen privaten und öffentlichen EigentümerInnen unterschieden werden. Die Daten hierfür stammen aus dem GWR.

Zusätzliche Merkmale können Einfluss auf das Einsatzpotenzial von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen haben. Zu diesen können beispielsweise Dachformen, Denkmalschutz oder Ausgestaltung von Parkplätzen bzw. Tiefgaragen zählen. Eine Abbildung dieser über flächendeckend verfügbare Daten ist jedoch nicht möglich. Daher werden sie bei der Abgrenzung der Siedlungsstrukturtypen nicht berücksichtigt.

6.3.2 Abgrenzung von Siedlungsstrukturtypen

Anhand der zuvor beschriebenen Merkmale können neun unterschiedliche Strukturtypen in Städten und Dörfern abgeleitet werden, welche sich in Versiegelung (durch Gebäude), Geschossflächenzahl, Siedlungsdichte, Nutzung und Eigentümerverhältnissen unterscheiden:

Gebiete mit geringer Versiegelung und Dichte: Die Bebauung in diesen Gebieten besteht überwiegend aus freistehenden Einfamilienhäusern mit 1-2 Geschossen. Auf Basis der Flächenwidmung bzw. GWR Daten kann eine weitere Unterscheidung in überwiegende Wohngebiete sowie Gebiete mit zum Teil gemischter Nutzung (Kerngebiet, Mischgebiet) getroffen werden. In diesen ist der Anteil der befestigten Flächen, vor allem durch Stellplätze höher als in reinen Wohngebieten. Eine Sonderform dieses Typs stellen Kleingarten-Anlagen dar, welche oft über einen zentralen Parkplatz und ein engmaschiges Wegenetz verfügen.

Abbildung 68 Gebiete mit geringer Versiegelung und Dichte Datenquelle: basemap.at



Gebiete mit mittlerer Versiegelung und Dichte: In reinen Wohngebieten sind dichtere Einfamilienhäuser, Doppelhäuser, Reihenhäuser als Ein- und Mehrfamilienhäuser mit 1-2 Geschossen charakteristische Bauformen. Teilweise finden sich auch betriebliche Gebäude sowie Handels- oder Dienstleistungsgebäude mit den dazugehörigen Stellplätzen in diesen Gebieten.

Abbildung 69 Gebiete mit mittlerer Versiegelung und Dichte Datenquelle: basemap.at



Gebiete mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte: Bauformen in diesen Gebieten umfassen mehrheitlich mehrgeschossige Wohngebäude, Zeilenbauten, Wohnhausanlagen, offene Blockrandstrukturen sowie geschlossene Bebauung im Bereich von Innenstädten. In Kern- bzw. Mischgebieten finden sich auch betriebliche Gebäude, Handels- oder Dienstleistungsgebäude sowie öffentliche Einrichtungen mit den dazugehörigen Stellplätzen.

Abbildung 70 Gebiete mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte
Datenquelle: basemap.at



Mehrgeschossige Wohngebiete mit hoher Versiegelung und Dichte: Charakteristische Bauformen dieses Strukturtyps umfassen offene sowie geschlossene Blockrandstrukturen, dichte Mehrfamilienhäuser mit einem geringen Freiflächenanteil und dicht bebaute Strukturen in Wohngebieten.

Abbildung 71 Mehrgeschossige Wohngebiete mit hoher Versiegelung und Dichte
Datenquelle: basemap.at



Bebauung mit hoher Versiegelung, Dichte und Mischnutzung: In diesem Strukturtyp findet sich eine sehr dichte, geschlossene Bebauung entlang der Straßen im Bereich von Stadtzentren, Innenstädten und Stadterweiterungsgebieten. Nutzungen umfassen neben dem Wohnen auch Handel, Gewerbe, Gastronomie sowie öffentliche Einrichtungen.

Abbildung 72 Stadtzentrum - Innenstadtbebauung mit hoher Versiegelung und Dichte und Mischnutzung Datenquelle: basemap.at



Öffentliche Einrichtungen und Sondergebiete: In diesem Typ sind Sondernutzungen und öffentliche Einrichtungen zusammengefasst, deren Standorte über die Flächenwidmung einem bestimmten Zweck zugewiesen sind. Hierzu zählen unter anderem Schulen, Kindergärten, kulturelle Einrichtungen, Behörden und Ämter, soziale Einrichtungen, Veranstaltungszentren, Kasernen oder Sportanlagen.

Abbildung 73 Öffentliche Einrichtungen und Sondergebiete Datenquelle: basemap.at



Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe: In diesem Strukturtyp gibt es keine Wohnnutzung. Die Bauformen variieren je nach konkreter Nutzung, charakteristisch ist jedoch der zumeist hohe Bedarf an Stellplätzen.

Abbildung 74 Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe Datenquelle: basemap.at



Betriebsgebiete und Industrie: Dieser Strukturtyp umfasst Flächen, die als Betriebsgebiet und Industriegebiet gewidmet und genutzt sind. Auch Betriebsflächen aus der DKM können diesem Typ zugeordnet werden, diese beinhalten beispielsweise die befestigten bzw. versiegelten Nebenflächen von Gewerbebetrieben oder Bauernhöfen.

Abbildung 75 Betriebsgebiete und Industrie Datenquelle: basemap.at



Dörfliche Gebiete mit landwirtschaftlichen Betrieben: Darunter fallen jene dörflichen Bereiche, in welchen sich landwirtschaftliche Hofstellen befinden. Diese Flächen sind als

Agrargebiete bzw. Dorfgebiete gewidmet, aktuelle Informationen über bestehende landwirtschaftliche Betriebe können über INVEKOS Daten ergänzt werden.

Abbildung 76 Dörfliche Gebiete mit landwirtschaftlichen Betrieben Datenquelle: basemap.at



In St. Pölten finden sich über das Stadtgebiet verteilt alle zuvor beschriebenen Strukturtypen. Für das Stadtgebiet wurde eine zusätzliche Unterteilung in Gebiete mit reiner Wohnnutzung sowie Kerngebiete, in welchen eine Mischnutzung vorliegen kann, getroffen. Eine Übersicht über die Verteilung über das gesamte Stadtgebiet ist in Abbildung 77 dargestellt. Weiters findet sich in Abbildung 78 eine Detaildarstellung des Stadtteils Wagram.

Abbildung 78 Siedlungswasserwirtschaftliche Strukturtypen Wagram



6.3.3 Anpassungsfähigkeit der Siedlungsstrukturtypen

Bei der Anpassungsfähigkeit wird zum einen das Potenzial sowie Restriktionen für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf Grund von Flächenverfügbarkeit und Verschmutzung des Abflusses analysiert und zum anderen die Potenziale und Herausforderungen bezüglich der Eigentümerstruktur betrachtet. Aus der Kombination der beiden Kriterien und den vorherrschenden Ausprägungen in den Siedlungsstrukturtypen lässt sich ein generelles Potenzial für Umsetzbarkeit der Maßnahmen je Strukturtypen ermitteln. Zusätzlich zu diesen Kriterien ist der Einfluss der Eigentümerstruktur auf das Umsetzungspotenzial von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu beachten.

Je dichter die Verbauung eines Gebietes ist desto geringer ist das Potenzial für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen mit einem großen Flächenbedarf. Bei der Flächennutzung stellen vor allem der Stellplatzbedarf und produzierende Betriebe eine Herausforderung für den Einsatz bestimmter NBW-Maßnahmen dar. Der Flächenverbrauch einzelner Maßnahmen sowie ihre Einsetzbarkeit je Qualität des Oberflächenabflusses sind in Kapitel 3 beschrieben. Die Eigentümergegenstände stellen im Gegensatz zu den anderen Merkmalen keine technische Randbedingung dar. Sie haben jedoch Einfluss auf das Umsetzungspotenzial und die daraus entstehende Wirkung auf das Entwässerungssystem. Es können drei Gruppen unterschieden werden. Die öffentliche Hand, welche auf eigenen Flächen eine hohe Wirkmächtigkeit hat und die Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf ihrem Grund als Vorbild fungieren kann. EigentümerInnen mit hohem individuellem Handlungsspielraum und hoher Wirkmächtigkeit, wie gemeinnützige Bauvereinigungen oder EigentümerInnen großer zusammenhängender Flächen, bei welchen Bewusstseinsbildung und Anreize wichtig sind, da hier bei Adaptierungen ein großer Effekt für die NBW erzielt werden kann. Die dritte Gruppe stellen EigentümerInnen mit geringer Wirkmächtigkeit oder geringem individuellem Handlungsspielraum, wie Privatpersonen in Mehrparteien- oder Einfamilienhäusern, dar. In dieser Gruppe ist es besonders schwierig, großräumige Veränderungen herbeizuführen, da eine Vielzahl an Ansprechpersonen vorhanden ist. Jedoch können auch hier Bewusstseinsbildung und Anreizsysteme das Potenzial für die Umsetzung steigern (Simperler et al., 2018).

In Tabelle 64 wird der Einsatz unterschiedlicher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen je unterschiedlicher Strukturen aus Sicht des Projektteams bewertet. In die Beurteilung fließen nicht nur die zuvor beschriebenen Kriterien ein, sondern auch eine Bewertung der Maßnahmen im Sinne einer integrativen NBW (siehe Kapitel 5.4). Der Einfluss zeigt sich vor allem bei der Unterscheidung zwischen empfohlenen und zulässigen Maßnahmen. Daher ist die Beurteilung auf Basis der Einschätzung lokaler Gegebenheiten in konkreten Projekten bei Bedarf zu adaptieren.

Tabelle 64 Empfohlene Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit der Strukturtypen

Strukturtyp	Retention und			Versickerung			Ableitung		
	Ableitung	Evapotranspiration	Nutzung	Mit mineralischem Filter	Mit Rasen	Mit Bodenfilter	Mit technischem Filter	Oberirdisch	Unterirdisch
Wohngebiet mit geringer Versiegelung und Dichte	o	+	+	o	+	+	+	o	o
Kerngebiet mit geringer Versiegelung und Dichte	o	+	+	i.B.	o	+	o	o	o
Wohngebiet mit mittlerer Versiegelung und Dichte	o	+	+	o	+	+	+	o	o
Kerngebiet mit mittlerer Versiegelung und Dichte	o	+	+	i.B.	o	+	o	o	o
Wohngebiet mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte	o	+	+	o	+	+	+	o	o
Kerngebiete mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte	o	+	+	i.B.	o	+	o	o	o
Mehrgeschossige Wohngebiete mit hoher Versiegelung und Dichte	o	+	+	i.B.	+	+	+	o	o
Bebauung mit hoher Versiegelung, Dichte und Mischnutzung	o	i.B.	+	-	-	+	o	i.B.	o
Öffentliche Einrichtungen und Sondergebiete	o	+	+	i.B.	o	+	o	o	o
Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe	o	+	+	-	o	+	o	i.B.	o
Betriebsgebiete und Industrie	o	i.B.	+	-	-	o	i.B.	i.B.	i.B.
Dörfliche Gebiete mit landwirtschaftlichen Betrieben	o	+	+	-	-	+	i.B.	i.B.	i.B.

Legende: + empfohlen, o zulässig, - nicht empfohlen, i.B. individuelle Beurteilung erforderlich

6.3.4 Anwendung auf Fallstudie Telfs

Zur Erstellung der Siedlungsstrukturtypen der Gemeinde Telfs wurde ebenfalls die Vorgehensweise Kapitel 6.3.2 herangezogen. Auf Basis eines Orthophotos (Jahr 2018) mit einer Bodenauflösung von 20 cm, bereitgestellt vom WMS-Dienst des Landes Tirol (gis.tirol.gv.at), wurden die verschiedenen Strukturtypen mit Hilfe eines Geoinformationssystems (ArcMap 10.6.1) bestimmt. Da die Erstellung rein auf den optischen Informationen des Orthophotos basiert, konnten die Strukturtypen „Kerngebiet mit geringer Versiegelung und Dichte“, „Kerngebiet mit mittlerer Versiegelung und Dichte“ und „Stadtzentrum – Innenstadtbebauung – Mischnutzung, hohe Dichte und Versiegelung“ nicht vergeben werden. Fünf weitere Kategorien (Verkehrswege, Gewässerlauf – Inn, Hohe Vegetation, Grünflächen und Ackerland) wurden hinzugefügt, um eine ganzheitlich bedeckte Karte generieren zu können.

Aus Tabelle 63 können, in Abhängigkeit der Strukturtypen, empfohlene Regenwasserbewirtschaftung entnommen werden. Die einzigen Typen, welche Behandlungen enthalten die aufgrund ihres Strukturtyps nicht empfohlen werden, sind „Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe – kein Wohnen“, „Betriebsgebiete und Industrie“ und „Landwirtschaftliche Betriebe“. Nicht empfohlen wird die Versickerung mit mineralischen Filtern, sowie die Versickerung mit Rasen. Dies führt darauf zurück, dass auf diesen Flächen hohe Belastungen auftreten können. Dort versickerndes Wasser würde mögliche Schadstoffe aufnehmen und ohne Filter in das Grundwasser leiten. Diese drei Typen machen 25% der Gesamtfläche der Siedlungsstrukturtypen aus. Den größten Anteil hat der Strukturtyp „Wohngebiete mit mittlerer Versiegelung und Dichte“. Für diese Flächen wird empfohlen den Niederschlag durch Retention und Evapotranspiration, bzw. Nutzung, Versickerung mit Rasen, bzw. mit Bodenfilter und Ableitung mit technischem Filter zu behandeln. Mit jeweils 8% an der Gesamtfläche sind die Strukturtypen „Mehrgeschossige Wohngebiete mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte“ und „Öffentliche Einrichtungen“ beteiligt. Der Strukturtyp „Kleingärten“ zeigt einen Anteil von 0% an, weil die Fläche im Verhältnis zu den übrigen mit 0,73 ha sehr klein ist. Die Verkehrswege bedecken eine Fläche von 1813,44 ha. Addiert man die Flächen höherer Vegetation (1008,71) mit den Grünflächen (149,89 ha) und dem Ackerland (148,50 ha), ergibt sich eine Gesamtfläche von 1307,09 ha. Abbildung 80 und Abbildung 81 veranschaulichen die Daten zu den Siedlungsstrukturtypen. Die Gesamtfläche der neun Siedlungsstrukturtypen und fünf zusätzlichen Kategorien beträgt 3551,54 ha (dargestellt in Abbildung 79). Abbildung 83 zeigt den Anteil der Siedlungsstrukturtypen und der fünf weiteren Kategorien an dieser Gesamtfläche.

Abbildung 79: Siedlungsstrukturtypen der Gemeinde Telfs

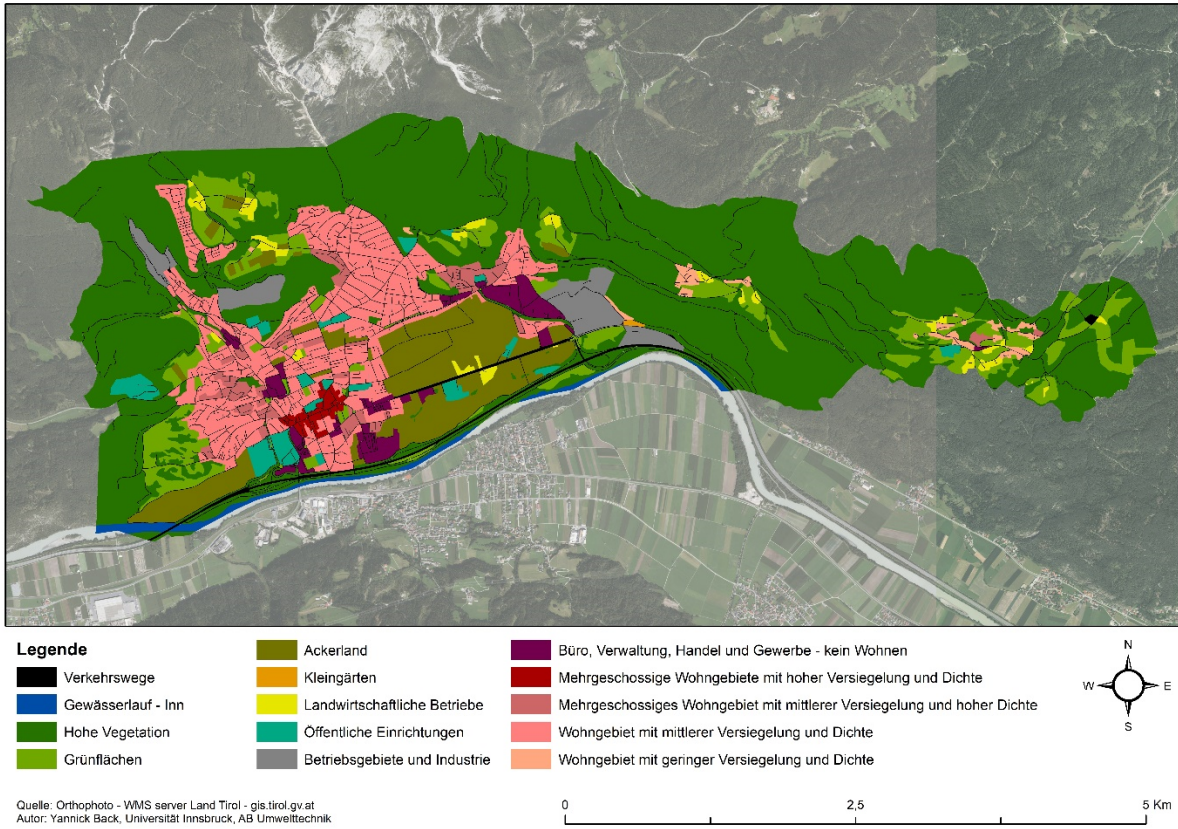


Abbildung 80: Anteil der einzelnen Siedlungsstrukturtypen

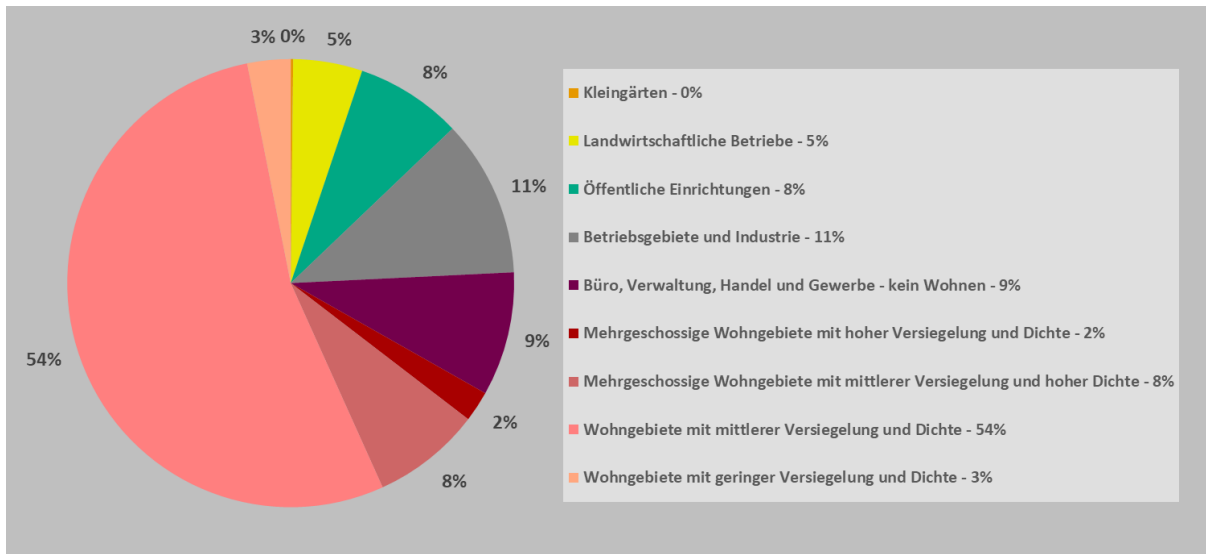


Abbildung 81: Flächengröße der einzelnen Siedlungsstrukturtypen

Kleingärten - 0%	0,73 ha
Landwirtschaftliche Betriebe - 5%	20,66 ha
Öffentliche Einrichtungen - 8%	31,80 ha
Betriebsgebiete und Industrie - 11%	46,77 ha
Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe - kein Wohnen - 9%	36,91 ha
Mehrgeschossige Wohngebiete mit hoher Versiegelung und Dichte - 2%	9,13 ha
Mehrgeschossige Wohngebiete mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte - 8%	32,43 ha
Wohngebiete mit mittlerer Versiegelung und Dichte - 54%	221,21 ha
Wohngebiete mit geringer Versiegelung und Dichte - 3%	12,92 ha
Gesamt	412,56 ha

Abbildung 82: Anteil der Siedlungsstrukturtypen und der fünf weiteren Kategorien

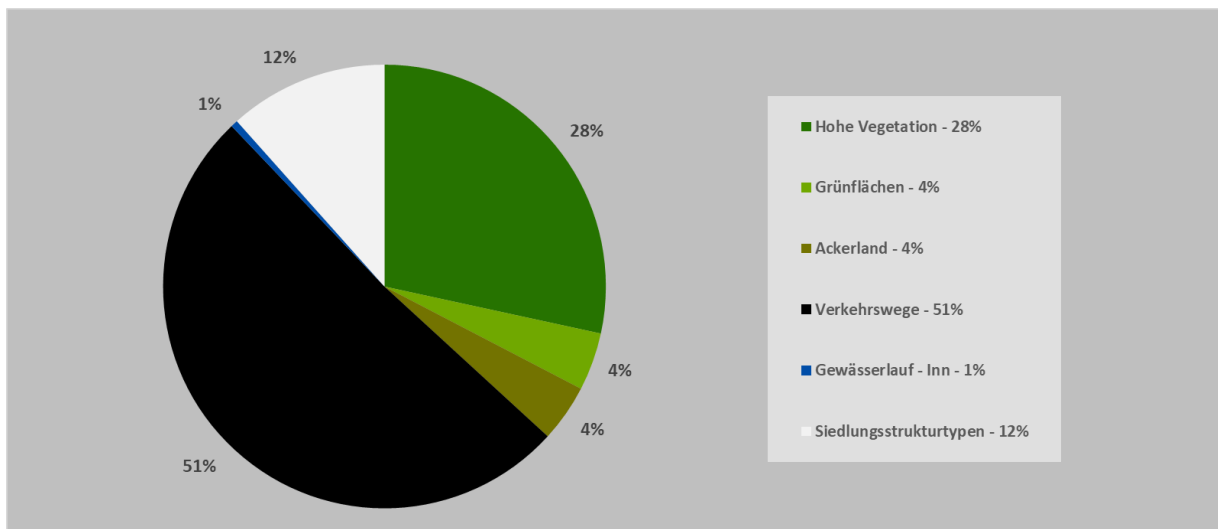


Abbildung 83: Flächen spezifischer Regenwasserbewirtschaftung

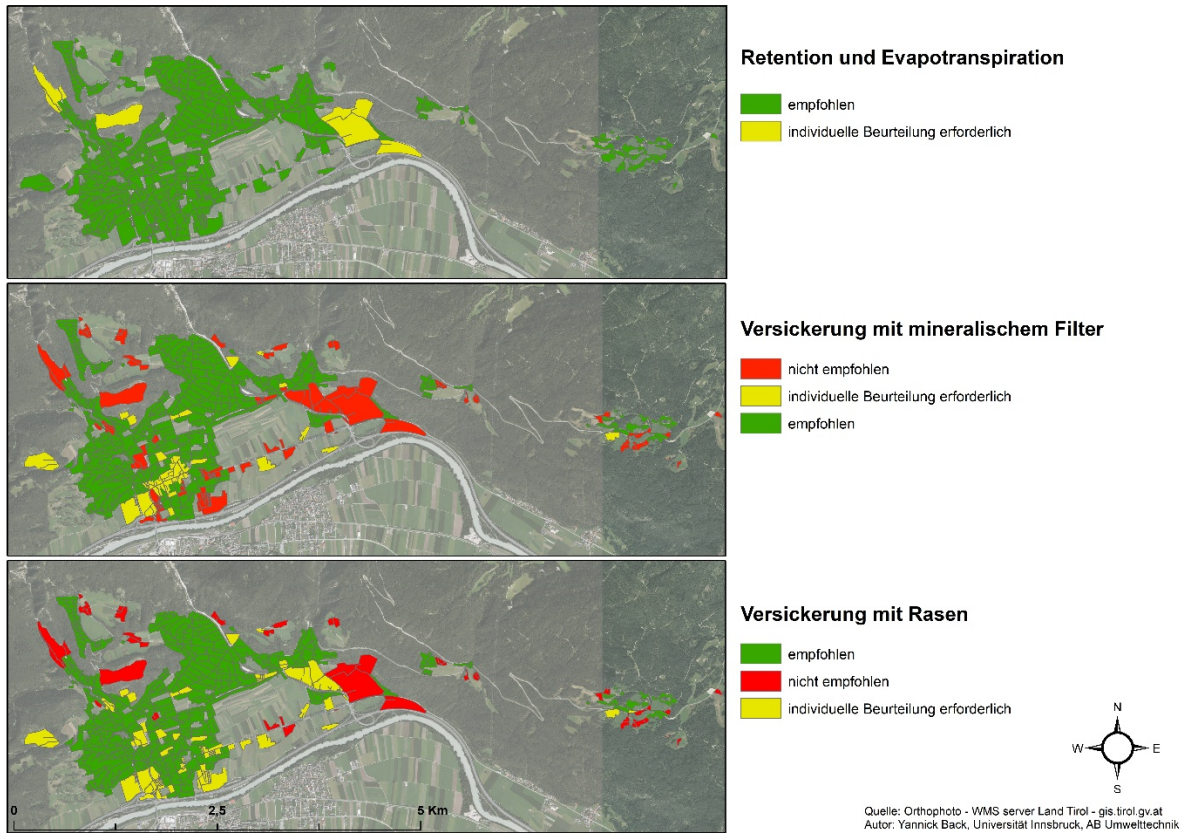
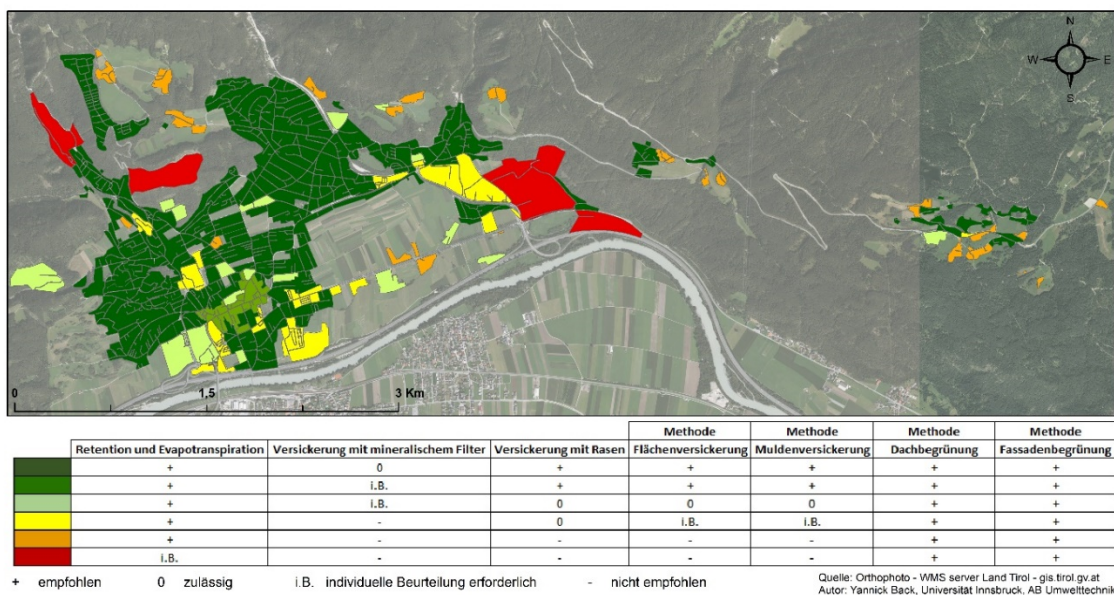


Abbildung 84: Empfohlene Methoden in Abhängigkeit der Evapotranspiration und Versickerung



6.4 Sensitivität von Einzugsgebieten

Jeder Betreiber sollte Zustand und Funktion seines Entwässerungssystems kennen. Dies beinhaltet nicht nur das Wissen, wo welche Infrastrukturmaßnahmen liegen (Retentionsvolumen, Auslässe, (Not)überläufe, Versickerungen, etc.), sondern auch wie das System auf veränderte Randbedingungen, beispielsweise geänderte Niederschlagsintensitäten oder Befestigungsgrade, reagiert. Dieses Wissen soll mit Sensitivitätskarten vermittelt werden. Diese können den Einfluss von Einzugsgebieten auf verschiedene Parameter im Entwässerungssystem (Überflutungsvolumen, Mischwasserentlastungsvolumen, etc.) zeigen. Um die Sensitivität eines Entwässerungssystems auf Änderungen in den Randbedingungen bestimmen zu können eignet sich am besten ein kalibriertes hydraulisches Modell dieses Systems, wie es auch für Planungen und Bemessungen nach dem Stand der Technik benötigt wird. Ein Ausgangsmodell wird dabei mit Variationen dieses Ausgangsmodells verglichen. Das Ausgangsmodell kann dem Ist-Stand, aber auch dem zukünftigen bzw. geplanten Zustand entsprechen, Variationen können unterschiedliche Entwicklungsszenarien sein, aber auch Unsicherheiten in den Daten repräsentieren. Eine strukturierte Variation eines bestimmten Datensatzes (z.B. Befestigungsgrad einzelner Einzugsgebiete) ermöglicht die strategische Analyse des Systems z.B. in welchen Gebieten im Falle von Flächenversiegelung mit großen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit gerechnet werden muss und wo das System robust gegenüber Änderungen ist.

Die Sensitivitätskarten können mit anderen Flächeninformationen, die entweder Randbedingungen für die Maßnahmen darstellen oder dadurch beeinflusst werden, gekoppelt werden. Dazu zählen z.B. der Versiegelungsgrad, die Bevölkerungsdichte, die Temperaturverteilung innerhalb eines Siedlungsgebietes, die Siedlungsstruktur oder auch soziale Faktoren wie der Wunsch nach mehr Freiflächen.

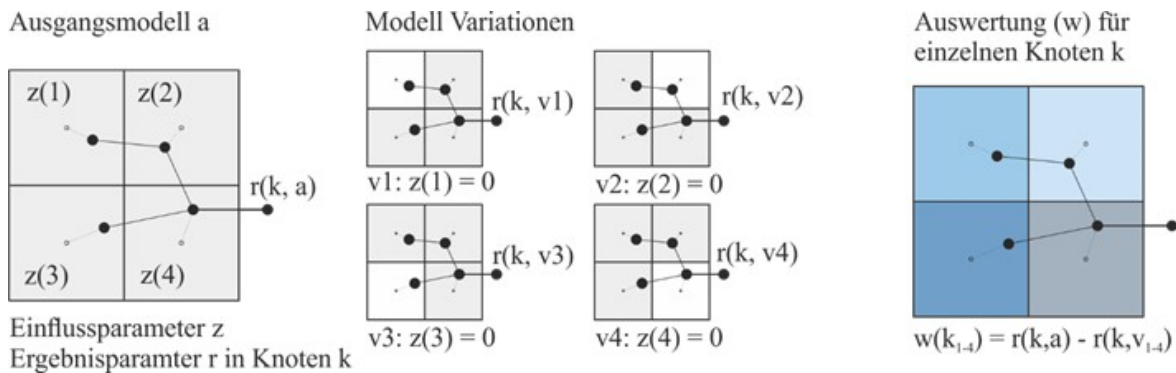
Die Gewichtung der einzelnen Faktoren muss in Zusammenarbeit von FachexpertInnen und lokalen EntscheidungsträgerInnen erfolgen (siehe Kapitel 5). Die kombinierten Informationen können helfen, Maßnahmen an den Stellen zu platzieren, wo sie die größte Auswirkung auf das Entwässerungssystem haben und auch zusätzliche Faktoren positiv beeinflusst werden.

Variationen vom Ausgangsmodell

Die Sensitivität kann auf Grundlage verschiedener Faktoren untersucht werden. In Einzugsgebieten kann beispielsweise die Versiegelung erhöht oder reduziert werden. Der Niederschlag muss einheitlich über das gesamte Modell angesetzt werden, um keine Verzerrung der Sensitivität zu erhalten und einer Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern.

In Abbildung 85 ist die Vorgehensweise zur Erstellung einer Sensitivitätskarte für eine Entsiegelung / Abkopplung von Einzugsgebieten dargestellt.

Abbildung 85 Sensitivitätskarte eines Parameters z (z.B. Versiegelungsgrad) in Bezug auf einen Ergebnisparameter r im untersten Knoten des Entwässerungsnetzes (k)



Für jede Variation (der Parameter wird in einem Einzugsgebiet geändert) wird ein eigenes Modell erstellt und das Ergebnis für den zu untersuchenden Knoten mit dem des Ausgangsmodells verglichen. Die Auswirkungen der Variationen, absolut oder in Prozent, werden dem jeweiligen Einzugsgebiet zugeordnet. Dabei ist zu beachten, dass je nachdem welche Aussage getroffen werden soll, die Ergebnisse unabhängig von der Größe des Einzugsgebiets oder normalisiert (Auswirkung pro Flächeneinheit) dargestellt werden können. Dieselbe Vorgehensweise kann für eine Verdichtung (Erhöhung der Undurchlässigkeit) oder weitere Parameter wie Schmutzeintrag angewandt werden. Die Simulationsergebnisse können auch für globale Indikatoren wie beispielsweise das gesamte Mischwasserüberlaufvolumen oder das gesamte Überflutungsvolumen / Überstauvolumen ausgewertet werden.

Sind die Einzugsgebiete zu klein, um relevante Abweichungen zu generieren, können diese auch zusammengelegt werden. Die einzelnen Einzugsgebiete bleiben dabei bestehen, die Parametervariation wird aber jeweils in einem Cluster von Gebieten durchgeführt. Um eine aussagekräftige Sensitivitätskarte zu erhalten, muss die Clustergröße so gewählt werden, dass die berechneten Abweichungen über der Modellunsicherheit liegen. Desweiteren kann eine Clusterbildung auch bei sehr großen Modellen notwendig werden, um nicht zu viele Variationsmodelle zu erhalten und die Berechnungen zu beschleunigen.

Die Arbeitsschritte zu einer Sensitivitätskarte:

1. Ausgangsmodell erstellen
2. Einzugsgebiete gegebenenfalls zusammenfassen und Variationen vom Ausgangsmodell erstellen
3. Simulieren des Ausgangsmodells und der Variationen
4. Vergleich der Simulationsergebnisse für relevante Parameter und Verknüpfen der Ergebnisse mit den Einzugsgebieten
5. Darstellung der Ergebnisse als Sensitivitätskarten in GIS

Die Karten zeigen unabhängig von konkreten Entwicklungsgebieten, wie sich Veränderungen in den Einzugsgebieten auswirken.

6.4.1 Sensitivität am Fallbeispiel Telfs

Für Telfs wird beispielhaft die Sensitivität der Einzugsgebiete für ausgewählte Knoten im Entwässerungssystem ausgewertet (ein Überflutungsgefährdeter Knoten und der Haupt-Mischwasserüberlauf). Im Juli 2017 wurde die Straße im Gewerbegebiet im süd-östlichen Bereich des Kanalsystems (unterhalb des Siedlungsgebiets gelegen) aufgrund eines Starkregen-Ereignisses überflutet (Abbildung 86). Der Mischwasserüberlauf befindet sich zwischen Ortskern und Kläranlagenzufluss im westlichen Bereich des Entwässerungssystems.

Abbildung 86 Überflutung in Telfs am 10.7.2017 (links), Entsprechender Knoten im SWMM Modell (rechts)



Die Einzugsgebiete wurden in 128 Cluster unterteilt und die Sensitivität für den Überflutungsknoten hinsichtlich des Versiegelungsgrades untersucht.

Abbildung 87 Sensitivität der Einzugsgebiete auf Änderungen im Versiegelungsgrad auf den markierten Überflutungsknoten (links) und Mischwasserüberlauf (rechts), zwischen dunkelgrün (geringer Einfluss) und rot (hoher Einfluss)



Abbildung 87 zeigt die Sensitivität der Zielgrößen (Überflutung links, Mischwasserüberlauf rechts) auf Änderungen der befestigten Fläche in den Einzugsgebieten. In hoch sensitiven Gebieten (rot) besteht ein starker Einfluss auf die jeweilige Zielgröße, Flächenabkoppelungen oder Versiegelungen wirken sich daher stark aus. In wenig sensitiven Gebieten (grün) hat eine Änderung kaum einen Einfluss auf die Zielgröße. Die Auswertungen zeigen, dass für unterschiedliche Fragestellungen auch räumliche Unterschiede in der Sensitivität bestehen. Das bedeutet, dass Abkoppelungen zur Reduktion der Überflutungssituation in anderen Gebieten sinnvoll sein können als Abkoppelungen zur Reduktion der Mischwasserentlastungen.

6.4.2 Sensitivität am Fallbeispiel Innsbruck

Analog wird am Fallbeispiel Innsbruck wird ein Neubaugebiet am westlichen Ende des Stadtgebiets genauer betrachtet. In Innsbruck besteht eine Versickerungspflicht, die Einleitung von Niederschlagswässern in den bestehenden Mischwasserkanal ist daher nicht gestattet. Da sich die Kläranlage am anderen Ende der Stadt befindet, würde eine Einleitung im Belastungsfall zu einem erhöhten Mischwasserüberlaufvolumen führen. Anhand der Sensitivitätskarten kann gezeigt werden, welche Gebiete im derzeitigen Entwässerungssystem den größten Einfluss auf die Mischwasserüberläufe haben (Abbildung 88).

Abbildung 88 Einfluss der Einzugsgebiete von Entsiegelung (links) und Verdichtung (rechts) auf das gesamte Mischwasserüberlaufvolumen im Entwässerungsnetz von Innsbruck

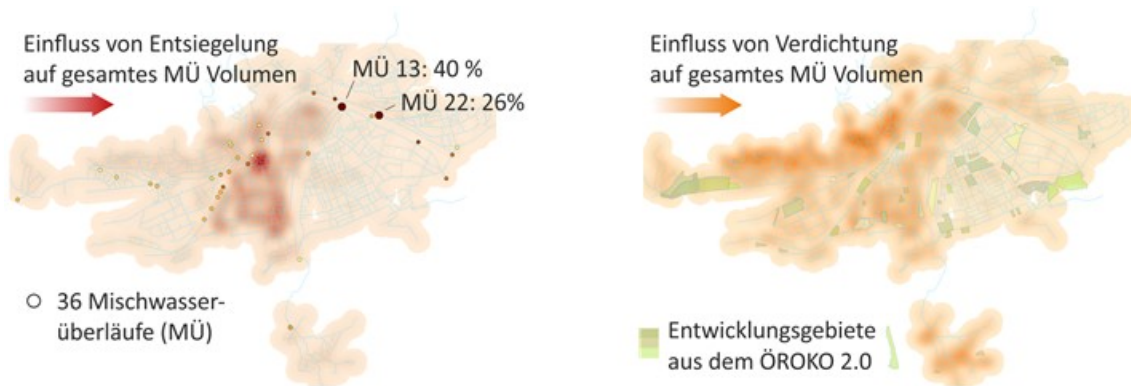
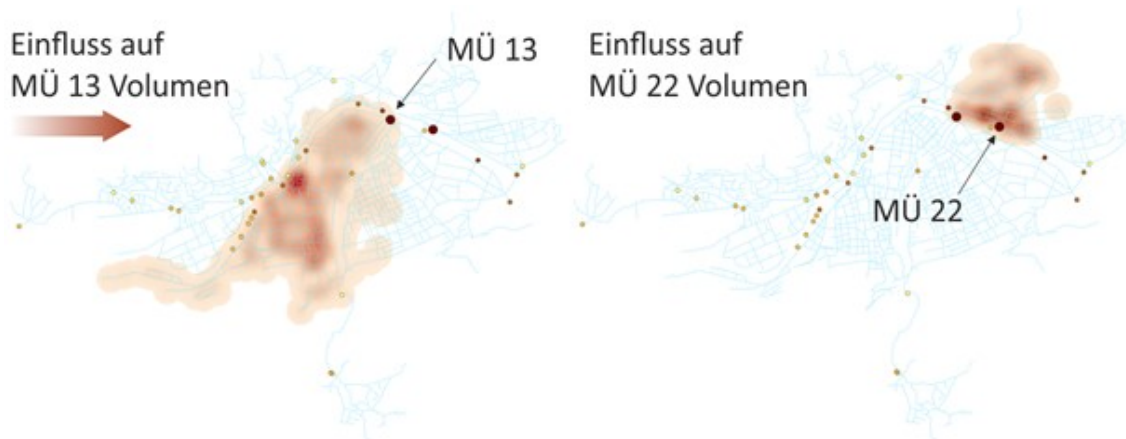


Abbildung 89 Einflussgebiet für die 2 maßgebenden Mischwasserüberläufe im Entwässerungsnetz von Innsbruck



In Abbildung 89 zeigt sich, dass Mischwasserüberläufe oft ein sehr begrenztes „Einzugsgebiet“ haben. Das bedeutet, dass Abkoppelungen lediglich in diesem Gebiet eine Reduktion der Mischwasserüberläufe bewirken.

6.4.3 Sensitivität am Fallbeispiel St. Pölten

Die Sensitivitätsanalyse wurde ebenfalls für das Teileinzugsgebiet Wagram der Stadt St. Pölten durchgeführt. Am Auslass des Einzugsgebiets befindet sich ein Mischwasserüberlauf, welcher als Referenzpunkt für die Sensitivitätsanalyse herangezogen wurde. Das Einzugsgebiet wurde in 463 Cluster unterteilt. Es wurden Veränderungen sowohl in Bezug auf den gesamten Überlaufvolumen als auch die Abflussspitzen betrachtet. Während bei der

Betrachtung des Gesamtvolumen primär eine Reduktion des Eintrags ins Gewässer im Vordergrund steht, wird bei der Betrachtung der Abflussspitzen vor allem der Beitrag zum Überflutungsschutz evaluiert.

Abbildung 90 Sensitivität der Einzugsgebiete ausgewertet für das Gesamtvolumen des Mischwasserüberlaufs, Variationsparameter Versiegelungsgrad



Abbildung 91 Sensitivität der Einzugsgebiete ausgewertet für das maximale Überlaufvolumen des Mischwasserüberlaufs (Abflussspitze), Variationsparameter Versiegelungsgrad



Die Abbildung 90 und Abbildung 91 zeigen, dass je nach betrachtetem Parameter unterschiedliche Gebiete für die Implementierung von Maßnahmen präferiert werden. Es zeigt sich jedoch vor allem, dass nicht zwangsläufig die größten Einzugsgebiete den größten Beitrag zum Mischwasserüberlauf leisten.

6.5 Beteiligung und Information

Die Niederschlagswasserbewirtschaftung betrifft eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure. Die Aufgaben und Verantwortlichkeiten unterscheiden sich bei den einzelnen Akteuren genauso wie die Kenntnis und das Interesse bezüglich NWB. Um eine möglichst integrale Lösung für die NWB zu finden, ist es jedoch notwendig alle relevanten Akteure sowohl in der Planung als auch in den Betrieb einzubeziehen (Matzinger et al., 2017b). Bei der Einbindung der Akteure kann zwischen unterschiedlichen Stufen unterschieden werden, welche von einseitiger Informationsbereitstellung bis zur aktiven Beteiligung im Entscheidungsprozess und der Umsetzung reichen. Welche Art der Beteiligung gewählt wird, hängt davon ab, was durch diese erreicht werden soll (Woods Ballard et al., 2015a). In diesem Kapitel werden zu Beginn unterschiedliche Akteure beschrieben, welche in der NWB relevant sein können. Weiters werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie diese in die NWB integriert werden können. Im Leitfaden wird dabei zwischen Werkzeugen für die Information von Akteuren und Gestaltungsmöglichkeiten für deren aktive Beteiligung in Planung und Betrieb unterschieden.

6.5.1 Relevante Akteursgruppen

Bei der Entwicklung und Umsetzung integraler NWB-Konzepte nimmt die Zahl an Akteuren gegenüber der herkömmlichen Entwässerungsplanung deutlich zu (Libbe, 2017). Wie groß die Gruppe der beteiligten Akteure ist, hängt von der Art und Größe des NWB-Projektes ab (Matzinger et al., 2017b). Im Entscheidungsprozess (Kapitel 5) wird zwischen drei unterschiedlichen Akteursgruppen unterschieden. Diese sind EntscheidungsträgerInnen, ExpertInnen und Stakeholder. Im Folgenden werden Akteure zu den einzelnen Gruppen zugeordnet basierend auf Erfahrungen aus den Fallstudien sowie aus internationalen Forschungsprojekten. Die Zuordnung bestimmter Akteure zu den drei Gruppen ist bei jedem Projekt gesondert zu betrachten.

Hier wird von einem Prozess ausgegangen, welcher auf eine Adaptierung des bestehenden Entwässerungssystems abzielt und sich nicht auf kleinräumige Maßnahmen auf einzelnen Privatgrundstücken beschränkt. Der Bedarf, die bestehende NWB einer Gemeinde zu überarbeiten, wird je nach Handlungsanlass von Gemeindeverantwortlichen oder KanalbetreiberInnen festgestellt. Eine Entscheidung über die Adaptierung des Systems sollte im Zusammenspiel beider Akteure passieren. Die wichtigsten EntscheidungsträgerInnen stellen somit der/die BürgermeisterIn einer Gemeinde als Baubehörde 1. Instanz, die Planungsabteilung einer Gemeinde und der/die KanalbetreiberIn dar. Zusätzlich können noch InvestorInnen und Grundstücks- bzw. GebäudeeigentümerInnen, bzw. Bauträgergesellschaften zu den EntscheidungsträgerInnen gezählt werden (Matzinger et al., 2017b). Die Zuordnung dieser zu den EntscheidungsträgerInnen oder den Stakeholdern ist abhängig von Ihrem Einfluss auf das gesamte Konzept der NWB.

Für die Planung werden, wie in Kapitel 4 beschrieben, unterschiedliche FachexpertInnen benötigt. Diese kommen vor allem aus dem Bereich der Entwässerungsplanung und der Raumplanung. Zusätzlich können je nach Projekt ExpertInnen aus den Bereichen Geologie, Gewässerökologie, Wasserwirtschaft, Landschaftsplanung, Architektur und Ingenieurbiologie beteiligt werden. Die Liste stellt nur einen Ausschnitt möglicher Fachgebiete dar und ist je nach Problemstellung erweiterbar.

Zu den Stakeholdern werden Akteure gezählt, welche ein direktes Interesse an der NWB haben bzw. direkt von der Adaptierung betroffen sind. Hierzu zählen unter anderem Grundstücks- und GebäudeeigentümerInnen im Planungsgebiet, GebäudenutzerInnen, unterschiedliche Abteilungen der Gemeindeverwaltung (Grünraumpflege, Naturschutz, Straßenbau, ...). Bei großen Projekten können auch die WissenschaftlerInnen, Interessensvertretungen wie Fach- und Umweltverbände oder lokale Initiativen und die allgemeine Bevölkerung beteiligt werden (Matzinger et al., 2017b). Die Anzahl an beteiligten

Stakeholdern ist auf das jeweilige Projekt abzustimmen und kann hier nicht generalisiert dargestellt werden.

Im Zuge der Fallstudie St. Pölten waren unterschiedliche Akteure in die Bearbeitung involviert. Da sich die Beteiligung auf einen kleinen Kreis beschränkte, wurde nicht zwischen EntscheidungsträgerInnen und Stakeholdern unterschieden. Von Seiten der Stadtverwaltung wurden mehrere Abteilungen des Fachbereichs Bau der Stadt in den getesteten Planungsprozess einbezogen. Diese umfassen sowohl die Baudirektion, die Stadtentwicklung sowie die Abwasserentsorgung. Zusätzlich war in den Prozess der Abwasserverband an der Traisen involviert, da Adaptionen der NWB in der Stadt St. Pölten einen Einfluss auf den Betrieb des Abwasserverbands haben.

Die FachexpertInnen setzten sich in der Fallstudie aus VertreterInnen der Universität für Bodenkultur Wien aus dem Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz sowie aus dem Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung und VertreterInnen aus im Bearbeitungsgebiet tätigen Ingenieurbüros zusammen.

6.5.2 Information relevanter Akteure

Die Verbreitung von Informationen seitens der EntscheidungsträgerInnen stellt eine gute Möglichkeit dar, um Bewusstsein über den Bedarf und das Potenzial von NWB-Adaptierungen zu schaffen (Shutes and Raggatt, 2010). Hiermit können zum einen relevante Stakeholder vor ihrer Beteiligung in Planung oder Betrieb auf Funktionen der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen aufmerksam gemacht werden und auch Akteure, welche im Planungsprozess nicht als Stakeholder beteiligt sind, über Fortschritte und Entscheidungen informiert werden. Für die Bereitstellung von Information stehen unterschiedliche Instrumente zur Verfügung. Eine eigene Homepage, Broschüren, Newsletter und Zeitungsartikel können genutzt werden, um Information während der Planung und auch im späteren Betrieb zu verbreiten. Eine weitere Möglichkeit bietet das Aufstellen von Informationstafeln bei Baustellen oder umgesetzten Maßnahmen, auf welchen die Funktionalität und Vorteile der Maßnahmen beschrieben werden. Weiters können die unterschiedlichen Kommunikationswerkzeuge genutzt werden, um über mögliche Gesundheits- oder Sicherheitsrisiken einzelner Maßnahmen aufzuklären (Shutes and Raggatt, 2010; Woods Ballard et al., 2015a).

Besonders im Betrieb ist die Informationsverbreitung für eine lange Nutzungsdauer wichtig. So können Newsletter dazu genutzt werden, um an notwendige Tätigkeiten zu erinnern. Weiters empfiehlt es sich beispielsweise ein Handbuch für den Betrieb und die Wartung für

Anlagen zu erstellen und sowohl an die zuständigen Akteure als auch an Besitzer oder Mieter des betreffenden Grundstücks zu verteilen. Auch wenn der Nutzer einer Anlage nicht für die Wartung dieser zuständig ist, sollte er erkennen können, wann diese nicht funktioniert, um den Schaden melden zu können, und wissen, wer bei Fehlfunktion zu kontaktieren ist (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010; Woods Ballard et al., 2015a). Beispiele, bei welchen die Meldung von Problemen auf eine ganze Stadt ausgedehnt wurde, stellen das Meldesystem der Stadt Innsbruck (www.buergermeldungen.com/Innsbruck) oder die App „Sag’s Wien“ der Stadt Wien dar (www.wien.gv.at/sagswien). Ähnliche Systeme über online Dienste wie E-Mail oder Messenger können auch von kleinen Gemeinden angedacht werden.

Wichtig für die Kommunikation ist, dass die Information zu jeder Zeit klar, interessant und einfach aufbereitet ist, um möglichst gut verstanden zu werden. Die Inhalte sollten auf die jeweilige Zielgruppe und den Stand der Umsetzung abgestimmt sein und hohe Qualität aufweisen. Weiters ist es wichtig, dass Informationen zeitgerecht verbreitet werden und falls eine Antwort erwünscht ist, dies klar ersichtlich ist. Bei jeder Art der Informationsverbreitung sollten die Kontaktdaten der zuständigen Abteilung oder Person vermerkt sein, bei welcher zusätzliche Informationen eingeholt werden können (Woods Ballard et al., 2015a).

6.5.3 Beteiligung relevanter Akteure in der Planung und im Betrieb

Die in der Planung und im Betrieb beteiligten Akteure entsprechen den zuvor beschriebenen Stakeholdern. Ihre Einbindung kann durch verschiedene Werkzeuge mit unterschiedlicher Intensität passieren. Der Grad der Beteiligung reicht vom Konsultieren der Akteure, über die Beteiligung an einzelnen Aktivitäten bis zur Zusammenarbeit und Übernahme von Verantwortung für die NWB (Woods Ballard et al., 2015a). Über die Einbindung unterschiedlicher Akteure in die Planung können die Bedürfnisse und Vorstellungen relevanter Akteure früh berücksichtigt werden und Konflikte zu einem späteren Zeitpunkt vermieden werden (Hoyer et al., 2011a).

Das Konsultieren der Stakeholder kann über Befragungen oder Workshops erfolgen. Die Diskussion in Workshops bietet die Möglichkeit, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Maßnahmen zu besprechen und mögliche Vorbehalte, wenn möglich, schon früh auszuräumen (Hoyer et al., 2011a). Für die Durchführung solcher steht eine Vielzahl an Werkzeugen zur Verfügung, welche meist das Problemverständnis unterstützen und bei der Erarbeitung möglicher Lösungen helfen sollen. Die Werkzeuge umfassen unter anderem Rollenspiele, schriftliche Aufgaben und geleitete Diskussionsrunden (McEvoy et al., 2018). Innerhalb dieser Workshops können auch die Zuständigkeiten für den späteren Betrieb diskutiert werden.

Während der Umsetzung und im Betrieb können Akteure in einzelne Aktivitäten eingebunden werden. Beispiele hierfür sind die Einbindung bei der Bepflanzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, das Anbieten von Umweltbildungsworkshops für Schulen und interessierte Akteure oder Workshops zu Betrieb und Wartung der Maßnahmen (Shutes and Raggatt, 2010; Woods Ballard et al., 2015a). Bei der Wartung können viele unterschiedliche Akteure eingebunden sein. Hier sollten je nach Zielgruppe spezifische Informationsveranstaltungen abgehalten werden, bei welchen die zuständigen Akteure in die relevanten Aspekte der Wartung eingeschult werden.

6.6 Herausforderungen im Betrieb von Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen

Um eine lange Lebensdauer der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu erreichen, sind Wartungen an den Maßnahmen durchzuführen. Die Aufrechterhaltung technischer und ästhetischer Funktionen kann über regelmäßige Wartungsarbeiten erreicht werden. Von Zeit zu Zeit werden jedoch auch weitergehende Wartungsmaßnahmen und Sanierungen notwendig sein. Um die Zeitpunkte für diese abschätzen zu können, ist eine regelmäßige Inspektion in den Betrieb der Anlagen einzuplanen (Hoyer et al., 2011b; Woods Ballard et al., 2015b).

Im folgenden Kapitel wird vor allem auf den Betrieb von alternativen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen eingegangen, da notwendige Tätigkeiten beim Betrieb von Kanalisationsanlagen im ÖWAV-Regelblatt 22 zusammengefasst sind (OEWAV, 2015b). Um einen möglichst guten Betrieb gewährleisten zu können, müssen schon in der Planung gewisse Aspekte berücksichtigt werden. Neben der Zuständigkeit, auf welche im folgenden Unterkapitel noch näher eingegangen wird, spielt auch die Zugänglichkeit zu den Anlagenteilen, gegebenenfalls Planung einer Vorbehandlung sowie die Möglichkeit bei Wartungsarbeiten die Entwässerung über andere Systeme abzuleiten eine wichtige Rolle. Weiters sollte schon in der Planung die spätere Entsorgung des Grünschnitts bei bepflanzten Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen bedacht werden (Woods Ballard et al., 2015b).

6.6.1 Zuständigkeit

Während die Zuständigkeit für den Betrieb von Kanalisationsanlagen meist klar ist, können alternative Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen von unterschiedlichen Akteuren betrieben werden. Die Zuständigkeit und Finanzierung des Betriebs sollte schon während der Planung über die vorhersehbare Lebensdauer der Anlagen festgelegt werden (CVC and

Toronto and Region Conservation Authority, 2010). Prinzipiell kann bei der Zuständigkeit zwischen Privatpersonen, Kanalbetreiber, Gemeinde und Privatunternehmen unterschieden werden (Campell, 2015). Die Zuständigkeit der einzelnen Akteure kann sowohl über die Lebensdauer als auch in Bezug auf die Aufgabe variieren. So kann beispielsweise das für die Ausführung zuständige Unternehmen für die ersten Jahre des Betriebs verantwortlich sein und dieser nach ein oder zwei Jahren an den Grundeigentümer und die Gemeinde übergeben werden. Weiters ist es möglich, dass beispielsweise die Zuständigkeit für die Inspektion von der Grünraumpflege getrennt wird. Wichtig ist es, die unterschiedlichen Zuständigkeiten möglichst früh festzulegen und zwischen den beteiligten Gruppen zu kommunizieren. Die Aufgabenverteilung sowie die notwendigen Tätigkeiten sollten in einem Pflegeplan dokumentiert sein (Campell, 2015; Hoyer et al., 2011b; Woods Ballard et al., 2015b). Die Zuständigkeiten können auch vertraglich festgelegt werden, um den langfristigen Betrieb und die Wartung sicherzustellen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010).

Information bezüglich Betrieb und die Wartung für Anlagen ist sowohl für die zuständigen Akteure als auch für Besitzer oder Mieter des betreffenden Grundstücks wichtig. Die Informationsverbreitung kann unter anderem über das Verteilen von Handbüchern oder die Abhaltung von Workshops geschehen. Unterschiedliche Möglichkeiten werden im Kapitel 6.5 näher beschrieben. Wichtig ist jedoch, dass auch wenn der Nutzer einer Anlage nicht für deren Wartung zuständig ist, sollte er erkennen können, wann diese nicht funktioniert, um den Schaden melden zu können und wissen, wer bei einer Fehlfunktion zu kontaktieren ist (Woods Ballard et al., 2015b).

6.6.2 Regelmäßige Inspektion und Wartung

Regelmäßige Tätigkeiten im Betrieb kennzeichnen sich durch die regelmäßigen Intervalle, in welchen die Tätigkeiten durchgeführt werden müssen und damit in Zusammenhang stehenden durch ihre relativ gute Planbarkeit. Zu diesen Tätigkeiten zählen zum einen die Inspektion der Anlagen und zum anderen die Grünraumpflege (Woods Ballard et al., 2015b). Eine Auflistung der unterschiedlichen Tätigkeiten und ihrer Intervalle findet sich in Tabelle 65.

Eine regelmäßige Inspektion und/oder Überwachung der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ist essentiell, um mögliche Schäden frühzeitig zu erkennen und somit eine lange Nutzungszeit erreichen zu können. Die Inspektionen sowie auch die Wartungsarbeiten sollten gut dokumentiert werden. Eine Möglichkeit um das zu erreichen, ist die Bereitstellung von vorgefertigten Protokollen, welche bei jeder Tätigkeit auszufüllen sind (Shutes and Raggatt, 2010). Bei der Routineinspektion sollten folgende Punkte überprüft werden: Durchlässe und Abläufe auf Verstopfungen, Dichtheit von

Anlagenteilen, Gesundheit der Vegetation, Verkehrssicherheit, Sedimentablagerungen, bauliche Schäden, Erosion, Pfützenbildung bei Versickerungsanlagen und ungeplantes Austreten von Wasser aus Becken. Die letzteren beiden Punkte können vor allem nach großen Regenereignissen überprüft werden (Grimm and Achleitner, 2010c; Woods Ballard et al., 2015b). Nach Inbetriebnahme der Anlage ist eine monatliche Inspektion der Anlage vorzusehen, welche um Inspektionen nach signifikanten Regenereignissen ergänzt wird. Nach dem ersten Jahr kann auf eine jährliche Inspektion umgestellt werden (Woods Ballard et al., 2015b).

Um den Pflegeaufwand der bepflanzten Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen möglichst gering zu halten, sollte schon in der Planung auf Pflanzen, welche eine extensive Pflege benötigen, gesetzt werden. Je nach Art und Nutzung der Anlage können sich die Intervalle jedoch auch verkürzen. So kann es zum Beispiel bei Grasflächen erwünscht sein, dass diese aus ästhetischen Gründen häufiger gemäht werden, als für die Funktion der Flächen notwendig wäre (Grimm and Achleitner, 2010c; Woods Ballard et al., 2015b). Besonders bei Versickerungsanlagen ist darauf zu achten, dass die Grünraumpflege nicht die Sickerleistung der Anlage durch Nachverdichtung beeinträchtigt (Grimm and Achleitner, 2010c). Bei vielen Tätigkeiten der Grünraumpflege von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ist es möglich, diese in ein bestehendes Landschaftspflegekonzept einzubetten, in welchem bereits ähnliche Tätigkeiten vorgesehen sind. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass die für die Landschaftspflege verantwortlichen Personen über die Funktionalität der Anlage aufgeklärt werden und über mögliche Einschränkungen in der Pflege informiert sind (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010; Woods Ballard et al., 2015b).

Tabelle 65 Regelmäßige Tätigkeiten im Betrieb Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010; Woods Bellard et al., 2015b)

Tätigkeit	Maßnahmen	Intervall
Inspektion und Dokumentation	Alle Maßnahmen	Monatlich bis Jährlich, nach großen Regenereignissen
Entfernung von Abfällen	Bei allen Maßnahmen, besonders bei Verstopfungsgefahr	Je nach Bedarf, besonders im Herbst nach Laubfall zweimal jährlich
Mähen	Transportmulden und Gräben Flächenversickerung Muldenversickerung Beckenversickerung Mulden-Rigolenversickerung	Mindestens zweimal jährlich häufiger möglich aus ästhetischen Gründen
Entfernung von Unkraut	Transportmulden und Gräben Flächenversickerung Muldenversickerung Beckenversickerung Mulden-Rigolenversickerung Gründach	Zweimal jährlich
Stauden- und Heckenschnitt	Muldenversickerung Beckenversickerung Mulden-Rigolenversickerung Retentionsraumversickerung	Einmal jährlich
Management der Uferbepflanzung	Teich	Einmal jährlich
Management der Wasserpflanzen	Teich	Einmal jährlich
Kehren von durchlässigen Oberflächen	Flächenversickerung	Einmal jährlich
Bewässerung	Transportmulden und Gräben Flächenversickerung Muldenversickerung Beckenversickerung Mulden-Rigolenversickerung Gründach	Nach Bedarf in den ersten beiden Jahren nach Fertigstellung der Anlage

Die Implementierung dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen kann auch Einfluss auf die Wartung und den Betrieb bestehender Kanalisationssysteme haben. In der Fallstudie St. Pölten wurden Auswirkungen der Abkopplung von Straßen und Dachflächen auf das Feststoffmanagement des Kanalbetriebs betrachtet. In St. Pölten stammen rund 50 % des Feststoffeintrags von abflusswirksamen Flächen (Keckeis, 2018), wobei sich der Beitrag von Dachflächen und Straßenflächen signifikant voneinander unterscheidet (Ashley

et al., 2015). Bei einer Abkopplung dieser Flächen kommt es somit nicht nur zu einer Verringerung des Abflussvolumens, sondern auch der stofflichen Fracht, welche entweder durch Kanalreinigung oder auf der Kläranlage entfernt werden muss.

Um einen besseren Überblick über die jährlichen Feststoffablagerungen im Kanal zu erhalten wurden in einem Teileinzugsgebiet des St. Pöltner Stadtteils Wagram detaillierte Reinigungsarbeiten durchgeführt. Hierbei wurden die Räumgutmengen der Haltungen, Schmutztassen und Gullys pro Straßenzug erfasst. In Summe haben sich rund 16,6 t Fracht in einem Jahr im Untersuchungsgebiet abgelagert. Mehr als 60 % der Räumgutmengen stammen aus Schmutztassen und Gullys. Weiters konnten starke Abweichungen zwischen den einzelnen Straßenabschnitten festgestellt werden. Die Räumgutmenge schwankt zwischen 0,44 und 3,72 t pro ha angeschlossener Fläche und Jahr (Keckeis, 2018). Am Untersuchungsgebiet wurden mittels eines Feststoffstrom-Modells beispielhaft die Auswirkungen vermehrter Abkopplung von Straßen- bzw. Dachflächen aufgezeigt. Bei einer Abkopplung der Dachflächen im Untersuchungsgebiet gelangen 15 % weniger Feststoffe und um eine um 35 % verringerte Wassermenge in die Kanalisation. Wird eine Abkopplung der Straßenflächen betrachtet, verschieben sich die Verhältnisse. Hier werden 33 % weniger Feststoffe in den Kanal eingetragen, bei einer Reduktion der jährlichen Wassermenge um 19 %. Es zeigt sich also, dass eine vermehrte Abkopplung von Dachflächen zu einer potentiellen Erhöhung der Ablagerungsbildung im Kanal beitragen kann, da zwar ein Teil der Feststoffe zurückgehalten wird, jedoch der Anteil an zurückgehaltener Wassermenge deutlich größer ist. Im ungünstigsten Fall könnte eine Beschränkung von Abkopplungsmaßnahmen auf Dachflächen durch erhöhte Ablagerungen im Kanal daher zu einem vermehrten Wartungsbedarf im Kanalnetz beitragen (Keckeis, 2018). Andererseits ist bei Abkopplung von Strassenflächen bei der Planung von NWB – Maßnahmen auf den Feststoffeintrag Bedacht zu nehmen.

6.6.3 Gelegentliche Wartung und Sanierungsmaßnahmen

Zur gelegentlichen Wartung zählen Aufgaben, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit im Laufe der Nutzungsdauer mehrmals durchgeführt werden müssen, jedoch weniger häufig als regelmäßige Wartungen, und deren Bedarf weniger gut planbar ist. Hierzu zählen vor allem das Entfernen von Sedimentablagerungen und die Erneuerung der Bepflanzung (Woods Ballard et al., 2015b).

Zu große Sedimentablagerungen können sowohl die Funktionalität als auch die Ästhetik der Anlage einschränken, weshalb diese bei Bedarf entfernt werden müssen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). Die Geschwindigkeit, mit welcher sich Sedimente in Anlagen ablagern, hängt vom Entwässerungssystem zur Anlage, der Größe sowie

Charakteristik des Einzugsgebiets ab. Besonders während Bautätigkeiten im Einzugsgebiet ist mit vermehrter Sedimentablagerung zu rechnen. Bei der Entfernung von Sediment ist darauf zu achten, dass die NWB-Maßnahme nicht beschädigt wird und das Ökosystem sowie die Ästhetik der Anlage nur minimal gestört werden. Die Möglichkeiten der Sedimententfernung unterscheiden sich je nach Maßnahme. Bei kleineren Anlagen kann jedoch diese auch händisch erfolgen, während bei größeren Anlagen Maschinen notwendig sind (Woods Ballard et al., 2015b).

Besonders im ersten Jahr nach Inbetriebnahme der Anlage oder nach großen Regenereignissen kann es notwendig sein, Teile der Vegetation oder einzelne Pflanzen auszutauschen. Bei der Nachpflanzung sollte darauf geachtet werden, dass dieselbe Anzahl an Pflanzen wiederhergestellt wird (Woods Ballard et al., 2015b).

Sanierungsmaßnahmen sind in noch größeren Zeitabständen als gelegentliche Wartungsmaßnahmen notwendig und umfassen unter anderem die Sanierung baulicher Schäden als auch die Wiederherstellung der Sickerleistung von Versickerungsflächen. Um diese Maßnahmen durchführen zu können, sollte schon in der Planung die Zugänglichkeit der Anlagen für notwendige Maschinen berücksichtigt werden und eine Durchgängigkeit der Entwässerungsleistung sichergestellt werden (Woods Ballard et al., 2015b).

Die Wiederherstellung der Durchlässigkeit von Versickerungsflächen kann mit der Zeit notwendig sein, um die entsprechende Sickerleistung zu gewährleisten. Gründe hierfür können ein hoher Eintrag an Schluff oder die Verdichtung des Sickerkörpers durch häufiges Betreten sein. Zur Rehabilitation des Untergrundes stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Diese umfassen das Auflockern des Bodens durch Maschinen in einer Tiefe von rund 50 mm, Druckbelüftung des Untergrundes oder die Entfernung und anschließender Wiederaufbau des Sickerkörpers (Grimm and Achleitner, 2010c; Woods Ballard et al., 2015b).

7 Schlussfolgerungen

7.1 Herausforderungen und Lösungen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Anhand unterschiedlicher Fallbeispiele mit unterschiedlichen Randbedingungen konnten für den entwickelten Leitfaden zur Regenwasserbewirtschaftung unterschiedliche Aspekte der Auswahl passender Behandlungsmethoden erarbeitet und daraus Erkenntnisse für die Entscheidungsfindung abgeleitet werden. Besondere Bedeutung hatte dabei die Ableitung von Empfehlungen für die strategische Planung basierend auf technischen (bzw. klimatischen, geologischen, städtebaulichen, wasserwirtschaftlichen und topographischen) sowie soziologischen Randbedingungen (Kapitel 3.3) unter Berücksichtigung von klimatischen und flächenbezogenen Änderungen (Kapitel 2) zur Erreichung der Planungsziele (Kapitel 3.1). Neben traditionellen Zielen wie dem Überflutungsschutz und Gewässerschutz wurden auch Aspekte wie der Erhalt einer natürlichen Wasserbilanz, Kosteneffizienz oder ein möglicher Zusatznutzen (z.B. als Beitrag für das Stadt-Mikroklima) berücksichtigt.

Einerseits wurden die jeweiligen Randbedingungen und Einsatzmöglichkeiten auf konkrete spezifische Technologien (Kapitel 4) heruntergebrochen, andererseits wurden Werkzeuge der strategischen Planung entwickelt (räumliche Sensitivitätskarten der Wirkung, Ableitung Eignung von Verfahren in Abhängigkeit von Siedlungsstrukturtypen) um großräumige Entscheidungsgrundlagen zu erhalten und diese mit vorhandenen raumplanerischen Werkzeugen zu kombinieren.

7.2 Der Entscheidungsprozess

Der Planungsprozess, welcher innerhalb dieses Projektes entwickelt wurde, ist relevant für Projekte mit Adaptierungsbedarf. Da davon ausgegangen wird, dass eine Adaptierung der bestehenden NWB stattfinden wird, ist ein Ausstieg aus dem Prozess und damit eine Beibehaltung des Status-quo nicht vorgesehen. Die Anwendung des Planungsprozesses wird in Zukunft besonders relevant auf Grund des steigenden Bewusstseins für die Potenziale dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Da die Implementierung dieser besonders im Bestand über die Zuständigkeit des Siedlungswasserbaus hinausgeht, bietet der Planungsprozess eine Grundlage, wie und wann unterschiedliche Akteure in die Entscheidungsfindung einbezogen werden können.

In St. Pölten konnten Teilaspekte des Planungsprozesses getestet werden. Diese Ergebnisse sind im Detail in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. In der Fallstudie hat sich bestätigt, dass für die NWB mehrere Akteure relevant sind. Zu diesen zählen neben der Baudirektion, der Abwasserentsorgung auch die Stadtplanung. Die Anzahl der relevanten Akteure innerhalb einer Gemeinde kann bei kleineren Gemeinden natürlich geringer ausfallen, jedoch sind bei der Planung mehr externe Fachexperten notwendig, um die unterschiedlichen Disziplinen abzudecken.

Im Fallbeispiel St. Pölten hat sich gezeigt, dass die Analyse des Einzugsgebiets und die Leitbilderstellung zum Teil parallel ablaufen können. Für die Leitbilderstellung ist es wichtig, dass die FachexpertInnen zuerst eine Übersicht über die Probleme und Potenziale des gesamten Gebiets haben. Die konkrete Auswahl von prioritären Bereichen kann jedoch auch im Zuge der Leitbilderarbeitung in Zusammenarbeit mit EntscheidungsträgerInnen erfolgen. So wurden in St. Pölten beispielsweise die Ergebnisse der Analyse mit den EntscheidungsträgerInnen diskutiert, um die Erfahrungen dieser in die Gebietsabgrenzung einbeziehen zu können. Ein diskutiertes Kriterium stellt in St. Pölten die EigentümerInnenstruktur dar. So wird die Auswahl an zu adaptierenden Flächen prioritär öffentliche Grundstücke und Straßen betreffen, da bei Privatbesitz besonders die fehlenden Möglichkeiten, Anreize auf Grund der bestehenden Gebührenordnung zu schaffen, als Hindernis gesehen werden.

Der entwickelte Planungsprozess stellt somit eine gute Grundlage für die Entscheidungsfindung zur Adaptierung der NWB einer Gemeinde dar. Der Planungsablauf ist zu einem gewissen Grad flexibel und die Analysemethoden können an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Weiters bietet er einen Rahmen, um die unterschiedlichen Disziplinen und Akteure, welche an der NWB beteiligt sind, zusammenzubringen und an der Entscheidung zu beteiligen.

7.3 Fazit

Der entwickelte Leitfaden bündelt vorhandenes Wissen der Regenwasserbewirtschaftung und gibt darüber hinaus Hinweise, wie Werkzeuge der strategischen Planung von Behandlungsmethoden für die jeweilige Gemeinde erstellt werden können. Durch die Einbeziehung und den Verweis auf vorhandene Daten zu Klima- und Raumentwicklung sollen im Besonderen Hilfestellungen zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung für kleine und mittlere Gemeinden gegeben werden. Eine besondere Rolle dabei spielen dezentrale Behandlungsmethoden bei denen Niederschlagswasser vor Ort versickert und verdunstet anstatt in Misch- oder Trennsystemen abgeleitet zu werden. Dies hat den Vorteil, dass neben

den traditionellen siedlungswasserwirtschaftlichen Zielen wie Überflutungs- und Gewässerschutz auch die natürliche Wasserbilanz erhalten wird. Am ökonomisch sinnvollsten ist für diesen Zweck eine Behandlungskaskade bestehend aus unterschiedlichen Systemen. Beispielsweise kann zuerst in einem Gründach die Verdunstungskomponente erhöht und anschließend der überschüssige Abfluss unterirdisch versickert werden.

Die ganzheitliche Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes inklusive Berücksichtigung möglicher zukünftiger Änderungen ermöglicht eine nachhaltige Planung. Dies erfordert jedoch die Einbeziehung unterschiedlicher Entscheidungsträgergruppen, wodurch wiederum den Planungs- und Entscheidungsfindungsprozess in der Gemeinde durchaus komplex werden kann. Auch hier soll der Leitfaden seinen Beitrag leisten und die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Gruppen fördern.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Bevölkerungsprognose 2017 für Gesamtösterreich und die Bundesländer und Abweichungen zur Regionalprognose 2014	17
Tabelle 2 Bevölkerungsprognose 2017 für Gesamtösterreich, Hauptszenario und alternative Prognosevarianten	18
Tabelle 3 Einflüsse auf bebaute Fläche bzw. Flächenversiegelung	21
Tabelle 4 Klimaänderung in Österreich, Mittelwerte über Gesamtösterreich	23
Tabelle 5 Beispiel der jahreszeitlichen Parametrisierung zur Durchführung von Robustheitsanalysen	32
Tabelle 6 Datenquellen für Österreich	35
Tabelle 7 Empfohlene Überstauhäufigkeit für den rechnerischen Nachweis bei der Neuplanung bzw. nach der Sanierung (ÖWAV-Regelblatt 11 – (ÖWAV, 2009))	38
Tabelle 8 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV-Regelblatt 19 –ÖWAV, 2007a)	39
Tabelle 9 Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a))	39
Tabelle 10 Überblick über Szenarien im bebauten Zustand	49
Tabelle 11 Abwassergebühren in Österreich – Verteilung nach Gemeinden je Bundesland (KPC, 2012)	67
Tabelle 12 Leitfäden der Bundesländer zum Umgang mit Niederschlagswasser (Stand März 2018)	74
Tabelle 13 Relevante Regelwerke und Normen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	75
Tabelle 14 Wiederkehrzeit für Bemessungsregenspende nach ÖNORM EN 752 (Überlastung)	78
Tabelle 15 Wiederkehrzeit für Bemessungsregenspende nach ÖRNORM EN 752 (Überflutung)	79
Tabelle 16 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Durchlässigkeitsbeiwerts	80
Tabelle 17 Gebäudespezifische Randbedingungen für den Einsatz von Gründächern (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2010)	83
Tabelle 18 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Flächenbedarfs der Maßnahmen im Verhältnis zur entwässerten Fläche	84
Tabelle 19 Anwendbarkeit von NBW-Maßnahmen in Abhängigkeit des Flächentyps	88
Tabelle 20 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Altlasten	89

Tabelle 21 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit des Flurabstandes	89
Tabelle 22 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von vorhandenen Grundwassernutzungen	90
Tabelle 23 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Grundwasserschutz- und -schongebieten	91
Tabelle 24 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Hochwasser- und Niedrigwasserabflussproblemen	91
Tabelle 25 Anwendbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Geländeneigung	93
Tabelle 26 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit	98
Tabelle 27 Vor- und Nachteile des Mischwassersystems (adaptiert nach ÖWAV Regelblatt 9)	99
Tabelle 28 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Regenwasserkanälen	100
Tabelle 29 Vor- und Nachteile von Regenwasserkanälen	101
Tabelle 30 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Transportmulden und Gräben	102
Tabelle 31 Vor- und Nachteile von Transportmulden und Gräben	103
Tabelle 32 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Speicherkanälen	104
Tabelle 33 Vor- und Nachteile von Speicherkanälen	105
Tabelle 34 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Fassadenbegrünung	106
Tabelle 35 Vor- und Nachteile von Fassadenbegrünung	107
Tabelle 36 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Flächenversickerung	108
Tabelle 37 Vor- und Nachteile der Flächenversickerung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	109
Tabelle 38 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Versickerungsmulde	111
Tabelle 39 Vor und Nachteile der Muldenversickerung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	112
Tabelle 40 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit von Versickerungsbecken	112
Tabelle 41 Vor- und Nachteile von Versickerungsbecken (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	113
Tabelle 42 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit des Rigolen-Rohr-Systems	114
Tabelle 43 Vor- und Nachteile der Rigolen-Rohr-Versickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	115
Tabelle 44 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit (Mulden-Rigolen/Rohr-System)	116
Tabelle 45 Vor- und Nachteile der Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	117
Tabelle 46 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Schachtversickerung	117

Tabelle 47 Vor- und Nachteile der Schachtversickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	119
Tabelle 48 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Retentionsraumversickerung)	120
Tabelle 49 Vor- und Nachteile der Retentionsraumversickerung (adaptiert nach Assinger 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	120
Tabelle 50 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit des Gründachs	122
Tabelle 51 Vor- und Nachteile der Dachbegrünung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	122
Tabelle 52 Hydrologische Prozesse und Reinigungsfähigkeit der Regenwassernutzung)	123
Tabelle 53 Vor- und Nachteile der Regenwassernutzung (adaptiert nach Assinger, 2012 und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011)	124
Tabelle 54 Übersichtstabelle der Methoden mit Funktion	125
Tabelle 55 Bevölkerungsprognose, Beispiel Telfs (Anpassungsfaktoren aus Tabelle 1 und Tabelle 2)	139
Tabelle 56 Beispiel Baulandbedarf bis 2075 für das Hauptszenario der Bevölkerungsprognose bei Bedarfsdeckung durch Neubau	139
Tabelle 57 Teilbereiche des Projektgebiets „Waagner-Biro-Viertel“	144
Tabelle 58 Oberflächenkategorisierung, modifiziert nach Krebs et al., 2016	145
Tabelle 59 Untersuchte Maßnahmenkombination	149
Tabelle 60 Kostenansätze zur Ermittlung der Lebenszykluskosten	150
Tabelle 61 Überblick über die Ergebnisse für die Wasserbilanz und die Lebenszykluskosten	152
Tabelle 62 Benötigte Daten für die Modellierung eines Gründachs in SWMM	159
Tabelle 63 Benötigte Daten für die Modellierung eines Versickerungsgrabens in SWMM	160
Tabelle 64 Empfohlene Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit der Strukturtypen	171
Tabelle 65 Regelmäßige Tätigkeiten im Betrieb Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (CVC and Toronto and Region Conservation Authority, 2010; Woods Bellard et al., 2015b)	189
Tabelle 66 Parametergrenzen für Sensitivitätsanalyse	227
Tabelle 67 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für das Gründach (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)	233
Tabelle 68 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für den Versickerungsgraben (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)	235
Tabelle 69 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für die Bio-Retention Cell (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)	237

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Regionalprognose für die Bevölkerungsentwicklung in Österreich (ÖROK 2014) für 2030, 2050 und 2075 in Prozent	16
Abbildung 2 Bandbreite der Prognosevarianten im Vergleich zum Hauptszenario	19
Abbildung 3 Beobachtete Werte (in mm) und simulierte Änderungen der mittleren Niederschlagssummen (in %) für Tirol	23
Abbildung 4 Beobachtete Werte und simulierte Änderungen der mittleren Lufttemperatur (in °C)	24
Abbildung 5 Niederschlagsmenge, Veränderung in Prozent, RCP8.5, 2071 – 2100, (1) Jährlich, (2) Sommer, (3) Winter	25
Abbildung 6 Eintägige Niederschlagsintensität (mittlere Niederschlagssumme von Niederschlagstagen), RCP8.5, 2071 – 2100, (1) Jährlich, (2) Sommer, (3) Winter	25
Abbildung 7 Veränderung der Länge von Trockenperioden bis 2050 in Prozent, RCP8.5, (1) Frühling, (2) Sommer, (3) Herbst, (4) Winter	26
Abbildung 8 Veränderung der Länge von Niederschlagsperioden bis 2050 in Prozent, RCP8.5, (1) Frühling, (2) Sommer (3) Herbst, (4) Winter	27
Abbildung 9 Hitzetage (Temperatur >30°C), jährlich für RCP8.5 bis (1) 2050, (2) 2100	28
Abbildung 10 Frosttage (Minimale Tagestemperatur < 0°C), jährlich für RCP8.5 bis (1) 2050, (2) 2100	28
Abbildung 11 Allgemeine Definition des Mindestwirkungsgrads der Weiterleitung η - adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)	40
Abbildung 12 Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)	40
Abbildung 13 Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe – adaptiert nach ÖWAV-Regelblatt 19 – (ÖWAV, 2007a)	41
Abbildung 14 Schematische Darstellung der Wasserbilanzkomponenten	43
Abbildung 15 Wasserbilanzkomponenten abhängig vom Versiegelungsgrad	45
Abbildung 16 Energie-Budget von Siedlungsgebieten und UHI-Effekt (Brandenburg et al., 2015)	46
Abbildung 17 Abendliches Thermalbild der Stadt Wien und des Umlandes (Brandenburg et al., 2015); qualitativer Temperaturverlauf von kühl (blau) bis warm (rot)	47
Abbildung 18 Ermittlung der Absolutabweichungen zwischen bebautem Zustand und natürlichem Zielzustand	50
Abbildung 19 Vergleich des Abflusses zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)	51
Abbildung 20 Vergleich der Evapotranspiration zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)	52

Abbildung 21 Vergleich der Speicheränderung + Grundwasseranreicherung zwischen natürlichem und bebautem Zustand (Szenarien 1, 4, 8)	53
Abbildung 22 Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 1	54
Abbildung 23 Verschiebung der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand für Szenario 8	55
Abbildung 24 Durchschnittliche absolute Abweichungen der Wasserbilanzkomponenten zwischen bebautem und natürlichem Zustand	56
Abbildung 25 Systematik für Robustheitsbetrachtungen - adaptiert nach (Herman et al., 2015)	58
Abbildung 26 Mögliche Robustheitsmaße, adaptiert nach (Herman et al., 2015)	60
Abbildung 27 Genereller Ablauf einer Kostenvergleichsrechnung nach (DWA, 2012)	61
Abbildung 28 Auftreten von verschiedenen Kostenarten und zeitlicher Bezug; nach (DWA, 2012)	62
Abbildung 29 Ansätze für Herstellungskosten, Betriebskosten und Nutzungsdauern von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (Muschalla et al., 2014)	64
Abbildung 30 Kostenansätze aus (Matzinger et al., 2017) für: GR_ext = extensives Gründach in €/m ² a, MU = Versickerungsmulde in €/m ² a, RIG = Rigole in €/m ³ a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m ³ a. Minimal-, Median-, und Maximalwerte zusammengetragen aus verschiedenen Bauvorhaben	65
Abbildung 31 Kostenansätze aus (Matzinger et al., 2017) – Kuras, (Sieker - Die Regenwasserexperten, 2018) - Sieker und (Muschalla et al., 2014) – Ecostorma für: MU = Versickerungsmulde in €/m ² a, RIG = Rigole in €/m ³ a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m ³ a.	65
Abbildung 32 Kostenansätze für Investitionskosten (IK) und Betriebskosten (BK) aus (Muschalla et al., 2014) für: GR = Gründach in €/m ² a, MU = Versickerungsmulde in €/m ² a, RIG = Rigole in €/m ³ a, MU-RIG = Mulde-Rigole in €/m ³ a. Minimal-, Median-, und Maximalwerte.	66
Abbildung 33 Abwassergebührensyste in Österreich / Gemeindeebene (KPC, 2012)	67
Abbildung 34 Kanalsysteme in Österreich (KPC, 2012)	68
Abbildung 35 Flächenmaßstäbe zur Festsetzung der Niederschlagsgebühr	70
Abbildung 36 : Einteilung der Niederschlagsabflüsse nach Herkunftsfläche (ÖWAV Regelblatt 45, 2015a)	86
Abbildung 37 Herkunftsflächen und damit verbundene Entwässerungsanlagen (ÖWAV Regelblatt 45, 2015a)	87
Abbildung 38 Klassifizierung der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsansätze (adaptiert aus Fletcher et al. 2014)	94
Abbildung 39 Schema modifiziertes Trennsystem (ÖWAV Regelblatt 9, 2008)	100
Abbildung 40 Schematische Darstellung eines V-Grabens, eines U-Grabens und einer bepflanzten Transportmulde	102

Abbildung 41 Stauraumkanal als Fangbecken (oben) oder Durchlaufbecken (unten)	104
Abbildung 42 Hydrologische Prozesse einer Fassadenbegrünung	106
Abbildung 43 Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Flächenversickerung (Johnscher, 2016)	108
Abbildung 44 Ermittlung der erforderlichen Sickerfläche und Schema einer mittels Rasengittersteinen befestigten Fläche (ON, 2013)	109
Abbildung 45 Funktionsweise einer Versickerungsmulde (Johnscher, 2016)	110
Abbildung 46 Schema einer Versickerungsmulde ohne Drainagerohr (ON, 2013)	111
Abbildung 47 Prinzipielle Funktionsweise eines Rigolen-Rohr-Systems (Johnscher, 2016)	114
Abbildung 48 Dimensionierung eines Rigolen-Rohr-Versickerungssystems (ON, 2013)	115
Abbildung 49 Schema Sickerschacht mit Kiesfilter (ON, 2013)	118
Abbildung 50 Prinzip der Retentionsraumversickerung (Geiger et al., 2009)	120
Abbildung 51 Aufbau und Funktionsweise eines Gründaches (Johnscher, 2016)	121
Abbildung 52 Schematische Funktionsweise einer Regentonne (Johnscher, 2016)	123
Abbildung 53 Ablaufschema des Strukturierten Planungsprozesses	129
Abbildung 54 Entwässerungsnetz von Telfs; Schmutzwasser- bzw. Mischwasserleitungen mit Mischwasserentlastung (CSO) und Kläranlage (ARA Telfs), Pumpen, Regenwasserkanäle und Auslässe	137
Abbildung 55 Versiegelung (Undurchlässigkeit) im Gemeindegebiet von Telfs; dicht bebauter Ortskern und Gewerbegebiete, Wohngebiete mit deutlich geringerer Dichte (Ein- und Mehrfamilienhäuser)	138
Abbildung 56 Einzugsgebiete des hydrodynamischen Modells für Telfs: Straßen rot, Grundstücke grün	140
Abbildung 57 Siedlungsgebiet Innsbruck, Entwicklungsgebiete im ÖROKO 2.0, Neubaugebiet am Westende von Innsbruck (Vonach et al., 2018)	141
Abbildung 58 Übersichtskarte Projektgebiet „Waagner-Biro-Viertel“	142
Abbildung 59 Übersicht über das Entwässerungssystem im Projektgebiet (links) und Detailkarte des Projektgebiets "Waagner-Biro-Viertel" (rechts)	143
Abbildung 60 Ausschnitt der Oberflächenkarte mit Oberflächenkategorisierung	146
Abbildung 61 : Einzugsgebiete im Projektgebiet	147
Abbildung 62 Potenzielle Flächen für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen	148
Abbildung 63 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Abfluss); Wasserbilanz und Kosten	153
Abbildung 64 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Evapotranspiration); Wasserbilanz und Kosten	154
Abbildung 65 Ergebnis der Langzeitsimulationen für die verschiedenen Szenarien (aufsteigend gereiht nach Grundwasseranreicherung); Wasserbilanz und Kosten	154
Abbildung 66 Schrägluftaufnahmen von Ratzersdorf und Wagram (Stadtarchiv St. Pölten)	155

Abbildung 67 Modellierungstools zur Simulation von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen - adaptiert nach (Jayasooriya und Ng, 2014)	157
Abbildung 68 Gebiete mit geringer Versiegelung und Dichte Datenquelle: basemap.at	163
Abbildung 69 Gebiete mit mittlerer Versiegelung und Dichte Datenquelle: basemap.at	163
Abbildung 70 Gebiete mit mehrgeschossiger Bebauung mit mittlerer Versiegelung und hoher Dichte Datenquelle: basemap.at	164
Abbildung 71 Mehrgeschossige Wohngebiete mit hoher Versiegelung und Dichte Datenquelle: basemap.at	164
Abbildung 72 Stadtzentrum - Innenstadtbebauung mit hoher Versiegelung und Dichte und Mischnutzung Datenquelle: basemap.at	165
Abbildung 73 Öffentliche Einrichtungen und Sondergebiete Datenquelle: basemap.at	165
Abbildung 74 Büro, Verwaltung, Handel und Gewerbe Datenquelle: basemap.at	166
Abbildung 75 Betriebsgebiete und Industrie Datenquelle: basemap.at	166
Abbildung 76 Dörfliche Gebiete mit landwirtschaftlichen Betrieben Datenquelle: basemap.at	167
Abbildung 77 Siedlungswasserwirtschaftliche Strukturtypen St. Pölten	168
Abbildung 78 Siedlungswasserwirtschaftliche Strukturtypen Wagram	169
Abbildung 79: Siedlungsstrukturtypen der Gemeinde Telfs	173
Abbildung 80: Anteil der einzelnen Siedlungsstrukturtypen	173
Abbildung 81: Flächengröße der einzelnen Siedlungsstrukturtypen	174
Abbildung 82: Anteil der Siedlungsstrukturtypen und der fünf weiteren Kategorien	174
Abbildung 83: Flächen spezifischer Regenwasserbewirtschaftung	175
Abbildung 84: Empfohlene Methoden in Abhängigkeit der Evapotranspiration und Versickerung	175
Abbildung 85 Sensitivitätskarte eines Parameters z (z.B. Versiegelungsgrad) in Bezug auf einen Ergebnisparameter r im untersten Knoten des Entwässerungsnetzes (k)	177
Abbildung 86 Überflutung in Telfs am 10.7.2017 (links), Entsprechender Knoten im SWMM Modell (rechts)	178
Abbildung 87 Sensitivität der Einzugsgebiete auf Änderungen im Versiegelungsgrad auf den markierten Überflutungsknoten (links) und Mischwasserüberlauf (rechts), zwischen dunkelgrün (geringer Einfluss) und rot (hoher Einfluss)	179
Abbildung 88 Einfluss der Einzugsgebiete von Entsiegelung (links) und Verdichtung (rechts) auf das gesamte Mischwasserüberlaufvolumen im Entwässerungsnetz von Innsbruck	180
Abbildung 89 Einflussgebiet für die 2 maßgebenden Mischwasserüberläufe im Entwässerungsnetz von Innsbruck	180
Abbildung 90 Sensitivität der Einzugsgebiete ausgewertet für das Gesamtvolumen des Mischwasserüberlaufs, Variationsparameter Versiegelungsgrad	181

Abbildung 91 Sensitivität der Einzugsgebiete ausgewertet für das maximale Überlaufvolumen des Mischwasserüberlaufs (Abflussspitze), Variationsparameter Versiegelungsgrad	181
Abbildung 92 Layermodell für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in SWMM und berücksichtigte hydrologische Prozesse (Beispiel: Bio-Retention Cell)	230
Abbildung 93 Berücksichtigte Periode zur Ermittlung der regenereignisbasierten Wasserbilanz	231
Abbildung 94 Resultat der Langzeitsimulationen für das Gründach in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter : a) Abflussvolumen (R); b) Evapotranspiration (ET); adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	232
Abbildung 95 Resultat der Langzeitsimulationen für den Versickerungsgraben in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter: a) Abfluss (R); b) Evapotranspiration (ET); c) Grundwasseranreicherung (GR) ; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	234
Abbildung 96 Resultat der Langzeitsimulationen für die Bio-Retention Cell in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter: a) Abfluss (R); b) Evapotranspiration (ET); c) Grundwasseranreicherung (GR) ; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	235
Abbildung 97 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Gründachparameter Bodendicke in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	238
Abbildung 98 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Versickerungsgrabenparameter Speicherdicke in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	239
Abbildung 99 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Bio-Retention Cell-Parameter Freibord in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)	240

Literaturverzeichnis

AAEV, Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung AAEV).

Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, 2016, Leitfaden Entsorgung von Oberflächenwässern. 4. Auflage, Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, Innsbruck

Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2007, Oberflächenentwässerung – Leitfaden zum Umgang mit Niederschlagswässern aus Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächen, Amt der Vorarlberger Landesregierung

Ankowitsch, A., Bilek, A., Diebold, W., Döhrn, V., Hofer, D., Luidolt, U., Maurer, G., Neubauer, E., Neuhold, G., PIRKNER, W., Rauch, P., Rauchlatner, P., Schober, M., Schwarzbeck, H., Schwarzl, H., Teschinegg, A., Topf, G., 2012, Leitfaden für Oberflächenentwässerung, Amt der Stmk. Landesregierung Fachabteilung 19A Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft, Fachabteilung 13B Bau- und Raumordnung, Fachabteilung 17B Technischer Amtssachverständigendienst, Graz.

Aschwanden, H., 2012, Herausforderungen und Ziele für die Schweizer Wasserwirtschaft der Zukunft, Forum Für Wissen 43–50

Assinger, C., 2012, Niederschlagswasserbewirtschaftung - Analyse, Möglichkeiten und Empfehlungen für Graz, Master Thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria

Beierle, T.C., Konisky, D.M., 2000, Values, conflict, and trust in participatory environmental planning, J. Policy Anal. Manage.,19, 587–602

Berchtold, M., Krass, P., Qorri Dragaj, P., van der Meer, M., Rahn, T., Brandstetter, L., Trute, P., Büter, B., 2015, Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung, Anpassungskomplex "Hitze"

Blöschl, G., W. Schöner, H. Kroiß, A. Blaschke, R. Böhm, K. Haslinger, N. Kreuzinger, R. Merz, J. Parajka and J. Salinas (2011). "Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft–Ziele und Schlussfolgerungen der Studie für Bund und Länder." Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 63(1-2): 1-10.

Blöschl, G., J. Parajka, A. Blaschke, M. Hofstätter, K. Haslinger, W. Schöner, 2017
Klimawandel in der Wasserwirtschaft - Follow up zur ZAMG/TU-Wien Studie (2011)
Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft im Auftrag von
Bund und Ländern, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft, Wien

BMNT 2017, Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel,
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Brandenburg, C., Damyanovic, D., Reinwald, F., Alex, B., Gantner, B., Czachs, C., 2015,
Urban Heat Islands Strategieplan Wien, Magistrat der Stadt Wien, Wiener
Umweltschutzabteilung-Magistratsabteilung 22, Wien

Buchgeher, M., Leitner, C., Panhofer, E., Penninger, E., 2008, Beseitigung von Dach-,
Parkplatz- und Straßenwässern Grundsätze aus wasserrechtlicher und wasserwirtschaftlicher
Sicht Leitfaden, Amt der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Linz

Campell, R., 2015, Sustainable Drainage Systems (SuDS) maintenance and adoption options
(England) (Fact Sheet), susDrain,

**Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht,
A., Lexer, A., Peßenteiner, S., Poetsch, M., Salzmann, M., Spiekermann, R., Switanek,
M., Truhezt, H., 2016**, ÖKS 15 Klimafactsheet, Klimaszenarien für das Bundesland
Niederösterreich bis 2100

Coffman, L., 2000, Low-Impact Development Design Strategies, An Integrated Design
Approach (No, EPA 841-B-00-003), Department of Environmental Resources, Programs and
Planning Division, Prince George's County, Maryland

CVC, Toronto and Region Conservation Authority, 2010, Low impact development
stormwater management planning and design guide

**de Buck, J., Wiener, A., Koeck, M., Weizenböck, F., Steindl, M., Emrich, H.,
Reisenbichler, M., Strateanu, S., 2016**, Integriertes Stadtentwicklungskonzept 2016 (ISEK),
Grundlagenforschung, Analyse und Entwicklungskonzept

**Deister, L., Brenne, F., Stokman, A., Henrichs, M., Jeskulke, M., Hoppe, H., Uhl, M.,
2016**, Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung - Handlungsstrategien und

Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter (SAMUWA - Publikation), Universität Stuttgart, Stuttgart

DWA, 2012, Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenrechnung (KVR-Leitlinie)

Dyck, S., Peschke, G., 1995, Grundlagen der Hydrologie, 3., stark bearb. Aufl., Verlag für Bauwesen, Berlin

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2015. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' : (full version). Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Fletcher, T., Deletic, A., 2008, Data Requirements for Integrated Urban Water Management: Urban Water Series-UNESCO-IHP, CRC Press

Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P., 2013, Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art, Adv. Water Resour., 51, 261–279

Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., 2015, SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, Urban Water J., 12, 525–542

FLL, 2008, Dachbegrünungsrichtlinie – Richtlinie für die Planung Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn

Foster, J., Lowe, A., Winkelmann, S., 2011, The value of green infrastructure for urban climate adaptation, Cent, Clean Air Policy 750

Gasienica-Wawrytko, B., Hagen, K., Trimmel, H., Tötzer, T., 2014, Kapitel 6: Charakterisierung der Stadtraumtypen, in: Urban Fabric Types and Microclimate Response - Assessment and Design Improvement, Final Report, Wien

Geiger, W.F., Dreiseitl, H., Stemplewski, J., 2009, Neue Wege für das Regenwasser - Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München

Goebel, P., Coldewey, W.G., Dierkes, C., Kories, H., Meßer, J., Meißner, E., 2007, Impacts of green roofs and rain water use on the water balance and groundwater levels in urban areas, Grundwasser 12, 189–200

Grimm, K., Achleitner, M., 2010, Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete - Leitfaden für Gemeinden, Amt der NÖ Landesregierung Gruppe Wasser

Haas, U., Ruf, O., Dittmer, U., Schütze, M., 2016, Integrale Abflusssteuerung in Mischsystemen (SAMUWA - Publikation)

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985, Reference Crop Evapotranspiration from Temperature, Appl. Eng. Agric., 1, 96–99

Hegger, M., Dettmar, J., Martin, A., Meinberg, T., Boczek, B., Drebes, C., Greiner, M., Hesse, U., Kern, T., Mahlke, D., Al Najjar, A., Schoch, C., Schulze, J., Sieber, S., Stute, V., Sylla, O., Wurzbacher, S., Zelmer, A., 2012. UrbanReNet I - Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum.

Henrichs, M., Langner, J., Uhl, M., 2016, Development of a simplified urban water balance model (WABILA), Water Sci. Technol, 73, 1785–1795,

Henrichs M., Steinbrich A., Leistert H., Scherer I., Schuetz T., Uhl M., & Weiler M, 2019, "Model Based Estimation of a Natural Water Balance as Reference for Planning in Urban Areas" in New Trends in Urban Drainage Modelling - UDM 2018. Springer International Publishing.

Herman, J., Usher, W., 2017, SALib: An open-source Python library for Sensitivity Analysis [WWW Document], J, Open Source Softw.

Herman Jonathan D., Reed Patrick M., Zeff Harrison B., Characklis Gregory W., 2015, How Should Robustness Be Defined for Water Systems Planning under Change? J, Water Resour. Plan. Manag. 141, 04015012

Hösl, R., Strauss, P., Wenzel, W.W., Leitgeb, E., Aust, G., Englisch, M., 2016, Bodentypen in St. Pölten & St. Pölten Land

Howe, C., Vairavamoorthy, K., van der Steen, N., 2012, Sustainable water management in the city of the future, UNESCO-IHE, Delft

Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, L., Weber, B., 2011, Water Sensitive Urban Design: Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future

Huber, M., Helmreich, B., Welker, A., 2015, Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metaldachabflüsse: Schacht-/Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Straßeneinläufe und Flächenbeläge, Technische Universität München, Garching

Jayasooriya, V.M., Ng, A.W.M., 2014, Tools for Modeling of Stormwater Management and Economics of Green Infrastructure Practices: a Review, Water, Air, Soil Pollut, 225, 2055,

Johnscher, L., 2016, Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung - Auswirkungen auf den urbanen Wasserhaushalt, Master Thesis, Graz University of Technology, Graz

Kambites, C., Owen, S., 2006, Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK 1, Plan. Pract. Res, 21, 483–496,

Keckeis, K., 2018, Beitrag zu einem Modell für die Abschätzung der Auswirkungen einer Systemadaptierung auf den Kanalbetrieb mit Fokus auf Feststoffmanagement (Masterarbeit), Universität für Bodenkultur Wien

Kleidorfer, M., J. Leimgruber, L. Simperler, P. Zeisl, F. Kretschmer, P. Himmelbauer, G. Krebs, T. Ertl, G. Stöglehner and D. Muschalla (2019). Leitfaden Regenwasserbehandlung - Entwicklung flexibler Adaptierungskonzepte für die Siedlungsentwässerung der Zukunft - Praxisleitfaden aus dem Projekt Flexadapt, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

KPC, 2013, Ergebnisse der Investitionskostenerhebung Siedlungswasserwirtschaft 2012, Kommunalkredit Public Consulting GmbH

KPC, 2012, Investitionskostenerhebung Siedlungswasserwirtschaft 2012

Krebs, G., Kokkonen, T., Setälä, H., Koivusalo, H., 2016, Parameterization of a Hydrological Model for a Large, Ungauged Urban Catchment, Water 8, 443,

Kroiss, F., Waitz, W., 2011, Regenwassermanagement: Rechtliche Grundlagen, Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung - MA 22

Kruse, E., Zimmermann, T., Kittel, A., Dickhaut, W., Knieling, J., Sörensen, C., 2014, Stadtentwicklung und Klimaanpassung - Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der WANDSE

Kuller, M., Bach, P.M., Ramirez-Lovering, D., Deletic, A., 2017, Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice, Environ. Model. Softw., 96, 265–282

KURAS, 2016, Zukunftsorientierte Anpassung der urbanen Abwasserinfrastruktur – LEITFADEN zum methodischen Vorgehen, Projekt KURAS, Berlin

Lanz, K., 2003, Ökologische Konsequenzen einer Privatisierung bzw. Liberalisierung der Schweizer Wasserwirtschaft, Int. Water Aff. Hambg,

Leimbach S., Brendt T., Ebert G., Jackisch N., Zieger F., & Kramer S., 2018. Regenwasserbewirtschaftungsanlagen in der Praxis: Betriebssicherheit, Kosten und Unterhaltung. [online] <https://freidok.uni-freiburg.de/data/16551> (Zugriff 5. Dezember 2017).

Leimgruber J., Krebs G., Camhy D., & Muschalla D., 2018a. Sensitivity of Model-Based Water Balance to Low Impact Development Parameters. Water, 10(12), 1838.

Leimgruber J., Steffelbauer D. B., Krebs G., Tscheikner-Gratl F., & Muschalla D., 2018b. Selecting a series of storm events for a model-based assessment of combined sewer overflows. Urban Water Journal, 15(5), 453–460.

LfU, 2016, Naturnaher Umgang mit Regenwasser-Verdunstung und Versickerung statt Ableitung

Libbe, J., 2017, Einleitung: Akteure, Strategien und Institutionen der Transformation, in: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) (Ed.), Wasserinfrastrukturen Für Die Zukunftsfähige Stadt - Beiträge Aus Der INIS-Forschung

Lloyd, S.D., Wong, T.H., Chesterfield, C.J., 2002, Water sensitive urban design: a stormwater management perspective

Magistrat der Stadt St. Pölten, 2016 Kommunale Dienstleistungen 2016

Matzinger, A, Riechel, M., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, D., Möller, C.,

Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Jowig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B., 2017, Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS, Berlin

Matzinger, A., Riechel, M., Sonnenberg, H., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Corral, C., Hein, A., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Heinzmann, B., Joswig, K., Reichmann, B., 2016, Berücksichtigung der vielfältigen Potenziale der Regenwasserbewirtschaftung in der Planung, Aqua Urbanica, Rigi-Kaltbad,

McEvoy, S., van de Ven, F.H.M., Blind, M.W., Slinger, J.H., 2018, Planning support tools and their effects in participatory urban adaptation workshops, J, Environ, Manage, 207, 319–333,

Metzger, S., Rössler, A., Türk, J., Antakyali, D., Schulz, J., Wunderlin, P., Meier, A., 2015, Status quo der Erweiterung von Kläranlagen um eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination, Wasserwirtschaft

Mikovits, C., Jasper-Tönnies, A., Einfalt, T., Huttenlau, M., Rauch, W., Kleidorfer, M., 2015, Klimawandel, Stadtentwicklung und urbane Wasserinfrastrukturplanung – Risiken und Möglichkeiten, Österr. Wasser- Abfallwirtsch., 67, 214–221,

Mikovits, C., Tscheikner-Gratl, F., Jasper-Tönnies, A., Einfalt, T., Huttenlau, M., Schöpf, M., Kinzel, H., Rauch, W., Kleidorfer, M., 2017, Decision Support for Adaptation Planning of Urban Drainage Systems, J, Water Resour. Plan, Manag, 143, 04017069,

Mitchell, R.-L., Matzinger, A., Projektteam, 2016, KURAS – Forschung trifft Praxis, KA Korresp. Abwasser Abfall 63, 982–991,

Muschalla, D., Gruber, G., Scheucher, R., 2014, ECOSTORMA - Handbuch - Ökologische und ökonomische Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung,

Muschalla, D., Sulzbacher, R.M., Leimgruber, J., Maier, R., Ertl, T., Neunteufel, R., Kretschmer, F., Kleidorfer, M., Tscheikner-Gratl, F., 2015, Auf effizientem Wege von den Daten zum Modell (DATMOD) - Sanierungs- und Anpassungsplanung von kleinen und mittleren Kanalnetzen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich,

Muthanna, T.M., Viklander, M., Thorolfsson, S., 2008, Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden, Hydrol. Process, 22, 1640–1649,

National Research Council (U.S.), 2009, Urban stormwater management in the United States, National Academies Press, Washington, D.C.

O’Callaghan, J.F., Mark, D.M., 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data, Comput. Vis. Graph. Image Process, 28, 323–344,

ON, 2017, ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement, Austrian Standards Institute, Wien.

ÖWAV, 2003, ÖWAV Regelblatt 35- Behandlung von Niederschlagswässern, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ÖWAV, 2007a, ÖWAV-Regelblatt 19: Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.

ÖWAV, 2007b, ÖWAV - Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria

ÖWAV, 2008, ÖWAV Regelblatt 9 - Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ÖWAV, 2009, ÖWAV-Regelblatt 11: Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen.

ÖWAV, 2013, ÖWAV-Arbeitsbehelf 41: Grundlagen und Aufbau der Kosten- und Leistungsrechnung in der Abwasserentsorgung, Vienna, Austria

ÖEWAV, 2015a, ÖWAV Regelblatt 45 - Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ÖWAV, 2015b, ÖWAV-Regelblatt 22 - Betrieb von Kanalisationsanlagen, 2., vollständig überarbeitete Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ON, 2013, ÖNORM B 2506-1: Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb, Vienna, Austria

ON, 2005, ÖNORM B 2572 - Grundsätze der Regenwassernutzung, ON, Vienna, Austria,

Pinnekamp, J., Doktor, S., Haußmann, R., Roder, S., Siekermann, M., Staufer, P.H., 2008, Wassersensible Stadtentwicklung – Netzwerk für eine nachhaltige Anpassung der regionalen Siedlungswasserwirtschaft an Klimatrends und Extremwetter

Reichmann, B., 2011, Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

Riechel, M., Remy, C., Matzinger, A., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Reichmann, B., Rehfeld-Klein, M., 2017, Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS, Berlin,

Rossmann, L.A., Huber, W.C., 2016, Storm Water Management Model Reference Manual Volume III - Water Quality (No. EPA/600/R-16/093), US EPA National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, USA

Rotteneder, F., 2018. Integrative Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum als Grundlage für die hydraulische Entlastung von Kanalisationsanlagen (Masterarbeit). Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG), BOKU-Universität für Bodenkultur.

Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., Campolongo, F., 2005, Sensitivity Analysis for Chemical Models, Chem. Rev., 105, 2811–2827

Scheucher, R., 2006, ABWASSERGEBÜHRENSPLITTING Erfahrungen bei der Einführung und Umsetzung in Deutschland und Umsetzung auf steirische Verhältnisse anhand von Fallbeispielen

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011, Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, Berlin, Deutschland

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2010, Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung, Grueneliga-BerlinDe 73

Shutes, B., Raggatt, L., 2010, Development of generic Best Management Practice (BMP) - Principles for the management of stormwater as part of an integrated urban water resource management strategy, (Deliverable 2.2.5 - SWITCH)

Sieker, F., Adams, R., Huhn, V., Stecker, A., 1996, Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten - Grundlagen, Leitfaden und Anwendungsbeispiele, expert verlag, Renningen-Malmsheim

Sieker, 2018. Sieker - Die Regenwasserexperten. Sieker. [online] <https://www.sieker.dede/home.html> (Zugriff 1. Dezember 2017).

Simperler, L., Himmelbauer, P., Stöglehner, G., Ertl, T., 2018. Siedlungswasserwirtschaftliche Strukturtypen und ihre Potenziale für die dezentrale Bewirtschaftung von Niederschlagswasser. Österr. Wasser- Abfallwirtsch. 595–603.

Sobol, I.M., 1993, Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models, Math, Model, Comput, Exp, 1, 407–414

Stadt Wien, Hauptstadt der SR Bratislava, 2011, Siedlungsformen für die Stadterweiterung,

Statistik Austria, 2014, Kleinräumige Bevölkerungsprognose

Stöglehner, G., Wegerer, G., 2004, Die Strategische Umweltprüfung—Ein Planungsinstrument zur Qualitätssicherung in der Raumordnung? 52–59,

Tränckner, J., Koegst, T., Nowack, M., 2012, Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung (DEMOWAS) (Abschlussbericht des gleichnamigen Forschungsprojektes gefördert vom BMBF),

Truffer, B., 2005, Zukünfte der Siedlungswasserwirtschaft: Eine Szenarioanalyse für die Schweiz, GWA 85, 695–702,

Tscheikner-Gratl, F., Sitzenfrei, R., Stibernitz, C., Rauch, W., Kleidorfer, M., 2015, Integrated rehabilitation management by prioritization of rehabilitation areas for small and medium sized municipalities, in: World Environmental and Water Resources Congress 2015, Presented at the EWRI 2015, Austin, Texas, pp, 2045–2057,

van der Steen, P., Howe, C., 2009, Managing water in the city of the future; strategic planning and science, *Rev, Environ, Sci. Biotechnol*, 8, 115–120,
[https://doi.org/10,1007/s11157-009-9154-2](https://doi.org/10.1007/s11157-009-9154-2)

Vonach, T., Zeisl, P., Rauch, W., Kleidorfer, M., 2018, Die neue Raumordnung in Innsbruck - Herausforderungen und Chancen für die Siedlungswasserwirtschaft, in: Regenwasser in Urbanen Räumen, Aqua Urbanica Trifft Regenwassertage 2018, Aqua Urbanica 2018, Landau in der Pfalz,

Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015, *The SuDS Manual*, CIRIA, C753, London, UK

WRG, idgF. Wasserrechtsgesetz 1959

Wunderlin, P., 2017, Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser: Situation in Deutschland, *Aqua Gas* 1,

Wurzbacher, S., 2016, Zum Verhältnis urbaner Bebauungstypen und Energie, Analysen zu Interdependenzen von Orientierung, Form- und Struktureigenschaft urbaner Bebauungstypen und einer solaren Strombereitstellung unter den Paradigmen ‚Leistung‘ und ‚Energie‘, Bergische Universität Wuppertal

ZAMG, 1996, *Jahrbuch — Zentralanstalt Für Meteorologie und Geodynamik*
URL <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch>

ZAMG, 2018 *Klimaspiegel St. Pölten*
URL http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimaspiegel/jahr/st_poelten/?jahr=2017

8 Anhang

Der Anhang beinhaltet weiterführende Informationen / Erhebungen / Analysen im Zuge der Erstellung des Leitfadens. Diese sind für das allgemeine Verständnis und sind aus Gründen der besseren Lesbarkeit nicht direkt im Hauptteil enthalten.

8.1 Übersicht über ausgewählte Rahmenbedingungen der örtlichen Raumplanung

Burgenland

Burgenländisches Raumplanungsgesetz (BGLD RPG) StF: LGBL. Nr. 18/1969 LGBL. Nr. 48/1969 i.d.F. LGBL. Nr. 44/2015

Grundsätze und Ziele

Die Landesregierung hat durch Verordnung Entwicklungsprogramme aufzustellen, Ein Entwicklungsprogramm hat (...) auch Grundsätze der örtlichen Raumplanung zu enthalten (vgl. § 7 BGLD RPG). Konkrete Grundsätze oder Ziele für die örtliche Raumplanung werden nicht auf Ebene des Bgld. Raumplanungsgesetzes getroffen.

Planungsinstrumente

Die örtliche Raumplanung obliegt den Gemeinden im eigenen Wirkungsbereich und erfolgt durch Aufstellung von Flächenwidmungsplänen, von Bebauungsplänen (Teilbebauungsplänen) oder Bebauungsrichtlinien, (§ 11 BGLD RPG). Der Flächenwidmungsplan hat das Gemeindegebiet entsprechend den Gegebenheiten der Natur und unter Berücksichtigung der abschätzbaren wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Entwicklung der Gemeinde räumlich zu gliedern und Widmungsarten festzulegen (§ 12 BGLD RPG).

Eignung als Bauland

Als Bauland sind nur solche Flächen vorzusehen, die sich auf Grund natürlicher Voraussetzungen für die Bebauung eignen und den voraussichtlichen Baulandbedarf der Gemeinde zu decken imstande sind. Gebiete, deren Erschließung unwirtschaftliche

Aufwendungen für die Wasserversorgung, die Abwässerbeseitigung, die Stromversorgung oder für den Verkehr erforderlich machen würde oder die sich wegen der Grundwasserverhältnisse, der Bodenverhältnisse (...) für die Bebauung nicht eignen, dürfen nicht als Bauland gewidmet werden (§14(1) BGLD RPG).

Bebauungsplanung

Die Aufstellung eines Bebauungsplanes (Teilbebauungsplanes) ist nur auf der Grundlage eines rechtswirksamen Flächenwidmungsplanes zulässig. Der Gemeinderat kann die Einzelheiten der Bebauung der durch den Flächenwidmungsplan als Bauland oder Vorbehaltsflächen gewidmeten Teile des Gemeindegebietes durch den Bebauungsplan oder hinsichtlich einzelner Gebiete des Baulandes oder der Vorbehaltsflächen durch einen Teilbebauungsplan festlegen (§ 21 BGLD RPG). Im Bebauungsplan können Festlegungen hinsichtlich der im Bauland gelegenen Grünflächen sowie besondere Bestimmungen über Dachneigungen und dergleichen getroffen werden (vgl. §22 BGLD RPG).

Kärnten

Kärntner Raumordnungsgesetz (KROG) StF: LGBl. Nr. 76/1969 i.d.F. LGBl. Nr. 24/2016

Kärntner Gemeindeplanungsgesetz 1995 (KGplG) StF: LGBl. Nr. 23/1995 i.d.F. LGBl. Nr. 24/2016

Grundsätze und Ziele

Ziele und Grundsätze der Raumordnung werden im Kärntner Raumordnungsgesetz definiert: Die Siedlungsstruktur ist (...) derart zu entwickeln, dass eine bestmögliche Abstimmung der Standortplanung für Wohnen, wirtschaftliche Unternehmen, Dienstleistungs- und Erholungseinrichtungen unter weitestgehender Vermeidung gegenseitiger Beeinträchtigungen erreicht wird, Dabei sind eine möglichst sparsame Verwendung von Grund und Boden sowie eine Begrenzung und räumliche Verdichtung der Bebauung anzustreben und eine Zersiedelung der Landschaft zu vermeiden; Die Siedlungsentwicklung hat sich an den bestehenden Siedlungsgrenzen und an den bestehenden oder mit vertretbarem Aufwand zu schaffenden Infrastruktureinrichtungen zu orientieren, wobei auf deren größtmögliche Wirtschaftlichkeit Bedacht zu nehmen ist. Im Hinblick auf bestehende und zu schaffende Versorgungsstrukturen ist für entsprechende Entsorgungsstrukturen ausreichend Vorsorge zu treffen (§ 2 K ROG).

Planungsinstrumente

Im Einklang mit den Zielen und Grundsätzen des § 2 des Kärntner Raumordnungsgesetzes (...) hat die Gemeinde ein örtliches Entwicklungskonzept zu erstellen, das die fachliche Grundlage für die planmäßige Gestaltung und Entwicklung des Gemeindegebietes, insbesondere für die Erlassung des Flächenwidmungsplanes, bildet. Darin sind die Ziele der örtlichen Raumplanung für einen Planungszeitraum von zehn Jahren festzulegen und die zu ihrer Erreichung erforderlichen Maßnahmen darzustellen. Diese enthält Aussagen über: die funktionale Gliederung des Gemeindegebietes, die großräumige Anordnung des Baulandes, die Festlegung von Siedlungsgrenzen (...) und die zweckmäßigste zeitliche Abfolge der Bebauung (...) die Hauptversorgungs- und Hauptentsorgungseinrichtungen (Energie- und Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung u. ä.) (vgl. §2(1) K GplG).

Eignung als Bauland

Als Bauland sind nur Grundflächen festzulegen, die für die Bebauung geeignet sind. Nicht als Bauland festgelegt werden dürfen insbesondere Gebiete, a) deren ungünstige örtliche Gegebenheiten (Bodenbeschaffenheit, Grundwasserstand, Hanglage, Kleinklima, Immissionsbelastung u. ä.) eine widmungsgemäße Bebauung ausschließen, sofern diese Hindernisse nicht mit objektiv wirtschaftlich vertretbaren Aufwendungen durch entsprechende Maßnahmen behoben werden können; (...) deren Erschließung mit dem Stand der Technik entsprechenden Einrichtungen der Energie- und der Wasserversorgung, der Abwasser- und der Abfallentsorgung oder des Verkehrs unwirtschaftliche Aufwendungen erforderlich machen würden oder die unter Bedachtnahme auf die im örtlichen Entwicklungskonzept (§ 2) festgelegten Ziele der örtlichen Raumplanung nicht in absehbarer Zeit mit diesen Einrichtungen erschlossen werden können (§ 3 K GplG).

Bebauungsplanung

Der Gemeinderat hat für die als Bauland gewidmeten Flächen mit Verordnung Bebauungspläne zu erlassen. Für das gesamte als Bauland gewidmete Gemeindegebiet ist ein textlicher Bebauungsplan zu erlassen, in dem jedenfalls die Bebauungsbedingungen (Mindestinhalte) festzulegen sind. Wenn es im Interesse einer geordneten Siedlungsentwicklung erforderlich ist, dürfen im (...) im Teilbebauungsplan je nach den örtlichen Erfordernissen weitere Bebauungsbedingungen wie etwa für die Erhaltung und Schaffung von Grünanlagen oder Vorgaben für die äußere Gestaltung baulicher Vorhaben (Firstrichtung, Dachform, Dachdeckung, Dachneigung, Farbgebung u. ä.) festgelegt werden (§ 25 K GplG).

Niederösterreich

Grundsätze und Ziele

Die besonderen Leitziele für die örtliche Raumplanung umfassen (u.a.): - die Planung der Siedlungsentwicklung innerhalb von oder im unmittelbaren Anschluss an Ortsbereiche; -die Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Wasserversorgung und einer ordnungsgemäßen Abwasserentsorgung,

Planungsinstrumente

Das örtliche Raumordnungsprogramm hat die Planungsziele der Gemeinde festzulegen und jene Maßnahmen zu bezeichnen, die zur Erreichung dieser Ziele gewählt werden. Die Verordnung des örtlichen Raumordnungsprogrammes muss jedenfalls einen Flächenwidmungsplan enthalten. Gegebenenfalls kann die Gemeinde ein Entwicklungskonzept als Bestandteil des örtlichen Raumordnungsprogrammes verordnen, wobei sich dieses auf Gemeindeteile beschränken darf. Im Entwicklungskonzept sind die Ziele des örtlichen Raumordnungsprogrammes – soweit dies thematisch möglich ist – als Plandarstellung räumlich zu konkretisieren (...) (§ 13 NÖ ROG). Der Flächenwidmungsplan hat das Gemeindegebiet entsprechend den angestrebten Zielen zu gliedern (...). Bei der Neuwidmung von Bauland sind eine ordnungsgemäße Wasserversorgung und eine ordnungsgemäße Abwasserentsorgung als Grundausstattung sicherzustellen (§ 14(2) NÖ ROG).

Eignung als Bauland

Flächen, die auf Grund der Gegebenheiten ihres Standortes zur Bebauung ungeeignet sind, dürfen nicht als Bauland gewidmet werden (...). Davon ausgenommen sind (...) Flächen innerhalb eines geschlossenen Ortsgebiets. Flächen in extremen Schatten- oder Feuchtlagen dürfen nicht als Wohnbauland gewidmet werden (§ 15(3) NÖ ROG).

Bebauungsplanung

Von den Ergebnissen der Grundlagenforschung ausgehend und auf Grund des örtlichen Raumordnungsprogrammes, insbesondere seiner Zielsetzung, hat der Bebauungsplan die Regeln für die Bebauung und die Verkehrserschließung festzulegen (§ 29 NÖ ROG) Im Bebauungsplan dürfen u.a. festgelegt werden:- Zonen, in denen eine Versickerung von Niederschlagswässern von versiegelten Flächen oder Dachflächen in einem anzugebenden Ausmaß eingeschränkt oder untersagt wird,

- Zonen, in denen die Ableitung von Niederschlagswässern von versiegelten Flächen oder Dachflächen in einem dafür vorgesehenen Kanal oder in einem Vorfluter untersagt oder in einem anzugebenden Ausmaß eingeschränkt wird (...) (§30 (19-20) NÖ ROG),

Oberösterreich

Oberösterreichisches Raumordnungsgesetz 1994 (OÖ ROG) StF: LGBL. Nr. 114/1993 i.d.F. LGBL. Nr. 69/2015

Grundsätze und Ziele

Die Ziele und Grundsätze des OÖ ROG umfassen u.a.: - den umfassenden Schutz der Umwelt vor schädlichen Einwirkungen sowie die Sicherung oder Wiederherstellung eines ausgewogenen Naturhaushaltes; - die Sicherung oder Verbesserung einer Siedlungsstruktur, die mit der Bevölkerungsdichte eines Gebietes und seiner ökologischen und wirtschaftlichen Tragfähigkeit im Einklang steht, auch unter Bedachtnahme auf die infrastrukturellen Rahmenbedingungen sowie die Stärkung des ländlichen Raumes durch die Sicherung entsprechender räumlicher Entwicklungsmöglichkeiten, insbesondere unter Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklung; - die sparsame Grundinanspruchnahme bei Nutzungen jeder Art sowie die bestmögliche Abstimmung der jeweiligen Widmungen; - die Sicherung und Verbesserung einer funktionsfähigen Infrastruktur (vgl. §2(1) OÖ ROG)

Planungsinstrumente

Jede Gemeinde hat in Durchführung der Aufgaben der örtlichen Raumordnung durch Verordnung den Flächenwidmungsplan zu erlassen, weiterzuführen und regelmäßig zu überprüfen. Der Flächenwidmungsplan besteht aus 1, dem Flächenwidmungsteil und 2, dem örtlichen Entwicklungskonzeptteil (örtliches Entwicklungskonzept). Das örtliche Entwicklungskonzept ist auf einen Planungszeitraum von zehn Jahren, der Flächenwidmungsteil auf einen solchen von fünf Jahren auszulegen. Das örtliche Entwicklungskonzept ist Grundlage des Flächenwidmungsteiles sowie der Bebauungsplanung und hat die längerfristigen Ziele und Festlegungen der örtlichen Raumordnung zu enthalten (§ 18 OÖ ROG). Jede Gemeinde hat in Durchführung der Aufgaben der örtlichen Raumordnung durch Verordnung Bebauungspläne zu erlassen, soweit dies zur Sicherung einer zweckmäßigen und geordneten Bebauung oder zur Erreichung eines möglichst wirksamen Umweltschutzes erforderlich ist (§ 31(1) OÖ ROG),

Eignung als Bauland

Als Bauland dürfen nur Flächen vorgesehen werden, die sich auf Grund der natürlichen und der infrastrukturellen Voraussetzungen für die Bebauung eignen. Sie müssen dem Baulandbedarf der Gemeinde entsprechen, den die Gemeinde für einen Planungszeitraum von fünf Jahren erwartet. Flächen, die sich wegen der natürlichen Gegebenheiten (wie Grundwasserstand, Hochwassergefahr, Steinschlag, Bodenbeschaffenheit, Rutschungen, Lawinengefahr) für eine zweckmäßige Bebauung nicht eignen, dürfen nicht als Bauland gewidmet werden. Das gilt auch für Gebiete, deren Aufschließung unwirtschaftliche Aufwendungen für die kulturelle, hygienische, Verkehrs-, Energie- und sonstige Versorgung sowie für die Entsorgung erforderlich machen würde (§21 (1) OÖ ROG),

Bebauungsplanung

Der Bebauungsplan hat unter anderem die Art der Wasserversorgung, der Abwasserbeseitigung und der Energieversorgung auszuweisen und festzulegen (vgl. §32 (1) OÖ ROG). Der Bebauungsplan kann darüber hinaus unter anderem Bestimmungen über die Anpflanzung und Erhaltung von Bäumen und Sträuchern sowie Maßnahmen der Dach- und Gebäudebegrünung; festlegen oder ausweisen (vgl. §32 (2) OÖ ROG).

Salzburg

Salzburger Raumordnungsgesetz 2009 (S ROG) StF: LGBl. Nr. 30/2009 i.d.F. LGBl. Nr. 96/2017

Grundsätze und Ziele

Diese umfassen u.a.: die haushälterische und nachhaltige Nutzung von Grund und Boden, insbesondere der sparsame Umgang mit Bauland; den Vorrang für die Siedlungsentwicklung nach innen und Vermeidung von Zersiedelung; eine verstärkte Berücksichtigung der Umweltschutzbelange und entsprechende Wahrnehmung der Klimaschutzbelange bei der Abwägung ökologischer und ökonomischer Ansprüche an den Raum; eine Orientierung der Siedlungsentwicklung an den Einrichtungen des öffentlichen Verkehrs und sonstigen Infrastruktureinrichtungen unter Beachtung größtmöglicher Wirtschaftlichkeit dieser Einrichtungen

Planungsinstrumente

Die Planungsinstrumente der örtlichen Raumordnung sind 1, das Räumliche Entwicklungskonzept (REK), 2, der Flächenwidmungsplan und 3, die Bebauungspläne (§ 17 S ROG). Als Grundlage für die Entwicklung der Gemeinde, im Besonderen für die Flächenwidmungsplanung und Bebauungsplanung, hat die Gemeinde ein Räumliches

Entwicklungskonzept (REK) zu erstellen (§ 23 S ROG). Auf Grund der Bestandsaufnahme sind die Aussagen und Festlegungen des räumlichen Entwicklungskonzepts für einen Planungszeitraum von rund 25 Jahren zu entwickeln (§ 25 S ROG). Im Entwicklungsplan sind für Flächen, die für eine Baulandausweisung in Betracht kommen Festlegungen für die Erschließung (grundsätzlichen Anforderungen an die technische und soziale Infrastruktur) sowie für die bauliche Entwicklung (bauliche Ausnutzbarkeit, Höhenentwicklung, Bauweise, Freiflächengestaltung udgl.) zu treffen (vgl. § 25 S ROG).

Eignung als Bauland

Als Bauland dürfen (...) Flächen nicht ausgewiesen werden, die auf Grund ihrer ungünstigen natürlichen Gegebenheiten keine Baulandeignung besitzen; (...) keine ausreichende Erschließung mit technischer oder sozialer Infrastruktur aufweisen; auf Grund der gegebenen oder erwartbaren Umweltbelastungen oder -auswirkungen für eine widmungsgemäße Nutzung ungeeignet sind (vgl. § 28 S ROG).

Bebauungsplanung

Jede Gemeinde hat auf der Grundlage des Räumlichen Entwicklungskonzepts und des Flächenwidmungsplans für jene Teile des Gemeindegebiets, die innerhalb eines Planungszeitraums von längstens zehn Jahren für eine Bebauung in Betracht kommen oder eine städtebauliche Ordnung einschließlich der Freiflächengestaltung erfordern. Bebauungspläne durch Verordnung aufzustellen (§ 50 (1) S ROG). Der Bebauungsplan wird in Grundstufe, erweiterte Grundstufe, Aufbaustufe unterschieden. In einem Erläuterungsbericht zum Bebauungsplan der Grundstufe sind die allenfalls notwendigen Erschließungsmaßnahmen (Straßen-, Energie- und Wasserversorgung, Abwasserentsorgung) und deren abschätzbare Kosten darzulegen, Im Bebauungsplan der Aufbaustufe können u.a. die Art der Energie- und der Wasserversorgung sowie der Abwasserbeseitigung nach Maßgabe besonderer Vorschriften; die Mindest- und Höchstabmessungen der Bauten (Länge, Breite) bzw. die höchstens bebaubare Fläche; die äußere architektonische Gestaltung (einschließlich Dachform, Dachneigung, Dachdeckung, Firstrichtung und Farbgebung); der Ausbau der Verkehrsflächen der Gemeinde (Straßenprofile, Grünstreifen), die verkehrstechnische AufschlieÙung im Bauplatz, die Erhaltung und Schaffung von Grünbeständen (Grünflächen, Pflanzbindungen, Pflanzgebote) sowie Geländegestaltungen (...) festgelegt werden (vgl. § 53 S ROG),

Steiermark

Grundsätze und Ziele

Das Stmk. ROG enthält u.a. folgende Grundsätze und Ziele:

- Die Qualität der natürlichen Lebensgrundlagen ist durch sparsame und sorgsame Verwendung der natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser und Luft zu erhalten und, soweit erforderlich, nachhaltig zu verbessern.
- Die Nutzung von Grundflächen hat unter Beachtung eines sparsamen Flächenverbrauches, einer wirtschaftlichen Aufschließung sowie weitgehender Vermeidung gegenseitiger nachteiliger Beeinträchtigungen zu erfolgen. Die Zersiedelung der Landschaft ist zu vermeiden.
- Entwicklung der Siedlungsstruktur durch Ausrichtung an der Infrastruktur (vgl. §3 ST ROG)

Planungsinstrumente

Jede Gemeinde hat zur Festlegung der langfristigen, aufeinander abgestimmten Entwicklungsziele und als Grundlage für weitere Planungen durch Verordnung ein örtliches Entwicklungskonzept aufzustellen und fortzuführen. Im örtlichen Entwicklungskonzept sind ausgehend von den Ergebnissen der Bestandsaufnahme und unter Bedachtnahme auf überörtliche Planungen die raumbedeutsamen Maßnahmen zur Erreichung dieser Entwicklungsziele sowie deren zeitliche Reihenfolge aufzunehmen. Das örtliche Entwicklungskonzept hat auf einen Planungszeitraum von 15 Jahren abzustellen (§ 21-22 ST ROG), Jede Gemeinde hat in Durchführung der Aufgaben der örtlichen Raumordnung für ihr Gemeindegebiet durch Verordnung einen Flächenwidmungsplan aufzustellen und fortzuführen. Der Flächenwidmungsplan besteht aus dem Wortlaut und folgenden planlichen Darstellungen: 1. dem Flächenwidmungsplan im engeren Sinn, 2. dem Bebauungsplanzonierungsplan (...) (§ 25 ST ROG). Im Flächenwidmungsplan hat die Gemeinde jene Teile des Baulandes und jene Sondernutzungen im Freiland festzulegen, für die durch Verordnung Bebauungspläne zu erlassen sind (Bebauungsplanzonierung) (§ 26(4) ST ROG).

Eignung als Bauland

Als Bauland sind Flächen u.a. nicht geeignet, wenn sie auf Grund der natürlichen Voraussetzungen (Bodenbeschaffenheit, Grundwasserstand, Hochwassergefahr, Klima,

Steinschlag, Lawinengefahr und dergleichen) von einer Verbauung freizuhalten sind (...) (§ 28 ST ROG).

Bebauungsplanung

Zur Vorbereitung der Bebauungsplanung soll die Gemeinde ein räumliches Leitbild als Teil des örtlichen Entwicklungskonzeptes erlassen. In diesem sind für das Bauland und für Sondernutzungen im Freiland insbesondere der Gebietscharakter sowie die Grundsätze zur Bauweise, zum Erschließungssystem, zur Freiraumgestaltung und dergleichen festzulegen (§ 22 ST ROG). Jede Gemeinde hat zur Umsetzung der im Flächenwidmungsplan festgelegten Bebauungsplanzonierung durch Verordnung Bebauungspläne zu erstellen und fortzuführen (§ 40 ST ROG). Mindestinhalte von Bebauungsplänen sind u.a. Festlegungen zur Verkehrsflächen der Gemeinde, zur Art und Lage von Parkplätzen, zur baulichen Ausnutzung der Grundflächen (Grenzwerte der Bebauungsdichte, Bebauungsgrad). Weiters können u.a. folgende Inhalte festgelegt werden: Grundsätze zur Grünausstattung, zur Oberflächengestaltung von Verkehrsflächen der Gemeinde und private Verkehrsflächen; Regelungen für den ruhenden Verkehr: Detailangaben zur Gestaltung und Grünausstattung von Parkplätzen; Grün- und Freiflächen: Detaillierte Festlegung der Nutzungen, Oberflächen – und Geländegestaltung; Gestaltung von Gebäuden und Anlagen: Proportionen der Baukörper, Dachformen, Materialien, Farben, Oberflächenbehandlung, Beläge von Terrassen; Umweltschutz (Lärm, Kleinklima, Beheizung, Oberflächenentwässerung und dergleichen) (vgl. § 41 ST ROG).

Tirol

Tiroler Raumordnungsgesetz 2016 StF. LGBI. Nr. 101/2016

Grundsätze und Ziele

Die Ziele der örtlichen Raumplanung umfassen u.a. die Erhaltung und Entwicklung des Siedlungsraumes und die Verhinderung der Zersiedelung durch die bestmögliche Anordnung und Gliederung der Bebauung, insbesondere des Baulandes im Hinblick auf (...) der Erschließung mit Einrichtungen zur Wasser-, Löschwasser- und Energieversorgung, zur Abwasserbeseitigung und Abfallentsorgung sowie der Schaffung sonstiger infrastruktureller Einrichtungen; die Vorsorge für eine ausreichende und einwandfreie Wasser- und Löschwasserversorgung und eine geordnete Abwasserbeseitigung (§ 27 T ROG).

Planungsinstrumente

Jede Gemeinde hat durch Verordnung ein örtliches Raumordnungskonzept, einen Flächenwidmungsplan sowie nach Maßgabe des § 54 Bebauungspläne zu erlassen (§ 29 T ROG). Im örtlichen Raumordnungskonzept sind (...) Festlegungen über die geordnete räumliche Entwicklung der Gemeinde im Sinn der Ziele der örtlichen Raumordnung zu treffen. Das örtliche Raumordnungskonzept ist auf einen Planungszeitraum von zehn Jahren auszurichten. Weiters sind jene Gebiete und Grundflächen festzulegen, für die Bebauungspläne zu erlassen sind (§ 31 T ROG). Im Flächenwidmungsplan ist (...) unter Berücksichtigung der Ziele der örtlichen Raumordnung, des örtlichen Raumordnungskonzeptes und der Ergebnisse der Bestandsaufnahme für alle Grundflächen des Gemeindegebietes der Verwendungszweck durch die Widmung als Bauland, Freiland, Sonderflächen oder Vorbehaltsflächen festzulegen (§ 35 T ROG).

Eignung als Bauland

Als Bauland dürfen nur Grundflächen gewidmet werden, die sich im Hinblick auf die Nutzungssicherheit sowie in gesundheitlicher, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht für eine der jeweiligen Widmung entsprechende Bebauung eignen. Von der Widmung als Bauland sind insbesondere ausgeschlossen: (...) Grundflächen, soweit deren verkehrsmäßige Erschließung oder Erschließung mit Einrichtungen zur Wasser-, Löschwasser- und Energieversorgung und zur Abwasserentsorgung unvertretbar hohe Aufwendungen aus öffentlichen Mitteln erfordern würde (§ 37 T ROG).

Bebauungsplanung

In den Bebauungsplänen sind unter Berücksichtigung der Ziele der örtlichen Raumordnung, des örtlichen Raumordnungskonzeptes, des Flächenwidmungsplanes und der Ergebnisse der Bestandsaufnahme die verkehrsmäßige Erschließung und die Art der Bebauung des Baulandes, von Sonderflächen und von Vorbehaltsflächen festzulegen. Im Bebauungsplan sind hinsichtlich der verkehrsmäßigen Erschließung die Straßenfluchtlinien und hinsichtlich der Bebauung die Baufluchtlinien, die Bauweisen, die Mindestbaudichten und die Bauhöhen von Gebäuden festzulegen (§ 56 T ROG). Im Bebauungsplan können weiters Regelungen hinsichtlich Mindest- und Höchstnutzflächen, Firstrichtungen und Dachneigungen sowie textliche Festlegungen über die Fassadengestaltung, die Gestaltung der Dachlandschaften, (...) getroffen werden (vgl. § 56 T ROG).

Vorarlberg

Gesetz über die Raumplanung (VRPG) StF: LGBI. Nr. 39/1996 i.d.F. LGBI. Nr. 78/2017

Grundsätze und Ziele

Mit Grund und Boden ist haushälterisch umzugehen, insbesondere sind Bauflächen bodensparend zu nutzen. Die verschiedenen Möglichkeiten der Raumnutzung sind möglichst lange offen zu halten. Die natürlichen und naturnahen Landschaftsteile sowie die Trinkwasserreserven sollen erhalten bleiben (§2 V RPG).

Planungsinstrumente allgemein

Die Gemeindevertretung soll als Grundlage für die Flächenwidmungs- und die Bebauungsplanung unter Abwägung der Interessen (...) für das gesamte Gemeindegebiet bzw. Teile desselben ein räumliches Entwicklungskonzept für die Gemeinde erstellen. Die Gemeindevertretung hat unter Abwägung der Interessen (...) durch Verordnung einen Flächenwidmungsplan zu erlassen, durch den das Gemeindegebiet den erforderlichen Zwecken gewidmet wird. Im Flächenwidmungsplan können folgende Widmungen festgelegt werden: Bauflächen, Bauerwartungsflächen, Freiflächen, Verkehrsflächen und Vorbehaltsflächen (§ 11-12 V RPG).

Eignung als Bauland

Als Bauflächen dürfen nur bereits bebaute Flächen und Flächen festgelegt werden, die sich aufgrund der natürlichen Verhältnisse für die Bebauung eignen und in absehbarer Zeit, längstens aber innert 15 Jahren, als Bauflächen benötigt werden und innerhalb dieser Frist erschlossen werden können. Als Bauflächen dürfen Flächen nicht gewidmet werden, (...) deren Erschließung unwirtschaftliche Aufwendungen, insbesondere für die Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung, Energieversorgung oder Verkehrsverbindungen, erforderlich machen würde (§13 V PRG).

Bebauungsplanung

Die Gemeindevertretung hat unter Abwägung der Interessen (...) durch Verordnung einen Bebauungsplan zu erlassen, wenn es aus Gründen einer zweckmäßigen Bebauung erforderlich ist. Soweit es (...) erforderlich ist, sind durch den Bebauungsplan u.a. festzulegen:

- die äußere Gestaltung der Bauwerke (z.B. Flucht- und Firstrichtung, Gliederung, Dachform und -eindeckung, Lauben, Balkone, Verputz, Farbe).
- Bestimmungen über das Anpflanzen und die Erhaltung von Grünflächen, Bäumen und Sträuchern (§ 28 V RPG).

8.2 Sensitivitätsanalyse der Wasserbilanzkomponenten gegenüber NWB-Maßnahmen-Parametern

Bei der Planung und Modellierung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und einer damit abgezielten Annäherung an die natürliche Wasserbilanz, ist es von hoher Bedeutung zu wissen, welcher Parameter der NWB-Maßnahme Einfluss auf welche Wasserbilanzkomponente hat. Hierfür ist eine Sensitivitätsanalyse hilfreich. Beispielsweise wurde dies für ein Gründach, einen Versickerungsgraben sowie eine sog. „Bio-Retention-Cell“ (vergleichbar mit einem Mulden-Rigolen-System) durchgeführt.

Für die Simulationen kam das Storm Water Management Model SWMM (Rossman, 2015) zum Einsatz. Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen bestehen hierbei aus unterschiedlichen Layern. Ein Überblick hierzu und zu den verwendeten Parametergrenzen findet sich in Tabelle 66.

Tabelle 66 Parametergrenzen für Sensitivitätsanalyse

Versickerungsgraben

Parameter i	min	max	Einheit	Quelle
Freibord (Berm height)	0	300	mm	Rossman und Huber, 2016a
Vergetationsvolumen (Vegetation volume)	0			
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.012	0.03	s/m ^{1/3}	Rossman und Huber, 2016a
Oberflächengefälle (Surface slope)	0	10	%	
Speicherdicke (Storage thickness)	900	3650	mm	Rossman und Huber, 2016a
Speicherporenanteil (Storage void ratio)	0.2	0.4	-	Rossman und Huber, 2016a
Speichersickerrate (Storage seepage rate)	7.2	72	mm/h	(Sieker et al., 1996)

Gründach

Parameter i	min	max	Einheit	Quelle
Freibord (Berm height)	0	80	mm	Rossman und Huber, 2016a
Vergetationsvolumen (Vegetation volume)	0	0.2	%	Rossman und Huber, 2016a
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.04	0.35	s/m ^{1/3}	Rossman und Huber, 2016a
Oberflächengefälle (Surface slope)	2	100	%	
Bodendicke (Soil thickness)	40	200	mm	Rossman und Huber, 2016a
Porosität (Porosity)	0.36	0.65	-	(FLL, 2008), (Rossman und Huber, 2016a), adaptiert
Feldkapazität (Field capacity)	0.1	0.35	-	(FLL, 2008), (Rossman und Huber, 2016a), adaptiert
Welkpunkt (Wilting point)	0			
Konduktivität (Conductivity)	18	100	mm/h	(FLL, 2008), adaptiert
Konduktivitätsgefälle (Conductivity slope)	30	55	-	Rossman und Huber, 2016a
Saugspannung (Suction head)	50	100	mm	Rossman und Huber, 2016a
Dränagemattendicke (Drain mat thickness)	13	50	mm	Rossman und Huber, 2016a
Dränagemattenporenanteil (Drain mat void fraction)	0.2	0.4	-	Rossman und Huber, 2016a
Dränagemattenrauigkeit (Drain mat roughness)	0.01	0.03	s/m ^{1/3}	Rossman und Huber, 2016a

Bio-Retention Cell

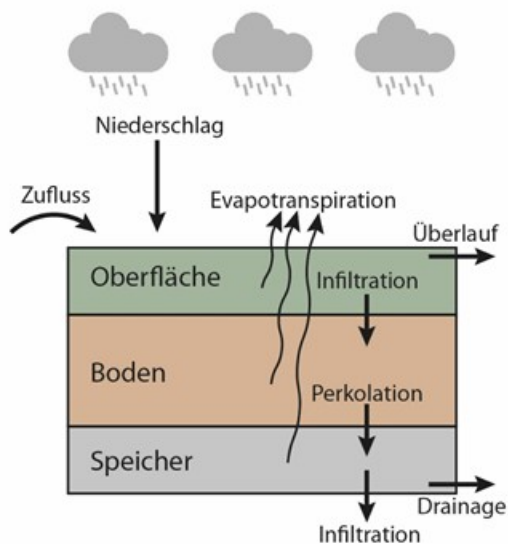
Parameter i	min	max	Einheit	Quelle
Freibord (Berm height)	150	300	mm	(Rossman und Huber, 2016a)
Vergetationsvolumen (Vegetation volume)	0	0.2	-	(Rossman und Huber, 2016a)
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.04	0.35	s/m ^{1/3}	(Rossman & Huber, 2016)
Oberflächengefälle (Surface slope)	0	10	%	
Bodendicke (Soil thickness)	300	2000	mm	(Rossman & Huber, 2016)
Porosität (Porosity)	0.3	0.55	-	(Rossman & Huber, 2016)
Feldkapazität (Field capacity)	0.01	0.2	-	(Rossman & Huber, 2016)
Welkpunkt (Wilting point)	0			
Konduktivität (Conductivity)	50	140	mm/h	(Rossman & Huber, 2016)
Konduktivitätsgefälle (Conductivity slope)	30	55	-	(Rossman & Huber, 2016)
Saugspannung (Suction head)	50	100	mm	(Rossman & Huber, 2016)
Speicherdicke (Storage thickness)	150	1500	mm	(Rossman & Huber, 2016)
Speicherporenanteil (Storage void ratio)	0.2	0.4	-	(Rossman & Huber, 2016)
Speichersickerrate (Storage seepage rate)	7.2	72	mm/h	(Sieker et al., 1996)

SWMM simuliert Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen mit einem Bodenfeuchtemodell und berücksichtigt hierbei die Prozesse Abfluss, Infiltration und Evapotranspiration (beispielhafter Aufbau einer NWB-Maßnahme in Abbildung 92). Folglich kann die Wasserbilanz aus den Simulationsergebnissen kalkuliert werden: $\Delta S = P - ET - R - GR$

(P... Precipitation/Niederschlag, R... Runoff/Abfluss, ET... Evapotranspiration, ΔS ... Speicheränderung, GR... Groundwater Recharge / Grundwasseranreicherung)

Bei Langzeitbetrachtungen wird die Speicheränderung vernachlässigbar klein. Daher wurde diese Komponente hierbei nicht weiter betrachtet. Bei den Betrachtungen auf Regenereignisbasis wurde die Speicheränderung in Kombination mit der Grundwasseranreicherung analysiert.

Abbildung 92 Layermodell für Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in SWMM und berücksichtigte hydrologische Prozesse (Beispiel: Bio-Retention Cell)



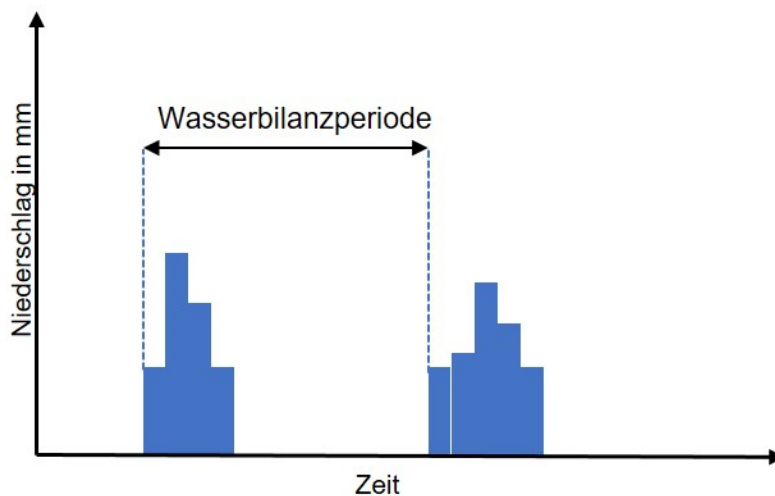
In Übereinstimmung mit (Saltelli et al., 2005), wird bei einer Anzahl von weniger als 20 Parametern und einer Berechnungszeit für eine Simulation von weniger als 1 min, eine varianz-basierte Methode (z. B. nach Sobol - (Sobol, 1993)) verwendet, um den Sensitivitätsindex 1. Ordnung S_i sowie den Totaleffekt-Sensitivitätsindex ST_i zu ermitteln.

Der Sensitivitätsindex 1. Ordnung S_i repräsentiert hierbei den Beitrag jedes Parameters X_i auf die Varianz des simulierten Ergebnisses. Er zeigt an, um wieviel die Ergebnisvarianz im Durchschnitt reduziert werden könnte, wenn der Parameter X fixiert werden könnte. S_i kann somit herangezogen werden, um den Parameter mit dem größten Einfluss auf das Ergebnis zu ermitteln („Parameterpriorisierung“). Der Totaleffekt-Sensitivitätsindex ST_i berücksichtigt den gesamten Beitrag eines Parameters X_i zur Ergebnisvarianz. Er fasst somit den Index 1. Ordnung und alle höhergeordneten Effekte aufgrund von Interaktionen zusammen. Ein ST_i von Null zeigt an, dass der Faktor X_i keinen Einfluss auf das Ergebnis hat und somit frei irgendwo innerhalb seiner Grenzen gewählt werden kann ohne die Varianz des Ergebnisses zu beeinflussen.

Für die Umsetzung der Sensitivitätsanalyse wurde die „open-source Python library for Sensitivity Analysis SALib“ (Herman und Usher, 2017) verwendet. Als Niederschlagsserie wurde die Station „Universität Graz“ mit einer Länge von 10 Jahren herangezogen (aus (ÖWAV, 2007b)). Die potenziellen Evaporationsraten wurden aus täglichen max.-min. Temperaturen (aus (ZAMG, 1996)) mithilfe der Hargreaves-Methode (Hargreaves and Samani, 1985) ermittelt.

Die Wasserbilanz und ebenso die Sensitivitätsindizes der Wasserbilanzkomponenten gegenüber den Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parametern wurden einerseits für die Langzeitsimulationen ausgewertet und andererseits auf Regenereignisbasis. Es sei hierbei jedoch hervorgehoben, dass lediglich die Auswertung auf Regenereignisbasis erfolgt. Allen Ergebnissen liegen Langzeitsimulationen zugrunde. Somit sind durch Berücksichtigung der Trockenperioden auch immer die Anfangsbedingungen eines jeden Regenereignisses korrekt abgebildet. Die Regenereignisse wurden mit einer minimalen Regenpause von 4 Stunden und einem Grenzwert von 1 mm Niederschlag in 1 Stunde, um als Regen gewertet zu werden, festgelegt (für Details siehe (Leimgruber et al., 2018b)). Die Berechnung der regenereignisbasierten Wasserbilanz erfolgt von Start eines Regenereignisses bis zum Start des nächsten Regenereignisses. Die Wasserbilanzperiode umfasst somit das Regenereignis selbst sowie die folgende Trockenzeit bis zum nächsten Regenereignis (siehe Abbildung 93).

Abbildung 93 Berücksichtigte Periode zur Ermittlung der regenereignisbasierten Wasserbilanz

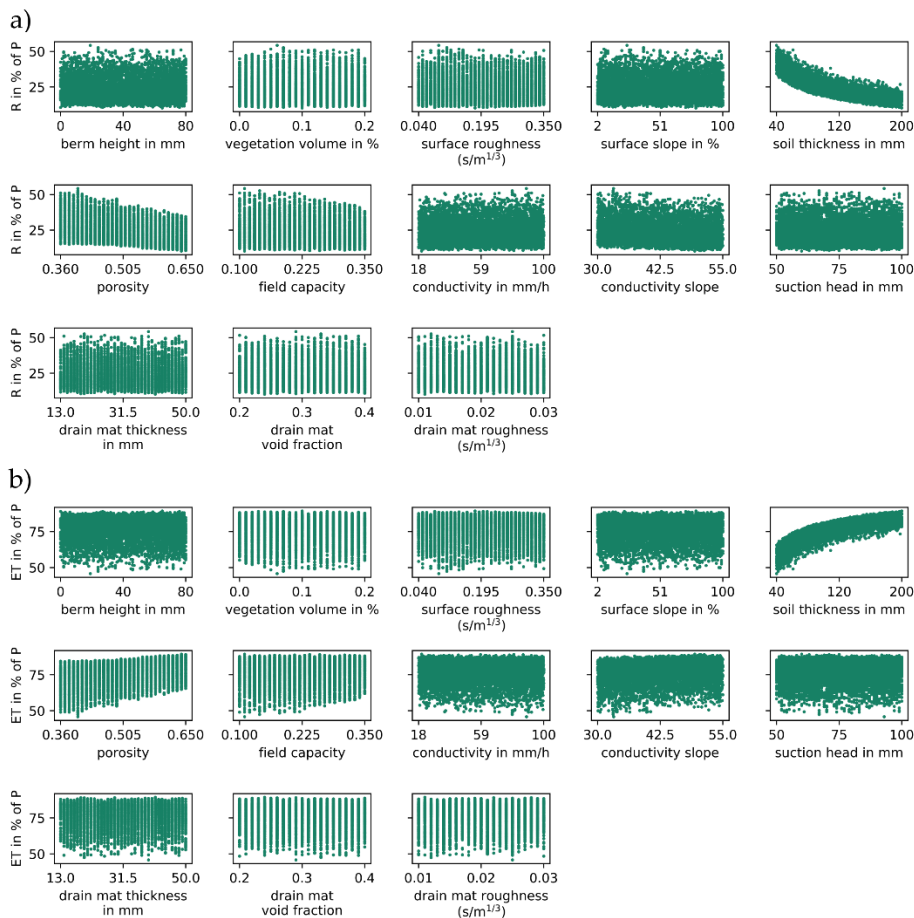


Um zu analysieren, inwieweit sich Regenereignischarakteristika auf das Verhalten von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und somit auch auf die Sensitivität auswirken,

wurden für jedes Regenereignis die Niederschlagssumme sowie die vorhergehende Trockenzeit ermittelt.

Die Langzeitsimulationsergebnisse für das Gründach liegen zwischen 10,2% und 54,3% für den Abfluss und zwischen 45,8% und 89,3% für die Evapotranspiration (Abbildung 94). Da die Speicheränderung für die Langzeitbetrachtung annähernd Null ist, werden keine Resultate für diese Wasserbilanzkomponente gezeigt.

Abbildung 94 Resultat der Langzeitsimulationen für das Gründach in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter : a) Abflussvolumen (R); b) Evapotranspiration (ET); adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



Nur die Parameter Bodendicke, Porosität, Feldkapazität und Konduktivitätsgefälle zeigen bei ST Werte größer Null. Alle anderen Parameter sind Null oder beinahe Null und können somit als einflusslos auf das Ergebnis angesehen werden (Tabelle 67). Sowohl das deutlichste

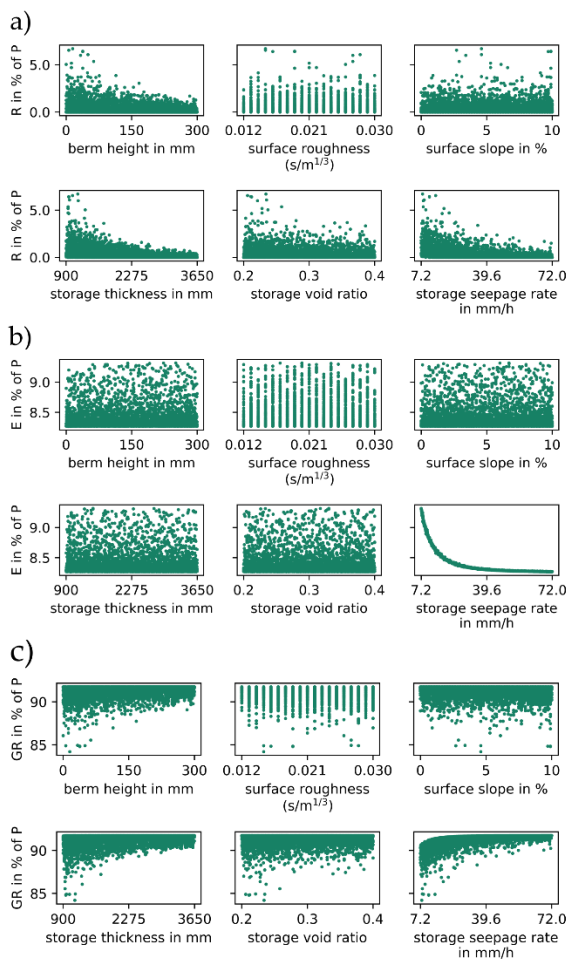
Muster in Abbildung 94 als auch die Werte für die Sensitivitätsindizes in Tabelle 67 weisen die Bodendicke als einflussreichsten Parameter aus, gefolgt von der Porosität.

Tabelle 67 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für das Gründach (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)

Parameter i	Abfluss		Evapo- transpiration	
	S _i	ST _i	S _i	ST _i
Freibord (Berm height)	0.000	0.000	0.000	0.000
Vergetationsvolumen (Vegetation volume)	0.000	0.000	0.000	0.000
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.000	0.000	0.000	0.000
Oberflächengefälle (Surface slope)	0.000	0.000	0.000	0.000
Bodendicke (Soil thickness)	0.795	0.804	0.798	0.807
Porosität (Porosity)	0.168	0.188	0.166	0.186
Feldkapazität (Field capacity)	0.003	0.030	0.003	0.030
Konduktivität (Conductivity)	0.001	0.004	0.001	0.004
Konduktivitätsgefälle (Conductivity slope)	0.022	0.024	0.021	0.023
Saugspannung (Suction head)	0.000	0.000	0.000	0.000
Dränagemattendicke (Drain mat thickness)	0.000	0.000	0.000	0.000
Dränagemattenporenanteil (Drain mat void fraction)	0.000	0.000	0.000	0.000
Dränagemattenrauigkeit (Drain mat roughness)	0.000	0.000	0.000	0.000

Die Langzeitsimulationsergebnisse für den Versickerungsgraben liegen zwischen 0,0% und 6,7% für den Abfluss, zwischen 8,3% und 9,3% für die Evapotranspiration und zwischen 84,2% und 91,7% für die Grundwasseranreicherung (Abbildung 95).

Abbildung 95 Resultat der Langzeitsimulationen für den Versickerungsgraben in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter: a) Abfluss (R); b) Evapotranspiration (ET); c) Grundwasseranreicherung (GR) ; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



Die Sensitivitätsindizes für die Oberflächenrauigkeit und das Oberflächengefälle weisen jeweils einen Wert von Null auf und können somit als einflusslos auf die durch Simulation ermittelte Wasserbilanz angesehen werden. Die Speichersickerrate und die Speicherdicke zeigen die größten Sensitivitätsindizes für den Abfluss und die Speicheränderung. Bezüglich der Evapotranspiration zeigt nur die Speichersickerrate Werte größer Null. Allerdings gilt es an dieser Stelle auf die sehr kleine Bandbreite an Evapotranspirationswerten von lediglich 1,0% zu verweisen.

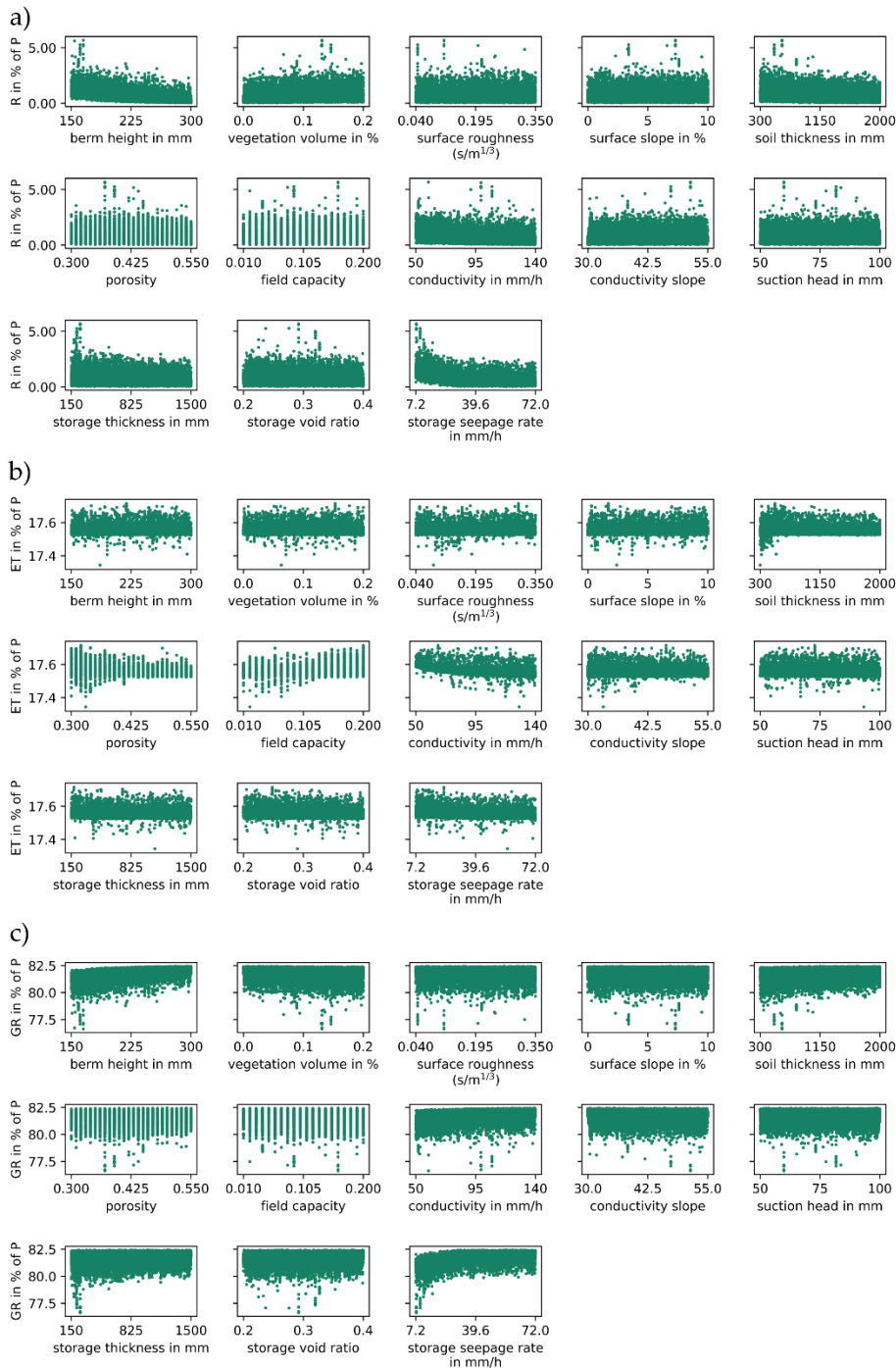
Tabelle 68 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für den Versickerungsgraben (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)

Parameter i	Abfluss		Evapo- transpiration		Speicher- änderung	
	S _i	ST _i	S _i	ST _i	S _i	ST _i
Freibord (Berm height)	0.039	0.248	0.001	0.000	0.015	0.161
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oberflächengefälle (Surface slope)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Speicherdicke (Storage thickness)	0.216	0.552	0.001	0.000	0.137	0.369
Speicherporenanteil (Storage void ratio)	0.022	0.094	0.000	0.000	0.013	0.063
Speichersickerrate (Storage seepage rate)	0.285	0.465	1.000	1.000	0.533	0.642

Die Langzeitsimulationsergebnisse für die Bio-Retention Cell liegen schließlich zwischen 0,0% und 5,7% für den Abfluss, zwischen 17,3% und 17,7% für die Evapotranspiration und zwischen 76,6% und 82,4% für die Grundwasseranreicherung.

Abbildung 96 Resultat der Langzeitsimulationen für die Bio-Retention Cell in Abhängigkeit der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen-Parameter: a) Abfluss (R); b)

Evapotranspiration (ET); c) Grundwasseranreicherung (GR) ; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



Die Sensitivitätsindizes für die Oberflächenrauigkeit und das Oberflächengefälle weisen jeweils einen Wert von Null und beinahe Null für den Speicherporenanteil auf und können somit als einflusslos auf die durch Simulation ermittelte Wasserbilanz angesehen werden. Die größten Sensitivitätsindizes für den Abfluss und die Speicheränderung ergeben sich für die

Parameter Speichersickerrate, Freibord und Konduktivität. Bezüglich der Evapotranspiration muss auf die sehr geringe Bandbreite der Ergebnisse (nur 0,4%) verwiesen werden.

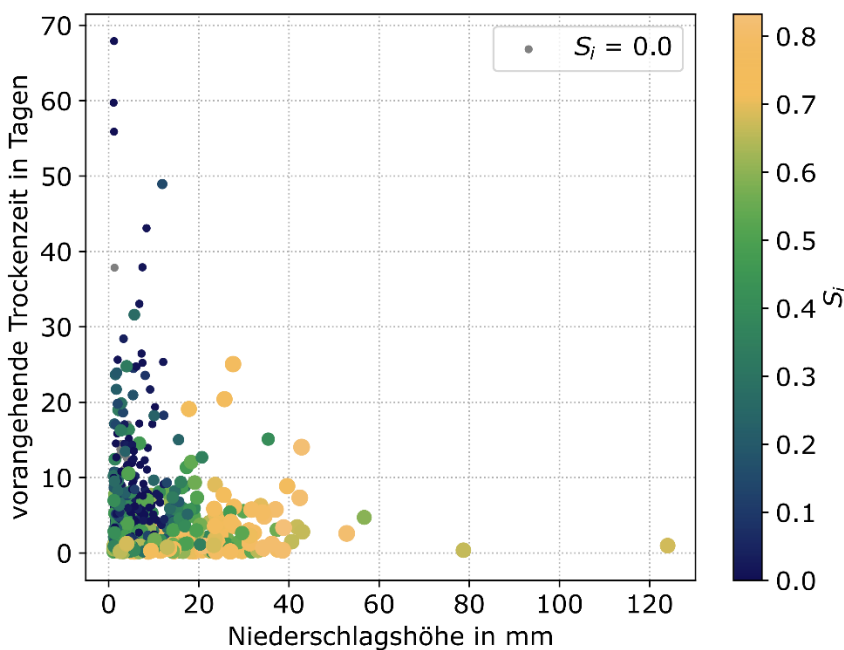
Tabelle 69 Ergebnisse der Langzeit-Sensitivitätsanalyse für die Bio-Retention Cell (blau hinterlegt: Parameter ohne Einfluss, grün hinterlegt: Parameter mit größtem Einfluss)

Parameter i	Abfluss		Evapotranspiration		Speicheränderung	
	S _i	ST _i	S _i	ST _i	S _i	ST _i
Freibord (Berm height)	0.296	0.336	0.000	0.000	0.282	0.319
Vegetationsvolumen (Vegetation volume)	0.026	0.032	0.000	0.000	0.025	0.030
Oberflächenrauigkeit (Surface roughness)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oberflächengefälle (Surface slope)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bodendicke (Soil thickness)	0.052	0.081	0.009	0.134	0.051	0.083
Porosität (Porosity)	0.005	0.006	0.079	0.334	0.005	0.008
Feldkapazität (Field capacity)	0.000	0.000	0.090	0.312	0.002	0.001
Konduktivität (Conductivity)	0.128	0.160	0.356	0.378	0.141	0.173
Konduktivitätsgefälle (Conductivity slope)	0.003	0.008	0.016	0.096	0.003	0.008
Saugspannung (Suction head)	0.002	0.001	0.005	0.004	0.003	0.001
Speicherdicke (Storage thickness)	0.024	0.084	0.026	0.072	0.026	0.087
Speicherporenanteil (Storage void ratio)	0.000	0.006	0.004	0.004	0.001	0.006
Speichersickerrate (Storage seepage rate)	0.348	0.420	0.055	0.111	0.345	0.419

Wie bereits erwähnt wurde die Wasserbilanz auch auf Regenereignisbasis ausgewertet. Hierzu wurden die Parameter mit den höchsten Sensitivitätsindizes aus der Langzeit-Analyse

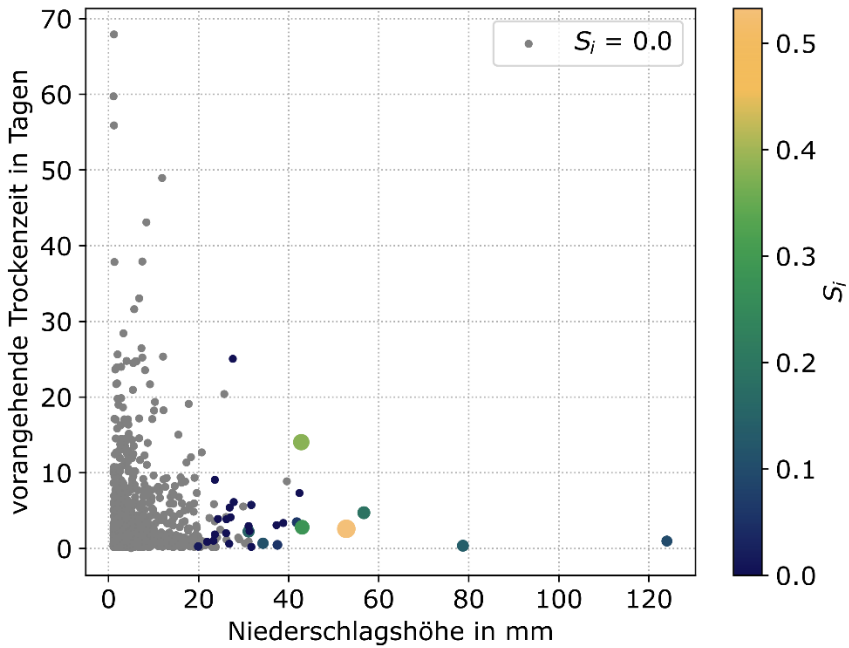
herangezogen. Die betrachteten Regenereignischarakteristika sind die Niederschlagssumme sowie die vorangehende Trockenzeit. Abbildung 97 zeigt beispielhaft ein Ergebnis einer solchen Auswertung. Es wird ersichtlich, dass höhere Sensitivitäten bei höheren Niederschlagssummen und kleineren vorangehenden Trockenzeiten auftreten. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass Regenereignisse mit geringer Niederschlagssumme möglicherweise zu gar keinem oder nur einem sehr geringen Abfluss führen. Die vorangehende Trockenzeit beeinflusst in hohem Maße die Bedingungen bei Start eines Regenereignisses. Je länger die Trockenzeit ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Gründach annähernd „trocken“ ist und seine volle Aufnahmekapazität besitzt.

Abbildung 97 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Gründachparameter Bodendicke in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



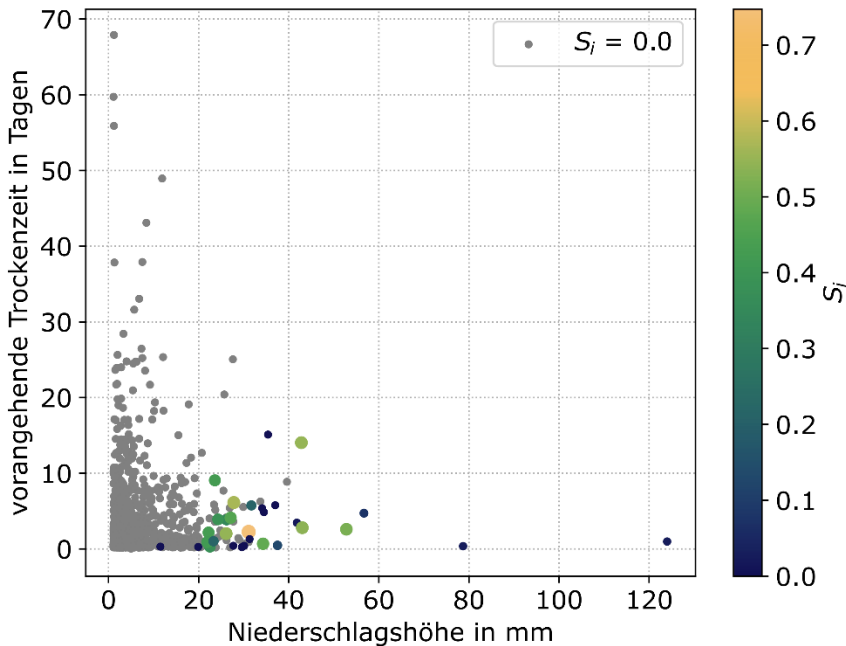
Beim Versickerungsgraben zeigt sich, dass der Abfluss überhaupt nur bei einigen Regenereignissen sensitiv auf die Speicherdicke ist (Abbildung 98). Dies tritt wiederum bei Ereignissen mit hohen Niederschlagssummen und kurzen vorangehenden Trockenzeiten auf.

Abbildung 98 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Versickerungsgrabenparameter Speicherdicke in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



Ein ähnliches Bild zeigt sich für die Bio-Retention Cell und das Freibord. Auch hier treten nur bei einigen Regenereignissen Sensitivitäten auf (hohe Niederschlagssummen, kurze vorangehenden Trockenzeiten – siehe Abbildung 99).

Abbildung 99 Sensitivitätsindex 1. Ordnung für das Abflussvolumen und den Bio-Retention Cell-Parameter Freibord in Abhängigkeit von Regenereignischarakteristika; adaptiert nach (Leimgruber et al., 2018a)



Die Ergebnisse der regenereignisbasierten Sensitivitätsanalyse zeigen deutlich, dass die Regenereignischarakteristika Niederschlagssumme und vorangehende Trockenzeit einen deutlichen Einfluss auf die Sensitivitäten haben. Deshalb ist festzuhalten, dass durchwegs Langzeitsimulationen bei Wasserbilanzbetrachtungen heranzuziehen sind, auch wenn die Auswertung auf Regenereignisbasis erfolgt.

8.3 Internationale Beispiele innovativer Regenwasserbehandlung

Es existieren bereits verschiedenste internationale Beispiele anpassbarer Niederschlagswasserbehandlung aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Allen gemein ist, dass die Robustheit durch kombinierte Systeme verbessert und vielfach schon altbekannte Methoden mit neuen Technologien verbunden werden. Durch eine integrierte Betrachtung kann die Problematik in einem größeren Kontext gesehen und so positive Auswirkungen auf verschiedensten Ebenen beleuchtet werden.

Eine Reihe von großen Verbundprojekten in Deutschland, zusammengefasst unter dem Titel INIS (Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung), haben sich mit der Anpassung an zukünftige

Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft beschäftigt. Als Auszug daraus werden die Projekte KURAS und SAMUWA näher erklärt.

Das Ziel des Projektes **KURAS** (Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme) war es Handlungsempfehlungen für den Betrieb, den Ausbau und die Anpassung urbaner Abwasser- und Regenwasserinfrastrukturen zu formulieren. Dazu wurden Planungsmethoden entwickelt, die eine konsequente Bewertung von Maßnahmen mit lokalen Anforderungen und Herausforderungen verknüpfen. In einem partizipativen Prozess werden so geeignete und machbare Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen ausgewählt und platziert. Die „KURAS-Methode“ wurden exemplarisch auf ausgewählte Stadtflächen in Berlin angewandt (Mitchell et al., 2016).

Für die Regenwasserbewirtschaftung wurden zuerst 27 Einzelmaßnahmen ausgewählt und deren Auswirkungen auf acht Effekte (z.B. Biodiversität, Grundwasser, Oberflächengewässer, Stadtklima) ermittelt. Zunächst wird die Ausgangssituation für die acht Effekte bewertet, als weitere lokale Randbedingung wird die Machbarkeit unterschiedlicher Maßnahmen geprüft (z.B. Dachbegrünungspotenzial, Versickerungsfähigkeit). Die Ziele und gewünschten Effekte für das zu untersuchende Gebiet werden durch beteiligte Akteure priorisiert. In der Grobplanung werden für die lokalen Gegebenheiten über die Maßnahmenbewertung sinnvolle Maßnahmen ausgewählt und verortet (Matzinger et al., 2016; Mitchell et al., 2016).

Die so ausgewählten Maßnahmenkombinationen können dann simuliert, ausgewertet und für jeden der Effekte bewertet werden. Die Entscheidungsfindung erfolgt mithilfe einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Maßnahmenkombinationen. Für eine monetäre Bewertung wird die Kapitalwertmethode verwendet, bei der Investitionskosten, laufende Kosten und Reinvestitionskosten erfasst werden. Nichtmonetäre Ziele wie beispielsweise ökologische und soziale Ziele werden mithilfe einer Nutzwertanalyse berücksichtigt. Eine Gegenüberstellung der beiden Ergebnisse bildet die Grundlage für den Entscheidungsprozess. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nimmt dem Planer die Entscheidung aber nicht ab, sondern hilft dabei eine transparente und belastbare Grundlage dafür zu schaffen (Reichmann, 2011).

Neben einer nachhaltigen Betrachtung der Regenwasserbewirtschaftung werden auch Lösungsansätze für eine anpassungsfähigere Abwasserinfrastruktur untersucht. Fünf Problemfelder wurden als Ziele von Anpassungsmaßnahmen identifiziert: Überstau/Überflutung, Mischwasserüberläufe, Ablagerung in den Kanälen, Betriebssicherheit von Pumpsystemen und Ablaufwerte der Kläranlage. Analog zur Methodik der Regenwasserbewirtschaftung werden Anpassungsmaßnahmen zuerst individuell untersucht und deren Auswirkungen auf die fünf Problemfelder bewertet. Anschließend werden

Maßnahmenkombinationen integriert betrachtet und ihre positiven und negativen Nebeneffekte auf das Abwassersystem identifiziert. Die Bewertung erfolgt anhand von Szenarien (Klima-, Bevölkerungs-, Stadtentwicklungs- und Wasserverbrauchsszenarien) für einen Zeithorizont bis 2050. Um die Zukunftssicherheit der entwickelten Konzepte sicherzustellen, wurden die Maßnahmenkombinationen sowohl durch eine Kostenbewertung als auch durch eine Risiko- und SWOT-Analyse detailliert bewertet (Mitchell et al., 2016).

Das Projekt hat gezeigt, dass durch eine integrierte, skalenübergreifende Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und des Abwassermanagements vielseitige Verbesserungen innerhalb des behandelten Spektrums erreicht werden können.

Das Projekt **SAMUWA** (Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts) hatte zum Ziel, urbane Wasserinfrastruktur auf ihre Anpassungsfähigkeit hinsichtlich zukünftiger Randbedingungen zu untersuchen. Bestehende Systeme sollen überdacht und Möglichkeiten für ein dynamisches Management aufgezeigt werden. In vier Modellregionen (Städte mit 115.000 – 260.000 EinwohnerInnen) mit unterschiedlichem Charakter (schrumpfende Einwohnerzahl, flache topografische Verhältnisse. Trenn/Mischsysteme) wurden angepasste Konzepte, Managementlösungen und Software Tools entwickelt und implementiert.

- Zur Wasserhaushaltsbilanzierung wurde ein Modell entwickelt, das Defizite in der Wasserbilanz erkennt und dabei hilft, die Planung hinsichtlich einer ausgeglichenen (natürlichen) Wasserbilanz zu optimieren (Henrichs et al., 2016).
- Durch Analyse des bestehenden Entwässerungssystems wurden überflutungsgefährdete Bereiche ermittelt und urbane Gefahren- und Risikokarten erzeugt. Diese dienen als Grundlage für eine Schadens- und Risikopotentialanalyse (Deister et al., 2016a).
- Durch das Miteinbeziehen eines übergeordneten Entwässerungskonzeptes in das städtebauliche Leitbild soll das Bewusstsein für ein vernetztes ober- und unterirdisches Entwässerungssystem geschaffen und kleinräumiges Parzellendenken vermieden werden (Deister et al., 2016a).

In einem interdisziplinären Planungsprozess wurden diese Punkte berücksichtigt, um am Ende lokal angepasste integrierte Maßnahmenkonzepte für die Modellregionen umsetzen zu können. Die methodische Vorgangsweise des Planungsprozesses umfasste folgende Schritte (Deister et al., 2016a):

Auf gesamtstädtischer Ebene:

- Festlegung des räumlichen Betrachtungsrahmens, Entwicklung eines Verständnisses für das Gewässersystem im stadträumlichen Kontext
- Defizitanalysen des urbanen Wasserhaushalts, Gefährdungs- und Risikoanalysen
- Basierend auf den ersten beiden Schritten erfolgt die Entwicklung eines wasserbezogenen städtebaulichen Leitbilds (aufbauend auf bestehenden Planungen und Konzepten zu Stadtentwicklung, Freiraumentwicklung, städtebaulichen Potentialen und Entwicklungsszenarien)

Auf Ebene von Einzugsgebieten bzw. Teileinzugsgebieten:

- Auf Basis des Leitbilds und der Verzahnung von wasserwirtschaftlichen und stadtplanerischen Defizitanalysen, Gefährdungs- und Risikoanalysen erfolgt die Priorisierung und Festlegung von Fokusgebieten

Auf Projektebene:

- Als letzten Schritt werden basierend auf wasserwirtschaftlichen Maßnahmen und Simulationen und stadträumlichen Gestaltungsvarianten lokalspezifische Maßnahmen- und Gestaltungskonzepte für ausgewählte Fokusgebiete entwickelt, Diese erfolgt in einem interdisziplinären Setting zum Beispiel in Form von Planungsworkshops.

Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes war die Entwicklung einer intelligenten Abflusssteuerung für Mischwasserkanäle (Haas et al., 2016). Bei Regenwetter wird dabei in das Abflussgeschehen eingegriffen und die Ablaufmenge zur Kläranlage optimiert, wodurch Entlastungen aus dem Kanalnetz in Gewässer verringert werden können. Für ein Trennsystem wurden eine verschmutzungsabhängige Abflusssteuerung sowie dezentrale Niederschlagswasserbehandlungen untersucht.

Ein einem weiteren Projekt (**KLIMZUG**) wurde das Themenfeld „Stadtentwicklung und Klimawandelanpassung“ von einem interdisziplinären Team im engen Austausch mit Praxispartnern (Behörden, BürgerInnen) für den Raum Hamburg im Einzugsgebiet der Wandse untersucht und konkretisiert. Gegenstand waren unter anderem mögliche Maßnahmen und Instrumente zur Anpassung der urbanen Räume an den Klimawandel.

Teilräume in Städten unterscheiden sich deutlich voneinander in Größe, Form und Anordnung der Gebäude, den diesen zugeordneten Freiräumen (versiegelt, unversiegelt) sowie der Anordnung der infrastrukturellen Ver- und Entsorgung (Wasser, Abwasser). Diese Merkmale haben einen wesentlichen Einfluss auf die Möglichkeiten zur

Klimawandelanpassung in den jeweiligen Teilräumen, Im Zuge des Projekts wurde der Ansatz verfolgt, städtische Teilräume mit ähnlichen Merkmalen zu Strukturtypen zusammenzufassen, diese basieren auf der für das Stadtgebiet von Hamburg vorliegenden Realnutzungskartierung. Für diese Typen wurden differenzierte Ansatzpunkte der Anpassung verfolgt, da sowohl die Handlungsmöglichkeiten als auch die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels sich je Strukturtyp voneinander unterscheiden. Für Hamburg wurden folgende neun Oberklassen von Strukturtypen zusammengefasst, und systematisch relevante Kennwerte (z.B.: Versiegelungsgrad, bebaute Fläche, befestigte / teilversiegelte Fläche, Anzahl der Geschosse, Gebäudehöhe) erhoben und aufbereitet (vgl. Kruse et al., 2014)

- Freistehende Wohngebäude
- Reihenhäuser / Zeilenbebauung der 1920er Jahre
- Geschosswohnungsbau
- Kern- und Mischgebiete
- Gewerbe- und Industriegebiete / Hafenflächen
- Gemeinbedarf / Bürostandorte
- Verkehrsflächen
- Flächen der Ver- und Entsorgung
- Kleingartenvereine

Die Anpassungsfähigkeit (mit dem Fokus auf dezentrale Regenwasserbehandlung) wurde je Strukturtyp auf Basis der Kriterien Versiegelungsgrad, Dachformen, Eigentumsverhältnisse und Belastung der Regenabflüsse analysiert. Schwächen bzw. Probleme und Stärken bzw. Potentiale wurden je Typ aufgearbeitet, basierend darauf wurde die potentielle Anpassungsfähigkeit der unterschiedlich baulich-räumlichen Strukturen beschrieben, ohne dabei auf die naturräumlichen Randbedingungen (z.B.: Bodendurchlässigkeit) Rücksicht zu nehmen. Je Strukturtyp wurden die möglichen Bewirtschaftungsarten aufgezeigt. Ein vergleichbarer Ansatz wurde auch von (Pinnekamp et al., 2008) für die Strukturtypen von Bochum entwickelt, und als Matrix wasser-wirtschaftlicher Maßnahmen in Abhängigkeit der Siedlungsstrukturen zusammengefasst (Pinnekamp et al., 2008), 68ff.).

Die **methodische Vorgangweise** zur Auswahl von Fokusgebieten umfasste unter anderem folgende Arbeitsschritte, welche in weiterer Folge für Flexadapt aufgegriffen bzw. adaptiert werden (vgl. (Kruse et al., 2014), 59f.).

- Identifikation von Teilräumen mit Handlungsbedarf für die Klimawandelanpassung (in diesem Projekt bezogen auf Temperaturerhöhung und Niederschlagsveränderung)

- Folgende thematische Schichten wurden zur Identifikation der Teilräume analysiert:
- Handlungsschwerpunkte im Gewässer- und Kanalsystem
- Überschwemmungsgebiet HQ 200
- Wärmeinseleffekt
- Biotoptypen
- Gewässernetz
- Bebauung
- Infrastruktur
- Überlagerung dieser Schichten mit den vorherrschenden Stadtstrukturtypen
- Abstimmung der Fokusgebiete mit VertreterInnen des Bezirks

Danach wurden vom Projektteam interdisziplinäre vertiefte SWOT-Analysen der prioritären Handlungsgebiete mit Vertretern der im Projekt beteiligten Fachdisziplinen nach Begehungen der Gebiete erstellt, sowie Kartendarstellungen sowohl des Bestands, als auch von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken dieser Handlungsgebiete aufbereitet.

Anschließend wurden stadt- und naturräumliche Entwicklungsmöglichkeiten der Fokusgebiete bis 2050 anhand von sozio-ökonomischen Entwicklungsszenarien aufgezeigt. Auf Basis der Treiber „demographische Entwicklung, Wohnungsbau, Mobilität, Energiebereitstellung sowie der Entwicklung von gesellschaftlichen Wertvorstellungen zu Umwelt- und Naturschutz“ wurden drei Szenarien entwickelt. Für diese wurden die stadt- und naturräumliche Veränderung der Fokusgebiete sowie mögliche Strategien im Umgang mit dem Klimawandel aufgezeigt und Maßnahmen im öffentlichen Raum bzw. auf Grundstücksebene vorgeschlagen (Kruse et al., 2014).

Das von der EU geförderte Projekte „**SWITCH** – Sustainable Water Management in the City of the Future“ war ein großes Verbundprojekt von 33 Partnern aus 15 Ländern. Es wurde die Fragestellung bearbeitet, wie eine zukünftige Stadtentwicklung in Bezug auf die Siedlungswasserwirtschaft nachhaltig gestaltet werden kann (Howe et al., 2012).

Das Hauptziel war es, neue Lösungen zur Effizienzsteigerung für die urbane Siedlungswasserwirtschaft zu finden und alte, eingefahrene Muster zu überdenken. Dabei wurde Wert daraufgelegt, alle Beteiligte an einem Planungsprozess zu beteiligen und fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse in die Planung mit einfließen zu lassen. Der entwickelte Ansatz soll einen Weg aufzeigen wie der Wandel in der Praxis hin zu einer nachhaltigen urbanen Siedlungswasserwirtschaft (graue zu grüner Infrastruktur) erfolgen kann. Dabei wird die Überzeugung vertreten, dass grüne Infrastruktur eine ökologische Stütze für eine funktionierende, gesunde, urbane Gesellschaft darstellen kann.

Merkmale des SWITCH Ansatzes:

- Schaffen von Austauschmöglichkeiten („Learning Alliances Platforms“), die alle Beteiligten in einer Stadt an einen Tisch bringen. Lokale Anforderungen und Probleme sowie Lösungsvorschläge aus verschiedenen Blickwinkeln fließen dadurch in das Projekt mit ein.
- Einführen eines strategischen Planungsprozesses. Das fördert eine ganzheitliche Sichtweise auf den urbanen Wasserkreislauf von alle Beteiligten.
- Ein frühes Umsetzen von Demonstrationsbeispielen für verschiedene Aspekte des Wasserkreislaufes, die darauf ausgelegt sind auch in größerem Maßstab umgesetzt zu werden.
- Entwicklung eines Trainingsprogramms um die Erkenntnisse des Projektes auch in der Umsetzung zu etablieren

Ein zentraler Punkt des Projektes war die Beteiligung von Akteuren aus 12 Städten aus der ganzen Welt mit unterschiedlichen inhaltlichen Prioritätensetzungen, die ein Vision über den Umgang mit Wasser in 30 bis 50 Jahren für ihre Stadt entwickelten. Die Austauschprogramme (learning alliances) ermöglichten es, institutionelle Grenzen zu überwinden und eine integrierte Planung unter Berücksichtigung von technischen, sozialen, ökologischen und ökonomischen Fragestellungen umzusetzen. In einigen Städten wurde die gesamte Stadt mit allen Auswirkungen betrachtet, während andere sich auf einzelne, lokal bedeutende Aspekte des Wasserkreislaufs konzentrierten.

Während des Projektes hat sich herausgestellt, dass eine laufende Dokumentation der Veränderungen in einer Stadt entscheidend dafür ist, um allen Beteiligten eine reflektierte Sicht auf den Ist-Stand zu ermöglichen und falls erforderlich die Planung an neue Bedingungen anpassen zu können.

Im Projekt **DEMOWAS** wurden der demographischen Wandel in Deutschland (Tränckner et al., 2012) und die Auswirkungen auf die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur untersucht. Einerseits wurden die direkten Auswirkungen auf den Wasserbedarf und den Schmutzwasseranfall sowie Folgen für den Betrieb von Kanalnetzen und Kläranlagen thematisiert. Andererseits wurden weitgreifende Veränderungen wie die Wirkstoffemissionen abhängig von der Altersstruktur und die Auswirkungen auf die Gebührenstruktur betrachtet. Auch die Entwässerung im ländlichen Raum war Teil der Untersuchung und Anpassungsstrategien für die Zukunft wurden entwickelt.

In der **Schweiz** wurde bereits früh damit begonnen, sich über zukünftige Entwicklungen in der Siedlungswasserwirtschaft Gedanken zu machen. Beispiele dafür sind Untersuchungen zu

den Konsequenzen von Privatisierungen bzw. Liberalisierungen der Schweizer Wasserwirtschaft (Lanz, 2003), eine Szenarienanalyse für die Siedlungswasserwirtschaft der Schweiz (Truffer, 2005) und Überlegungen zu Herausforderungen und Zielen der Wasserwirtschaft der Zukunft (Aschwanden, 2012).

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Stubenring 1. 1010 Wien

[bmnt.gv.at](https://www.bmnt.gv.at)