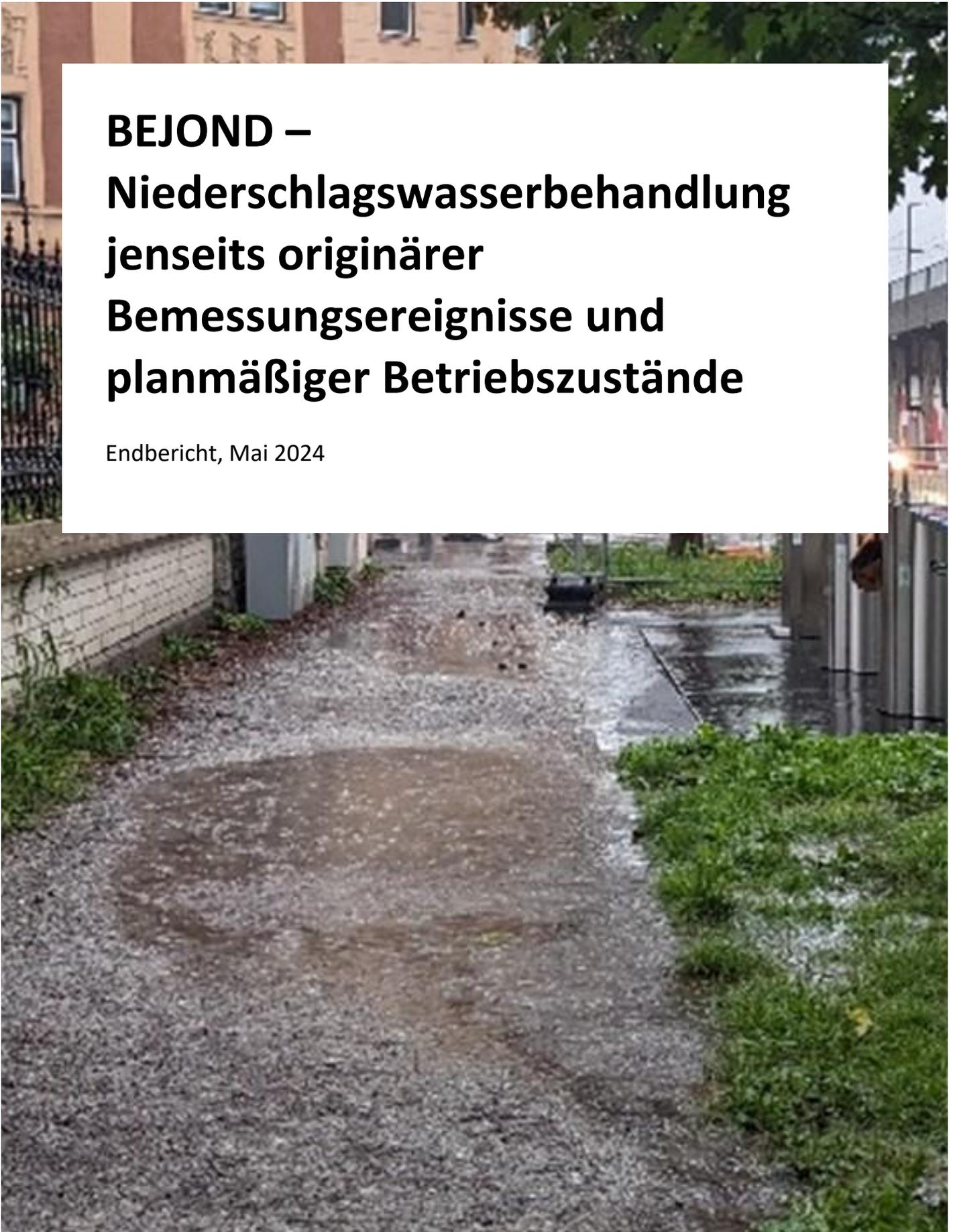


BEJOND – Niederschlagswasserbehandlung jenseits originärer Bemessungsereignisse und planmäßiger Betriebszustände

Endbericht, Mai 2024



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Thomas Ertl (BOKU), Katharina Kearney (BOKU), Fabian Funke (UIBK), Stefan Reinstaller (TUG), Manfred Kleidorfer (UIBK), Dirk Muschalla (TUG)

Gesamtumsetzung: Thomas Ertl (BOKU)

Fotonachweis: Cover: Fabian Funke, im Text: die Autor*innen, wenn nicht anders angegeben



Wien, 2024. Stand: 10. Mai 2024

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 Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtsausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

Impressum.....	2
Inhalt.....	3
1 Motivation	7
2 Projektziele und Fragestellungen.....	8
3 Begriffe und Definitionen	18
3.1 Begriff „Störfall“ im Kontext des Projekts	18
3.2 Der Begriff „Urbane Überflutungen“	19
4 Rechtliche Rahmenbedingungen	22
5 Stand der Wissenschaft hinsichtlich Bemessung von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen.....	26
5.1 Problemstellung.....	26
5.2 Konzepte der Niederschlagswasserbewirtschaftung	27
5.2.1 Konventionelle Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	27
5.2.2 Nachhaltige Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	28
5.2.3 3 Point Approach als Ergänzung zur nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung	29
5.3 Stand der Technik bezüglich der Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung im D-A-CH Raum	30
5.3.1 Gesetze, Normen und Regelblätter für Anlagen der zentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung	30
5.3.2 Normen, Regelblätter und Richtlinien für Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung	31
5.3.3 Wartung und Betrieb von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung ...	31
5.3.4 Zusammenfassung der Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich	32
6 Notwendige Betrachtung außergewöhnlicher Ereignisse.....	34
6.1 Außergewöhnliche Ereignisse mit externer Ursache	35
6.1.1 Wetter und Klima.....	36
6.1.2 Natürlich	43
6.1.3 Technisch	47
6.1.4 Sonstige externe Störungen	53
6.2 Außergewöhnliche Ereignisse mit interner Ursache	59
6.2.1 Technisch	60
6.2.2 Personell	70

7 Geeignete Herangehensweise zur Analyse der Auswirkungen außergewöhnlicher Ereignisse	80
7.1 Resilienz in der Niederschlagswasserbewirtschaftung	81
7.2 Qualitative Methoden	82
7.2.1 Systemdenken: Erkenntnis durch Darstellung der Komplexität	83
7.2.2 Fuzzy Cognitive Mapping (FCM): Methode und Anwendung.....	84
7.3 Klassifizierung anhand der FMEA Methodik.....	86
7.4 Modellierung außergewöhnlicher Ereignisse.....	94
7.4.1 Fiktives Einzugsgebiet.....	94
7.4.2 GIS basierte Fließweganalyse	95
7.4.3 Rasterbasierte 2D Modelle	97
7.4.4 Hydrodynamisches 1D Kanalnetzmodell	99
7.4.5 Hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell.....	101
7.4.6 Integriertes 1D-2D Überflutungsmodell.....	103
7.4.7 Zusammenfassung und Diskussion der modellbasierten Methoden.....	104
8 Verhalten der Anlagen	106
8.1 Betrachtete Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	106
8.2 Ergebnisse der FMEA Methodik	107
8.2.1 Zentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	108
8.2.2 Dezentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	128
8.2.3 Zusammenfassung	151
8.3 Verhalten von dezentralen Anlagen anhand einer Modellstudie	153
8.3.1 Methodik.....	153
8.3.2 Ergebnisse.....	157
9 Strategien zur Verringerung der Auswirkungen auf die Anlagen/ das Umfeld	161
9.1 Maßnahmen in der Planung und Konstruktion.....	161
9.1.1 Konstruktive/Bauliche Maßnahme.....	161
9.1.2 Möglichkeiten der Bewertung von konstruktiven baulichen Maßnahmen	177
10 Störfallmanagement	190
10.1 Allgemeine Anforderungen an eine Störfallplanung in der Niederschlagswasserbewirtschaftung	192
10.2 Störfallplanung auf Ebene der Gemeinde.....	195
10.3 Störfallplanung auf Ebene des Kanalbetriebs	201
10.3.1 Mindestanforderungen an ein Störfallmanagement im Kanalbetrieb.....	202
10.3.2 Störfallerkennung im Kanalbetrieb.....	204
10.3.3 Organisation des Krisenmanagements.....	205
10.3.4 Lastfall Starkregen	209

10.4 Umfrage Störfallmanagement im Kanalbetrieb.....	213
10.4.1 Betriebserfahrungen mit Starkregenereignissen und außerordentlichen Zuständen 218	
10.4.2 Gefährdungen: Ursachen für Stör- und Notfälle identifizieren.....	220
10.4.3 Vorsorge planen und umsetzen.....	221
10.4.4 Sofortmaßnahmen planen.....	226
10.4.5 Vorbereitung Sofortmaßnahmen und Alarmierung.....	229
10.4.6 Dokumentation von Stör- und Notfällen.....	234
10.4.7 Kommunikation mit und an Bürger:innen.....	235
10.4.8 Selbsteinschätzung und Unterstützungsbedarf der Betriebe	236
10.4.9 Zusammenfassung und Diskussion zur Umfrage „Stör- und Notfallmanagement in österreichischen Kanalbetrieben“	237
11 Kommunikationsstrategien	239
11.1 Allgemeine Kommunikationsgrundsätze	240
11.1.1 Formulierung der Kommunikationsziele	244
11.1.2 Analyse der Kommunikations-Themen	245
11.1.3 Definition von Ziel- und Anspruchsgruppen.....	246
11.1.4 Formulierung von Botschaften zu den Themen und Zielgruppen.....	247
11.1.5 Entwicklung der Strategie.....	249
11.2 Warnung und Alarmierung.....	250
11.3 Umfrage zur Kommunikation von Starkregen- und Überflutungsgefahren in österreichischen Gemeinden	251
11.4 Best-Practice Beispiele und Checklisten	261
12 Fallstudien	274
12.1 Fallstudie Feldbach.....	274
12.1.1 Beschreibung des Einzugsgebiets (EZG)	274
12.1.2 Datengrundlage	275
12.1.3 Quantitative Analysen in Feldbach.....	279
12.1.4 Interviews und Kognitive Karten in Feldbach.....	296
12.1.5 Workshops - Fallstudie Feldbach.....	309
12.2 Fallstudie Kufstein	311
12.2.1 Modellierung Kufstein	312
12.2.2 Workshop: Starkregenbewältigung in Kufstein.....	315
13 Abkürzungen.....	322
14 Dissemination	324
15 Tabellenverzeichnis.....	327

16	Abbildungsverzeichnis.....	331
17	Literaturverzeichnis.....	336
18	Anhang: Nützliche Ressourcen und weiterführende Literatur	352

1 Motivation

Die übergeordnete Grundlage für die Planung und Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) ist die Europäische Norm ÖNORM EN 752 (ON, 2017). Darin werden vier vorrangige Planungsziele definiert: I) Öffentliche Gesundheit und Sicherheit; II) Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals; III) Umweltschutz; und IV) Nachhaltige Entwicklung. Besonders letztgenanntes fordert explizit, dass die Bemessungskriterien über die derzeit erwarteten Leistungskriterien hinausgehen und zukünftige Veränderungen mitberücksichtigt werden sollen. Da die Anlagen eine sehr hohe Nutzungsdauer aufweisen, müssen zukünftige Veränderungen wie beispielsweise Klimawandel und Urbanisierung in die Bemessungskonzepte der Planung mit einfließen. Zusätzlich zu Veränderungen der äußeren Bemessungsrandbedingungen kann es bei einer langen Nutzungsdauer auch zu Betriebsstörungen oder Störfällen (z. B. Verklausungen, Pumpausfall, Kolmation, usw.) kommen, wodurch die Funktionsfähigkeit der Anlagen nicht mehr garantiert werden kann. Eine solche Einschränkung der Funktionsfähigkeit wird derzeit in den österreichischen Bemessungsrichtlinien nicht berücksichtigt. Im vorliegenden Projekt wird sowohl für die Einflüsse von außen durch die Veränderung der Niederschlagscharakteristik (Klimawandel) und des Oberflächenabflussverhaltens (Urbanisierung) als auch durch intern oder extern verursachte Störungen und außerplanmäßige Betriebszustände der Begriff außergewöhnliche Ereignisse verwendet.

Das gesamte System der NWB wird als komplexes, integriertes System betrachtet, welches von einer Vielzahl unterschiedlicher technischer (z. B. dezentrale NWB-Anlagen), wie auch nicht technischer Subprozesse (natürliche und sozial-ökonomische Entwicklungen), beeinflusst wird. Daher kann nicht nur ein Teilsystem wie die zentrale Kanalisation bei der Analyse außergewöhnlicher Ereignisse betrachtet werden. Es muss vielmehr eine ganzheitliche integrierte Systemanalyse durchgeführt werden. Dies umfasst auch die Notwendigkeit eines systematischen und vorausschauenden Umgangs mit dem Verhalten von NWB-Anlagen im Versagensfall, durch ein geeignetes Störfall- bzw. Notfallmanagement, sowie geeignete Kommunikationsstrategien an die Bevölkerung zur Risikoprävention.

Da das Verhalten von NWB-Anlagen bei außergewöhnlichen Ereignissen noch nicht umfassend untersucht wurde, ist es das Ziel dieses Forschungsprojekts in diesem Bereich einen umfassenden Überblick hinsichtlich Anlageverhalten, Systemverhalten und Bemessung zu geben. Dies stellt die vorrangige Motivation des vorliegenden Projektes BEJOND dar.

2 Projektziele und Fragestellungen

Im Zuge des Forschungsprojektes BEJOND sollen die derzeitigen Konzepte der NWB hinsichtlich außergewöhnlicher Ereignisse und Betriebszustände jenseits originärer Bemessungsereignisse untersucht werden. Jenseits planmäßiger Betriebszustände ist an dieser Stelle definiert als eine NICHT geplante Belastung oder ein unvorhergesehener Betriebszustand. Ebenso sollen nicht nur Auswirkungen auf die einzelnen Anlagen beurteilt werden, sondern auch die Auswirkungen auf siedlungswasserbauliche Nachbarsysteme. Aus diesem Grund nimmt das BEJOND Projekt eine ganzheitliche und integrierte Sicht auf das NWB-System ein, in dem die Auswirkungen eines Störfalls oder einer Betriebsstörung in einem Systemelement sich im gesamten System, also auf benachbarte Anlagen und ihr Umfeld, auswirken können. Durch die klimatischen sowie räumlich strukturellen Veränderungen wie den Klimawandel und die fortschreitende Urbanisierung, werden die im vorliegenden Projekt behandelten Themen und Fragestellungen zukünftig eine entscheidende Rolle hinsichtlich nachhaltiger Anpassungsstrategien in der Niederschlagswasserbewirtschaftung einnehmen.

Ein übergeordnetes Projektziel ist die Erstellung eines praxisorientierten Leitfadens für Planungsbüros sowie Betreiber in kleinen bis mittlere Gemeinden (> 10 000 Einwohner). Die Erstellung des Leitfadens wird durch zwei Fallstudien unterstützt. Durch die Zusammenarbeit mit einzelnen Gemeinden und Planungsbüros wurde eine praxisorientierte Umsetzung gewährleistet.

Nachfolgend werden die einzelnen Fragestellungen laut Projektantrag dargestellt. Ebenso werden die wichtigsten Erkenntnisse, die im Zuge der Projektbearbeitung zu den einzelnen Fragestellungen gewonnen wurden, zusammengefasst und es wird auf die jeweiligen Kapitel in diesem Bericht verwiesen, aus denen diese Ergebnisse abgeleitet werden:

F1: Wie reagieren normgemäß bemessene Niederschlagswasserbehandlungsanlagen auf außergewöhnliche Ereignisse? Bei welchen Anlagentypen beinhaltet die Bemessungspraxis und konstruktive Ausführung Sicherheiten, bei welchen Anlagen ist mit einer überproportionalen Zunahme zum Beispiel des Abflusses und einer eventuellen Herabsetzung der Reinigungsleistung zu rechnen?

Projektziel Z.1. Umfassende Analysen bezüglich der Auswirkungen außergewöhnlicher Ereignisse in Kombination mit außerplanmäßigen Betriebsstörungen auf diverse Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung durchführen:

Die Vielfalt der Analysemethoden, sowohl qualitativer als auch quantitativer Natur, ermöglicht eine umfassende Bewertung der Auswirkungen von Störfällen auf Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung. Kapitel 5 definiert dabei den derzeitigen Stand der Technik der einzelnen Normen und Regelblätter für zentrale als auch dezentrale NWB Anlagen. Darin enthaltene Sicherheiten (z. B. über den Zuschlagsfaktor bei Versickerungsanlagen (DWA, 2013) beziehen sich dabei vorwiegend auf den vereinfachten Bemessungsansatz nicht aber auf außergewöhnliche Ereignisse wie die Veränderung der Niederschlagscharakteristik. Daher wird empfohlen außergewöhnlichen Ereignissen in der Bemessung durch zusätzliche Szenarien zukünftig zu berücksichtigen (z. B. Klimawandelszenario, maßgebliches Störfall Szenario). Dies ist auch eine zentrale Empfehlung, welche aus dem Projekt entstandenen Leitfaden enthalten ist (Ertl et.al., 2024).

Mithilfe der FMEA Methodik wurden 14 NWB Anlagen hinsichtlich möglicher Fehler und Störfälle analysiert und deren Auswirkungen auf das Anlagenverhalten bewertet (8.2). Die Tabellen geben einen umfassenden Überblick und ermöglichen es Planern, Gemeinden und Kanalnetzbetreibern fundiertere Entscheidungen bezüglich Betriebes, Wartung und Sanierung zu treffen. Durch die systematische und priorisierte Darstellung in den Tabellen können Nutzer:innen klar erkennen, wo Handlungsprioritäten liegen sollten. Die qualitative Systemanalyse diente dazu, die Herausforderungen der NWB aus einer ganzheitlichen Sicht näher zu verstehen, indem lokale Erfahrungen und Perspektiven eingeholt und partizipativ aufgearbeitet wurden. Die Einbindung unterschiedlicher sektoraler Expert:innen trug zu einer Ausweitung unseres Systemverständnisses bei, indem das Wissen und die Erfahrungen aus erlebten Ereignissen geteilt wurden.

F2: Wie ist die Resilienz unterschiedlicher Anlagentypen zu beurteilen, d.h. welche Anlagen werden durch außergewöhnliche Ereignisse wie der Überschreitung des Bemessungsereignisses geschädigt, welche Anlagen bleiben auch nach dem Ereignis voll funktionsfähig?

Projektziel Z.2. Bewertungsmöglichkeiten hinsichtlich der Resilienz einzelner Anlagen und des gesamten Systems der urbanen Niederschlagswasserbewirtschaftung untersuchen:

Die Frage lässt sich pauschal nicht für alle Anlagentypen beantworten, da neben der konstruktiven Ausführung auch individuelle Parameter wie äußere Randbedingungen, Alter, Wartungsintervalle und Lage im System eine entscheidende Rolle für die Resilienz einer Anlage spielen (Kapitel 7.1). So ist eine Versickerungsmulde deren Vegetation abgestorben ist deutlich anfälliger für eine Erosion der Böschung durch Starkregen als eine regelmäßig gepflegte Mulde. Mithilfe der Fehler Möglichkeiten und Einfluss Analyse (FMEA) (Methodenbeschreibung in Kapitel 7.3) wurden Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) auf ihr Verhalten bei relevanten außergewöhnlichen Ereignissen und Störfällen untersucht (Kapitel 8.2). Anhand des qualitativen Bewertungsindex Schweregrad für die Anlage wurden mithilfe von Expert:innen die Auswirkungen auf die Anlagen bewertet. Die Bewertung unterscheidet dabei zwischen 5 Klassen, die unter anderem die Resilienz der Anlagen gegenüber dem untersuchten außergewöhnlichen Ereignis beinhaltet. Von den 14 untersuchten Anlagentypen gibt es nur einen, bei dem kein außergewöhnliches Ereignis oder Störfall die Anlage so weit schädigt, dass sie voll funktionsfähig bleibt. Insgesamt ist ein Trend sichtbar, dass zentrale NWB-Anlagen resilienter gegenüber außergewöhnlichen Ereignissen und Störfällen sind als dezentrale Anlagen. Bezogen auf die Anzahl der untersuchten Störfälle bleiben sie deutlich häufiger auch nach dem Ereignis voll funktionsfähig (Kapitel 8.2.3). Wenn es aber bei zentralen Anlagen zu einem Versagen kommt ist die Auswirkungen auf Nachbarsysteme und die Umgebung deutlich größer als bei dezentralen Anlagen.

Die Methode des Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) (Kapitel 7.1.2) steht exemplarisch für die praktische Umsetzung einer qualitativen Forschungsmethode zur Untersuchung des örtlichen Resilienzverständnisses. Sie ermöglicht die Visualisierung von Systemkomponenten und deren Ursache-Wirkungsbeziehungen und bietet ein Tool, um die Vielfalt der Akteursperspektiven in einem gemeinsamen Modell zu konsolidieren.

Die Anwendung dieser Methode trug jedoch mehr zur Identifizierung von Schlüsselbereichen, Feedbackschleifen und potenziellen Störfaktoren bei, während sich Resilienzfaktoren daraus weniger gut abzeichneten.

Zusätzlich ist die technische Resilienz des Entwässerungssystems im entwickelten Bewertungsindex (Kapitel 9.1.2) einer Maßnahme enthalten. Wodurch berücksichtigt wird, wie eine Maßnahme (z. B. dezentrale NWB Anlagen) sich auf die Resilienz des Entwässerungssystems auswirkt. Derselbe Ansatz kann auch auf alle Teilsysteme des Entwässerungssystems (zentral und dezentrale) angewendet werden.

F3: Wie wirken sich klimatische (Klimawandel), räumlich strukturelle (Urbanisierung) und sozialgesellschaftliche Veränderungen (Demografie) auf die Bemessung bzw. Resilienz der Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft sowie städtischer Überflutungsvorsorge aus?

Projektziel Z.3. Die Auswirkungen klimatischer (Klimawandel) und raumstruktureller (Urbanisierung) Veränderungen auf die Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung darstellen.

Infolge des Klimawandels ist mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen zu rechnen. Dies führt anhand von Modellergebnissen in der Fallstudie Feldbach zu einer zusätzlichen Belastung der NWB Anlagen und im Starkregenfall zu einem deutlichen Anstieg der Überflutungsflächen. In einem zukünftigen Klima muss mit einem häufigeren Versagen von NWB Anlagen und daraus resultierenden urbanen Überflutungen gerechnet werden (Kapitel 12.1.3.2). Das zusätzliche Risiko kann einerseits durch Maßnahmen wie Notwasserwege in Kombination mit multifunktionalen Retentionsflächen und einer besseren Sensibilisierung der Bevölkerung im Hinblick auf Gefahren durch urbane Überflutungen begegnet werden.

Zusätzlich konnte anhand der Untersuchungen in Kapitel (9.1.2) gezeigt werden, dass eine Erhöhung des Versiegelungsgrades in den Außengebieten (Annahmen: Gemeinden wachsen an den Randgebieten) einen nicht so starken Einfluss auf Überflutungsflächen als auch den Abfluss in der Kanalisation hat als die Veränderung des Niederschlags infolge des Klimawandels. Die Erhöhung des Oberflächenabflusses sowie des Abflusses in der Kanalisation kann auch durch die Implementierung von NWB-Anlagen wie Versickerungsanlagen weitestgehend nicht kompensiert werden. Die kombinierte

Belastung (Klimawandel und Erhöhung des Versiegelungsgrads) hat allerdings den größten Einfluss auf das NWB-System und kann durch keine einzelne Maßnahme kompensiert werden. Vielmehr sind kombinierte Maßnahmen (Landwirtschaftliche Maßnahmen und Blau-Grüne dezentrale Anlagen) sowie die Berücksichtigung des Restrisikos durch Notwasserwege in Kombination mit multicodierten Retentionsflächen notwendig, um mit dieser zukünftigen Belastung umgehen zu können.

Der Demografische Wandel wirkt sich in der Überflutungsbetrachtung hauptsächlich auf die Vulnerabilität der einzelnen Gebäude aus, nicht aber auf die Resilienz der einzelnen NWB Anlagen. Der Demografische Wandel wirkt sich dabei vor allem in eine höhere Anzahl an vulnerablen Schutzgütern, wie beispielsweise medizinische Einrichtungen oder Kindergärten und Kinderkrippen aus, wodurch sich das Überflutungsrisiko im betrachteten Gebiet erhöht. Dies hat auch Auswirkung auf eine Schadensabschätzung bei einer Kosten-Nutzen-Analyse und muss im Zuge dessen berücksichtigt werden (Kapitel 9.1.2.5).

Auch der Betrieb und die Wartung dezentraler Anlagen können durch einen demographischen Wandel beeinflusst werden. Demografische Verschiebungen, die zu einem Bevölkerungsrückgang führen, können die Verfügbarkeit von engagierten und sachkundigen Personen verringern, was wiederum die Effizienz und Störungsanfälligkeit dieser Anlagen beeinträchtigen könnte.

Zudem stehen Kanalbetriebe vor Herausforderungen im Hinblick auf Personal und Fachkräfte (Kapitel 10.4.). Eine abnehmende Bevölkerungszahl und die Alterung der Bevölkerung könnten zu einer Pensionierungswelle führen, was den Verlust von kritischem Personal nach sich zieht. Diese personellen Engpässe schwächen die Resilienz der NWB Anlagen, da zeitnahe Reaktionen auf Störungen oder Überflutungen erschwert werden.

Der demografische Wandel hat zudem Konsequenzen für die Kommunikation und Bewusstseinsbildung bezüglich Starkregen- und Überflutungsgefahren (Kapitel 11.3.). Unterschiedliche Altersgruppen bevorzugen verschiedene Kommunikationskanäle und -methoden. Während jüngere Personen tendenziell offener gegenüber modernen Warnsystemen wie Apps sind, sind ältere Personen möglicherweise auf traditionellere Kommunikationsformen angewiesen. Daher müssen demografische Entwicklungen bei der Ausarbeitung von Kommunikationsstrategien für NWB und Überflutungsvorsorge berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass die Strategien

auf den lokalen Kontext und die Bedürfnisse aller Bevölkerungsgruppen zugeschnitten sind.

F4: In welcher Form ist es notwendig außergewöhnliche Ereignisse in der Bemessung explizit zu berücksichtigen, wo ist eine Reaktion auf außergewöhnliche Ereignisse zum Beispiel im Rahmen einer Überflutungsvorsorge und aufgrund konstruktiver Vorgaben möglich?

Projektziel Z.4. Empfehlungen bezüglich der Berücksichtigung von außergewöhnlichen Ereignissen und außerplanmäßigen Betriebszuständen in der Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung erarbeiten.

Es konnte gezeigt werden (Kapitel 5), dass die derzeitigen Bemessungskonzepte in der NWB außergewöhnliche Ereignisse (z. B. Starkregenereignisse) oder außerplanmäßige Betriebszustände (z. B. Störfälle wie eine Verklausung) nur bedingt berücksichtigen. Bei Anlagen, welche Regenwasser dezentral versickern, sind zwar Zuschlagfaktoren für eine Kolmation des Substrats vorgeschrieben (Kapitel 8.3), bei einem Großteil der anderen Anlagen gibt es jedoch keine Anpassung der Bemessung an außergewöhnliche Ereignisse. Insbesondere die Anwendung eines Blockregens als Bemessungsgröße wird als kritisch gesehen, da dieser die tatsächliche Niederschlagscharakteristik stark vereinfacht abbildet. Durch die Anwendung von Sicherheitsbeiwerte können diese Unsicherheiten zwar zum Teil kompensiert werden, beziehen sich allerdings immer auf statistische Analysen des Niederschlags aus der Vergangenheit. Aus diesem Grund bleiben zukünftige Veränderungen im Niederschlag hervorgerufen durch den Klimawandel unberücksichtigt. Bei einer Lebensdauer von zum Teil > 50 Jahren wird dieser Umstand kritisch bewertet. Zusätzlich kann innerhalb dieser langen Nutzungsdauer auch nicht davon ausgegangen werden, dass die NWB Anlagen sich zu jedem Zeitpunkt in einem perfekten Zustand befinden. Aus diesem Grund sollten auch explizit Störfälle der Anlagen in der Bemessung berücksichtigt werden (Kapitel 6). Besonders bei geringeren Jährlichkeiten können diese einen hohen Einfluss auf die Wirksamkeit haben (Kapitel 8.3). Aus diesem Grund wird empfohlen die derzeitigen Bemessungskonzepte mit einer Variantenuntersuchung (derzeitige Bemessungsszenario, Klimawandelszenario, Störfallszenario) zu erweitern. Insbesondere für die Bemessung der zentralen Entwässerung nach Regelblatt 11 gilt diese

Empfehlungen (siehe Leitfaden (Ertl et al., 2024)), da sich Störfälle und außergewöhnliche Ereignisse im zentralen Entwässerungssystem stark auf die Überflutungsflächen auswirken (12.1.3.2).

F5: Welche Möglichkeiten zur Überflutungsvorsorge und Berücksichtigung von außergewöhnlichen Ereignissen gibt es (Schaffung Retentionsvolumen, Notwasserwege etc.) und wie sind diese finanziell in einem Risikoansatz zu bewerten.

Projektziel Z.5. Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs hinsichtlich der Prävention und Reduktion der Auswirkungen von außergewöhnlichen Ereignissen auf die Niederschlagswasserbewirtschaftung.

Der BEJOND Maßnahmenkatalog wurde in einem separaten Leitfaden (Ertl et al., 2024) veröffentlicht und steht Gemeinden und interessierten Personen frei zur Verfügung. Dieser Katalog stellt eine exemplarische Sammlung von Maßnahmen und Strategien zur Prävention und Reduktion der Auswirkungen von außergewöhnlichen Ereignissen in der NWB und zur Verbesserung des Störfallmanagements dar.

Die Maßnahmen spannen sich über drei Hauptphasen:

Vorbereitung und Prävention: Diese Phase betont die Bedeutung der Planung und Konstruktion. Sie umfasst unter anderem den Bau von Rückhaltebecken und Notwasserwegen, die Integration von Blau-Grüner Infrastruktur und die Einführung von landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Reduktion von Hangwasser und Bodenerosion. Auf Gemeindeebene beinhaltet sie die Implementierung von Gefahrenerkennungssystemen, Informationsverbreitungsmaßnahmen, Anpassungen in der Flächenwidmung und in Bebauungsplänen, sowie die Förderung dezentraler NWB-Anlagen.

Bewältigung: Hier liegt der Schwerpunkt auf dem kurzfristigen Handeln im Falle eines Starkregenereignisses. Maßnahmen in dieser Phase beinhalten den Einsatz von temporären Schutzbauten, das Einleiten von Warnketten und das Krisenmanagement auf Gemeinde- und Betreiberebene.

Wiederherstellung: Nach einem außergewöhnlichen Ereignis liegt der Fokus darauf, Schäden schnell zu beheben und die Gemeinde und ihre Infrastrukturen wieder voll

funktionsfähig zu machen. Dies beinhaltet die Instandsetzung beschädigter Infrastrukturen, psychologische Nachbetreuung betroffener Bürger:innen und die Nachbereitung und Planung für zukünftige Ereignisse.

Für die finanzielle Bewertung einer Maßnahme empfiehlt Kapitel 9.1.2.5 die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse. Diese Methode setzt die Kosten der Maßnahme in Relation zu den erwarteten, abgeschätzten Schadenssummen. Bei vergangenen Ereignissen ist eine Validierung der Schadenssummen mit tatsächlich entstandenen Schäden möglich. Im Rahmen der im Projekt untersuchten Fallstudie Feldbach war die Datenbasis sowohl für die Kostenschätzung der Maßnahmen als auch für die Validierung der Schadenssummen unzureichend. Lediglich für Maßnahmen wie Regenrückhaltebecken und blau-grüne Infrastrukturen konnten potenzielle Kosten annähernd ermittelt werden. Eine Gegenüberstellung dieser Kosten mit validen Schadenssummen, beispielsweise basierend auf Versicherungsdaten, konnte trotz mehrfacher Anfragen nicht realisiert werden. Diese Datenlücke wird als signifikantes Defizit erkannt und sollte in zukünftigen Untersuchungen stärker berücksichtigt werden.

F6: Welche benachbarten Infrastrukturen, insbesondere der Siedlungswasserwirtschaft sind bei Überlastung oder Versagen von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen gefährdet?

Projektziel Z.6. Umfassende Darstellung verschiedener Methoden zur Quantifizierung eines Anlageversagens sowie der betroffenen Nachbarsysteme.

Um ein Versagen aller relevanten Anlagen des durchaus komplexen Systems der NWB quantitativ bewerten zu können, müssen eine Vielzahl an Prozessen modellbasiert abgebildet werden. In Kapitel 7.4 konnte gezeigt werden, dass einzig mit einem integrierten 1D-2D Modell alle diese Prozesse abgebildet werden können.

Da es sich um ein physikalisch basiertes Modell handelt, können auch die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Anlagen der NWB berücksichtigt werden. Beispielsweise ist man durch ein solches Modell in der Lage den Ausfall oder Störung einer dezentralen Anlage auf das zentrale Entwässerungssystem (Abflussganglinie, Abflussvolumen) sowie auf der Oberfläche (Überflutungsflächen) zu beurteilen, da all diese Anlagen und Prozesse im 1D/2D Modell physikalisch-basiert implementiert sind.

Ebenso können die Auswirkungen eines Anlagenversagens auf siedlungswasserwirtschaftlich relevante Nachbarsysteme innerhalb (z. B. kritische Infrastrukturanlagen) oder außerhalb der Systemgrenzen (Gewässer, Kläranlagenzufluss) anhand von Überflutungsflächen und Abflussganglinien beurteilt werden. Der Aufbau und die Analyse von zwei Fallbeispielen (fiktives EZG und Fallbeispiel Feldbach) konnte exemplarisch demonstriert werden (Kapitel 8.3, Kapitel 9.1.2.6, und Kapitel 12.1.3.2)

Zusätzlich zum quantitativen Modellansatz wurden die Auswirkungen von Störfällen auf benachbarte Infrastrukturen auch mit Hilfe der qualitativen FMEA untersucht. Dabei kann über die FMEA nicht direkt abgeleitet werden, welche Nachbaranlagen konkret betroffen sind, aber es ist über den Bewertungsindex Schweregrad für Nachbarsysteme (SEV-K) eine Abschätzung der allgemeinen Wirkung möglich (Kapitel 7.3 & 8.2).

F7: Wie können konkrete Anlagen bezüglich ihres Versagensrisikos analysiert werden und welche Strategien zur Verringerung der Auswirkungen auf die Anlagen und ihr Umfeld sind sinnvoll.

Eine Analyse konkreter Anlagen hinsichtlich ihres Versagensrisikos ist einerseits über die qualitative FMEA-Methodik und andererseits über die quantitative Betrachtung mit Hilfe eines gekoppelten 1D-2D Überflutungsmodells möglich.

Mit Hilfe der FMEA kann eine Gemeinde oder ein Betreiber eine spezifische Anlage auf mögliche Störfälle und außergewöhnliche Ereignisse untersuchen und über die Bewertung von Schweregrad, Häufigkeit und Erkennbarkeit eine Abschätzung des Versagensrisikos vornehmen. Für die Analyse der Anlage und die Bewertung der Störfälle ist ein Experte erforderlich, der mit der spezifischen Anlage, den angrenzenden siedlungswasserwirtschaftlichen Systemen und der Umgebung sehr gut vertraut ist. Häufig ist dies ein Mitarbeiter des Tiefbauamtes oder des örtlichen Kanalnetzbetreibers.

Mit Hilfe eines gekoppelten 1D-2D Überflutungsmodells können die Auswirkungen des Versagens einzelner Anlagen quantitativ untersucht werden. Zur Abschätzung des Versagensrisikos eignen sich die gleichen Bewertungskategorien, die auch für die kombinierte Maßnahmenbewertung (Kapitel 9.1.2) verwendet werden. Der Schwer-

punkt sollte auf den Auswirkungen auf urbane Überflutungen und die zusätzliche Belastung des Entwässerungssystems liegen. Die Auswirkungen des Ausfalls einzelner Anlagen wurden in Kapitel 12.1.3.2 modelltechnisch näher untersucht. Dabei zeigte sich, dass insbesondere der Ausfall von zentralen Anlagen und Infrastrukturen (Hauptsammler, Straßeneinläufe, Mischwasserentlastungen und Einlaufbauwerke von Wildbächen) einen signifikanten Einfluss auf die Überflutungsflächen bei verschiedenen Niederschlagsereignissen hat. Der Ausfall dezentraler Anlagen hat dagegen keinen Einfluss auf die Überflutungsflächen.

F8: Wie können ein Störfallmanagement und eine Kommunikationsstrategie aussehen?

Eine robuste Störfallplanung kombiniert mit effektiver Gefahren- und Krisenkommunikation kann erheblich dazu beitragen, die negativen Auswirkungen von Störungen zu minimieren. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einer allgemeinen Störfallplanung auf Gemeindeebene und einer spezifischeren Stör- und Notfallplanung auf Betreiberbene. Es stehen viele Ressourcen für die (Weiter-)Entwicklung eines Störfallmanagements zur Verfügung, sowohl für die Analyse der Ausgangssituation, die Organisation des Krisenmanagements als auch in der Gefahrenabwehr und Einsatzplanung. Die Ergebnisse der KAN-Umfrage (Kapitel 10.4) demonstrieren die Bandbreite der unterschiedlichen Ansprüche, Ressourcen und Herausforderungen der österreichischen Kanalbetriebe und Gemeinden in der Planung und Umsetzung eines Störfallmanagements. Eine klare und angemessene Kommunikationsstrategie für Bürger:innen, insbesondere zu den Themen Starkregen und urbane Überflutungen, sollte nach allgemeinen Kommunikationsgrundsätzen formuliert werden (Kapitel 11). Die Warnung und Alarmierung können mit dem Einsatz moderner Technologien ergänzt werden, wie etwa Apps und Social Media. Dennoch zeigen Umfrageergebnisse, dass traditionelle Warnkanäle wie der Sirenenalarm in der Bevölkerung weiterhin als vertrauenswürdig und wichtig angesehen werden (Kapitel 11.3).

Abschließend lässt sich sagen, dass eine gut durchdachte und umgesetzte Kommunikationsstrategie entscheidend für den Erfolg von Maßnahmen im Bereich Niederschlagswasserbewirtschaftung und Störfallmanagement ist. Es ist nicht nur wichtig, die Öffentlichkeit zu informieren, sondern auch, sie aktiv in den Prozess einzubeziehen und ihre Bedenken und Bedürfnisse zu berücksichtigen.

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Begriff „Störfall“ im Kontext des Projekts

Der Begriff „Störfall“ ist im Alltag sowie in verschiedenen rechtlichen und technischen Kontexten weit verbreitet. Allerdings können sich die Bedeutungen und Implikationen dieses Begriffs je nach Kontext deutlich unterscheiden.

Im Bereich der NWB sind Anlagen und deren Betreiber ständig mit vielfältigen externen und internen Herausforderungen konfrontiert, von extremen Wetterereignissen bis hin zu technischen Ausfällen. Ein effizientes Management dieser Anlagen setzt voraus, dass alle möglichen Betriebsbedingungen – von Normalbetrieb über Störfälle bis hin zu Krisen und Katastrophen – vorausschauend klar definiert und verstanden werden.

Im BEJOND Projekt beziehen sich ein „Störfall“ oder eine „Betriebsstörung“ auf eine Abweichung von den normalen, planmäßigen Betriebsbedingungen innerhalb des Kanalbetriebs und anderen Anlagen der NWB. Der Störfall ist als Zustand zu verstehen, der im Allgemeinen mit vorhandenen betrieblichen Ressourcen beherrschbar ist und nur selten die Alarmierung von Einsatzkräften oder Behörden erfordert (Nicolics et al., 2018).

In rechtlichen Kontexten, insbesondere im Bereich der Industrie, kann der Begriff „Störfall“ jedoch eine andere, spezifischere Bedeutung haben. Beispielsweise bezieht sich die Industrieunfallverordnung (IUV) in Österreich auf den Schutz von Menschen und Umwelt vor den Folgen von plötzlich auftretenden Störfällen in technischen Anlagen mit Austritt gefährlicher Stoffe (IUV: BGBl. II Nr. 354/2002). In Deutschland und Österreich bezieht sich die Störfallverordnung primär auf Betriebsbereiche und -anlagen, wohingegen in der Schweiz und Liechtenstein zusätzlich Verkehrswege und in bestimmten Fällen auch der Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen einbezogen sind.

Es ist wichtig zu betonen, dass im Kontext des BEJOND Projekts die Begriffe „Störfall“ und „Betriebsstörung“ synonym verwendet werden und nicht die rechtlichen Implikationen und Verpflichtungen tragen, die in industriellen oder energiebezogenen Kontexten, wie beispielsweise bei Kernkraftwerken, relevant sind. Der Fokus liegt hier auf der Abweichung von den normalen Betriebsbedingungen und nicht auf rechtlichen oder umweltspezifischen Auswirkungen im größeren Maßstab.

3.2 Der Begriff „Urbane Überflutungen“

Eine allgemein gültige Definition zu dem Begriff urbane Überflutungen ist derzeit im deutschsprachigen Raum nicht vorhanden. Oftmals werden in den einzelnen Regionen unterschiedliche Begriffe synonym verwendet. Als wohl bekanntestes Beispiel seien an dieser Stelle die Begriffe Hangwasser (z. B. Leitfaden Hangwasser (2021)), Hochwasser (z. B. Leitfaden zur Erfassung und Dokumentation von Hochwasserereignissen (BMLFUW, 2013) sowie Oberflächenabfluss (z. B. Leitfaden zur Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss (BMNT, 2019) zu erwähnen. Obwohl all diese Begriffe große Ähnlichkeiten aufweisen, unterscheiden sie sich doch bei detaillierter Betrachtung voneinander. Dieser Umstand hat sowohl rechtliche als auch methodische Konsequenzen, da bei korrekter Verwendung der Begriffe nicht immer dieselbe rechtliche Grundlage als auch Analysen anwendbar sind. Aus diesem Grund werden zunächst die einzelnen Begriffe definiert und deren Quellen erläutert, um darauf aufbauend eine Definition für den Begriff der urbanen Überflutung festzulegen. Diese Diskussion und die anschließende Definition basiert auf den Erkenntnissen der Arbeiten von (Maier et al., 2021), (ÖWAV, 2020), (Simperler et al., 2019) und (Zahnt et al., 2018).

Überflutung (Kanalsystem):

Außerplanmäßiger Zustand wo Schmutz, Misch -oder Niederschlagswasser aus dem Kanalsystem entweicht oder nicht mehr eintreten kann und dadurch an der Oberfläche verbleibt und abgeleitet wird, wodurch es zu Schäden oder Funktionseinschränkung der umliegenden Gebäude kommt. (ÖWAV, 2007; ON, 2017)

Hochwasser allgemein:

Hochwasser ist eine zeitliche beschränkte Überflutung von Flächen, welche ursprünglich nicht von Wasser bedeckt waren, dies umfasst vor allem fließende (Ströme, Flüsse, Bäche) und stehende (in Österreich Seen) Oberflächengewässer. Als Ausnahme sind Überflutungen in Folge von Überstau aus Abwassersystemen zu nennen. (Wasserrechtgesetz, 1959)

Hangwasser:

Oberirdisches Hangwasser kann als Hochwasser bezeichnet werden, das nicht durch Bäche oder Flüsse, sondern in sonst trockenen Einzugsgebieten durch flächenhaften Abfluss von Oberflächenwasser infolge von Niederschlag und Schmelzwasser entsteht. Der Begriff Hangwasser wird mit dem Begriff Oberflächenabfluss sowie pluviales Hochwasser gleichgesetzt. (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2021)

Oberflächenabfluss:

Oberflächenabfluss entsteht häufig infolge von starken sowie langanhaltenden Niederschlägen, wenn das anfallende Wasser nicht schnell genug in den Untergrund versickern oder über Entwässerung abgeleitet werden kann. Dabei entstehen oberirdische Fließpfade, welche sich in Senken flächenmäßig ausbreiten können. Dabei wird zwischen dem Oberflächenabfluss am Grundstück und von außenliegenden Flächen unterschieden. (BML, 2019)

Aus den Definitionen von Hangwasser, Hochwasser und Oberflächenabfluss geht hervor, dass keiner der aufgeführten Begriffe auf urbane Überflutungen exakt zutrifft. Vielmehr sind urbane Überflutungen als eine Kombination unterschiedlicher Prozesse zu verstehen, die sowohl von stehenden und fließenden Oberflächengewässern (fluvial), pluvialen Prozessen wie Oberflächenabfluss (z. B. oberirdisches Hangwasser) als auch von Abflussprozessen aus dem Entwässerungssystem beeinflusst werden (Maier et al., 2021). Dabei spielt die Niederschlagscharakteristik eine entscheidende Rolle. So werden urbane Überflutungen sehr häufig von konvektiven Niederschlagsereignissen ausgelöst (Gewitterzellen), die meist lokal begrenzt kurzzeitige intensive Niederschläge zur Folge haben. Dieses Phänomen wird häufig auch als Starkregen bezeichnet. Die Stärke des Niederschlagsereignisses wird neben der Intensität pro Zeiteinheit (z. B. mm/h) auch in einer Wiederkehrzeit (Jährlichkeit) in Jahren angegeben. Die Jährlichkeit beschreibt, wie häufig ein Ereignis statistisch auftritt. Dabei muss beachtet werden, dass einem Ereignis nicht eine Jährlichkeit zugeordnet werden kann, vielmehr ist dies in Abhängigkeit der zugeordneten Dauerstufe zu sehen, wodurch ein Ereignis eine Vielzahl an Jährlichkeiten aufweist (Pichler et al., 2022). Starkregenerenisse können dabei für kurze Dauerstufen Jährlichkeiten von $T > 100$ a erreichen. Durch den fortschreitenden Klimawandel ist mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen auszugehen (IPCC, 2023, CCCA, 2016).

Durch die Kombination aus unterschiedlichen Abflussprozessen sind urbane Überflutungen nicht einfach einer rechtlichen Grundlage zuordenbar. Es müssen dabei sowohl die grundlegende Europäische Norm für Entwässerungssysteme – EN 752 (2017) genauso wie die EU-Hochwasserrichtlinie - EC (2007) berücksichtigt werden.

Die Anwendung der Hochwasserrichtlinie in Österreich fordert dabei eine Risikobewertung von Gemeinden mit einer hohen Anzahl an potenziell Betroffenen in einer Überflutungsfläche (HQ300). Wobei die Überflutungsflächen aus verschiedensten Abflussuntersuchungen der Bundeswasserbauverwaltung (BWV) sowie der Wildbach - und Lawinenverbauung (WLV) stammen. Die Ergebnisse können im Wasserinformationssystem (WISA) eingesehen werden. Allerdings werden dabei nur fluviale Abflussuntersuchungen von vorhanden Abflussuntersuchungen ausgewertet, pluviale Ereignisse bleiben unberücksichtigt. Ebenso wurde nicht jedes Fließgewässer untersucht. Die Auswahl der zu untersuchenden Fließgewässer wird dabei individual von einzelnen Vertreter:innen der Bundesländer und des Bundes bestimmt und basiert dabei vor allem auf vergangene fluviale Überflutungsereignisse. (BMNT, 2018)

Durch all diese unterschiedlichen physikalischen Prozesse wie auch der rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Prävention von urbanen Überflutungen eine gesellschaftliche Aufgabe und die Regelung dieser nicht klar einer Verwaltungsabteilung des Bundes, Länder oder Gemeinden zuordenbar. Vielmehr ist ein Zusammenarbeiten erforderlich, welches durch bestehende Verwaltungsgrenzen bisher nicht ausreichend berücksichtigt wird. Eine solche Empfehlung wurde bereits zum Teil durch das Expert:innen Papier für Klimawandelanpassung für die Wasserwirtschaft zu pluvialen Überflutungen formuliert (ÖWAV, 2020).

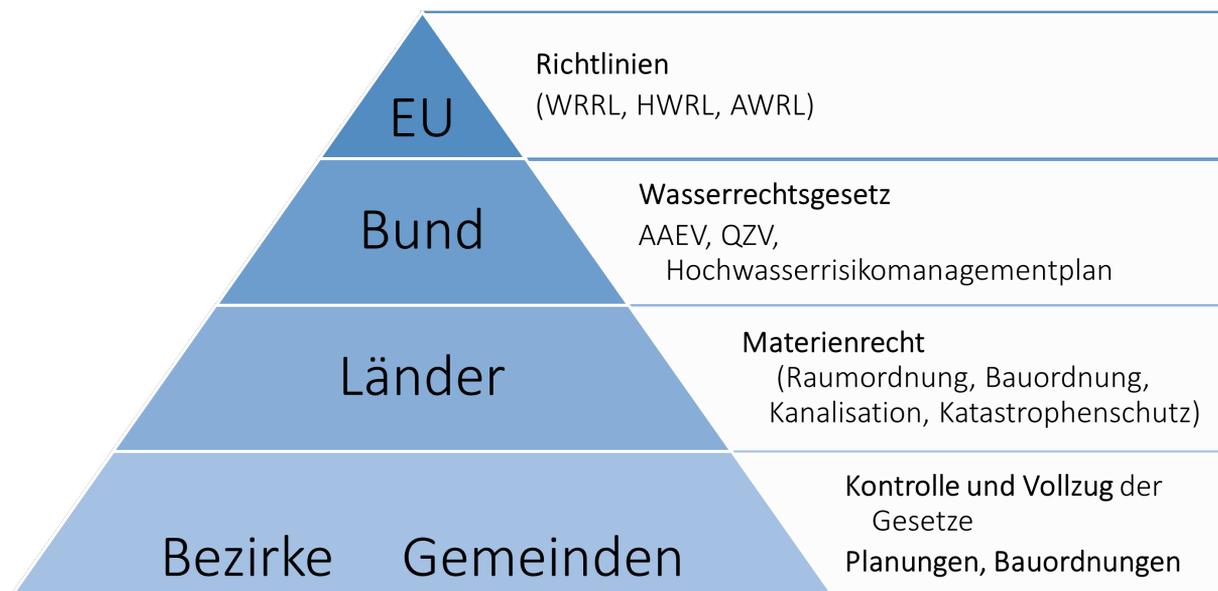
Definition urbane Überflutungen:

Urbane Überflutungen stellen eine Kombination aus mehreren Teilprozessen dar, welche sowohl pluvialen (oberirdisches Hangwasser in den Randbereichen, Oberflächenabfluss am Grundstück selbst und von benachbarten Flächen, Oberflächenabfluss des Entwässerungssystems) als auch fluvialen Ursprung (Abflussprozesse der Fließgewässer in den Außengebieten und im städtischen Einzugsgebiet selbst) zuordenbar sind.

4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Bewältigung von Störfällen und außerordentlichen Ereignissen in der urbanen Niederschlagswasserbewirtschaftung ist eine komplexe Aufgabe, die sowohl rechtliche als auch organisatorische Herausforderungen birgt. In diesem Kontext spielen das europäische Recht, nationales Recht sowie spezifische Bestimmungen auf Länderebene eine entscheidende Rolle (Abbildung 1).

Abbildung 1: Rechtlicher Rahmen für die Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich



Angelehnt an eine Darstellung aus dem Bericht „Hochwasserrisikomanagement in Österreich: Ziele – Maßnahmen – Beispiele“ vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018 (BMLRT, 2018)

In der Europäischen Union beeinflussen die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) und die Richtlinie zur Behandlung von kommunalem Abwasser (AWRL, 91/271/EEC) das Management von Niederschlagswasser und das Überflutungsrisikomanagement auf vielfältige Weise. Insbesondere in Extremsituationen wie Starkregen und anderen kritischen Betriebsbedingungen, in denen nicht das gesamte Abwasser behandelt werden kann, sind die Mitgliedstaaten durch diese Richtlinien dazu verpflichtet, Maßnahmen zur Begrenzung der Verschmutzung durch Mischwasserüberläufe und zur Förderung des nachhaltigen Umgangs mit Wasser zu ergreifen. Diese Maßnahmen tragen sowohl zur Niederschlagswasserbewirtschaftung als auch zur allgemeinen Wasserressourcenverwaltung bei.

Auf nationaler Ebene bildet das österreichische Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959) den Hauptrechtsrahmen für den Umgang mit Wasserressourcen. Jedoch enthält das WRG keine spezifischen Bestimmungen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung, sondern verweist lediglich auf die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV). Gemäß dieser Regelung soll „nicht oder nur geringfügig verschmutztes Niederschlagswasser aus einem Siedlungsgebiet mit Mischkanalisation, soweit örtlich möglich, vor dem Eintritt in die Kanalisation dem natürlichen ober- und unterirdischen Abflussgeschehen überlassen werden“ (§ 3 Abs. 3 letzter Satz d. AAEV). Ein zentrales Instrument zur Reduzierung der Hochwasserrisiken und Verbesserung des Überflutungsschutzes in Österreich sind die Hochwasserrisikomanagementpläne (HWRMP), die durch das WRG und auf EU-Ebene durch die Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (2007/60/EG) vorgeschrieben sind.

In Österreich konkretisiert die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) die Umsetzung der EU-WRRRL durch Überwachungsprogramme für Gewässer, einschließlich Kriterien für Messungen und Probenahmen. Während die GZÜV sich auf Messprogramme fokussiert, regelt der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) Maßnahmen zur Gewässerqualitätsverbesserung und wird alle sechs Jahre erneuert.

Unzureichende Maßnahmen in der Niederschlagswasserbewirtschaftung können zu einer Beeinträchtigung der Qualität von Oberflächen- und Grundwasser führen, wodurch die Einhaltung der Vorgaben der Qualitätszielverordnung (QZV) gefährdet wird. Die QZV unterteilt sich in die QZV Chemie Grundwasser, welche den chemischen Zustand von Grundwasser regelt, die QZV Chemie Oberflächengewässer, die den Zielzustand für Oberflächengewässer festlegt, und die QZV Ökologie Oberflächengewässer, die Qualitätskomponenten für den ökologischen Zustand von Oberflächengewässern bestimmt.

Auch die Bundesländer tragen wesentlich zum Überflutungsrisikomanagement bei, was sich in ihren jeweiligen Raumordnungsgesetzen, Bauordnungen und Kanalisationsgesetzen widerspiegelt. Hierbei werden Bestimmungen zur Einleitung in den Kanal und zur Gestaltung von Abwassergebühren festgelegt. Zusätzlich enthalten die Bauordnungen Vorschriften zum Schutz von Gebäuden vor Hochwasserschäden und können Anforderungen an die Bauweise und Lage von Gebäuden in Hochwassergefährdungsgebieten festlegen.

Die Natur- und Landschaftsschutzgesetze der Bundesländer enthalten oft spezielle Regelungen für den Bereich in der Nähe von Gewässern. Diese Regelungen können dazu führen, dass für gewässerbezogene Maßnahmen wie Pflege und Instandhaltung zusätzliche Genehmigungen erforderlich sind, unabhängig von den wasserrechtlichen Bestimmungen. Darüber hinaus müssen auch forstrechtliche Vorschriften beachtet werden.

Gemäß dem Bundesverfassungsgesetz (Art. 9, Art. 15 und Art. 79) sind die einzelnen Bundesländer in Österreich sowohl für den behördlichen als auch den technischen Katastrophenschutz zuständig. Ausnahmen gelten nur für besondere überregionale Bedrohungen wie etwa Blackout und Pandemien. Die Katastrophenschutzgesetze der Bundesländer regeln somit den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor Naturkatastrophen, einschließlich Hochwasser und urbane Überflutungen. Sie enthalten Bestimmungen zur Prävention, Warnung und Bewältigung von Hochwasserereignissen. In Katastrophenfällen sollen ehrenamtliche Organisationen einbezogen werden und die Selbsthilfe und Selbstvorsorge der Bevölkerung insgesamt gestärkt werden.

Die Raumordnungsgesetze der Bundesländer sind ebenfalls wichtiger Bestandteil des Überflutungsrisikomanagements. Diese Gesetze legen die Rahmenbedingungen für die Raumplanung fest und enthalten Anforderungen zum Schutz vor Hochwasser und anderen Naturgefahren. Im Gegensatz zu fluvialen Überflutungen gibt es derzeit in Österreich keine ausdrückliche gesetzliche Regelung für besonders gefährdete Flächennutzungen (z. B. Gebäude, Infrastrukturen) in Starkregenrisikogebieten oder Gebieten mit erhöhtem Risiko für urbane Überflutungen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, den Umgang mit urbanen Überflutungen im Rahmen der Raumplanung besser zu definieren und zu standardisieren. Die Raumplanung bietet verschiedene Instrumente, die zur Minderung von Überflutungsrisiken beitragen können:

- Örtliches Entwicklungskonzept (ÖEK): Dieses strategische Planungsinstrument erlaubt es, geeignetes Bauland zu identifizieren und mögliche Gefahrenbereiche zu erkennen, ohne rechtlich bindende Flächennutzungsentscheidungen treffen zu müssen.
- Flächenwidmungsplan (FWP): Dieses operative und rechtlich bindende Planungsinstrument kann zur Festlegung von Baugrundstücken verwendet werden, wobei auch Überflutungsrisiken berücksichtigt werden müssen.
- Bebauungsplan: Dieses Instrument kann zur Festlegung von Bebauungen, NWB-Maßnahmen und Schutzmaßnahmen auf lokaler Ebene (Gemeinde oder Teilgebiete) genutzt werden. Der sogenannte „B-Plan“ enthält detaillierte Bestimmungen für die Bebauung, Verkehrserschließung und Grünflächen.

Jedoch wird auch in den Raumordnungsgesetzen der Begriff „Oberflächenabfluss“ nicht speziell berücksichtigt, wodurch eine einheitliche Behandlung pluvialer sowie urbaner Überflutungen in der Raumordnung derzeit fehlt.

Gleiches gilt für die Bauordnungen der Bundesländer. Eine Festlegung baulicher Auflagen zur Anpassung an pluviale Überflutungsgefahren in der Bebauungsplanung für Neuerschließungen und Konversionsflächen ist eine aktuelle Empfehlung aus dem ÖWAV-Expert:innenpapier „Klimawandelanpassung WW – Pluviales Hochwasser/Oberflächenabfluss“ 2020.

Die Kanalisations-Gesetze der Bundesländer legen Bestimmungen zur Einleitung von Abwasser in den Kanal und zur Strukturierung von Abwassergebühren fest. In einigen Bundesländern gibt es Modelle, wie das Gebühren Splitting, durch das unter bestimmten Voraussetzungen die Kanalgebühr reduziert werden kann (Kroiss und Waitz, 2011). Bei der praktischen Umsetzung der NWB sind diverse rechtliche Instrumente vorhanden. Dazu zählen unter anderem Einleitungsverbote, finanzielle Anreize und verschiedene Gebührenmodelle. Bauliche Anforderungen zur Anpassung an potenzielle Überflutungen können direkt in den Bebauungsplänen festgelegt werden. Die Bebauungspläne sind jedoch nicht auf Landesebene, sondern werden auf der Ebene der Gemeinden erlassen.

5 Stand der Wissenschaft hinsichtlich Bemessung von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen

5.1 Problemstellung

Die Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich wie auch international steht aktuell vor großen Herausforderungen, besonders hinsichtlich der Problematik von pluvialen Überflutungen und zunehmenden Extremwetterereignissen (ÖWAV, 2020). Zum einen stehen viele Systeme der Siedlungsentwässerung am Ende ihrer Lebensdauer, zum anderen sind diese meist nicht auf größere hydraulische Belastungen bemessen, welche durch die klimatischen sowie räumlich strukturellen Veränderungen hervorgerufen werden (O'Donnell et al., 2020; Berndtsson et al., 2019). Diesbezüglich stellen vor allem die Folgen des Klimawandels sowie die steigende Versiegelungsrate im urbanen Raum die größten Herausforderungen in der Niederschlagswasserbewirtschaftung dar. Derzeit wird mit einer Zunahme des Wasserdampfvermögens von 7% pro Grad Celsius Erwärmung der Atmosphäre gerechnet (ZAMG, 2020). Dieser Zusammenhang wird mit Hilfe der Clausius–Claperon-Gleichung der Thermodynamik bestimmt. Dies führt zu höheren Niederschlagsintensitäten, welche die zentrale Eingangsgröße in der Bemessung von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen darstellen. Die hydraulische Belastung wird durch die voranschreitende Urbanisierung mit einer Erhöhung des Versiegelungsgrades zusätzlich verstärkt, da immer mehr natürliche Flächen in Siedlungsraum umgewandelt werden. In Österreich leben derzeit 58,75% der Bevölkerung in Städten größer 10 000 EW. Dies entspricht einer Steigerung um 1,35% in einem Zeitraum von 10 Jahren (Statistik Austria, 2020).

Die Grundlage für die Bemessung von entwässerungstechnischen Anlagen stellt die Europäische Norm ÖNORM EN 752 (2017) dar. Diese stellt den Umgang mit Ereignissen jenseits der Bemessungsgrenzen klar in die Verantwortung der jeweiligen Betreiber. Es wird darauf hingewiesen, dass die Bemessungsgrenzen über die erwarteten Kriterien hinausgehen, um die Funktionsfähigkeit auch bei zukünftigen Veränderungen hinsichtlich der hydraulischen Belastung gewährleisten zu können.

Durch die Vergrößerung der Städte in Fläche und Einwohnerzahl werden die Systeme der Niederschlagswasserbewirtschaftung immer komplexer, sodass immer mehr Hybridsysteme aus

Mischsystem im Zentrum und Trennsystem in den Randgebieten in Kombination mit dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen auftreten. Wobei eine Neuaufschließung von Siedlungsgebieten an Randlagen vorwiegend in Trennbauweise erfolgt und häufig der Grundsatz verfolgt wird das anfallende Niederschlagswasser mit dezentralen Anlagen zu bewirtschaften. Dieses Vorgehen soll vor allem das bestehende zentrale Entwässerungssystem, welches vorwiegend als Mischsystem vorliegt sowie die ARA in stark wachsenden Städten entlasten. Die einzelnen Teilsysteme, sowie die einzelnen Anlagen, unterliegen dabei einer starken Wechselwirkung, wodurch es immer komplexer wird, die Anlage sowie das gesamte System im Versagensfall beurteilen zu können.

Durch die aufgezeigten Punkte ist es notwendig, die Niederschlagswasserbewirtschaftung hinsichtlich des Umgangs mit außergewöhnlichen Ereignissen und außerplanmäßigen Betriebszuständen als Gesamtsystem zu verstehen und Wechselwirkungen der Teilsysteme bereits in der Planung zu berücksichtigen.

5.2 Konzepte der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Niederschlagswasser wird im Siedlungsraum mithilfe von unterschiedlichen Konzepten bewirtschaftet. Dazu gehören konventionelle Misch- oder Trennsysteme, die das Niederschlagswasser zentral ableiten und behandeln. Diese werden seit einiger Zeit immer häufiger mit dezentralen Anlagen im öffentlichen oder privaten Raum kombiniert und ergeben dadurch immer komplexere Hybridsysteme.

Ebenso beeinflussen die jeweiligen Bebauungspläne der Gemeinden die Wahl des Konzeptes maßgeblich, sodass es schwierig wird eine allgemein gültige Empfehlung auszusprechen, da dies sehr stark von den Rechtsgrundlagen der jeweiligen Region abhängig sind.

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Konzepte der Niederschlagswasserbewirtschaftung diskutiert sowie eine Übersicht über die derzeitige Situation in Österreich gegeben.

5.2.1 Konventionelle Niederschlagswasserbewirtschaftung

Konventionelle Systeme der Niederschlagswasserbewirtschaftung leiten Regenwasser in zentralen Anlagen ab, wobei sie oft seit vielen Jahrzehnten historisch gewachsen und auf hohe Lebensdauern ausgelegt sind. Dazu zählt das traditionelle Mischsystem, bei dem das Niederschlagswasser gemeinsam mit dem Schmutzwasser in einem Kanal abgeleitet wird. Konventionelle Mischsysteme finden sich vor allem im Stadtzentrum oder in älteren Gemeinden und

entsprechen heute nicht mehr dem Stand der Technik. Im Trennsystem wird das Niederschlags- und Schmutzwasser in voneinander getrennten Kanälen abgeleitet. Mischsysteme kommen häufig in Einzugsgebieten (EZG) mit hoher Bebauungsdichte und Einwohnerzahl vor, wiederum wird das Trennsystem häufig im ländlichen Raum mit einem höheren Anteil an Grünfläche, sowie in städtischen Randlagen umgesetzt. Beide Systeme sind auch in einer modifizierten Form möglich, bei denen nur behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser in die Mischwasserkanalisation bzw. den Regenwasserkanal im Trennsystem abgeleitet wird. Nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser wird am Ort der Entstehung dezentral versickert oder verdunstet und so dem natürlichen Wasserkreislauf rückgeführt. (ÖWAV, 2009)

Die konventionellen Systeme der Niederschlagswasserbewirtschaftung haben neben vielfältigen hydro- und ökologischen Nachteilen das Problem, dass sie nur sehr träge auf Veränderungen reagieren können. An sich wandelnde Randbedingungen wie den Klimawandel oder die Urbanisierung können sie sich nur bedingt anpassen. Dies hängt mit einer von Beginn an festen Bemessung und Dimensionierung auf Niederschlagsereignisse bestimmter Wiederkehrzeiten zusammen. Je nach Charakter des EZG wird das System auf eine feste Überstau- bzw. Überflutungshäufigkeit bemessen (Wiederkehrzeit bezogen auf die Überstauhäufigkeit zwischen $T = 2a$ und $T = 10a$). Starkregenereignisse halten sich aber nicht immer an die bei der Bemessung angewendeten Grenzwerte, sondern können auch Spitzenintensitäten mit einer Wiederkehrzeit größer 100 Jahre aufweisen. Der Umgang mit solchen außergewöhnlichen Ereignissen jenseits der Bemessungsgrenze stellt also eine besondere Herausforderung für die Planung und Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung dar und wird auch von der ÖNORM EN 752 als eines der wesentlichen Ziele gefordert.

5.2.2 Nachhaltige Niederschlagswasserbewirtschaftung

Um das Niederschlagswasser insgesamt nachhaltiger zu bewirtschaften und den vielfältigen negativen Effekten der zentralen Entwässerung entgegenzuwirken haben sich international zahlreiche Konzepte etabliert. Diese verfolgen grundsätzlich dieselben oder sehr ähnliche Ziele, weisen jedoch in einer Detailbetrachtung Unterschiede auf (Kleidorfer et al., 2019). Fletcher et al (2015) diskutieren die Konzepte einer nachhaltigen Siedlungsentwässerung und kommen dabei unter anderem auf folgende Begriffsdefinitionen, welche häufig international verwendet werden:

- **Low Impact Development (LID):** Minimierung der Kosten durch einen dem natürlichen Wasserkreislauf angepassten Ansatz der Niederschlagswasserbewirtschaftung (häufig angewendet in Neuseeland und Nordamerika).

- Water Sensitive Urban Drainage Design (WSUD): Dieses Konzept beinhaltet neben quantitativen Größen auch die qualitative Seite des Niederschlagswassers. Dabei rückt die Reinigungsleistung dezentraler Anlagen stärker in den Fokus, wodurch es eher einem integrierten Ansatz entspricht (Ursprünglich entwickelt in Australien).
- Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS): Dieser Ansatz verfolgt drei grundsätzliche Ziele, welche neben der Wasserquantität und Wasserqualität auch den Lebensraum sowie die Lebensqualität in einem System berücksichtigen. Daher handelt es sich hier am ehesten um einen multifunktionalen und integrierten Ansatz (entwickelt in Großbritannien).
- Sponge City: In den letzten Jahren wird auch vielfach das Konzept der „Sponge City“ in Bezug auf eine nachhaltige Niederschlagswasserbewirtschaftung verwendet. Dieses Konzept ist vor allem in China prominent, wo urbane Räume besonders schnell wachsen. Das übergeordnete Ziel dieses Konzeptes ist eine Abschwächung der Auswirkungen von Wasserproblemen, die zum einen durch zu viel Wasser (Überschwemmungen) und zum anderen durch zu wenig Wasser (Wasserknappheit oder verschmutztes Wasser (Wasserqualitätsprobleme) entstehen (Hu et al., 2018). Das gesamte städtische System wird daher als „Schwamm“ betrachtet, welcher wo es notwendig ist Wasser speichert, zurückführt oder behandelt.
- dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung (DNWB): Neben diesen weitläufig verwendeten internationalen Definitionen wird im deutschsprachigen Raum vielfach der Begriff dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung verwendet. Dieses Konzept beinhaltet neben Rückhalt, Behandlung, gedrosselter Ableitung, Versickerung und Verdunstung auch die Nutzung von Niederschlagswasser beispielsweise zur Toilettenspülung und der Bewässerung von Grünflächen (Sieker, 2007). Daher kombiniert dieser Ansatz neben den quantitativen Größen der natürlichen Wasserbilanz auch die qualitative Seite sowie eine mögliche Nutzung und trägt daher wesentlich zu einer nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung bei.

5.2.3 3 Point Approach als Ergänzung zur nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung

Bei der Anwendung eines nachhaltigen Konzepts der Niederschlagswasserbewirtschaftung wird schnell ersichtlich, dass dieses eine integrierte und multidisziplinäre Betrachtung erfordert. Daher sollten die einzelnen Systemkomponenten nicht rein technisch bewertet werden, sondern auch die Unsicherheiten von Natur und Gesellschaft berücksichtigen (Holzer, 2021). Dies wird beispielsweise über den von Fratini et al. (2012) entwickelten 3 Point Approach (3PA) berücksichtigt. Das vorrangige Ziel dieses Ansatzes ist nicht nur die negativen Auswirkungen von urbanen Überflutungen in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse rein quantitativ zu

berücksichtigen, sondern auch die jeweiligen unterschiedlichen Stakeholder von urbanen Entwässerungssystemen mit dem Thema der nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung zu sensibilisieren. Es sind daher neben rein quantitativen Konzepten auch Kommunikationsstrategien notwendig, um die unterschiedlichen Interessen der beteiligten Personen zu berücksichtigen und daraus sinnvolle Lösungsansätze zu entwickeln.

5.3 Stand der Technik bezüglich der Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung im D-A-CH Raum

Die nationalen Regelwerke bezüglich der Niederschlagswasserbewirtschaftung der D-A-CH Nationen Deutschland, Österreich und der Schweiz sind sehr stark miteinander verwandt und unterscheiden sich in ihren grundsätzlichen Konzepten kaum (Muschalla & Gruber, 2017; Rieckermann et al., 2017). Nur in einzelnen Detailbetrachtungen hinsichtlich der Bemessungsgrößen wie Niederschlagsverteilung oder Wiederkehrzeiten sowie empfohlenen Wartungsintervallen gibt es einzelne Unterscheidungen.

Aus den einzelnen Regelblättern des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), und des Verbandes Schweizer Abwasser –und Gewässerschutzfachleute (VSA) geht folgende Einteilung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung hervor:

- Anlagen der zentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung wie beispielsweise Mischwasserkanal, Regenwasserkanal, Schmutzwasserkanal, Entlastungsbauwerke (z. B. Mischwasserüberläufe) und Rückhaltebecken.
- Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung wie beispielsweise Versickerungsanlagen (z. B. Mulden-Rigolen Systeme), Gründächer oder Regenwasserzisternen.

5.3.1 Gesetze, Normen und Regelblätter für Anlagen der zentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung

Übergeordnete Rechtsgrundlage der Europäischen Union stellt die Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (2000) dar, welche den guten ökologischen und chemischen Zustand eines Gewässers mittels Schadstoffgrenzwerten regelt. In der Schweiz wird der Gewässerschutz in Form des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) und in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) geregelt, welche ähnliche Inhalte umfasst wie die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen

Union (Maurer et al., 2012). Basierend auf diesen Richtlinien werden die Vorgaben der Bemessung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden in der DIN EN 752 (2017) definiert, wobei diese für alle Mitglieder des Europäischen Komitees für Normung (CEN) gelten und daher den gesamten D-A-CH Raum umfasst (Holzer, 2021). In den einzelnen Ländern wiederum, werden basierend auf der EN 752 einzelne Regelblätter der nationalen Verbände wie ÖWAV, DWA und VSA veröffentlicht, welche den Stand der Technik hinsichtlich der Bemessung von zentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung definieren. Diese werden auch in regelmäßigen Abständen überarbeitet und neu veröffentlicht. In Österreich ist die Bemessung von zentralen Entwässerungssystemen im Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) sowie im Regelblatt 19 für Mischwasserentlastungen (ÖWAV, 2007) des ÖWAV definiert. In Deutschland ist dies in äquivalenter Form über das DWA Arbeitsblatt 118 (DWA, 2011) geregelt.

5.3.2 Normen, Regelblätter und Richtlinien für Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung

Die Bemessung von dezentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung ist ähnlich strukturiert wie die der zentralen Anlagen. Dabei ist in Österreich der Stand der Technik grundsätzlich über die ÖNORM B2506: Teil 1-Teil 3 geregelt und wird über die ÖWAV Regelblätter 45 (ÖWAV, 2015) und 35 (ÖWAV, 2019) praxisorientierter in regelmäßiger Überarbeitung veröffentlicht. In Deutschland wird dies über das DWA Arbeitsblatt 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser (2005) geregelt, welches sich in Überarbeitung befindet und derzeit als Gelbdruck vorliegt. Zusätzlich gibt es das DWA Arbeitsblatt 117: Bemessung von Regenrückhalteräume (DWA, 2013). In der Schweiz wird der Stand der Technik über das VSA Gesamtpaket: Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter (Baumgartner et al., 2019) definiert. Grundsätzlich verfolgen all diese Regelblätter im D-A-CH Raum das vorrangige Ziel einer nachhaltigen Niederschlagswasserbewirtschaftung, unterscheiden sich allerdings teilweise in den empfohlenen Bemessungsgrößen. Eine Besonderheit nehmen die Anlagen der Gründächer ein, da diese in Österreich nicht explizit in den Regelblättern, sondern direkt in den Normen wie der ÖNORM B 2501 - Entwässerungsanlagen für Gebäude - Ergänzende Richtlinien für die Planung, Ausführung und Prüfung (2016) behandelt werden.

5.3.3 Wartung und Betrieb von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Der Betrieb sowie die Wartung von dezentralen Anlagen wird in den jeweiligen Regelblättern definiert. In Deutschland (DWA-A-138-1) und der Schweiz (VSA Gesamtpaket: Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter) trifft dies auch für die zentralen Entwässerungsanlagen zu. Nur in Österreich wird der Betrieb und die Wartung gesondert in einem eigenen Regelblatt

definiert. Diesbezüglich bietet das Regelblatt 22 des ÖWAV einen umfassenden Überblick hinsichtlich der Wartung und des Betriebes von Kanalisationsanlagen, welches auch ein frei verfügbares Formblatt für die Betreiber zur Verfügung stellt.

5.3.4 Zusammenfassung der Bemessung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich

In diesem Kapitel wird der Stand der Technik hinsichtlich der Bemessung von zentralen und dezentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung übersichtlich für Österreich dargestellt. Neben den herkömmlichen Bemessungsgrößen wie Eintrittswahrscheinlichkeit der Zielfunktion (Überstau, Überflutung, etc.) werden auch die in den Regelblättern empfohlenen Niederschlagsverteilungen sowie die Kontroll- und Wartungsintervalle berücksichtigt.

Als wesentliche Bemessungsgrößen sind hier die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Überstaus der Anlage zu nennen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist abhängig von der Summe und Intensität des Niederschlags mit seiner zugehörigen Wiederkehrzeit. Zusätzlich ist auch die empfohlene Niederschlagsverteilung eine wichtige Eingangsgröße bei der Bemessung. Neben der Bemessung selbst müssen auch die Wartung sowie der Betrieb der Anlagen gewährleistet werden. In den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 1 bis Tabelle 2) sind die wesentlichen Bemessungsgrößen für die Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich übersichtlich zusammengefasst, wobei der Fokus vor allem auf der Wiederkehrzeit, der Niederschlagsverteilung sowie den empfohlenen Wartungs- bzw. Kontrollintervallen liegt.

Tabelle 1: Planung, Bemessung, und Betrieb von zentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Anlage	Bemessungsgröße	Niederschlagsverteilung	Wartung	Kontrolle
Mischwasserkanalisation,	Überstauhäufigkeit	Starkregenserie, Modell-	1x alle 3-5 Jahre oder be- darfs-orientiert	1x alle 3-6 Jahre oder bedarfs- orientiert
	Ländlich: 2a	regen und historische		
Regenwasserkanalisation	Wohngebiet: 3a	Regenereignisse		
	Stadtzentrum: 5a			
	Unterirdisch: 10a			
	Überflutungsnachweis			
	Ländlich: 10a			
	Wohngebiet: 20a			

Anlage	Bemessungsgröße	Niederschlagsverteilung	Wartung	Kontrolle
	Stadtzentrum: 30a Unterirdisch: 50a			
Mischwasserentlastungen	Mindestweiterleitungs-grad in Abhängigkeit der Einwohnerzahl des EZG	Niederschlagsserie $\geq 10a$	1x pro Jahr (Wartung der Messeinrichtung)	1x pro Monat

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Holzer, 2021)

Tabelle 2: Planung, Bemessung, und Betrieb von dezentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Anlage	Bemessungsgröße	Niederschlagsverteilung	Wartung	Kontrolle
Dezentrale Versickerungsanlagen	Überstauhäufigkeit: $T = 5a$	Blockregen	Halbjährlich (0,5a)	k. A.
Regenrückhaltebecken	Überschreitungshäufigkeit: angestrebter Wert = 3a	Niederschlagsserie $\geq 10a$ (T_n)	k. A.	1x im Monat oder bedarfsorientiert
Gründächer	Volumenbasierte Betrachtung $T = 5a$, Dauerstufe = 5min	Niederschlagsspenden	Halbjährlich (0,5a) – 1x pro Jahr	laufend

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Holzer, 2021)

6 Notwendige Betrachtung außergewöhnlicher Ereignisse

Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft können von einer Vielzahl von außergewöhnlichen Ereignissen und Betriebsstörungen betroffen sein, die sich negativ auf die Funktion des Entwässerungssystems auswirken. Im Folgenden werden basierend auf Literaturstudien und Betreiberbefragungen außergewöhnliche Ereignisse in der Siedlungswasserwirtschaft genauer definiert und dargestellt. Dabei erfolgt eine Klassifizierung hinsichtlich:

- Ursache
- Eintrittsgeschwindigkeit
- Dauer der Störung
- Vorhersagbarkeit
- Wirkung auf zentrale und dezentrale Anlagen
- Behebungsaufwand
- Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten

Außergewöhnliche Ereignisse können beispielsweise Starkregenereignisse sein, die ein Versagen von Anlagen oder Anlageteilen hervorrufen, genauso aber längere Trockenwetterperioden, die verstärkt zu Sedimentationen führen. Eine detaillierte Beschreibung aller relevanten außergewöhnlichen Ereignisse und Störfälle finden sich in Kapitel 0 und 6.2.

Ereignisse können dabei extern indiziert sein (z. B. Starkregen, Flusshochwasser oder Naturkatastrophen) oder interne Ursachen haben (z. B. Verstopfungen in Haltungen oder Planungsfehler). Zudem kann die Wirkung kurz in Form eines Schocks sein oder länger auf das System einwirken. Diese Unterscheidungen sind wichtig, um die Auswirkungen und die Dauer der Beeinträchtigung weiterführend zu analysieren.

6.1 Außergewöhnliche Ereignisse mit externer Ursache

Extern induzierte außergewöhnliche Ereignisse und Betriebsstörungen werden von Vorgängen und Ereignissen ausgelöst, die außerhalb der Siedlungswasserwirtschaft liegen und von außen das System beeinflussen. Auf die Ursache, sowie die Stärke des externen außergewöhnlichen Ereignisses haben Gemeinden und Betreiber der Siedlungswasserwirtschaft keinen oder einen nur eingeschränkten Einfluss. Dazu gehören außergewöhnliche Ereignisse und Betriebsstörungen aufgrund von Extremwetter und Klima-anomalien, aufgrund von natürlichen Vorgängen im Einzugsgebiet, aufgrund von externen technischen Problemen und aufgrund von sonstigen externen Störungen. Maßnahmen, um die Schwere des Ereignisses abzumildern konzentrieren sich diesbezüglich hauptsächlich auf die Verringerung der Auswirkungen und weniger auf die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit.

6.1.1 Wetter und Klima

6.1.1.1 Starkniederschlag

Starkniederschlag ist definiert als ein Niederschlagsereignis mit einer hohen Niederschlagsintensität (pro Zeiteinheit), welches zu lokalen Überflutungen führt und die Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft überlasten kann (Deister et al., 2016). Starkniederschläge treten häufig sehr kleinräumig in Form von sommerlichen Gewittern auf, sind dadurch schlecht vorherzusagen und nur von kurzer Dauer (Tabelle 3). Darüber hinaus können aber auch Dauerstufen > 1h zu umfangreichen Problemen im Kanalnetz und den angrenzenden Anlagen führen. Siedlungswasserwirtschaftliche Anlagen werden abhängig vom Schadenspotential und ihrer systemischen Bedeutung auf Starkniederschläge unterschiedlicher Wiederkehrzeiten bemessen (Kapitel 5.3) und können damit einen Großteil der Ereignisse schadfrei bewirtschaften. Sind die Anlagen aber schon durch andere Betriebsstörungen vorbelastet oder handelt es sich um ein

Ereignis jenseits der Bemessungsgrenzen ist mit umfangreichen Auswirkungen zu rechnen. Aufgrund des Klimawandels und der fortschreitenden Urbanisierung ist von einer Zunahme der Probleme durch Starkniederschläge auszugehen (Kleidorfer et al., 2019).

Abbildung 2: Urbaner Starkniederschlag



Quelle: Servin, 2015

Tabelle 3: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Starkniederschlag

Starkniederschlag	
Ursache	Wetter, Klimawandel
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	hydraulische Überlastung, Verstopfung und Beschädigung durch mitgeführte Feststoffe
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Überlastung, Eintrag von Sedimenten, Verstopfung von Einläufen, Vegetationsschäden durch lange Einstauzeiten, Kolmation
Behebungsaufwand	gering bis groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Überflutungsvorsorge durch Schaffung von Speichervolumen, Umleitung in weniger stark ausgelastete Kanäle, Barrieren, Notwasserwege, gezielte Überflutungen, Beachtung der überflutungsgefährdeten Bereiche bei der Bebauung, Rückstauklappen an Anschlussleitungen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Dimensionierung auf höhere Jährlichkeiten

6.1.1.2 Dauerregen

Dauerregen ist definiert als ein Niederschlagsereignis mit geringer bis mäßiger Intensität, welches über mehrere Stunden bis Tage anhält und in der Summe zu hohen Regenmengen führt. Zentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung werden in der Regel von Dauerregen nicht überlastet und können die Abflussspitzen ohne Probleme ableiten. Bei dezentralen Anlagen kann es insbesondere durch die Füllung von Speichern und die Sättigung des Bodens zu einer Überlastung von Anlagen kommen, insbesondere dann, wenn in den Dauerregen Starkregen eingelagert ist (Tabelle 4). Der Dauerregen führt vor allem in den äußeren Einzugsgebieten zu vielfältigen Problemen, die sich dann sekundär nachteilig auf die Niederschlagswasserbewirtschaftung auswirken können. Dazu gehören Hochwasser an Fließgewässern aller Größen mit dem Transport von Geschiebe und Totholz, der Verklausung von Einlaufbauwerken und der Blockade von Misch-

wasserentlastungen. Zusätzlich können Gemeinden durch Muren und Hangrutschungen gefährdet sein, die durch einen hohen Stoffeintrag auch Probleme für das Kanalnetz bedeuten können.

Abbildung 3: Dauerregen im urbanen Raum



Quelle: Funke, 2023

Tabelle 4: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Dauerregen

Dauerregen	
Ursache	Wetter, Klimawandel
Eintrittsgeschwindigkeit	Plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Stunden bis Tage
Vorhersagbarkeit	ja
Wirkung auf zentrale Anlagen	hydraulische Überlastung möglich, Verstopfung durch mitgeführte Feststoffe
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Überlastung, Eintrag von Sedimenten, Verstopfung von Einläufen, Vegetationsschäden durch lange Einstauzeiten, Kolmation
Behebungsaufwand	gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Überflutungsvorsorge durch Schaffung von Speichervolumen, Umleitung in weniger stark ausgelastete Kanäle, Barrieren, Notwasserwege, gezielte Überflutungen, Beachtung der überflutungsgefährdeten Bereiche bei der Bebauung, Rückstauklappen an Anschlussleitungen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Dimensionierung auf höhere Jährlichkeiten

6.1.1.3 Trockenheit und Dürre

Trockenheit und Dürren beschreiben eine Witterung über mehrere Wochen und Monate in der kaum oder gar kein Niederschlag fällt, mit daraus folgenden negativen Auswirkungen auf Böden, Vegetation und Wasserflächen. Damit sind vor allem dezentrale Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft direkt betroffen, wobei ohne Gegenmaßnahmen generell mit einer Abnahme der Leistungsfähigkeit gerechnet werden muss (Abbildung 4). Zentrale Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft sind vor allem indirekt betroffen, da die Spülwirkung des Regenwassers ausbleibt. Daraus können vor allem Verstopfungen und Geruchsbelastungen entstehen (BMLFUW, 2012).

Abbildung 4: Vertrockneter Boden aufgrund von Dürre



Quelle: Laker, 2017

Tabelle 5: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Trockenheit und Dürre

Trockenheit/Dürre	
Ursache	Wetter, Klimawandel
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Tage bis Wochen
Vorhersagbarkeit	ja
Wirkung auf zentrale Anlagen	Sedimentation und Verstopfungen, Korrosion, Geruchsbelastung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Vegetationsschäden, Erosion, Eintrag von Sedimenten, Kolmation
Behebungsaufwand	gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Spülstöße, Bewässerung grüner Infrastruktur, Straßenreinigung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	keine möglich

6.1.1.4 Unwetter und Sturm

Unwetter und Sturm beschreiben Wetterphänomene aufgrund von Gewittern, Stürmen oder Föhn, bei denen vor allem starker Wind und Blitzschlag relevant sind. Normalerweise sind diese für die unterirdisch gelegenen Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft wenig relevant, können aber im Zuge von Folgeerscheinungen wie Stromausfall, Ausfall der Kommunikationsnetze oder Verstopfung von Einläufen indirekt einen Einfluss nehmen (Abbildung 5). Dezentrale Anlagen wie Gründächer, teilversiegelte Oberflächen oder Versickerungsmulden können hingegen direkt betroffen sein, wobei mit Vegetationsschäden, Erosion und Eintrag von Sedimenten zu rechnen ist.

Abbildung 5: Gewitter mit Blitzeinschlag



Quelle: Bringer, 2019

Tabelle 6: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Unwetter und Sturm

Unwetter/Sturm	
Ursache	Wetter, Klimawandel
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Stunden
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	Stromausfall, Ausfall der Kommunikationsnetze, Verstopfung von Einläufen
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Vegetationsschäden, Verstopfung von Einläufen, Eintrag von Sedimenten
Behebungsaufwand	gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Sturmsicherung, regelmäßige Pflege, Straßenreinigung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	keine möglich

6.1.1.5 Schnee, Eis und Tauwetter

Schnee, Eis und Tauwetter beschreiben Auswirkungen aufgrund von winterlichen Witterungsverhältnissen mit Schneefall, starkem Frost oder Tauwetter (Abbildung 6). Anlagen der zentralen Siedlungswasserwirtschaft sind in der Regel aufgrund ihrer frostfreien Verlegung nur indirekt betroffen, wobei es durch die Blockade von Einläufen und starkem Tauwetter vor allem an der Oberfläche zu Problemen kommen kann (Zaqout, 2021). Daraus können zum Teil vergleichbare Überflutungen resultieren wie bei sommerlichen Starkniederschlägen. Dezentrale Anlagen sind während winterlicher Witterungsverhältnisse generell weniger leistungsfähig und wer-

den durch Schnee und Streusalz von angrenzenden Verkehrsflächen zusätzlich belastet.

Abbildung 6: Schneebedeckte Straße



Quelle: Ehlers, 2011

Tabelle 7: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Schnee, Eis und Tauwetter

Schnee/Eis/Tauwetter	
Ursache	Wetter, Klimawandel
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Stunden bis Monate
Vorhersagbarkeit	ja
Wirkung auf zentrale Anlagen	hydraulische Überlastung, Frost an Überläufen, Schiebern und Klappen, Verstopfung von Einläufen
Wirkung auf dezentrale Anlagen	verminderte Leistung von dezentralen Anlagen, Verstopfung/Blockade von Einläufen, Eintrag von Streusalz, Überflutung
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Sensibilisierung Winterdienst, regelmäßige Schneeräumung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Keine möglich

6.1.2 Natürlich

6.1.2.1 Flusshochwasser

Hochwasser in Fließgewässern entstehen durch intensiven Dauerregen, Schneeschmelze und Nutzbarmachung ehemaliger Retentionsflächen (Abbildung 7). Bei hohen Wasserständen im Fließgewässer kommt es bei fehlenden Rückstauklappen zu einem Rückstau in das Kanalnetz mit einer möglichen Überflutung von Kellern. Zusätzlich können für die Zeit des Hochwassers Überlaufbauwerke blockiert sein, was im Zusammenhang mit Niederschlag zu einem Rückstau im Kanalnetz führen kann. Direkte Hochwasserschäden aufgrund von Flusshochwasser werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Damit sind auch keine direkten Auswirkungen auf dezentrale Anlagen bekannt.

Abbildung 7: Flusshochwasser mit Überschwemmung angrenzender Flächen



Quelle: Rie, 2021

Tabelle 8: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Flusshochwasser

Flusshochwasser	
Ursache	Wetter, Schneeschmelze, Wasserbau
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Stunden bis Tage
Vorhersagbarkeit	ja
Wirkung auf zentrale Anlagen	Rückstau in das Kanalnetz, Blockade von Entlastungsbauwerken,
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Keine bekannt
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Rückstauklappen an Überlaufbauwerken, Rückstauklappen an Anschlussleitungen, angepasster Wasserbau mit ausreichend Retentionsflächen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	angepasster Wasserbau mit ausreichend Retentionsflächen, Flächenentsiegelung

6.1.2.2 Grundwasser

In Folge von Flusshochwasser, Starkniederschlägen, Dauerregen, Kanalabdichtungen und durch die Verwendung von durchlässigen Bettungsmaterialien kann es zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels kommen, welcher sich negativ auf Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft auswirkt (Tabelle 9). Dies vor allem wenn die Anlagen nicht auf einen Einsatz im Grundwasser ausgelegt sind oder schon Vorschäden aufweisen. Zum Beispiel kann es in Folge von Grundwasser zu Veränderungen in der Kanalbettung kommen, welche zu Haltenschäden und Haltungseinstürzen führen können (Bölke, 2009). Dezentrale Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft können durch hohe Grundwasserstände ebenfalls beschädigt werden oder leiden unter einer verminderten oder ausgefallenen Sickerleistung. Zusätzlich kann es zu Vegetationsschäden und Erosion kommen.

Abbildung 8: Schichtenwasser im Sickerschacht



Quelle: Lukaz2020, 2021

Tabelle 9: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Grundwasser

Grundwasser	
Ursache	Wetter, Flusshochwasser, Schichtenwasser, Kanalabdichtung
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Tage bis Wochen
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	Beschädigung bis Zerstörung von Anlagen, Eintrag von Grundwasser ins Kanalnetz
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Vegetationsschäden, Erosion, verringerte Sickerleistung, Beschädigung bis Zerstörung von unterirdischen Anlagen
Behebungsaufwand	gering bis groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	angepasste Planung und Ausführung in von Grundwasser gefährdeten Bereichen, bei Bettungsmaterial Einbau von Dichtriegeln
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung

6.1.2.3 Naturkatastrophen

Naturkatastrophen wie Erdbeben, Muren, Waldbrände, Lawinen, Bergstürze und Hangrutschungen können in vielfältiger Weise zentrale und dezentrale Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft beeinträchtigen oder zerstören (BMLFUW, 2010). Dabei sind die zentralen unterirdischen Anlagen zum Teil besser gegen einen Teil der Naturkatastrophen geschützt. In diesem Zusammenhang muss die Eintrittswahrscheinlichkeit der Naturkatastrophen mitberücksichtigt werden, die in den meisten Fällen sehr gering und nur für wenige Gemeinden relevant ist (Abbildung 9).

Abbildung 9: Murenabgang in einer kleinen Gemeinde



Quelle: BMLFUW, 2010

Tabelle 10: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Naturkatastrophen

Naturkatastrophen	
Ursache	Plattentektonik, Wetter, Klimawandel, Abholzung
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden, ggfs. Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Beschädigung bis Zerstörung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Beschädigung bis Zerstörung
Behebungsaufwand	groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Ausweisung von Gefahrenzonen, Notfallpläne, Sensibilisierung der Bevölkerung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Maßnahmen zur Prävention von Naturkatastrophen (z. B. Lawinen und Murenverbauungen)

6.1.3 Technisch

6.1.3.1 Stromausfall

Ein Stromausfall ausgehend von Unwetter-schäden, beschädigten Stromleitungen, Defekte in Stromnetzen oder Umspannwerken führt in der Regel zum Ausfall aller elektrisch betriebenen siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen. Dazu gehören Pumpwerke, Schieber, Sensoren und Hebeanlagen (Tabelle 11). Auf dezentraler Seite lassen sich ebenfalls Regenwassernutzungsanlagen und smarte Systeme dazu zählen. Bei einem längeren Stromausfall droht dabei vor allem ein Rückstau von Abwasser in der Kanalisation, welches bei fehlenden privaten Rückstauklappen in Keller eindringen kann (Glatz, 2018).

Deshalb sollten alle systemrelevanten Pumpwerke mit einem Notstromaggregat ausgestattet sein.

Abbildung 10: Reparatur von Stromleitungen



Quelle: L, 2016

Tabelle 11: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Stromausfall

Stromausfall	
Ursache	Unwetter, Beschädigung der Stromleitung, Defekt im Stromnetz oder Umspannwerk
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden, ggfs. Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Ausfall von strombetriebenen Anlagen u.a. Pumpen, dadurch Rückstau, Überflutung, Gewässerverschmutzung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Ausfall von strombetriebenen Anlagen u.a. Pumpen, dadurch Rückstau, Überflutung, Gewässerverschmutzung
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Bereitschaftsdienst beim Stromanbieter und beim Abwasserbetrieb zur manuellen Bedienung von Schiebern, Bereitstellung von Notstromaggregaten, Ausstattung kritischer Bauteile mit festen Notstromaggregaten
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion und Wartung, Unwetter sind nicht zu verhindern

6.1.3.2 Ausfall der Kommunikationsnetze

Der Ausfall von Kommunikationsnetzen durch Unwetter, Beschädigungen oder Wartungsarbeiten betrifft siedlungswasserwirtschaftliche Anlagen nur indirekt, da die meisten Systeme wenig vernetzt und nur lokal gesteuert sind. Trotzdem ist mit einer zunehmenden Digitalisierung der Siedlungswasserwirtschaft und einem Anstieg an smarten dezentralen Systemen von einer steigenden Bedeutung dieser Betriebsstörung auszugehen (Abbildung 11).

Abbildung 11: Reparatur von Kommunikationsnetzen



Quelle: Engineer, 2017

Tabelle 12: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall der Kommunikationsnetze

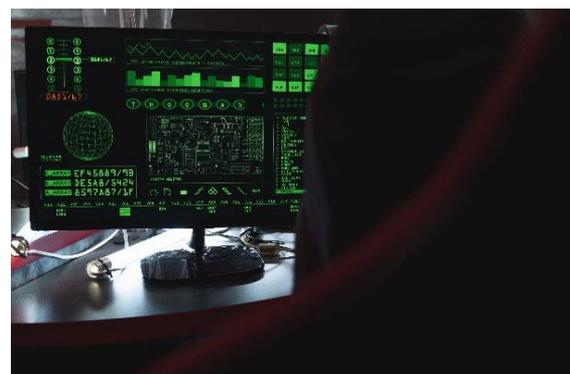
Ausfall Kommunikationsnetze	
Ursache	Unwetter, Beschädigung von Antennen, (Wartungsarbeiten)
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden, ggfs. Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Ausfall von Anlagen mit Sensoren u.a. Pumpwerke, Kläranlagen, Schieber
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Ausfall von Anlagen mit Sensoren u.a. smarte dezentrale Anlagen, Regenwasserzisternen
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Bereitschaftsdienst beim Kommunikationsanbieter und beim Abwasserbetrieb zur manuellen Bedienung von Anlagen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion und Wartung

6.1.3.3 Sabotage durch Cyberangriff oder Terrorismus

Sabotage und Cyberangriffe spielen bisher in der wenig vernetzten Siedlungswasserwirtschaft keine bedeutende Rolle, könnten aber wie die Betriebsstörung „Ausfall der Kommunikationsnetze“ in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft werden nach der EU-Richtlinie 2008/114/EG (EU, 2018) als kritische Infrastrukturen eingestuft und sind deswegen besonders schützenswert. Vor allem kleine und mittlere Gemeinden weisen im Bereich Cybersicherheit größere Lücken auf und sind daher für Angreifer leicht zu attackieren (Abbildung 12). Unabhängig von der Größe sollten Unternehmen und Gemeinden externe professionelle Un-

terstützung erhalten, um die Infrastrukturen bestmöglich zu schützen (Zimmermann et al., 2020).

Abbildung 12: Cyberangriff



Quelle: Miroshnichenko, 2020

Tabelle 13: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Sabotage durch Cyberangriff oder Terrorismus

Sabotage (Cyberangriff und Terrorismus)	
Ursache	fehlende-Sicherheitsmaßnahmen (IT, Daten- und Objektschutz)
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden, ggfs. Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Ausfall bzw. Fehlsteuerung von Anlagen, Zerstörung oder Kontamination von zentralen Anlagen
Wirkung auf dezentrale Anlagen	zurzeit keine relevanten
Behebungsaufwand	Gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Bereitschaftsdienst zur manuellen Bedienung von Anlagen, IT-Expert:innen zur Erkennung und Behebung von Sabotage und Cyberangriffen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	angepasste Sicherheitsmaßnahmen (IT und Objektschutz)

6.1.3.4 Kontamination mit Gefahrenstoffen

Gefährliche Schadstoffe können durch Straßenunfälle, vor allem bei der Beteiligung von Tankwagen, Industrieunfälle oder Störungen in Betrieben oder durch kontaminiertes Löschwasser in das Kanalnetz eingetragen werden (Tabelle 14). Dies gefährdet die Reinigungsstufen des angeschlossenen Klärwerks, die umliegenden Gewässer und durch den möglichen Austritt von giftigen Gasen auch Personen. In einer koordinierten Vorgehensweise von Kanalnetzbetreiber und Feuerwehr gilt es die Austrittsquelle schnellstmöglich abzudichten, die oberflächliche Ausbreitung einzugrenzen und durch ggfs. eine Schließung von Schiebern und Absperrvorrichtungen eine Ausbreitung im Kanalnetz bestmöglich zu verhindern. Mithilfe von

Spül- oder Saugwagen kann die Kontamination im Kanal ggfs. behoben oder abgemildert werden (ÖBFV, 2016).

Abbildung 13: Löscharbeiten beim Großbrand eines Reifenlagers



Quelle: MUEFF, 2019

Tabelle 14: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Kontamination mit Gefahrenstoffen

Kontamination mit Gefahrenstoffen	
Ursache	Verkehrsunfälle, Brände, Betriebsunfälle
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Minuten bis Stunden
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Gewässerverschmutzung, Rückstau
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Kontamination des Bodens, notwendiger Austausch von Substraten
Behebungsaufwand	Gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Koordination von Feuerwehr Kanalnetzbetreiber und Behörden, Auffangen und Abdichten der Austrittsquelle, ggfs. Betätigung von Schiebern und Absperrvorrichtungen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Verkehrssicherheit, Brandschutz, Trennung von industriellen und kommunalen Netzen

6.1.4 Sonstige externe Störungen

6.1.4.1 Unsachgemäßer Betrieb (privat)

Durch einen unsachgemäßen Betrieb von Privatpersonen kann die Leistungsfähigkeit von dezentralen Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft vor allem im privaten Bereich deutlich eingeschränkt sein. Zusätzlich ist bei den zentralen Anlagen durch Fehlanschlüsse und unsachgemäße Entsorgung von einer zusätzlichen Belastung auszugehen (Tabelle 15). Dies geschieht vor allem durch eine nicht fachgerechte Bauausführung, fehlende Wartung und Pflege, Fehlbetrieb von Anlagen (z. B. Verwendung eines Sickerschachts als Zisterne) oder Fehlanschlüsse an das zentrale Entwässerungsnetz (MUNLV, 2009). Maßnahmen gegen dieses Problem gestalten sich als schwierig, da sie sich hauptsächlich auf privatem Grund abspielen.

Neben einer fortlaufenden Sensibilisierung von Bürgern und einer Kontrolle von Fehl-

anschlüssen könnte auch eine vorgeschriebene Bauabnahme von privaten dezentralen Anlagen einen Teil der Probleme lösen.

Abbildung 14: Unsachgemäßer Betrieb im privaten Bereich



Quelle: MUNLV, 2009

Tabelle 15: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis unsachgemäßer Betrieb (privat)

Unsachgemäßer Betrieb (privat)	
Ursache	fehlendes Verständnis und Sensibilisierung, Mutwilligkeit
Eintrittsgeschwindigkeit	Plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Stunden bis Jahre
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Fehlanschlüsse, hydraulische Überlastung, nicht sachgemäße Entsorgung, Gewässerverschmutzung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	vielfältig; Fehlanschluss und Fehlbetrieb von Anlagen, fehlende Wartung und Pflege, Vegetationsschäden, Reduktion der Wirksamkeit
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Keine bekannt
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	Abnahme von dezentralen privaten Anlagen, Sensibilisierung von Bürgern. Kontrolle von Fehlanschlüssen

6.1.4.2 Kolmation von Versickerungsanlagen

Versickerungsanlagen unterliegen einem Alterungsprozess, der ihre Leistungsfähigkeit mit der Zeit abnehmen lässt. Dies ist neben der Abnahme des Einstauvolumens vor allem auf die Kolmation des Muldensubstrats mit feinen Sedimenten zurückzuführen. Damit geht zum Teil ein deutlicher Rückgang der Infiltrationsleistung einher, welcher zu längeren Einstauzeiten und häufigeren Überläufen führt (Tabelle 16). Dieser Prozess lässt sich durch eine regelmäßige Pflege und Wartung der Versickerungsanlage deutlich verlangsamen aber nie ganz verhindern. Nach einer gewissen Zeit kann ein Austausch der oberen Substratschichten nötig sein, um die ursprüngliche Leistungsfähigkeit der Anlage wiederherzustellen. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen einen Zusammenhang zwischen der Hauptbodenart und der Kolmationsgeschwindigkeit auf, wobei

schluff- und tonhaltige Böden deutlich gefährdeter als sandhaltige sind (Kluge et al., 2016).

Abbildung 15: Kolmatisierte Versickerungsanlage



Quelle: SENUM, 2010

Tabelle 16: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Kolmation von Versickerungsanlagen

Kolmation von Versickerungsanlagen	
Ursache	Starkniederschlag, Trockenheit, Schnee und Eis, Vegetationsschäden, fehlende Wartung und Pflege, falsche Dimensionierung, falsche Bewirtschaftung angrenzender Flächen
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Wochen bis Monate
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	hydraulische Überlastung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	verminderte Leistung, Überstau, Überflutung
Behebungsaufwand	Gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Entfernung von Ablagerungen, Austausch der Filterschicht, gärtnerische Pflege, Entfernung von Laub und Störstoffen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion, Wartung und Pflege, ggfs. Bewässerung in Trockenzeiten

6.1.4.3 Verstopfung und Verklausung von Einläufen

Einläufe in das zentrale Kanalnetz (Straßen-einläufe und Einlaufbauwerke) und Einläufe von dezentralen Anlagen könnten durch Laub, Äste, Schlamm, Schnee/Eis und Schwemmgut teilweise oder vollständig blockiert sein (Tabelle 17). Dies kann in Zusammenhang mit Starkniederschlagsereignissen je nach Schweregrad der Verstopfung oder Verklausung und der Bedeutung des Einlaufs zu klein- bis großräumigen Überschwemmungen führen. Einer regelmäßigen Pflege und Wartung der Einläufe zu allen Jahreszeiten, sowie ein Notfalldienst zur schnellen Behebung von schwerwiegenden Verstopfungen und Verklausungen kommt bei der Prävention von urbanen Überflutungen eine übergeordnete Bedeutung zu. Labor und Feldversuche zu Verstopfung von Einläufen zeigen, dass einfaches Laub nur zu einer geringen Abnahme der Aufnahmekapazität führt (Schlenkhoff et al., 2018; Kemper, 2018).

Abbildung 16: Verklausung eines Einlaufs



Quelle: Michael Reinstaller, 2021

Tabelle 17: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verstopfung und Verklausung von Einläufen

Verstopfung/Verklausung von Einläufen	
Ursache	Starkniederschlag, Unwetter und Sturm, Schnee und Eis, Fehlende Pflege und Wartung, unregelmäßige Straßenreinigung
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Stunden bis Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	eingeschränkter oder fehlender Zulauf, Überflutung an der Oberfläche
Wirkung auf dezentrale Anlagen	eingeschränkter oder fehlender Zu-, Über- oder Ablauf, Überstau und Überflutung
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Notfalldienst zur schnellen Behebung von Verstopfungen und Verklausungen, Straßenreinigung, Winterdienst
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion, Wartung und Pflege, Straßenreinigung, Winterdienst

6.2 Außergewöhnliche Ereignisse mit interner Ursache

Als zweite Überkategorie in der Einteilung außergewöhnlicher Ereignisse sind Ereignisse mit internen Ursachen definiert. Intern induzierte außergewöhnliche Ereignisse und Betriebsstörungen werden von Vorgängen und Ereignissen ausgelöst, die innerhalb der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) liegen und von äußeren Einflüssen im Wesentlichen unabhängig sind. Auf das Eintreten, sowie auf die Stärke der Auswirkungen haben Gemeinden und Betreiber der Siedlungswasserwirtschaft einen klaren Einfluss. Somit ist ein Handlungsbedarf gegeben, um die Eintrittswahrscheinlichkeit solcher Ereignisse und den damit assoziierten Betriebsstörungen auf ein Minimum zu reduzieren. Die Ereignisse in dieser Kategorie können folgendermaßen eingeteilt werden: I) technisch; II) personell.

6.2.1 Technisch

6.2.1.1 Pumpwerksausfall

Ein Pumpwerksausfall kann dann vorkommen, wenn es zu einem Stromausfall kommt und keine Notstromversorgung vorhanden ist. Ein Leitungsdefekt seitens des Elektrizitätsversorgungsunternehmens oder ein Trafoausfall können zum Ausfall von Pumpen und zur Gefährdung der Entsorgungssicherheit und/oder ungeplante Entlastung von ungereinigtem Abwasser in den Vorfluter führen (Tabelle 18). Weiters kann diese Betriebsstörung eintreten, wenn die Pumpen aufgrund von Fremdkörpern im Abwasser verstopfen (Bold & Pfeiffer, 2004). Ein Defekt in den Bauteilen der Pumpe sowie menschliches Versagen ist auch als mögliche Ursache zu nennen. Falsche Betriebsweisen, Entscheidungen, Versäumnisse in Kontrolle und Wartung können dazu führen, dass wichtige Pumpen entweder eine verringerte Leistung erbringen, oder zur Gänze ausfallen. In diesem Fall ist ein rasches Erkennen des Pumpwerksausfalls und eine zügige Ortung der Problemstelle von großer Bedeutung.

Ältere Anlagen können mit einem Notstromaggregat nachgerüstet werden. Als Folge einer Störung der Pumpstation kann es zu Überflutungen und Umweltbeeinträchtigungen kommen. Des Weiteren können Schäden an der Pumpstation oder der Pumpendruckleitung durch plötzliche Störungen (z. B. einen Stromausfall) auftreten. Dies umfasst Schäden an Leitungen, Befestigungselementen, Widerlagern, Absperrarmaturen sowie an der Pumpe selbst (Gujer 2007; ÖNORM EN 16932-1).

Abbildung 17: Pumpwerksausfall



Quelle: Hennecke & Kempf, 2017

Tabelle 18: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Pumpwerksausfall

Pumpwerksausfall	
Ursache	Defekt, Überflutung, Verstopfung, Stromausfall, menschliches Versagen
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Stunden bis Tage
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	Verhinderung des Abflusses, Rückstau, Überflutung, Gewässerverschmutzung
Wirkung auf dezentrale Anlagen	keine
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	schnelle Behebung der Störung durch Bereitschaftsdienst, Umleitung des Wassers
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion und Wartung

6.2.1.2 Ausfall von Sensoren und Kontrollsystemen

Ein Sensorausfall kann plötzlich eintreten und verschiedene Ursachen haben. In Bezug auf interne Ursachen sind vor allem unsachgemäßer Betrieb und fehlende beziehungsweise unzureichende Inspektion und Wartung zu nennen. Anlagen die mit Sensoren für eine „Real-Time-Control“ Steuerung (RTC) ausgestattet sind, sind bei dieser Betriebsstörung in erster Linie betroffen. Es kann dadurch auch über einen längeren Zeitraum (Wochen), wenn der Sensorausfall unentdeckt bleibt, zu einem Versagen der betroffenen Anlage kommen (Tabelle 19). Wenn der Ausfall rechtzeitig erkannt und die entsprechenden Sensoren geortet wurden, ist die Behebung einer solchen Betriebsstörung mit einem geringen Aufwand verbunden. Hierfür braucht es die Einteilung der entsprechenden Zuständigkeiten in Kanalbetrieben,

beispielsweise einen Bereitschaftsdienst beim Kommunikationsanbieter, sowie Personal zur manuellen Bedienung von Anlagen (LFU, 2016).

Abbildung 18: Sensoren im Kanalsystem



Quelle: Arbeitsbereich Umwelttechnik UIBK

Tabelle 19: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall von Sensoren und Kontrollsystemen

Ausfall von Sensoren/Kontrollsysteme	
Ursache	Stromausfall, Ausfall Kommunikationsnetze, Sabotage, fehlende Inspektion und Wartung, unsachgemäßer Betrieb,
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Stunden bis Wochen
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Ausfall von Anlagen mit Sensoren u.a. Pumpwerke, Kläranlagen, Schieber
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Ausfall von Anlagen mit Sensoren u.a. smarte dezentrale Anlagen, Regenwasserzisternen
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Bereitschaftsdienst beim Kommunikationsanbieter und beim Abwasserbetrieb zur manuellen Bedienung von Anlagen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion und Wartung

6.2.1.3 Verstopfungen

Verstopfungen in Leitungen und Pumpen können unterschiedliche Ursachen haben. Zum einen kann eine falsche Dimensionierung der Anlagen zu Verstopfungen führen, zum anderen sind auch fehlende Reinigung und Wartung der Anlagen als mögliche Ursachen zu nennen (Tabelle 20). Trockenheit und länger anhaltende Dürreperioden können ebenfalls Verstopfungen auslösen, da der geringere Durchfluss ein höheres Sedimentationsgeschehen zur Folge haben kann. Die unsachgemäße Entsorgung von Abfallprodukten über die häusliche Kanalisation ist ein häufiger Grund für Verstopfungen in Kanalhaltungen, Pumpen und Rechenanlagen. Diese Betriebsstörung kann sowohl plötzlich als auch schleichend auftreten, und sollte so rasch wie möglich erkannt und behoben werden, um größere Schäden zu verhindern. Als häufigste Folge von Verstopfungen ist der Kanalrückstau durch eine Verringerung des Kanalquerschnitts zu nennen. Die hydraulische Leistungsfähigkeit nimmt ab, die Speicherkapazität des Kanalvolumens wird reduziert und die Rauigkeit wird erhöht. Zudem kann es durch Verstopfungen zu einer erhöhten Gasbildung kommen wie zum Beispiel Schwefelwasserstoff und Methan, die in

weiterer Folge zu einer verstärkten Kanal-korrosion führen können. Der Behebungsaufwand hängt von dem Ausmaß der Verstopfung ab, und kann als gering bis mittel eingestuft werden (RUB & IKT, 2015; Schmitt, 1992).

Abbildung 19: Verstopfung und Ablagerungen im Kanal



Quelle: Amt der Salzburger Landesregierung, 2016

Tabelle 20: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verstopfungen

Verstopfungen	
Ursache	falsche Dimensionierung, fehlende Reinigung und Wartung, Trockenheit, Alter, nicht sachgemäße Entsorgung von Abfallprodukten
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Stunden bis Wochen
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	Rückstau, Verkleinerung des Kanalquerschnitts, Überstau, Beschädigung von Haltungen durch Gasbildung (H ₂ S, CH ₄) und biogene Schwefelsäurekorrosion
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Rückstau
Behebungsaufwand	Gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	schnelle Behebung der Störung durch Bereitschaftsdienst, Spülstöße, Wasserhaltung durch Saugfahrzeuge oder mobile Pumpen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Reinigung, Wartung und Inspektion, angemessene Dimensionierung, Bürgersensibilisierung, Zerkleinerer in Abwasseranlagen

6.2.1.4 Verzopfungen

Unter Verzopfung ist eine spezielle Form der Verstopfung zu verstehen. Eine Anhäufung von Faserstoffen (vor allem langfaserige Stoffe) können zu Verstopfungen von Kanalhaltungen, Rechen, Laufrad-Kanälen und im Radseitenraum führen. Zopfartige Stränge die als „betonartig“ beschrieben werden entstehen in erster Linie durch die Ansammlung von Kosmetiktüchern, Wattestäbchen und Textilien, die über das häusliche Misch- und Schmutzwasser in die Anlagen gelangen, sich dort im zirkulierenden Abwasserstrom verdrehen und im Laufrad festsetzen (Tabelle 21). Bei einer Verzopfung in Pumpen, Rechen und Haltungen kann es zu Rückstau, Überstau und Pumpwerksausfall kommen. Zur Verringerung dieser Auswirkungen können betroffene Stellen und Anlagenteile ausgebaut und gesäubert werden. Ersatzpumpen und Zerkleinerer in Abwasseranlagen zählen auch zu wirkungsvollen Präventivmaßnahmen. Ebenso ist es sinnvoll größere Anlagen redundant auszuführen, um den Betrieb bei einem Ausfall sicherstellen zu können (z. B.

bei Pumpwerksausfall). Auf lange Sicht spielen die regelmäßige und angemessene Wartung und Pflege der Anlagen, sowie eine Sensibilisierung der Bürger über die Folgen einer unsachgemäßen Entsorgung von häuslichen Abfällen über die Kanalisation eine bedeutende Rolle (Umweltjournal, 2019).

Abbildung 20: Verzopfung im Pumpwerk



Quelle: EGLV, 2016

Tabelle 21: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verzopfungen

Verzopfungen	
Ursache	fehlende Reinigung und Wartung, nicht sachgemäße Entsorgung von Abfallprodukten
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Stunden bis Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	Rückstau, Überstau, Pumpwerksausfall
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Rückstau in dezentrale Anlagen
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Ausbau und Säuberung der Pumpe, Förderung mit Ersatzpumpen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Wartung und Pflege, Bürgersensibilisierung, Zerkleinerer in Abwasseranlagen

6.2.1.5 Haltungsschäden und Haltungseinstürze

Durch Alterung, Verschleiß und Überlastung kann es zu Haltungsschäden und im schlimmsten Fall zu Haltungseinstürzen kommen. Hierbei können bestehende kleine Risse zu größeren Rissen heranwachsen und über die Zeit unbemerkt zu Betriebsstörungen oder gar Ausfällen führen. Die Vorhersagbarkeit dieses Lastfalls ist teilweise gegeben, weil Gemeinden und Betriebe durch eine regelmäßige Inspektion der Kanalhaltungen die Zustandsklassen und den entsprechenden Handlungsbedarf dokumentieren und bewerten können (Tabelle 22). In Folge von Haltungsschäden und Haltungseinstürzen kann es zur Kontamination des umliegenden Bodenkörpers kommen, sowie zu Fremdwasserinfiltration, Rückstau und Überstau. Eine rasche Behebung der Störung durch den Bereitschaftsdienst ist der primäre Weg, um die Auswirkungen auf Anlagen und ihr Umfeld zu minimieren. Die Reparatur von kleinen Schäden, wie etwa Rissen in der Kanalhaltungswand, kann verhindern, dass es zu schwerwiegenden Schäden und schlimmeren Folgen kommt, und ist in den meisten Fällen kostengünstiger als die Reparatur und der Ersatz einer eingestürzten Haltung (RUB & IKT, 2015).

Abbildung 21: Beschädigung einer Rohrleitung



Quelle: Umweltbundesamt, 2019

Tabelle 22: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Haltungsschäden und Haltungseinstürze

Haltungsschäden und Haltungseinstürze	
Ursache	Alterung, Lastüberschreitung, bereits vorhandene Risse, Korrosion
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Tage bis Wochen
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	Kontamination des Bodens, Fremdwasserinfiltration, Rückstau, Überstau, Verstopfungen
Wirkung auf dezentrale Anlagen	Rückstau
Behebungsaufwand	Gering bis groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	schnelle Behebung der Störung durch Bereitschaftsdienst, Wasserhaltung durch Saugfahrzeuge oder mobile Pumpen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Inspektion und Zustandsbewertung, Reparatur von kleinen Schäden

6.2.2 Personell

6.2.2.1 Ausführungsfehler

Ausführungsfehler sind eine wesentliche Problematik im Bau von NWB Anlagen, die sich in weiterer Folge auf den Betrieb und auf die Leistungsfähigkeit der Anlagen auswirken können. In der Bauausführung und in der Bauleitung können zahlreiche Fehler auftreten, die teils kleine bis schwerwiegende Folgen für die Leistung der Anlagen mit sich bringen. Bei dezentralen Anlagen sind in erster Linie Fehlanschlüsse, Undichtigkeiten und die Verdichtung von Substraten (Versickerungsanlagen) zu beachten (Tabelle 23). Bei Versickerungsanlagen können Mängel an Böschungen und Grundstücksgrenzen einen zu geringen Zufluss zur Anlage verursachen. In steilen und kahlen Bereichen kann es zudem zur Erosion kommen. Klare Anweisungen und eine explizite Planung sind zur korrekten Ausführung dezentraler Anlagen wesentlich. Einläufe, Überläufe und Drosseln sollten auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft, und auf die angemessene Körnung des gewählten Filtermaterials geachtet werden. Bei zentralen Anlagen sind vor allem Fehlanschlüsse, der Verschleiß von Anlagenteilen sowie Haltenschäden und Undichtigkeiten als Folgen von Ausführungsfehlern zu nennen. Der Behebungsaufwand reicht von gering bis hin zu groß, je nach Art und Aus-

maß der Ausführungsfehler. Externe Baumaßnahmen oberhalb von Kanälen oder angrenzend an Kanäle können zu einer übermäßigen Belastung der Kanalhaltungen führen und das Schadensrisiko erhöhen (CEN, 2017).

Abbildung 22: Ausführungsfehler bei Kanalarbeiten



Quelle: Umweltbundesamt, 2019

Tabelle 23: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausführungsfehler

Ausführungsfehler	
Ursache	mögliche vielfältige Fehler bei Bauausführung und -leitung
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Monate bis Jahre
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	vielfältig; Fehlschlüsse, Verschleiß und Korrosion, Haltungsschäden und -einstürze durch übermäßige Belastung, Undichtigkeiten, Behinderung des Zugangs von Unterhaltungspersonal oder Ausrüstung in Schächte oder Inspektionsöffnungen, Abwasserpumpstationen oder andere angeschlossene Bauwerke
Wirkung auf dezentrale Anlagen	vielfältig; Fehlschluss, Undichtigkeiten, Verdichtung von Substraten, Vegetationsschäden, Erosion
Behebungsaufwand	gering bis groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Maßnahmen abhängig vom genauen Fehler
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	dezidierte Bauaufsicht und -abnahme aller relevanten Anlagen, regelmäßige Fort- und Weiterbildungen

6.2.2.2 Planungsfehler

Planungsfehler können vielseitige Auswirkungen auf die Funktionalität von Anlagen(-teilen) haben, je nach Art und Ausmaß des Planungsfehlers. Bereits in der Dimensionierung und Platzierung der Anlagen können Fehler auftreten, die erst nach der Inbetriebnahme Wirkungen zeigen (Tabelle 24). Sowohl unter- als auch überdimensionierte Anlagen führen zu ungünstigen Betriebsbedingungen. Bei dezentralen Anlagen können Planungsfehler zu Vegetations- und Erosionsschäden, sowie zu geringen oder zu großen Rückhaltekapazitäten führen. Bei den zentralen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen kann es zu Überstau und Überflutungen oder zu häufigen Entlastungen von Überlaufbauwerken kommen. Während der Bauphase und bei unzureichender Projektkoordination kann es zu Fehlern durch Dritte (externe Firmen) kommen. Das Leitungsinformationssystem (LIS) sollte auf dem neuesten Stand gehalten, und die Auflagen in Baube-

scheiden genau beachtet werden. Ein fehlendes Qualitätsbewusstsein bei dem ausführenden Personal verbunden mit einem großen Verwaltungsaufwand (Zeit) können die Projektkoordination für Bauarbeiten erschweren. Eine begleitende, eigene Bauaufsicht kann dem Auftreten von Planungs- und Baufehlern entgegenwirken (CEN, 2017; Kluge et al., 2016).

Abbildung 23: Überstau aus der Kanalisation



Quelle: LUBW, 2010

Tabelle 24: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Planungsfehler

Planungsfehler	
Ursache	mögliche vielfältige Fehler bei der Planung, sich ändernde Randbedingungen (Klimawandel, Urbanisierung)
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Monate bis Jahre
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	vielfältig; Fehlschlüsse, Verschleiß und Korrosion, Verstopfungen, Haltungsschäden und -einstürze, falsche Dimensionierung, Überstau
Wirkung auf dezentrale Anlagen	vielfältig; Vegetationsschäden, Erosion, falsche Bemessung, Überstau, Überflutung
Behebungsaufwand	gering bis groß
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Maßnahmen abhängig vom genauen Fehler
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	klare Arbeitsanweisungen, begleitende Bauaufsicht und Projektkoordination, regelmäßige Fort- und Weiterbildung, spezielle Entwicklung und Forschung,

6.2.2.3 Ausfall Betriebspersonal (kurzfristig)

Wenn das Betriebspersonal ausfällt, kann dies schwerwiegende Folgen für die Aufrechterhaltung des Betriebs haben. Dieser Umstand stellt vor allem bei zentralen Anlagen eine ernstzunehmende Gefahr dar. Als mögliche Ursachen für Ausfälle im Betriebspersonal sind Krankheit, Unfälle, Pandemien (z. B. COVID 19), Umweltkatastrophen oder Unwetter zu nennen. Bei dieser Art von Störfall ist vor allem die plötzliche Eintrittsgeschwindigkeit zu beachten, da ein Fehlen des Personals oft unerwartet und ohne Ankündigung auftritt (Tabelle 25). Auch die Vorhersagbarkeit einer solchen Situation ist eingeschränkt. Bei zentralen Anlagen ist ein Personalausfall mit fehlender Steuerung und einer möglichen Verschiebung von Wartungsintervallen verbunden. Der Ausfall von Schlüsselkräften kann unmittelbare Auswirkungen auf die Betriebssicherheit haben, und zu einem Anlagenausfall oder -teilausfall führen. Betriebe können für diesen Fall interne Pläne für die Personaleinteilung und für den Personaleinsatz aufstellen, und einen Bereitschaftsdienst einteilen. Es sollten klare Anweisungen für interne Dienstübergaben

und Stellvertreter ausgewiesen sein, und die mögliche Auslagerung von Leistungen eingeplant werden. Auch die Aufteilung in Personalteams für den Ernstfall ist intern festzulegen. Die Auslagerung bestimmter, kritischer Betriebsaufgaben sollten in Abstimmung mit benachbarten Betreibern und Verbänden, sowie mit der Gemeinde erfolgen (CEN, 2017, Mayr et al., 2011).

Abbildung 24: Betriebspersonal in der Mischwasserkanalisation



Quelle: Umweltbundesamt, 2019

Tabelle 25: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall von Betriebspersonal (kurzfristig)

Ausfall Betriebspersonal (kurzfristig)	
Ursache	Krankheit, Unfall, Pandemie, Umweltkatastrophen und Unwetter
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich
Dauer der Störung	Tage bis Wochen
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	möglicher Ausfall von manuell gesteuerten Anlagen, Verschiebung von Wartungsintervallen
Wirkung auf dezentrale Anlagen	keine
Behebungsaufwand	gering
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Mitarbeiterkoordinierung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	ausreichend Ersatzpersonal, Gesundheitsprävention Mitarbeiter

6.2.2.4 Unsachgemäßer Betrieb (technisch)

Ein unsachgemäßer Betrieb der NWB Anlagen kann geringe bis große Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Anlagen haben. Fehlentscheidungen bei der Betriebsführung können kurz - bis mittelfristig zum Anlagenausfall oder -teilausfall führen. Bei dezentralen Anlagen, vor allem beim Betrieb der nicht-konventionellen grünen Infrastruktur, können Fehler aufgrund von Fehlinformation und unzureichender Schulung des Betriebspersonals auftreten (Tabelle 26). Hier wird der unsachgemäße Betrieb häufig erst dann entdeckt, wenn die Anlage bereits versagt. Vegetationsschäden, Erosion, Verstopfung, Verdichtung und Kolmation können auf Betriebsfehler folgen. Bei zentralen Anlagen kann unsachgemäßer Betrieb aufgrund von fehlendem Qualitätsbewusstsein beim Personal, und/oder durch eine unzureichende Ausbildung des Personals vorkommen. Laufende Fortbildung der Mitarbeiter und gezielte Schulungsmaßnahmen der neuen Mitarbeiter sind zur Fehlervermeidung im Betrieb essenziell. Unabhängige und regelmäßige Qualitätskontrollen dienen ebenfalls zur Sicherung des ordnungsgemäßen Betriebs. Eine nachvollziehbare und systematische Archivführung, Dokumentation und Betriebsplanung sollten entsprechend der Anlagenart durchgeführt werden. Die Eintrittsgeschwindigkeit reicht von plötz-

lich bis schleichend, und der Behebungsaufwand kann als gering bis mittelgroß eingestuft werden. Die regelmäßige Inspektion und Wartung der Anlagen und Anlagenteile sowie regelmäßige Fort- und Weiterbildungen des Personals, Qualitätskontrollen und eine Dokumentation von Betriebsarbeiten sind als Maßnahmen zu nennen. Ein Betriebstagebuch kann zum Beispiel bei der langfristigen Vermeidung von Fehlern durch unsachgemäßen Betrieb der Anlagen genutzt werden (Kluge et al., 2016; Geiger et al., 2009).

Abbildung 25: Verdichtung des Mulden-
substrats durch Einsatz von schwerem Ge-
rät



Quelle: MUNLV, 2009

Tabelle 26: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis unsachgemäßer Betrieb (technisch)

Unsachgemäßer Betrieb (technisch)	
Ursache	menschliches Versagen, Ausfall Betriebspersonal, mangelnde Aus- und Fortbildungen
Eintrittsgeschwindigkeit	plötzlich bis schleichend
Dauer der Störung	Minuten bis Tage
Vorhersagbarkeit	nein
Wirkung auf zentrale Anlagen	mögliche Beschädigung und Ausfall technischer Anlagen, Rückstau
Wirkung auf dezentrale Anlagen	verminderte Leistungsfähigkeit
Behebungsaufwand	gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	regelmäßige Inspektion und Wartung
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Fort- und Weiterbildung, Qualitätskontrollen, Dokumentation von Betriebsarbeiten

6.2.2.5 Fehlende Wartung und Pflege (strukturell)

Eine unzureichende oder gar fehlende Wartung und Pflege der Anlagen sind ein Umstand der vielseitigen Auswirkungen auf die betroffenen Anlagen und ihr Umfeld haben kann. Einerseits ist die verminderte Leistungsfähigkeit zu nennen, die aus Verstopfungen, Verzopfungen, Kolmation, Erosion und ähnliche Schäden resultieren kann (Tabelle 27). Bei dezentralen Versickerungsanlagen sind vor allem Vegetationsschäden, Erosion, Verstopfungen und Kolmation die Folge von ausbleibender Wartung und Pflege. Bei zentralen Anlagen zählen zu den Auswirkungen Verstopfungen, Verzopfungen, Haltungsschäden, Rückstau und Pumpwerksausfall. Die Dauer einer solchen Störung beläuft sich auf Monate bis Jahre, und der Behebungsaufwand ist als gering- bis mittelhoch eingestuft. Hier sind ebenfalls regelmäßige Fort- und Weiterbildungen des Betriebspersonals anzustreben, sowie Qualitätskontrollen durch

ausgebildetes Personal. Die Finanzierung eines ausreichenden Pflege- und Wartungsprogramms kann unter Umständen in kleineren Gemeinden und Abwasserverbänden mit Finanzierungsproblemen einhergehen (Kluge et al., 2016, Schlenkhoff et al., 2016, RUB & IKT, 2015).

Abbildung 26: Kanalarbeiten



Quelle: fefufoto, 2021

Tabelle 27: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Fehlende Wartung und Pflege

Fehlende Wartung und Pflege (strukturell)	
Ursache	Nachwuchsprobleme, Finanzprobleme, Krankenstand
Eintrittsgeschwindigkeit	schleichend
Dauer der Störung	Monate bis Jahre
Vorhersagbarkeit	teilweise
Wirkung auf zentrale Anlagen	vielfältig; Verstopfungen, Verzopfungen, Haltungsschäden, Rückstau, Pumpwerksausfall
Wirkung auf dezentrale Anlagen	vielfältig; verminderte Leistungsfähigkeit, Vegetationsschäden, Erosion, Verstopfungen, Kolmation von Versickerungsanlagen
Behebungsaufwand	gering bis mittel
Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen	Wartungspläne mit Arbeitsanweisungen, Fortbildungen und Schulungen, unabhängige und regelmäßige Qualitätskontrollen
Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten	regelmäßige Fort- und Weiterbildungen, Nachwuchsarbeit, Qualitätskontrollen

7 Geeignete Herangehensweise zur Analyse der Auswirkungen außergewöhnlicher Ereignisse

Ein Hauptziel des Projektes ist es ein besseres Verständnis über die Zusammenhänge und Wechselwirkungen unterschiedlicher Anlagen und Anlagentypen in der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) zu erhalten. Bisher werden unterschiedliche Anlagentypen, wie dezentrale NWB-Anlagen (z. B. Versickerungsanlagen, Gründächer, usw.) und zentrale NWB-Anlagen (z. B. Mischwasserkanalisation) hauptsächlich getrennt voneinander betrachtet. Dem gegenüber wird im BEJOND Projekt versucht, das durchaus komplexe NWB-System integriert als Gesamtsystem zu analysieren und dabei Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Anlagentypen zu berücksichtigen. Die Abwasserreinigungsanlage wird bei der Systembetrachtung nicht mitberücksichtigt und wird daher als äußere Systemgrenze definiert.

Um diese komplexen Zusammenhänge auf verschiedenen Ebenen (zeitlich und räumlich) zu analysieren, sind sowohl qualitative als auch quantitative Ansätze möglich. Die qualitativen Ansätze, welche beispielsweise auf Interviews mit Expert:innen basieren, sollen in erster Linie dazu dienen, die kurz- und langfristigen Auswirkungen von Entscheidungen verschiedener Akteure auf das Verhalten des Systems zu analysieren. Quantitative physikalisch-basierte Modelle können demgegenüber das Verständnis von Teilsystemen im Gesamtsystem erhöhen.

Deshalb wurden in diesem Projekt sowohl qualitative als auch quantitative Untersuchungen durchgeführt. Damit soll das Hauptziel des Projekts, ein besseres Systemverständnis zu erreichen und neue Erkenntnisse über die Widerstandsfähigkeit im System der urbanen Niederschlagswasserbewirtschaftung zu gewinnen, erfüllt werden. So können beispielsweise technisch-quantitative Untersuchungen aufzeigen, dass eine bestimmte NWB-Anlage versagen wird und es zu einer lokalen Überflutung kommen könnte. Qualitative Untersuchungen können jedoch herausfinden, dass dieses Versagen nicht aufgrund baulicher Mängel oder unzureichender Dimensionierung, sondern auf fehlende Schulungen für das Betriebspersonal oder auf unzureichende Kommunikation zwischen verschiedenen Abteilungen zurückzuführen ist. Ohne die Kombination beider Ansätze können wichtige Einblicke und Lösungsansätze übersehen werden.

Vor allem in der Querschnittsmaterie der Niederschlagswasserbewirtschaftung ist eine solche integrative Betrachtung zielführend. Die zahlreichen Einflüsse auf das System und die einzelnen Anlagen überlagern sich und sind bei einer mangelnden Datenlage oft nicht direkt nachvollziehbar oder differenziert zu betrachten. Die deskriptive Systemanalyse kann diesbezüglich eine wichtige Grundlage für die Entwicklung und Validierung von quantitativen Simulationsmodellen darstellen. Im Gegenzug dazu kann ein physikalisch basiertes quantitatives Prozessverständnis hilfreich sein, um die einzelnen Teilprozesse auch quantitativ besser abbilden zu können.

7.1 Resilienz in der Niederschlagswasserbewirtschaftung

In der NWB ist das Konzept der Resilienz bereits eine wesentliche Zielgröße, die Investitionsentscheidungen beeinflusst. Die Interpretationen des Resilienz-Begriffs variieren jedoch je nach Kontext. Allgemein wird Resilienz als die Fähigkeit eines Systems verstanden, Störungen zu widerstehen und sich von ihnen zu erholen, wobei in der Siedlungswasserwirtschaft sowohl technische als auch soziale Ansätze berücksichtigt werden (McClymont et al., 2020). Trotzdem liegt der Schwerpunkt aktueller Resilienz-Bewertungen oft allein auf technischen Lösungen (Tepes & Neumann, 2020). Bisher fehlt ein Konsens über die Definition und Bewertung von Resilienz (Juan-García et al., 2017).

Die Resilienz einzelner Anlagen und verschiedener Anlagentypen, wie grün-blaue oder graue Infrastrukturen oder dezentrale und zentrale Systeme, lässt sich nicht pauschal festlegen. Vielmehr ist die Resilienz abhängig von einer Reihe von Faktoren: Dazu zählen das konstruktive Design und die Dimensionierung der Anlage, welche maßgeblich deren Robustheit und Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Bedingungen bestimmen.

Der Betrieb und die Wartung spielen ebenfalls eine zentrale Rolle. Die Resilienz einer Anlage kann variieren, je nachdem, ob sie von Privatpersonen, einer Gemeinde oder einem privaten Unternehmen betrieben wird. Unterschiedliche Betreiber haben oft abweichende Wartungsintervalle und -praktiken, die die Langlebigkeit und Funktionsfähigkeit der Anlagen beeinflussen können.

Das Anlagenumfeld ist ein weiterer kritischer Faktor. Es gilt zu berücksichtigen, ob die Anlage in einem Gebiet mit häufigen Unwettern oder Naturgefahren liegt oder an einer besonders sensiblen Stelle positioniert ist. Zudem ist die Abhängigkeit von externen Energiequellen zu evaluieren: Ist die Anlage mit Notstromgeneratoren ausgestattet? Wie stabil und zuverlässig

ist das lokale Stromnetz? Diese multidimensionalen und kontextabhängigen Aspekte unterstreichen, dass eine Bewertung der Resilienz stets spezifisch und unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren erfolgen muss.

Im BEJOND-Projekt wurde die „Fuzzy Cognitive Mapping“ Methode als Instrument zur Erfassung verschiedener Resilienzansichten eingesetzt. Auf der qualitativen Seite wurde mittels der Fehler Möglichkeiten und Einfluss Analyse (FMEA) die Resilienz von verschiedenen Anlagentypen auf relevante Störfälle und außergewöhnliche Ereignisse mithilfe von Expertenwissen bewertet. Die Bewertung fand anhand des Bewertungsindex Schweregrad für die Anlage (SEV-Anlage) statt. Eine Beschreibung der Methodik findet sich in Kapitel 7.3 und die Ergebnisse in Kapitel 8.2. Auf quantitativer Seite wurde die Resilienz des gesamten Entwässerungssystems modellbasiert in einen kombinierten Bewertungsindex mit aufgenommen (Kapitel 9.1.2.2). Die technische Resilienz des Systems basiert auf dem Ansatz von Mugume et. al. (2015) und berücksichtigt, wie schnell das System nach einem außergewöhnlichen Ereignis oder einer Störung in seinen Ausgangszustand zurückkehrt.

7.2 Qualitative Methoden

Qualitative Methoden leisten einen wesentlichen Beitrag zur Systemanalyse, indem sie helfen, komplexe Zusammenhänge gründlich zu untersuchen und darzustellen, insbesondere bei fehlenden oder unzureichenden quantitativen Daten. Sie unterscheiden sich von quantitativen Methoden, welche Daten in Zahlen umwandeln, um physikalisch basierte Modelle zu erstellen. Qualitative Methoden hingegen versuchen, Bedeutungen, Verbindungen und Strukturen anhand von Interviews, Einzel- und Gruppenbeobachtungen sowie Dokumentenanalysen zu verstehen und zu erklären (Tracy, 2013). Diese Herangehensweise hat großen Einfluss auf unser Verständnis und die Handhabung von Systemen, wie beispielsweise die städtische Niederschlagswasserbewirtschaftung.

Die städtische Niederschlagswasserbewirtschaftung wird zunehmend als Querschnittsmaterie und Gemeinschaftsaufgabe erkannt. Doch die Komplexität von baulichen Strukturen wie Gebäuden, Straßen und Kanalisation, zusammen mit den dynamischen wirtschaftlichen und sozialen Interaktionen, stellen große Herausforderungen dar, wenn es um die Ausweitung von kleineren lokalen Maßnahmen auf stadtweite Strategien geht (Vercruyssen et al., 2019). Qualitative Forschungsmethoden, die den Fokus auf Beziehungen und Muster legen, können maßgeblich zu diesem systemübergreifenden Ansatz beitragen.

Durch Interviews und Workshops, an denen verschiedene Akteure aus zwei Fallstudiengemeinden aktiv teilgenommen haben, wurden detaillierte und beschreibende Daten erhoben. Diese Daten erlauben nicht nur ein tieferes Verständnis komplexer Systeme, sondern auch eine integrierte Analyse der lokalen Gegebenheiten. Dabei werden Verbindungen zwischen Systemen identifiziert, Rückkopplungen erkannt und Potenziale für Interventionen aufgezeigt.

7.2.1 Systemdenken: Erkenntnis durch Darstellung der Komplexität

Systemdenken ist ein Ansatz, der die Betrachtung von Systemen als Ganzes betont. Anstatt sich auf einzelne Komponenten und deren lineare Ursache-Wirkungsbeziehungen zu konzentrieren, legt das Systemdenken den Fokus auf die wechselseitigen Beziehungen und Interaktionen zwischen zahlreichen Komponenten, die sich aus der Struktur des Systems ergeben (Goh et al., 2010).

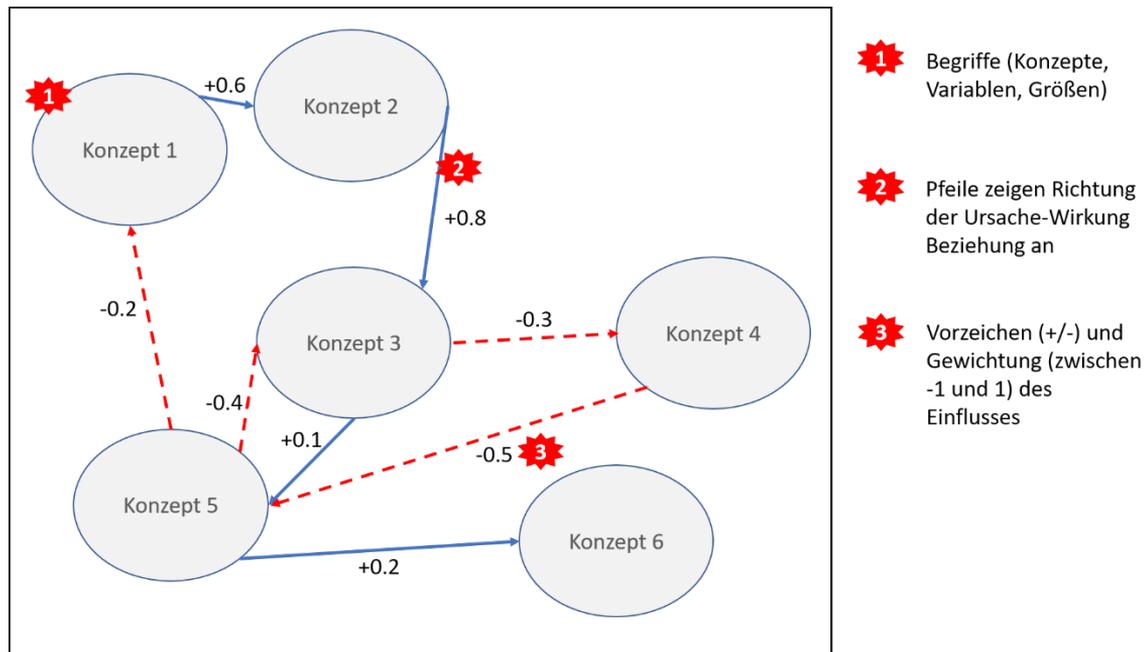
- Durch eine systemorientierte Perspektive verbessert sich die Verständlichkeit komplexer Phänomene erheblich. Systemdenken erkennt, dass Systeme mehr sind als die Summe ihrer Teile und dass ihre Eigenschaften und Verhaltensweisen aus den Interaktionen ihrer Teile hervorgehen. Dieses Verständnis ermöglicht es, die Ursachen von Problemen zu erkennen, die auf den ersten Blick vielleicht nicht offensichtlich sind (Meadows, 2009).
- Systemdenken trägt dazu bei, vorhersehbare Fehler zu vermeiden, die aus einer zu engen oder isolierten Betrachtung von Systemkomponenten resultieren können. Dies hilft uns, die möglichen Auswirkungen unserer Interventionen auf das gesamte System zu antizipieren und somit bessere Entscheidungen zu treffen (Kim, 1999).
- Zudem fördert das Systemdenken die Entwicklung von langfristigen, nachhaltigen Lösungen anstelle von reaktiven, symptomatischen Maßnahmen. Indem es uns hilft, die dynamischen und oft nichtlinearen Prozesse innerhalb von Systemen zu verstehen, ermöglicht es uns, weitreichende und tiefgreifende Veränderungen zu bewirken (Senge, 1990).
- Schließlich fördert das Systemdenken eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Es erkennt an, dass das Verständnis komplexer Systeme Expertise aus verschiedenen Bereichen erfordert und fördert daher den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen (Argyris, 1982).

7.2.2 Fuzzy Cognitive Mapping (FCM): Methode und Anwendung

Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) ist eine zunehmend verbreitete Methode in wissenschaftlichen Systemanalysen (Dangerfield, 2014; Bakhtavar et al., 2020). Sie ermöglicht die Erstellung von „kognitiven Karten“, die während Einzel- oder Gruppengesprächen, häufig im Rahmen von Interviews, entstehen. Im Rahmen des BEJOND Projekts wurden Teilnehmer zu persönlichen Interviews eingeladen und mit Hilfe von zwei Leitfragen gebeten, eine Karte zu erstellen, die ihre persönlichen Erfahrungen und Kenntnisse widerspiegelt. Diese grafischen Systemdarstellungen dienen zusammen mit den Aufzeichnungen der Interviews als Grundlage für weitere Analysen.

In dieser Form der Systemmodellierung werden zentrale Bestandteile des Systems (hier als Konzepte bezeichnet) auf einem Blatt Papier aufgezeichnet, und die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den Systemkomponenten werden anhand von gerichteten Pfeilen abgebildet. Die blauen Pfeile zeigen eine verstärkende Wirkung an, während die roten Pfeile eine mindernde oder abschwächende Wirkung anzeigen. Zudem werden die Pfeile mit einer Zahl zwischen -1 und 1 versehen, um die Stärke der Ursache-Wirkungsbeziehung abzubilden. Das negative Vorzeichen wird für die roten Pfeile, das positive Vorzeichen für die blauen Pfeile genutzt. Damit können semi-quantitative Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen im System getätigt werden, woraus sich mögliche dominierende Prozesse graphisch darstellen lassen (Abbildung 27).

Abbildung 27: Schema einer „fuzzy cognitive map“ mit gerichteten und gewichteten Pfeilen zwischen den jeweiligen Systemelementen (hier als „Konzept“ bezeichnet). (Eigene Darstellung)



In der wissenschaftlichen Forschung ermöglicht die Methode des Fuzzy Cognitive Mapping die Erstellung von dynamischen Modellen komplexer Systeme. Durch die visuelle Darstellung von Konzepten und deren kausalen Beziehungen unterstützt FCM die Identifikation von Feedbackschleifen, Schlüsselementen und potenziellen Störfaktoren innerhalb des Systems. Der Einsatz von FCM ist insbesondere bei der Untersuchung komplexer Themenstellungen von großem Wert, da die Methode die Vielfalt an Perspektiven und Erfahrungen der Teilnehmer berücksichtigt und diese in einem gemeinsamen Modell vereint werden können (Jetter & Kok, 2014).

Die Beteiligung verschiedener Akteure im Prozess der qualitativen Systemanalyse trägt wesentlich zur Bereicherung und Validierung der erzielten Ergebnisse bei. Durch die Einbeziehung verschiedener Perspektiven und Erfahrungen wird nicht nur die Bandbreite der identifizierten Systemkomponenten und Beziehungen erweitert, sondern es werden auch mögliche Maßnahmen zur Verbesserung und Stärkung der Systemresilienz aufgezeigt (Özesmi & Özesmi, 2004; White et al., 2021).

Die beteiligten Akteure, ob lokale Expert:innen, Interessengruppen oder Vertreter aus unterschiedlichen Fachbereichen, bringen wertvolle Einblicke in die spezifischen Herausforderungen, Stärken und Schwächen des Systems mit. Dadurch wird eine umfassendere Darstellung

des Systems ermöglicht, die zur Verbesserung der Entscheidungsfindung und zur Entwicklung von effektiven, maßgeschneiderten Lösungsansätzen beiträgt.

Die deskriptive qualitative Modellierung kann eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Simulationsmodellen darstellen. Außerdem werden durch diesen Ansatz neue Möglichkeiten für das Risikomanagement geschaffen, um im Falle von Starkregen und Überflutungen zukünftig präventiv handeln zu können. Daraus lassen sich folgende Vorteile hinsichtlich einer Erstellung eines Störfallmanagements ableiten (Gray et al., 2013):

- Integration von unterschiedlichen Expert:innenperspektiven
- Systembeschreibung bei geringer Datengrundlage
- Veranschaulichung komplexer Strukturen in realen Systemen durch die Darstellung quantitativer und qualitativer Elemente und ihrer Zusammenhänge
- Untersuchung von zahlreichen Szenarien
- Vermittlung von komplexen Systemvorgängen und -zusammenhängen an ein heterogenes Publikum

Durch die Untersuchung einzelner Infrastruktortypen auf regionaler Ebene lässt sich ein umfassenderes Bild möglicher Schwachstellen im System der Niederschlagswasserbewirtschaftung erstellen. Dies bietet eine gute Grundlage, um Entscheidungen unter unsicheren zukünftigen demografischen und klimatischen Entwicklungen zu treffen und unterstützt dadurch einzelne Entscheidungsträger. Die transparente und verständliche Vermittlung dieser Erkenntnisse an Entscheidungsträger, Interessengruppen und die Öffentlichkeit ist eine zentrale Herausforderung, aber auch eine unverzichtbare Aufgabe, um langfristig nachhaltigere Ergebnisse zu erzielen (Tepes & Neumann, 2020). Die Erfahrungen und Schlüsselergebnisse aus der Anwendung dieser Methode in der Fallstudie Feldbach befinden sich in Kapitel 12.1.3.

7.3 Klassifizierung anhand der FMEA Methodik

Um die Auswirkungen von Extremereignissen und Betriebsstörungen auf Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) genauer zu untersuchen und übersichtlich darzustellen, eignet sich die Fehler Möglichkeiten und Einfluss Analyse (FMEA). Dabei werden für jede Anlage relevante Versagensmechanismen (Fehler) definiert und nach deren Wichtigkeit klassifiziert. Daraus ergibt sich für jede Anlage eine geordnete Übersicht relevanter Fehler und Störungen, auf deren Grundlage Gemeinden und Betreiber den Betrieb, Wartung und Sanierung von NWB-Anlagen planen und koordinieren können. Das Hauptziel der Methodik ist das Erkennen, Kategorisieren und Beheben von Fehlerrisiken und wurde ursprünglich im Jahr 1949

vom US-Militär entwickelt. Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Methode ist sie heute in vielen Bereichen einsetz- und interdisziplinär anwendbar (Jakoby, 2019; Werdich, 2012). Die jeweilige Anlage wird dabei nach 12 Kategorien untersucht und klassifiziert, die in Tabelle 28 genauer erläutert werden.

Tabelle 28: Erklärung der FMEA-Methodik

FMEA Kategorie	Erklärung
Fehler	Welche Fehler können auftreten?
Auswirkungen	Welche Auswirkungen entstehen daraus?
Betroffene Funktionen	Welche Hauptfunktionen der Anlage sind durch den Fehler betroffen?
SEV-Anlage	Wie schwerwiegend ist der Fehler auf die Anlage? (Severity)
SEV-Kanalnetz	Wie schwerwiegend ist der Fehler für andere Teile des Entwässerungsnetzes? (Severity)
SEV-Umgebung	Wie schwerwiegend ist der Fehler für die Umwelt und nähere Umgebung? (Severity)
Fehlerursache	Was führt zum Auftreten des Fehlers?
OCC	Wie häufig tritt der Fehler auf? (Occurrence)
Fehlerbehebung	Durch welche Prozesse kann der Fehler erkannt oder behoben werden?
DET	Wie wahrscheinlich ist ein Erkennen des Fehlers? (Detectability)
Konstruktive Anpassung	Durch welche konstruktiven Anpassungen lassen sich Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkungen des Fehlers verringern?
RPN	SEV*OCC*DET (Risk Priority Number)

Die Untersuchung und Beschreibung des Zusammenhangs geschieht nach den Kategorien: Fehler, Auswirkungen, Betroffene Funktionen, Fehlerursache, Fehlerbehebung. Daran anschließend wird eine Klassifizierung anhand von den Indikatoren Schweregrad (Severity) (Tabelle 29, Tabelle 30, Tabelle 31), Häufigkeit (Occurrence) (Tabelle 32) und Fehlererkennung (Detectability) (Tabelle 33) vorgenommen. Der Schweregrad ist dabei unterteilt in Schweregrad für die Anlage selbst (SEV-Anlage) (Tabelle 29), Schweregrad für Nachbaranlagen der Siedlungswasserwirtschaft (SEV-Kanalnetz) (Tabelle 30) und Schweregrad für die Umgebung (SEV-Umgebung) (Tabelle 31) wie Gebäude, Straßen oder die Natur. Die Klassifizierung wird für alle Indikatoren (Schweregrad, Häufigkeit und Fehlererkennung) nach einer fünfstufigen

Skala mit Werten zwischen 1 und 5 durchgeführt. 1 hat dabei die geringsten Auswirkungen auf die Anlage und 5 die höchsten.

Für den Schweregrad sind die fünf Unterteilungen wie folgt definiert: I) Keine Auswirkung; II) Reduktion der Wirksamkeit; III) Ausfall; IV) Beschädigung; V) Zerstörung. Die Bewertung des Schweregrads kann mit einem Starkregenereignis bestimmter Jährlichkeit in Relation gesetzt werden, wobei dafür der Starkregenindex nach Schmitt et al., (2018) verwendet wird. Der Starkregenindex beinhaltet die Kategorie Bemessung (0 - 5a) für die Wertung 1 - 2, die Kategorie selten (10 - 30a) für die Wertung 3 und die Kategorie außergewöhnlich (>30a) für die Wertung 4 - 5. Für den Indikator Häufigkeit ist die Skala folgendermaßen definiert: fast nie Skala 1, außergewöhnlich Skala 2, selten Skala 3, Bemessung Skala 4 und häufig Skala 5. Für die Fehlererkennung reicht die Skala von 1 für sehr wahrscheinlich bis 5 für sehr unwahrscheinlich. Ausgehend von der Klassifizierung der drei Indikatoren errechnet sich die Risk Priority Number RPN (Wichtigkeit des Fehlers) wie folgt:

$RPN = \frac{(SEV_A + SEV_K + SEV_U)}{3} * OCC * DET$	(GI-1)
---	--------

Dabei sind alle drei Indikatoren gleich gewichtet und die RPN kann einen Maximalwert von 125 (5*5*5) und einen Minimalwert von 1 (1*1*1) erreichen.

Die Risk Priority Number kennzeichnet die Wichtigkeit des Fehlers und kann dazu verwendet werden um die Fehler, von denen das größte Risiko ausgeht und die den höchsten Handlungsbedarf besitzen zu identifizieren. Die erstellte und bewertete Tabelle sollte nach der Risk Priority Number absteigend sortiert werden. So finden sich Fehler und Störungen mit dem höchsten Handlungsbedarf ganz oben und können prioritär von Betreibern und Gemeinden bearbeitet werden.

Tabelle 29: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für die Anlage (SEV-A)

	Skala	Beschreibung	Beispiel
Keine Auswirkung	1	Keine Auswirkungen auf die Infrastruktur	
Reduktion der Wirksamkeit	2	Funktion der Infrastruktur eingeschränkt	Kolmation von Versickerungsanlagen -> Kombinierte Versickerungssysteme
Ausfall	3	Ausfall der Infrastruktur mit Rückkehr zum Normalzustand ohne äußere Einwirkung oder innerhalb von sehr kurzer Zeit (Stunden)	Flusshochwasser -> Mischwasserüberläufe Verstopfung -> Pumpwerk
Beschädigung	4	Ausfall der Infrastruktur mit Rückkehr zum Normalzustand durch vergleichsweise einfache Behebung des Schadens (Tage bis Wochen)	Verzopfungen -> Pumpwerke
Zerstörung	5	Ausfall der Infrastruktur mit Rückkehr zum Normalzustand durch umfangreiche Behebung des Schadens (Wochen bis Monate)	Haltungseinsturz -> Haltungen und Schächte

Tabelle 30: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für Nachbarsysteme (SEV-K)

	Skala	Beschreibung	Beispiel
Keine Auswirkung	1	Keine Auswirkungen auf Nachbarsysteme	
Reduktion der Wirksamkeit	2	Funktion einer oder mehrerer benachbarter Infrastrukturen ist eingeschränkt oder zusätzlich belastet	Abnahme der Sickerleistung von teilversiegelten Oberflächen -> Erhöhter Zufluss ins Kanalnetz/Maßnahmen der Versickerung
Überlastung	3	Überlastung einer oder mehrerer benachbarter Anlagen	Starkregen -> kombinierte Versickerungssysteme -> Überlauf ins angeschlossene Kanalnetz
Ausfall	4	Überlastung bis Ausfall in großen Teilen des Entwässerungssystems	Stromausfall -> Pumpwerksausfall -> Rückstau im gesamten Kanalnetz (Systemabhängig) Flusshochwasser + Starkregen
Zerstörung	5	kompletter Ausfall bis Zerstörung im gesamten Entwässerungssystem	Naturkatastrophen (Hangrutschung, Mure) -> Haltungseinstürze -> Ausfall im gesamten Kanalnetz

Tabelle 31: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für die Umgebung (SEV-U)

	Skala	Beschreibung	Beispiel
Keine Auswirkung	1	Keine Auswirkungen auf die Umgebung	
Überstau	2	kleinräumiger Überstau, Mischwasserüberlauf (Schmutzfrachten), hydraulischer Stress im Vorfluter	Bemessungsregen, Verstopfung von Einläufen, Überlauf von Versickerungsanlagen etc.
Kleine Überflutung	3	Überflutung mit geringen Schäden in der Umgebung	seltener Starkregen, Flusshochwasser -> Blockade von Mischwasserüberläufen, Pumpwerksausfall, Haltungsschäden etc.
Große Überflutung	4	Überflutung mit Beschädigung von Infrastrukturen	außergewöhnlicher Starkregen
Extreme Überflutung/Zerstörung	5	großflächige Überflutung, Beschädigung von kritischen Infrastrukturen, Lebensgefahr	außergewöhnlicher Starkregen mit Überlagerung weiterer Störfälle, fehlender Überflutungsvorsorge

Tabelle 32: Klassifizierung der Fehlerhäufigkeit (OCC)

	Skala	Häufigkeit	Beschreibung	Beispiel
fast nie	1	> 100a	Fehler ist extrem und tritt seltener als alle 100 Jahre auf	starkes Erdbeben
außergewöhnlich	2	30 – 100a	Fehler ist außergewöhnlich und tritt alle 30 - 100 Jahre einmal auf	großes Flusshochwasser mit Rückstau ins Kanalnetz
selten	3	10 – 30a	Fehler ist selten und tritt alle 10 - 30 Jahre einmal auf	längerer Stromausfall
Bemessung	4	1 - 10a	Fehler tritt regelmäßig alle 1 - 10 Jahre auf	Haltungsschäden- und Einstürze
häufig	5	< 1a	Fehler tritt relativ häufig auf, öfter als 1x pro Jahr	Verstopfung oder Verzopfung im Pumpwerk

Tabelle 33: FMEA Klassifizierung der Fehlererkennung (DET)

	Skala	Beschreibung	Beispiel
Sehr wahrscheinlich	1	Fehler wird mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit erkannt	Stromausfall
wahrscheinlich	2	Fehler wird relativ häufig erkannt	Verstopfung im Pumpwerk
mittel	3	Die Fehlererkennung hat eine mittlere Wahrscheinlichkeit	Haltungsschaden im Hauptsammler
unwahrscheinlich	4	Die Fehlererkennung ist unwahrscheinlich	Kolmation im Versickerungsschacht
Sehr unwahrscheinlich	5	Die Fehlererkennung ist sehr unwahrscheinlich	Wurzeleinwuchs in einer Anschlussleitung

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse der FMEA Methodik aufbauend auf Interviews mit Expert:innen für 14 Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft hinsichtlich relevanter Betriebsstörungen und außergewöhnlicher Ereignisse aufgezeigt. Dies beinhaltet die Klassifizierung jeder Anlage/Ereigniskombination anhand der drei eingangs beschriebenen FMEA Indikatoren Severity (Schweregrad), Occurrence (Häufigkeit) und Fehlererkennung (Detectability), welche miteinander multipliziert die Risk Priority Number (Wichtigkeit des Fehlers) ergeben. Für jede Anlage wurden die Fehler nach der Risk Priority Number absteigend geordnet, sodass die relevantesten Betriebsstörungen und außergewöhnlichen Ereignisse oben zu finden sind. Zusätzlich lassen sich einzelne Anlagen/Ereigniskombination zwischen den Tabellen vergleichen.

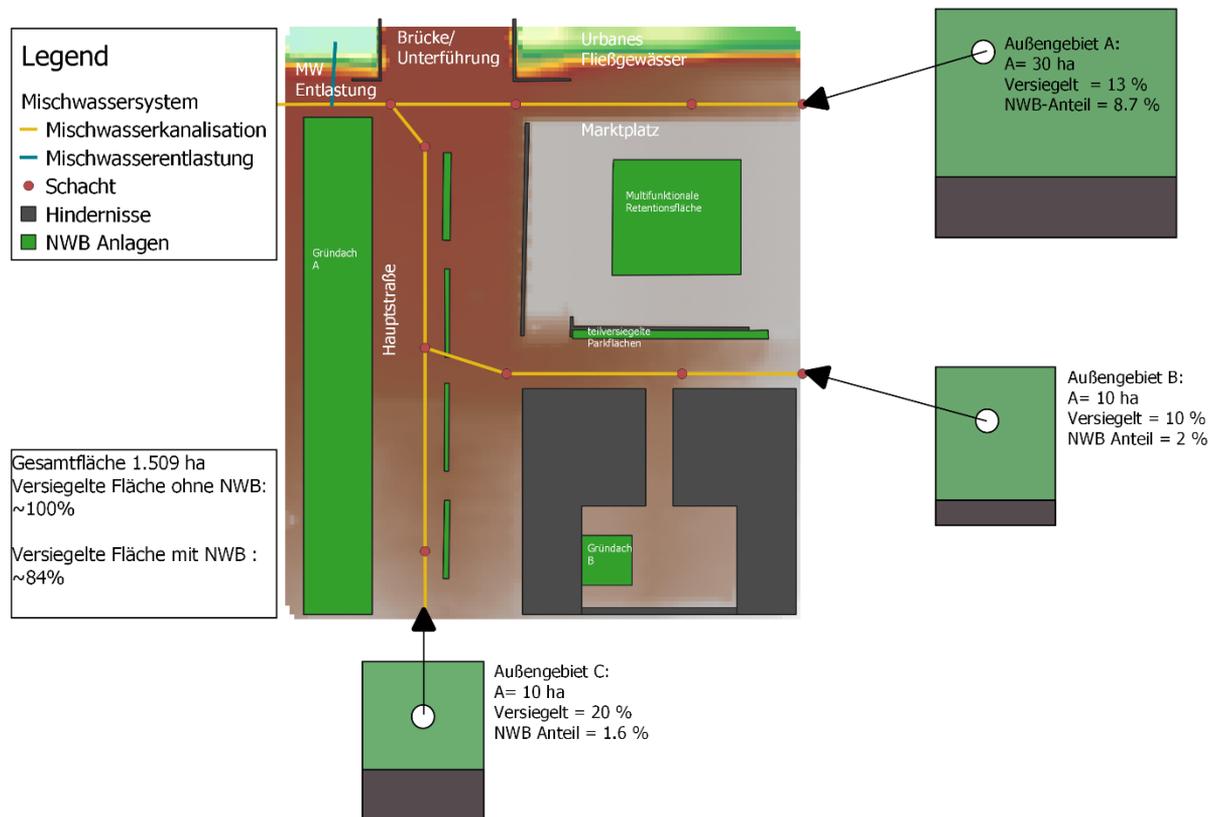
7.4 Modellierung außergewöhnlicher Ereignisse

Um das Anlageverhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen und Betriebsstörungen bewerten zu können, existieren eine Vielzahl an unterschiedlichen quantitativen Methoden. Deterministische Modellansätze bieten dabei eine gute Basis, um Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung hinsichtlich ihres Anlageverhaltens bei einem Ereignis jenseits der Bemessungsgrenzen beurteilen zu können. Da jedoch neben dem Anlageverhalten selbst auch die Auswirkung auf benachbarte Anlagen im Fokus stehen, wird dies bei der Betrachtung der unterschiedlichen Modellansätze mitberücksichtigt. Nachfolgend werden die in der Praxis am häufigsten angewandten Modellansätze beschrieben und bezüglich ihrer Bewertungsmöglichkeiten mittels eines fiktiven Einzugsgebiets beurteilt.

7.4.1 Fiktives Einzugsgebiet

Hierzu wurde ein fiktives urbanes Einzugsgebiet erstellt, um die unterschiedlichen Modellansätze beispielhaft testen und die jeweiligen Vor- bzw. Nachteile demonstrieren zu können (Holzer, 2021). Das fiktive Einzugsgebiet repräsentiert einen städtischen Marktplatz mit umliegenden Haupt- und Nebenstraßen, sowie einer Rad- und Fußgängerunterführung. Versiegelte Flächen sind im Modell an ein Mischwassersystem angeschlossen, welches über eine Mischwasserentlastung in ein städtisches Fließgewässer entlastet. Für die Dimensionierung der Mischwasserkanalisation wurden jeweils drei Außengebiete definiert, welche in das Kerngebiet entwässern. Als Bemessungsgrenze wurde ein laut Stand der Technik üblicher Modellregen mit einer Wiederkehrzeit von 5 Jahren angesetzt. Neben der zentralen Kanalisation wurden auch mehrere dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen im Einzugsgebiet angeordnet. In Abbildung 28 ist das fiktive EZG mit all seinen Anlagen dargestellt. Durch die überschaubare Größe des Einzugsgebietes ($A_{EZG} = 1,51\text{ha}$; Anzahl $2D_{\text{Elemente}} = 2552$) können sehr schnell eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Szenarien selbst für den rechenintensiven 1D-2D und 2D Ansatz berechnet und verglichen werden.

Abbildung 28: Übersichtskarte des fiktiven Einzugsgebietes mit allen Anlagen der zentralen und dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung (mod. Holzer, 2021; Funke et al., 2022).



7.4.2 GIS basierte Fließweganalyse

Die rein topographische Fließweganalyse hat das vorrangige Ziel die Fließwege an der Oberfläche abzubilden. Dies wird über die GIS Operationen basierend auf dem D8-Ansatz sowie der Akkumulation der Rasterzellen an bestimmten Punkten im Einzugsgebiet durchgeführt. Die Zielgröße sind jene Fließwege, welche in Gebietsgrößen klassifiziert werden können (z. B. > 1ha). Ein Nachteil dieses Ansatzes ist, dass der Abflussvorgang rein topographisch analysiert wird. Das Abflussverhalten entspricht daher nicht dem des physikalisch basierten Oberflächenabflusses, da beispielweise Rückstauereffekte und abflussdämpfende Oberflächenrauigkeiten nicht berücksichtigt werden. Der größte Nachteil dieser Methodik ist, dass diese ereignisunabhängig ist und das Abflussverhalten sowohl an der Oberfläche als auch in der Kanalisation nicht abbilden kann. Ein Vorteil dieser Methodik ist die überschaubare Datengrundlage, einzig ein gut aufgelöstes validiertes digitales Geländemodell (DGM) wird benötigt und zum anderen, dass die Methodik in den frei verfügbaren GIS Softwareprodukten (z. B. QGIS) enthalten

ist. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist, dass mit Hilfe dieser Methodik auch die Einzugsgebietsgröße definiert werden kann. Die Auflösung sowie die Integration von Fließhindernissen, Durchlässen, Unterführungen, Brücken, Kanalisation usw. haben jedoch einen enormen Einfluss auf das Abflussverhalten, sowie die Einzugsgebietsgröße. Daher wird diese vorrangig zur Voruntersuchung in einem Einzugsgebiet verwendet, um die neuralgisch wichtigen Stellen im Einzugsgebiet identifizieren zu können. In Abbildung 29 sind alle Punkte nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 29: Beispielhafte Abbildung der topographischen Fließweganalyse basierend auf dem D8-Ansatz, der Abflussakkumulation sowie des Topographic Wetness Index (TWI)

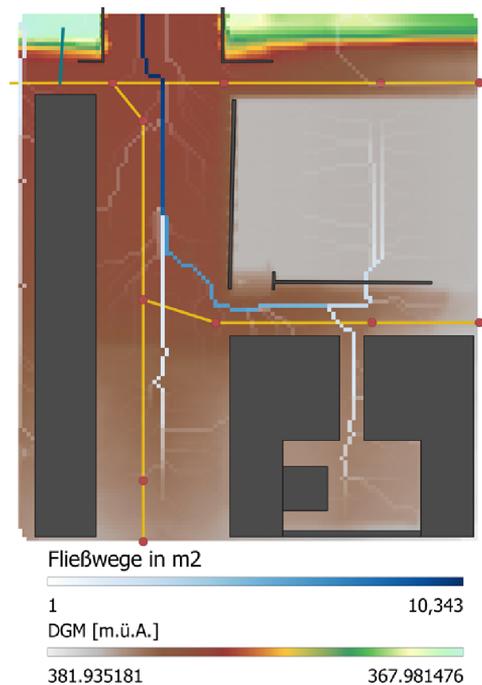


Tabelle 34: Beschreibung der topografischen Fließweganalyse

Modell	Topografische Fließweganalyse
Vorteile	Geringe Datengrundlage Sehr schnelle Simulationszeit Nebenprodukt: Einzugsgebietsgröße
Nachteile	Keine Abbildung des realen Abflussvorgangs durch rein topografischen Ansatz Keine Aussage über Überflutungsflächen Keine Aussage über Anlageverhalten
Zielgröße	Fließwege klassifiziert nach Einzugsgebietsgröße
Bewertungsmöglichkeit	Identifizierung von gefährdeten Bereichen im Einzugsgebiet (EZG)
Verfügbarkeit	Frei verfügbare und kommerzielle Geoinformationssystem (GIS) Softwareprodukte

7.4.3 Rasterbasierte 2D Modelle

Eine Erweiterung zur topografischen Fließweganalyse sind die rasterbasierten 2D Überflutungsmodelle. Dabei werden basierend auf den Höheninformationen des Digitalen Geländemodells (DGM) die Wasserstände und je nach Modell auch Fließgeschwindigkeiten in der räumlichen Auflösung des DGM ermittelt. Wobei für städtische Einzugsgebiete räumliche Auflösungen von $\leq 1 \times 1 \text{m}$ empfohlen werden (Huber et al., 2021). Daraus können anschließend räumlich verteilte Überflutungsflächen erstellt werden, welche die Grundlage für eine Gefahren-, Gefährdungs- und Risikoanalyse bilden. Der Vorteil liegt zum einen in der überschaubaren Datengrundlage (DGM und Landbedeckungs-Rasterdatensatz) sowie den häufig schnellen Simulationszeiten. Der Nachteil ist, dass der implementierte mathematische Ansatz zur Bestimmung der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten häufig nur den Ansatz der kinematischen Welle berücksichtigt. Dabei werden auch keine Rückstauwirkungen berücksichtigt und daher bilden diese Modellansätze den Fließzustand an der Oberfläche nicht realitätsnah ab. Ebenso ist die hydrologische Abflussbildung häufig nur stark vereinfacht mittels Abflussbeiwert implementiert. Aus diesem Grund werden hydrologische Prozesse wie Infiltration, Evapotranspiration, Speicherverluste (Interzeption, Anfangsverluste) weitestgehend nicht berücksichtigt. In Abbildung 30 sind alle Punkte nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung eines rasterbasierten 2D Überflutungsmodells

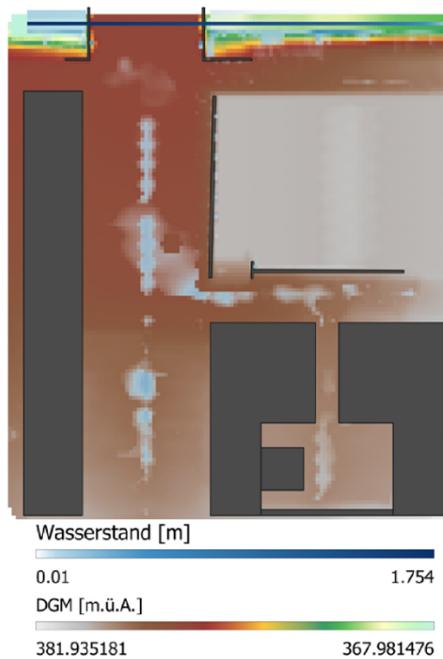


Tabelle 35: Beschreibung des rasterbasierten 2D Modells

Modell	Rasterbasiertes 2D Modell
Vorteile	Geringe Datengrundlage Schnelle Simulationszeit Analyse großer Einzugsgebiete (EZG)
Nachteile	Stark vereinfachte Ansätze wie beispielweise der kinematischen Wellenansatzes zur Bestimmung des Abflusses Die Ansätze berechnen nicht immer auch die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche Keine Aussage über Anlageverhalten
Zielgröße	Wasserstand und bei einigen Ansätzen auch die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche
Bewertungsmöglichkeit	Überflutungsflächen
Verfügbarkeit	Frei verfügbare (z. B. LISFLOOD-FP) und kommerzielle Softwareprodukte (z. B. FloodArea)

7.4.4 Hydrodynamisches 1D Kanalnetzmodell

Ein Hydrodynamisches Kanalnetzmodell ist ein physikalisch-basierter Ansatz, mit dem das Abflussverhalten in der Kanalisation abgebildet werden kann. Dabei kann zum einen der Trockenwetterabfluss als Freispiegelabfluss, zum anderen der Regenwetterabfluss inklusive Überlastungen als Überstauvolumen physikalisch-basiert simuliert werden. Mit dem Modellansatz können Rückstaueffekte, das Verhalten von Sonderbauwerken, wie Entlastungsbauwerke über Wehr- und Drosselanlagen sowie Düker- und Pumpbauwerke, abgebildet werden. Die Eingangsgröße ist dabei die hydrologische Abflussbildung und Abflusskonzentration wodurch auch hydrologische Größen wie Verdunstung, Versickerung, Verlustgrößen (z. B. Interzeption) und der Niederschlag zeitlich als auch räumlich verteilt berücksichtigt werden. Diese Flächen werden in den meisten Fällen als halbverteilte hydrologische Flächen im Modell berücksichtigt, wobei die räumliche Auflösung sich auf Grundstücksebene befindet. Auf jeder dieser Flächen werden die Abflussbildung sowie die Abflusskonzentration bestimmt und einem Knoten im Kanalsystem zugewiesen. Ein weiterer Vorteil dieser Modelle ist, dass es möglich ist die dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen in die hydrologische Abflussbildung zu integrieren.

Für den Modellaufbau ist eine umfassende Datengrundlage notwendig, die neben frei zugänglichen (z. B. Luftbilder, Digitale Geländemodelle, usw.) auch gemeindespezifische Daten (z. B. Leitungsinformationssystem (LIS)) beinhalten. Wie bei allen Modellen gibt es Unsicherheiten bzgl. des Anschlussgrads und dem Abflussbeiwert aller angeschlossenen Flächen. Dieses Problem verstärkt sich durch den Umstand, dass die Kapazitätsgrenze der Kanalisation, aufgrund des starken Wachstums in den größeren Gemeinden vielfach erreicht ist und einige Gemeinden daraus ein Einleitverbot von Niederschlagswasser in Ihren Bauordnungen erlassen. Daher muss das Niederschlagswasser an Ort und Stelle bewirtschaftet werden. Für die Modellierung ergibt sich in diesem Zusammenhang allerdings eine große Unsicherheitsquelle.

Das Anlageverhalten der zentralen und dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung kann mit Hilfe eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells sehr gut bewertet werden, allerdings wird die Auswirkung auf benachbarte Elemente oder Infrastrukturanlagen, die nicht direkt im Entwässerungssystem eingebunden sind nicht berücksichtigt, da mit der alleinigen Zielgröße des Überstauvolumens dies nicht bestimmt werden kann (Abbildung 31). Die Auswirkung von Betriebsstörungen in dezentralen Anlagen auf die zentralen Elemente des Entwässerungssystems kann jedoch abgebildet werden.

Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells für die Bewertung von zentralen und dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen

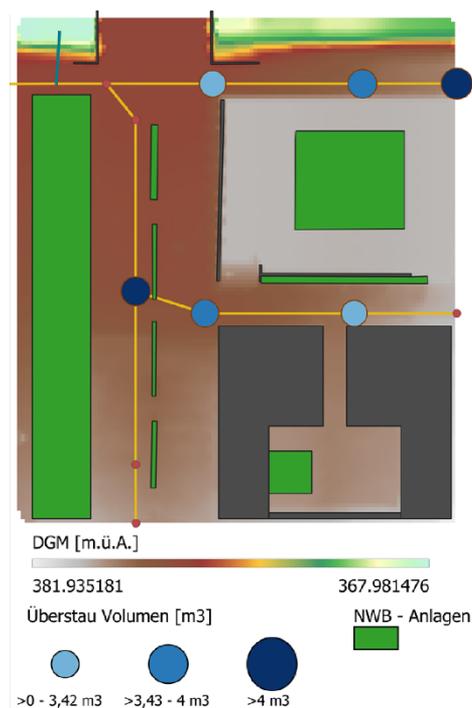


Tabelle 36: Beschreibung eines hydrodynamischen 1D Modells

Modell	Hydrodynamisches 1D Kanalmodell
Vorteile	Physikalische basierte Berechnung des Kanalabflusses Durchführung von Überstaunachweisen möglich Langzeitsimulationen möglich
Nachteile	Umfangreiche Datengrundlage ist erforderlich Keine Aussage über Überflutungsflächen Keine Aussagen über die Auswirkung auf benachbarte Systeme
Zielgröße	Farbflussgrößen in der Kanalisation sowie hydrologische Kenngrößen wie Verdunstung und Infiltration
Bewertungsmöglichkeit	Bewertung von Anlagen der zentralen und dezentralen
Verfügbarkeit	Frei verfügbare und kommerzielle Softwareprodukte

7.4.5 Hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell

Da Überflutungen per Definition ein räumlich und zeitlich verteilter physikalischer Abflussprozess an der Oberfläche sind, können diese vereinfacht zweidimensional mit Hilfe hydrodynamischer 2D Überflutungsmodelle abgebildet werden. Die gesuchte Zielgröße dieser Modelle ist sowohl der Wasserstand als auch die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche, welches die Einflussgrößen für Schäden an betrachteten Objekten (z. B. Gebäude oder Mensch) im Überflutungsfall darstellen. Diese Modelle wurden in der Vergangenheit vielfach für die Analyse von fluvialen Überflutungen (Flusshochwasser) verwendet, werden aber auch immer häufiger für pluviale Überflutungsuntersuchungen (z. B. Hangwasser) herangezogen. Da die urbane Überflutung häufig eine Kombination aus beiden ist, ist ein hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell für die Bewertung von urbanen Überflutungen gut geeignet. Allerdings wird der Einfluss der Kanalisation nicht berücksichtigt.

Der Vorteil dieser Modelle ist es, mithilfe des physikalisch basierten Ansatzes die Überflutungsflächen räumlich und zeitlich verteilt zu bestimmen, wodurch es möglich wird die Auswirkung auf benachbarte oberirdische Infrastruktursysteme, wie Stromversorgung, Verkehrswege, öffentliche Gebäude etc., bewerten zu können. Ein weiterer Vorteil ist die durchaus überschaubare Datengrundlage, welche vorwiegend die im EZG situierten Fließhindernisse wie Gebäude, Mauern, Durchlässe/Durchgänge und Brücken umfasst und aus einer Kombination aus digitalen Geländemodell (DGM) und digitalen Oberflächenmodell (DOM) mit einer geeigneten Auflösung ($\leq 1 \times 1 \text{m}$ (Huber et al., 2021) besteht. Vor allem die Hindernisse müssen über Ortsbegehungen sowie Luftbildanalysen validiert werden, um den Fließvorgang an der Oberfläche realistisch abbilden zu können. Der Nachteil dieser Modelle sind die durchaus hohen Simulationszeiten, weshalb oftmals nur Einzelereignisse simuliert werden können. Ein weiterer entscheidender Nachteil ist, dass diese Modelle in den wenigsten Fällen die Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung implementiert haben. Aus diesem Grund ist eine Bewertung dieser Anlagen hinsichtlich außergewöhnlicher Ereignisse oftmals nicht möglich oder nur durch aufwändige Modellkopplungen umzusetzen. All diese Erkenntnisse sind in Abbildung 32 nochmals zur besseren Übersicht dargestellt.

Abbildung 32: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen 2D Überflutungsmodells bezüglich der Bewertung auf Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

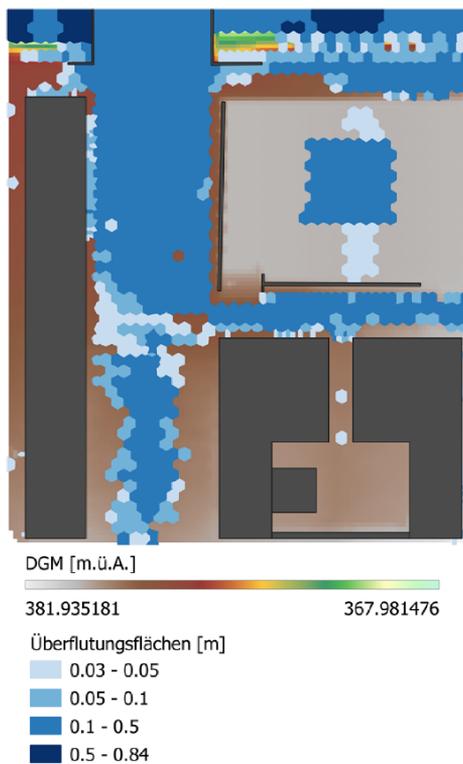


Tabelle 37: Beschreibung eines hydrodynamischen 2D Modells

Modell	Hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell
Vorteile	Physikalische basierte Berechnung des Oberflächenabflusses Datengrundlage überschaubar (Landbedeckung, Digitales Höhenmodell (DGM) und Digitales Oberflächenmodell (DOM))
Nachteile	Hohe Simulationszeiten (keine Langzeitsimulation möglich) Keine Aussage zum Anlageverhalten
Zielgröße	Überflutungsflächen aus Wasserstand und Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche
Bewertungsmöglichkeit	Bewertung der Auswirkung auf benachbarte Systeme über die Überflutungsflächen
Verfügbarkeit	Frei verfügbare und kommerzielle Softwareprodukte

7.4.6 Integriertes 1D-2D Überflutungsmodell

Die höchste Detaillierungsgrad einer Bewertung von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen stellt ein integriertes 1D-2D Modell dar. Dieses kombiniert ein hydrodynamisches 1D Kanalnetzmodell mit einem hydrodynamischen 2D Überflutungsmodell, wobei diese sowohl sequentiell als auch zeitsynchron gekoppelt werden können (Abbildung 33). Wobei die sequentielle Kopplung die zeitaufwändigere Variante der Modellkopplung darstellt. Durch die Kopplung der beiden Modelle ist sowohl eine Bewertung hinsichtlich des Verhaltens der Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen sowie der Auswirkungen auf benachbarte Systeme (z. B. Kläranlage, Fließgewässer) über die Überflutungsflächen möglich. Durch den hohen Detaillierungsgrad ist jedoch auch die Datengrundlage für den Aufbau solcher Modelle sehr hoch. Zusätzlich sind die Simulationszeiten wie bei den 2D Überflutungsmodellen sehr lang, wodurch Langzeitbetrachtungen nur mit sehr viel Aufwand oder durch eine Auslagerung auf ein Rechencluster möglich sind. Die relevanten Zielgrößen solcher Modelle sind sowohl die Überflutungsflächen an der Oberfläche als auch jene der hydrologischen als auch hydraulischen Größen der zentralen und dezentralen Anlagen.

Abbildung 33: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen 1D-2D Überflutungsmodells zur Bewertung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

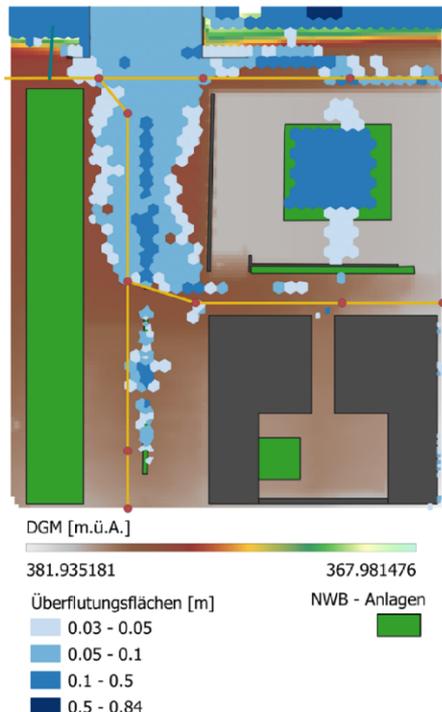


Tabelle 38: Beschreibung eines hydrodynamischen 1D-2D Überflutungsmodell

Modell	Hydrodynamisches 1D-2D Überflutungsmodell
Vorteile	Physikalische basierte Berechnung des Oberflächenabflusses und des Kanalabflusses Alle Anlagen können über das Modell abgebildet werden
Nachteile	Hohe Simulationszeiten (keine Langzeitsimulation möglich) Hohe Anforderungen an die Datengrundlage
Zielgröße	Überflutungsflächen aus Wasserstand und Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche, sowie hydrologische Kenngrößen der Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen
Bewertungsmöglichkeit	Bewertung der Auswirkung aller Anlagen sowie auf benachbarte Systeme über die Überflutungsflächen
Verfügbarkeit	Vorwiegend kommerzielle Softwareprodukte

7.4.7 Zusammenfassung und Diskussion der modellbasierten Methoden

Die vorgestellten Methoden stellen eine gute Übersicht hinsichtlich der Möglichkeiten dar, Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung hinsichtlich der Auswirkung von außergewöhnlichen Ereignissen und Betriebszuständen jenseits originärer Bemessungszustände bewerten zu können. Alle hier vorgestellten modellbasierten Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Der Einsatz ist vor allem abhängig von den geforderten Ziel- und Fragestellungen. In Hinblick auf die praktische Umsetzung muss auch eine Kosten-Nutzen Betrachtung in den Entscheidungsprozess mit einfließen. In diesem Zusammenhang sind die resultierenden Simulationszeiten der einzelnen Methoden sowie die Investitionskosten der Softwareprodukte häufig die sensitive Größe. Dem gegenüber steht die Unsicherheit hinsichtlich der Genauigkeit des abzubildenden Prozesses (z. B. urbane Überflutungen). Ebenfalls stellt die Datenverfügbarkeit eine limitierende Größe dar, da manche Modellansätze wie das hydrodynamische 1D Kanalnetzmodell und das integrierte 1D-2D Überflutungsmodell beispielsweise ein digitales Leitungsinformationssystem (LIS) voraussetzen. Bei anderen Modellansätzen, wie der topographischen Fließweganalyse, der reinen 2D Überflutungsmodellierung und den rasterbasierten 2D Modellen, ist hauptsächlich ein sehr genaues und validiertes digitales Geländemodell (DGM) notwendig. Diese Methoden eignen sich daher vor allem in kleineren Gemeinden wo noch kein LIS vorhanden ist zu einer ersten Einschätzung bezüglich außergewöhnlicher Ereignisse. Es muss allerdings stets berücksichtigt werden, dass entscheidende Prozesse wie die

hydrologische Abflussbildung stark vereinfacht und hydraulische Prozesse wie der Abfluss im Entwässerungssystem gar nicht berücksichtigt werden.

Die topographische Fließweganalyse bietet die schnellste Möglichkeit einer Analyse, da sie nur eine vergleichsweise geringe Datengrundlage, wenig Simulationszeit und keine teuren Softwareprodukte benötigt. Einzig ein genaues und validiertes DGM muss verfügbar sein, um die Fließwege abbilden zu können. Allerdings ist dies eine ereignisunabhängige Methode, da kein Niederschlagsereignis simuliert werden kann. Ebenso wird das Verhalten der NWB-Anlagen nicht abgebildet. Dies ist bei einem hydrodynamischen 1D Kanalnetzmodell und einem integrierten 1D-2D Überflutungsmodell möglich. Da das integrierte 1D-2D Modell das Abflussverhalten an der Oberfläche zusätzlich zum Anlageverhalten aller relevanter Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung ebenfalls abbildet und dadurch die Auswirkung auf benachbarte Systeme untersucht werden können, eignet sich dieses Modell für die im Projekt geforderte Ziele am besten. Das hydrodynamische oder das rasterbasierte 2D Modell benötigt zwar eine geringere Datengrundlage zur Modellerstellung, wodurch auch die Kosten geringer sind, allerdings ist eine Bewertung des Verhaltens von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung nur durch eine sequentielle (Monschein & Gamerith, 2021) oder integrierte Modellkopplung (Sañudo et al., 2020) möglich. Ebenso zeigen Untersuchungen bezüglich urbaner Überflutungen, dass der Einfluss der Kanalisation nicht vernachlässigt werden kann (Reinstaller et al., 2022). Aus diesem Grund kann folgende Empfehlung für die modellbasierte Bewertung von außergewöhnlichen Ereignissen formuliert werden:

Empfehlung zur modellbasierten Bewertung von außergewöhnlichen Ereignissen:

Zusammenfassend ist es einzig mit einem vollständig gekoppelten 1D-2D Ansatz möglich, das urbane Entwässerungssystem hinsichtlich außergewöhnlicher Ereignisse bewerten zu können. Das liegt zum einen daran, dass neben dem Entwässerungssystem selbst (zentral und dezentral) mit all seinen Anlagen wie Überläufen, Speicherbauwerken, Pumpen auch der Abflussprozess an der Oberfläche realitätsnah abgebildet werden kann. Ebenso ist es möglich über Steuerungsregeln außerplanmäßige Zustände, wie zum Beispiel Verklausungen, simulieren zu können. Da nur wenige Softwareprodukte all diese Funktionen erfüllen, muss an dieser Stelle auch die Möglichkeit der sequentiellen und integrierten Modellkopplung aufgezeigt werden.

8 Verhalten der Anlagen

8.1 Betrachtete Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Insgesamt werden 14 Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung genauer auf ihr Verhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen untersucht. Davon lassen sich 7 Anlagen den zentralen Infrastrukturen und 7 den dezentralen Infrastrukturen zuordnen (Tabelle 39).

Alle Anlagen werden in der Folge einer genaueren Untersuchung hinsichtlich ihres Verhaltens bei außergewöhnlichen Ereignissen und Betriebsstörungen mithilfe der FMEA Methodik unterzogen. Als äußere Systemgrenze wurde die Abwasserreinigungsanlage (ARA) gewählt, die nicht in die Untersuchungen mit aufgenommen wurde.

Tabelle 39: Betrachtete Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Typ	Zentrale Infrastruktur	Dezentrale Infrastruktur
Anlage	Mischwasserkanal	Mulden-, Flächenversickerung und Versickerungsgräben
	Regenwasserkanal	Kombinierte Versickerungssysteme und Baumrigolen
	Hausanschlusskanal	Schacht-, Drainagerohr- und Rigolenversickerung
	Pumpwerk	Zisterne mit Regenwassernutzung
	Mischwasserüberlauf und Mischwasserüberlaufbecken	Künstliche Wasserflächen und Teiche
	Speicherkanal	Teilversiegelte Oberflächen
	Regenrückhaltebecken	Dachbegrünung

8.2 Ergebnisse der FMEA Methodik

Im Folgenden werden die 15 zentralen und dezentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung hinsichtlich relevanter Betriebsstörungen und außergewöhnlicher Ereignisse mit der FMEA Methodik untersucht. Dies beinhaltet die Klassifizierung jeder Anlage/Ereigniskombination anhand der drei eingangs beschriebenen FMEA Indikatoren Severity (Schweregrad), Occurrence (Häufigkeit) und Fehlererkennung (Detectability), welche miteinander multipliziert die Risk Priority Number (Wichtigkeit des Fehlers) ergeben. Für jede Anlage wurden die Fehler nach der Risk Priority Number absteigend geordnet, sodass die relevantesten Betriebsstörungen und außergewöhnlichen Ereignisse oben zu finden sind. Zusätzlich lassen sich einzelne Anlagen/Ereigniskombinationen zwischen den Tabellen vergleichen. Die Bewertung der einzelnen Anlagen/Ereigniskombinationen beruht auf Einschätzungen von Expert:innen, die durch Forschung, Entwicklung oder Betrieb ein umfangreiches Wissen und Erfahrung bezüglich des Verhaltens der Anlagen mitbringen. Zwischen den einzelnen Anlagen gab es Unterschiede bei der Anzahl der durchgeführten Interviews. Mulden-, Flächenversickerung und Versickerungsgräben waren mit insgesamt 6 Interviews am häufigsten abgedeckt, wohingegen die Anlagen Speicherkanal, Zisterne mit Regenwassernutzung, Regenrückhaltebecken und die kombinierten Versickerungssysteme nur durch einen Expert:innen abgedeckt wurden. Die Expert:innen wurden bei der Analyse der Anlagen und der Bewertung der Fehler gebeten dies möglichst allgemeingültig zu tun. Trotzdem besteht bei der Vielzahl von unterschiedlichen Anlagentypen und der Vielfältigkeit der möglichen Fehler kein Anspruch auf Vollständigkeit. Für eine genaue Untersuchung der Anlagen in der eigenen Gemeinde sollte die FMEA Methodik für alle relevanten Anlagen selbst durchgeführt werden. Nur so lassen sich alle außergewöhnlichen Ereignisse und Störfälle, die möglicherweise nur für ihre Gemeinde relevant sind, umfassend abdecken. Aus den Ergebnissen der Tabellen lassen sich für Gemeinden und Betreiber von NWB Anlagen Handlungsempfehlungen für den Betrieb, Wartung und Sanierung von Anlagen ableiten. Eine hohe Risk-Priority-Number (RPN) zeigt eine hohe Wichtigkeit des Fehlers und damit einen erhöhten Handlungsbedarf auf.

8.2.1 Zentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Tabelle 40: FMEA-Analyse Mischwasserkanal

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV -A	SEV -K	SEV -U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DE T	Konstruktive Anpassung	RP N
Ablagerungen im Kanal	geringerer Abflussquerschnitt; Geruchsbelästigung;	Ableitung Schmutz- und Regenwasser	2	2	2	Mineralische oder sonstige schwere Stoffe im Kanal; zu geringes Gefälle; wenig Wasser im Kanal	4	Kanalreinigung; Einbau von Sandfängen im Kanalsystem um an wenigen Punkten konzentriert Geschiebe aus dem Kanal entfernen zu können	4	Einbau von Sandfängen, Profilanpassung (Eiprofil, Sonderprofil), Einbau Spülklappen, Schmutzfang an Straßeneinläufen, Berücksichtigung während der Planung (Gefälle, Profil)	32
Eindringen von Bodenmaterial	Rückstau, Überlastung des Kanals	Ableitung Schmutz- und Regenwasser	4	3	3	Fehlerhafter Anschluss, Verlegefehler, Lagerung	3	Inspektion, Neubau des Kanalrohrs oder Sanierung durch Kanalservice	3	Installation von Dichtungsringen und qualitativ hochwertigen Verbindungselementen	30

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV -A	SEV -K	SEV -U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DE T	Konstruktive Anpassung	RP N
Undichtheit	Austritt von Mischwasser in den Untergrund (Verunreinigung Grundwasser); Eintritt von Fremdwasser in den Kanal und dadurch Mehrbelastung der ARA; evtl. Absenken des Grundwasserspiegels	Grundwasserschutz, Ableitung Schmutz- und Regenwasser	2	2	3	Alterung; Baumängel	4	Kanalinspektion und Sanierung	3	Installation von Dichtungsringen und qualitativ hochwertigen Verbindungselementen; Sicherstellung Qualität der Ausführung (Bauaufsicht)	28
Verstopfung untergeordneter Kanäle	Austritt von Mischwasser in Gebäude, Straße, Vorfluter	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Überflutungsschutz	4	3	3	bauliche Mängel; zu viel Fett im Kanal (Fettabscheider nicht gewartet); zu geringes Gefälle; einbringen grober Stoffe (z. B. Baumaterialien) in den Kanal; zu wenig Wasser im Kanal; keine Kanalreinigung etc.	4	Kanalreinigung	2	Filtersysteme für Schmutzwasser im Übernahmeschacht (Pirklbauer & Tordy); Einbau von Profilen mit hohen Sohl Schubspannungen	27
Verstopfung (Neben- oder Hauptsammler)	Austritt von Mischwasser in Gebäude, Straße, Vorfluter	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Überflutungsschutz	4	4	4	Bauarbeiten (einbringen sehr großer, schwerer Stoffe in den Kanal), keine Kanalreinigung	3	Kanalreinigung	2	Filtersysteme für Schmutzwasser im Übernahmeschacht (Pirklbauer & Tordy); Einbau von Profilen mit hohen Sohl Schubspannungen	24

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV -A	SEV -K	SEV -U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DE T	Konstruktive Anpassung	RP N
Fehlanschluss Regenwasserkanal an Mischwasserkanal	Überlastung des Kanals	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Überflutungsschutz	2	2	2	Verlegefehler	3	neuer Anschluss an Regenwasserkanal	4		24
Kanalbruch untergeordneter Kanäle (OHNE Fremdeinwirkung = Bauarbeiten)	Abfluss stark eingeschränkt, oder vollständig unterbrochen	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Grundwasserschutz	5	3	3	Alterung (selten Hangrutschung, Unterspülung etc.)	3	Neubau; eventuell unterirdisch möglich (z. B. Berstlining)	2	Wahl höherer Belastungsklassen	22
Einstau der Mischwasserentlastungen	Hauptsammler: Flusswasser läuft über Entlastungen in den Kanal; Sedimente im Kanal => hoher Reinigungsaufwand; Zulaufschieber vor ARA wird geschlossen (Ausleitung des Mischwassers in den Fluss)	Ableitung Schmutz- und Regenwasser	4	4	3	Hochwasser	3	Rückgang des Hochwassers; Kanalreinigung	2	Rückstauklappen, Hochwasserpumpen	22
explosionsfähige Stoffe im Kanal	Gefahr für Arbeiten im Kanal; Geruchsbelästigung	Betriebssicherheit	1	1	2	Unfall mit Eintrag explosiver Stoffe in den Kanal; Deponiegase; Faulung im Kanal	4	auf natürliche Durchlüftung des Kanals achten; in der Nähe von Deponien besonders auf Dichtigkeit des Kanals achten;	3	Einbau von Gaswarnanlagen; Sicherstellung Belüftung	16

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV -A	SEV -K	SEV -U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DE T	Konstruktive Anpassung	RP N
Kanaldeckel beschädigt	Schäden an Fahrzeugen, Personen durch stolpern und Absturz, Eintritt von Grobstoffen	Ableitung Schmutz- und Regenwasser	2	1	3	Vandalismus, Starkregen, Überstau, Schneepflug	4	Kanaldeckel suchen + wieder einsetzen, ersetzen	2	Deckel mit Sicherheitsverschluss bzw. Spezialverschraubung	16
Kontamination mit großen Mengen Mineralöl oder anderen chemischen Substanzen	Schäden am Kanal, Gefahr für Arbeiten im Kanal; Probleme für ARA	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Gewässerschutz	4	3	4	Unfall mit Eintrag über Regeneinläufe; Probleme bei Betrieben (z. B. Ausfall Neutralisation)	2	bei Unfall Zusammenarbeit mit Feuerwehr danach Kanalreinigung; betriebliche Indirekteinleiter: Kontrolle/Reparatur/Erneuerung der Vorreinigungsanlagen ARA: eventuell Klärschlamm gesondert entsorgen etc.;	2	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an Straßeneinläufen)	15
Entstehung geruchsverursachender Stoffe (H2S; Ammoniak etc.)	Geruchsbelästigung und etvl. Korrosion von Beton und metallischen Bauteilen	Betriebssicherheit	2	1	2	zu geringe Fließgeschwindigkeit/Gefälle, Ablagerungen; hohe AW-Temperatur	4	Kanalreinigung; Geruchsfilter	2	Belüftung sicherstellen	13

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV -A	SEV -K	SEV -U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DE T	Konstruktive Anpassung	RP N
Kanalbruch bei Neben- oder Hauptsammler (OHNE Fremdeinwirkung = Bauarbeiten)	Abfluss stark eingeschränkt, oder vollständig unterbrochen	Ableitung Schmutz- und Regenwasser, Grundwasserschutz	5	4	4	Alterung; keine Inspektion mit rechtzeitiger Sanierung	3	unterirdische Sanierung oder Neubau	1		13
Überstau	Austritt von Mischwasser auf die Straße, in Gebäude	Überflutungsschutz	3	3	3	Starkregen; Kanäle zu klein dimensioniert; falsch/illegal angeschlossene Flächen;	4	dezentrale Versickerung; hydraulische Sanierung	1	Notwasserwege auf der Oberfläche, Vergrößerung Kanalquerschnitt, Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle, Stauraumaktivierung	12
Explosion im Kanal	Beschädigung/Zerstörung der Kanalisation	Ableitung Schmutz- und Regenwasser	4	3	3	Zündquelle und gleichzeitig explosionsfähige Atmosphäre im Kanal	1	wie oben; zusätzlich Ex-Schutz beachten	1	Einbau von Überdruckventilen und Gasmesssystemen, belüftete Deckelkonstruktionen; Brandschutzgeräte in Sonderbauwerken	3

Tabelle 41: FMEA-Analyse Regenwasserkanal

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Ablagerungen, anhaftende Stoffe, Sedimente	Undichtigkeit, Verstopfungen, vermindern des Kanalquerschnitts	Ableitung von Regenwasser	2	2	2	Eindringen von Fremdmaterial über Dach und Straßen	4	regelmäßige Wartung und Reinigung	4	Einbau von Sandfängen, Profilanpassung (Eiprofil, Sonderprofile), Einbau Spülklappen, Schmutzfang an Straßeneinläufen, Berücksichtigung während der Planung (Gefälle, Profil)	32
Eindringen von Bodenmaterial	Rückstau, Überlastung des Kanals	Ableitung von Regenwasser	4	3	3	Fehlerhafter Anschluss, Verlegefehler, Lagerung	3	Inspektion, Neubau des Kanalrohrs oder Sanierung durch Kanalservice	3	Installation von Dichtungsringen und qualitativ hochwertigen Verbindungselementen	30
Undichtheit	Eintritt von Grundwasser in den Kanal und dadurch erhöhter Abfluss im Vorfluter bzw. Mehrbelastung der Versickerung; evtl. Grundwasserabsenkung	Ableitung von Regenwasser, Grundwasserschutz	2	2	2	Alterung, Baumängel	4	Kanalinspektion und Sanierung	2	Installation von Dichtungsringen und qualitativ hochwertigen Verbindungselementen; Sicherstellung Qualität der Ausführung (Bauaufsicht)	16
Verstopfung	Austritt von RW auf die Straße	Ableitung von Regenwasser, Überflutungsschutz	4	3	4	große, schwere Stoffe im Kanal (z. B. Baumaterialien); keine Kanalreinigung	2	Kanalreinigung	2	Einbau von Profilen mit hohen Sohl-schubspannungen	15

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Kanalbruch (ohne Fremdeinwirkung = Bauarbeiten)	Abfluss stark eingeschränkt, oder vollständig unterbrochen	Ableitung von Regenwasser, Grundwasserschutz	5	4	4	Alterung; (selten Hangrutschung, Unterspülung etc.)	3	Neubau; eventuell unterirdisch möglich (z. B. Berstlining)	1	"	13
Überstau	Austritt von Regenwasser auf die Straße und in Gebäude	Überflutungsschutz	3	3	3	Starkregen; Kanäle zu klein dimensioniert; falsch/illegal angeschlossene Flächen	4	dezentrale Versickerung; hydraulische Sanierung;	1	Wahl höherer Belastungsklassen	12
explosionsfähige Stoffe im Kanal	Gefahr für Arbeiten im Kanal	Betriebssicherheit	1	1	2	Unfall mit Eintrag explosionsfähiger Stoffe in den Kanal; Deponiegase	2	auf natürliche Durchlüftung des Kanals achten; in der Nähe von Deponien besonders auf Dichtigkeit des Kanals achten;	3	Notwasserwege auf der Oberfläche, Vergrößerung Kanalquerschnitt, Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle, Stauraumaktivierung	8
Kontamination mit großen Mengen Mineralöl oder anderen chemischen Substanzen	Schäden am Kanal, Gefahr für Arbeiten im Kanal; Austausch Bodenfilter evtl. erforderlich	Ableitung von Regenwasser, Gewässerschutz	4	3	4	Unfall mit Eintrag über Regeneinläufe	2	bei Unfall Zusammenarbeit mit Feuerwehr danach Kanalreinigung und eventuell Reinigung des Bachbetts etc.	1	Einbau von Gaswarnanlagen, Belüftung	7

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Explosion im Kanal	Beschädigung/Zerstörung der Kanalisation	Ableitung von Regenwasser	4	3	3	Zündquelle und gleichzeitig explosionsfähige Atmosphäre im Kanal	1	wie oben; zusätzlich Ex-Schutz beachten	1	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an den Straßeneinläufen)	3

Tabelle 42: FMEA-Analyse Hausanschlusskanal

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Undichtigkeit	Austritt von Abwasser in den Untergrund (Verunreinigung Grundwasser); Eintritt von Fremdwasser in den Kanal und dadurch Mehrbelastung der ARA	Grundwasserschutz, Ableitung von Schmutz- und (wenn genehmigt) Regenwasser	2	2	3	Alterung; Baumängel	3	Kanalinspektion und Sanierung	3	Stahl- oder korrosionsbeständige Kunststoffrohre, Doppelmantelsystem, elastische Dichtungen	21
Kanalbruch (OHNE Fremdeinwirkung = Bauarbeiten)	Abfluss stark eingeschränkt, oder vollständig unterbrochen	Grundwasserschutz, Ableitung von Schmutz- und (wenn genehmigt) Regenwasser	5	2	2	Alterung, Baumängel, ungeeignetes Rohrmaterial etc.	3	Neubau; eventuell unterirdisch möglich (z. B. Berstlining)	2	Flexible Rohrmaterialien z. B. HDPE-Rohre; angemessene Tiefenlage der Rohre	18
Rückstauschutz mangelhaft	bei Überstau Austritt von Abwasser ins Gebäude	Überflutungsschutz	1	1	3	Rückstauschutz nicht vorhanden, defekt, mangelhaft oder falsch installiert (bei geschlossener	3	Rückstauschutz korrekt installieren und betreiben	3	Höher gelegene Austrittsöffnungen, Rückstauklappen	15

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
						Klappe fließt Regenwasser ins Gebäude)					
Verstopfung	Abwasser/Regenwasser fließt nicht ab, evtl. Austritt von Abwasser im Gebäude; Geruchsprobleme	Ableitung von Schmutz- und (wenn genehmigt) Regenwasser	4	1	2	bauliche Mängel; zu viel Fett im Kanal (Fettabscheider nicht gewartet); zu geringes Gefälle; einbringen grober Stoffe (z. B. Baumaterialien) in den Kanal; zu wenig Wasser im Kanal; keine Kanalreinigung etc.;	3	Kanalreinigung; evtl. Sanierung	2	Einbau von Profilen mit hohen Sohl-schubspannungen, Optimierung des Kanalgefälles	14
Geruchsbelästigung, Verstopfung der Entlüftungsleitung	hygienische Probleme, Geruchsentwicklung, verringerte Ableitung von Abwasser		2	1	1	unsachgemäßer Betrieb des Kanalsystems, fehlende Wartung	2	regelmäßige Wartung	3	Belüftete Abflussrohre --> auf betriebssichere Ausführung der Entlüftungsleitung achten	8

Tabelle 43: FMEA-Analyse Pumpwerk

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
explosionsfähige Stoffe im PW	Gefahr für Arbeiten im PW; Geruchsbelästigung	Betriebssicherheit	1	1	2	Faulung im Zulaufbehälter; MW-Pumpwerk: Unfall mit Eintrag explosiver Stoffe über Regeneinläufe in den Kanal und weiter ins PW	4	kürzere Verweilzeiten im Zulaufbehälter; auf natürliche Durchlüftung des Kanals achten; in der Nähe von Deponien besonders auf Dichtigkeit des Kanals achten;	3	Einbau Gaswarngeräte, Brandschutzgeräte in Sonderbauwerken	16
max. Niveau im Zulauf erreicht	Rückstau des Abwassers, Überlastung der Pumpe, Pumpenausfall	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	3	3	3	große Menge Fremdwasser, Pumpenausfall; Stromausfall	4	wenn Pumpenausfall als Ursache - Pumpe reparieren; redundante Pumpe(n) installieren; Anschluss für Notstromversorgung installieren	1	max. Niveau Messung (ist Standard)	12
Schutzschalter der Pumpe ausgelöst	Überlast der Pumpe, Pumpenausfall	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	3	2	2	Fremdkörper in der Anlage	4	Pumpe reinigen	1	Sichere Elektrotechnische Ausrüstung	9
Stromausfall	Pumpenausfall, Rückstau des Abwassers	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	3	2	2	kein Strom	4	Fehler der Stromversorgung ausfindig machen und beheben	1	Einbau Notstromaggregat	9
Verstopfung, Verzapfung	Störung der Förderung, Blockieren der Pumpe, Pumpenausfall	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	3	2	2	Abfälle (Hygieneartikel) im Kanal	4	regelmäßige Wartung, Sensoren der Pumpen	1	leicht zugängliche Wartungspunkte vorsehen, Vorgeschaltete mechanische	9

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
										Reinigungsanlage z. B. Rechen	
Entstehung geruchsverursachender Stoffe (H2S; Ammoniak etc.)	Geruchsbelästigung und ev. Korrosion von Beton und metallischen Bauteilen		2	2	3	zu lange Aufenthaltszeiten des Abwassers; zu geringe Fließgeschwindigkeit; hohe AW-Temperatur	4	Reinigung; Schaltzeiten und damit Aufenthaltszeit des AW verkürzen; säurebeständige Materialien verwenden; GeruchsfILTER; Dosierung von Chemikalien (Fe, NO3 etc.)	1	Säure-beständige Materialien, Belüftung	9
bei MW-Pumpwerk: Kontamination mit großen Mengen Mineralöl oder anderen chemischen Substanzen	Schäden am PW; Gefahr für Arbeiten im PW; Probleme für ARA	Betriebssicherheit, Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	4	3	3	Unfall mit Eintrag über Regen-einläufe; Probleme bei Betrieben (z. B. Ausfall Neutralisation)	1	bei Unfall Zusammenarbeit mit Feuerwehr danach Kanalreinigung; betriebliche Indirekteinleiter: Kontrolle/Reparatur/Erneuerung der Vorreinigungsanlagen ARA: eventuell Klärschlamm gesondert entsorgen etc.	2	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an den Straßeneinläufen)	7
Ausfall Niveaumessung (gleichzeitig Höhensandsmessung und Schwimmer)	Pumpenausfall, Rückstau des Abwassers	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	3	3	3	Defekter Höhensandsensor und gleichzeitig defekter Schwimmer	2	redundante Messung; Reparatur; Reinigung; Austausch	1	Redundante Messung über zweite Messeinrichtung	6
zu lange Laufzeiten	Überhitzen der Pumpe, Pumpenausfall	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	2	1	1	Fremdkörper in der Anlage, Fremdwasser; falsch dimensionierte Pumpe bzw. Druckleitungen	4	Reinigung der Pumpen; Reduktion von Fremdwasser;	1	Einbau von Temperatursensoren, Optimierung Schaltpunkte	5

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Ausfall Kommunikation zum Leit-system	Pumpe kann nicht von der Ferne gesteuert werden; keine Statusinformationen der Pumpe	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	2	1	1	Ausfall Datenübertragung	4	Neustart, Telekommunikationsunternehmen, Austausch Modem etc.	1	Redundante Kommunikation (Kabel und Funk)	5
Explosion im PW	Beschädigung/Zerstörung des PW	Förderung von Schmutz- bzw. Mischwasser	4	3	3	Zündquelle und gleichzeitig explosionsfähige Atmosphäre im PW	1	wie oben; zusätzlich Ex-Schutz beachten	1	Einbau Gaswarngeräte, Brandschutzgeräte in Sonderbauwerken, Einbau Überdruckventile	3

Tabelle 44: FMEA-Analyse Mischwasserüberlauf und Mischwasserüberlaufbecken

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Vandalismus	Beschädigung von Anlagen; Lebensgefahr für die eingestiegenen Personen	Hydraulische Entlastung des Mischwasserkanals	2	2	2	Unbefugter Zutritt ins Kanalsystem	4	Reparatur, Erneuerung, Reinigung	3	Einzäunung, Deckel mit Sicherheitsverschluss bzw. Spezialverschraubung	24
Ausfall Grobstoffrechen	Verkläuerung des Rechens; Not-Überlaufkante über den Rechen ist höher als Soll => Rückstau in den MW-Kanal	Hydraulische Entlastung des Mischwasserkanals	3	3	3	Ausfall Hydraulikaggregat, defekte Räumanlage, Stromausfall	4	Wartung vor Ort, Reinigung, Erneuerung	2	Verwendung eines selbstangetriebenen Rechens bzw. Siebs ohne Fremdenenergie	24
Ausfall der Regelorgane (Wehre, Klappen)	keine optimale Ausnutzung des vorhandenen Kanalvolumens; zu viel bzw. zu häufige Entlastungen		3	2	3	Ausfall der Kommunikation zum PLS, Ausfall Hydraulikaggregat, Defektes Regelorgan	4	Wartung vor Ort, Reinigung, Erneuerung	2	Notstromversorgung der Regelorgane	21
Eingestauter Auslauf durch hochwasserführenden Vorfluter	Rückstau in das Kanalsystem; Überstau	Hydraulische Entlastung des Mischwasserkanals	3	3	4	Hochwasser	3	Rückgang des Hochwassers; Kanalreinigung	1	Einbau von Rückstauklappen	10

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Geruchsbelästigung	Geruchsbelästigung; ev. Korrosion von Beton- und metallischen Bauteilen		1	1	3	Ablagerungen und dadurch Rückstau im MW-Kanal; Ablagerungen im Entlastungskanal;	4	Kanalreinigung; (wenn möglich: Sanierung/Umbau/Neubau von problematischen Stellen im Kanalnetz)	1	Belüftung	6
keine Niveaumessung	unbekannter Wasserstand im Gerinne; unbekannte Entlastungsmenge		1	1	1	defekter Sensor, Messumformer, Kommunikation zum PLS etc.	4	Wartung vor Ort, Reinigung, Erneuerung	1	redundante Ausführung der Messtechnik	4

Tabelle 45: FMEA-Analyse Speicherkanal

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Ablagerungen	Geruchsbelästigung; erhöhte Gefahr der Verklausung der Drossel; evtl. Korrosion von Beton- und metallischen Bauteilen	Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	2	2	3	Mineralische oder sonstige schwere Stoffe im Kanal	5	Kanalreinigung; Errichtung von Schotterfängen, um an wenigen Punkten möglichst viel Geschiebe aus dem Kanal zu bekommen	2	Einbau von RTC Steuerungswehren um selbständiges Spülen bei der Entleerung zu integrieren	23
Entstehung geruchsverursachender Stoffe (H2S; Ammoniak etc.)	Geruchsbelästigung und evtl. Korrosion von Beton und metallischen Bauteilen		2	2	2	Ablagerungen; hohe AW-Temperatur	4	Kanalreinigung; Geruchsfilter	2	Belüftung einbauen	16
explosionsfähige Stoffe im Kanal	Gefahr für Arbeiten im Kanal; Geruchsbelästigung	Betriebssicherheit	1	1	2	Unfall mit Eintrag explosiver Stoffe in den Kanal; Deponiegase; Faulung im Kanal	4	auf natürliche Durchlüftung des Kanals achten; in der Nähe von Deponien besonders auf Dichtigkeit des Kanals achten;	3	Einbau Gaswarngeräte, Brandschutzgeräte in Sonderbauwerken	16
Undichtheit	Austritt von Mischwasser in den Untergrund (Verunreinigung Grundwasser); Eintritt von	Grundwasserschutz, Speicherung von Misch- oder Regenwasser	2	2	3	Alterung; Baumängel	3	Kanalinspektion und Sanierung	2		14

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
	Fremdwasser in den Kanal und dadurch Mehrbelastung der ARA; evtl. absenken des Grundwasserspiegels	während eines Regenereignisses									
Überlastung	Entlastung des MW; Überstau; sofern vorhanden: Entlastung in Vorfluter	Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	3	3	3	Starkregen; Speicherkanal zu klein dimensioniert; falsch/illegal angeschlossene Flächen;	4	dezentrale Versickerung; hydraulische Sanierung;	1	Notüberlauf	12
Kontamination mit großen Mengen Mineralöl oder anderen chemischen Substanzen	Schäden am Kanal, Gefahr für Arbeiten im Kanal; Probleme für ARA	Gewässerschutz, Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	3	3	3	Unfall mit Eintrag über Regeneinläufe; Probleme bei Betrieben (z. B. Ausfall Neutralisation)	2	bei Unfall Zusammenarbeit mit Feuerwehr danach Kanalreinigung; betriebliche Indirekteinleiter: Kontrolle/Reparatur/Erneuerung der Vorreinigungsanlagen ARA: eventuell Klärschlamm gesondert entsorgen etc.;	2	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an Straßeneinläufen)	12

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Kanalbruch (ohne Fremdeinwirkung = Bauarbeiten)	Abfluss stark eingeschränkt, oder vollständig unterbrochen	Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	5	5	5	Alterung; keine Inspektion mit rechtzeitiger Sanierung	2	unterirdische Sanierung oder Neubau	1		10
ZSK: Ausfall der Regelorgane (Wehre, Klappen)	reduzierte Ausnutzung des Speichervolumens; größere Entlastungsmenge	Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	2	2	3	technischer Defekt; Stromausfall; Ausfall der Kommunikation zum Leitsystem	4	Wartung, Reparatur	1	Notstromversorgung der Regelorgane	9
Ausfall Niveaumessung	keine Daten über Einstauereignis; ZSK: keine Steuerung möglich		2	2	2	technischer Defekt; Stromausfall; Ausfall der Kommunikation zum Leitsystem	4	redundante Messung; Reparatur; Reinigung; Austausch	1	redundante Messsysteme	8
Explosion im Kanal	Beschädigung/Zerstörung der Kanalisation	Speicherung von Misch- oder Regenwasser während eines Regenereignisses	4	3	3	Zündquelle und gleichzeitig explosionsfähige Atmosphäre im Kanal	1	wie oben; zusätzlich Ex-Schutz beachten	1	Einbau Gaswarngeräte, Brandschutzgeräte in Sonderbauwerken	3

Tabelle 46: FMEA-Analyse Regenrückhaltebecken

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Verstopfter Zu- oder Ablauf	verringertes Abfluss, Notüberlauf, lange Einstauzeiten	Reduktion des hydraulischen Stresses und der stofflichen Stoßbelastung	4	4	4	Fehlende Wartung und Pflege, Schnee und Eis	4	Freimachen der Verstopfungen, Einzugsgebietsmanagement	2	Einbau von vorge-schalteter mechanischer Reinigungsanlage	32
Beckenundichtig-keit, strukturelle Schäden	Grundwasserkontami-nation, Zerstörung der Anlage	Grundwasser-schutz	5	4	5	Planungsfehler, Ausführungs-fehler, Naturka-tastrophen, Si-ckerwasser, Piping, unsach-gemäßer Be-trieb, Erosion	3	Sanierung des Beckens	2	Ausführung als "Weiße Wanne"	28
Erosion und Abrut-schung der Bö-schung	Reduktion des Einstau-volumens, Zerstörung der Anlage	Reduktion des hydraulischen Stresses und der stofflichen Stoßbelastung	5	4	5	Planungsfehler, Ausführungs-fehler, Naturka-tastrophen, Si-ckerwasser, Überstauwasser	3	Behebung von Schäden, Sanie-rung des Be-ckens	2	Einbau von erosions-beständigen Bö-schungssteinen (Bö-schungsgitter)	28
Bewuchs von Bö-schung und Sohle	Reduktion des Einstau-volumens, Biomasse-eintrag	Reduktion des hydraulischen Stresses und der stofflichen Stoßbelastung	2	2	2	Fehlende War-tung und Pflege	5	regelmäßige Wartung und Pflege, Räu-mung des Be-ckens	2	Einbau von erosions-beständigen Bö-schungssteinen	20

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Verschlammung der Sohle	Reduktion des Einstauvolumens	Reduktion des hydraulischen Stresses und der stofflichen Stoßbelastung	2	3	2	Fehlende Wartung und Pflege, Schnee und Eis	4	Räumung des Beckens, Einzugsgebietsmanagement	2	Einbau von vorge-schalteter mechanischer Reinigungsanlage, eine Sedimentation von Feinteilen ist vorgese-hen	19
Notüberlauf	Hydraulische Überlas-tung von Gewässer und Kanal, hydraulischer Stress im Gewässer	Gewässerschutz, Reduktion des hydraulischen Stresses und der stofflichen Stoßbelastung	3	4	4	Starkregen, fal-sche Bemessung, Verstopfung der Drosseleinrichtung, vorange-gangene Ereignis-se,	2	Wartung von Zu- und Abläu-fen, Einzugsgebietsmanage-ment, Neubemessung und Anpassung des Einstauvo-lumens	1	Dimensionierung auf höhere Jährlichkeiten	7

8.2.2 Dezentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Tabelle 47: FMEA-Analyse Mulden- und Flächenversickerung

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Versickerung wegen max. Sättigung des Bodens nicht mehr möglich	Wasser in Mulde läuft in Notüberlauf oder tritt sogar über, Überforderung der Versickerungsanlage	Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, dezentrale Versickerung von Regenwasser	3	2	3	übermäßig großes Niederschlagsereignis, maximale Wassersättigung des Bodens erreicht	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden, größer dimensionierte Mulde und Filterkörper, Bodenaustausch	2	Bodenaustausch	27
defekter Zulauf, Verstopfung	in die Versickerungsmulde gelangt weniger Niederschlagswasser als eigentlich geplant, Rückstau	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas	4	2	2	Straßeneinlaufschächte/Sammelschächte oder Rohrleitungen verunreinigt; Planungs- und Ausführungsfehler, fehlende Wartung und Pflege, zu hoher Bewuchs, Schnee und Eis, fehlender Vorfilter, Straßenabfälle, Baustellen, Laub und	3	regelmäßige Kontrolle und Inspektion der Schächte und Haltungen	3	Einbau eines größeren Vorfilters, Anschließen von Dachflächen über ein direktes Fallrohr	24

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
						Vegetationsreste,					
Notüberlauf verstopft	Überlaufen, Wasser tritt in Umgebung	Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal	4	2	3	keine regelmäßige Wartung und Säuberung	4	regelmäßige Wartung, Rasenschnitt entfernen, Laub entfernen	2	Andere Bauliche Ausführung des Notüberlaufs (z. B. über eine Wehranlage)	24
Öleintritt	Verunreinigung des Bodens, des Filters und des Grundwassers, Schade für Pflanzen und Tiere		5	2	4	Verkehrsunfall	3	Feuerwehr, Einsatz von Ölbindemittel; Austausch des Muldensubstrats	2	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an den Straßeneinläufen)	22
zu viele Fein- und Fremtteile in Mulde	verringertes Einstauvolumen, Vegetationsschäden, verringerte Sickerleistung, Blockade von Ein-, Zu- und Durchläufen	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser,	2	2	2	Straßenabfälle, Baustellen, Laub und Vegetationsreste, angeschlossene Flächen, Starkregen	5	regelmäßige Wartung, Mulde ausräumen, bei Gräben V-Profil neu nachziehen	2	vorgeschaltete Absetz- oder Filteranlagen	20

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		Verbesserung des Stadtklimas									
zu hoher und falscher Bewuchs	verringertes Durchfluss und Einstauvolumen, verringerte Reinigungsleistung	Reinigung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser	2	2	2	fehlende Wartung und Pflege	4	regelmäßige Vegetationspflege (Mahd), Entfernung von Fremdvegetation	2	Substrat mit wenig Nährstoffen	16
Erosion der Muldenböschung	strukturelle Schäden, verringertes Einstauvolumen, verringerte Reinigungsleistung	Speicherung von Regenwasser	4	2	2	Planungs- und Ausführungsfehler, Trockenheit und Dürre, hohe Fließgeschwindigkeiten	3	Neupflanzung von abgestorbener Vegetation, Identifizierung und Behebung der Einflussfaktoren, die zu einem Absterben geführt haben	2	Verwendung von Geotextilien oder speziellen Bepflanzungstechniken zur Stabilisierung der Böschung; Einsatz von Gabionen oder Steinschüttungen in besonders erosionsgefährdeten Bereichen	16
Graben verlegt mit größeren Fremdkörpern wie z. B. Baumstämmen	Normalbetrieb wird gestört	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speiche-	4	2	3	Großregenergeignis führt zu Geschiebetransport	4	Graben ausräumen	1		12

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		<p> rung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas</p>									
Wasser läuft direkt in den Notüberlauf	zu viel Wasser wird in Kanalnetz eingeleitet und zu wenig Wasser wird direkt dem Grundwasser zurückgeführt	<p>dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas</p>	4	2	2	Notüberlauf zu niedrig eingebaut, Mulde zu klein dimensioniert (zu kleines Retentionsvolumen)	2	Erhöhung des Notüberlaufs durch Verlängerung des Rohres, Umgestaltung der Mulde	2	Muldenprofil entsprechend gestalten (Erhöhung Muldenränder), andere bauliche Ausführung des Notüberlaufs (z. B. über eine Wehranlage)	11
Hydraulische Überlastung	Erosion, verringerte Reinigungsleistung, Beschädigung der Anlage, Überflutung angrenzender Flächen	<p>Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Reinigung von Regenwasser</p>	4	2	2	Starkregen, Alt-schnee und Tauwetter, Planungs- und Ausführungsfehler, vorangegangenes Ereignis (nicht vollständige Entleerung)	4	Einbau eines Bypasses oder Überlaufs, der die Anlage im Extremfall vor einer Beschädigung/Überlastung schützt	1	Einbau einer vorgeschalteten Drainage mit Drosselzufluss zur Anlage (im Starkregenfall wird überschüssiges Wasser an der Anlage vorbeigeleitet)	11

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
lange Trockenperiode	Vegetationsschäden, Risse im Untergrund	Verbesserung des Stadtklimas, Grundwasserneubildung, Speicherung von Regenwasser	3	1	1	kein Niederschlag über längere Zeit	5	Bewässerung, Austausch von toten Pflanzen	1	Einsatz von trockenresistenten Pflanzenarten für die Begrünung, in manchen Fällen Einbau von wasserspeichernden Materialien	8

Tabelle 48: FMEA-Analyse Kombinierte Versickerungssysteme und Baumrigole

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
zu viele Feinteile im Drainagerohr	kein Ableiten und Aufnehmen des Bodenwassers	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	4	2	2	schlechte Wartung, Fehler beim Anschluss an Kontrollschacht, Tauchbogen vergessen	3	regelmäßiges Spülen des Drainagerohrs, Austauschen des Rohres, Verbesserung Funktion des Sammel-schachtes	4	Einbau vorgeschaltete mechanische Reinigung	32
zu viele Fein- und Fremtteile in Mulde	Wasser kann nicht mehr versickern	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas	4	2	2	Straßendreck, Laub, Grasnchnitt, Müll	5	regelmäßige Wartung, Mulde ausräumen	2	Einbau vorgeschaltete mechanische Reinigung	27
Kolmation in der BR	Herabsetzen der Versickerungsleistung, langanhaltender Überstau nach Regenereignis	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speiche-	2	2	2	zu geringe Infiltrationsleistung, Eintrag von mineralischen Feinteilen	3	Erneuerung des Bodensubstrats durch zyklische Kontrollen	4	Einbau vorgeschaltete mechanische Reinigung	24

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		<p> rung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas</p>									
Wurzeleinwuchs	Zerstörung Notüberlauf und/oder nahegelegene wasserführende Leitungen; Rigolenleitung wächst zu, Abtransport von Wasser nur bedingt möglich	Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal	4	2	2	undichter nahegelegener Kanal oder Wasserrohr; ummantelndes Trennvlies vergessen einzubauen	3	Behebung der Leckage; Entfernen der Tiefwurzler, Anpflanzen von Flachwurzlern	3	wurzeldichte Lagen bzw. Schichten oder Folien einbauen	24
Versickerung wegen max. Sättigung des Bodens nicht mehr möglich	Wasser in Mulde läuft in Notüberlauf oder tritt sogar über, Überforderung der Versickerungsanlage	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Reinigung von Regenwasser	3	2	2	übermäßig großes Niederschlagsereignis, maximale Wassersättigung des Bodens erreicht	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden, größer dimensionierte Mulde und Filterkörper, Bodenaustausch	2	Implementierung von Notwasserwegen	23
Zufluss zur BR verhindert	gesamte Regenwasser läuft oberirdisch in den Straßenkanal; Baumvitalität leidet	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regen-	4	2	2	Wartungsmangel (kein Augenmerk); plötzlich auftretende Verstopfung (organisch oder mineralisch);	4	Wartungsintervalle kontrollieren; Sanierung; Bewässerung	2	Anschließen von Dachflächen über ein direktes Fallrohr	21

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		wasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas				Ableitung in andere Richtung (z. B. durch Baumaßnahmen)					
Notüberlauf verstopft	Überlaufen, Wasser tritt in Umgebung	Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal	4	2	2	keine regelmäßige Wartung und Säuberung	4	regelmäßige Wartung, Rastenschnitt entfernen, Laub entfernen	2	Notüberlauf über ein Wehr umsetzen und nicht über ein Rohr	21
Öleintritt	Verunreinigung des Bodens, des Filters und des Grundwassers, Schade für Pflanzen und Tiere		5	2	3	Verkehrsunfall	3	Feuerwehr, Einsatz von Ölbindemittel; Austausch des Substrats	2	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an den Straßeneinläufen)	20
Absterben des Baums	Schattenwirkung bleibt aus, Verdunstungsleistung bleibt aus	Verbesserung des Stadtklimas	5	2	2	Zufluss zur BR verhindert (Wassermangel), Kolmation in der BR, Einbruch des Retentionsrohrs (Wasserstau im Wurzelbereich)	3	Verbesserung der Wartung; Kontrollfahrten	2	Smarte Wasserverteilung (z. B. über Verteilwinkel), Speicherraum unter der Baumscheibe anordnen	18
Verdichtung des Bodenkörpers	Reduktion des Speichervolumens; Verringerung der Reinigungsleistung der abfiltrierbaren Stoffe	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im	2	2	2	Natürliche Setzung, Befahren durch Radfahrer und Fußgänger	3	Erneuerung des Bodensubstrates durch zyklische Kontrollen	2	Befahrung, Betreten der Baumscheibe verhindern	12

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas									
Wasser läuft direkt in den Notüberlauf	zu viel Wasser wird in Kanalnetz eingeleitet und zu wenig Wasser wird direkt dem Grundwasser zurückgeführt	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Reduzierung der Abflussspitzen im Kanal, Speicherung von Regenwasser, Grundwasserneubildung, Reinigung von Regenwasser, Verbesserung des Stadtklimas	4	2	2	Notüberlauf zu niedrig eingebaut, Mulde zu klein dimensioniert (zu kleines Retentionsvolumen)	2	Erhöhung des Notüberlaufs durch Verlängerung des Rohres, Umgestaltung der Mulde	2	Notüberlauf über ein Wehr umsetzen und nicht über ein Rohr	11
lange Trockenperiode	Absterben der Vegetation, Risse im Untergrund	Verbesserung des Stadtklimas, Grundwasserneubildung, Speicherung von Regenwasser	4	1	1	kein Niederschlag über längere Zeit	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden	1	Bewässerung, Wasserspeicher	10

Tabelle 49: FMEA-Analyse Schacht-, Drainagerohr- und Rigolenversickerung

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
defekte Zuleitung, Verstopfung	Versickerungsschacht ohne Wirkung, Rückstau des Niederschlagswassers	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	4	2	3	Lagerung, Verlegefehler, Einbaufehler, Materialfehler, Belastung auf das Kanalrohr, Verschleiß, Korrosion	4	regelmäßige Wartung	3	Einbau von vorge-schalteter mechanischer Reinigung an den Dachrinnen sowie Schotterfängen an den Einläufen der angeschlossenen Verkehrsflächen	36
gequetschtes Drainagerohr	Retentionsvolumen verringert, Rissbildung	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	5	2	2	zu hohe Belastung, spitze Fehlsteine im Ummantelungsmaterial	3	Austausch des Drainagerohrs	4	Verwendung von tragfähigen Drainagerohren sowie spezielles tragfähiges Bettungsmaterial bei zu erwartenden Schwerlasten	36
Wurzeleinwuchs in die Drainage	schlechtere bzw. keine Verteilung des Oberflächenwassers im Untergrund	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	4	2	3	tief wurzelnde Pflanzen zu nahe über den Drainageleitungen	3	Inspektion; Reinigung (Wurzelschneiden); wichtig ist das Spülschächte für die Drainagen vorhanden sind, ansonsten ist die Drainage nach kurzer Zeit wirkungslos	3	Sicherstellung der Dichtheit bei Einbau der Anlage	27

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
technischer Filter erschöpft	Nachlassen der Aufnahmekapazität, Verschlammung	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	4	2	3	Eintrag von Feinteilen, Chloriden, Öle, sonstige Verunreinigungen	4	Filter austauschen	2	Technischer Filter mit höherer Standzeit	24
Setzung des Schachtes	Unebenheiten im Gelände, Undichtigkeit des Zulaufes, verschobene Verbindung Kanal Schacht	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	5	2	3	ausspülen der umliegenden Schicht durch Starkregenergieereignisse	3	Einbau eines zusätzlichen Schachtringes und Neuverlegen des Zulaufkanals	2	Drainage	20
Versickerung wegen max. Sättigung des Bodens nicht mehr möglich	Versickerung kann nicht mehr stattfinden, Wasserpegel steigt bis Höhe Notüberlauf, Überforderung der Versickerungsanlage	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	2	2	2	übermäßig großes Niederschlagsereignis, maximale Wassersättigung des Bodens erreicht	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden	2	Notüberlauf in Kanalsystem	20
Ausspülen von Feinteilen einer nahegelegenen Gebäudeschüttung	Schüttung wird instabil, Gefahr von Unterspülung		1	1	3	Flächenversickerungsanlage zu nah an einer ragenden Schüttung positioniert	3	muss bereits in der Planung berücksichtigt werden	4	K/A	20
Abnahme der Versickerungsleistung	Mehrbelastung des MW-Kanalsystems; Überflutungen	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	4	2	3	Eintrag von Feinteilen in den Boden	3	evtl. Regeneration durch Bohrungen möglich; ansonsten Austausch des verschlammten Bodens, bis die	2	Einbau von vorge-schalteter mechanischer Reinigung an den Dachrinnen sowie Schotterfängen an den	18

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
								Durchlässigkeit wiederhergestellt ist; Vorreinigungsanlagen (Absetzbecken; austauschbarer Bodenfilter etc. errichten und betreiben)		Einläufen der angeschlossenen Verkehrsflächen	
hoher Grundwasserstand	Speichervolumen verringert, Überlaufen des Schachtes	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	3	2	3	starke Schwankungen des Grundwasserstandes	3	Speichervolumen groß genug wählen, Sickerгалerie	2		16
Unterdimensionierung des Retentionsvolumen	Verfehlen der Funktion	dezentrale Versickerung von Regenwasser, Grundwasserneubildung	2	2	2	Ungenauigkeiten in der Planungsphase	4	genauere Berechnung der Einleitregentmengen	2		16
Kontamination mit großen Mengen Mineralöl oder anderen chemischen Substanzen	Anlage verunreinigt	Grundwasserschutz	4	2	3	Verkehrsunfall	3	Reinigung der ganzen Anlage; Austausch des Filtermaterials erforderlich	1	Abscheideanlagen (Einbau von Substratsäcken an den Straßeneinläufen)	9
lange Trockenperiode	keine Nachteile für die Versickerungsanlage		1	1	1	kein Niederschlag über längere Zeit	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden	1		5

Tabelle 50: FMEA-Analyse Zisterne mit Regenwassernutzung

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Verunreinigungseintritt	verunreinigtes Bodenwasser gelangt in nutzbaren Wasserkreis, Verlandung der Pumpe	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	4	2	2	Vermörteln der Schachtringe porös und undicht, fehlerhafte Funktion des vorgeschalteten Sammelschachtes	3	poröse und abgebröckelte Schachtfugen vermörteln, Funktion Sammelschacht verbessern	4	fugendichte Ausführung bzw. Monokunststoffbehälter ohne Fugen	32
Verschlämmung des Bodens	Verringerung des Einstauvolumens, Verminderung der Wasserqualität, Geruchsbelästigung, Verlandung der Pumpe	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	2	2	2	fehlende Wartung und Pflege, Verunreinigungseintritt	4	Regenwassertank entleeren und Schlamm absaugen	3	Vorreinigung des Regenwassers über Filter, eine Sedimentation von Feinteilen ist vorgesehen	24
Defekt der Entnahmepumpe	Regenwassernutzung nicht mehr möglich, Kosten für Wasser von Gemeinde steigen	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	4	2	2	technisches Gebrechen, max. Lebensdauer erreicht, durch Ansaugung von Verunreinigungen zerstört	4	Reparatur oder Erneuerung der Pumpe	2	redundante Pumpen	21
Auftrieb leerer Kunststoffregenwassertank	angeschlossene Leitungen scheren ab	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	5	3	2	hoher Grundwasserstand, keine Zugverankerung nach unten	2	mit Spanngurten an darunterliegende Betonstreifenfundamente anhängen, Zisterne	3	Einbau von Verankerungen zur Fixierung am Fundament	20

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
								muss neu gesetzt werden			
Fundament des Regenwassertanks nicht mehr tragfähig	Beschädigung bis Zerstörung des Regenwassertanks, Überflutung der angrenzenden Flächen,	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	5	2	3	fehlerhafte Planung und Ausführung des Fundaments, fehlerhafte Ausführung des Überlaufs kann das Fundament erodieren	3	regelmäßige Prüfung des Fundaments, im Schadensfall Reparatur des Fundaments und Neuerrichtung des Regenwassertanks	2		20
Regenwasserspeicher leer	Kosten für Wasser von Gemeinde steigen	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	3	1	1	lange Trockenperiode	5	Fehler kann augenscheinlich erkannt werden	2	Dimensionierung auf längere Trockenperioden > 3 Wochen	17
Mosquitoverbreitung	Belästigung von Anwohnern, mögliche Übertragung von Krankheiten		1	1	2	fehlendes oder defektes Moskitogitter, Beschädigung von Anschlüssen oder des Regenwassertanks	3	Moskitogitter einsetzen oder reparieren, Behandlung des Wassers mit Mittel zur Bekämpfung von Stechmückenlarven, Entleerung des Regenwassertanks	3	Alle Zu- und Abläufe mit Moskitogittern versehen, Bewegung im Wasser vorsehen (Pumpe)	12

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Stromausfall	Entnahmepumpe ohne Funktion, Kosten für Wasser von Gemeinde steigen	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	3	2	2	Blitzeinschlag, Kurzschluss im Stromkreis	5	FI- Sicherungsschalter OFF, kein Strom mehr im Haus	1	Ggfs. Notstromaggregat	12
Zisternenvolumen zu gering	zu wenig Wasser kann gespeichert und nachhaltig genutzt werden,	Speicherung und Nutzung von Regenwasser	2	1	1	fehlerhafte Planung und Berechnung des anfallenden Niederschlagswassers	2	hohe Häufigkeit der Entleerung der Zisterne durch Verbrauch des gesamten gespeicherten Niederschlagswassers	3	Vergrößerung des Speichervolumens	8

Tabelle 51: FMEA-Analyse künstliche Wasserflächen

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
mangelnde Wasserbewegung	Entstehung von ungünstigen Habitatbedingungen; Moskitoverbreitung	Erhöhung der Aufenthaltsqualität, Reinigung von Regenwasser, Erhöhung der Biodiversität	2	1	2	fehlerhafte Planung und Ausführung, Sediimenteintrag, Verlandung, defekte Umwälzanlagen	4	Ausbaggern von Sedimenten, Reparatur oder Installation von Fontänen oder Anlagen zur künstlichen Belüftung	3	Einbau von Springbrunnen zur Erhöhung der Dynamik an der Oberfläche	20
Hoher Eintrag von Nährstoffen	Verminderung der Biodiversität und des Erhöhungsfaktors; Verbreitung von Algen und Eutrophierung des Gewässers, Geruchsbelastung, Absterben von Wasserlebewesen, Badebetrieb nicht mehr möglich	Reinigung von Regenwasser, Erhöhung der Biodiversität	3	1	2	fehlendes Management im Einzugsgebiet, fehlende Vorreinigung, fehlende Wartung und Pflege, defekte Aufbereitungs-, Umwälz- oder Reinigungsanlagen	4	Reinigung und Ertüchtigung der Vorreinigung, Einzugsgebietsmanagement, Ausbaggern von Sedimenten	2	Einbau vorgeschalteter Reinigungsanlage, Belüftung durch Wasserbewegung, Verbesserung der Selbstreinigungsfähigkeit durch Pflanzen, Biofilmaufwuchs, etc.	16
Böschungsbruch	Beschädigung der Anlage, Verringerung des Einstauvolumens, Versickerung von gespeichertem Wasser, Sicherheit für den	Rückhalt von Regenwasser	4	2	2	ungünstige Lage, fehlerhafte Konstruktion, nicht vorgesehene Nutzung, Befahr-	3	Reparatur der Böschung durch Neuaufschüttung und Bepflanzung, Absperrung des Bereichs bis zur	2	Verwendung von erosionsbeständigen Böschungssteinen	16

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
	Badebetrieb nicht mehr gewährleistet					ren mit schweren Fahrzeugen, fehlende oder degradierte Vegetation		vollständigen Entwicklung der Vegetation,			
Hoher Eintrag von Sedimenten	Vermindertes Speichervolumen und damit weniger Entnahmepotential zur Regenwassernutzung und höhere Anfälligkeit gegenüber längeren Trockenzeiten; Remobilisierung von Sedimenten möglich	Rückhalt von Regenwasser, Verdunstung von Regenwasser und Verbesserung des Mikroklimas	2	1	2	ungünstige Lage, fehlerhafte Konstruktion, fehlende Wartung und Pflege	3	Ausbaggern von Sedimenten, Reinigung und Ertüchtigung der Vorreinigung, Einzugsgebietsmanagement, Bepflanzung und Reparatur der Böschung	3	Einbau einer mechanischen Reinigungsanlage	15
überproportionales Pflanzenwachstum	Nährstoffeintrag, Verlandung, Landschaftsbild beeinflusst, Zu- und Abläufe verstopft, Geruchsbelastung	Erhöhung der Aufenthaltsqualität, Rückhalt von Regenwasser	2	2	2	Nährstoffeintrag, fehlende Wartung und Pflege, Eintrag von Sedimenten	3	regelmäßige Wartung und Pflege, Entfernen von invasiven Arten,	2	Verringerung Nährstoffeintrag durch vorgeschalteten Filter	12

Tabelle 52: FMEA-Analyse teilversiegelte Oberflächen

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Kolmation der Poren mit Feinmaterial	Sickerleistung ist eingeschränkt, Speicherfähigkeit reduziert	Verminderung des Abflusses durch Versickerung bzw. temporären unterirdischen Rückhalt	4	3	2	Externer Eintrag von Feinmaterial, Alter der Anlage, Fehlende Wartung und Pflege, hohes Verkehrsaufkommen, Baustellen, überhängende Bäume, Laub, Moosbildung durch Schatten und angrenzende Vegetation	4	regelmäßige Reinigung von teilversiegelten Oberflächen mit speziellen Geräten (z. B. Hochdruckreinigern), regelmäßige normale Straßenreinigung	3	Absetzbereich für Grob- und Feinsedimente oder Rinnen an Rändern	36
Streusalzeinsatz in Zusammenhang mit Grundwasserstand < 2m	Verschmutzung des Grundwassers	Reinigung von Regenwasser	1	1	3	Fehlerhafte Planung und Kommunikation	4	Streusalz durch Einsatz von Grobsplit ersetzen	4		27
Schäden durch zu hohes Verkehrsaufkommen (Risse u. Schlaglöcher)	Verkehr nicht mehr uneingeschränkt gewährleistet, verminderte Sickerleistung durch Rissbildung Eintrag von Feststoffen und Verstopfung der Anlage	Verminderung des Abflusses durch Versickerung bzw. temporären unterirdischen Rückhalt, Reinigung	2	2	3	zu hohes Verkehrsaufkommen, Belastung durch schwere Fahrzeuge,	4	Reparatur von Schäden, Ersetzen von defekten Oberflächen, Anpassung des	2	Einbau von Tragfähigen Rasengittersteinen	19

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
		von Niederschlagswasser				Frost- und Tauwetter, Wurzelwachstum		Verkehrsaufkommens (Höchstgeschwindigkeit) oder Anpassung der Materialien			
hoher Grundwasserstand, schlecht sickerfähige Böden	Sickerleistung ist eingeschränkt, Speicherfähigkeit reduziert	Verminderung des Abflusses durch Versickerung bzw. temporären unterirdischen Rückhalt	3	2	2	Fehlerhafte Planung und Ausführung, Verdichtung des Unterbodens bei Einbau	2	Grundwassermanagement	3	Anordnung eines Retentionsspeichers mit Notüberlauf in die Kanalisation oder nahegelegener Grünfläche (bei gering verschmutzter angeschlossener Fläche)	14
Oberflächenabfluss, Einstau	Überlastung angeschlossene Anlagen, Überflutung angrenzende Bereiche	Verminderung des Abflusses durch Versickerung bzw. temporären unterirdischen Rückhalt, Reinigung von Niederschlagswasser	3	2	2	Starkregen (höhere Intensität als Bemessungsereignis), verringerte Sickerleistung	3	Dimensionierung auf höhere Jährlichkeiten, regelmäßige Reinigung und Inspektion	2	Beläge mit höherer hydraulischer Leitfähigkeit und Speicherfähigkeit im Untergrund, Notwasserwege an der Oberfläche	14

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Ungleichmäßige Absenkung des Belags	reduziertes Druckgefälle, Kolmation der Poren	Verminderung des Abflusses durch Versickerung bzw. temporären unterirdischen Rückhalt	2	2	1	ungleichmäßige Nutzung, Ausführungs- oder Planungsfehler	2	Reparatur der betroffenen Teilbereiche, zusätzliche Reinigung und Inspektion	2	Sicherstellung ausreichende Steifigkeit Tragschicht	7

Tabelle 53: FMEA-Analyse Dachbegrünung

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Auswaschung von Umweltgiften durch Abdichtungsfolie (Herbizide, Biozide)	Kontaminierter Boden in direkter Umgebung (Abflussbereich GD); Umweltgifte im Abwasser gelangen in Reinigungsanlagen und Gewässer	Reinigung des Regenwassers	1	1	5	falsche Wahl der Dachabdichtung, Mangelndes Bewusstsein, regulative; keine einheitlichen Prüfverfahren (häufig um Kosten einzusparen)	4	kompletter Rückbau des Gründachs	5	Verwendung von geprüften Bitumenbahnen ohne bekannte problematische Stoffe (z. B. Mecoprop)	47
Keine Wasserzufuhr	Absterben der Vegetation	Erhöhung der Biodiversität, Verdunstungskühlung und geringere Aufheizung der Oberfläche (Mikroklima), Schutz der Dachabdichtung	5	1	2	Extreme Hitze und lange Trockenheit, Bewässerung defekt	4	Bewässerung	4	Bewässerung über Zisternen oder Vergrößerung der Speicherschicht z. B. Retentionsdach (zulässigen Dachlasten müssen beachtet werden)	43
Frost (Vereisung Substrat) - Wasserrückhalt nicht gegeben	Keine Abfederung d. Spitzenabflüsse bei Starkregen	Retention und hydraulische Entlastung	2	1	1	Lange/extreme Kälteperiode	5	Keine Behebung notwendig	4	K/A	27

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Verschlämmung der Dränschicht	Verlust der Funktionsfähigkeit der Drainageebene	Retention und hydraulische Entlastung	5	1	1	Planungs- und Baufehler (Fehlende Filterschicht)	2	Neuanlage des Gründachs	5	K/A	23
Verstopfung Dachabläufe aufgrund mangelnder Wartung	Stauanässe am Gründach (Vernässung d. Substrats), Absterben der Pflanzen, bis hin zu Bauschäden am Gebäude durch austretendes RW	Schutz der Dachabdichtung, Erhöhung der Biodiversität	4	1	2	Mangelnde Wartung, Planungs- u./o. Baufehler (kein vegetationsfreier Streifen, kein Schacht)	2	Freiräumen / Verstopfung beheben / Extremfall Neuanlage der DB	4	K/A	19
Abtrag des Dachsubstrats	Teilweise bis Totalausfall des Gründachs	Retention und hydraulische Entlastung, Verdunstungskühlung und geringere Aufheizung der Oberfläche (Mikroklima), Schutz der Dachabdichtung, Erhöhung der Biodiversität	5	2	2	Sturm / Starker Wind	2	Technische Sicherungen und gute Durchwurzelung d. Substrats und hohe Vegetationsdeckung (Anwuchspflege!)	2	Ausführung mit genügend Freibord an den Dachkanten in windausgesetzten Standorten	12
Hohe Dachlast durch Schneefall	Überschreitung der zulässigen Dachlast	K/A	5	1	1	Extreme Wetterlagen	3	Schneeschaufeln am Dach / Kein Enteisungsmittel anwenden!	1	K/A	7

Fehler	Auswirkungen	Betroffene Funktionen	SEV-A	SEV-K	SEV-U	Fehlerursache	OCC	Fehlerbehebung	DET	Konstruktive Anpassung	RPN
Abrutschung	Schäden an der Dachabdichtung und Dachkonstruktion, Erscheinungsbild unbefriedigend	Schutz der Dachabdichtung	5	1	1	Planungs- und Ausführungsfehler, unsachgemäßer Betrieb	2	Rückbau des Gründachs, technische Sicherung des Gründachs	1	Schubsicherung bei Dächern mit einer Neigung > 15°, Ausführung mit genügend Freibord an den Dachkanten in windausgesetzten Standorten	5
Falsche Pflanzenauswahl	Absterben der Vegetation	Erhöhung der Biodiversität, Verdunstungskühlung und geringere Aufheizung der Oberfläche (Mikroklima), Schutz der Dachabdichtung	4	1	1	Planungsfehler	2	neue Pflanzen	1	K/A	4
Verwendung der falschen Dachabdichtung (Wurzelfestigkeit)	Dachleckage	Schutz der Dachabdichtung	5	1	1	falsche Dachabdichtungswahl	1	Rückbau des Gründachs	1	K/A	2

8.2.3 Zusammenfassung

Mithilfe der FMEA wurden 14 unterschiedliche Anlagentypen auf relevante außergewöhnliche Ereignisse und Störfälle untersucht. Die Bewertung der einzelnen Störfälle anhand der drei Kategorien Schweregrad (Severity), Häufigkeit (Occurrence) und Erkennbarkeit (Detectability) wurde dabei von Expert:innen durchgeführt. Die Bewertung wurde dabei möglichst repräsentativ für eine gewöhnliche Ausführung des Anlagentyps ausgeführt. Spezielle Ausführungen und unterschiedliche Randbedingungen können in verschiedenen Gemeinden zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Ergebnisse der FMEA-Tabellen besitzen deswegen auch keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit, sondern können als Beispiel einer Methode angesehen werden. Für eine individuelle Betrachtung müssten Gemeinden die FMEA-Methode selbst anwenden und Bewertungen der Störfälle anhand der Randbedingungen in der eigenen Gemeinde vornehmen.

In Tabelle 54 ist für jeden Anlagentyp übersichtlich dargestellt, wie viele Störfälle einen besonders hohen Schweregrad der Klasse 4 und 5 aufweisen. Dies bedeutet für die Anlage selbst, dass sie nicht resilient gegenüber dem Störfall ist und nur durch eine Behebung des Störfalls wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt. Für die NWB Nachbaranlagen bedeutet dies eine Überlastung in großen Teilen des Entwässerungssystems und für die Umgebung eine Überflutung mit Beschädigung von städtischen Infrastrukturen. Werden alle dezentralen und zentralen Infrastrukturen zusammengefasst zeigt sich, dass dezentrale Infrastrukturen anteilig deutlich mehr relevante Störfälle besitzen, gegenüber denen sie nicht resilient sind (58%) als zentrale Anlagen (35%). Dies ist auf die Ausführung, Betriebserfahrung und die Wartung und Pflege zurückzuführen. Zentrale Infrastrukturen sind hier gegenüber dezentralen Infrastrukturen im Vorteil, da ihre Ausführung seit langem normiert ist, es zu allen Anlagentypen umfangreiche Betriebserfahrung gibt und in der Regel Wartung und Pflege regelmäßig durchgeführt werden. Zusätzlich müssen zentrale Infrastrukturen oft nur die Funktion der schnellen Ableitung von Misch- oder Regenwasser erfüllen, wohingegen dezentrale Anlagen häufig mehrere Funktionen vereinen. Dies macht die zentralen Infrastrukturen insgesamt zu resilienteren Anlagen.

Wenn es bei zentralen Infrastrukturen zu einem Störfall kommt, sind häufiger große Auswirkungen auf benachbarte Anlagen (14%) und die Umgebung (19%) zu erwarten. Dies kommt bei dezentralen Infrastrukturen (0%) und (3%) deutlich seltener vor. Dies liegt vor allem darin begründet, dass zentrale Infrastrukturen anteilmäßig mehr Misch- oder Regenwasser bewirtschaften als dezentrale Infrastrukturen und damit ein Ausfall größere Folgen hat. Bei dezentralen Infrastrukturen verteilt sich die Bewirtschaftung auf deutlich mehr Einzelanlagen, was einen Ausfall einer Einzelanlage weniger relevant macht.

Damit sind die zentralen Infrastrukturen zwar selbst resilienter gegenüber Störfällen, ein Störfall bedeutet dagegen jedoch häufig eine deutlich größere Auswirkung für Nachbarsysteme und die Umgebung. Dezentrale Infrastrukturen sind demgegenüber selbst nicht so resilient gegenüber Störfällen, ihr Ausfall hat jedoch selten einen direkten Einfluss auf Nachbarsysteme und die Umgebung. Damit kann, durch die Integration dezentraler Anlagen, das Gesamtsystem eine höhere Resilienz gegenüber Störfällen und außergewöhnlichen Ereignissen aufweisen.

Tabelle 54: Auftreten von Störfällen mit hohen Schweregraden in allen Anlagentypen.

Anlagentyp	Störfälle gesamt		Störfälle gegenüber welchen die Anlage nicht resilient ist		Störfälle die zu einer Überlastung in großen Teilen des Entwässerungssystems führen		Störfälle die zu Überflutungen mit Beschädigung von Infrastrukturen führen	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Mischwasserkanal	15		8	53	3	20	3	20
Regenwasserkanal	9		5	56	1	11	3	33
Hausanschlusskanal	5		2	40	0	0	0	0
Pumpwerk	11		2	18	0	0	0	0
Mischwasserüberlauf und Mischwasserüberlaufbecken	6		0	0	0	0	1	17
Speicherkanal	11		2	18	1	9	1	9
Regenrückhaltebecken	6		3	50	4	67	4	67
Mulden-, Flächenversickerung und Versickerungsgräben	11		8	73	0	0	1	9
Kombinierte Versickerungssysteme und Baumrigolen	12		9	75	0	0	0	0
Schacht-, Drainagerohr- und Rigolenversickerung	12		7	58	0	0	0	0
Zisterne mit Regenwassernutzung	9		4	44	0	0	0	0
Künstliche Wasserflächen und Teiche	5		1	20	0	0	0	0

Anlagentyp	Störfälle gesamt	Störfälle gegen- über welchen die Anlage nicht resili- ent ist	Störfälle die zu einer Überlastung in großen Teilen des Entwässe- rungssystems führen	Störfälle die zu Über- flutungen mit Be- schädigung von Inf- rastrukturen führen			
Teilversiegelte Oberflä- chen	6	1	17	0	0	0	0
Dachbegrünung	10	8	80	0	0	1	10
Zentrale Infrastruktu- ren	63	22	35	9	14	12	19
Dezentrale Infrastruk- turen	65	38	58	0	0	2	3

8.3 Verhalten von dezentralen Anlagen anhand einer Modellstudie

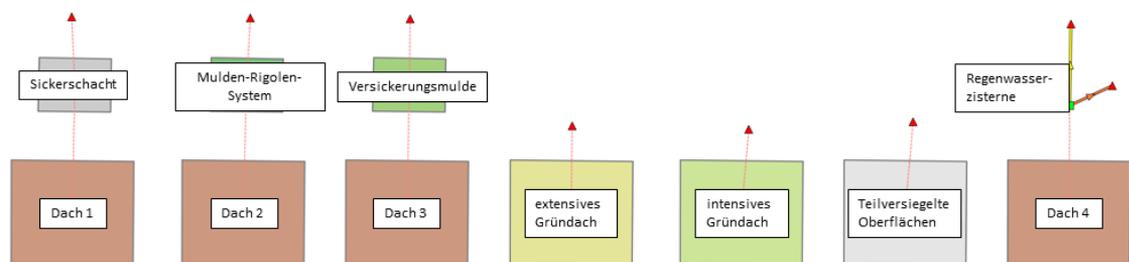
Zusätzlich zur qualitativen Analyse von NWB Anlagen hinsichtlich Fehler und Störfällen mithilfe der FMEA (Kapitel 8.2) wurden 7 dezentrale NWB Anlagen quantitativ mithilfe der Modellsoftware SWMM 5.2 untersucht. Ausgeschlossen wurden dabei künstliche Wasserflächen, die in der Regel nicht zur Anwendung kommen, um das Regenwasser von einzelnen Grundstücken zu bewirtschaften. In diesem Kapitel wird zum einen untersucht, wie häufig es bei normgemäß bemessenen dezentralen NWB Anlagen zu einer hydraulischen Überlastung kommt und zum anderen wie sich mögliche Betriebsstörungen und Störfälle auf die hydraulische Leistungsfähigkeit auswirken. Zusätzlich wurden noch verschiedene Störfallszenarien für die Fallstudie Feldbach mithilfe eines gekoppelten 1D-2D Überflutungsmodells simuliert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich in Kapitel 12.1.3.

8.3.1 Methodik

Das Verhalten von dezentralen „blau-grünen“ Anlagen der Siedlungsentwässerung gegenüber möglichen Störfällen und Betriebsstörungen wurde mithilfe des hydrodynamischen 1D Kanalnetzmodell SWMM 5.2 untersucht (Rossmann and Simon, 2022). Eine genauere Beschreibung von verschiedenen Modellansätzen findet sich in Kapitel 7.4. Mithilfe des Modells wurden 7 unterschiedliche dezentrale Anlagen genauer untersucht (Abbildung 34 & Tabelle 55). Es handelt sich jeweils um einzelne dezentrale Anlagen, die nicht hintereinander angeordnet sind und die, bis auf die teilversiegelten Oberflächen, das anfallende Regenwasser einer 1000m² großen Dachfläche bewirtschaften. Die Anlagen wurden nach den für Österreich gän-

gigen Normen und Jährlichkeiten im Modell bemessen (Tabelle 55). Die physikalischen Bodenparameter des Modells, die für Anlagen mit Versickerung relevant sind, repräsentieren die Bodeneigenschaften einer Fallstudie in Berlin (Deutschland) und wurden anhand des Wasserbilanzmodells ABIMO 3.2 kalibriert und validiert (Glugla et al., 1999). Die Eigenschaften der Gründächer repräsentieren Gründächer der Hochschule Neubrandenburg (Deutschland) und wurden ebenfalls anhand einer Messreihe kalibriert und validiert (Schubert et al, 2015).

Abbildung 34: Schema des Modells zur Untersuchung von einzelnen dezentralen Anlagen mit dem Modell SWMM 5.2 (Funke & Kleidorfer)



Das Modell der dezentralen Einzelanlagen wurde mit einer kontinuierlichen 60 Jahre langen Zeitreihe der Wetterstation Berlin-Dahlem (Deutschland) gerechnet. Die Zeitreihe hat eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten und umfasst einige relevante Starkregenereignisse unterschiedlicher Wiederkehrzeit (Funke et al., 2019). Insgesamt sind in den 60 Jahren 9709 Niederschlagsereignisse aufgetreten von denen 141 eine Niederschlagsintensität von 10mm/h überschritten haben.

Tabelle 55: Übersicht über die modellierten dezentralen Anlagen und deren Dimensionierung (Funke & Kleidorfer).

Dezentrale Anlage	Größe (m ²)	Jährlichkeit des Bemessungsniederschlags (Jahren)	Bemessungsnorm
Sickerschacht	12.6 (31m ³)	5	ÖNORM B 2506-1
Mulden-Rigolen-System	44	5	ÖNORM B 2506-1
Versickerungsmulde	93	5	ÖNORM B 2506-1
Extensives Gründach	1000	/	FLL
Intensives Gründach	1000	/	FLL
Teilversiegelte Oberflächen	1000	/	FLL
Regenwasserzisterne	30m ³	/	DIN 1989-1

Für jede dezentrale Anlage wurden 1-3 mögliche Störfallszenarien untersucht, die realistische Störfälle und Betriebsstörungen repräsentieren (Tabelle 56). Um die Unsicherheit im Ausmaß der Störung Rechnung zu tragen, wurde jedes Störfallszenario in einer leichten und starken Variante gerechnet. In SWMM werden dezentrale Anlagen mithilfe des „LID Control Editor“ integriert, der die dezentrale Anlage in verschiedenen Schichten abbildet (Rossman and Simon, 2022). Jede Schicht (Oberfläche, Boden, Speicher und Drainage) besitzt eine Vielzahl von LID-Parametern, mit denen das Verhalten der dezentralen Anlage möglichst realistisch abgebildet wird. Eine Auflistung und Beschreibung aller LID-Parameter findet sich im SWMM Users Manual Version 5.2 (Rossman and Simon, 2022). Für jedes Störfallszenario wurden die SWMM LID-Parameter entsprechend Tabelle 56 angepasst.

Tabelle 56: Untersuchte Störfälle in einzelnen dezentralen Anlagen mit den davon betroffenen LID-Parametern und der Leistungsverringerung im Vergleich zum Ausgangswert in % (Funke & Kleidorfer).

Dezentrale Anlage	Störfall	SWMM LID Parameter	Ausgangswert	Leichtes Störfall Szenario	Starkes Störfallszenario
Sickerschacht	Sedimentation	Surface berm height	2500mm	-25%	-50%
		Soil conductivity	360mm/h	-50%	-75%
Mulden-Rigolen-System	Muldenerosion	LID control area	78m ²	-25%	-75%
		Surface berm height	340mm	-25%	-75%
	Muldensedimentation	Surface berm height	340mm	-10%	-50%
		Soil conductivity	16.7mm/h	-10%	-25%
Rigole verschlammmt	Storage void ratio	25%	-25%	-50%	
Versickerungsmulde	Muldenerosion	LID control area	152m ²	-25%	-75%
		Surface berm height	340mm	-25%	-75%
	Muldensedimentation	Surface berm height	340mm	-10%	-50%
		Soil conductivity	16.7mm/h	-10%	-25%
Extensives Gründach	Substraterosion	Soil thickness	108mm	-25%	-50%
	Erosion von Feinteilen	Soil field capacity	35%	-25%	-50%
	Flächenverringerng	LID control area	894m ²	-10%	-25%
Intensives Gründach	Substraterosion	Soil thickness	250mm	-25%	-50%
	Erosion von Feinteilen	Soil field capacity	35%	-25%	-50%
	Flächenverringerng	LID control area	1000m ²	-10%	-25%
Teilversiegelte Oberflächen	Kolmation	Soil conductivity	360mm/h	-50%	-75%
Zisterne	Pumpenausfall	Pump curve	0,013l/s	-10%	-25%
	Verschlämmung	Storage Depth	1500mm	-25%	-50%

8.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Langzeitsimulation zeigen für Anlagen mit Versickerung (Sickerschacht, Mulden-Rigolen-System und Versickerungsmulde) und ohne Störfälle eine höhere Wiederkehrzeit als durch die Bemessung vorgesehen. Die Anlagen führen also bei einem einwandfreien Zustand deutlich seltener zu einem Überstau, als dies ursprünglich vorgesehen ist. Die erhöhte Leistung im fehlerfreien Zustand ist auf die Bemessungspraxis zurückzuführen, die einen Sicherheitsbeiwert β zur Berücksichtigung von Verschlämmung von 0,5 und einem Freibord von mindestens 10cm (ON, 2000) vorschreibt. Die teilversiegelte Oberfläche hat eine so hohe Infiltrationsleistung, dass im störfreien Zustand kein Abfluss von der Fläche stattfindet. Die Gründächer und die Regenwasserzisterne weisen demgegenüber relativ geringe Wiederkehrzeiten auf, das heißt, bei ihnen kommt es relativ häufig im Jahr zu Abflüssen (Tabelle 57). Trotzdem führen sie bei den meisten Ereignissen zu einer deutlichen Dämpfung der Abflussspitze und insgesamt zu einer deutlichen Reduktion des Abflussbeiwerts im Vergleich zu einer Dachfläche, die nicht durch dezentrale Anlagen bewirtschaftet wird.

Tabelle 57: Übersichtsergebnisse der modellierten dezentralen Anlagen ohne Störfälle und Betriebsstörungen (Funke & Kleidorfer).

Dezentrale Anlage	Modellierte Wiederkehrzeit (Jahren)	Gesamtabfluss (m ³)	Abflussbeiwert (%)
Basis (ohne dezentrale Anlage)	0,008	29562,8	100
Sickerschacht	12	110,1	0,37
Mulden-Rigolen-System	12	45,8	0,15
Versickerungsmulde	20	21,6	0,07
Extensives Gründach	0,009	10179,7	34,4
Intensives Gründach	0,02	5080	17,2
Teilversiegelte Oberflächen	> 60	0	0
Regenwasserzisterne	0,06	5382,8	18,2

Für dezentrale Anlagen mit Störfällen zeigt sich bei fast allen untersuchten Anlagen-Störfall-Kombinationen eine Verschlechterung der hydrologischen Leistungsfähigkeit. Dies wurde an-

hand der Parameter Abflussevents (Anzahl der Events, die zu Abfluss von der dezentralen Anlage geführt haben) in 60 Jahren und Gesamtabfluss untersucht (Tabelle 58). Die drei dezentralen Anlagen, die in dem „Nicht-Störfall-Szenario“ die geringsten Abflusswerte aufwiesen (Sickerschacht, Mulden-Rigolen-System und Versickerungsmulde), werden prozentual am meisten durch Störfälle beeinflusst. Insbesondere Störfälle, die das Einstauvolumen der Anlagen deutlich verringern (Sickerschacht Sedimentation, Mulden-Rigolen-System Erosion und Versickerungsmulde Erosion (Tabelle 56)), führen zu einem überproportionalen Anstieg der Abflussevents und des Gesamtabflusses. Demgegenüber führen Störfälle bei Anlagen, die auch ohne Störfälle schon relativ häufig zu Abfluss führen (Gründächer und Regenwasserzisterne), nur zu einem Anstieg der hydrologischen Parameter von bis zu 93%. Bei den teilversiegelten Oberflächen, die im fehlerfreien Zustand (Basis Szenario) als einzige Anlage zu keinem Abfluss führen, führt lediglich eine starke Kolmation zu einer geringen Zunahme der Abflussevents und des Gesamtabflusses.

Tabelle 58: Ergebnisse der Modellierung von Störfällen in einzelnen dezentralen Anlagen (Funke & Kleidorfer).

Dezentrale Anlage	Szenario	Störfall- stärke	Abflusse- vents in 60 Jahren	Änderung (%)	Gesamtab- fluss (m ³)	Ände- rung (%)
Sickerschacht	Basis		5	-	110,1	-
	Sedimentation	Leicht	10	100	217,7	97,8
	Sedimentation	Stark	38	660	526,6	378,4
Mulden-Rigolen- System	Basis		5	-	45,8	-
	Muldenerosion	Leicht	13	160	160,5	250,5
	Muldensedimen- tation	Leicht	7	40	65,8	43,8
	Rigolenkolmation	Leicht	8	60	72,3	57,8
	Muldenerosion	Stark	47	840	537,5	1073,4
	Muldensedimen- tation	Stark	15	200	164,8	259,8
	Rigolenkolmation	Stark	10	100	106,8	133,1
Versickerungs- mulde	Basis		3	-	21,6	-
	Erosion	Leicht	17	466,7	212,6	882,2

Dezentrale Anlage	Szenario	Störfall- stärke	Abflusse- vents in 60 Jahren	Änderung (%)	Gesamtab- fluss (m ³)	Ände- rung (%)
	Sedimentation	Leicht	4	33,3	37,2	71,8
	Erosion	Stark	1105	36733,3	5956,7	27415,8
	Sedimentation	Stark	23	666,7	246,3	1037,6
Extensives Gründach	Basis		7009	-	10179,7	-
	Substraterosion	Leicht	7093	1,2	11235,3	10,4
	Erosion von Fein- teilen	Leicht	7116	1,5	11262,1	10,6
	Flächenverringere- rung	Leicht	7009	0	11463,3	12,6
	Substraterosion	Stark	7118	1,6	12826,3	26,0
	Erosion von Fein- teilen	Stark	7215	2,9	12473,6	22,5
	Flächenverringere- rung	Stark	7009	0	13378,5	31,4
Intensives Gründach	Basis		3737	-	5080,0	-
	Substraterosion	Leicht	4209	12,6	6365,5	25,3
	Erosion von Fein- teilen	Leicht	4264	14,1	6426,6	26,5
	Flächenverringere- rung	Leicht	6679	78,7	6882,0	35,5
	Substraterosion	Stark	4751	27,1	8058,1	58,6
	Erosion von Fein- teilen	Stark	4971	33	7954,3	56,6
	Flächenverringere- rung	Stark	6679	78,7	9570,6	88,4
Teilversiegelte Oberflächen	basis		0	-	0,0	-
	Kolmation	Leicht	0	0	0,0	0
	Kolmation	Stark	3	Inf	4,2	Inf
Regenwasserzisterne	basis		933	-	5382,8	-
	Pumpenausfall	Leicht	1149	23,2	6293,9	16,9
	Verschlämmung	Leicht	1246	33,5	6997,8	30,0

Dezentrale Anlage	Szenario	Störfall- stärke	Abflüsse- vents in 60 Jahren	Änderung (%)	Gesamtab- fluss (m ³)	Ände- rung (%)
	Pumpenausfall	Stark	1579	69,2	8221,0	52,7
	Verschlammung	Stark	1797	92,6	9893,1	83,8

Zusammenfassend lässt sich für die Wirkung von Störfällen und Betriebsstörungen auf dezentrale Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung festhalten:

Dezentrale blau-grüne Anlagen, die auf ein Ereignis bestimmter Wiederkehrzeit dimensioniert werden, weisen durch die Bemessungspraxis zusätzliche Sicherheiten auf. Dies gewährleistet im störfreien Betrieb auch eine schadfreie Bewirtschaftung von Niederschlagsereignissen mit deutlich größeren Wiederkehrzeiten. Ausgehend vom Modell liegt die maximale Wiederkehrzeit des Ereignisses je nach Anlage bei 12-20 Jahren gegenüber den ursprünglich als Bemessungsregen angesetzten 5 Jahren.

Störfälle und Betriebsstörungen können zu einer deutlichen Reduktion der hydraulischen Leistungsfähigkeit von dezentralen Anlagen führen. Insbesondere Anlagen, die ein Einstauvolumen aufweisen und auf Ereignisse bestimmter Wiederkehrzeit dimensioniert sind, können deutlich schneller versagen. Am relevantesten sind Störfälle und Betriebsstörungen, die das Einstauvolumen deutlich reduzieren (Sedimentation oder Erosion).

Eine regelmäßige Wartung und Pflege von dezentralen Anlagen kann die hydraulische Leistungsfähigkeit auch über Jahrzehnte hinweg aufrechterhalten und damit den kommunalen Überflutungsschutz stärken. Wenn durch das Versagen von Anlagen Gefahren für die Umgebung ausgehen sind auch im privaten Bereich Instrumente für die regelmäßige Wartung und Pflege vorzunehmen.

Durch den Klimawandel hervorgerufene längere Trockenperioden und intensivere Starkregeneignisse werden in der Zukunft wahrscheinlich zu einem häufigeren Versagen von dezentralen Anlagen führen. Inwieweit trockene Böden von dezentralen Anlagen auch weniger Niederschlag aufnehmen können ist aktuell noch nicht geklärt.

9 Strategien zur Verringerung der Auswirkungen auf die Anlagen/ das Umfeld

9.1 Maßnahmen in der Planung und Konstruktion

Um mit den zukünftigen Herausforderungen, wie der Veränderung des Niederschlags infolge des voranschreitenden Klimawandels, sowie der fortschreitenden Versiegelung infolge der Urbanisierung umgehen zu können, bedarf es Strategien, mit welchen die Auswirkungen auf die Niederschlagswasserbewirtschaftungen verringert werden können. Eine Möglichkeit stellen konstruktive/technische Maßnahmen im Neubau dar. Diese reichen von großen zentralen Anlagen (z. B. Regenrückhaltebecken) bis zu einer Vielzahl an kleineren dezentralen Maßnahmen (z. B. Gründächern). In einem ersten Schritt werden mögliche Maßnahmen sowie ihre Vor- und Nachteile aufgezeigt. In einem zweiten Schritt wird eine mögliche Bewertung vorgestellt, um die Maßnahmen quantitativ vergleichen zu können. In der Umsetzung dieser Maßnahmen wirken vorwiegend die Gemeinden selbst (meist als Auftraggeber), sowie die Planungsbüros als Zielgruppe mit.

9.1.1 Konstruktive/Bauliche Maßnahme

Um die Auswirkungen von außergewöhnlichen Ereignissen reduzieren zu können, gibt es Anlagentypen, wie beispielsweise Regenrückhaltebecken, die weitestgehend bekannt sind und häufig in der Praxis zur Anwendung kommen. Andere Maßnahmen, wie zum Beispiel Notwasserwege in Kombination mit multifunktionalen Flächen, sind noch weniger bekannt und finden erst nach und nach den Einzug in Gemeinden und Städte. In weiterer Folge werden basierend auf Literaturstudien konstruktive und bauliche Maßnahmen beschrieben und anhand von Steckbriefen übersichtlich dargestellt. Wobei darauf eingegangen wird, welche Teilsysteme (dezentrale Anlagen, zentrale Anlagen, Oberflächenabfluss) des komplexen Systems der NWB jeweils entlastet werden sollen. Ebenso wird auf die langfristige Wirksamkeit der Maßnahme eingegangen sowie die derzeitigen Bemessungsgrenzen aufgezeigt und kritisch diskutiert.

9.1.1.1 Regenrückhaltebecken

Das Regenrückhaltebecken ist eine verbreitete und häufig umgesetzte Maßnahme, um den Zufluss aus Einzugsgebieten außerhalb von Gemeinden zwischenzuspeichern und gedrosselt

abzuleiten (Abbildung 35). Sie werden an Orten errichtet wo es durch eine hohe Abflusskonzentration (natürliche Tiefenlinien, kleine Flussläufe etc.) bei Starkregen zu hohen Abflussmengen kommt, die tiefer liegende Gebiete gefährden. Die Maßnahme kann dementsprechend nur Regenwasser bewirtschaften, welches außerhalb einer Gemeinde fällt und diese von außen gefährdet. Allerdings ist die Maßnahme mit hohen Investitionskosten und einem hohen Flächenbedarf verbunden (z. B. Kostenabschätzung durch Grundstückserwerb, Projektierungskosten und Baukosten: ca. 550.000€ für 2.400m² Flächenbedarf (Achleitner et al., 2020)). In Österreich sind die spezifischen Kosten eines Regenrückhaltebeckens vor allem vom Beckenvolumen sowie des benötigten Flächenbedarfs abhängig. Die Bandbreite der spezifischen Kosten liegt dabei zwischen 35 bis 1.150€/m³ (Zessner et al., 2022). Dies sollte allerdings in Relation zur Schadenssumme gesehen werden, welche sich bei Überflutungsereignissen von T = 100a durchaus im Millionen Euro Bereich bewegen kann (siehe Kapitel 9.1.2.5). Kritisch zu sehen sind allerdings die Wirkung auf die natürliche Wasserbilanz, da das Regenrückhaltebecken häufig in natürlichen Randgebieten umgesetzt wird, welche vor der Bebauung meist natürliche Flächen mit Strauch, Wiesen und Waldlandschaft aufweisen. Nach der Bebauung wird zwar versucht diese möglichst naturnahe umzusetzen, jedoch ist der Hauptanteil der Becken nur mehr Rasenflächen an der Sohle sowie an der Böschung. Aus hydrologischer Sicht wird daher die Evapotranspiration sowie die Interzeptionleistung herabgesetzt. Dies wirkt sich negativ auf die gesamte Wasserbilanz aus. Dies ist allerdings je nach Bauausführung individuell anders. In Anbetracht dessen, dass Regenrückhaltebecken meist für Ereignisse mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren bemessen sind, wird langfristig die Wasserbilanz durch eine solche Maßnahme verschlechtert, da das Becken, die meiste Zeit über leer ist und nur der Basisabfluss des Fließgewässers abgeleitet wird. Hinsichtlich zukünftiger Herausforderungen wie beispielweise den Klimawandel ist eine solche Maßnahme eher als kritisch zu sehen, da wichtige hydrologische Prozesse wie Verdunstung und Infiltration reduziert werden. Zusätzlich ist die Hauptfunktion der Maßnahme das Zurückhalten von Wasservolumen im Falle eines außergewöhnlichen Überflutungsereignisses. Im Normalbetrieb hingegen hat das Regenrückhaltebecken keine positive Wirkung hinsichtlich nachhaltiger Wasserbewirtschaftung, da ja keine hydrologischen Prozesse positiv beeinflusst werden.

Abbildung 35: Beispiel für ein Rückhaltebecken für die Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen



Tabelle 59: Steckbrief zu der Maßnahme Rückhaltebecken für die Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen

Steckbrief	Regenrückhaltebecken
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit bei Starkregenereignissen, um den Außengebietsabfluss zwischenspeichern zu können und gedrosselt abzuleiten.
Akzeptanz	Hohe Akzeptanz in der Bevölkerung da die Maßnahme etabliert ist
Nachhaltigkeit	Niedrige nachhaltige Wirkung durch Verschlechterung der natürlichen Wasserbilanz.
Bemessungsgrenze	Häufig T > 100a
Investitionskosten	Hohe Investitionskosten durch aufwändige Planung, Ausführung und Flächenbedarf.
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Verklausungen, Beckenundichtigkeit, Erosion und Abrutschung der Böschung, Verschlammung der Sohle

9.1.1.2 Notwasserwege

Notwasserwege werden vor allem im Zuge einer innerstädtischen Überflutungsvorsorge eingesetzt. Sie kommen dann zum Tragen, wenn Starkregen das bestehende unterirdische Entwässerungssystem überlastet und Regenwasser auf die Oberfläche tritt oder oberflächlich abfließt. In den Notwasserwegen wird das Regenwasser gezielt auf der Oberfläche abgeleitet

und Flächen mit wenig Schadenspotential zugeführt (z. B. Parkflächen). Auf den Flächen muss ausreichend Retentionsvolumen vorhanden sein, um das über die Notwasserwege abfließende Wasser aufzunehmen und Schäden in der Umgebung zu vermeiden. Die Maßnahme kommt vor allem in den verdichteten städtischen Bereichen zum Einsatz, wo andere Maßnahmen zur Retention aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit nicht möglich sind. Als Teil der integralen Planung stellen Notwasserwege in Kombination mit multifunktionalen Retentionsflächen einen möglichen Lösungsansatz dar, um Überflutungsschäden und hohe Hitzebelastungen zu verringern (BAFU/ARE, 2022). Neben einer offenen Ausführung (z. B. über Mulden und Gräben) auf der Oberfläche gibt es auch geschlossene unterirdische Systeme. Eine sehr gute Übersicht hinsichtlich der Ausführung und Planung bietet das MURIEL Projekt zu multifunktionalen Retentionsflächen (Benden et al., 2017).

Abbildung 36: Beispiel für verschiedene Ausführungen der Maßnahme Notwasserweg zur Reduktion der Auswirkungen außergewöhnlichen Ereignissen

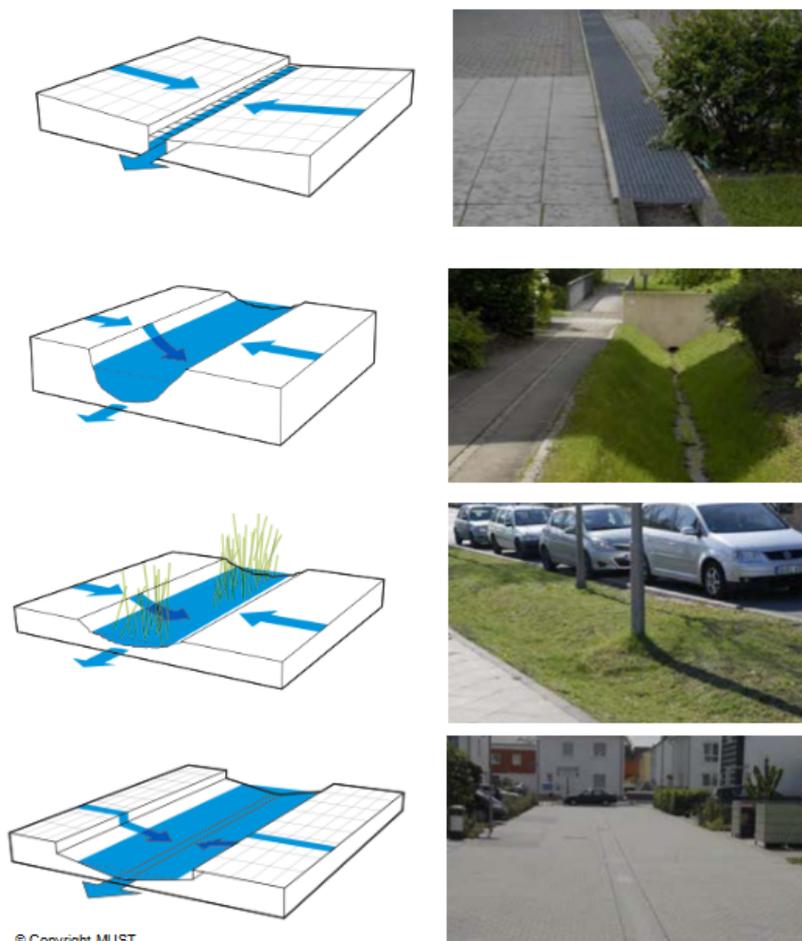


Tabelle 60: Steckbrief für die Maßnahme Notwasserweg zur Reduktion der Auswirkungen außergewöhnlicher Ereignisse

Steckbrief	Notwasserweg
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit im Fall eines Überstauereignisses und daher zu einer integrierten Überflutungsvorsorge beiträgt
Akzeptanz	Schwierige Umsetzung da es meist zu Konflikten mit den Straßenbetreibern kommt, welche um die Funktionsfähigkeit des Straßenbelags fürchten
Nachhaltigkeit	Die Maßnahme als Teil des Schwammstadtprinzips trägt wesentlich zur Klimawandelanpassung bei.
Bemessungsgrenze	keine genauen Angaben (weit oberhalb des Bemessungsniveaus)
Investitionskosten	Standortabhängig, vergleichsweise niedrig
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Blockade der Notwasserwege, Erosion von Böschungen, übermäßiges Pflanzenwachstum

9.1.1.3 Multifunktionale/Multicodierte Retentionsflächen

Multifunktional bedeutet, dass eine Fläche mehr als eine Funktion erfüllt. Der Begriff multicodiert erweitert dies noch damit, dass die Nutzung einer multifunktionalen Fläche auch mehrere Zielgruppen inkludiert (z. B. Kinder und ältere Menschen). Diese Maßnahme kommt wiederum vor allem im dichten städtischen Kerngebiet in Kombination mit Notwasserwegen zum Einsatz. Wobei die Notwasserwege das anfallende Niederschlagswasser im Falle einer Überlastung des Entwässerungssystems zur multifunktionalen/multicodierten Fläche leiten. Die Retentionsanlage selbst wird je nach Flächenverfügbarkeit und hydrologischen Randbedingungen (Versickerungsmöglichkeiten) ausgeführt. Wobei für die Anlagen selbst das breite Spektrum herkömmlicher und etablierte Grüner-Infrastrukturanlagen genutzt wird (Versickerungsmulden, Rohr-Rigol-Systeme, Baumrigole, etc.) sowie gestalterische Elemente integriert sind, welche die Aufenthaltsqualität erhöhen. Die Kosten einer solchen Maßnahme können je nach Flächenverfügbarkeit und gestalterischen Elementen durchaus hoch ausfallen (z. B. Rottdamer Benthemplein: ca. 4.000.000€ und Spielplatz Neugraben-Fischbek Spielplatz (Hamburg): ca. 130.000€ (Benden et al., 2017)). Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist weitestgehend hoch, da diese Maßnahme die Bedürfnisse der Bevölkerung hinsichtlich Nutzung und Gestaltungselementen miteinbezieht.

Abbildung 37: Beispielhafte Abbildung von multifunktionalen und multicodierten Retentionsflächen

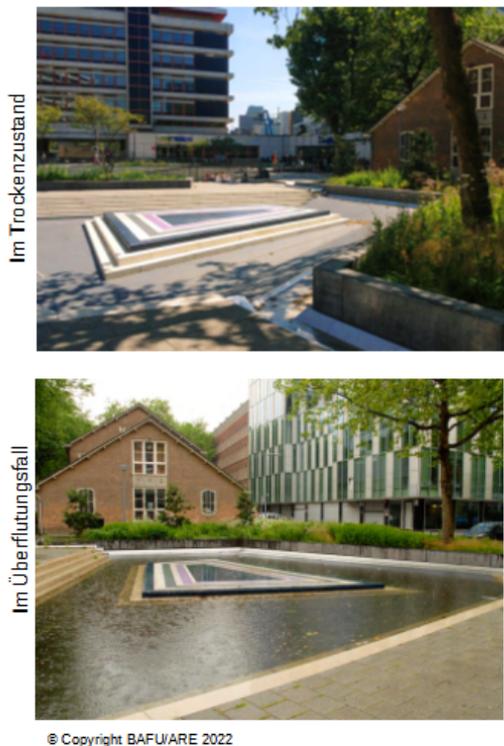


Tabelle 61: Steckbrief zu multifunktionalen und multicodierten Retentionsflächen als Maßnahme zur Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen

Steckbrief	Multifunktionale/Multicodierte Retentionsfläche
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit durch das hohe mögliche Retentionsvolumen
Akzeptanz	Hohe Akzeptanz durch das Einbinden der Bevölkerung in den Planungsprozess
Nachhaltigkeit	Verbesserung der hydrologischen Größen der Wasserbilanz
Bemessungsgrenze	keine genauen Angaben (meist weit oberhalb des Bemessungsniveaus)
Investitionskosten	Standortabhängig, allerdings eher im mittleren Bereich
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Verkläuerungen, Kolmation

9.1.1.4 Blau-Grüne Infrastruktur (BGI)

Das Feld der Blau-Grünen Infrastrukturanlagen umfasst alle bekannten Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung wie beispielsweise: I) Gründach (extensiv, intensiv); II) Rigol-Systeme (Mulden und Baumrigole); III) Versickerungsanlagen (Sickerschacht, Muldenversickerung und Flächenversickerung); IV) Regenwasserzisternen. Die Anlagen haben vorwiegend die Aufgaben das anfallende Niederschlagswasser am Grundstück zwischenspeichern und sich dem natürlichen Wasserkreislauf über Verdunstung und Versickerung anzunähern. Da als Bemessungsgrenzen in Österreich für Anlagen zur Regenwasserversickerung eine Wiederkehrperiode von 5 Jahren definiert wird, dienen diese Anlagen vorwiegend zum Niederschlagswassermanagement und nicht zentral zur Überflutungsvorsorge. Im Starkregenfall führen die Anlagen vor allem zu einer Verzögerung und Dämpfung des Abflusses. Bei nicht funktionsfähiger Notentlastung kann es durch die Abkopplung vom zentralen Entwässerungssystem auf der Oberfläche auch zu einer Verschlechterung des Systemverhaltens im Überflutungsfall kommen, da das Speichervolumen auf eine Wiederkehrhäufigkeit von 5 Jahren dimensioniert ist und das nicht rückhaltbare Volumen an der Oberfläche zum Abfluss kommt. Die Wartung und Instandhaltung von blau-grünen Infrastrukturen ist bisher oft nicht ausreichend geregelt und es bestehen Unsicherheiten über Lebensdauern der Anlagen (Langeveld et al., 2022). Insbesondere auf privatem Grund ist die Wartung und Pflege durch Gemeinden nur schwer kontrollierbar, da Arbeiten vorwiegend vom Grundstückseigentümer durchgeführt werden und diesbezüglich keine Kontrollmechanismen bekannt sind. Anzumerken sei auch dass, vor allem kombinierte Kettensysteme (Gründach->Mulde->Rigole) eine hohe Wirksamkeit sowohl auf die natürliche Wasserbilanz als auch der Abflusentlastung der zentralen Kanalisation aufweisen (Leimgruber et al., 2019).

Abbildung 38: Beispielhafte Umsetzung verschiedener BGI - Anlagen



© Copyright BAFU/ARE 2022

Tabelle 62: Steckbrief zu Blau-Grüne Infrastrukturanlagen zur Reduktion der Auswirkung von außergewöhnlichen Ereignissen

Steckbrief	Blau-Grüne Infrastruktur
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit bezüglich der Entlastung bei kleineren Ereignissen im zentralen Kanalisationssystem, niedrige Wirksamkeit im Überflutungsfall auf der Oberfläche
Akzeptanz	Niedrige Akzeptanz in der Bevölkerung, da die Vorgaben zu höheren Kosten führen und die Flächenverfügbarkeit für solche Anlagen kritisch gesehen werden
Nachhaltigkeit	Annäherung an eine natürliche Wasserbilanz
Bemessungsgrenze	In vielen Fällen eine Wiederkehrhäufigkeit von T=5a
Investitionskosten	Standortabhängig, allerdings eher im mittleren Bereich
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Sedimentation von Versickerungsmulden, Kolmation von teilversiegelten Oberflächen, Verschammung von Zisternen

9.1.1.5 Landwirtschaftliche/Forstwirtschaftliche Maßnahmen

Landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Maßnahmen werden vorrangig an den Außengebieten eines Einzugsgebietes umgesetzt, um den anfallenden Abfluss aus den Außengebieten zu reduzieren. Im Starkregenfall können auf diesen Flächen hohe Abflusssummen entstehen, die hangabwärts Infrastrukturen gefährden. Ein zusätzliches Problem stellt auch das Erosionspotential solcher Flächen dar, welche im städtischen Einzugsgebiet an bekannten Engstellen wie Brücken und Durchlässen Verklausungen verursachen und Straßen und Gebäude verschlammen. Dies begünstigt wiederum Überflutungen und kann so zu enormen Schäden führen. Eine umfassende Übersicht über mögliche Maßnahmen bietet die Website des Freistaat Thüringen an (<https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/aussengebietenentwaesserung-und-land-und-forstwirtschaftliche-ueberflutungsvorsorge>). Folgende Maßnahmen werden dabei bezüglich landwirtschaftlicher und forstwirtschaftlicher Überflutungsvorsorge vorgeschlagen (Freistaat Thüringen, 2023):

- Erosionsschutz in Form von Grünstreifen, hangparallel
- Hangparallele Bearbeitung (Querbewirtschaftung bis 15 Grad Neigung)
- Konservierende Bearbeitungsmethoden

- Ganzjährige Bodenbedeckung
- Vermeidung von abflussfördernden Kulturen (z. B. Mais)
- Wechselnder Anbau verschiedener Feldfrüchte
- Steigerung der Versickerungsleistung durch maschinelle Lockerung von verdichtungsanfälligen Böden wie beispielweise Tonböden
- Umnutzung von Agrarflächen in Grünland oder Wald (vor allem Mischwald)
- Erhalt bestehender Waldflächen
- Revitalisierung von Auenwäldern zur Vergrößerung des Uferzischenspeichers
- Waldmehrung zur Erhöhung des Interzeptionsspeichers
- Umbau von Nadelwäldern zu naturnahen, klimatoleranten Mischwäldern da Mischwälder den Oberflächenabfluss stärker reduzieren

Ein Großteil der Maßnahmen sind relativ leicht und kostengünstig umsetzbar und haben eine enorme Wirkung gegenüber Maßnahmen zum Rückhalt oder Versickerung im Ortskern, bedürfen allerdings einer Sensibilisierung der Land -und Forstwirte. Ziel muss es sein sie für das Thema Überflutungsprävention und eine Kooperation mit der Gemeinde zu gewinnen.

Abbildung 39: exemplarische Umsetzung von Land - und Forstwirtschaftliche Maßnahmen



© Freistaat Thüringen

Tabelle 63: Steckbrief zu Land und Forstwirtschaftlichen Maßnahmen zur Überflutungsprävention

Steckbrief	Land und Forstwirtschaftlichen Maßnahmen
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit, um den Zufluss aus den Außengebieten zu reduzieren
Akzeptanz	Sensibilisierung der Land – und Forstwirt:innen über die Gemeinden zum Thema Überflutungsprävention notwendig
Nachhaltigkeit	Verbesserung des Rückhalts, der Infiltrations – und Verdunstungsleistung in den Außengebieten wodurch der Zufluss in das Kerngebiet reduziert wird
Bemessungsgrenze	Nicht notwendig
Investitionskosten	Kostengünstige aber langfristige Maßnahme
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Keine bekannt

9.1.1.6 Modifiziertes Kanalsystem

Diese Maßnahme erhöht das Speichervolumen im zentralen Entwässerungssystem, indem die Profilgröße erhöht wird. Dies ist im gesamten zentralen Entwässerungssystem nur schwer umsetzbar und auch enorm kostenintensiv, sodass diese Maßnahme nur an neuralgisch wichtigen Stellen im System sinnvoll ist. Eine Erweiterung einer solchen Maßnahme ist die Implementierung eines Speicherkanals, welcher das vorhandene Speichervolumen erst im Fall eines Starkregenereignisses über Wehranlagen aktiviert. Wodurch natürlich auch erhöhte Anforderungen an die Steuersysteme gestellt werden und ein Ausfall dieses die Maßnahme wirkungslos macht. Aus diesem Grund ist diese Maßnahme auch als sensitiv gegenüber außergewöhnlichen Ereignissen wie Betriebsstörungen zu sehen. Zusätzlich sei zu erwähnen, dass über diese Maßnahme nur das Speichervolumen im zentralen Entwässerungssystem erhöht wird. Aus diesem Grund ist die Maßnahme vor allem an bekannten Überstauknoten im System wirksam, da ja der Oberflächenabfluss direkt nicht von der Maßnahme beeinflusst wird.

Abbildung 40: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung der Maßnahmen Kanalmodifizierung



© Ingenieurbüro Sprenger & Steiner

Tabelle 64: Steckbrief zu Erweiterung des städtischen Entwässerungssystem und eines Speicherkanals

Steckbrief	Modifiziertes Kanalsystem
Wirksamkeit	Nur wirksam auf das zentrale Entwässerungssystem
Akzeptanz	Häufig wird diese Maßnahme in der Bevölkerung nicht wahrgenommen und kann daher mit einer hohen Akzeptanz bewertet werden. Wobei größere Umsetzungen (z. B. Speicherkanal) die Bevölkerung miteingebunden werden muss.
Nachhaltigkeit	Weder positive noch negative Wirkung hinsichtlich der natürlichen Wasserbilanz
Bemessungsgrenze	Verwendung von anerkannten Regelwerken wie der Nachweis nach RB 11 und RB19
Investitionskosten	Sehr hohe Kosten aufgrund der aufwändigen Bauausführung und Planung. Allerdings abhängig von der Haltungslänge und des Standortes
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Ablagerungen Kanalbruch und Ausfall von Wehranlagen sowie Steuerungselemente

9.1.1.7 Mobiler Überflutungsschutz

Mobiler Überflutungsschutz ist eine sinnvolle Maßnahme, um kurzzeitig kritische Infrastrukturanlagen und Gebäude vor Überflutungen zu schützen. Dabei werden kurzfristige Barrieren aufgestellt, welche den Wassereintritt in ein Objekt verhindern und daher Überflutungsschäden reduzieren. Die Herausforderung liegt darin, dass die Reaktionszeit bei außergewöhnlichen Ereignissen sehr kurz ist und daher die Einbindung dieser Maßnahme in bestehende Notfallpläne (z. B. Implementierung von Sandsackdepots an neuralgisch wichtigen Punkten) unerlässlich ist. Weiters kann eine solche Maßnahme zwar gezielt ein Objekt schützen, allerdings kann es an einem anderen Standort im Einzugsgebiet das Problem verschärfen. Es kann daher zu einer Verlagerung des Problems auf Unterlieger kommen (BAFU/ARE, 2022). Zusätzlich muss darauf geachtet werden das Nachbarschaftsrecht (§ 364 ABGB) nicht zu verletzen.

Abbildung 41: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung der Maßnahmen mobiler Überflutungsschutz



© Arbeitskreis Hochwasser Graz



© Copyright BAFUWARE 2022

Tabelle 65: Steckbrief zur Maßnahme mobiler Überflutungsschutz

Steckbrief	Mobiler Überflutungsschutz
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit für schützende Einzelobjekte, geringe Wirkung bis zu negativer Wirkung auf das Gesamtsystem durch Verlagerung des Problems
Akzeptanz	Hohe Akzeptanz in der Bevölkerung
Nachhaltigkeit	Weder eine positive noch negative Wirkung hinsichtlich der natürlichen Wasserbilanz.
Bemessungsgrenze	Keine Angaben
Investitionskosten	In Abhängigkeit des technischen Systems (Sandsack vs. automatisierte Schutzwände, Schutzdämme)
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Nicht bekannt

9.1.1.8 Eigenvorsorge

Eine weitere Möglichkeit insbesondere im privaten Bereich ist die Implementierung von kleinen baulichen sowie temporären Schutzmaßnahmen (Abbildung 42). Darunter fallen beispielsweise die Erhöhung der erdgeschossnahen Eingänge durch Rampen oder aber auch der Einsatz von wasserdichten Fenstersystemen und Implementierung von Rückstauklappen, um einen Rückstau aus der Kanalisation zu verhindern. Die Kosten dieser Maßnahmen sind weitestgehend vom Eigentümer selbst zu tragen. Im Vergleich zu den möglichen Schäden halten sich die Kosten in der Regel im Rahmen, sodass diese Maßnahme für Eigentümer in gefährdeten Bereichen empfehlenswert ist. Einen umfassenden Überblick solcher kleinen Maßnahmen liefert der Leitfaden Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss (BMNT, 2019). Bei der Implementierung solcher Maßnahmen muss ebenfalls wieder darauf geachtet werden, dass es zu keiner Verschlechterung von Nachbargrundstücken kommen sollte.

Abbildung 42: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung von eigenvorsorglichen Überflutungsschutz im privaten Bereich



© Copyright BMNL 2019

Tabelle 66: Steckbrief zur kleinräumigen Maßnahmen Eigenvorsorge im privaten Bereich

Steckbrief	Eigenvorsorge im privaten Bereich
Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit für das schützende Einzelobjekt, geringe Wirkung bis zu negativer Wirkung auf das Gesamtsystem durch Verlagerung
Akzeptanz	Mittlere Akzeptanz in der Bevölkerung da die Kosten selbst zu tragen sind
Nachhaltigkeit	Weder eine positive noch negative Wirkung hinsichtlich der natürlichen Wasserbilanz.
Bemessungsgrenze	Keine Angaben
Investitionskosten	In Abhängigkeit welches Maßnahmenpaket implementiert wird, aber kostengünstige Maßnahmen
Störfälle und außergewöhnliche Betriebszustände	Nicht bekannt

9.1.2 Möglichkeiten der Bewertung von konstruktiven baulichen Maßnahmen

Der Fokus in diesem Projekt liegt auf einer ganzheitlichen Bewertung von Maßnahmen hinsichtlich des städtischen Entwässerungssystems. Aus diesem Grund ist es nicht möglich eine Maßnahme auf nur eine Zielgröße (z. B. Überflutungsvolumen) zu vergleichen, sondern es wird eine Kombination mehrere Zielgrößen angestrebt. Wobei der grundsätzliche Ansatz ein relativer Vergleich der normalisierten Zielgrößen-Kombination (OF_k) zwischen dem Ist-Zustand und dem Maßnahmenzenario unter einer gegebenen Randbedingung ist (Gl.-2).

$$WI = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n WI_{k,norm} \quad (Gl-2)$$

$$WI_{k,norm} = norm \left\{ \frac{(OF_{k, Referenz} - OF_{k, Szenario})}{OF_{k, Referenz}} \right\} \quad (Gl-3)$$

WI= gesamter Wirksamkeitsindex einer Maßnahme; $WI_{k,norm}$ = normalisierte Wirksamkeit der einzelnen Bewertungsgröße k; $OF_{k,Referenz}$ = Zielgröße i des Referenzszenarios (z. B. Überflutungsfläche); $OF_{k,Szenario}$ = Zielgröße i des Maßnahmenzenarios (z. B. Überflutungsfläche); n = Anzahl der Überkategorien

Die Kombination der Zielgrößen wird dabei in drei Überkategorien eingeteilt: I) Auswirkungen hinsichtlich urbaner Überflutung; II) Auswirkung auf das Entwässerungssystem; III) Bewertung hinsichtlich nachhaltiger Wirkung. In weiterer Folge werden die einzelnen Überkategorien beschrieben:

9.1.2.1 Auswirkung hinsichtlich urbaner Überflutung

Die Zielgröße hinsichtlich urbaner Überflutungen ist entweder der maximale Wasserstand an der Oberfläche oder eine Kombination aus Wasserstand und Fließgeschwindigkeit. Als Grenzwert für urbane Überflutungen wird ein Wasserstand $> 0,1\text{m}$ (LUBW, 2016) angenommen. Bei niedrigeren Wasserständen wird die Fläche nicht als überflutet detektiert. Die Überflutungsflächen werden sowohl hinsichtlich der Fläche als auch der Anzahl an betroffenen Überflutungsflächen ausgewertet. Bei Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche wird ein Grenzwert von größer $0,3\text{m/s}$ angesetzt (Reinstaller & Muschalla, 2022). Im Anschluss werden beide resultierende Überflutungsflächen gemittelt, welches die kombinierte Zielgröße RI_1 ergibt (Gl-3). Wobei auch eine Einzelbetrachtung des Wasserstands oder der Fließgeschwindigkeit zulässig ist. In diesem Fall entfällt die Mittelung. An dieser Stelle sei hinzuweisen, dass die Kombination von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit zu bevorzugen ist, jedoch eine Bewertung mittels Wasserstands ebenfalls zulässig ist, da nicht jedes Modell beide Modellvariablen ermittelt.

$$WI_1 = \frac{1}{2} * \left\{ \frac{\tilde{d}_{0.1,ref} - \tilde{d}_{0.1,szen,k}}{\tilde{d}_{0.1,ref}} + \frac{\tilde{v}_{0.3,ref} - \tilde{v}_{0.3,szen,k}}{\tilde{v}_{0.3,ref}} \right\} \quad (Gl-4)$$

WI_1 = Wirksamkeitsindex urbane Überflutung; $\tilde{d}_{0.1,ref}$ = Median der Überflutungsfläche größer $0,1\text{m}$ des Referenzszenarios; $\tilde{d}_{0.1,szen,k}$ = Median der Überflutungsfläche größer $0,1\text{m}$ des

Maßnahmenszenarios k ; $\tilde{v}_{0.3,ref}$ = Median der Überflutungsflächen größer 0,3m pro Sekunde des Referenzszenarios; $\tilde{v}_{0.3,szen,k}$ = Median der Überflutungsflächen größer 0,3m/s des Maßnahmenszenarios k

9.1.2.2 Auswirkung auf das Entwässerungssystem:

Für die Bewertung des Entwässerungssystems sind mehrere Zielgrößen notwendig, um die Auswirkungen quantifizieren zu können. Wobei unter Entwässerungssystem sowohl die zentrale Kanalisation als auch Anlagen dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung gemeint ist. Es werden allerdings nur Haltungen der Regenwasserkanalisation sowie der Mischwasserkanalisation berücksichtigt, die Schmutzwasserkanalisation wird vernachlässigt. Zum einen muss die Kapazität im zentralen Entwässerungssystem mit allen Haltungen ebenso wie eine mögliche Reduktion des Überstauvolumens in die Bewertung mit einfließen. Eine weitere Zielgröße ist der Eintrag in ein nahegelegenes Gewässer (Überlaufvolumen) genauso wie das Zulaufvolumen zur ARA. Zusätzlich wird die Fähigkeit des Entwässerungssystems nach einem außergewöhnlichen Ereignis in die Ausgangslage zurückzukehren über die technische Resilienz berücksichtigt. Zusammengefasst ergeben sich daher drei Zielgrößen, welche die Wirkung einer Maßnahme auf das Entwässerungssystem bewertet: I) Überstau und Kapazität in der zentralen Kanalisation (GI-6); II) Auswirkung auf benachbarte Systeme wie dem Gewässer und der ARA (GI-7); III) technische Resilienz des Entwässerungssystem nach Mugume et. al. (2015)(GI-8). Die Wirkung einer Maßnahme auf das Entwässerungssystem wird anschließend über den Mittelwert dieser drei Zielgrößen bestimmt (GI-5).

$$WI_2 = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n OF_{2,m} \quad (GI-5)$$

WI_2 = Wirksamkeitsindex des Entwässerungssystems; $OF_{2,m}$ = Zielgröße m (z. B. Überstauvolumen); n = Anzahl der Zielgrößen

$$OF_{2.1} = \frac{1}{2} * \left\{ \frac{(\tilde{c}_{\max,ist} - \tilde{c}_{\max,i})}{\tilde{c}_{\max,ist}} + \frac{(\tilde{V}_{\max,ist} - \tilde{V}_{\max,i})}{\tilde{V}_{\max,ist}} \right\} \quad (GI-6)$$

$$OF_{2.2} = \frac{1}{2} * \left\{ \frac{(\bar{Q}_{ARA,ist} - \bar{Q}_{ARA,i})}{\bar{Q}_{ARA,ist}} + \frac{(\bar{V}_{MÜ,ist} - \bar{V}_{MÜ,i})}{\bar{V}_{MÜ,ist}} \right\} \quad (GI-7)$$

$$OF_{2.3} = \frac{(REI_{ist} - REI_i)}{REI_{ist}} \quad \text{mit } REI = 1 - \left\{ \frac{V_{total}}{RO} * \frac{\bar{t}_{Überflutung}}{d} \right\} \quad (GI-8)$$

$OF_{2.1}$ = Zielgröße zur Bewertung der zentralen Kanalisation; $\tilde{c}_{\max,ist}$ = Median der Kapazität in jeder Kanalhaltung im System des Referenzszenarios; $\tilde{c}_{\max,i}$ = Median der Kapazität in jeder Kanalhaltung im System des Maßnahmenszenarios i; $\tilde{V}_{\max,ist}$ = Median des Überstauvolumens in jedem Schacht im System des Referenzszenarios; $\tilde{V}_{\max,i}$ = Median des Überstauvolumens in jedem Schacht im System des Maßnahmenszenarios i; $OF_{2.1}$ = Zielgröße zur Bewertung der benachbarten Systeme (Gewässer und ARA); $\bar{Q}_{ARA,ist}$ = Durchschnittlicher Abfluss zur ARA des Referenzszenarios; $\bar{Q}_{ARA,i}$ = Durchschnittlicher Abfluss zur ARA des Maßnahmenszenarios i; $\bar{V}_{MÜ,ist}$ = Durchschnittliches Überlaufvolumen aller Überläufe im System des Referenzszenarios; $\bar{V}_{MÜ,i}$ = Durchschnittliches Überlaufvolumen aller Überläufe im System des Maßnahmenszenarios; $OF_{2.3}$ = Zielgröße zur Bewertung der technischen Resilienz des Entwässerungssystems; REI = Resilienzindex nach Mugume et al. (2015); V_{total} = gesamtes Überflutungsvolumen im Kanalsystem; RO = Oberflächenabflussvolumen im gesamten Einzugsgebiet; $\bar{t}_{Überflutung}$ = durchschnittlicher Zeitpunkt der Überflutung im Entwässerungssystem; d = Dauer des Ereignisses

9.1.2.3 Bewertung hinsichtlich nachhaltiger Wirkung:

Aufgrund der Forderung einer nachhaltigen Entwicklung von Entwässerungssystemen in der EN 752, müssen auch langfristige Veränderungen im System durch eine Maßnahme berücksichtigt werden. Dies kann am besten über die Veränderung in der Wasserbilanz quantifiziert

werden (Gl-9). Da hydrologische Größen wie die Verdunstung und Infiltration sich positiv auf die Temperaturerhöhung durch den Klimawandel auswirken.

$$P = RO + ET + I \pm \Delta S \text{ [mm]} \quad (\text{Gl-9})$$

P= Niederschlag; ET=Evapotranspiration; I=Infiltration; ΔS =Speicheränderung, RO= Oberflächenabfluss

Die Bestimmung der einzelnen Wasserbilanzgrößen für jede Maßnahme kann dabei auf zwei mögliche Arten erfolgen: I) physikalisch basiert mit Hilfe eines hydrologischen Modells und einer Langzeitsimulation; II) über eine qualitative Bewertung.

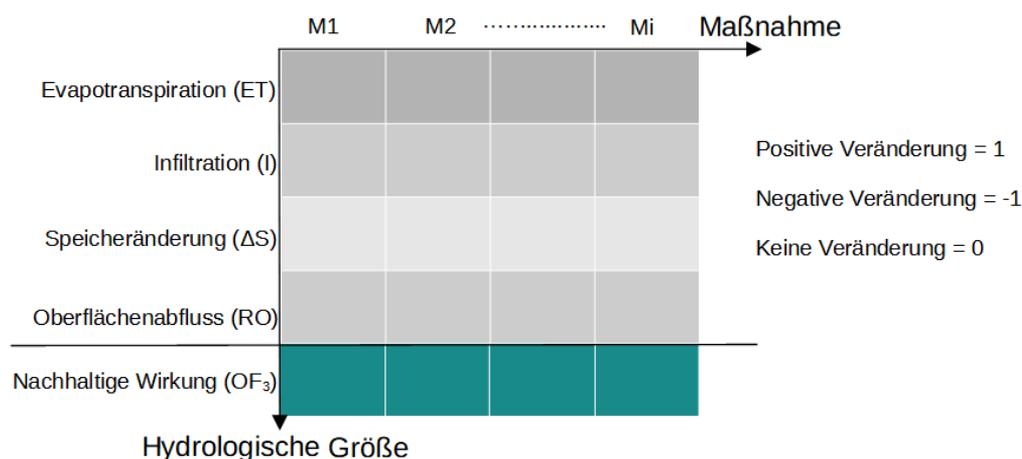
Mit Hilfe eines hydrologischen Modells können alle maßgeblichen hydrologischen Prozesse wie Infiltration, Interzeption, Verdunstung, Transpiration, Muldenverluste, usw. realitätsnah abgebildet werden. Mit Hilfe einer Langzeitsimulation (mind. 10 Jahre Niederschlagskontinuum) kann anschließend die Veränderung in der Wasserbilanz ausgewertet werden. Da es sich um einen relativen Vergleich handelt, ist auch nicht zwingend erforderlich ein kalibriertes Modell dafür anzuwenden. Allerdings sollte das verwendete hydrologische Modell etabliert sein, sodass alle hydrologischen Prozesse genau genug abgebildet sind. Aus allen Veränderungen der hydrologischen Größen wird anschließend die Wasserbilanz gebildet und somit die nachhaltige Wirkung einer Maßnahme quantifiziert (GL-10). Wobei die Vorzeichen der Wasserbilanz für die Bildung der Summe verwendet werden (z. B. Evapotranspiration wird als negative Größe berücksichtigt)

$$OF_3 = \sum_{i=1}^n \frac{WB_{i,ist} - WB_{i,Ma\betanahme}}{WB_{i,ist}} \quad (\text{Gl-10})$$

OF_3 = Zielgröße bezüglich nachhaltige Wirkung; $WB_{i,ist}$ = Wasserbilanzgröße i des Referenzszenarios; $WB_{i,Ma\betanahme}$ = Wasserbilanzgröße i eines Maßnahmen szenarios; n = Anzahl der für die Bewertung herangezogenen Wasserbilanzgrößen

Für die qualitative Bewertung wird einzig berücksichtigt, ob sich die einzelnen Wasserbilanzgrößen positiv (+1), negativ (-1) oder gleichbleibend (0) zum Referenzzustand verändern. Anschließend werden die zugewiesenen Werte der Wasserbilanzgrößen (Evapotranspiration, Infiltration, Oberflächenabfluss und Speicheränderung) aufsummiert. Dies resultiert in eine Ergebnismatrix, welche eine qualitative Größe (OF_3) für die nachhaltige Wirkung einer Maßnahme repräsentiert (Abbildung 43). Eine solche Matrix kann natürlich auch von verschiedenen Personen und Organisationen in Form einer Befragung erstellt werden und anschließend statistisch ausgewertet werden, wodurch das Ergebnis gefestigt wird.

Abbildung 43: Qualitative Bewertung der nachhaltigen Wirkung (OF_3) über die Wasserbilanzgrößen



9.1.2.4 Normalisierung

Alle drei Zielgrößen, welche zur Ermittlung des Reduktionsindex RI notwendig sind repräsentieren unterschiedliche Prozesse im Entwässerungssystem. Daher ist es nicht verwunderlich, dass der mögliche Wertebereich und die Verteilungen jeder einzelnen stark voneinander abweichen können. Aus diesem Grund ist es notwendig, jede der Zielgrößen zu normalisieren, um diese im Anschluss daran kombinieren oder vergleichen zu können. Das bedeutet, dass jede Zielgröße auf dieselbe Skala gebracht wird. Da sich der Wertebereich durchaus im negativen Bereich befinden kann, wird ein Wertebereich zwischen +1 und -1 empfohlen, damit die Information nicht verloren geht, wenn eine Zielgröße einer Maßnahme auch eine negative Veränderung bewirkt. Aus diesem Grund wird die maximale Normalisierung empfohlen (Gl-11). Wobei erwähnt werden muss, dass bei normalverteilten Zielgrößen auch die MinMax Normalisierung zulässig ist.

$$OF_{norm} = \frac{OF_i}{\max(OF_i)} \quad (GI-11)$$

OF_{norm} = normalisierte Zielgröße; OF_i =Zielgröße der Maßnahme i; $\max(OF_i)$ = Maximal Wert der Zielgröße innerhalb aller Maßnahmen i

9.1.2.5 Kosten- Nutzen Untersuchung

Neben den bereits vorgestellten quantitativen Größen (Überflutungsflächen, nachhaltige Wirkung, Bewertung des Entwässerungssystem), welche für eine Quantifizierung der Wirksamkeit des gesamten Systems der NWB notwendig sind, müssen auch die Kosten der Maßnahme dem Nutzen gegenübergestellt werden. Eine solche Analyse ist im Schutzwasserbau bei fluvialen Überflutungen bereits fester Bestandteil und über die EU Hochwasserrahmenrichtlinie (EC, 2007) geregelt und empfohlen. Eine solche Analyse hat das Ziel die geeignete Maßnahme zu identifizieren, welche den höchsten Nutzen im EZG hat (BMLFUW, 2009). Dies wird über das sogenannte Kosten-Nutzen Verhältnis quantifiziert (GI-12), welchen die Kosten einer Maßnahme dem reduzierten Schaden einer Maßnahme gegenüberstellt. Wobei dafür eine Schadensanalyse im gesamten EZG durchgeführt werden muss, da häufig keine Daten zu den Schäden für jedes betroffene Gebäude vorhanden sind. Dadurch muss dieser Schaden anhand von Schadensfunktionen abgeschätzt werden (GI-13). Die Differenz zwischen dem Schaden im Referenzszenario und jenem abgeschätzten Schaden des Maßnahmenzenarios kann als Nutzen interpretiert werden. Da die Schadensfunktionen immer mit Modellierungsgrößen wie Wasserstand und Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden und diese durch die Jährlichkeiten des Ereignisses eine Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigen, impliziert dieser Ansatz auch das Überflutungsrisiko (Reinstaller und Muschalla, 2021).

$$KNV = \frac{\text{Kosten}}{\text{Nutzen}} \quad (GI-12)$$

KNV= Kosten -Nutzen Verhältnis [-]

(GI-13)

$$S = S_{min} + 1000 \times B + \sqrt{W}$$

S= Schaden; S_{min} = angenommener Anfangsschaden; B = Nutzungsspezifischer Faktor für betroffenen Wohngebäude zwischen 2 -100; W= Wasserstand in Meter aus einem evaluierten Überflutungsmodell

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass sowohl die Kosten der Maßnahme als auch die Ermittlung der prognostizierten Schäden eine Vielzahl an Annahmen sowie Vereinfachungen beinhalten. Beispielsweise können bereits die Errichtungskosten enormen Streuungen unterliegen (beispielsweise für ein Regenrückhaltebecken 35 bis 1.150€/m³ (Zessner et al.,2022)). Dies liegt vor allem daran, dass die Kosten einer Maßnahme stark standortabhängig sind. Beispielsweise können durch die Bodenverhältnisse oder aber aufgrund der Nähe zu besonders schützenswerten Objekten (z. B. Grundwasserschongebiet) aufwändige Baumaßnahmen notwendig sein, welche sich natürlich in den Kosten widerspiegeln. Ebenso sollte der gesamte Lebenszyklus einer Maßnahme beurteilt werden und daher sind auch die laufenden Kosten sowie der angesetzte Zinssatz eine äußerst sensitive Größe in Bezug auf die zu ermittelnden Barwerte (siehe dazu FlexAdapt Endbericht (Kleidorfer et al., 2019)).

Zusätzlich benötigt man zu einer detaillierten Analyse des zu erwartenden Schadens detaillierte Informationen bezüglich der Nutzung sowie Exposition aller Schutzgüter im betrachteten EZG. Eine solche Datengrundlage zu den Gebäuden (z. B. Untergrundbebauung (Hauser, 2022)) liegen den meisten Gemeinden und Städte nicht vollständig vor und müssen daher abgeschätzt werden. Wodurch eine exakte Bestimmung des Schadensausmaßes nicht durchführbar ist. Der Vergleich von Maßnahmen einer solchen Methodik ist aufgrund der zuvor beschriebenen hohen Unsicherheiten sowohl auf der Kosten-, als auch auf der Nutzen-Seite als sehr kritisch zu sehen.

Aus diesem Grund wird versucht die Kosten einer Maßnahme mit Hilfe des entwickelten Wirksamkeitsindex zu skalieren. Eine positive Wirksamkeit wird in diesem Kontext als Nutzung interpretiert und als Skalierungsfaktor verwendet (GI-14). Dadurch wird zumindest die Unsicherheiten der Nutzen Seite reduziert werden, da der Wirksamkeitsindex einzig von den Modellvariablen eines validierten 1D-2D Überflutungsmodell abhängig ist und dadurch auf ein

physikalisch-basierten Systemverhalten aufbaut. Da dieser ebenfalls die Jährlichkeit eines simulierten Ereignisses berücksichtigt, wird dieser Ansatz ebenfalls auch als risikobasierter Ansatz bewertet.

(GI-12)

$$\text{Skalierte Kosten} = \frac{\text{Kosten einer Maßnahme } i}{\text{Wirksamkeitsindex (WI)}}$$

Um diesen Ansatz zu demonstrieren, werden in weiterer Folge die zwei Maßnahmen Regenrückhaltebecken und Sickerschacht hinsichtlich der skalierten Kosten mit Hilfe der ermittelten Wirksamkeiten im fiktiven EZG miteinander verglichen. Dabei beruhen die Kostenansätze des Regenrückhaltebeckens auf der RAINMAN Studie (Achleitner et al., 2020) sowie die Kostenansätze der Sickerschächte auf dem FlexAdapt Endbericht (Kleidorfer et al., 2019). Ebenso wird angenommen, dass 45 Versickerungsschächte im EZG als auch im Randgebiet umgesetzt werden können. Wobei nur die Errichtungskosten der Maßnahmen berücksichtigt wurden. Der Skalierungsfaktor basiert auf dem gemittelten Wirksamkeitsindex errechnet aus den Teilwirksamkeiten Überflutungsflächen (RI Überflutungsflächen) und Entwässerungssystem (RI Entwässerungssystem) im Ist-Zustand (Z0) aus Kapitel 9.1.2.5. Da keine laufenden Kosten berücksichtigt sind, werden auch langfristige Wirksamkeiten wie die nachhaltige Wirkung vernachlässigt.

Tabelle 67: Beispiel für einen Kosten Nutzen Vergleich zweier Maßnahmen

	Regenrückhaltebecken	Versickerungsschacht
Errichtungskosten	550 000 € *	1500 €/Stück **
Anzahl	1	45
Fläche	2400 m ²	-
Wirksamkeitsindex	0.089	0.215
Skalierte Kosten	6 179 775,28	313 953.48

*Abgeschätzte Errichtungskosten (Grundstückserwerb, Planungskosten, Baukosten) (Achleitner et al., 2020)

**Durchschnittlicher Wert der Bandbreite 1000 – 2000 €/Stück nach (Kleidorfer et al., 2019)

Dieser Vergleich resultiert in einem deutlich besserem Kosten Nutzen Verhältnis für die Maßnahme der Versickerungsschächte und sollte daher bei den beschriebenen angenommen Randbedingungen umgesetzt werden. Dies ist jedoch ein Demonstrationsbeispiel und soll lediglich die Methodik demonstrieren, wie eine Kosten-Nutzen-Analyse mit Hilfe des entwickelten Wirksamkeitsindex für das System der NWB durchgeführt werden kann. Besonders die Kosten der Maßnahme beruht dabei auf einigen Annahmen und müssen individuell auf den jeweiligen Standort angepasst werden.

9.1.2.6 Beispiel für die Anwendung des Wirksamkeitsindex zur Bewertung von Maßnahmen

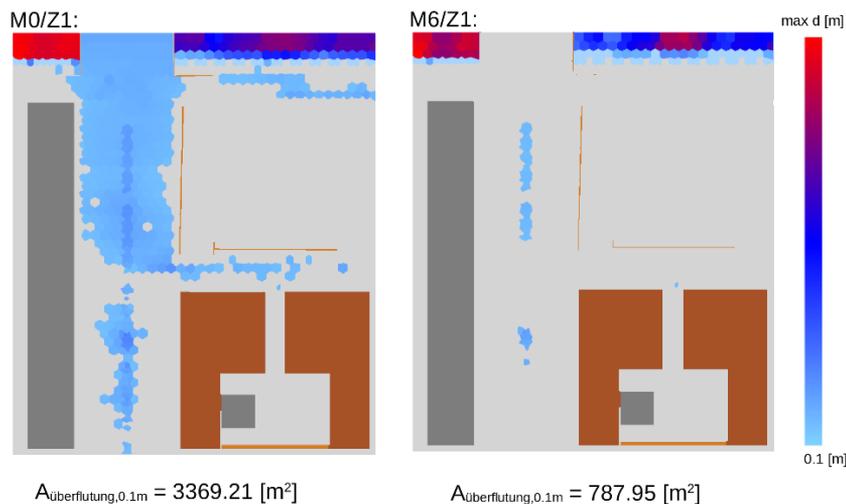
Um die vorrangig beschriebene Methodik exemplarisch zu demonstrieren, wurden insgesamt 6 Maßnahmenszenarien in 4 Grundzuständen mit Hilfe des fiktiven Einzugsgebietes aus Kapitel 7.4.1 mit den gekoppelten 1D-2D Ansatz modelliert und im Anschluss mit einem gemessenen Niederschlagsereignis vom 22.08.2020 aus der Fallstudie Feldbach simuliert (Kapitel 12.1). Folgende Maßnahmen wurden dabei modelltechnisch abgebildet: I) Regenrückhaltebecken im Außengebiet des Fließgewässers (M1); II) Notwasserwege im Kerngebiet (M2); Implementierung dezentraler Anlagen im Kern - und Außengebiet (M3); Erweiterung der zentralen Kanalisation (M4), Implementierung von mobilen Maßnahmen für den Überflutungsschutz (z. B. Sandsäcke) (M5); Landwirtschaftliche Maßnahme um die hydrologischen Prozesse wie Infiltration und Speichervermögen in den Außengebieten zu erhöhen (M6).

Die vier Grundzustände unterteilen sich in einem Ist-Zustand (Z0), vereinfachten Klimawandelszenario (Z1); Urbanisierungszustand durch Erhöhung der versiegelten Flächen in den Außengebieten (Z2) und einer Kombination (Z3) aus Z1 und Z2. Wobei für das Klimawandelszenario eine Erhöhung der Temperatur um 3 Kelvin und daher einer Erhöhung des Niederschlags um 42 Prozent angenommen wird. Dieser Zusammenhang wird über die Clausius-Claperon-Gleichung hergeleitet, welche eine Erhöhung der Wasserdampfvermögens von 10 - 14% pro Grad Celsius Erwärmung für konvektive Ereignisse prognostiziert (ZAMG, 2020). Der beschriebene Zustand ist aus diesem Grund ein pessimistisches Szenario und entspricht am einer RCP 6.0 Klimaprojektion oder einen SSP1 sozioökonomischen Entwicklungspfad des aktuellen IPCC Berichts (2023), wodurch die Pariser Klimaziele nicht erreicht werden. Für die Urbanisierung wird an den Außengebieten eine Erhöhung der versiegelten Flächen um 30 Prozent angenommen (Mikovits et al., 2017). Für die nachhaltige Wirkung OF₃ wird die qualitative Abschätzung herangezogen. Zusätzlich muss noch erwähnt werden, dass das gesamte Speicherpotential verfügbar ist, also keine Vorfeuchte im Boden angenommen wurde und auch der Wasserstand im Fließgewässer unter Niedrigwasserbedingungen angesetzt wird.

9.1.2.7 Interpretation der Ergebnisse

Für die Interpretation der Ergebnisse ist es wichtig festzuhalten, dass die Maßnahmenszenarien mit dem IST-Zustand (M0) des jeweiligen Grundzustands (M0/Z0-M0/Z3) verglichen werden. Allerdings die 0-Szenarien der Grundzustände (M0/Z1, M0/Z2, M0/Z3) mit dem IST Zustand M0/Z0. Für jedes simulierte Szenario können die resultierenden Überflutungsflächen mit dem zugehörigen Referenzszenario verglichen werden (Abbildung 44). Der Vorteil dabei ist, dass die Wirksamkeit einer Maßnahme sehr anschaulich und einfach visualisiert werden kann.

Abbildung 44: Beispielhafte Gegenüberstellung der resultierenden Überflutungsflächen der Landwirtschaftlichen Maßnahme (M6 (rechte Abbildung)) mit der Überflutungsfläche des Referenzszenarios (M0 (linke Abbildung)) für das Klimawandelszenario Z1



Als eine erste Erkenntnis aus den Ergebnissen lässt sich festhalten, dass nicht jede Maßnahme sowohl für das Entwässerungssystem als auch für die Überflutungsflächen in einer Reduktion resultiert (Abbildung 45). So zeigt sich beispielsweise, dass ein mobiler Überflutungsschutz größere Überflutungsflächen verursacht, da sich das Wasser an jenen Stellen aufstaut und daher mehr Flächen mit einem Wasserstand größer als 0,1m auftreten. Allerdings kommt es am zu schützenden Objekt (in diesem Fall eine Unterführung) zu einer klaren Reduktion von Überflutungsflächen.

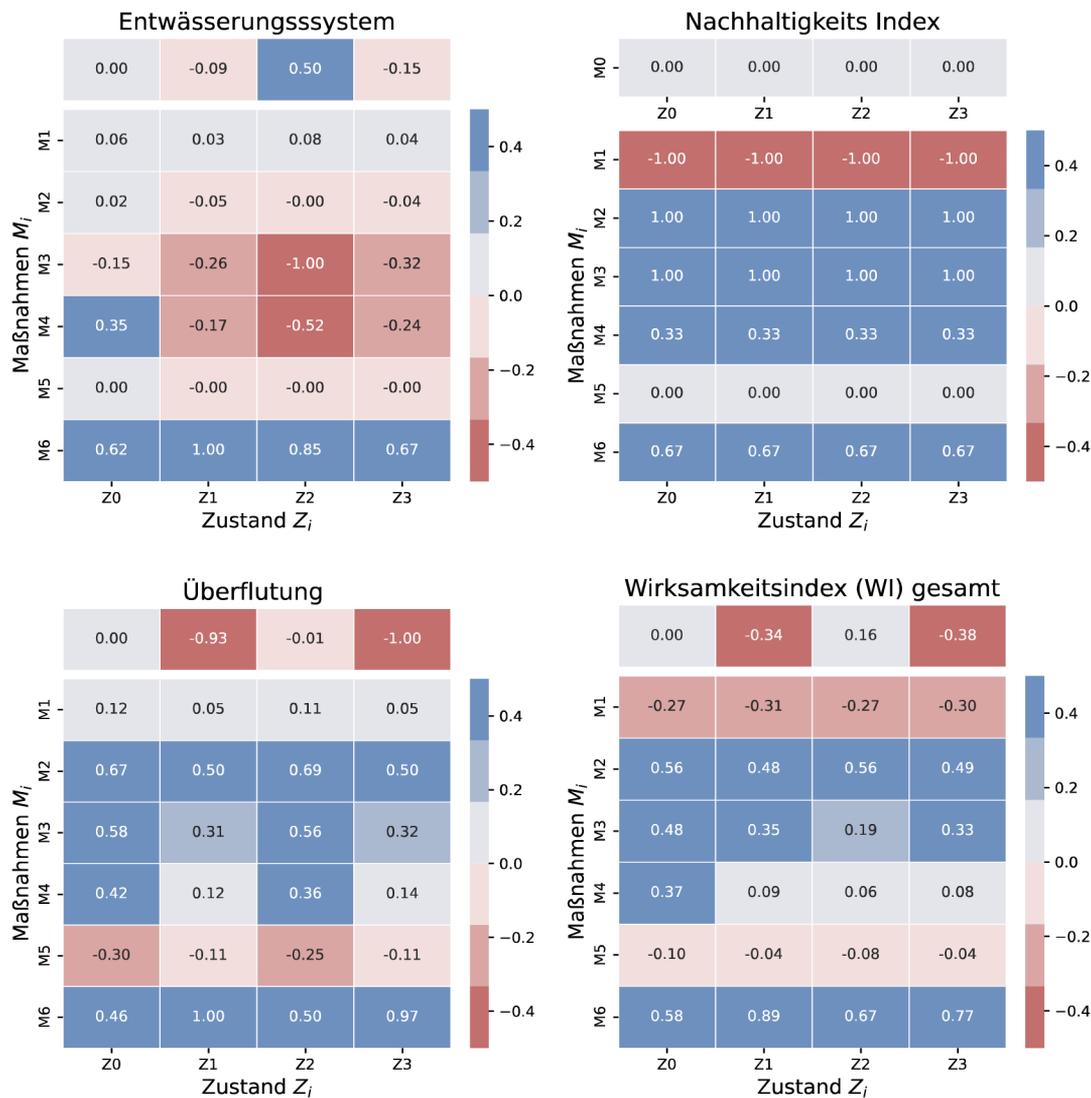
Allgemein ist auch zu erkennen, dass entgegen der Erwartung, dass jede Maßnahme einen positiven Effekt hat, dies nicht bestätigt werden kann. Einige Maßnahmen unter dem gegebenen Grundzustand weisen zwar Reduktion hinsichtlich Überflutungen auf, haben aber auf das

Entwässerungssystem selbst einen negativen Einfluss (z. B. M4/Z1). Dies kann auch an modelltechnischen Gründen liegen, da im Modell immer ein direkter Anschlussknoten einer Fläche oder Maßnahme angegeben werden muss. Aus diesem Grund muss eine Maßnahme immer auf seine direkte Einwirkung untersucht werden. Unter dieser Ansicht ist es klar, dass beispielsweise eine Erhöhung des Speicherraums in der Kanalisation zu mehr Volumen im Kanalsystem und daher auch zu einem höheren Abfluss zur ARA und zur Mischwasserentlastung führt. Die Ergebnisse zeigen damit auch nochmals den direkten

Zusammenhang zwischen Oberflächenabfluss und dem Abfluss in der Kanalisation und dass eine Maßnahme sowohl das eine oder andere beeinflusst. Wodurch die Empfehlung zur Verwendung eines gekoppelten 1D-2D Modells unterstützt wird, um das gesamte NWB System bewerten zu können (Reinstaller et al., 2023).

Des Weiteren zeigen die ersten Ergebnisse, dass vor allem Maßnahmen, welche das Speichervermögen an Niederschlagswasser erhöhen (Regenrückhaltebecken (M2), dezentrale NWB-Anlagen (M3), Landwirtschaftliche Maßnahmen (M6)) und gleichzeitig eine Verbesserung hinsichtlich der Wasserbilanz aufweisen (positive Bilanz), sehr gute Maßnahmen für eine Gesamtsystembetrachtung (kombinierter Index) sind. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass insbesondere bei intensiveren Niederschlägen (Z1) sowie steigendem Versiegelungsgrad (Z2) die Maßnahmen die Auswirkungen nicht vollständig kompensieren können. Aus diesem Grund ist die Implementierung von Notwasserwegen (M2) in Kombination mit einer großflächigen Retention (M3 -> dezentral; M1- zentral) eine durchaus wirksame Maßnahme, welche ein „Safe to Fail“ Prinzip unterstützt.

Abbildung 45: Darstellung des Wirksamkeitsindex (Bereichsgrenze: -1 bis 1) aller simulierten Maßnahmen und Zustände im fiktiven EZG wobei die blauen Färbungen eine Verschlechterung und eine orange Färbung eine Verbesserung des gesamten Systems der NWB darstellen



10 Störfallmanagement

Ein koordiniertes Vorgehen mit klaren Handlungsanweisungen ist im Falle einer Störung wesentlich, um die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden zu minimieren und die damit verbundenen Verluste weitestmöglich zu vermeiden. Im folgenden Kapitel werden zunächst allgemeine Anforderungen an eine Störfallplanung in der Niederschlagswasserbewirtschaftung dargelegt, gefolgt von Ausführungen zur Störfallplanung, zunächst auf Ebene der Gemeinde und tiefergehend auf Ebene des Kanalbetriebs. Im Falle von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen sollte das Störfallmanagement an bereits bestehende Katastrophenschutzpläne angelehnt werden, um Synergien und etablierte Netzwerke auszunutzen und auf diesen aufbauen zu können. Im vorliegenden Forschungsprojekt geht das Störfallmanagement über die Betrachtung einzelner zentraler Anlagen hinaus, und umfasst das gesamte System des urbanen Einzugsgebiets mitsamt privaten Grundstücken, dezentralen Anlagen und auch direkt angrenzende Außengebiete.

Um dies zu erreichen, wurden zunächst bestehende Störfallpläne von unterschiedlichen Betreibern sowie internationale Literatur zum Störfallmanagement ausgewertet. Auf dieser Basis wurden drei zentrale Bereiche identifiziert und analysiert:

- Das rechtzeitige Erkennen eines Störfalles: Hier wurde untersucht, wie Störfälle frühzeitig identifiziert oder vorhergesagt werden können, beispielsweise durch den Einsatz von Frühwarnsystemen.
- Die Entwicklung konkreter Handlungsanweisungen für den Störfall: Hier wurde untersucht, mit welchen Mitteln und Vorgehensweisen einzelnen Störfällen und außergewöhnlichen Situationen begegnet werden kann.
- Die Identifikation betroffener Stellen und Informationsketten: Hier wurde untersucht, welche Stellen im Falle eines Störfalles informiert und für die Umsetzung der Handlungsanweisungen verantwortlich gemacht werden sollten.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Mindestanforderungen an ein effektives Störfallmanagement definiert (Kapitel 10.3.1). Diese dienen als grundlegender Rahmen für die Entwicklung und Implementierung von Störfallmanagementplänen.

Darüber hinaus wurde ein exemplarischer Maßnahmenkatalog erarbeitet, der über die definierten Mindestanforderungen hinausgeht. Dieser Katalog bietet weitere mögliche Maßnahmen und Strategien zur Verbesserung des Störfallmanagements. Dieser Katalog ist im BEJOND Leitfadens zu finden.

Die Ausführungen in diesem Kapitel stützen sich auf folgende Tätigkeiten:

Analyse bestehender Störfallpläne: Es wurde eine umfangreiche Untersuchung durchgeführt, in der bestehende Störfallpläne verschiedener Betreiber, insbesondere diejenigen, die sich auf Starkregenereignisse konzentrieren, untersucht wurden. Der „Starkregen-Check“ vom Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT), wurde dabei als Best-Practice-Beispiel herangezogen. Ebenfalls wurde die ÖNORM EN 752 (2017) berücksichtigt, die Richtlinien für die Erstellung von Maßnahmenplänen bietet.

Online-Umfrage: In Kooperation mit den ÖWAV-Kanalnachbarschaften wurde eine Online-Umfrage durchgeführt, an der 13 Betreiber (Abwasserverbände, Verbände nach Wasserrecht, Kommunalunternehmen und Gemeinden) teilgenommen haben. Diese Umfrage bot einen Einblick in die aktuelle Praxis der Stör- und Notfallplanung in österreichischen Kanalbetrieben und trug dazu bei, die vorliegenden Empfehlungen zur Verbesserung des Störfallmanagements zu formulieren. Die Umfrage umfasste 52 Fragen aus zehn Fragegruppen und beruhte auf bestehenden wissenschaftlichen Untersuchungen und Leitfäden (Kapitel 10.3).

Zu unterscheiden sind ein allgemeines Risikomanagement und eine spezielle Störfallplanung auf Gemeindeebene, sowie eine technische Stör- und Notfallplanung auf Betriebsebene. Beide Ansätze werden im folgenden Kapitel betrachtet und bilden eine wichtige Grundlage für einen sicheren und schadlosen Umgang mit außergewöhnlichen Ereignissen in der Niederschlagswasserbewirtschaftung.

10.1 Allgemeine Anforderungen an eine Störfallplanung in der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Im Störfallmanagement für Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung (NWB) bilden Stör- und Notfallpläne die Grundlage für ein schnelles und koordiniertes Vorgehen im Falle einer Störung. Wesentliche Fragestellungen in der Stör- und Notfallplanung können wie folgt lauten:

- Wie können Störfälle rechtzeitig erkannt werden, um Auswirkungen zu minimieren?
- Wie sollten konkrete Handlungsanweisungen für den Störfall formuliert werden?
- Welche Stellen müssen in Stör- und Notfällen informiert werden, damit die Handlungsanweisungen optimal umgesetzt werden können? Hierfür ist die Definition von Informationsketten der wesentlichen Akteure im Störfallmanagement und im Katastrophenschutz notwendig.

Ein gut ausgearbeitetes und auf die lokalen Rahmenbedingungen abgestimmtes Störfallmanagement erhöht die Sicherheit und Orientierung im Falle eines außergewöhnlichen Ereignisses oder außerplanmäßigen Betriebszustandes. Hinweise für Verbesserungen wie beispielsweise der Umgang mit Starkregenereignissen und anderen Störfällen können festgehalten werden und die Bereitschaft sowie die Koordinierung kann sowohl betriebsintern als auch -extern gesteigert werden.

Obwohl Kanalbetriebe in Österreich aufgrund ihrer systemrelevanten Bedeutung von großer Wichtigkeit sind, wurden sie bislang nicht als „kritische Infrastruktur“ klassifiziert. Dies änderte sich mit der Einführung von zwei EU-Richtlinien am 16.01.2023, die den Schutz kritischer Infrastrukturen neu definiert haben. Nun gehört der Abwassersektor zu den „Sektoren mit hoher Kritikalität“. Dies schließt ihn in eine Kategorie mit Sektoren wie Energie, Verkehr, Bankwesen, Finanzmarktinfrastrukturen, Gesundheitswesen, Trinkwasser und Digitale Infrastruktur ein.

Die EU-Richtlinie zur Resilienz kritischer Einrichtungen (EU 2022/2557) legt fest, dass Mitgliedstaaten solche Einrichtungen identifizieren und deren physische Robustheit erhöhen müssen. Gleichzeitig erweitert die NIS-2-Richtlinie (EU 2022/2555) die Vorgaben zur Cybersicherheit. Hierdurch werden Unternehmen nach ihrer Größe klassifiziert:

- Große Unternehmen: 250 oder mehr Mitarbeiter:innen
- Mittlere Unternehmen: weniger als 250 Mitarbeiter:innen
- Kleine Unternehmen: weniger als 50 Mitarbeiter:innen, die nicht unter die NIS-2-Richtlinie fallen.

Firmen, die unter die NIS-2-Richtlinie fallen, sind verpflichtet, Risikomanagement-Strategien einzuführen und Berichtspflichten nachzukommen. Dazu zählen Maßnahmen wie Risikoanalysen, Krisenmanagement und Schulungen zur Cybersicherheit. Bei der Auswahl und Durchführung dieser Maßnahmen sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, darunter Technikstandards, Kosten, aktuelle Risiken und potenzielle Konsequenzen von Sicherheitszwischenfällen.

Da sich das BEJOND Projekt auf kleine bis mittelgroße Gemeinden fokussiert, werden die primär angesprochenen kleinen Abwasserbetriebe aufgrund der neuen Richtlinien nicht von zusätzlichen Anforderungen betroffen sein. Dennoch sollte der neue Status des Abwassersektors in zukünftigen Entscheidungen betreffend der Stör- und Notfallplanung mitbedacht werden.

Dabei stehen in Österreich verschiedene Normen und Regelwerke zur Verfügung, wobei zum aktuellen Zeitpunkt keine Normen speziell das Thema Niederschlagswasserbewirtschaftung behandeln. Tabelle 68 gibt einen Überblick über eine Auswahl von relevanten Normen und Regelwerken, die in diesem Kontext von Bedeutung sind. Sie definieren Begriffe, stellen Verfahren bereit, legen Anforderungen fest und geben wichtige Hinweise für ein effektives und effizientes Management von Störfällen.

Tabelle 68 Übersicht über relevante Normen und Regelwerke im Bereich Risiko-, Stör-, Notfall- und Krisenmanagement

Normen und Regelwerke im Bereich Risiko-, Stör-, Notfall- und Krisenmanagement	
Grundlegende Begrifflichkeiten und Konzepte	
ÖNORM EN ISO 22300	Definiert Begriffe aus dem Bereich der gesellschaftlichen Sicherheit. Wichtiger Ausgangspunkt, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten die gleiche Fachterminologie verwenden.
ÖNORM S 2304	Legt weitere Begriffe und Definitionen im Hinblick auf das integrierte Katastrophenmanagement fest.
Risikomanagement und Anpassung	
ÖNORM ISO 31000:2019	Aktuelle Norm für das Risikomanagement in Österreich, ersetzt die ehemalige ONR 49000. Stellt Grundsätze, Rahmenbedingungen und Prozesse für das Risikomanagement dar und gibt Handlungsempfehlungen für die Implementierung des Risikomanagements in Unternehmen und Organisationen.
ÖNORM EN ISO 14091	Beschreibt eine systematische Methode zur Bewertung der Risiken und Auswirkungen des Klimawandels auf Organisationen, Standorte und Infrastrukturen.
Business Continuity und Krisenmanagement	
ÖNORM EN ISO 22313 und ÖNORM EN ISO 22301	Beschreiben Anforderungen an Business-Continuity-Managementsysteme zur Aufrechterhaltung des Betriebs von Organisationen nach einer Katastrophe. Relevant für die Planung und Umsetzung von Notfall- und Krisenmanagementmaßnahmen.
ÖNORM EN 15975-1	Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement.
ÖNORM EN 15975-2	Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement.
Technische Anforderungen und physische Schutzmaßnahmen	
ONR 24800 bis ONR 24810	Behandeln technische Anforderungen an Schutzbauwerke gegen Naturgefahren wie Wildbäche, Lawinen und Steinschläge. Wichtig für die physische Infrastruktur und ihre Resilienz gegen Naturgefahren.
Spezifische nationale Regelungen und Leitlinien	
SKKM – Staatliches Krisen- und Katastrophenmanagement (2007)	Staatliches Krisen- und Katastrophenmanagement in Österreich, festgelegt im Jahr 2007.

In Bezug auf Starkregenereignisse ist in erster Linie der Schutz vor Überflutungen zu beachten. Zudem sollten die hydraulischen Zustandsklassen nach ÖWAV RB 22 der Kanalhaltungen bekannt und dokumentiert sein, um den Handlungsbedarf evaluieren zu können.

Grundlegende Elemente einer nachhaltigen Störfallvorsorge in der NWB sind die wassersensible Stadt- und Bauleitplanung. Auch die Optimierung von Gewässerläufen und Kapazitäten im Kanalnetz sind wichtige Maßnahmen in der Überflutungsprävention. Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation zählen ebenfalls zu den Grundbausteinen eines ganzheitlichen Störfallmanagements – Auf dieses Thema wird in Kapitel 11 näher eingegangen.

Die Verteilung der Zuständigkeiten innerhalb der Gemeinde- oder Stadtverwaltung sollte geklärt und schriftlich festgehalten werden. Die Abläufe sollten stets auf dem neuesten Stand gehalten werden und bei Änderungen im Betrieb und im Personal aktualisiert werden. Störfallmanagementpläne müssen nicht nur vorliegen, sondern vor allem auch an die Mitarbeiter:innen herangebracht und in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Sie sollten in ihrer Formulierung gut verständlich und deutlich sein, und alle wesentlichen Kontaktinformationen und Zuständigkeiten beinhalten.

10.2 Störfallplanung auf Ebene der Gemeinde

Gemeinden haben vielfältige Zuständigkeiten, darunter das Bauwesen, die lokale Raumplanung, Wasserversorgung und -entsorgung, Katastrophenschutz und die Errichtung und Instandhaltung von Straßen und Wegen. Diese Bereiche können sowohl von Störfällen und außergewöhnlichen Ereignissen in der Niederschlagswasserbewirtschaftung betroffen sein als auch eine Rolle bei deren Entstehung spielen.

Dazu können auf Gemeindeebene wichtige Schritte für die Störfallplanung gesetzt werden. Es ist empfehlenswert, bereits bestehende Stör- und Notfallpläne als Grundlage für weitere Maßnahmen zu verwenden und potenzielle Anknüpfungspunkte zu identifizieren. Viele Gemeinden verfügen bereits über ausführliche Notfallpläne für spezifische Szenarien und Ereignisse - beispielsweise im Falle von Blackout, Pandemien oder Flusshochwasser. Um unnötige Parallelstrukturen oder Redundanzen zu vermeiden, bietet es sich an, auf etablierten Systemen und Protokollen aufzubauen und diese weiterzuentwickeln. Die Anpassung und Verbesserung bereits vorhandener Pläne spart nicht nur Zeit und Ressourcen, sondern stärkt auch die Effektivität des Managements in Notfallsituationen, indem vorhandene Erfahrungen und Erkenntnisse genutzt werden.

Der Einsatz von Sensoren in größeren Sensornetzwerken ermöglicht eine Überwachung von Wasserständen und Durchflussraten in natürlichen Gerinnen und kleinen Flüssen, Niederschlagsmengen und anderen relevanten Parametern in Echtzeit. Auch Satellitenbilder und Drohnen können verwendet werden, um großräumige Veränderungen im Einzugsgebiet zu überwachen und potenzielle Störfälle zu identifizieren. In einzelnen Fällen könnten Schäden an oder Ausfälle von Gründächern und Rückhaltebecken entdeckt, oder auch unzulässige Bauten und Versiegelung erkannt werden. Die Erstellung eines Gesamtkonzepts für die Budgetierung und Planung von Sanierungsmaßnahmen stützt sich auf ein umfassendes Kanalkataster, um eine strukturierte und gezielte Vorgehensweise bei der Instandhaltung der bestehenden NWB Anlagen zu gewährleisten.

Möglichkeiten zur Implementierung von Frühwarnsystemen und deren Integration in das Störfallmanagement:

- Integration von Sensordaten in ein zentrales Überwachungssystem: Sammlung und Analyse von Sensordaten in Echtzeit, um Störfälle schnell zu erkennen und die notwendigen Maßnahmen einzuleiten.
- Nutzung von verfügbaren Prognosemodellen und Wetterdiensten: Verfügbare Prognosemodelle und Wetterdienste können genutzt werden, um Hochwasserereignisse, Starkregen und andere extreme Wetterbedingungen vorherzusagen. Diese Dienste sind entweder durch Abonnements erhältlich oder kostenlos über öffentlich zugängliche Apps und Webseiten verfügbar.
- Kommunikationsplattformen und Alarmierungssysteme: Implementierung von Plattformen zur Kommunikation von Störfallwarnungen an betroffene Gemeinden und Organisationen. Dies kann über mobile Apps, Websites, soziale Medien oder andere Kommunikationskanäle erfolgen.
- Zusammenarbeit mit relevanten Organisationen und Behörden: Integration der Frühwarnsysteme in das bestehende Störfallmanagement und Zusammenarbeit mit anderen Organisationen und Behörden, die für die Niederschlagswasserbewirtschaftung verantwortlich sind.
- Schulungen und Sensibilisierung: Organisation von Schulungen und Sensibilisierungsmaßnahmen für lokale Behörden, Organisationen und Bürger, um das Bewusstsein für Störfälle in der Niederschlagswasserbewirtschaftung zu erhöhen und die Fähigkeit zur frühzeitigen Erkennung und Reaktion auf Störfälle zu verbessern.

Gefahrenabwehr: Alarm- und Einsatzplanung

Die Herausforderung eines Starkregenereignisses liegt in seiner schwer vorhersehbaren Natur. In Österreich stehen Gemeinden, genau wie Grundstückseigentümer, vor der Herausforderung, dass sie sich wegen der begrenzten Möglichkeiten einer präzisen räumlichen und zeitlichen Vorhersage nur schwer auf ein urbanes Überflutungsereignis vorbereiten können. Dennoch unterstreicht die Häufigkeit solcher Wetterphänomene die Notwendigkeit für Gemeinden, sich intensiv mit möglichen Szenarien und erforderlichen Reaktionsmaßnahmen auseinanderzusetzen.

Hier kommt die Alarm- und Einsatzplanung ins Spiel. Dieses Instrument dient nicht nur der Gefahrenabwehr, sondern auch der Koordination aller erforderlichen Einsätze und Wiederherstellungs-Maßnahmen. Im Zentrum dieser Bemühungen steht die Zusammenarbeit. Gemeinden sind angehalten, eng mit benachbarten Feuerwehren zu kommunizieren und ein Netzwerk der gegenseitigen Unterstützung zu etablieren. Dies beinhaltet auch die Vorbereitung auf außergewöhnliche Maßnahmen, wie etwa das Öffnen von Kanaldeckeln oder das gezielte Überfluten von ausgewählten Flächen mit geringem Schadenspotenzial. Eine vorausschauende Betrachtung solcher Maßnahmen kann im Krisenfall eine entscheidende Hilfe bei der Entscheidungsfindung sein.

Alarm- und Einsatzpläne nehmen in diesem Kontext eine Schlüsselrolle für das Krisenmanagement der Gemeinden ein. Durch ihre mehrstufige Konzeption können sie flexibel auf diverse Szenarien reagieren. Ein vierstufiges Konzept hat sich insbesondere bei kurzen Vorwarnzeiten als effektiv erwiesen, wobei die Stufe 1, die kritische Unwetterprognose, speziell für Starkregenereignisse von großer Bedeutung ist. Es sollte betont werden, dass generalisierte Alarm- und Einsatzpläne im Fall von Überflutungen nicht immer nahtlos auf lokale Starkregenereignisse anwendbar sind, da sie oft für umfangreichere fluviale Überflutungsereignisse entwickelt werden.

Ein konkretes Beispiel bietet die Tabelle 69, die einen Alarm- und Einsatzplan für Starkregenereignisse auf Gemeindeebene darstellt. Dieser Plan, ursprünglich für den deutschen Kontext entwickelt und dann für österreichische Verhältnisse angepasst, gibt anhand der GeoSphere Austria Warnstufen klare Handlungsempfehlungen.

Tabelle 69 Beispiel eines Alarm- und Einsatzplans für den Starkregenfall auf Gemeindeebene

Alarmstufe	GeoSphere Austria Warnstufe	Merkmale	Maßnahmen (Beispiele)
0	Grün (Keine aktive Warnung): Es ist derzeit kein warnrelevantes Wetter zu erwarten. Wetterbericht beobachten.	Keine Gefahr	Keine
1	Gelb (Vorsicht!): Vorsicht ist bei dieser Wettersituation geboten, es sind jedoch nur vereinzelt wetterbedingte Beeinträchtigungen und/oder Schäden zu erwarten.	<p>Kritische Unwetterprognose</p> <p>Keine akute Überflutungsgefahr: In den nächsten Stunden bis Tagen kann es zu einem Überflutungsereignis kommen</p> <p>Besondere Gefahr, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zutreffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extremwetterwarnung der GeoSphere Austria • Tauwetter • Vorgegangene Niederschläge im EZG mit hoher Vorfeuchte der Böden und hohen Pegelständen • Vorgegangene Dürre im EZG mit trockenen Böden • Unbewachsene landwirtschaftliche Flächen in Hanglagen (z. B. im Frühjahr) 	<p>Information der Mitglieder des Krisenstabs / Krisenteams (Ausruf Alarmstufe 1):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technische Einsatzbereitschaft der Feuerwehr überprüfen oder herstellen • Ständige Überwachung der weiteren Prognose- und Wetterentwicklung

Alarmstufe	GeoSphere Austria Warnstufe	Merkmale	Maßnahmen (Beispiele)
2	Orange (Achtung!!): Die Wettersituation kann zu Beeinträchtigungen des Alltags führen und/oder Schäden verursachen. Verfolgen der aktuellen Wetterprognosen wird empfohlen.	Drohendes Unwetter mit hoher Überflutungsgefahr In den nächsten 24h ist eine Überflutung möglich, aber nicht sicher	Information der Mitglieder der Gemeindeeinsatzleitung (GEL) bzw. Krisenstab, sowie ggf. Kanalbetrieb (AWV o.ä.), Feuerwehr und Straßenmeisterei (Ausruf Alarmstufe 2): Teilbesetzung des Krisenstabes mit den Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> • Administrative, organisatorische und unterstützende Aufgaben: • Lage und Dokumentation • Vorbereitung der Evakuierung von Personen in besonders gefährdeten Gebieten oder besonders vulnerabler Gruppen und/oder Schließung besonders kritischer Objekte (z. B. Unterführungen, Tiefgaragen) • Technische Maßnahmen gemäß aktuellem Alarmplan • Ständige Überwachung der weiteren Prognose-, Wetter- und Pegelentwicklung
3	Rot (Gefahr!!!): Aufgrund der Wettersituation kommt es zu Beeinträchtigungen des Alltags und/oder zu Schäden in größerem Ausmaß. Es wird empfohlen aktuelle Wetterprognosen sowie Anweisungen des Zivilschutzes zu beachten.	Kritische Überflutungsgefahr Es kann durch Oberflächenwasser, ausufernde Bäche und/oder kanalindizierte Überflutungen kurzfristig eine kritische Situation eintreten. Die bedrohliche Wetterlage hält weiter an	Ausruf Alarmstufe 3: <ul style="list-style-type: none"> • Einberufung des Krisenstabes (z. B.: Gemeinde Einsatzleitung - GEL) • Aufbau des Führungsstabes • Ständige Kontrolle wie oben, Dammverteidigung und ggf. Entlastung • Ggf. Evakuierung von Fahrzeugen • Empfehlung an die Bevölkerung, sich auf eine Evakuierung vorzubereiten, ansonsten Maßnahmen nach Lage

Alarmstufe	GeoSphere Austria Warnstufe	Merkmale	Maßnahmen (Beispiele)
4	Keine weitere Warnung	Großflächige Überflutungen, Teile des Gebietes sind überflutet oder die Überflutung steht unmittelbar bevor	<p>Übergang zum Katastrophenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auslösen des Evakuierungsalarms für die betroffenen Gebiete • Sicherstellung der medizinischen Versorgung der Bevölkerung trotz Überflutungslage • Versorgung der Bevölkerung mit den wichtigsten Hilfsgütern, wenn notwendig • Weitere Maßnahmen nach Lage • Übergang zur Aufräumphase mit sukzessivem Rückbau der Stäbe

Angepasst auf den österreichischen Kontext aus dem Leitfaden „Starkregen – Was können Kommunen tun?“ des Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz & WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (IBH & WBW, 2013).

10.3 Störfallplanung auf Ebene des Kanalbetriebs

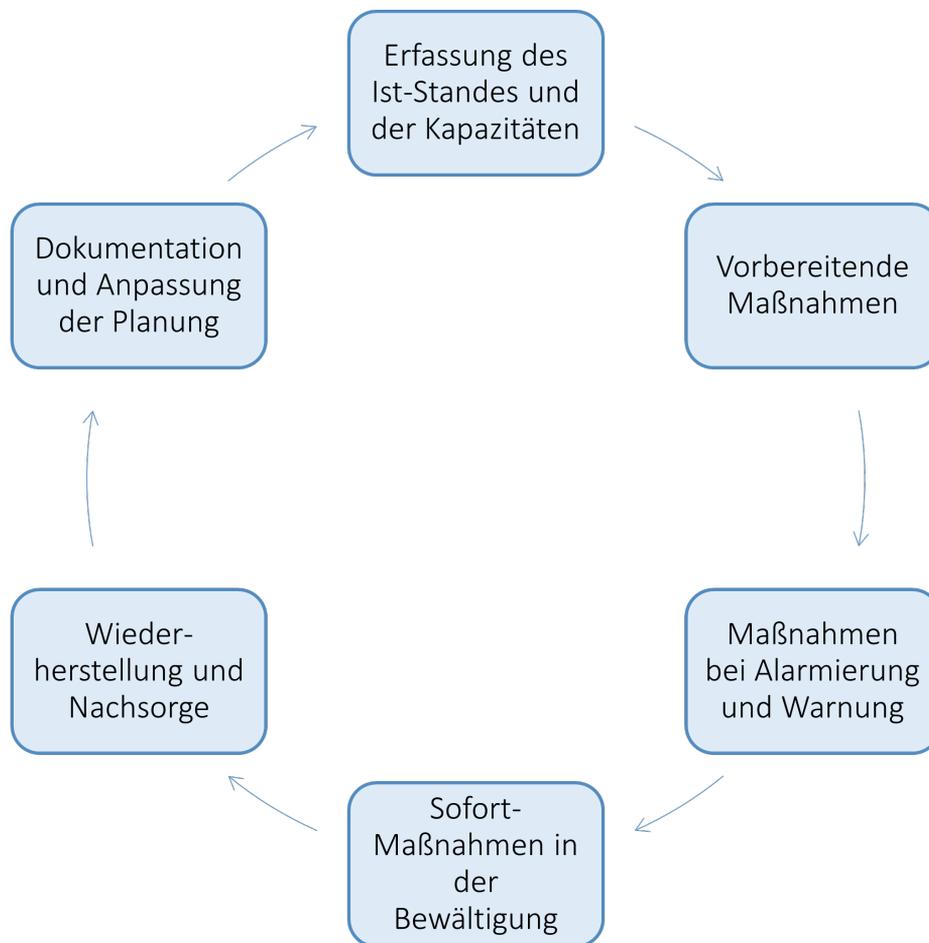
Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über die Maßnahmen und Strategien, die Betreibern von NWB-Anlagen, speziell Kanalbetreibern, im Umgang mit außergewöhnlichen Ereignissen und Betriebszuständen zur Verfügung stehen. Jeder Kanalbetrieb hat unterschiedliche Mittel und Ressourcen, um sich auf außerplanmäßige Zustände vorzubereiten, darauf zu reagieren und den Normalbetrieb wiederherzustellen. Vor allem kleinere Betriebe und Gemeinden stehen vor großen Herausforderungen in der Planung, Vorbereitung und Bewältigung von Stör-, Not- und Krisenfällen in Anbetracht knapper Mittel und steigenden Ansprüchen.

Das Thema Stör- und Notfallplanung in österreichischen Kanalbetrieben gewinnt angesichts von Extremwetterereignissen, der Alterung der bestehenden Kanalsysteme und der vermehrten Implementierung dezentraler Anlagen zunehmend an Bedeutung. Dabei sind die Betreiber lediglich für die dezentralen Anlagen auf öffentlichen Flächen verantwortlich. Es gilt, verschiedene Betriebszustände – vom Normal- oder Regelbetrieb bis hin zu Krisen und Katastrophen – zu berücksichtigen. Leitlinien und Checklisten unterstützen die Betreiber von Kanalanlagen und anderen NWB Anlagen, um in Stör- und Notfällen besser vorbereitet zu sein und nachteilige Auswirkungen einer Funktionsstörung oder eines Ausfalls zu minimieren. Die Planung und Aufrechterhaltung der Systeme müssen jedoch in jedem Fall aus eigener Initiative, und unter Einbindung entsprechender betriebsinternen und externen Personen erfolgen.

Hierbei sollte der Hauptfokus, anstelle einer reaktiven Haltung, auf einer vorausschauenden Planung liegen, in der Maßnahmen zur Vorbeugung und zur Bewältigung von Störfällen implementiert werden. Die Störfallplanung sollte entsprechend der vorhandenen Ressourcen, Informationen, Rahmenbedingungen und Strukturen des jeweiligen Kanalbetriebs formuliert werden. Darüber hinaus sind regelmäßige Aktualisierungen der Störfallpläne und die Berücksichtigung von Rückmeldungen aus der Praxis entscheidend für eine kontinuierliche Verbesserung des Störfallmanagements.

Die Stör- und Notfallplanung kann wie in Abbildung 46 dargestellt, als iterativer, zyklischer Prozess verstanden werden. Beginnend mit der Erfassung des Ist-Zustandes und der vorhandenen Kapazitäten, werden dann vorbereitende Maßnahmen getroffen. Nachdem der unmittelbare Notfall bewältigt ist, schließt sich die Phase der „Wiederherstellung und Nachsorge“ an. Hier wird der betroffene Bereich in seinen ursprünglichen oder einen sicheren Zustand zurückgeführt, und es werden Maßnahmen zur Unterstützung und Nachsorge der betroffenen Stellen umgesetzt. Der Schritt „Dokumentation und Anpassung der Planung“ schließt wieder bei der Erfassung des Ist-Zustandes an.

Abbildung 46 Zyklus der Stör- und Notfallplanung, eigene Abbildung



10.3.1 Mindestanforderungen an ein Störfallmanagement im Kanalbetrieb

Die Mindestanforderungen an eine Stör- und Notfallplanung wurden anhand der Ausführungen in der ÖNROM EN752 einerseits, und den Anforderungen aus der steirischen Leitlinie für die Störfallplanung im Abwasserbereich andererseits, definiert. Sie umfassen mehrere Schlüsselaufgaben, die sowohl organisatorische als auch operationelle Maßnahmen beinhalten:

Nach ÖNORM EN752

Organisation des Krisenmanagements: Beschreibung der Struktur und Rollen im Krisenmanagement, einschließlich Krisenstab, Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Kontaktdaten. Einbeziehung externer Stellen sollte berücksichtigt werden.

Einzelheiten für Notfälle: Planung spezifischer Reaktionen und Sofortmaßnahmen für definierte Stör- und Notfallszenarien. Erstellung von Störfallszenarien für jene Gefährdungen, die nicht durch Vorbeugungsmaßnahmen eliminiert werden können. Ausführliche Beschreibung aller Tätigkeiten, Maßnahmen und Verantwortlichkeiten zur Beherrschung eines Störfalls.

Geschätzter Zeitaufwand zur Einleitung von Maßnahmen: Allgemeine Abschätzung des Zeitaufwands zur Einleitung von Maßnahmen.

Liste der zu benachrichtigenden Personen: Eine aktuelle Liste aller Personen, die im Notfall benachrichtigt werden müssen.

Standort der verfügbaren Einsatzmittel: Dokumentation des Standorts der Einsatzmittel, vorzugsweise in Form eines Nothilfe-Passes.

Vorgehensweisen: Enthält Protokolle zum Schutz der aufnehmenden Gewässer und der ARA, zur Vermeidung von Kontaminationen, zur Durchführung von Reparaturen und zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft.

Ergänzungen nach der steirischen Leitlinie für die Störfallplanung:

Überwachungs- und Wartungsplan: Ein aktueller Überwachungs- und Wartungsplan, der Eigenüberwachungsmaßnahmen und behördliche Vorschriften enthält.

Gefährdungen identifizieren: Umfassende Auflistung aller existierenden und potenziellen Gefährdungen.

Kontaktliste für den Katastrophenfall: Kenntnis der Ansprechpartner auf verschiedenen Ebenen des Katastrophenschutzes.

Abstimmung der Katastrophenschutzaufgaben: Abstimmung der eigenen Aufgaben im übergeordneten Katastrophenschutz mit relevanten Behörden. Die erforderlichen Einsatzmittel sind dabei festzulegen, einschließlich: I) Personal; II) Fahrzeuge; III) Ausrüstung; und IV) Material.

10.3.2 Störfallerkennung im Kanalbetrieb

Die Früherkennung eines Auslöseereignisses für einen Störfall ist entscheidend, um eine prompte und effektive Reaktion und Schadensbegrenzung zu gewährleisten. Auslöseereignisse können sich in verschiedenster Weise manifestieren: sie können plötzlich und unerwartet auftreten, sich über eine gewisse Zeitspanne hinweg entwickeln oder durch kontinuierliche Überwachung bestimmter Parameter identifiziert werden. Abhängig von der Art des Ereignisses kann der Betreiber der Abwasseranlage mehr oder weniger Zeit haben, sich auf einen drohenden Störfall vorzubereiten.

In der Störfallerkennung gibt es grundsätzlich zwei Hauptkategorien: die spontane Störfallerkennung und die Störfallerkennung mittels Frühwarnsysteme. Bei der spontanen Störfallerkennung müssen die Mitarbeiter in der Lage sein, schnell und effizient zu reagieren. Daher ist es unerlässlich, dass die Kontaktdaten der zuständigen Mitarbeiter leicht verfügbar sind. Im Falle der Störfallerkennung durch Frühwarnsysteme steht die kontinuierliche Überwachung bestimmter Betriebs- und betriebsrelevanter Anlagen oder Anlagenteile im Vordergrund, um negative Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Für diese Anlagen(-teile) können Grenz- und Alarmwerte festgelegt werden.

Aus der Online-Umfrage zum Thema Stör- und Notfallplanung im Kanalbetrieb geht hervor, dass österreichische Kanalbetriebe und Abwasserverbände eine breite Palette von Methoden zur Erkennung betrieblicher Störungen und Probleme im Kanalnetz anwenden. Hierzu gehören beispielsweise regelmäßige Inspektionen und Wartungen, die Festlegung von Alarm- und Einschreitwerten, der Einsatz von Online-Überwachungstechnologien, das Reagieren auf Beschwerden von Bürger:innen sowie die Berücksichtigung von Informationen, die von externen Stellen bereitgestellt werden.

Folgende Möglichkeiten der Störfallerkennung im Betrieb wurden identifiziert:

- Implementierung eines Fernwirk- oder Überwachungssystems, um Betriebszustände von Pumpstationen und anderen kritischen Anlagen online zu überwachen und zu steuern
- Regelmäßige Kontrollen und Wartung von Pumpen und Kanälen durch qualifizierte Kanalfacharbeiter, um Verstopfungen durch unerwünschte Materialien zu beseitigen und einen ordnungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.
- Durchführung regelmäßiger Kanalinspektionen, einschließlich Kanalreinigung und TV-Untersuchungen, um den Zustand der Rohrleitungen zu überwachen und mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen

- Bereitstellung angemessener Ausrüstung für Wartungsarbeiten, wie zum Beispiel Kanalspül-Fahrzeuge, mobile Pumpenanlagen, mobile Notstromversorgungssysteme und Kanal-TV-Kameras
- Einsatz von Berauchungsgeräten oder ähnlichen Techniken, um Fehllanschlüsse wie Dachentwässerungen und Oberflächenentwässerungen in Hauskanalisationsanlagen zu identifizieren und zu beheben

10.3.3 Organisation des Krisenmanagements

Ein zentraler Schritt bei der Störfallplanung ist das Zusammenbringen von Mitarbeiter:innen aus unterschiedlichen Betriebsbereichen. In gemeinsamen Diskussionen und Besprechungen wird entschieden, wer welche Funktionen im Kontext der Störfallplanung übernimmt. Hierbei müssen alle Entscheidungen bezüglich Rollen, Zuständigkeiten und Vorgehensweisen von der Betriebsleitung befürwortet und unterstützt werden, einschließlich Aspekten wie Finanzierung und Personalressourcen.

Die Koordinationsaufgabe sowie die Kommunikation der Planungsergebnisse werden in der Regel von Führungskräften wie dem Betriebsleiter, dem Leiter des Bauamts oder dem Vorsitzenden übernommen. Diese Person sollte idealerweise entweder eine Entscheidungsbefugnis haben oder zumindest einen regelmäßigen engen Austausch mit den Entscheidungsträgern pflegen. Dadurch wird sichergestellt, dass die für die Notfallplanung und deren Umsetzung benötigten Ressourcen bereitgestellt werden. Der Koordinator ist auch dafür verantwortlich, einen Zeitplan für die verschiedenen Arbeitsphasen festzulegen und dessen Einhaltung zu überwachen.

Verschiedene Personen können ihre Beiträge zur Störfallplanung einbringen:

- Mitarbeiter:innen, die wichtige Betriebsinformationen und praktische Erfahrungen besitzen.
- Externe Fachleute, die ihre Expert:innenmeinungen einbringen, oft im Rahmen von Ortsbesichtigungen und Anlagenbegehungen.
- Mitglieder von lokalen Notdiensten wie Feuerwehr, Rettungsdienst und Polizei.

- Bei größeren Abwasserentsorgern besteht auch die Möglichkeit, bestimmte Teilaufgaben an externe Planungsgruppen zu vergeben, zum Beispiel das Risikomanagement im Bereich der Kläranlagen.

Bei der Definition von Verantwortlichkeiten für den Planungsprozess sollte die Aufteilung der Arbeitsaufgaben klar definiert und kommuniziert werden, und diese können dann auf verschiedene Verantwortungsbereiche übertragen werden.

Eine beispielhafte Aufstellung eines Störfall-Teams findet sich in der untenstehenden Tabelle 70:

Tabelle 70 Beispielhafte Organisationsstruktur und Verantwortlichkeiten für die betriebliche Stör- und Notfallplanung

Ebene / Gruppe	Akteur	Aufgabe
Betriebliche Ebene – Kernteam	Bürgermeister	Entscheidungsverantwortlicher, Einbindung/Information in alle Entscheidungsprozesse
	Betriebsleitung (Baudirektion, Amtsleitung, technische Betriebsleitung, Kanalmeister)	Teamleiter und Koordination, Entscheidungsverantwortlicher, Umsetzungsverantwortlicher für den Betrieb
	Kanalfacharbeiter	Gefahrenidentifikation, Maßnahmenplanung/Durchführung
	Sekretariatsangestellte	Dokumentation von Störfallabläufen, Stellvertretung Dokumentation, Unterstützung Verwaltung und Organisation, Kommunikation
Erweitertes Team – Externe Expert:innen	Zivilingenieure	Fragen zum Betrieb, Anlagenkonzeption, Gefahrenidentifikation
	Sachverständige	Behördenvertreter, Abstimmung von Maßnahmen vorab und im Einsatzfall
Zusätzlich einzubindende Stellen und Institutionen	Gewässeraufsicht	Wasserqualitätsfragen Vorfluter, Abstimmung von Maßnahmen vorab und im Einsatzfall
	Landeswarnzentrale	Vermittlung und Koordination von externen Stellen / Behörden / Blaulichtorganisationen
	Bezirkshauptmannschaft	Krisen- und Katastrophenmanagement, Kommunikations- und Alarmplanung
	Feuerwehr	Katastrophenschutz und Information
	Abwasserverband	Bereitstellung von Ressourcen als Hilfeleistung

Da die Einsatzmittel zur Störfallbehebung manchmal kurzfristig bereitgestellt werden müssen, kann die Ressourcenplanung für den normalen Betrieb und den Unterhalt beeinflusst werden. Der IKT Starkregen-Check enthält eine Vorlage für einen „Nothilfe-Pass“ in dem Personal, Fahrzeuge und Geräte eingetragen werden. Diese Dokumentation der verfügbaren Mitarbeiter:innen und technischen Einsatzmittel kann zentral aufbewahrt, verwaltet und gegebenenfalls mit der örtlichen Feuerwehr und Nachbargemeinden geteilt werden.

Die Frage, welcher Störfall oder außerplanmäßiger Betriebszustand zuerst verhindert werden soll und mit welchen Maßnahmen man beginnt, stellt eine wesentliche Herausforderung in der Stör- und Notfallplanung dar. Dies liegt daran, dass es zu jedem Zeitpunkt mehrere Störungen zugleich geben kann, die möglicherweise erhebliche Auswirkungen auf den Betrieb haben können, wovon einige Störfälle nicht sofort oder nur unter erheblichem Aufwand behoben werden können.

Um in dieser komplexen Situation fundierte Entscheidungen zu treffen, ist eine Risikoabschätzung unerlässlich. Für diesen Schritt eignet sich eine umfassende FMEA-Analyse, wie sie in Kapitel 7.2 beschrieben ist. Anhand der Risikoprioritätanzahlen (Risk Priority Number) können die einzelnen Störfälle und außerplanmäßige Betriebszustände entsprechend gereiht werden.

Nachdem die Risiken priorisiert wurden, werden Maßnahmen zur Minderung dieser Risiken entwickelt und umgesetzt. Es ist wichtig zu beachten, dass nicht alle Risiken sofort beseitigt werden können. In solchen Fällen ist es entscheidend, alternative Schutzmaßnahmen zu planen und zu implementieren, um sich auf den möglichen Ernstfall vorzubereiten. Dieses Thema stellt einen Schnittpunkt zum Verantwortungsbereich der Gemeinde dar, und sollte in Zusammenarbeit behandelt werden.

Weitere Komponenten einer Stör- und Notfallplanung in Bezug auf außerordentliche Ereignisse umfassen:

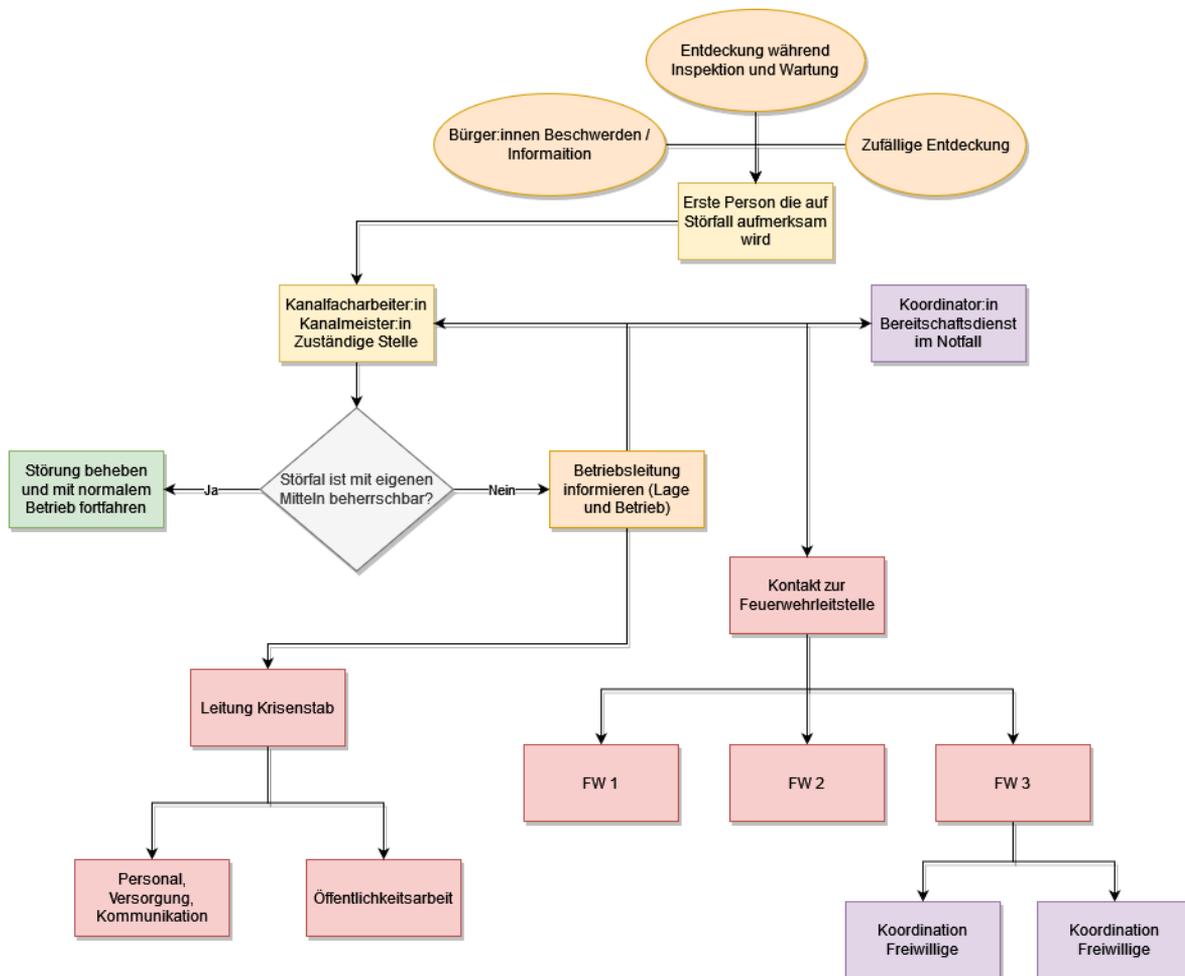
- **Checklisten:** Diese sind nach Gefahrenursachen und entsprechendem Zeitpunkt (innerhalb/außerhalb der Normaldienstzeit) organisiert. Sie bieten eine systematische Anleitung für die Vorgehensweise im Falle eines Alarms und helfen dabei, nichts zu übersehen.
- **Anlagebeschreibungen:** Diese beinhalten komprimierte, aber aussagekräftige Informationen über alle relevanten Anlagen und Systeme. Sie stellen sicher, dass alle beteiligten Parteien die Funktion und Bedeutung jeder Anlage kennen und wie diese im Falle eines Alarms zu handhaben ist.

- **Störfallkataster** (z. B. FMEA Tabellen): Diese Dokumente enthalten spezifische Informationen über mögliche Gefahren (z. B. physikalische, gesundheitliche) und wie diese zu handhaben sind.
- **Bedienungs- und Wartungsvorschriften:** Diese Richtlinien beinhalten spezifische Anweisungen zur Bedienung und Wartung der Geräte und Systeme. Sie sind wichtig, um die ordnungsgemäße Funktion und Sicherheit der Anlagen zu gewährleisten und Unfälle zu vermeiden.
- **Telefonregister:** Ein aktuelles Telefonregister mit Kontaktdaten aller relevanten Ansprechpartner (intern und extern) ist unerlässlich. Dies ermöglicht eine schnelle Kommunikation und Koordination im Falle eines Alarms.

Durch die örtliche Feuerwehr und den Kanalbetreiber kann auf Grundlage der Störfallinformation oder des Notfallplans eine Gefahrenanalyse durchgeführt werden. Es wird empfohlen, dass alle möglichen Beteiligten, wie Kanalbetreiber und Feuerwehr, sich im Vorfeld zusammenschließen und gemeinsame Schulungen, Trainings und Übungen auf Basis der Ergebnisse der Gefahrenanalysen durchführen. Dies verdeutlicht auch die Wichtigkeit hinsichtlich der Kommunikation zwischen beteiligten Akteuren.

Betriebsintern, auf Gemeindeebene und auf Bezirksebene sind entsprechende Kontakte einzurichten und zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu informieren. Dies beinhaltet die Definition von Informationskanälen und -ketten, um sicherzustellen, dass alle beteiligten Stellen rechtzeitig und umfassend informiert werden (Abbildung 47). Kleinere Notfälle können dabei Anlässe sein, um effektive Kommunikationskanäle zu etablieren, sowohl innerhalb der Notfallteams als auch zwischen den Einsatzkräften und der Gemeinde. Bei größeren Katastrophen ist eine gute Kommunikation unerlässlich, um die Maßnahmen zu koordinieren, aktuelle Informationen zu liefern und die Öffentlichkeit über sicheres Verhalten zu informieren.

Abbildung 47: Beispiel einer möglichen Meldekette bei unterschiedlichen Stör- und Notfällen, eigene Darstellung



Nach jedem Vorfall oder jeder Übung sollte eine gründliche Überprüfung stattfinden, um Stärken, Schwächen und verbesserungswürdige Bereiche zu ermitteln. Stör- und Notfallpläne sollten als lebendige Dokumente geführt werden, die regelmäßig auf Grundlage neuer Informationen oder veränderter Risiken aktualisiert werden.

10.3.4 Lastfall Starkregen

Der „Starkregen-Check“ vom Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT) kann als Best-Practice-Beispiel für ein Störfallmanagement im Zusammenhang mit Starkregenereignissen herangezogen werden. Er dient als Instrument zur systematischen Überprüfung und Bewertung der Gefährdung vom Kanalbetrieb und Siedlungsgebieten durch Starkregenereignisse. Das Basis-Handbuch „Starkregen-Check Kanalbetrieb“ sowie zusätzliche Informationen können auf der Webseite des Kommunalen Netzwerk Abwasser unter folgender Adresse gefunden werden: www.komnetgew.de.

Kanalbetriebe arbeiten rund um die Uhr daran, die Funktionsfähigkeit der Kanalisation so weit wie möglich zu gewährleisten, auch wenn dies unter extremen Bedingungen wie Starkregen nicht immer vollständig gelingen kann. Durch kontinuierliche Überwachung des Kanalnetzes tragen sie maßgeblich zur Vorbereitung auf solche Extremereignisse bei. Zu den wesentlichen Maßnahmen gehören die regelmäßige Instandhaltung und Sanierung von Grundwassereintritten, um Fremdwasserprobleme zu verhindern und die Effizienz des Abwassersystems zu erhalten. Zudem wenden sie verschiedene, dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Sanierungsverfahren an, die speziell auf die jeweiligen Schadensbilder und Umgebungsbedingungen zugeschnitten sind. Dies alles dient der Vorsorge, damit es im Falle von Starkregen zu keiner Überlastung kommt.

Die Aufgaben des Kanalbetriebs im Lastfall Starkregen sind vielfältig:

- Instandsetzung betroffener Betriebspunkte, etwa ausgefallene Pumpwerke.
- Reinigung von Verklausungen an Rohrdurchlässen.
- Inspektion neuralgischer Netzpunkte.
- Sicherung von Zugängen zu Pumpwerken mit mobilen Hochwasserschotten gegen Überflutungen.
- Einsatz von mobilen Pumpen und Notstromaggregaten, die vom Personal zum Ort der Gefahr gebracht werden.
- Führung von Listen zu den Pumpwerken, die Aufschluss darüber geben, ob vor Ort ein Notstromaggregat vorhanden ist und/oder eine Notstromeinspeisung möglich ist.
- Bereitstellung von Notfall-Anhängern mit mobiler Pumpe und Notstromaggregat, um schnellstmöglich auf ein Starkregenereignis reagieren zu können.
- Koordination mit Feuerwehr, Straßenbaulastträger und Grünflächenamt zur Errichtung provisorischer Ableitungen von Oberflächenwasser in ungefährdete Freiflächen.
- Unterstützung von Arbeiten zur Passierbarkeit von Unterführungen und wichtigen Rettungswegen, etwa durch die Beseitigung blockierter Straßenabläufe und die Sicherung „fliegender“ Schachtabdeckungen.

Diese Maßnahmen können auch über die üblichen Pflichtaufgaben kommunaler Abwasserbetriebe hinausgehen, da seltene und außergewöhnliche, extreme Starkregenereignisse nicht dem Standardbetrieb entsprechen.

Die organisatorischen Rahmenbedingungen für die Aufstellung einer verstärkten Bereitschaft können im Voraus getroffen werden und in Dienst- und Betriebsanweisungen festgehalten werden. Hierbei ist zu klären, wie ein verstärkter Bereitschaftsdienst oder eine verstärkte Rufbereitschaft organisiert werden kann.

Ob und in welcher Form eine verstärkte Starkregen-Bereitschaft ausgerufen wird, ist eine Einzelfallentscheidung. Zur Lageeinschätzung ist es in der Praxis wichtig, dass alle Mitarbeiter:innen über dieselben meteorologischen Informationskanäle (z. B. GeoSphere Austria) Wetterinformationen erhalten. Dies erleichtert Abstimmungen und Entscheidungen und unterstützt einen geordneten Ablauf im Kanalbetrieb. Ergänzende Informationen zur Auslösung eines Starkregen-alarms sind von lokalen Akteuren wie Bürgermeister:in, Behörden und Feuerwehr einzuholen.

Während die interne Kommunikation für eine effiziente Starkregen-Bereitschaft essenziell ist, spielt auch die externe Kommunikation eine zentrale Rolle. Es gibt eine Reihe von Kommunikationsformen, die von Gemeinden und Betreibern genutzt werden, um sowohl Meldungen zu Störfällen oder Auffälligkeiten bei Kanalisation und verbundenen Anlagen zu empfangen als auch die Bevölkerung über Risiken durch Starkregen und Überflutungen in Bezug auf den Kanalbetrieb zu informieren. Jede der aufgeführten Kommunikationsformen hat spezifische Merkmale und Vorteile, die sie für bestimmte Kontexte und Zielgruppen geeignet machen (Tabelle 71).

Tabelle 71: Kommunikationsformen mit und an Bürger:innen

Kommunikationsform	Kommentar
Website	Viele Betriebe nutzen eine Webseite als primären Kanal zur Meldung von Störfällen. Bürger:innen können ein Formular ausfüllen oder ein Online-System verwenden, um Störungen zu melden. Die Websites sind rund um die Uhr zugänglich und ermöglichen oft ein Tracking der Störmeldung.
Telefonhotline	Telefonhotlines sind eine häufig genutzte Methode zur Meldung von Störfällen. Sie bieten den Vorteil einer direkten Kommunikation und ermöglichen sofortiges Feedback oder Klärungen. Einige Betriebe stellen auch einen 24/7-Notdienst bereit.
App	Einige Betriebe nutzen spezielle Apps, wie zum Beispiel „Schau auf Graz“ oder „Gem2Go“, um Meldungen von Bürger:innen zu erhalten. Diese Apps können zusätzliche Funktionen bieten, wie z. B. Standortverfolgung, Fotoanhang, Statusaktualisierungen der Meldung und mehr.
Bereitschaftshandy	Einige Betriebe haben ein Bereitschaftshandy, das zur Meldung von Störfällen genutzt wird. Dies ermöglicht eine unmittelbare Kommunikation außerhalb der normalen Arbeitszeiten und stellt sicher, dass Störfälle zu jeder Tages- und Nachtzeit gemeldet werden können.
E-Mail	E-Mail ist eine weitere Möglichkeit für Bürger, Störfälle zu melden. Dies bietet eine schriftliche Aufzeichnung der Kommunikation und ermöglicht es den Bürger:innen, Fotos oder andere Anhänge beizufügen.
Soziale Medien	Einige Betriebe könnten auch Soziale Medien wie Twitter oder Facebook nutzen, um Meldungen über Störfälle zu erhalten. Diese Plattformen ermöglichen eine breite Sichtbarkeit und können zur Verbreitung von Warnungen und Aktualisierungen genutzt werden.
Persönlicher Kontakt	Obwohl in der heutigen digitalen Welt weniger häufig, kann der persönliche Kontakt mit dem Bürgerbüro oder der entsprechenden Behörde immer noch ein wirksamer Weg sein, um Störungen zu melden.

Kanalbetriebe stehen vor der andauernden Herausforderung, ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Kontrolle, formalen Überwachungs- und Dokumentationsprozessen und der Aufrechterhaltung der betrieblichen Flexibilität zu finden. Auf der einen Seite sind Kontrolle und Dokumentation von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung von Sicherheit und Leistungsfähigkeit im Betrieb. Sie dienen dazu, Risiken zu minimieren, regulatorische Anforderungen zu erfüllen und Qualität sowie Kontinuität der angebotenen Dienstleistungen sicherzustellen.

Auf der anderen Seite kann ein übermäßiger Fokus auf formelle Verfahren und bürokratische Pflichten jedoch zu einer signifikanten Last werden. Dies kann dazu führen, dass der Betrieb mit übermäßiger Komplexität, starren Strukturen und hohem Zeitaufwand konfrontiert wird, was die Flexibilität beeinträchtigt und die effiziente Nutzung von Ressourcen behindert. Das optimale Gleichgewicht ist daher ein Zustand, in dem die Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Betriebs gewährleistet sind, ohne dass dabei die Flexibilität und Effizienz des Betriebs übermäßig eingeschränkt werden. Es ist eine kontinuierliche Herausforderung, diese Balance zu finden und zu halten, und sie erfordert sorgfältige Planung, regelmäßige Überprüfung und gegebenenfalls Anpassungen.

10.4 Umfrage Störfallmanagement im Kanalbetrieb

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine umfangreiche Umfrage unter österreichischen Kanalbetrieben durchgeführt, um die gegenwärtige Störfall- und Notfallplanung, wie in der ÖNORM EN 752 gefordert, zu erheben und zu bewerten. Dies geschah mit Unterstützung der Kanalnachbarschaften des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV).

Die Erhebung bot den beteiligten Organisationen eine wertvolle Chance, ihre derzeitigen Managementstrategien festzuhalten, mögliche Mängel und Lücken aufzudecken, und sich auf den Umgang mit Unwettersituationen und anderen kritischen Betriebsbedingungen besser vorzubereiten.

Die Umfrage basiert auf bestehenden wissenschaftlichen Untersuchungen und Leitfäden, wie zum Beispiel dem „Leitfaden zur Störfallplanung in der Wasserversorgung“ des Landes Steiermark und dem „Starkregen Check“ sowie dem „Basic Manual“ des KomNetABWASSER (Nicolics et al., 2018, Salomon & Schlüter, 2018, Salamon et al., 2022). Insgesamt umfasste die Umfrage 52 Fragen aus zehn verschiedenen Fragegruppen. Diese reichten von allgemeinen Informationen über den Kanalbetrieb und Erfahrungen mit Starkregenereignissen, über die Identifizierung von Gefährdungen und Planung von Vorsorge- und Sofortmaßnahmen, bis hin zur Dokumentation von Stör- und Notfällen und der Kommunikation mit Bürger:innen.

Die teilnehmenden Kanalbetriebe und Gemeinden hatten von September 2022 bis Mai 2023 die Möglichkeit, an der Online-Umfrage teilzunehmen. Tatsächlich beschränkte sich die Teilnahme jedoch auf den wesentlich kürzeren Zeitraum von 27. März 2023 bis 24. April 2023. Der standardisierte Fragebogen wurde vorab in einem Probedurchlauf getestet und auf

Grundlage des Teilnehmerfeedbacks angepasst, um die Relevanz und Benutzerfreundlichkeit der Fragen zu optimieren.

Insgesamt haben 13 Gemeinden und Betriebe die Umfrage vollständig ausgefüllt. Trotz einer Abdeckung von über 8% der österreichischen Bevölkerung in ihren jeweiligen Servicegebieten sollten die Ergebnisse aufgrund der begrenzten Teilnehmerzahl als stichprobenartige Darstellung betrachtet werden. Sie sind nicht repräsentativ für die gesamte Branche in Österreich, da die Teilnehmer möglicherweise nicht das gesamte Spektrum der Kanalbetriebe repräsentieren.

Die Umfrage fokussierte sich insbesondere auf Betriebsstörungen, Notfälle und Krisen, die durch Starkregenereignisse verursacht werden können und erhebliche Auswirkungen auf den Betrieb von Kanalnetzen haben. Es wurde speziell abgefragt, welche Gefährdungen im Betrieb besonders kritisch sind, wie Stör- und Notfällen vorgebeugt bzw. diese verhindert werden können, wie im Falle eines Problems reagiert wird und wie eine umfassende Planung von Sofortmaßnahmen sichergestellt werden kann.

Die teilnehmenden Organisationen repräsentierten eine breite Vielfalt von städtischen und ländlichen Gebieten in ganz Österreich und umfassten vorwiegend Abwasserverbände, sowie einige Gemeinden und ein kommunales Unternehmen. Dabei gab es eine stärkere Konzentration von Teilnehmern in Kärnten, Salzburg und Oberösterreich. Die in Tabelle 72 aufgelisteten Teilnehmer weisen eine deutliche Varianz in Bezug auf die Länge des Kanalnetzes, die Anzahl der Einwohner:innen im Servicegebiet und die Anzahl der Hausanschlüsse auf. Ebenso variierte die Anzahl und Art der Sonderbauwerke zwischen den Teilnehmenden stark.

Tabelle 72 Teilnehmende der KAN-Umfrage Stör- und Notfälle im Kanalbetrieb

Teilnehmer	Organisationsform	Gesamtlänge Kanalnetz (in m)	Einwohner im Servicegebiet	Anzahl Hausanschlüsse	MWÜ-becken	RRB	Stauraumkanäle	Schächte	Pumpwerke
T1	Kommunalunternehmen	861.000	340.000	33.100	57	-	21	25458	8 AW-PW, 2 MW-PW, 15 RW-PW
T2	Abwasserverband	500.000	35.000	10.000	2	-	-	12000	42
T3	Abwasserverband	500.000	25.000	12.000	-	-	-	-	230
T4	Gemeinde	1.000.000	100.000	40.000	-	2	-	70000	112
T5	Gemeinde	250.000	40.000	10.000	20	-	1	-	30
T6	Abwasserverband	270.000	18.000	6.246	1	4	0	20000	66
T7	Gemeinde	185.000	10.000	4.100	-	-	21	8500	49
T8	Abwasserverband	170.000	57.000	20.000	7	5	5	3254	54
T9	Abwasserverband	320.000	52.000	10.500	-	2	-	10800	36
T10	Abwasserverband	220.000	27.500	5.700	-	-	-	-	-
T11	Abwasserverband	300.000	9.000	3.000	-	-	5	6500	55
T12	Abwasserverband	90.000	48.000	-	-	-	-	-	-
T13	Abwasserverband	198.084	12.000	3.500	16	4	2	6756	57

Auffällig war, dass kein klarer Zusammenhang zwischen der Anzahl der technischen Mitarbeiter:innen und Parametern wie der Größe des Servicenetzes oder der Anzahl der Hausanschlüsse zu erkennen war. Dies könnte auf Unterschiede in der Effizienz, den Aufgabenbereichen der Organisationen oder regionalen Besonderheiten zurückzuführen sein.

Die in der Wasserwirtschaft etablierten Werkzeuge zum Benchmarking ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der betrieblichen Leistung und Effizienz. Ein solches Werkzeug sind die sogenannten Performance Indikatoren (PIs), die von der International Water Association (IWA) als Best Practice Maßnahme empfohlen werden (Alegre, 2002; Matos et al., 2003). Im Kontext der Stör- und Notfallplanung im Kanalbetrieb können speziell folgende betriebsbezogene PIs von Interesse sein:

- wOp34: Verstopfungen im Kanal (Anzahl/100km Kanal/Jahr)
- wOp38: Überflutungen aus Mischkanalisation (Anzahl/100km Kanal/Jahr)
- wOp40: Kanaleinstürze (Anzahl/100km Kanal/Jahr)
- wPe2: Personal im Kanalbetrieb pro Kanallänge (Anzahl/100 km Kanal)

Am Beispiel der teilnehmenden Gemeinden und Betriebe zeigt sich eine deutliche Varianz in Bezug auf Betriebsparameter und Leistungskennzahlen (Tabelle 73). So wird zum Beispiel ein Netz von 185km Länge von nur einem Mitarbeiter betreut, während in einem anderen Betrieb 14 Mitarbeiter für ein 320km langes Netzwerk zuständig sind. Betrachtet man die Betriebsstörungen, so fällt auf, dass ihre Häufigkeit von Organisation zu Organisation variiert. So gibt es Organisationen mit ausgedehnten Netzen, die angeben im vergangenen Jahr keine Störfälle dokumentiert zu haben, während bei einem 185km langen Netzwerk 50 Störungen festgehalten wurden. Diese Unterschiede könnten auf verschiedene Faktoren, wie unterschiedliche Wartungspraktiken, das Alter der Netzwerke oder spezifische betriebliche Gegebenheiten zurückgeführt werden.

Tabelle 73 Ausgewählte Performance Indikatoren am Beispiel der teilnehmenden Kanalbetriebe; Vergleich von Kanalnetzlängen, Mitarbeiterzahlen und Betriebsstörungen pro Jahr

Gesamtlänge Kanalnetz (in km)	Anzahl der technischen Mitarbeiter:innen im Betrieb	Anzahl Betriebsstörungen im letzten Jahr (Dokumentiert)	MA/100km Kanal	Störfälle/100km Kanal/Jahr
90	8	5	8,9	5,6
170	12	4	7,1	2,4
185	1	50	0,5	27
198	3	0	1,5	0
220	11	10	5,0	4,5
250	12	0	4,8	0
270	5	0	1,9	0
300	3	0	1,0	0
320	14	N/A	4,4	N/A
500	6	5	1,2	1
500	6	10	1,2	2
1000	15	100	1,5	10

Diese Indikatoren sollten jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Sie sind Teil eines umfassenden PI-Systems, das alle relevanten Betriebsaspekte abdeckt. Ziel ist es, eine ganzheitliche Sicht auf die Unternehmensleistung zu gewinnen und Verbesserungspotenziale aufzudecken.

Die gesammelten Daten bieten einen umfassenden Einblick in die Praktiken und Herausforderungen in Bezug auf Stör- und Notfallplanung in verschiedenen Kanalbetrieben und Gemeinden Österreichs. Sie tragen somit wesentlich dazu bei, ein umfassendes Bild der aktuellen Situation und möglicher zukünftiger Verbesserungsbereiche zu zeichnen.

10.4.1 Betriebserfahrungen mit Starkregenereignissen und außerordentlichen Zuständen

Die außerordentlichen Betriebszustände bei Starkregen stellen eine besondere Herausforderung für Führungskräfte und das Betriebspersonal dar. Die Verantwortung für den Eigenschutz der Mitarbeiter:innen, in einer sich ständig ändernden Lage eines Starkregenereignisses, liegt in der Hauptverantwortung der Führungskräfte. Insbesondere das Arbeiten im unbekanntem Gelände und eine erhöhte Ertrinkungsgefahr stellen in diesen Situationen akute Gefahren für Mitarbeiter des Kanalbetriebs dar (Salomon & Schlüter, 2018).

Die Betriebserfahrungen mit Starkregenereignissen und außerordentlichen Zuständen variieren stark, wobei die Auswirkungen und getroffenen Vorsorgemaßnahmen deutliche Unterschiede aufweisen. Diese Unterschiede scheinen in erster Linie auf die Häufigkeit und die Art der Reaktion auf solche Ereignisse zurückzuführen zu sein.

Die Häufigkeit von Problemen im Kanalnetz aufgrund von Starkregen - inklusive der Überschreitung der zugelassenen Überstauhäufigkeit, des Nichterreichens des Mindestweiterleitungsgrades und Überflutungen im Siedlungsgebiet - wird in den folgenden Abschnitten anhand der Umfrageergebnisse diskutiert. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass Probleme im Kanalnetz aufgrund von Starkregen recht häufig auftreten. Die Befragten gaben an, dass solche Probleme entweder ein bis zweimal pro Jahr (31%), alle zwei bis fünf Jahre (23%) oder alle fünf bis zehn Jahre (31%) auftreten (Abbildung 48).

Abbildung 48: Häufigkeit von Problemen im Kanalbetrieb durch Starkregen



Die Umsetzung erster Vorsorgemaßnahmen durch den Kanalbetrieb und deren zeitlicher Rahmen wurden ebenfalls thematisiert. Hierbei wurde in entsprechender Frage auf die jeweiligen Warnstufen der GeoSphere Austria (ehemals Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) verwiesen. Diese umfassen die Stufen Gelb für „Vorsicht“, Orange für „Achtung“ und Rot für „Gefahr“, die jeweils mit steigenden wetterbedingten Beeinträchtigungen und Schäden einhergehen. Wichtig ist, dass die Ausrufung einer bestimmten Warnstufe nicht nur auf meteorologischen Parametern beruht, sondern auch von Faktoren beeinflusst wird, die den Auswirkungen entgegenwirken oder diese verstärken können. Solche Faktoren können beispielsweise das Verkehrsaufkommen, die Tages- oder Jahreszeit, der Vegetationsstand und die Vorbelastung einer Region sein (GeoSphere Austria, o.d.).

Die Mehrheit der Betriebe (62%) ergreift zunächst keine speziellen Maßnahmen, wenn eine Warnung ausgerufen wird, und handelt erst nach einer Alarmierung. Andere Betriebe geben an, bei der Warnstufe „Orange“ (30%) erste Vorsorgemaßnahmen einzuleiten. Ein Betrieb reagiert erst bei Warnstufe „Rot“ (8%). Es ist erwähnenswert, dass einige Betriebe angegeben haben, dass sie externe Dienstleister vorwarnen, Bereitschaftsdienste verstärken oder sogar bestimmte Einrichtungen schließen, um sich auf Starkregenereignisse vorzubereiten.

Abgefragt wurden auch Notfälle und Krisensituationen, mit denen die Betriebe konfrontiert waren und die nicht allein mit den zur Verfügung stehenden personellen und materiellen Ressourcen bewältigt werden konnten. Solche Situationen erfordern oft die Hinzuziehung externer Hilfe, wie beispielsweise technische Notdienste, Nachbarverbände oder Einsatzorganisationen.

Die Umfrage ergab, dass die Mehrheit der Betriebe in der Vergangenheit auf externe Hilfe angewiesen war, um Notfälle oder Krisensituationen zu bewältigen. Einige gaben an, dass sie mindestens einmal in den letzten 10 Jahren (30%) oder etwa alle fünf Jahre (15%) externe Hilfe benötigt haben. Eine ähnliche Anzahl von Betrieben gab jedoch an, dass sie noch nie externe Hilfe benötigt haben (31%).

Eine Einschätzung zum aktuellen Stellenwert von Starkregen und der Vorsorge gegen Starkregen in den jeweiligen Betrieben wurde abgefragt. Hierbei wurde eine Skala von 1 bis 5 genutzt, um die Priorisierung des Themas zu bewerten. Ein Wert von 1 steht für höchste Priorität, was bedeutet, dass das Thema regelmäßig diskutiert wird und Dienst- sowie Betriebsanweisungen entsprechend angepasst und auf den Starkregenfall ausgerichtet werden. Ein Wert von 5 deutet hingegen auf einen niedrigen Stellenwert hin und bedeutet, dass das Thema nach Kenntnisstand der Befragten weder diskutiert noch in Dienst- und Betriebsanweisungen integriert wurde.

Die meisten Befragten bewerteten den Stellenwert mit 3 oder 4 auf einer Skala von 1 (höchster Stellenwert) bis 5 (niedrigster Stellenwert). Es gab jedoch auch einige Betriebe, die Starkregen und die Vorbereitung darauf als weniger wichtig erachteten (Stellenwert 5). Kein Betrieb gab die höchste Priorität (Stellenwert 1) für dieses Thema an.

10.4.2 Gefährdungen: Ursachen für Stör- und Notfälle identifizieren

Die Ergebnisse der Umfrage deuten darauf hin, dass die Mehrheit der befragten Betriebe (54%) bereits Gefahren identifiziert hat, die eine sichere und schadlose Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswässern beeinträchtigen könnten. Es besteht jedoch weiterhin eine bedeutende Minderheit (46%), die angibt, keine solchen Gefahren erkannt zu haben.

Die Tatsache, dass fast die Hälfte der Betriebe angegeben hat, keine Gefahren identifiziert zu haben, könnte darauf hindeuten, dass sie noch keine umfassende Bewertung durchgeführt haben, mit der solche Gefahren identifizieren werden, konnten. Es könnte auch sein, dass ei-

nige Betriebe zwar gewisse Risiken wahrgenommen haben, diese aber nicht als Gefahren eingestuft haben, die ihre Fähigkeit zur sicheren und schadlosen Ableitung von Abwässern beeinträchtigen könnten.

In Bezug auf die Methoden zur Identifizierung von Gefährdungen, berufen sich die meisten Betriebe auf dokumentierte Erfahrungen aus der Vergangenheit (69%) und Gespräche/Diskussionen mit erfahrenen Mitarbeiter:innen (77%). Knapp die Hälfte der Befragten (46%) nutzt auch vorgeschlagene Vorgehensweisen, wie sie in ÖWAV Regelblättern, Kursen oder Leitfäden der Länder geboten werden. Inspektionen und hydraulische Kanalnetzrechnungen werden zusätzlich als wichtige Methoden zur Gefahrenidentifizierung genannt.

Die Befragten haben eine Vielzahl von Ereignissen und Zuständen identifiziert, die ihre Kanalbetriebe gefährden könnten. Die häufigsten Bedrohungen sind Überschwemmungen durch Hochwasser (77%) und Blackouts (77%), gefolgt von Starkregen und Hangwasser (69%) sowie Stromausfällen/Leistungsdefekte (69%). Andere ernstzunehmende Gefahren sind Erdbeben, Hangrutschungen, Gelände- oder Grundbrüche (54%), Beschädigungen von Halungen durch Dritte (62%) und Ausfälle von Pumpen (46%). Es sollte jedoch nicht übersehen werden, dass auch Ereignisse wie ein Rohreinsturz (31%) und der Personalausfall durch Krankheit/Unfall/Tod (23%) potenzielle Gefahren darstellen.

Mehr als die Hälfte der Betriebe (62%) hat ein schriftliches Dokument zu Gefahren, auf das alle Mitarbeiter:innen Zugriff haben. Diese Dokumente tragen verschiedene Bezeichnungen, darunter Ereignismanagement, Störfallplan, Betriebs- und Dienstanweisung, Notfallplan, Alarm- und Benachrichtigungsplan und andere. Allerdings gibt es immer noch eine beträchtliche Anzahl von Betrieben (38%) die angeben, kein solches Dokument zu haben.

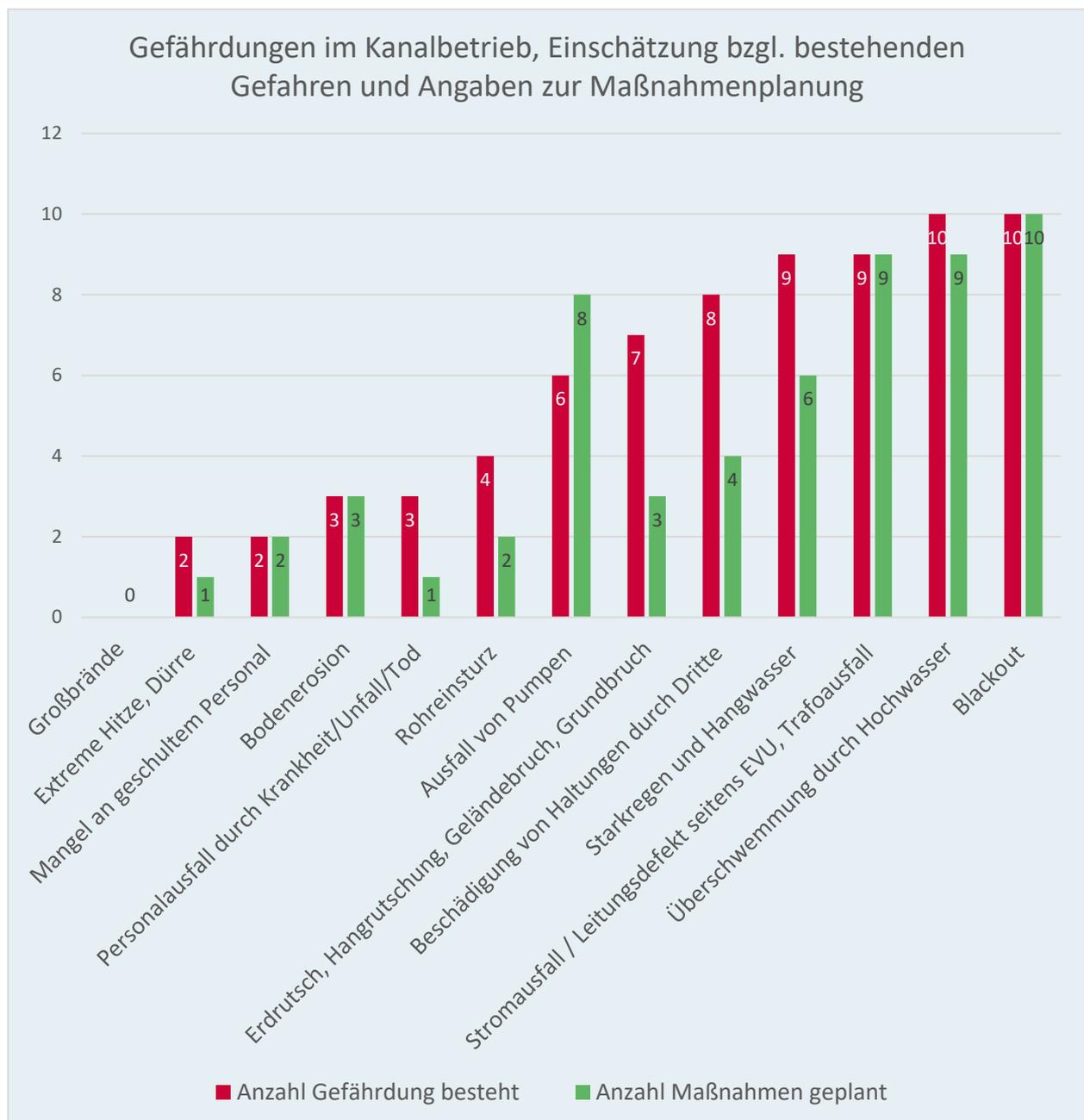
10.4.3 Vorsorge planen und umsetzen

In Bezug auf die identifizierten Ereignisse und Zustände, die den Kanalbetrieb gefährden können, wurde in weiterer Folge abgefragt, ob entsprechende Maßnahmenpläne bestehen, um Betriebsstörungen oder Ausfälle zu vermeiden.

Abbildung 49 stellt einen Vergleich zwischen den jeweils angegebenen Gefährdungen und den Angaben einer gefährdungsspezifischen Planung dar. Während zum Beispiel für den Fall eines Blackouts die Anzahl der Angaben, dass die Gefährdung besteht, der Anzahl der angegebenen Maßnahmenplanung entspricht (jeweils 10 von 13 Teilnehmern), gehen die Zahlen bei anderen Gefährdungen auseinander. Während 9 von 13 Teilnehmern Starkregen und Hangwasser als Gefahr anerkennen, geben nur 6 Teilnehmer an, dass auch eine Maßnahmenplanung für

diesen Fall besteht. Eine ähnliche Diskrepanz zeichnet sich in der Gefahr durch „Personalausfall“ ab.

Abbildung 49: Gefährdungen im Kanalbetrieb, Einschätzung bzgl. bestehenden Gefahren und Angaben zur Maßnahmenplanung



In Bezug auf Gefahren, die zu Krisen und Katastrophen zählen, zeigt die Umfrage, dass die meisten Gemeinden Maßnahmen für den Fall eines Blackouts (77%) und einer Überschwem-

mung durch Hochwasser (69%) getroffen haben. Diese beiden Szenarien scheinen in Gemeinden und Verbänden als die wahrscheinlichsten oder potenziell verheerendsten Ereignisse angesehen zu werden.

Was die technischen Ausfälle betrifft, so haben die meisten Gemeinden Maßnahmen gegen den Ausfall von Pumpen (62%) geplant. Auffallend ist, dass nur eine geringe Anzahl der Gemeinden konkrete Pläne für den Fall eines Mangels an geschultem Personal (15%) hat. Dies deutet darauf hin, dass Personalplanung und -schulung in vielen Gemeinden stärker in den Fokus rücken sollten.

Als Exkurs zum Thema Vorsorgeplanung und -umsetzung wurden einige Fragen zur dezentralen Bewirtschaftung von Niederschlag in den (Mitglieds-)Gemeinden gestellt.

Die Frage, ob eine Abkopplungspflicht für Regenwasser bei Neu- und Umbauten in der betreffenden Gemeinde besteht, wurde von 8 Teilnehmern mit „ja“ und von 3 Teilnehmern mit „nein“ beantwortet, wobei die Abwasserverbände für mehrere Mitgliedsgemeinden Angaben machten. Aus den Kommentaren wurde näheres zur Verpflichtung zur Versickerung von Niederschlag bei Neubauten erläutert, wie etwa das Vorhandensein von Trennsystemen und Angaben zu den spezifischen Jahren, in denen diese Pflicht eingeführt wurde (z. B. 2010, 2012). Die meisten Teilnehmer, insbesondere Abwasserverbände, haben eine Art von Abkopplungspflicht für Regenwasser für ihre Gemeinden angegeben. Es wird jedoch auf Unterschiede in der speziellen Ausführung dieser Pflicht verwiesen, basierend auf Faktoren wie Neubau gegenüber Altbau und der spezifischen geografischen Lage.

Ebenfalls zum Thema dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung wurde abgefragt, welcher Prozentsatz der befestigten Fläche derzeit dezentral bewirtschaftet wird. Hierzu wurde erläutert, welche NWB Maßnahmen gemeint waren (Gründächer, Versickerungsanlagen, Retentionsbecken mit gedrosselter Einleitung in den Kanal, teilversiegelte Oberflächen, Zisternen mit Regenwassernutzung u.ä.). Es wurden Angaben von 12 Teilnehmern gemacht. Die Prozentsätze reichten von 5% bis 100%. Die Bandbreite an Angaben ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, wie etwa die Art des bestehenden Kanalisationssystems und der unterschiedlichen Gesetzeslagen bezüglich NWB auf eigenem Grund.

Die Antworten auf die Frage, ob Ausfälle oder Fehlfunktionen bei dezentralen Anlagen in der Stör- und Notfallplanung berücksichtigt werden, sind gemischt. Einige Teilnehmer, insbesondere Abwasserverbände, scheinen diese Faktoren jedoch eher zu berücksichtigen als Gemein-

den. Etwa 54% der befragten Gemeinden und Betriebe geben an, Ausfälle oder Fehlfunktionen bei dezentralen Anlagen in ihrer Stör- und Notfallplanung zu berücksichtigen. Knapp 38% der Teilnehmer tun dies nicht, und 8% gaben keine Antwort auf die Frage.

Die Antworten auf die Frage, ob es Straßen und Wege gibt, die als Notwasserwege genutzt werden, um Starkregenabflüsse gezielt schadensarm abzuleiten, sind ebenfalls gemischt. Es scheint jedoch, dass diese Maßnahme sowohl von Abwasserverbänden als auch von Gemeinden genutzt beziehungsweise betreut wird. Fünf Teilnehmer gaben an, dass es solche Notwasserwege gibt, während drei Teilnehmer angaben, dass es keine solche Wege gibt. Fünf Teilnehmer haben diese Frage nicht beantwortet oder waren sich nicht sicher. Dies könnte unter anderem den Grund haben, dass der Begriff „Notwasserweg“ in Österreich noch nicht weit verbreitet ist, jedoch wurde der Begriff in der Frage definiert.

Vorhandene mobile Geräte für den Hilfeinsatz wurden abgefragt, ebenso wie das Führen einer Liste der mobilen Geräte und Personal in Rufbereitschaft. Unter den Geräten, die in den Betrieben vorhanden sind, wurden Notstromaggregate und mobile Pumpen am häufigsten genannt (jeweils etwa 85% der Antworten). Spül- und Saugfahrzeuge sind in etwa 62% der Betriebe vorhanden. Sonstige besondere Absperrelemente werden in etwa 38% der Betriebe genutzt, während sonstige besondere Werkzeuge nur in etwa 15% der Betriebe vorhanden sind. Etwa 62% der Befragten gaben an, dass in ihrem Betrieb ein Dokument zur Auflistung vorhandener mobile Geräte und Personal in Rufbereitschaft vorhanden ist. 38% der Befragten gaben an, dass kein solches Dokument in ihrem Betrieb vorliegt.

Fragen zur betriebsinternen Informationsverwaltung

Bei den befragten Organisationen lassen sich sowohl Stärken (z. B. die zunehmende Nutzung von EDV und die Integration in Betriebsleitungssysteme) als auch potenzielle Schwächen (z. B. fehlende Informationen und die fortgesetzte Verwendung von Papierdokumentationen) in der Informationsverwaltung erkennen:

EDV-basierte Dokumentation: Generell scheint die Mehrheit der Organisationen einen starken Trend hin zur EDV-basierten Dokumentation zu zeigen. Dies gilt insbesondere für den Lageplan/Übersichtsplan, wo 62% der Befragten angaben, dass diese Informationen EDV-basiert gespeichert werden. Dies ist ein positives Zeichen, da eine EDV-basierte Dokumentation in der Regel einfacher zu aktualisieren, zu speichern und bei Bedarf abzurufen ist.

Papierbasierte Dokumentation: Trotz des Trends zur EDV-basierten Dokumentation gibt es noch eine erhebliche Anzahl von Organisationen, die wichtige Informationen in Papierform

festhalten. Insbesondere bei der Prioritätenliste bei Bewältigung von Stör- und Notfällen gaben 38% an, dass diese in Papierform vorhanden ist. Während dies eine praktikable Option sein kann, birgt sie Risiken in Bezug auf Zugänglichkeit, Aktualität und möglichen Verlust von Informationen.

Eine Aufbewahrung wichtiger Informationen und Anweisungen in Papierform hat auch entscheidende Vorteile, vor allem bei einem Stromausfall und/oder einem Versagen der IT-Systeme. Die sicherste Variante ist immer eine zweifache Aufbewahrung, sowohl in digitaler Form als auch in Papierform. Eine solche Redundanz in der Verwaltung betriebsrelevanter Dokumente bietet mehr Sicherheit und ermöglicht es, kritische Prozesse in Not- und Krisenfällen weiterzuführen.

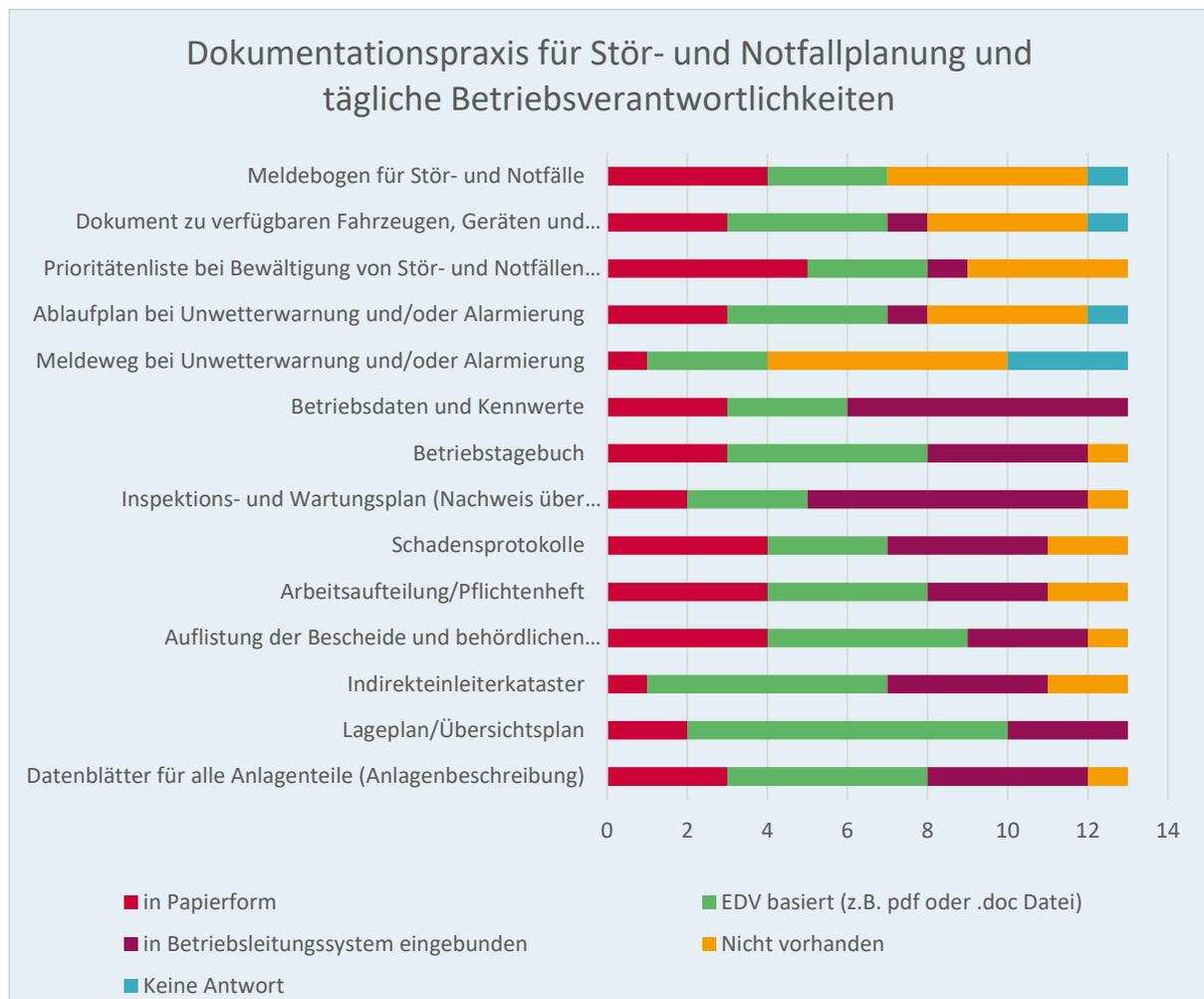
Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Frage im Single-Choice-Format gestellt wurde, wodurch es Teilnehmern nicht möglich war, mehrere Optionen anzugeben. Dies begrenzt die Aussagekraft der Ergebnisse in Bezug auf die tatsächlichen Praktiken der Organisationen in diesem Bereich.

Integration ins Betriebsleitungssystem: Es gibt eine ansehnliche Anzahl von Organisationen, die ihre Informationen in das Betriebsleitungssystem einbinden. Dies ist besonders auffällig bei den Inspektions- und Wartungsplänen (54%) und den Betriebsdaten und Kennwerten (54%). Eine solche Integration kann die Effizienz und Reaktionsfähigkeit der Organisationen erheblich verbessern

Fehlende Informationen: In einigen Bereichen gibt es eine auffallend hohe Anzahl von Organisationen, die angeben, dass bestimmte Informationen nicht vorhanden sind. Zum Beispiel gaben 46% der Befragten an, dass kein Meldeweg bei Unwetterwarnung und/oder Alarmierung vorhanden ist. Dies ist ein potenzieller Bereich von Bedenken und könnte auf eine Lücke in der Vorbereitung auf Notfälle hinweisen.

Bei einigen Fragen gab ein signifikanter Prozentsatz der Befragten keine Antwort. Insbesondere beim Meldeweg bei Unwetterwarnung und/oder Alarmierung war dies mit 23% der Fall. Dies könnte darauf hinweisen, dass diese Organisationen nicht sicher sind, wie diese Informationen gespeichert werden, oder dass sie diese Frage aus anderen Gründen nicht beantworten wollten oder konnten. Abbildung 50 zeigt die unterschiedliche Dokumentationspraxis der teilnehmenden Gemeinden und Betriebe.

Abbildung 50: Schriftliche Festhaltung von Informationen für die Stör- und Notfallplanung und die Verantwortlichkeiten im täglichen Betrieb



Die überwiegende Mehrheit der Befragten (92%, N = 12) gibt an, dass in ihrem Betrieb relevante Dokumente, die mobile Geräte und Personal in Rufbereitschaft für den Starkregenfall auflisten, regelmäßig und systematisch aktualisiert werden.

10.4.4 Sofortmaßnahmen planen

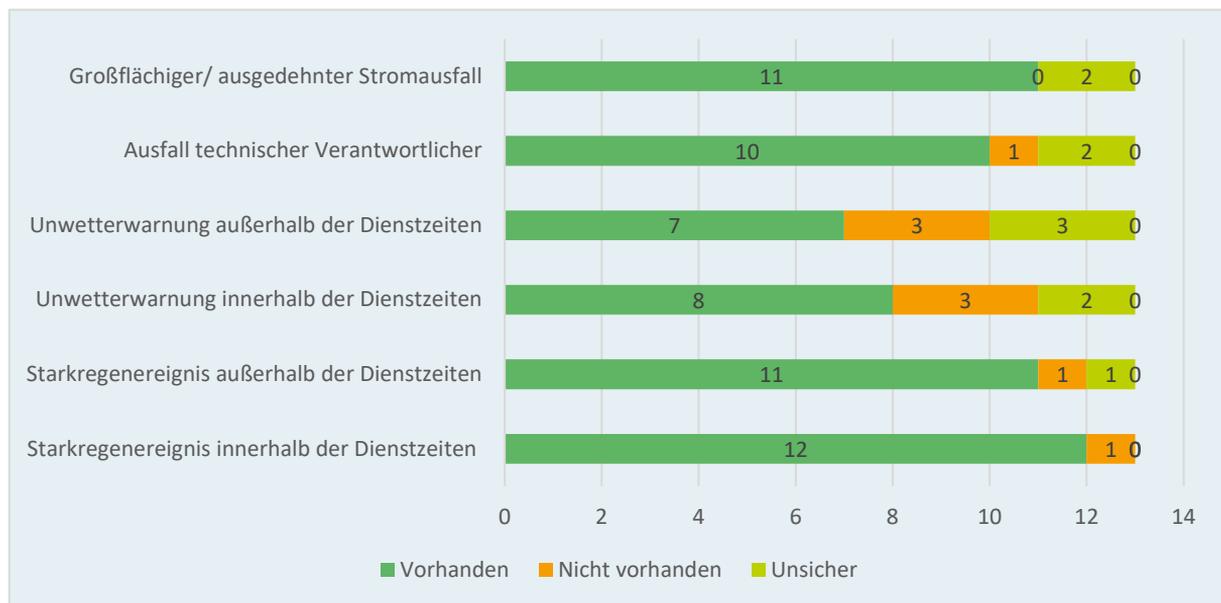
Zum Thema Planung von Sofortmaßnahmen wurde in Bezug auf verschiedene Situationen, die innerhalb und außerhalb der Dienstzeiten eintreten können, abgefragt, ob es bereits Überlegungen zu erforderlichen (Sofort-)Maßnahmen gegeben hat (Abbildung 51).

Für Situationen innerhalb und außerhalb der Dienstzeiten, bei Starkregenereignissen oder Unwetterwarnungen, sowie bei Ausfällen des technischen Verantwortlichen oder längerer/großflächiger Stromausfälle, antwortete die Mehrheit der Teilnehmer mit „Ja“, sie hätten bereits entsprechende Überlegungen angestellt.

Die geringste Zustimmung (54%) wurde für die Situation einer Unwetterwarnung außerhalb der Dienstzeiten festgestellt, gefolgt von einer Unwetterwarnung innerhalb der Dienstzeiten (62%). Wie bereits bei vorangestellten Fragen deutlich wurde, gehen die Organisationen unterschiedlich mit Unwetterwarnungen um.

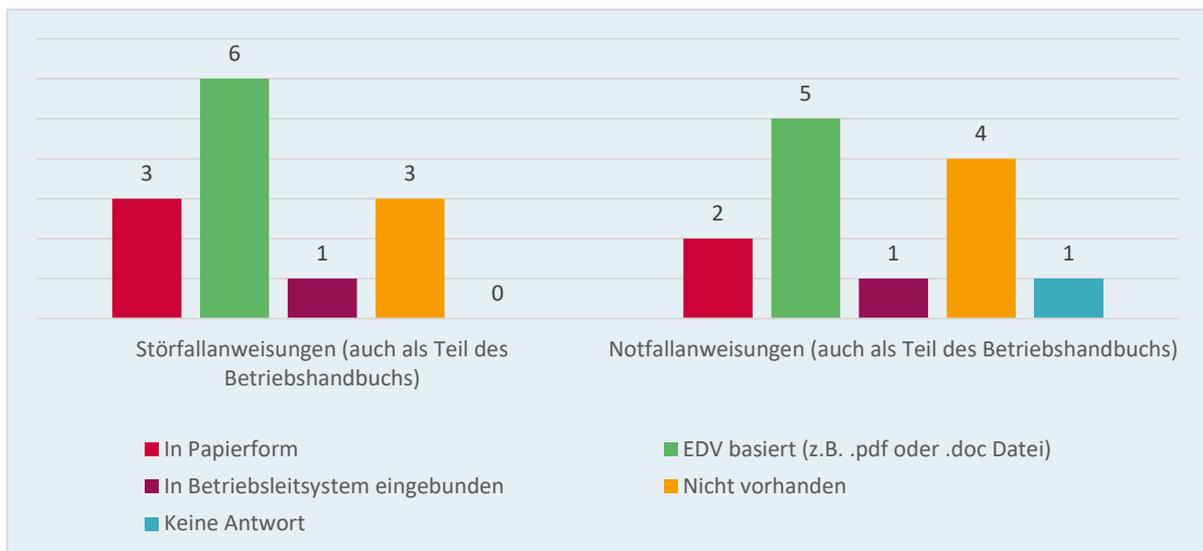
Bei einem längeren oder großflächigen Stromausfall gaben alle Teilnehmer entweder an, bereits Pläne zu haben oder sich unsicher zu sein - keiner antwortete mit „Nein“.

Abbildung 51: Planung von Sofortmaßnahmen für unterschiedliche Notfallsituationen



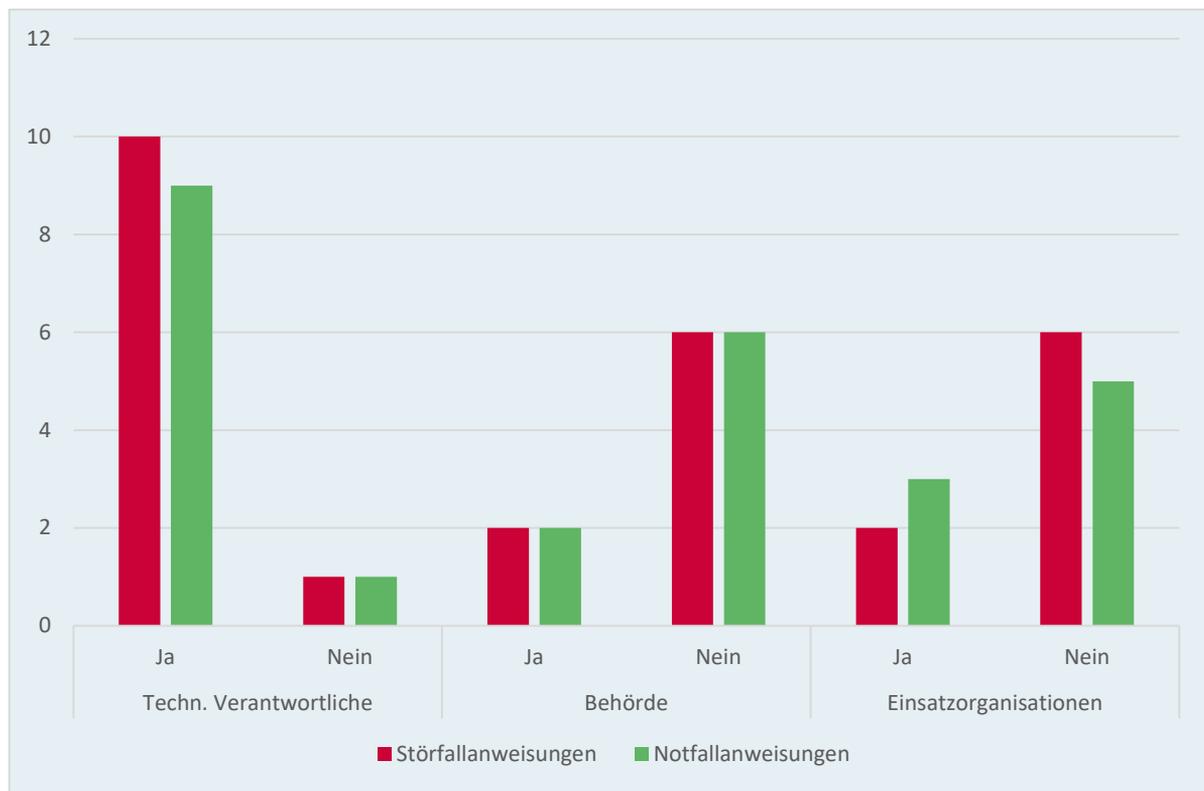
Ob Sofortmaßnahmen mit Handlungsanweisungen schriftlich festgehalten werden, und in welcher Form sie vorliegen wurde ebenfalls erfragt (Abbildung 52). Die meisten Teilnehmer haben EDV-basierte Störfall- und Notfallanweisungen (46% und 38% respektive), was auf eine verstärkte Nutzung digitaler Medien in diesem Bereich hinweist und gegenüber einer Dokumentation in Papierform einige Vorteile bietet. Jedoch gab nur eine Minderheit der teilnehmenden Betriebe an, Handlungsanweisungen in das Betriebsleitsystem eingebunden zu haben (jeweils 8% für Störfall- und Notfallanweisungen). In einigen Fällen seien gar keine schriftlichen Anweisungen vorhanden (23% für Störfallanweisungen und 31% für Notfallanweisungen).

Abbildung 52: Dokumentationsformen von Handlungsanweisungen für Sofortmaßnahmen im Notfall



Zugänglich sind diese Handlungsanweisungen hauptsächlich den technischen Verantwortlichen (Abbildung 53). 85% der Störfallanweisungen und 77% der Notfallanweisungen sind ihnen zugänglich. Behörden und Einsatzorganisationen haben laut Angaben in etwa den gleichen Zugang zu beiden Arten von Anweisungen (jeweils 62%). Es könnte nützlich sein, den Zugang zu diesen Informationen zu erweitern, um eine effizientere Reaktion in Notfallsituationen zu ermöglichen.

Abbildung 53: Verfügbarkeit von Sofortmaßnahmen und Handlungsanweisungen für verschiedene Akteure

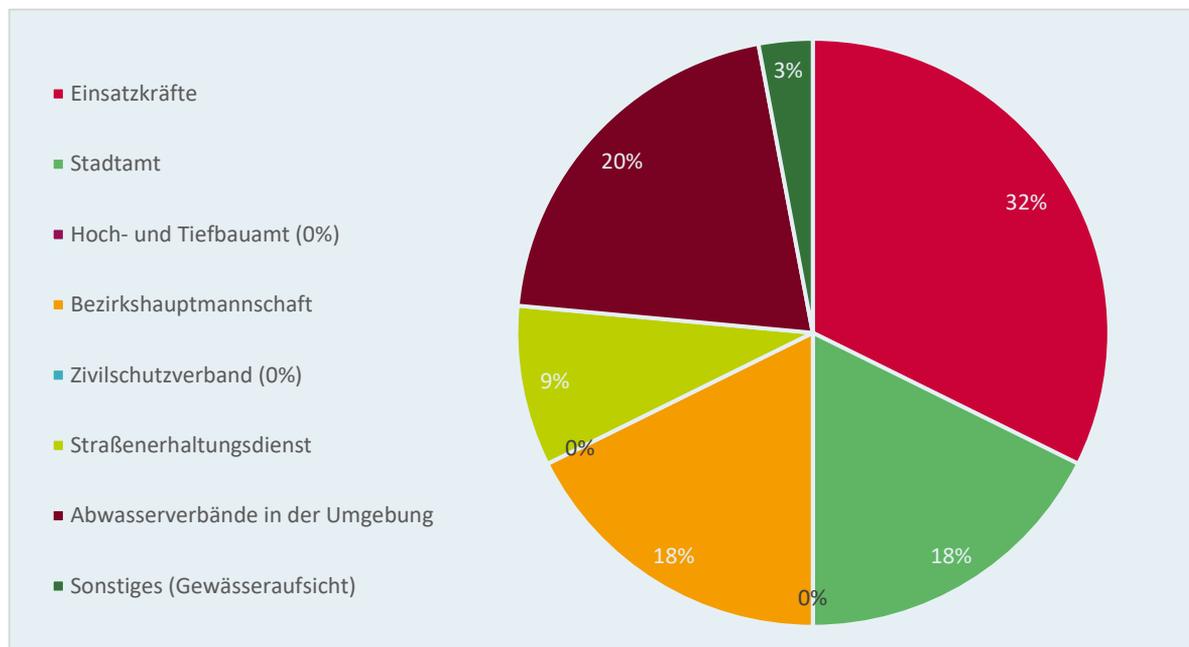


10.4.5 Vorbereitung Sofortmaßnahmen und Alarmierung

Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Befragten die Einsatzkräfte informieren, wenn sie erkennen, dass sie eine Störung nicht allein bewältigen können. Dies unterstreicht die Bedeutung einer koordinierten Zusammenarbeit mit den Einsatzkräften bei der Bewältigung von Störungen und Notfällen. Darüber hinaus werden auch das Stadtamt/Gemeindeamt, die Bezirkshauptmannschaft und die Abwasserverbände in der Umgebung häufig informiert (Abbildung 54).

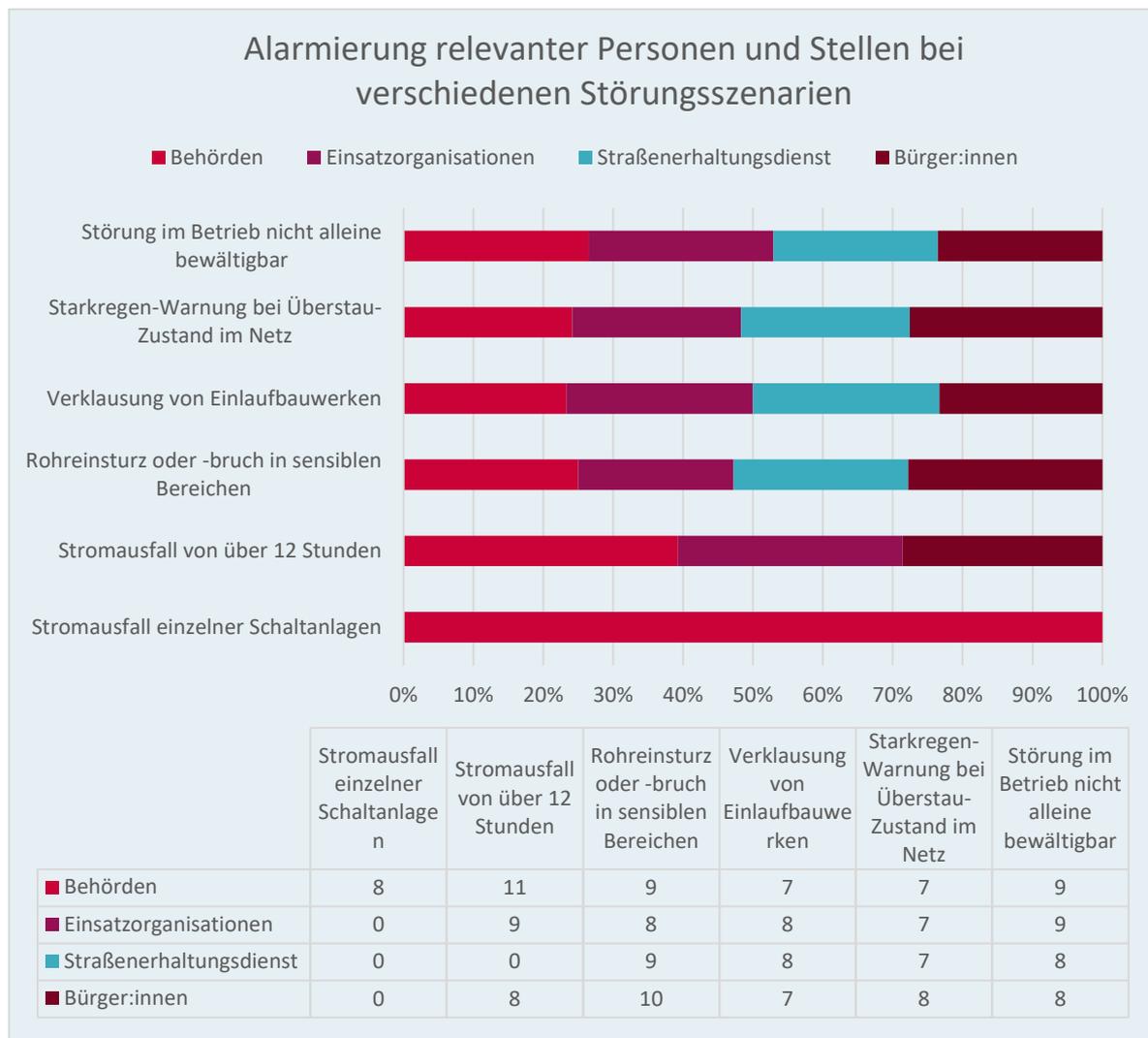
Der Zivilschutzverband (ZSV) und das Hoch- und Tiefbauamt wurden von keinem der Teilnehmer angegeben. Dies ist vermutlich auf die jeweiligen Rollen dieser Organisationen zurückzuführen - z. B. spielt der ZSV in der Aufklärung und Bewusstseinsbildung eine größere Rolle als in der direkten Bewältigung von Notsituationen.

Abbildung 54: Notfall-Kommunikationswege: An wen sich Betriebe bei nicht alleine bewältigbaren Störungen wenden



Abgefragt wurde auch, in welchen Situationen entsprechende Stellen/Personen informiert beziehungsweise alarmiert werden. Die Daten zeigen, dass in den meisten Szenarien Behörden und Einsatzorganisationen alarmiert werden, wenn deutlich wird, dass eine Störung nicht alleine bewältigt werden kann. Zudem werden häufig der Straßenerhaltungsdienst, Bürger:innen und andere spezifische Stellen informiert, je nach dem vorliegenden Szenario (Abbildung 55).

Abbildung 55: Alarmierung relevanter Personen und Stellen bei verschiedenen Störungsszenarien



Der Zugang und die Verwertung von meteorologischen Daten und Vorhersagen wurden abgefragt, mit gemischten Ergebnissen. Zwei Betriebe nutzen professionelle Wetterdienste wie die GeoSphere Austria, während ein Betrieb angab, auf allgemein verfügbare Ressourcen wie Wetter-Apps oder Medienberichte zurückgreifen. Drei der teilnehmenden Betriebe geben an, der Zugang zu Wetterinformationen sei gut organisiert und in bestehende Systeme oder Prozesse eingebunden. Bei einem Teilnehmer erfolgt die Warnung grundsätzlich über die Landeswarnzentrale (LWZ) an die Freiwilligen Feuerwehren, die dann den Reinhaltverband informieren. Einige Teilnehmer (insgesamt drei) gaben an, dass in ihrem Betrieb oder ihrer Gemeinde derzeit gar keine Wetterdaten und -vorhersagen genutzt werden. Diejenigen, die angaben, kein organisiertes Verfahren für den Erhalt und den Umgang mit Wetterdaten zu haben, gaben auch keine weiteren Informationen darüber, wie sie mit Wetterwarnungen umgehen. Dies weist auf einen potenziellen Verbesserungsbereich hin, da Wetterinformationen

zur Lageeinschätzung und besseren Abstimmung im Betrieb nötig sind, wobei alle Mitarbeiter gleichartige Wetterinformationen erhalten sollten.

In der Verwendung von Online-Überwachungstechnik zur Beobachtung von Pegelständen und kritischen Betriebszuständen zeigt sich ein differenziertes Bild. An den Haltungen im Kanalnetz werden Niveaumessungen und Mengenumessungen durchgeführt (23%). An Schächten im Kanalnetz erfolgt die Überwachung mit Hilfe von fixen und temporären Messpunkten wie Höhenstandssensoren, Radarmessungen und Nivus Sondensystemen (54%). Auch bei Einlaufbauwerken, Mischwasserüberlaufbauwerken und Retentionsbecken bzw. Regenrückhaltebecken werden verschiedene Technologien wie Höhenstandssensoren, Radarmessungen, Drucksonden und das Nivus Sondensystem eingesetzt.

Die Umfrageergebnisse zeigen, wie Unternehmen und Gemeinden auf betriebliche Störungen und Probleme im Kanalnetz aufmerksam werden. Die Methoden zur Erkennung dieser Probleme sind vielfältig und umfassen eine Kombination aus proaktiven (geplante Inspektionen und Wartungen, festgelegte Alarm- und Einschreitwerte, Online-Überwachungstechnik) und reaktiven Ansätzen (Reaktion auf Beschwerden der Bürger:innen, Meldungen von externen Stellen, zufällige Entdeckungen).

Inspektionen und Wartungen sind eine häufig genutzte Methode (92%), wobei diese oft regelmäßig oder nach bestimmten Ereignissen durchgeführt werden. Alarm- und Einschreitwerte sind ebenfalls eine gängige Praxis (54%). Einige Unternehmen verlassen sich dabei auf spezifische Überwachungssysteme wie Fernwirkanlagen oder andere spezielle Anlagen zur Überwachung des Kanalnetzes.

Die Online-Überwachungstechnik wird ebenfalls häufig verwendet (69%), wobei einige Unternehmen spezifisch Verstopfungen durch Regenentlastungen hervorheben. Bürgerbeschwerden sind auch eine übliche Methode (85%), um auf Probleme aufmerksam zu werden, wobei einige Unternehmen spezielle Datenbanken für Kundenanliegen einsetzen. Meldungen von externen Stellen wie dem Straßenerhaltungsdienst, der Feuerwehr oder der Polizei sind auch eine wichtige Informationsquelle (69%).

Zufällige Entdeckungen von Problemen sind weniger häufig (23%), aber einige Unternehmen nutzen regelmäßige Kontrollen von bekannten Problemstellen oder Wassermengenumessungen. Schließlich wird in der Kategorie „Sonstiges“ die Nutzung von Warnmeldungen der Fernwirkanlage sowie großflächige Aufnahmen des Kanalnetzes erwähnt.

In Bezug auf die Frage nach festgeschriebenen Zuständigkeiten für verschiedene Aufgaben und Bereiche in den Betrieben zeigt sich, dass etwa 69% der Teilnehmer festgelegte Zuständigkeiten für die Information der Behörden und die Alarmierung der Einsatzorganisationen haben. Diese Aufgaben sind kritisch, um sicherzustellen, dass im Falle einer Krise oder eines unerwarteten Ereignisses die richtigen Personen informiert und die entsprechenden Maßnahmen schnell eingeleitet werden.

In Bezug auf die Information der Bürger haben etwa 54% der Befragten festgelegte Zuständigkeiten. Dies könnte darauf hindeuten, dass in einigen Betrieben mehr Gewicht auf interne Prozesse und Reaktionen als auf die Kommunikation mit der Öffentlichkeit gelegt wird.

Interessanterweise zeigt das Umfrageergebnis, dass 46% der Befragten angeben, dass die Informations- und Alarmierungsverantwortung an die Person übergeht, die zu dem Zeitpunkt anwesend ist. Während dies zunächst als Indikator für einen Mangel an formellen Strukturen oder Prozessen interpretiert werden könnte, sollte auch in Betracht gezogen werden, dass dies eine durchdachte und praktikable Herangehensweise sein kann. Es ist plausibel, dass die vor Ort anwesende Person bereits für diverse Not- und Betriebssituationen geschult wurde oder zum Bereitschaftsdienst gehört. In diesem Kontext kann die Übernahme der Verantwortung durch die anwesende Person als ein Zeichen von Effizienz und Pragmatismus betrachtet werden. Es könnte also positiv interpretiert werden, dass Betriebe sich dafür entscheiden, der vor Ort anwesenden Person die Informations- und Alarmierungsverantwortung zuzusprechen, da diese direkt mit der Situation konfrontiert ist und entsprechend schnell und kompetent handeln kann.

Im Hinblick auf die Frage nach einem schriftlichen Alarmierungsplan gaben 85% der Teilnehmer:innen an, einen solchen zu haben. Ein Alarmierungsplan ist ein wichtiger Bestandteil des Notfallmanagements und der Risikovorsorge, da er sicherstellt, dass alle relevanten Parteien (innerhalb und außerhalb des Betriebs) im Falle einer Krise oder eines Notfalls schnell erreicht werden können.

Es ist jedoch ebenso wichtig, diese Pläne regelmäßig zu aktualisieren, um sicherzustellen, dass sie weiterhin relevant und effektiv sind. Die meisten Betriebe (23%) gaben an, ihren Alarmierungsplan in diesem Jahr aktualisiert zu haben. Etwa 31% der Betriebe haben ihren Plan in den letzten 1-2 Jahren aktualisiert, während 15% ihn in den letzten 2-5 Jahren aktualisiert haben. Ein Betrieb gab an, dass der Alarmierungsplan vor mehr als 5 Jahren aktualisiert wurde, was auf einen möglichen Verbesserungsbereich hinweist. Gleichzeitig gaben 15% an, keinen Alarmierungsplan zu haben, was ebenfalls ein wichtiger Bereich für Verbesserungen sein könnte.

Bezogen auf den Inhalt schriftlicher Störfall- und Notfallanweisungen zeigt sich, dass die meisten positiven Antworten die Verantwortlichkeiten für die Einleitung von Sofortmaßnahmen (92%) und die Beschaffung von Informationen zur Lagebeurteilung (85%) betreffen. Dies deutet auf ein starkes Bewusstsein für die Notwendigkeit einer klaren Rollenverteilung in Krisensituationen hin.

Es ist jedoch auffallend, dass weniger Betriebe (31%) Anweisungen für kritische Schwellenwerte oder Unwetter-Warnstufen in ihren Notfallplänen verankert haben. Diese Informationen sind entscheidend für die Früherkennung und effektive Reaktion auf mögliche Störfälle.

In Bezug auf die Kommunikation mit Behörden und Einsatzkräften scheinen die meisten Betriebe klare Verantwortlichkeiten festgelegt zu haben (77%). Allerdings haben nur 54% der Betriebe spezifische Verantwortlichkeiten für die Kommunikation mit Bürgern oder klare Anweisungen zur Kommunikationsmethode im Notfall festgelegt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Kommunikation mit der Öffentlichkeit als weniger prioritär angesehen wird oder dass die Kommunikationsmethoden flexibler sind, um auf verschiedene Situationen reagieren zu können.

Interessant ist auch, dass alle Betriebe angegeben haben, dass es Stellvertreter:innen gibt, die im Falle der Abwesenheit oder Verhinderung der verantwortlichen Person die Notfallanweisungen umsetzen können. Dies spricht für eine hohe Bereitschaft und Flexibilität der Betriebe bei der Reaktion auf Krisensituationen.

10.4.6 Dokumentation von Stör- und Notfällen

Die Daten zeigen, dass alle Befragten Störfälle und Probleme in ihren Betrieben schriftlich festhalten.

Im letzten Jahr wurde eine durchschnittliche Anzahl von etwa 17 Störfällen pro Betrieb dokumentiert. Die Daten variieren jedoch stark, mit einer Standardabweichung von fast 30 und einem Maximum von 100 dokumentierten Vorfällen. Dies könnte auf Unterschiede in der Größe und Komplexität der Betriebe, aber auch auf Unterschiede in der Definition und Meldung von Störungen hinweisen.

Bezüglich der Durchführung von Notfallübungen zeigt sich, dass die Mehrheit der Betriebe (54%) seit mehr als fünf Jahren keine Notfallübung mehr durchgeführt hat. Dies könnte darauf hindeuten, dass trotz der dokumentierten Störungen die regelmäßige Praxis der Notfallreaktion nicht ausreichend betont wird.

Die Daten zeigen auch, dass nur eine Minderheit der Betriebe (23%) ein Störfallkataster für Abwasser- und Entwässerungsanlagen vorhält und Notfallstellen im Siedlungsgebiet dokumentiert. Bei über 60% der Betriebe fehlt ein solches Kataster. Dies deutet auf eine potenzielle Lücke in der Vorbereitung und Reaktionsplanung auf Störfälle hin.

10.4.7 Kommunikation mit und an Bürger:innen

Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer verfügt über eine Meldestelle, an die Bürger:innen Störungen oder Unregelmäßigkeiten melden können. Die Formen variieren und umfassen Websites, Telefon-Hotlines, spezielle Apps, E-Mail und Notfallnummern, die rund um die Uhr erreichbar sind. Nur ein Teilnehmer gab an, keine solche Meldestelle zu haben.

Die Verfahren zur Information der Bürger:innen über das Risiko von Starkregen und Überflutungen sind weniger einheitlich. Nur wenige Teilnehmer informieren Bürger:innen auf diese Weise, und die Methoden reichen von Informationen, die von den Mitgliedsgemeinden zur Verfügung gestellt werden, bis hin zu Hinweisen zur Eigenverantwortlichkeit für die Rückstausicherung im Zuge von Kanalanschlussanträgen.

Es ist auffallend, dass einige Teilnehmer, obwohl sie Meldestellen für Störungen oder Unregelmäßigkeiten haben, Bürger:innen nicht über solche Risiken informieren. Dies könnte darauf hindeuten, dass sie eher eine reaktive als proaktive Haltung gegenüber diesen Gefahren einnehmen. Es ist auch möglich, dass sie andere, in den Daten nicht erfasste Methoden zur Risikominderung anwenden.

Einige Teilnehmer gaben an, dass sie planen, zukünftig Informationen über Gefahren im Zusammenhang mit dem Kanal und der Siedlungsentwässerung bereitzustellen. Dies zeigt ein Bewusstsein für die Wichtigkeit der Kommunikation dieser Risiken und könnte auf zukünftige Verbesserungen in diesem Bereich hindeuten.

Die folgende Tabelle 74 fasst die Antworten der Teilnehmer zu den Fragen nach vorhandenen Meldestellen und der Informationsbereitstellung über Starkregen- und Überflutungsrisiken zusammen:

Tabelle 74: Übersicht über Meldestellen und Informationsbereitstellung zu Starkregen- und Überflutungsrisiken der Teilnehmer

Teilnehmer	Meldestelle vorhanden	Details zur Meldestelle	Information über Starkregen- und Überflutungsrisiken	Kommentar
T1	Ja	Website, Telefonhotline, App für Bürger-Meldungen	Nein	-
T2	Ja	keine Angabe	Ja	durch Mitgliedsge- meinden
T3	Ja	Bereitschaftshandy / E-Mail	Nein	-
T4	-	keine Angabe	-	-
T5	Ja	Bürgerbeteiligungs-App; Homepage mit Rufnummer Kanalbetrieb	Ja	Hinweise zur eigenver- antwortlichen Rück- stauabsicherung im Zuge Kanalanschluss- antrag
T6	Ja	Telefonnummer Bereit- schaftsdienst	Nein	-
T7	Ja	Störfall Notrufnummer - Mel- dung geht zum Diensthabenden (7x24 Std.)	Nein	ist über Notfall SMS und Homepage geplant
T8	Ja	keine Angabe	Ja	über Gemeinde
T9	Ja	während der Dienstzeiten di- rekte Meldungen an den Rein- halteverband, außerhalb der Dienstzeiten gehen Störmel- dungen an den zuständigen Bereitschaftsdienst	Nein	-
T10	Ja	Notfallnummer 24 Std Bereit- schaft	Nein	Starkregenkataster beim Land
T11	Ja	keine Angabe	Nein	-
T12	Ja	Website	Nein	-
T13	Nein	keine Angabe	Nein	-

10.4.8 Selbsteinschätzung und Unterstützungsbedarf der Betriebe

Die Befragten schätzen den Stand ihrer Stör- und Notfallplanung hinsichtlich Starkregen und anderen Extremwetterereignissen insgesamt als befriedigend ein, mit einem Durchschnittswert von 2,7 (auf einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 sehr gut und 5 nicht genügend bedeutet).

Obwohl es eine sehr positive Bewertung gab (Note 1), gab ebenso ein Teilnehmer an, unzureichend (Note 5) vorbereitet zu sein. Dies könnte auf eine gewisse Unzufriedenheit oder Unsicherheit hindeuten, ob ihre aktuelle Planung ausreichend ist, um mit Extremwetterereignissen umgehen zu können, und auf ein Bewusstsein für die Notwendigkeit von Verbesserungen in diesem Bereich hinweisen.

Im Hinblick auf mögliche Hilfestellungen in verschiedenen Bereichen gibt es eine ausgeglichene Meinung unter den Befragten. Zum Beispiel sagen 38% der Befragten, dass sie Hilfe benötigen, um zu verstehen, wie sie Stör- und Notfälle verhindern können und wie sie die entsprechenden Maßnahmen in ihre Arbeitsroutine einbauen können, während die gleiche Anzahl angibt, dass sie keine Hilfe benötigen. Es gibt jedoch eine Anzahl von Befragten (8 - 23%, je nach Bereich), die unsicher sind, ob sie Hilfe benötigen oder nicht. Dies könnte darauf hindeuten, dass es einige Unsicherheit oder Unklarheit darüber gibt, was genau in diesen Bereichen benötigt wird oder wie diese Probleme angegangen werden sollten.

10.4.9 Zusammenfassung und Diskussion zur Umfrage „Stör- und Notfallmanagement in österreichischen Kanalbetrieben“

Aus der Umfrage und den Gesprächen mit Kanalbetreibern und den Fallstudiengemeinden lassen sich folgende Aussagen zur Stör- und Notfallplanung in österreichischen Kanalbetrieben tätigen:

- Viele Betriebe sind auf Risiken wie Blackouts und fluviales Hochwasser vorbereitet. Dennoch gibt es erhebliche Defizite im Umgang mit pluvialen Überflutungen, dem Umgang mit Unwetterwarnungen und im Personalmanagement. Solche Risiken sollten in zukünftigen Notfallplänen stärker berücksichtigt werden.
- Es besteht eine signifikante Lücke in der Kommunikation und Dokumentation bezüglich Störfällen. Für ein effektives Störfallmanagement sollte die Kommunikation sowohl intern als auch mit der Öffentlichkeit verbessert und regelmäßige Updates sowie Schulungen durchgeführt werden.
- Regionsspezifische Bedingungen erfordern individuelle Notfallpläne. Eine enge Zusammenarbeit und Koordination mit lokalen Akteuren und Expert:innen ist wesentlich, um sicherzustellen, dass die Pläne den geografischen und klimatischen Besonderheiten entsprechen.

- In Österreich fehlt ein verbindlicher gesetzlicher Rahmen für eine Stör- und Notfallplanung im Abwassersektor. Vorhandene Leitlinien und Unterstützungsangebote sollten herangezogen und ausgebaut werden.
- Finanzielle Investitionen sind entscheidend, um die Resilienz im Kanalbetrieb sicherzustellen. Durch eine solide finanzielle Unterstützung können nicht nur die bestehende Entwässerungsinfrastruktur gestärkt, sondern auch unerwartete Kosten durch potenzielle Schäden minimiert werden.

Der Abwassersektor in Österreich hat durch die Einführung von zwei EU-Richtlinien im Jahr 2023 einen bedeutenden Statuswechsel erfahren und gehört nun zu den „Sektoren mit hoher Kritikalität“. Betreiber und Unternehmen ab einer bestimmten Größe müssen damit erhöhte Anforderungen in der Sicherheitsplanung erfüllen. Trotz der Fokussierung des BEJOND Projekts auf kleine bis mittelgroße Gemeinden, ist auch hier der neue Status des Abwassersektors in zukünftigen Überlegungen und Entscheidungen zu berücksichtigen.

11 Kommunikationsstrategien

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Kommunikation von Störfällen und den zugehörigen Risiken in der Niederschlagswasserbewirtschaftung gegenüber der Öffentlichkeit, wobei besonders Starkregenereignisse im Fokus stehen. Es werden einzelne Phasen in der Entwicklung und Implementierung einer Kommunikationsstrategie erläutert und konkrete Beispiele zur Veranschaulichung gegeben. Es wird auf verschiedene Kommunikationsformate eingegangen, die dazu beitragen können, die Eigenverantwortung zu stärken, das Risikobewusstsein zu erhöhen und Maßnahmen zur Risikominderung und Anpassung zu unterstützen. Diese Formate umfassen Informationsquellen wie Websites und Infostände, Beratungsangebote wie Experten- und Bürger:innen-Beratungen sowie Beteiligungsformate, in denen die Öffentlichkeit auf unterschiedliche Weise in politische Entscheidungsprozesse eingebunden wird.

In diesem Kapitel werden Best-Practice-Beispiele aus der Literatur, Erkenntnisse aus der Zusammenarbeit mit den zwei Fallstudien Feldbach und Kufstein, sowie die Ergebnisse von Bevölkerungsumfragen über relevante Themen präsentiert. Dadurch sollen die notwendigen Kommunikationswege und -inhalte hervorgehoben werden, wobei die Verwendung verschiedener Tools, wie Apps oder Social Media, berücksichtigt wurden. Die vorgestellten Best-Practice-Beispiele und Kommunikationsstrategien basieren auf einer gründlichen Überprüfung der relevanten Fachliteratur. Insbesondere wurden die Arbeiten von Born et al. (2021), Born et al. (2017), MUST Städtebau (2023) aus den Stadtentwässerungsbetrieben Köln und die Studie von Hagen et al. (2020) herangezogen. Diese Veröffentlichungen stellen umfassende Informationen für die Starkregenvorsorge und das wassersensible Planen und Bauen dar. Nähere Details und weitere Einblicke können aus den genannten Quellen entnommen werden.

Die genannten Untersuchungen dienten als methodisches Gerüst und wurden als Grundlage für die Analyse von Kommunikationsstrategien im Kontext des vorliegenden Projekts herangezogen.

Vor allem die Rolle der privaten Haushalte in der Bewältigung der Risiken durch Starkregen ist bedeutsam, da die Einflussnahme durch städtische Wasserbetriebe und Gemeinden auf potenzielle Überflutungsrisiken in privaten Wohngebieten begrenzt ist. Daher ist es essenziell, dass Privatpersonen sich ihrer persönlichen Risiken bewusst sind und angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen. Dies kann durch regelmäßige Informationskampagnen erreicht werden, die den direkten Kontakt mit den betroffenen Bevölkerungsgruppen suchen und somit

einen langfristigen Einfluss auf die Bewusstseinsbildung haben. Ein breites Spektrum an Kommunikationskanälen, einschließlich sozialer Medien und traditioneller Printmedien, kann genutzt werden, um eine Vielzahl von Zielgruppen zu erreichen.

11.1 Allgemeine Kommunikationsgrundsätze

Die Risikokommunikation ist ein wesentlicher Bestandteil des Risikomanagements. Ziel einer solchen Kommunikationsstrategie ist es, das Risikoverständnis der betroffenen Personengruppen nachhaltig und anhaltend zu verbessern, um so gezielte Maßnahmen setzen zu können die in weiterer Folge auf die lokalen Umstände und Bedürfnisse eingehen (Löschner et al., 2016). Abbildung 56 stellt die grundlegenden Fragestellungen für die Entwicklung einer Kommunikationsstrategie dar.

Abbildung 56: Zentrale Fragen für eine Risikokommunikationsstrategie (eigene Darstellung)



Die Zielgruppengerechte Informationsaufbereitung setzt eine intensive Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Personengruppen, ihren Bedürfnissen und ihrem Risikoverständnis voraus. Auch die Erreichbarkeit, Wirkmacht und die Interessen der Personengruppen spielen hierbei eine wichtige Rolle, und sollten bei der Ausarbeitung einer Kommunikationsstrategie analysiert und mitbeachtet werden.

Die zu kommunizierenden Inhalte müssen einheitlich definiert und so detailreich wie nötig, aber so simpel wie möglich formuliert werden. Zudem ist es wichtig, auch Unsicherheiten in der Risikoeinstufung dezidiert zu vermitteln, sowie das Restrisiko realistisch darzustellen.

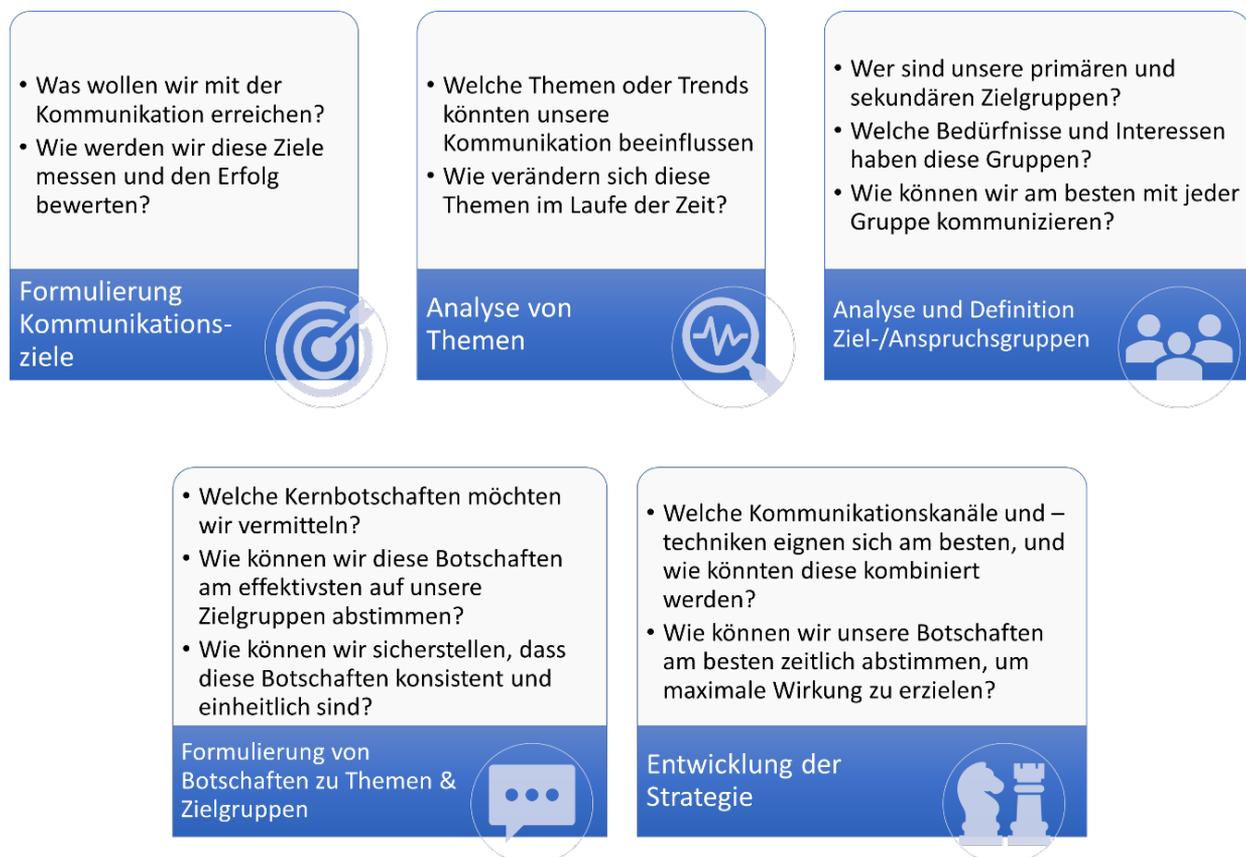
Weiters müssen angemessene und verlässliche Kommunikationswege definiert werden. Gefahrenkarten finden bereits in vielen Gemeinden und Städten ihren Nutzen und werden zum Beispiel in der Starkregenvorsorge eingesetzt (Hamburg Wasser, o.d.). Auch Online-Portale können zur Risikokommunikation genutzt werden. Insgesamt wird die Kommunikationsstrategie robuster, je diversifizierter die eingesetzten Informationskanäle und die mediale Aufbereitung sind, und je konkreter die Kommunikationsinhalte, die vermittelt werden sollen. Vor allem erzielen in diesem Kontext interaktive Ansätze wie etwa „Serious Games“ gute Ergebnisse (Solinska-Nowak et al., 2018).

Die Entwicklung einer robusten Kommunikationsstrategie, die klar formulierte Ziele, eine umfassende Analyse relevanter Themen, eine präzise Definition der Zielgruppen und Stakeholder, die Ausarbeitung passender Botschaften und schließlich die Formulierung der eigentlichen Strategie umfasst, ist von zentraler Bedeutung.

Eine grundlegende Kommunikationsstrategie zur Hochwasser-Risikokommunikation im sächsisch-tschechischen Grenzraum wurde im Rahmen des Projekts STRIMA II analysiert. Die Studie von Hagen et al. (2020) bietet verschiedene Ansatzpunkte für eine solche Strategie. Zunächst wurden die Ausgangssituation und relevante Grundlagen im Kontext der Hochwasser-Risikokommunikation untersucht. Dies diente als Basis für eine anschließende SWOT-Analyse, in der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der aktuellen Situation bewertet wurden. Aus diesen Erkenntnissen wurden prioritäre Ansatzpunkte für eine strategische Ausrichtung der Hochwasser-Risikokommunikation abgeleitet, einschließlich der Definition von Zielen, Zielgruppen, Grundsätzen und Botschaften sowie potenziellen Medien und Maßnahmen. Schließlich wurde auch der Ressourcenbedarf für die Umsetzung dieser Strategie erörtert. Diese strukturierte Herangehensweise wird im Folgenden näher erläutert.

Die in Abbildung 57 dargestellten Schritte bieten einen Überblick der einzelnen Punkte, die in diese umfassende Strategie einfließen sollten.

Abbildung 57: Schritte in der Formulierung einer umfassenden Kommunikationsstrategie mit möglichen Leitfragen (eigene Darstellung)



Bei der Planung und Gestaltung von Aktivierungsprozessen zur Sensibilisierung und Förderung der Eigenvorsorge ist eine dauerhaft engagierte Kerngruppe, die für den Prozess Verantwortung trägt, ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Diese Kerngruppe kann aus lokalen Expert:innen, engagierten Bürger:innen und Vertreter:innen der Verwaltung bestehen und sollte regelmäßig zusammenkommen, um den Fortschritt der Maßnahmen zu bewerten und neue Ideen zu entwickeln.

Die Dringlichkeit des Themas muss vermittelt werden, beispielsweise durch Sensibilisierung von Verwaltung, Ämtern und Planer:innen für vorsorgendes Handeln mittels Informationsveranstaltungen, Schulungen und Workshops. Fürsprache durch lokale Entscheidungsträger:innen ist ebenfalls wichtig, um die Dringlichkeit des Themas zu unterstreichen und Unterstützung für Aktivierungsmaßnahmen zu gewinnen. Mögliche Formate können Informationsveranstaltungen, Workshops, Bürgerbeteiligungsprojekte oder Online-Plattformen sein, um Betroffene und Interessierte einzubinden und Lösungsansätze zu diskutieren.

Eine partizipative Konzeption der Risikovorsorge sollte eine breite Einbindung verschiedener Akteure aus Politik, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Wissenschaft umfassen. Hierbei können

Aktivierungsformate wie interaktive Workshops, Online-Diskussionen oder Planspiele getestet werden. Ein Beispiel ist die Durchführung eines Stakeholder-Workshops und Fokusgruppen, bei denen lokale Expert:innen und Betroffene gemeinsam über Risiken und Maßnahmen diskutieren.

Die Berücksichtigung psychologischer Einflussfaktoren in der Risiko- und Vorsorgeaktivierung wird ebenfalls hervorgehoben (Hagen et al., 2020). Dabei sollten Schadenserfahrungen und Emotionen vermittelt werden, ohne dabei übermäßige Ängste oder Ablehnung zu schüren. Die persönliche Risikowahrnehmung kann gestärkt werden, indem Informationen über die Wahrscheinlichkeit von Starkregenereignissen und deren mögliche Folgen für das persönliche Umfeld vermittelt werden. Außerdem kann die Selbstwirksamkeitsüberzeugung erhöht werden, indem konkrete Handlungsempfehlungen und Möglichkeiten zur Eigenvorsorge vermittelt werden. Eine Stärkung der kollektiven Wirksamkeitsüberzeugungen und gemeinsame Vorsorgeverantwortung von Staat, Gemeinde und Bevölkerung ist dabei ebenso von Bedeutung.

Gemeindespezifische Aktivierungsformate können zum Beispiel in Form von Stadtteilworkshops, Starkregenvorsorge-Konzepte auf Gemeindeebene, Nachbarschafts-Beratungsangebote, Fortbildungen zur Regenwasserberatung oder Infostände bei Veranstaltungen wie Bauernmärkten oder Frühlingsfesten sein.

Die Entwicklung einheitlicher und konkreter Botschaften und Produkte sollten Dringlichkeit und Wirksamkeit vermitteln. Eine systematische Planung und kontinuierliche Verfolgung der Steuerung der vorhandenen Informationen sollte dabei sichergestellt werden. Diverse Ansatzpunkte zur Verbreitung von Materialien und Informationen zur Eigenvorsorge können dabei helfen, das Bewusstsein und die Beteiligung der Bevölkerung zu erhöhen.

Um die oben genannten Punkte erfolgreich umzusetzen, sollten Gemeinden eng mit verschiedenen Akteur:innen zusammenarbeiten und auf bewährte Methoden und innovative Ansätze setzen. Der Austausch von Erfahrungen und Best-Practice-Beispielen mit anderen Gemeinden kann ebenfalls dazu beitragen, das eigene Vorgehen kontinuierlich zu verbessern und die Bevölkerung effektiv für die Herausforderungen im Bereich Starkregen und Niederschlagswasserbewirtschaftung zu sensibilisieren und zu aktivieren.

Wer ist die Öffentlichkeit?

Die „Öffentlichkeit“ ist ein weitreichender Begriff, der verschiedene Gruppen und Individuen umfasst. Man kann diese grob in zwei Hauptkategorien unterteilen: die breite Fachöffentlichkeit und die organisierte Öffentlichkeit.

Die breite Fachöffentlichkeit besteht aus Einzelpersonen, die sich für ein bestimmtes Thema interessieren oder davon betroffen sind, sowie aus Bürgerinitiativen, die sich gemeinsam für eine Sache einsetzen oder gegen bestimmte Entwicklungen protestieren.

Die organisierte Öffentlichkeit bezieht sich auf formelle und strukturierte Gruppen mit spezifischen Interessen. Sie gliedert sich in gesetzlich geregelte Interessenvertretungen wie Kammern, die einen bestimmten Berufszweig oder Sektor repräsentieren, und in Organisationen der Zivilgesellschaft.

Die zivilgesellschaftlichen Organisationen lassen sich weiter unterteilen. Einige davon agieren „innerhalb des Marktes“. Hierzu gehören Gewerkschaften, die die Interessen der Arbeiter und Angestellten gegenüber den Arbeitgebern vertreten. Andere agieren „außerhalb des Marktes“, im sogenannten „dritten Sektor“. Hier finden wir Organisationen wie Nichtregierungsorganisationen (NGOs), die sich für soziale, umweltbezogene oder andere öffentliche Belange einsetzen (Arbter & Trattnigg, 2005).

11.1.1 Formulierung der Kommunikationsziele

Die Kommunikationsziele können beispielsweise eine frühzeitige Alarmierung der Bevölkerung, die Bereitstellung präziser und verständlicher Informationen über Störfälle und Notfälle, die Schaffung eines Verständnisses für die Ursachen und Folgen solcher Ereignisse und Empfehlungen für geeignete Maßnahmen beinhalten. Die Koordination und Zusammenarbeit mit diversen Stellen sind bei der Formulierung der Kommunikationsziele entscheidend, um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden und einheitliche Botschaften an die Öffentlichkeit vermittelt werden. Dieser Schritt sollte in Zusammenarbeit mit relevanten Stellen bearbeitet werden, um unterschiedliche Erfahrungen und Expertisen einzubringen (Tabelle 75):

Tabelle 75: Organisationen die in der Entwicklung einer Kommunikationsstrategie mitwirken können

Organisation	Zusammenarbeit zu Themenbereichen
Österreichischer Zivilschutzverband	Bewusstseinsbildung und Ausbildung in den Bereichen Selbstschutz und ziviler Notfallvorsorge, Bereitstellung von Ressourcen und Schulungen
Rotes Kreuz und Feuerwehren	Schulungen und Ressourcen für Ersthelfer, Unterstützung bei der Durchführung von Notfallübungen, Bereitstellung von Informationsmaterialien
Versicherungen	Hilfe bei der Prävention und beim Management von Risiken, Durchführung von Risikobewertungen, finanzielle Unterstützung bei der Schadensregulierung
Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV)	Technische Unterstützung und Beratung bei der Planung und Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen
Land- und Forstwirtschaft	Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Strategien für die Landnutzung und Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlicher Flächen, Unterstützung bei der Umsetzung nachhaltiger Praktiken
Österreichischer Gemeindebund und Landesverbände	Netzwerkmöglichkeiten, Beratung und Unterstützung bei der Implementierung von Hochwasserschutzmaßnahmen, Hilfe bei der Beantragung von Fördermitteln

11.1.2 Analyse der Kommunikations-Themen

Dieser Schritt gehört zur strategischen Früherkennung und zielt darauf ab, Schlüsselaspekte und -themen rechtzeitig und systematisch zu identifizieren und zu bewerten. Geeignete Instrumente hierfür sind die SWOT-Analyse, Issue-Analyse und die Themenfeldanalyse.

Zu Schlüsselaspekten im Falle einer Kommunikation zum Thema urbane Überflutungen können beispielsweise zählen:

- **Kosten und Nutzen:** Schadenspotenzial, Veränderung der Gefahrenzonenplanung (vorher/nachher), Eingriffe in die Natur, Beteiligungsaspekte.
- **Wertminderung der Rückhalteflächen:** Einfluss auf die Flächenwidmung/Konflikte, Konfliktlösungsstrategien, Schadenspotenzial, Planungsprozess, Wissensvermittlung zum Thema urbane Überflutungen und Starkregen.
- **Konzept und Differenzen in der Betroffenheit:** Erläuterung der Unterschiede zwischen und innerhalb der Gemeinden, Kosten-Nutzen-Analyse, alternative Maßnahmen, rechtliche Rahmenbedingungen.

- Flächenerhebung und Ausgleichsplanung: Finanzielle Aspekte im Vergleich zu den benötigten Flächen, Kommunikationsstil (offen, direkt, beteiligend an der Konzeptentwicklung).
- Technische Maßnahmen: Nutzen und Gefahren der Maßnahmen, Ausgleichsmaßnahmen, ökonomische Aspekte, Dauer (Planungs- und Bauphase).

11.1.3 Definition von Ziel- und Anspruchsgruppen

Die Kommunikation richtet sich an eine Reihe von Ziel- und Anspruchsgruppen mit unterschiedlichen Interessen und Bedenken. Sie sind auf unterschiedliche Weise von den Maßnahmen betroffen. Die Identifizierung dieser Gruppen und die Festlegung geeigneter Kommunikationskanäle ist ein wichtiger Schritt, um sicherzustellen, dass alle betroffenen Parteien angemessen informiert und in den Entscheidungsprozess einbezogen werden. In diesem Kontext unterscheiden wir zwischen Landwirt:innen und Grundbesitzer:innen, Naturschutzgruppen, Industrieunternehmen, Medien, Bürger:innen sowie öffentlichen Verwaltungen. Jede dieser Gruppen erfordert einen spezifischen Kommunikationsansatz, um sicherzustellen, dass ihre Bedenken gehört und ihre Interessen berücksichtigt werden.

Landwirt:innen/Grundbesitzer:innen könnten direkt von Maßnahmen betroffen sein, insbesondere wenn ihre Grundstücke für Retentionsflächen oder andere infrastrukturelle Veränderungen vorgesehen sind. Diese Gruppe kann direkt über persönliche Treffen, Briefe oder E-Mails, sowie über ihre Vertretungen wie den Bauernbund oder die Landwirtschaftskammer erreicht werden.

Naturschutzgruppen könnten Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen der Maßnahmen auf lokale Ökosysteme und die biologische Vielfalt haben. Sie können über direkte Kontaktaufnahme, Einladungen zu Meetings oder Veranstaltungen und schriftliche Korrespondenz erreicht werden.

Industrie und Betriebe könnten sowohl von außerordentlichen Ereignissen als auch von den geplanten Maßnahmen betroffen sein. Sie können durch direkten Kontakt, branchenspezifische Medien und über Industrieverbände erreicht werden.

Medien spielen eine entscheidende Rolle bei der Vermittlung von Informationen an die Öffentlichkeit und können die öffentliche Meinung beeinflussen. Sie können durch regelmäßige

Pressemitteilungen, Pressekonferenzen und persönliche Kontakte zu Journalisten erreicht werden.

Bürger:innen könnten Bedenken hinsichtlich der Kosten der Maßnahmen, ihrer Auswirkungen auf ihre Gemeinde und möglicher Störungen haben. Diese Gruppe erfordert eine breit gefächerte Kommunikation, die sowohl auf allgemeine Informationsbedürfnisse eingeht als auch spezifische Untergruppen anspricht, wie etwa ältere Menschen oder Menschen mit besonderen Bedürfnissen. Sie können über öffentliche Veranstaltungen, lokale Medien, Gemeindeblätter und die Gemeindefachseite erreicht werden.

Schulen und andere öffentliche Einrichtungen haben wiederum eigene Bedürfnisse, etwa in Bezug auf Notfallpläne und die Sicherheit von Schüler:innen, Angestellten und Besucher:innen.

Öffentliche Verwaltungen (Gemeinden, Land/Bund) sind entscheidende Akteure in der Planung und Finanzierung der Maßnahmen im öffentlichen Raum und könnten verschiedene Prioritäten und Bedenken haben. Sie können durch direkten Kontakt, formelle Korrespondenz und offizielle Treffen erreicht werden.

11.1.4 Formulierung von Botschaften zu den Themen und Zielgruppen

Anhand einiger Kommunikationsgrundsätze im Kontext von Überflutungsrisiken und Maßnahmen können Botschaften an entsprechende Zielgruppen formuliert werden:

Kommunikations-Grundsätze und beispielhafte Botschaften:

Bewusstsein für individuelle Risiken schärfen:

„Klimawandel verschärft Starkregen- und Überflutungsrisiken: Informieren Sie sich über Ihre individuellen Gefahren.“

„Überflutungen betreffen uns alle: Lernen Sie, wie sich Starkregenereignisse und Überflutungen auch abseits von Gewässern in Ihrer Umgebung auswirken können.“

An Selbstverantwortung und Risikovorsorge appellieren:

„Schützen Sie Ihr Zuhause und Ihre Gemeinschaft: Ergreifen Sie persönliche Maßnahmen zur Risikovorsorge.“

„Vorsorge beginnt bei Ihnen: Informieren Sie sich jetzt und handeln Sie verantwortungsbewusst im Umgang mit Überflutungsrisiken.“

„Proaktive Vorsorge beginnt bei Ihnen: Informieren Sie sich jetzt und handeln Sie verantwortungsvoll, indem Sie robuste Baumaterialien verwenden und unnötige Flächenversiegelungen vermeiden. Jede Initiative zählt, um die negativen Auswirkungen von Starkregen zu mildern.“

Selbstwirksamkeit betonen und Möglichkeiten aufzeigen:

„Jeder Beitrag zählt: Mit individuellen Maßnahmen können Sie den Schutz vor Starkregen und Überflutungen verbessern.“

Grenzen und Limitierungen von Vorsorge- und Schutzmaßnahmen aufzeigen:

„Absoluter Schutz ist nicht möglich: Seien Sie sich der Grenzen von Überflutungsschutzmaßnahmen bewusst.“

„Vorsorge kann Risiken mindern, aber nicht eliminieren: Verstehen Sie die Limitierungen und treffen Sie angemessene Vorkehrungen.“

Vorsorgehandeln anstoßen und Barrieren abbauen:

„Gemeinsam gegen Überflutungen vorsorgen: Fördern Sie den Austausch in Ihrer Gemeinde, um Barrieren abzubauen und Schutzmaßnahmen zu ergreifen.“

„Handeln Sie jetzt: Nutzen Sie verfügbare Ressourcen und Informationen, um effektive Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen. Überflutungsschutz ist leistbar und in vielen Formen umsetzbar“

11.1.5 Entwicklung der Strategie

In der Entwicklung einer Kommunikationsstrategie stehen verschiedene Kommunikationskanäle zur Verfügung, die jeweils unterschiedliche Stärken und Schwächen haben und unterschiedliche Zielgruppen erreichen. In Abbildung 58 werden verschiedene Kommunikationskanäle und -methoden dargestellt, die genutzt werden können, um Informationen zu verbreiten, Feedback zu sammeln und Interaktion zu fördern. Die Zeitplanung der Botschaften hängt von vielen Faktoren ab, darunter die Dringlichkeit der Botschaft, die Zielgruppe und der gewählte Kommunikationskanal.

Abbildung 58: Kommunikationskanäle und -methoden (eigene Darstellung)



Ein entscheidender Aspekt der Kommunikationsstrategie besteht darin, dass staatliche (Behörden, Ämter) und zivilgesellschaftliche Institutionen (Naturschutzvereine, Stiftungen, etc.), die Unterstützung bei der Überflutungsvorsorge und Niederschlagswasserbewirtschaftung anbieten, direkt mit der Primärzielgruppe in Kontakt treten, um dadurch präventive Handlungen unmittelbar hervorzurufen. Allerdings wird es nicht immer möglich sein, ausschließlich über Aktionen direkten Kontakt zur Zielgruppe herzustellen. Soweit Medien zum Einsatz kommen, sollte die grundlegende Medien-Strategie darauf abzielen, weitgehend ohne kostenpflichtige Werbung auszukommen.

Es wird empfohlen, **eigene Medien**, insbesondere im Online-Bereich, basierend auf bestehenden Webpräsenzen in sozialen Netzwerken auszuweiten. Von dort aus können relevante Haushalte einerseits direkt und andererseits über redaktionelle Online-Medien mit hoher Reichweite angesprochen werden. Dies erfordert kontinuierliche Formulierung neuer Botschaften und Publikumspflege sowie dialogische Auseinandersetzung mit dem Input, den die digitalen Medien ständig von der Zielgruppe generieren (z. B. Kommentarfunktion).

Klassische Medien werden vor allem über Pressearbeit und inszenierte Ereignisse angesprochen. Hierbei ist insbesondere an Auftritte von Regierungsvertreter:innen auf allen Ebenen des Landes, von der Landesregierung bis zur Gemeinde, zu denken. Diese kosteneffiziente Möglichkeit kann durch die Beteiligung von prominenten Persönlichkeiten aus anderen Bereichen, wie Kultur, Sport und Wirtschaft, ergänzt werden.

Inszenierte Ereignisse beziehen sich in diesem Kontext auf sorgfältig geplante und koordinierte Veranstaltungen oder Auftritte, die darauf abzielen, Medienaufmerksamkeit zu erzeugen und eine bestimmte Botschaft zu vermitteln.

11.2 Warnung und Alarmierung

In Anbetracht der Zunahme extremer Wetterereignisse und einer steigenden Bevölkerungszahl werden erhöhte Anforderungen an öffentliche Warnsysteme gestellt (Smith, 1996, Haunschuld et al., 2022). Dies hat zur Weiterentwicklung traditioneller Unwetterwarnsysteme geführt und die Integration von technologischen Innovationen wie Apps und sozialen Medien in diesen Bereich gefördert (Hauri et al., 2022).

In Österreich wird aktuell das Konzept des Cell Broadcastings erprobt, das sich der GSM-Netze (Global System for Mobile Communications) bedient, um flächendeckende Warnungen auszusenden (Reuter, 2021). Im Oktober 2021 wurde eine entsprechende Novelle des Telekommunikationsgesetzes vom österreichischen Nationalrat beschlossen, basierend auf einer 2018 veröffentlichten EU-Richtlinie, welche die Implementierung eines europaweiten Cell Broadcasting Systems namens EU-Alert vorsieht (Kotrba, 2021).

In einigen europäischen Ländern, wie den Niederlanden und Italien, ist Cell Broadcasting bereits etabliert. In Österreich wird derzeit an der Implementierung des Cell Broadcasting Systems AUT-Alert gearbeitet. Obwohl die Technologie selbst kein großes Hindernis darstellt, bereiten rechtliche und infrastrukturelle Fragen Probleme und müssen noch abschließend

geklärt werden. Studien aus den Niederlanden deuten jedoch darauf hin, dass Cell Broadcasting eine effiziente Katastrophenwarnmethode darstellt, die bis zu 90% der Bevölkerung erreichen kann. Es bleibt noch unklar, wann AUT-Alert vollständig in Österreich implementiert werden kann. Es ist jedoch sicher, dass es nicht dazu dienen soll, bestehende Warnkanäle wie Sirenen, Radio oder Apps zu ersetzen, sondern diese zu ergänzen (Kotrba, 2021).

Neben den traditionellen Warnsystemen hat sich die App „KATWARN“ in Österreich bereits als Warnkanal etabliert. Diese vom Bundesministerium betriebene App liefert Warnungen und Informationen von Behörden an mobile Endgeräte und geht dabei über die reine Gefahrenmeldung hinaus, indem sie auch Handlungsempfehlungen in Gefahrensituationen liefert. Jedoch erreicht diese App derzeit lediglich etwas mehr als 1% der Bevölkerung, mit etwa 105.000 Downloads im Jahr 2022. Die Implementierung von Cell Broadcasting könnte eine wertvolle Ergänzung zu diesen bestehenden Systemen darstellen und ihre Reichweite und Effektivität weiter verbessern (Hauri et al., 2022).

11.3 Umfrage zur Kommunikation von Starkregen- und Überflutungsgefahren in österreichischen Gemeinden

Die Kommunikation von Starkregen- und Überflutungsgefahren stellt eine immer wichtiger werdende Aufgabe für österreichische Gemeinden dar. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Online-Umfrage erstellt, die sich an die Bürger:innen der betroffenen Gemeinden richtete. Die Umfrage, die vom 14. März 2023 bis zum 26. Juni 2023 durchgeführt wurde, zielte darauf ab, mehr über die persönlichen Erfahrungen und Ansichten der Teilnehmenden im Zusammenhang mit Starkregenereignissen, Überflutungen und Überlastungen der Kanalisation zu erfahren. Sie bestand aus insgesamt 27 Fragen, die in sieben Gruppen eingeteilt waren: Themenpräsenz, vergangene Betroffenheit, Risikokommunikation, Informationswege, Warn- und Alarmierungs-Apps, eine Abschlussfrage und Fragen zu den Basisdaten der Teilnehmenden.

Insgesamt haben 109 Personen an der Umfrage teilgenommen, davon haben 80 Personen die Umfrage vollständig und 29 Personen die Umfrage teilweise ausgefüllt. Die Befragten, die ausschließlich in den Bundesländern Steiermark und Tirol ansässig sind, spiegeln eine breite Altersverteilung wider und verteilen sich auf unterschiedliche Wohn- und Eigentumsverhältnisse. Die Geschlechtsverteilung ist mit 57,5% männlichen und knapp über 41% weiblichen Teilnehmer:innen annähernd ausgeglichen.

Detail-Infos zu Umfrage Teilnehmer:innen

Bundesland: Alle Befragten leben in der Steiermark (72,50%) oder in Tirol (21,25%).

Gemeindegröße: Ein großer Anteil der Befragten leben in Gemeinden mit 1.000 bis 15.000 Einwohner:innen (71%), gefolgt von Gemeinden mit 15.000 bis 30.000 Einwohner:innen (24%). Ein kleiner Anteil lebt in Gemeinden mit 30.000 bis 90.000 Einwohner:innen (4%).

Wohnsituation: Über die Hälfte der Befragten (56%) lebt in einem freistehenden Einfamilienhaus. Weitere 30% leben in einem Mehrfamilienhaus oder Mehrparteienhaus. Eine geringere Anzahl von Befragten leben in einem gemischt genutzten Wohn- und Geschäftshaus (11%). Unter „Sonstiges“ gaben 2 Befragte an, in einem Reihnhaus zu wohnen.

Eigentumsverhältnis: Die überwiegende Mehrheit der Befragten (85%) lebt im Eigentum. Knapp über 11% der Befragten leben in einem Mietverhältnis. Ein Befragter gab an, in einer „gemeinschaftlichen Genossenschaft“ zu leben.

Alter: Die Altersverteilung der Befragten ist breit gestreut. Die meisten Befragten sind zwischen 35 und 44 Jahre alt (29%), gefolgt von den 45-54-Jährigen (24%) und den 55-64-Jährigen (22%). Die Gruppen der 18-24-Jährigen (2,5%) und der 25-34-Jährigen (9%) sind am kleinsten vertreten. 14% der Befragten sind 65 Jahre und älter.

Die gewonnenen Informationen aus dieser Umfrage sollen dazu beitragen, die Risikokommunikation zu verbessern, das Bewusstsein zu stärken und effektive Warn- und Alarmierungsstrategien zu entwickeln. Dadurch wird es möglich, besser auf außergewöhnliche Ereignisse in der Niederschlagswasserbewirtschaftung zu reagieren und die negativen Auswirkungen für die betroffenen Gemeinden und ihre Einwohner zu minimieren.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Umfrage und ihre Bedeutung für die Starkregen- und Überflutungskommunikation in österreichischen Gemeinden erläutert.

Aus der Frage „Wie gut fühlen Sie sich aktuell auf ein Starkregenereignis vorbereitet?“ geht hervor, dass die meisten Befragten (36%) sich mittelmäßig vorbereitet fühlen, gefolgt von 32%, die sich gut vorbereitet fühlen. Allerdings gaben 10% an, sich sehr gut vorbereitet zu

fühlen, während 14% ihre Vorbereitung als mangelhaft und 3% als gar nicht vorhanden einschätzen.

In Bezug auf die Frage „Waren Sie selbst schon einmal von folgenden Notsituationen oder Katastrophen betroffen?“ hat eine Mehrheit (74%) angegeben, dass sie bereits Unwetter (Sturm, Starkregen, Hagel) in direkter Nähe erlebt haben. Dieses Ergebnis ist naheliegend, da die Umfrage gezielt in den Gemeinden der beiden Fallstudien durchgeführt wurde, die aufgrund ihrer vorangegangenen Betroffenheit ausgewählt wurden. Zudem waren 36% von einer Überflutung im Siedlungsgebiet und 33% von einem durch Unwetter oder Überflutung verursachten Stromausfall betroffen. Eine relativ geringe Anzahl von Befragten (6%) gab an, noch keine derartige Situation erlebt zu haben.

Bei der Frage, ob vor dem Ereignis eine Warnung erhalten wurde, antwortete die Mehrheit (63%) mit „Nein“. Nur 24% erhielten eine Warnung. Bei den getroffenen Vorkehrungen aufgrund der Warnung zeigt sich, dass viele verschiedene Maßnahmen ergriffen wurden, von denen das Schließen bzw. Abdichten von Fenstern und Türen (42%) die häufigste war.

Die Umfrage zeigt auch, dass 60% der Befragten vor dem erlebten Überflutungsereignis nicht bewusst waren, dass ihr Gebäude betroffen sein könnte. Nur 39% waren sich dieses Risikos auch vor dem Ereignis bewusst.

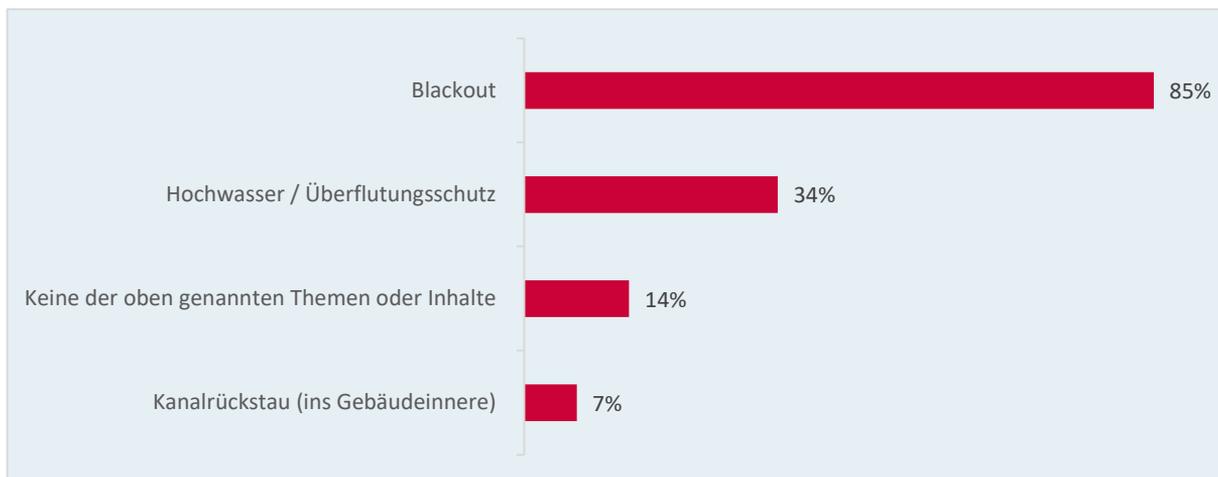
Die meisten Überflutungsereignisse liegen zwischen 2 und 4 Jahren zurück (57%). Seit diesen Ereignissen haben knapp unter der Hälfte der Befragten (46%) Objektschutzmaßnahmen ergriffen, wie Einbau einer Rückstausicherung, Kellerabdichtung, Aufkantungen der Lichtschächte usw. Ein Teil der Befragten (19%) hat eine finanzielle Vorsorge getroffen, aber eine bemerkenswerte Anzahl (38%) hat keine zusätzlichen Vorkehrungen getroffen.

Diese Daten liefern wichtige Einblicke in die Wahrnehmung und das Bewusstsein von Gefahrensituationen sowie die vorbeugenden Maßnahmen, die von den Befragten ergriffen werden. Es scheint, dass obwohl eine Mehrheit der Befragten bereits Unwettererfahrung hat, viele von ihnen sich dennoch nicht vollständig auf solche Ereignisse vorbereitet fühlen und bei einem Überflutungsereignis nicht erwartet haben, dass sie selbst direkt betroffen sein könnten. Dies unterstreicht die Bedeutung von Aufklärung und Schulung zur Gefahrenprävention und -vorbereitung.

Teilnehmer:innen wurden gefragt, ob sie jemals Informationen im Rahmen offizieller Informationskampagnen zu bestimmten Themen und Gefahren erhalten haben. Es zeigte sich, dass

die meisten Teilnehmer Informationen zum Thema „Blackout“ erhalten haben (85%), während das Thema „Kanalrückstau“ mit 7% die geringste Aufmerksamkeit erhielt. Ein kleiner Prozentsatz gab an, keine Informationen zu den genannten Themen erhalten zu haben (Abbildung 59).

Abbildung 59: Anteil der Befragten, die schon einmal über eine Informationskampagne zu den Gefahrenthemen informiert wurde: Hochwasser, Blackout und Kanalrückstau



Im weiteren Verlauf der Umfrage wurden die Teilnehmer gebeten, die spezifischen Inhalte, die sie im Rahmen von Informationskampagnen zu Hochwasser, Starkregen oder Überflutungsschutz erhalten haben, näher zu spezifizieren. Die meisten Befragten erhielten grundlegende Informationen über die Entstehung dieser Phänomene und die daraus resultierenden Schäden sowie Informationen zu Vorsorgemaßnahmen. Der am wenigsten verbreitete Inhalt waren Informationen zum Wiederaufbau nach einem Überflutungsereignis (Abbildung 60).

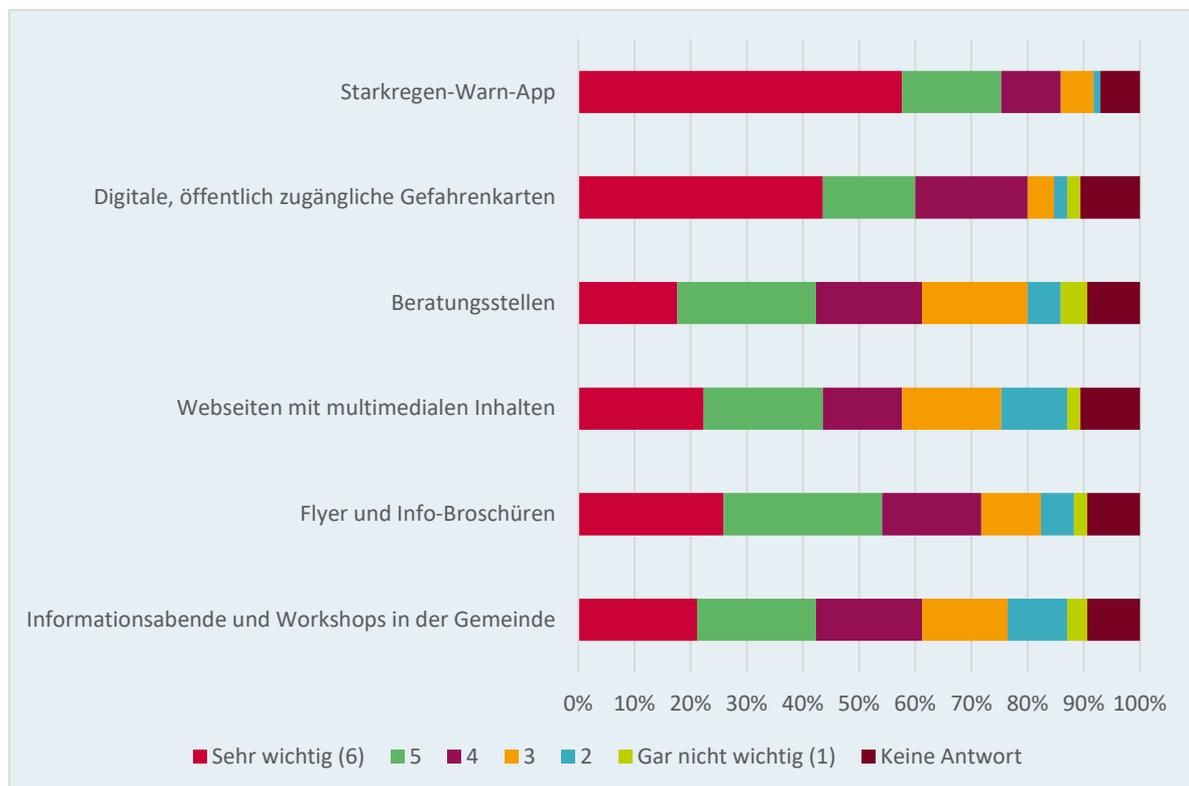
Abbildung 60: Anteile der Befragten, die spezifische Informationen zu Hochwasser, Starkregen und Überflutungsschutz erhalten haben



Darüber hinaus gaben mehr als die Hälfte der Befragten an, aufgrund dieser Informationskampagnen zusätzliche Vorkehrungen getroffen zu haben, während nur ein kleinerer Teil angab, dass sie keine zusätzlichen Maßnahmen ergriffen haben.

Schließlich wurde den Teilnehmern eine Reihe von Formaten in einer Informationskampagne zu Starkregen und Überflutungsschutz vorgestellt, und sie wurden gebeten, deren Wichtigkeit zu bewerten (Abbildung 61). Alle vorgestellten Formate wurden als wichtig eingestuft, wobei digitale Formate wie eine Starkregen-Warn-App und öffentlich zugängliche Gefahrenkarten als die wichtigsten erachtet wurden.

Abbildung 61: Wichtigkeit verschiedener Informationsformate zu Starkregen und Überflutungsschutz nach Nutzer:innenbewertung



Eine Starkregen-Warn-App erhielt die höchste Wichtigkeit mit 58% „sehr wichtig“ Bewertungen. Digitale, öffentlich zugängliche Gefahrenkarten wurden von 44% der Befragten als „sehr wichtig“ eingestuft. Beratungsstellen wurden von 18% als „sehr wichtig“ angesehen, wobei 25% sie mit „5“ bewerteten. Informationsabende und Workshops wurden von 21% der Befragten als „sehr wichtig“ eingestuft. Flyer und Info-Broschüren wurden von 26% als „sehr wichtig“ eingestuft. Webseiten mit multimedialer Darstellung erhielten eine „sehr wichtig“ Bewertung von 22%.

Diese Analyse zeigt, dass verschiedene Formen von Informationskampagnen unterschiedliche Gruppen von Bürger:innen erreichen und es wichtig ist, verschiedene Formate anzubieten, um eine breite Informationsvermittlung sicherzustellen. Außerdem scheinen digitale Informationsformate wie Apps und digitale Gefahrenkarten einen hohen Stellenwert bei den Befragten zu haben.

Die Umfrageergebnisse zeigen eine interessante Verteilung darüber, wie die Teilnehmer in der Vergangenheit auf Notsituationen oder Katastrophen aufmerksam wurden. Der Großteil der Teilnehmer (84%) gab an, direkt vor Ort durch Beobachtung auf solche Situationen aufmerksam geworden zu sein. Persönliche Kontaktaufnahme durch Familie oder Bekannte (41%) und Sirenenalarme (55%) waren weitere bedeutende Informationsquellen. Im Vergleich dazu wurden Soziale Medien (21%), Online-Nachrichtenseiten (22%) und Warn-Apps (15%) weniger häufig als Informationsquelle genutzt.

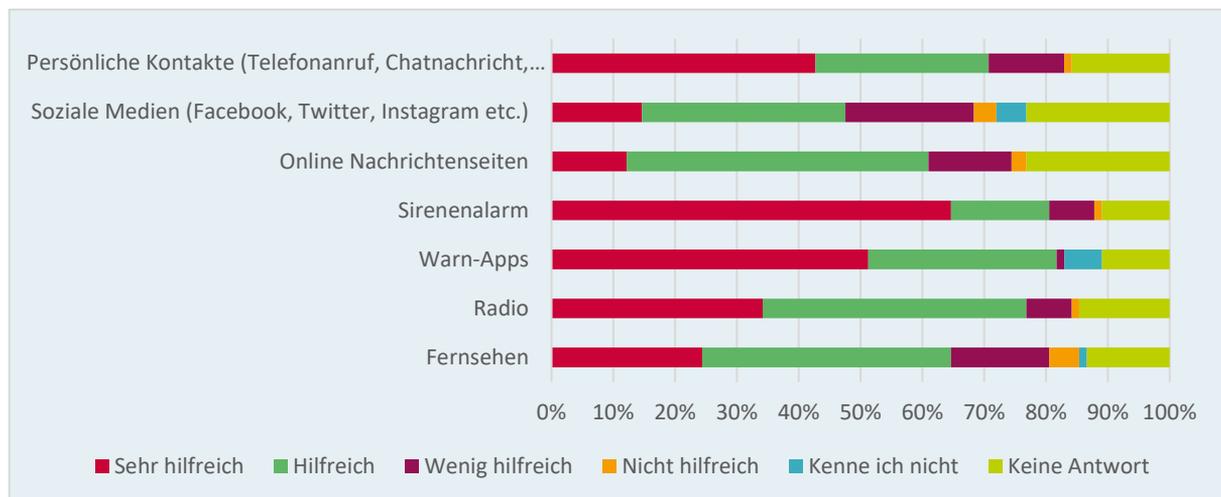
Was die regelmäßige Nutzung bestimmter Geräte betrifft, so gaben die meisten Teilnehmer an, ein Smartphone und/oder Tablet (93%) zu verwenden. Computer wurden von 73% der Befragten genutzt, während der Fernseher und das Radio von 66% bzw. 59% genutzt wurden.

Bei der Frage nach der Nutzung bestimmter Dienste und Plattformen gaben die meisten Teilnehmer an, Messenger-Kanäle wie WhatsApp, Signal, Telegram usw. (79%) und Wetter-Apps (78%) zu nutzen. Soziale Medien wurden von 59% der Befragten genutzt.

Die Teilnehmer wurden auch gebeten, die Nützlichkeit verschiedener Informationskanäle bei Katastrophen und Notsituationen zu bewerten. Sirenenalarme wurden als der hilfreichste Kanal angesehen, wobei 65% der Teilnehmer sie als „sehr hilfreich“ einstufen. Warn-Apps wurden von 51% als „sehr hilfreich“ angesehen, während das Radio von 34% und persönliche Kontakte von 43% als „sehr hilfreich“ angesehen wurden. Fernsehen, Online-Nachrichtenseiten und Soziale Medien wurden weniger häufig als „sehr hilfreich“ eingestuft, wobei das Fernsehen von 24%, Online-Nachrichtenseiten von 12% und Soziale Medien von 15% als „sehr hilfreich“ angesehen wurden.

Es wird deutlich, dass Bürger:innen auf Notsituationen oder Katastrophen hauptsächlich durch direkte Beobachtung oder Sirenenalarme aufmerksam werden, obwohl viele von ihnen digitale Geräte und Dienste nutzen (Abbildung 62). Es könnte sinnvoll sein, die Nutzung digitaler Kanäle für Warnungen und Informationen in Notsituationen zu erhöhen, insbesondere da Dienste wie Messenger und Wetter-Apps weit verbreitet sind.

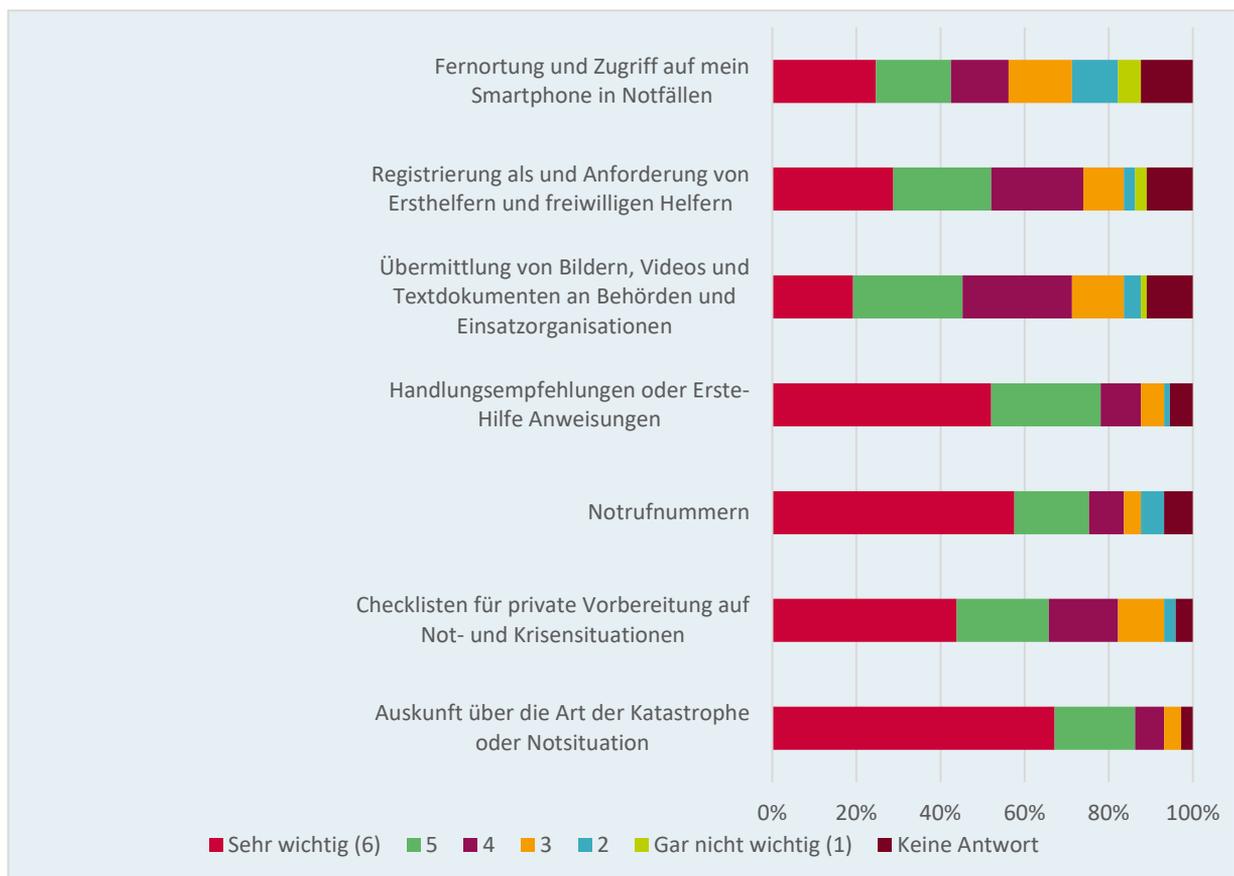
Abbildung 62: Einschätzungen zum Nutzen unterschiedlicher Kommunikationskanäle zur Warnung



Teilnehmer wurden auch zu verschiedenen Aspekten von Warn- und Alarmierungs-Apps sowie zu ihrem Wissen und ihren Einstellungen bezüglich Unwettergefahren und Überflutungsrisiken befragt.

Es ist zu erkennen, dass die Mehrheit der Befragten bestimmte Funktionen von Warn- und Alarmierungs-Apps als sehr wichtig ansieht (Abbildung 63). Besonders hervorzuheben ist dabei die „Auskunft über die Art der Katastrophe oder Notsituation“, die von 67% als „sehr wichtig“ eingestuft wurde. Des Weiteren halten 58% die Verfügbarkeit von „Notrufnummern“ und 52% „Handlungsempfehlungen oder Erste-Hilfe Anweisungen“ für sehr wichtig. Andere Funktionen wie „Checklisten für private Vorbereitung auf Not- und Krisensituationen“ (44%), „Registrierung als und Anforderung von Ersthelfern und freiwilligen Helfern“ (29%) und „Fernortung und Zugriff auf mein Smartphone in Notfällen“ (25%) wurden ebenfalls von einem signifikanten Prozentsatz der Befragten als sehr wichtig angesehen, allerdings weniger als die erstgenannten Funktionen. Am wenigsten, aber dennoch von 19% als sehr wichtig erachtet, wurde die Funktion der „Übermittlung von Bildern, Videos und Textdokumenten an Behörden und Einsatzorganisationen“.

Abbildung 63: Wichtigkeit verschiedener Funktionen bei Warn- und Alarmierungs-Apps nach Teilnehmer:innenbewertung

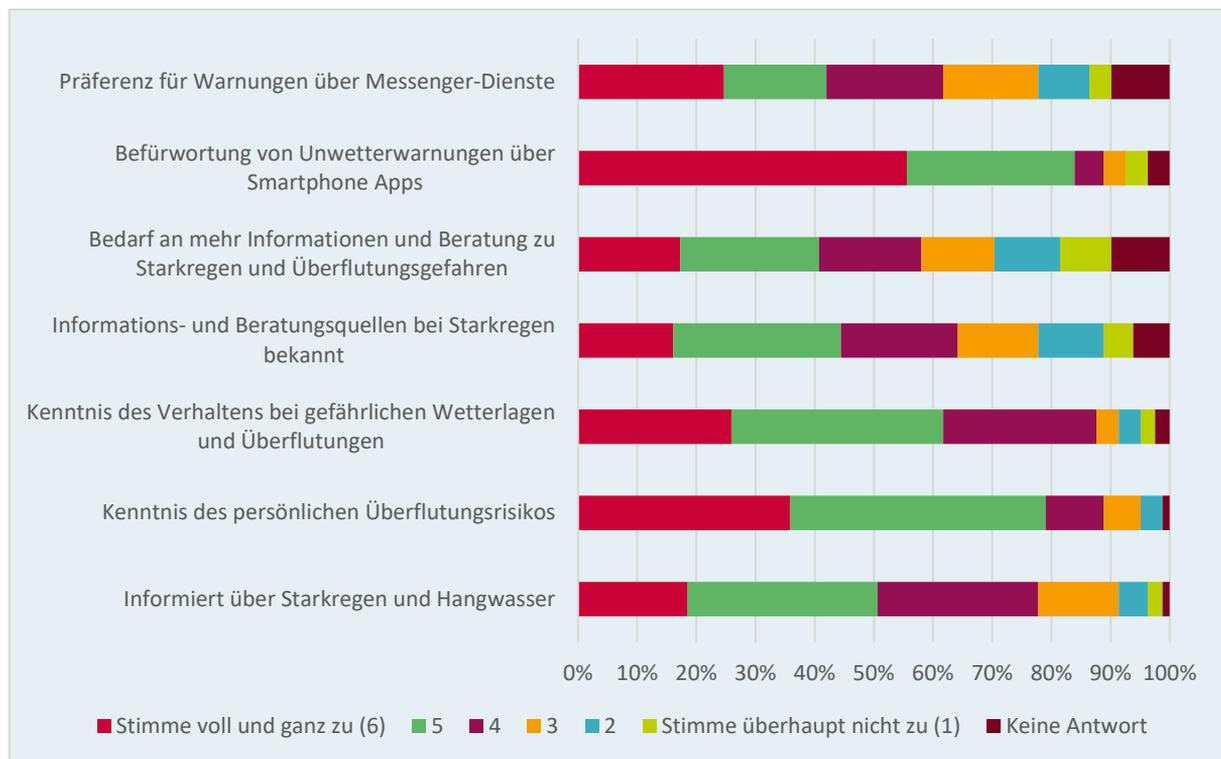


In Bezug auf das Wissen und die Einstellungen der Befragten zu Unwettergefahren und Überflutungsrisiken ist zu bemerken, dass 36% voll zustimmen, dass sie ihr persönliches Überflutungsrisiko kennen (Abbildung 64). Darüber hinaus sind 26% vollständig der Meinung, dass sie wissen, wie sie sich bei einer gefährlichen Wetterlage und bei Überflutungen verhalten sollten. Allerdings gibt es auch eine deutliche Anzahl von Befragten, die mehr Informationen und Beratung zum Thema Starkregen und Überflutungsgefahren benötigen, wobei 17% dieser Aussage voll zustimmen.

Es ist auch bemerkenswert, dass 56% der Befragten voll zustimmen, dass die Warnung und Alarmierung der Bevölkerung bei Unwettergefahren über Smartphone Apps sinnvoll ist. Jedoch zeigt die Aussage, dass einige Befragte anstelle einer App es vorziehen würden, Warnungen über einen Messenger-Kanal zu erhalten, eine gemischtere Meinung, wobei 25% dieser Aussage voll zustimmen.

Die Daten könnten darauf hinweisen, dass eine breiter aufgestellte Kommunikationsstrategie bei der Unwetter- und Katastrophenwarnung am effektivsten sein könnte.

Abbildung 64: Zustimmung bezogen auf einzelne Aussagen zum Thema Starkregen und Überflutungsgefahren



Thema Starkregen und Hangwasser: Eine Mehrheit von 78% der Bürger:innen fühlt sich über die Themen Starkregen und Hangwasser gut bis sehr gut informiert (Skala 4-6). Nur 21% fühlen sich weniger informiert (Skala 1-3).

Überflutungsrisiko: Noch ausgeprägter ist das Bewusstsein über das persönliche Überflutungsrisiko. Etwa 89% der Bürger:innen kennen ihr persönliches Risiko gut bis sehr gut (Skala 4-6). Nur 14% fühlen sich hier weniger gut informiert (Skala 1-3).

Verhalten bei gefährlicher Wetterlage: Beim Wissen um das richtige Verhalten bei gefährlichen Wetterlagen und Überflutungen sind die Bürger:innen ebenfalls zuversichtlich. 88% der Bürger:innen fühlen sich gut bis sehr gut informiert (Skala 4-6), während 10% weniger gut informiert sind (Skala 1-3).

Informationsquelle Starkregenfall: Weniger Bürger:innen wissen, wo sie sich informieren und beraten lassen können, um auf den Starkregenfall gut vorbereitet zu sein. 64% fühlen sich hier gut bis sehr gut informiert (Skala 4-6), während 30% weniger gut informiert sind (Skala 1-3).

Informationsbedarf Starkregen und Überflutungsgefahren: Eine knappe Mehrheit von Bürger:innen (58% auf der Skala 4-6) gibt an, dass sie mehr Informationen und Beratung zum Thema Starkregen und Überflutungsgefahren benötigen. 32% geben an weniger Bedarf an zusätzlichen Informationen zu benötigen (Skala 1-3).

Warnung und Alarmierung über Smartphone Apps: Eine deutliche Mehrheit der Bürger:innen (89% auf der Skala 4-6) hält die Warnung und Alarmierung der Bevölkerung bei Unwettergefahren über Smartphone-Apps für sinnvoll. Nur 7% (Skala 1-3) sind dieser Aussage gegenüber weniger zustimmend.

Warnungen über einen Messenger-Kanal: Die Meinungen sind gemischt, ob Bürger:innen eine App oder einen Messenger-Kanal (z. B. WhatsApp, Telegram, Signal etc.) für den Erhalt von Warnungen bevorzugen würden. 62% stimmen dieser Aussage gut bis sehr gut zu (Skala 4-6), während 28% weniger zustimmen (Skala 1-3).

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Bürger:innen grundsätzlich ein gutes Verständnis und Bewusstsein für Überflutungsrisiken haben und die Nutzung digitaler Lösungen wie Apps zur Warnung und Alarmierung bei Unwettergefahren befürworten. Allerdings besteht ein Bedarf an mehr Informationen und Beratung zum Thema Starkregen und Überflutungsgefahren. Die Nutzung von Messenger-Kanälen zur Übermittlung von Warnungen könnte eine ergänzende oder alternative Lösung zur App-Nutzung sein, obwohl die Meinungen hierzu geteilt sind.

11.4 Best-Practice Beispiele und Checklisten

Die Einbeziehung der Öffentlichkeit ermöglicht es, lokales Wissen zu nutzen und die Wahrnehmung der Bedrohung zu steigern, was wiederum zu einer höheren Bereitschaft zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen führen kann.

Beispiel Bürger:innen-Meldungen in Kufstein

Die Gemeinde-Webseite der Stadt Kufstein bietet über die Plattform „Bürgermeldungen.com“ einen Kommunikationskanal für Bürger:innen, um Vorfälle, Auffälligkeiten und Anliegen direkt an die zuständigen Stellen in der Stadtverwaltung und den Stadtwerken zu melden. Besonders für Störfälle in der Siedlungs- und Niederschlagswasserbewirtschaftung bietet dieses Tool eine schnelle und effiziente Möglichkeit, Probleme aufzuzeigen und an der Lösungsfindung mitzuwirken.

Die Plattform ermöglicht es den Bürger:innen, sich zu registrieren, Meldungen zu verfassen und diese zu veröffentlichen. Sie können auch Fotos zu ihren Meldungen hinzufügen, um die Problemstellung zu verdeutlichen. Zudem ist es möglich, die Meldungen nach verschiedenen Kategorien, wie zum Beispiel „Wasser und Kanal“, zu sortieren. Dies erleichtert den zuständigen Stellen in der Stadtverwaltung und den Stadtwerken die Bearbeitung der Meldungen und ermöglicht eine gezielte Beantwortung und Lösung der Probleme.

Die Meldungen werden datiert und kategorisiert, so dass ein transparenter Überblick über alle eingegangenen und bearbeiteten Anliegen gegeben ist. Jede Meldung enthält dabei Angaben zum Status der Bearbeitung, zum Datum der Meldung und zur Dauer der Bearbeitung. Auch die Kommunikation zwischen den Bürger:innen und den zuständigen Stellen ist öffentlich einsehbar, was für Transparenz und Vertrauen in die Arbeit der Stadtverwaltung und Stadtwerke sorgt.

Initiativen, die häufig als „Citizen Science“ Projekte konzipiert sind, ermöglichen mithilfe der Bevölkerung eine vielfältige und zeitnahe Datenerfassung. Mittels Standort (GPS)- und Zeitstempeln in den Foto- und Videodokumentationen lässt sich die räumlich-zeitliche Ausbreitung der Ereignisse im Nachhinein bestimmen. Ein Beispiel hierfür ist das „FloodCitiSense“-Projekt, das von 2017 bis 2020 in drei europäischen Pilotstädten ein Frühwarnservice für urbane Starkregenereignisse getestet hat. Mithilfe kostengünstiger Sensoren und webbasierter Technologien konnten Bürger:innen und städtische Behörden ihre Beobachtungen über eine App melden. Die lokalen Beobachtungen wurden dann neben offiziellen hydrologischen Daten auf einer Karte eingetragen (Verbeiren et al. 2018).

Das CrowdWater-Projekt der Universität Zürich legt den Fokus auf die hydrologische Datenerfassung in Fließgewässern, eher abseits vom Siedlungsraum, und nutzt eine eigens entwickelte App, um Daten zum Wasserstand, Abfluss und weiteren Aspekten zu erheben, ohne dabei spezielle Ausrüstung zu benötigen. Interessanterweise zeigt sich auch hier das Potenzial zur Erfassung städtischer Überflutungen (Seibert et al. 2019). Insbesondere die Kategorie „virtuelle Messlatte“ könnte genutzt werden, um den Wasserstand während solcher Ereignisse zu dokumentieren. Es zeigt sich, dass eine erweiterte Funktionalität für urbane Überflutungen in der CrowdWater-App sinnvoll sein könnte. Dennoch erfordert dies einen Dialog zwischen Entwickler:innen, Forscher:innen und Nutzer:innen, um das Interesse und den Bedarf zu evaluieren sowie technische und informative Aspekte zu berücksichtigen.

Foto- und Videodokumentation durch Bürger:innen

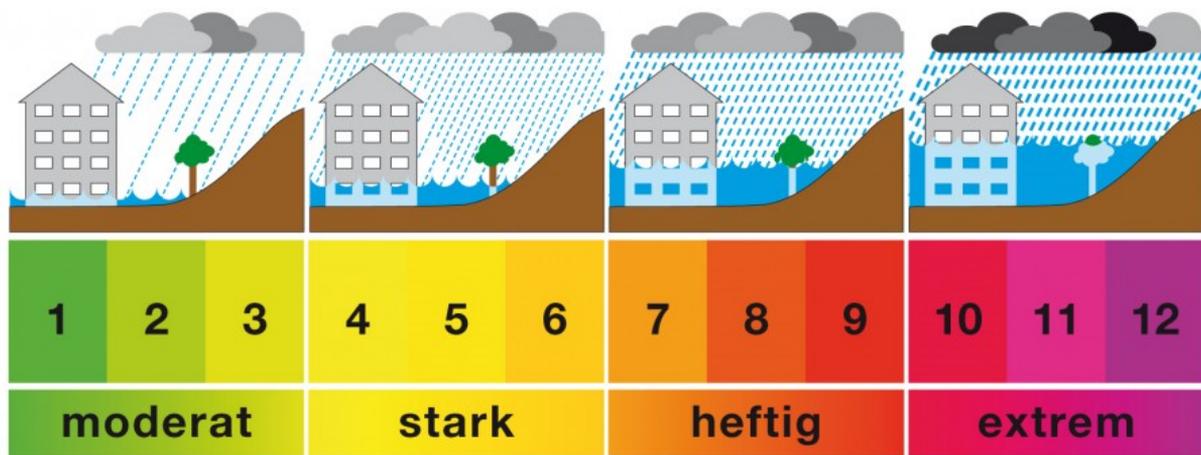
Die Dokumentation von Überflutungen durch Bürger:innen, mithilfe von Fotos und Videos, kann maßgeblich zur nachträglichen Analyse und Aufarbeitung von lokalen Starkregenereignissen und Überflutungen beitragen. An vorderster Stelle steht jedoch die Sicherheit: Bürger:innen sollten sich unter keinen Umständen zum Filmen oder Fotografieren in gefährliche Situationen begeben und stets die Handlungsanweisungen von Behörden und dem Zivilschutzverband beachten.

Durch gezielte Informationskampagnen könnten Gemeinden ihre Bewohner:innen dazu ermutigen, Foto- und Videodokumentationen lokaler Ereignisse an Behörden zu übermitteln. Für diese Beiträge sollte ein einfacher und klarer Meldeweg geschaffen werden. Dies könnte beispielsweise über eine mobile App oder eine Online-Plattform erfolgen, über die eine zentrale Sammlung der Medien möglich ist. Um die Nützlichkeit der gesammelten Medien zu erhöhen, sollte zudem darauf hingewiesen werden, dass Zeitstempel und Standortdaten (durch Aktivieren der entsprechenden Geräteeinstellungen) erfasst werden sollten.

Durch solche Initiativen kann eine Gemeinde nicht nur ein detailliertes Bild über lokale Überflutungssituationen erhalten, sondern auch das Gemeinschaftsgefühl und das Bewusstsein für gemeinschaftliche Verantwortung stärken. Auch der Austausch mit anderen Gemeinden bezüglich Vorgehensweisen und Erfahrungen mit Überflutungen kann dadurch erleichtert werden

Ein Instrument zur Vereinfachung der Kommunikation über Starkregenrisiken in Deutschland ist der 12-stufige Starkregenindex (SRI), der im Merkblatt DWA-M 119 als Instrument zur Risikokommunikation für Starkregen vorgestellt wird. Dieser Index wurde entwickelt, um Regenereignisse in einem Bereich von Wiederkehrzeiten zwischen 1 und 100 Jahren zu charakterisieren (Abbildung 65). Der SRI wurde für die Kommunikation mit verschiedenen Zielgruppen, einschließlich der allgemeinen Bevölkerung, kommunalen Entscheidungsträgern und Stadtplanern entwickelt. Der SRI funktioniert dabei ähnlich wie die Richterskala für Erdbeben oder die Beaufortskala für Wind und unterteilt Starkregen in zwölf Stufen von „moderat“ bis „extrem“. Jede Stufe wird farblich von grün bis violett dargestellt, wodurch sich Ereignisse leichter vergleichen lassen.

Abbildung 65: Starkregenindex (SRI) als Skala zur Einstufung von Niederschlagsereignissen und Kommunikation dieser an die Bevölkerung (Schmitt et al., 2018)



In Deutschland wird der SRI bereits von zahlreichen Kommunen, Städten und Verbänden eingesetzt, wie etwa Nordwasser und Hamburg Wasser. Wie relevant und praktikabel die Methodik des Starkregenindexes tatsächlich ist, wird sich vor allem in der Reaktion auf zukünftige Starkregenereignisse zeigen.

Visuelle Kommunikation von Überflutungsrisiken: Ein Beispiel von Anglian Water

Eine Infografik von Anglian Water dient als Beispiel für die visuelle Kommunikation von unterschiedlichen Arten von Überflutungen und den verantwortlichen Stellen, bei denen diese gemeldet werden sollten (Abbildung 66). Es handelt sich um eine übersichtliche, leicht verständliche Darstellung verschiedener Überflutungsarten, einschließlich „major river flooding“ (fluviales Hochwasser), „minor river or stream flooding“ (Überflutung aus kleineren Flüssen oder Bächen), „sewer flooding“ (Kanalinduzierte Überflutung) und „road flooding“ (Überflutungen der Straßen und Verkehrswege). Für jede Art von Überflutung ist eine einfache Skizze enthalten, die die Art der Überflutung visualisiert. Zudem wird jeweils die Stelle angegeben, bei der die Überflutung gemeldet werden soll, zusammen mit einer Telefonnummer für schnelle Kommunikation.

Auf der Webseite von Anglian Water werden umfangreiche Informationen zu urbanen Überflutungsgefahren und spezifische Anweisungen für Betroffene bereitgestellt. Die Aufgaben des Wasserunternehmens, einschließlich Reinigung der betroffenen Gebiete und Untersuchung nach dem Vorfall, werden deutlich von den Aufgaben der Versicherungsgesellschaften abgegrenzt. Betroffene werden zudem aufgefordert, ihre Gesundheit durch spezifische Maßnahmen wie das gründliche Waschen der Hände zu schützen und ihre Versicherungsgesellschaft für weitere Unterstützung zu kontaktieren.

Abrufbar unter: <https://www.anglianwater.co.uk/services/sewers-and-drains/flooding/>

Abbildung 66: Infografik von Anglian Water bietet klare Anweisungen und Kontaktdaten für Betroffene bei unterschiedlichen Überflutungsarten (abrufbar unter <https://www.anglian-water.co.uk/services/sewers-and-drains/flooding/>)

Different types of flooding and who to contact

Major river flooding
If you spot a river flood you'll need to contact the Environment Agency freephone 0800 807060

Minor river or stream flooding
Get in touch with your local authority who'll be able to help

Sewer flooding
Get in touch with us and we'll do what we can to help

Road flooding
You'll need to speak to your local authority or the Highways Agency for major routes

If flooding has been caused by rainwater then it tends to subside once the rain stops. If it's sewage from a manhole, report it to us at [anglianwater.co.uk/issue](https://www.anglianwater.co.uk/issue), or call 0345 7145 145 and we'll help you.

Land- und forstwirtschaftliche Praktiken können erheblichen Einfluss auf den Abfluss von Regenwasser haben und somit das Risiko von Überflutungen im urbanen Raum beeinflussen, insbesondere im Zusammenhang mit Problemen des Hangwassers. Unangemessene Bewirtschaftungsmethoden in Hanglagen können zu Erosion und Hangrutschungen führen, wobei erodierter Oberboden über Fließwege in städtische Gebiete gelangen und dort erhebliche Schäden verursachen kann. Eine bewusste und optimierte Bewirtschaftungsweise kann helfen, diese Risiken zu minimieren. Dazu können Beratungsangebote und Informationskampagnen für Land- und Forstwirte beitragen, die beispielsweise durch die Landwirtschaftskammern der Bundesländer gefördert werden. Solche Kampagnen können unter anderem Besuche von

Best-Practice-Beispielen, Informationen über Fördermöglichkeiten und den Zugang zu Gefahrenkarten beinhalten.

Fallstudie Feldbach: Erfolgreiche Bewusstseinsbildung und Anpassung der Bewirtschaftungspraktiken zur Erosions- und Überflutungsprävention

Aus Interviews in Feldbach ging hervor, wie ein kooperativer und proaktiver Ansatz in der Zusammenarbeit mit Land- und Forstwirten sowohl die Umwelt als auch die Infrastruktur schützen kann. In dieser Fallstudie hat der Straßenerhaltungsdienst zusammen mit der Landwirtschaftskammer eine Kampagne ins Leben gerufen, um Landwirte über die Auswirkungen ungünstiger Anbaupraktiken aufzuklären. Diese Kampagne zeigte Erfolge, insbesondere bei jüngeren Landwirten, die laut Aussage der Interviewpartner aufgrund ihrer Ausbildung ein besseres Verständnis für die Auswirkungen von Erosion und Bodenbewirtschaftung hatten.

Der Straßenerhaltungsdienst und die Landwirtschaftskammer identifizierten „Hotspots“ in Problemgebieten und führten vor Ort Veranstaltungen durch, um Landwirte zu informieren und Alternativen für ihre Anbaupraktiken vorzustellen. Dazu gehörten unter anderem verschiedene Methoden zur Bodenauflockerung, alternative Saatgutarten und andere Bewirtschaftungspraktiken.

Die Verbesserung der Land- und Forstwirtschaftspraktiken hat direkte Vorteile für die Straßeninfrastruktur. Nach einem Starkregenereignis im Jahr 2009 wurden erhebliche Schäden an Entwässerungssystemen aufgrund von Erosion und Schlammbildung gemeldet, die in einigen Fällen in Schadenshöhen von Millionen Euro gingen. Seit der Kampagne sei laut Straßenerhaltungsdienst die Lage bereits wesentlich entschärft.

Checklisten

Die folgenden Checklisten und Maßnahmen stammen aus einem Leitfaden von MUST Städtebau (2023) zum Thema „Wasser-Sensibel Bauen“. Einzelne Begriffe wurden für den österreichischen Raum angepasst. Diese Checklisten mit Maßnahmenvorschlägen dienen als Vorlage um zu bewerten, ob und in welchem Ausmaß ein Gebäude oder Grundstück verschiedenen wasserbezogenen Risiken ausgesetzt ist. Darüber hinaus bieten die Listen eine Reihe Verhaltenstipps, um potenzielle Schäden zu minimieren und sich effektiv auf Extremwetterereignisse vorzubereiten.

Es geht hierbei nicht nur um bauliche Aspekte, sondern auch um bewusstes Handeln und Reagieren vor, während und nach solchen Ereignissen. Die rechtzeitige Umsetzung präventiver Maßnahmen kann Schäden reduzieren und in einigen Fällen sogar verhindern.

Checkliste - Ist mein Gebäude durch oberirdische Starkregen gefährdet?

Prüfpunkte Starkregenvorsorge	Ja	Nein
Oberflächlich abfließendes Regenwasser kann von der Straße oder von Nachbargrundstücken bis an das Gebäude gelangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Grundstück bzw. Gebäude liegt in einer Geländesenke oder unterhalb einer abschüssigen Straße oder eines Hanges.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorherige Schadensereignisse bei Starkregen sind vor Ort bekannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wasser kann über einen äußeren Kellerabgang oder ebenerdige Lichtschächte und Kellerfenster eindringen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Gebäude verfügt über einen ebenerdigen Eingang oder eine Terrasse, wo Regenwasser oberflächlich ins Erdgeschoss eindringen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Grundstück liegt in der Nähe eines Gewässers (z. B. eines Baches, Teiches oder Grabens) und kann dieses bei Hochwasser bis ans Gebäude gelangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gehwege, Hofzufahrten und Stellplätze haben ein Gefälle zum Haus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regenwasser kann von der Straße oder vom Grundstück in die Tiefgarage fließen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(angepasst v. MUST Städtebau, 2023)

Was kann ich tun, um die Schadensrisiken bei Starkregen zu mindern?

Maßnahmen Starkregenvorsorge
Prüfung von vorherigen Schadensfällen vor Ort, den betroffenen Bereichen und den dabei erreichten Wasserhöhen.
Berücksichtigung des Zu- und Abflusses von Regenwasser an der Oberfläche bei der Wahl des Standortes für das Gebäude.
Gestaltung des Geländes vom Gebäude abfallend und Erhöhung von Einfahrten und Zugangsbereichen.
Gezielte Ableitung des Oberflächenwassers auf dem Grundstück zur Versickerung in Bodensenken oder in Mulden.
Sicherung von Zufahrten und Wegen zu tief liegenden Grundstücksflächen zur Straße hin mit Bodenschwellen.

Maßnahmen Starkregenvorsorge

Ausstattung von ebenerdigen Kellertreppen, Lichtschächten, Fenstern und Gebäudezugängen mit Aufkantungungen.

Aufrechterhaltung eines ausreichenden Abstands zwischen Lichtschachtsockel und Kellerfenstern.

Verhinderung des Eintritts von Wasser durch Gebäudeöffnungen mithilfe mobiler oder fest installierter Dichtungssysteme.

Sicherung von Heizöltanks gegen Aufschwimmen, Verwendung von für den Lastfall „Wasserdruck von außen“ geeigneten Tanks.

Verzicht auf hochwertige Nutzungen in gefährdeten Räumen.

Unterbringung sensibler Nutzungen in den Obergeschossen.

Verlegung der im Keller installierten Stromleitungen hoch über dem Fußboden.

Verwendung von nässebeständigen Materialien und Versiegelungen in gefährdeten Bereichen.

(MUST Städtebau, 2023)

Rückstau aus dem Kanal: Ist mein Gebäude gefährdet?

Prüfpunkte Rückstau-Vorsorge	Ja	Nein
Ablaufstellen (z. B. Waschbecken, Bodenabläufe, Toiletten) im Haus befinden sich unterhalb der Rückstauenebene (üblicherweise die Gehsteigoberkante).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Waschmaschinen, Heizungen oder sonstige Sanitäreinrichtungen sind unterhalb der Rückstauenebene angeschlossen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
An den Grund- oder Abwasserleitungen sind Drainagen angeschlossen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Am unteren Punkt von außen liegenden Kellertreppen oder Tiefgarageneinfahrten befindet sich ein Bodenablauf, der an den Kanal angeschlossen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dachflächen oder andere Entwässerungseinrichtungen oberhalb der Rückstauenebene entwässern über eine Rückstausicherung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Gebäude verfügt über Reinigungsöffnungen und Schächte unterhalb der Rückstauenebene.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(MUST Städtebau, 2023)

Was kann ich tun, um die Schadensrisiken bei Rückstau zu mindern?

Maßnahmen Rückstau-Vorsorge

Prüfung, ob ein aktueller Entwässerungsplan mit eingezeichneten Ablaufstellen und Rückstausicherungen vorliegt.

Entscheidung, ob Entwässerungseinrichtungen unterhalb der Rückstauenebene notwendig sind oder ob auf diese verzichtet werden kann.

Sicherstellung, dass alle Abläufe unterhalb der Rückstauenebene gegen Rückstau aus dem Kanal gesichert sind.

Verwendung von Rückstauverschlüssen bei geringwertigen Nutzungen und Hebeanlagen bei hochwertigen Nutzungen der gefährdeten Räume.

Prüfung, ob die Rückstausicherung richtig eingebaut und funktionstüchtig ist.

Trennung der Entwässerungsleitungen ober- und unterhalb der Rückstauenebene, Anordnung der Rückstausicherung so, dass alle Abläufe oberhalb der Rückstauenebene ungehindert zum Kanal entwässern können.

Prüfung, ob die Rückstauverschlüsse so eingebaut sind, dass ein ungehindertes Abfließen des Regenwassers von den Dachflächen möglich ist.

Dokumentation des Einbaus der Rückstausicherungen, um spätere Wartungen, Reparaturen und Aufrüstungen zu vereinfachen.

Regelmäßige Wartung des Rückstauschutzes durch einen Fachbetrieb entsprechend den Herstellerangaben.

Sicherung von Heizöltanks gegen Aufschwimmen, Verwendung von Tanks, die für den Lastfall „Wasserdruck von außen“ geeignet sind.

Prüfung, ob in den gefährdeten Bereichen auf hochwertige Nutzungen verzichtet werden kann.

Unterbringung sensibler Anlagen in den Obergeschossen.

Verwendung von nässebeständigen Materialien und Versiegelungen in gefährdeten Bereichen.

Sicherung von Reinigungsöffnungen und Schächten über eine Hebeanlage.

Verlegung der im Keller installierten Leitungen und Steckdosen hoch über dem Fußboden.

(MUST Städtebau, 2023)

Checkliste - Sickerwasser: Ist mein Gebäude gefährdet?

Prüfpunkte	Ja	Nein
Baugrund besteht aus bindigen (z. B. lehmhaltigen) Bodenarten oder aufgeschütteten Böden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grundstück oder Gebäude liegen an oder unterhalb eines Hangs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gebäude befindet sich in der Nähe eines Gewässers (z. B. eines Baches).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leerrohre für Telekommunikations-, Gas- oder Wasserleitungen werden durch die Kellerwand geführt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In unmittelbarer Nähe zum Gebäude befindet sich eine Anlage zur Regenwasserversickerung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorherige Schadensereignisse durch Sicker- und Stauwasser sind vor Ort bekannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(MUST Städtebau, 2023)

Checkliste - Was kann ich tun, um die Schadensrisiken bei Sickerwasser zu mindern?

Maßnahmen Sickerwasser-Vorsorge
Kamerabefahrung der privaten Hausanschlussleitung (Abwasserrohre) durch einen Sanitärbetrieb etwa alle 30 Jahre, um Undichtigkeiten zu identifizieren.
Durchführung von Baugrunduntersuchungen durch einen Sachverständigen zur Ermittlung der Bodendurchlässigkeit und des Bemessungswasserstands.
Prüfung, ob vorherige Schadensereignisse auf dem Grundstück bekannt sind und/oder ob in der Vergangenheit Stauwasser häufig und länger auftrat.
Regelmäßige Überprüfung, ob erdberührte Wände und Sohlen feucht sind, und falls ja, ob die Feuchtigkeit überall oder lediglich im Bereich von Rohrdurchführungen auftritt.
Überprüfung, für welchen Lastfall die vorhandenen Sohlen- und Kellerwandabdichtungen ausgeführt wurden.
Bei defekter Außenabdichtung: Ausschachtung des unteren Bereichs des Hauses und Erneuerung der Abdichtung oder Prüfung der Möglichkeiten einer Innenabdichtung.
Bei gut sickerfähigen Böden: Mindestabdichtung auf Kellerebene durch einen einfachen Bitumenanstrich der Wände, Abdichtung gegen zeitweise aufstauendes Sickerwasser durch eine Schwarzabdichtung, Abdichtung gegen drückendes Wasser durch eine Weiße Wanne.

Maßnahmen Sickerwasser-Vorsorge

Bei Neubauten: Annahme des Lastfalls aufstauendes Sickerwasser, Anwendung mindestens einer zweilagigen Schwarzabdichtung mit Gewebeeinlage.

Verwendung von hochwertigen Rohrdurchführungen mit Dichtungen (z. B. Komplettsysteme aus Dichtungseinsatz und Futterrohr/Hüllrohr).

Ergänzung der Gebäudeabdichtung durch eine zusätzliche Drainage in Hanglagen.

(MUST Städtebau, 2023)

Vorkehrungen gegen Sickerwasser (MUST Städtebau, 2023)

- Hochwertige Sachwerte und wichtige Dokumente sollten nicht in überflutunggefährdeten Räumen gelagert werden.
- Versicherungsschutz sollte geprüft werden. Elementarschadenversicherungen decken Schäden durch oberirdischen Starkregen und teilweise Rückstauschäden ab, aber nicht Grund- oder Sickerwasserschäden.
- Regelmäßige Informationen über aktuelle Wetter- und Hochwassermeldungen sind wichtig.
- Dachrinnen und Fallrohre sollten freigehalten werden, sodass Niederschläge abfließen und kein gestautes Wasser Schäden am Haus verursacht.
- Mülltonnen und Wertstoffbehälter sollten gesichert werden, um ein Wegschwemmen zu verhindern.
- Stoffe, die gesundheits-, wasser- und umweltgefährdend sind (wie Waschmittel, Altöle, Farben), sollten an einem sicheren und trockenen Ort gelagert werden.
- Abdriftbare Gegenstände sollten nicht in der Nähe von Gewässern oder Gräben abgestellt werden.

Verhalten bei Überflutung (MUST Städtebau, 2023)

- Bei Bedarf sollten gefährdete Bereiche mit Sandsäcken an Türen und Fenstern gesichert werden.
- Autos und Wertgegenstände sollten möglichst aus der Gefahrenzone gebracht werden.
- In gefährdeten Räumen sollten Strom und Heizungen abgeschaltet werden. Die Gefahr eines Stromschlags besteht bereits bei Kondenswasser.

- Überflutete Kellerräume oder Tiefgaragen sollten nicht betreten werden (Gefahr durch elektrische Anlagen).
- Bei ausgelaufenen Schadstoffen sollte die Feuerwehr informiert und nicht geraucht werden.
- Die Rettung von Menschen hat Vorrang vor der Erhaltung von Sachwerten, jedoch sollten keine Rettungen ohne Eigenschutz unternommen werden.
- Aktuelle Wetter- und Hochwassermeldungen sollten weiterhin verfolgt werden.

Verhalten nach einer Überflutung (MUST Städtebau, 2023)

- Zur Vermeidung von Verletzungen und Keimbefall sollten Gummistiefel und -handschuhe getragen werden.
- Für die Versicherung sollte die Überflutung dokumentiert werden (Schäden fotografieren und auflisten, erreichten Wasserstand markieren).
- Das Wasser sollte abgepumpt und die betroffenen Räume entfeuchtet werden.
- Reparaturen sollten in Abstimmung mit der Versicherung von einem Fachbetrieb durchgeführt werden.
- Die von der Überflutung betroffenen Bereiche sollten möglichst schnell getrocknet werden, um Bauschäden, Schimmel und Schädlingsbefall zu vermeiden.
- Fußbodenbeläge und Verkleidungen sollten entfernt oder geöffnet werden zur Kontrolle.
- Schäden am Gebäude (insb. an der Statik), an Heizöltanks, an Elektroverteilern und Gasheizungen sollten von Fachleuten geprüft werden.
- Bei einem Rückstau aus dem Kanal sollte eine Wartung der Rückstausicherung erfolgen.
- Elektrische Anlagen in von der Überflutung betroffenen Räumen sollten vor Inbetriebnahme geprüft werden.

12 Fallstudien

Die Auswahl der Gemeinden Feldbach und Kufstein als Fallstudien für dieses Projekt erfolgte nach sorgfältiger Überlegung und Absprache mit den Fördergebern. Die Gemeinde Feldbach in der Steiermark wurde aufgrund von inhaltlichen Voraussetzungen ausgewählt, die durch die Projektpartner festgelegt wurden. Diese basierten insbesondere auf der Verfügbarkeit von Daten und der Relevanz in Bezug auf Überflutungsrisiken.

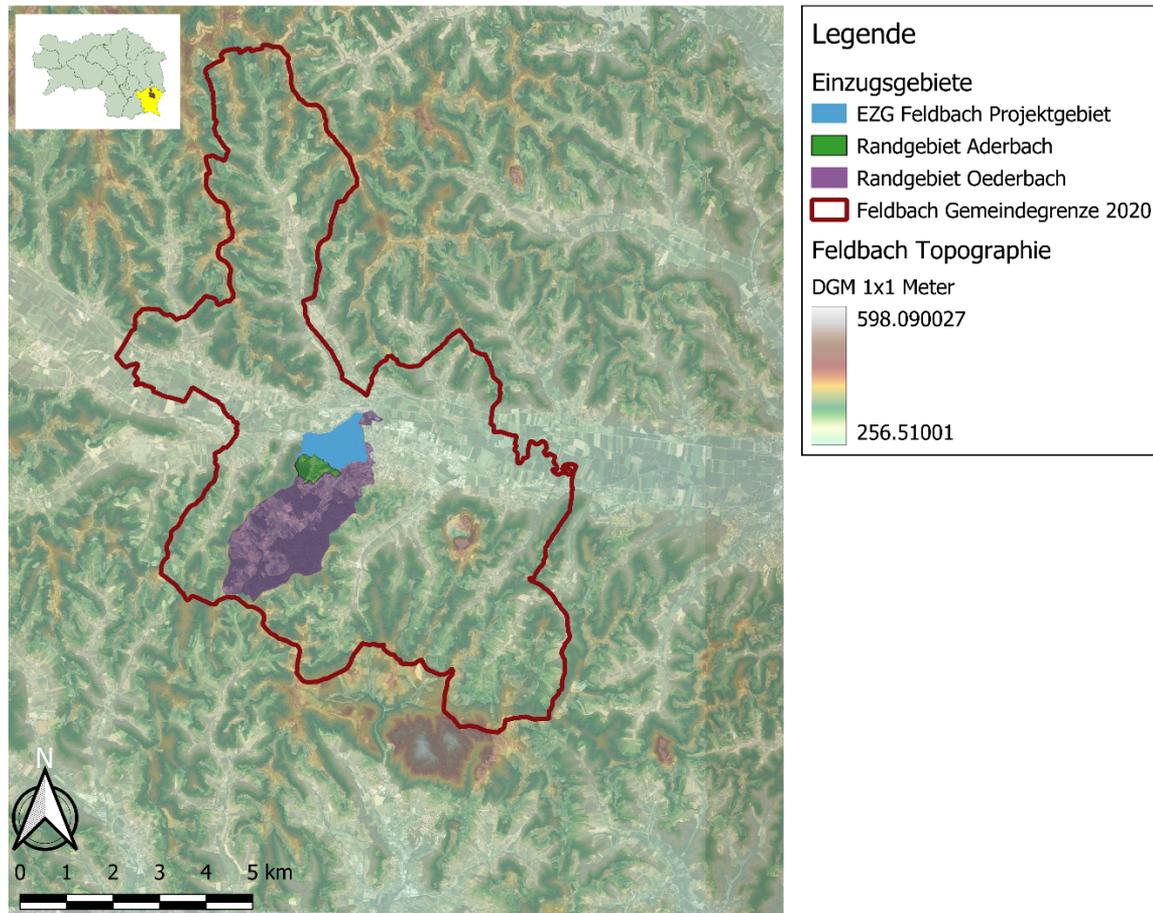
Im Laufe des Projekts wurde Kontakt zur Gemeinde Kufstein in Tirol aufgenommen und diese als zusätzliche Mini-Fallstudie integriert. Mehrere Faktoren trugen zur Auswahl von Kufstein bei. Zum einen bietet die Gemeinde eine vergleichbare Größe zu Feldbach, wodurch sie als geeigneter Vergleichspunkt dient. Darüber hinaus präsentieren sich in Kufstein unterschiedliche Rahmenbedingungen, die eine umfangreiche Datenerhebung und Analyse zulassen. Bestehende Kontakte zur Gemeinde erleichterten zudem die Zusammenarbeit. Nicht zuletzt bildete Kufstein aufgrund von starkregenbedingten Überflutungen und dem Interesse der Gemeinde, diese Ereignisse im Rahmen des Projekts aufzuarbeiten, einen relevanten und aktuellen Kontext für die Arbeit.

12.1 Fallstudie Feldbach

12.1.1 Beschreibung des Einzugsgebiets (EZG)

Die Fallstudie Feldbach liegt im Süd-Osten der Steiermark, ist Bezirkshauptstadt des Bezirkes Südoststeiermark und hat mit Stand 1. Jänner 2023 13.421 Einwohner (Abbildung 67). Die Gemeinde erfüllt die Voraussetzungen hinsichtlich der Problemstellung sowie der Gemeindegröße, da diese sowohl im Jahr 2016 als auch im Jahr 2020 von Starkregenereignissen mit Überflutungsfolge betroffen war. Die Stadtgemeinde liegt im Tal des Fließgewässers Raab, welches nach Norden und Süden von Hanglagen begrenzt wird. Innerhalb des Gemeindegebiets münden zahlreiche kleinere bis mittlere Nebenzubringer, wie der Aderbach oder der Oederbach, in die Raab und stellen damit potentielle Gefahrenstellen für Überflutungen dar. Das Kerngebiet der Stadtgemeinde ist dabei südlich der Raab situiert und wurde mit Erweiterung von angrenzenden Randgebieten daher vom Projektteam als Untersuchungsgebiet ausgewählt.

Abbildung 67: Geographische Lage sowie Abgrenzung des Untersuchungsgebiete für die Fallstudie Feldbach in der Südost Steiermark (Projektgebiet: blau; Randgebiet Aderbach: grün; Randgebiet Oederbach: violett)



12.1.2 Datengrundlage

Grundsätzlich lässt sich die notwendige Datengrundlage zur Beantwortung der projektrelevanten Fragestellung in zwei Überkategorien einteilen. Einmal die Datengrundlage für alle quantitativen Analysen insbesondere des Modellaufbaues, der Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion negativer Auswirkungen hinsichtlich außergewöhnlicher Ereignisse, sowie der quantitativen Bewertung bezüglich der Störfälle und nicht geplanten Betriebszustände. Zweitere Kategorie sind die Daten zur Durchführung der qualitativen Analysen, welche vorwiegend aus den Interviews mit Expert:innen aufbauen, um ein besseres Systemverständnis zu erhalten.

12.1.2.1 Datengrundlage für die quantitativen Analysen

Das Hauptaugenmerk in der quantitativen Betrachtung liegt darauf außergewöhnliche Ereignisse jenseits der Bemessungsgrößen so realistisch wie möglich abzubilden. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Modelle benötigt, um zum einen eine geeignete Methode zur Bewertung der Anlagen zu entwickeln und zum anderen die verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich der Wirksamkeit bewerten zu können. Wie in Kapitel 7.4.7 beschreiben, wird für die quantitative Analyse des gesamten urbanen Entwässerungssystems vor allem die integrierte 1D-2D Modellierung empfohlen. Die Datengrundlage zur Erstellung eines solchen Modells kann eingeteilt werden in drei Gruppen (Reinstaller et al., 2022): I) Inputdaten für die Modellerstellung (z. B. ein hoch-aufgelöstes digitale Geländemodell); II) Modelldaten zum Zuweisen der Modellparameter wie Rauigkeit, Interzeptionsverluste, Infiltrationsparameter usw.; III) Kalibrierungs- und Validierungsdaten. In nachfolgender Tabelle 76 sind alle verwendeten Daten zur Modellerstellung dargestellt. Zusätzlich werden die Daten auch qualitativ in 3 Klassen (erwünscht, erforderlich, zwingend erforderlich) eingeteilt, um einen Eindruck der Notwendigkeit und der Qualität zu erhalten.

Tabelle 76: Datenerfordernisse für den Aufbau eines integrierten 1D-2D Modells in Feldbach (Kapitel 7)

Daten	Beschreibung	Quelle	Klasse
Orthophoto	Luftbild des EZG (mittels WMS Services in unterschiedlicher GIS Produkte einbindbar)	Open Data Plattformen wie Open Street Map, base-map, google satelite)	erforderlich
Digitaler Grundstückskataster (DKM)	Darstellung der Grundstücksgrenzen im EZG (mittels WMS Services des Landes Steiermark in unterschiedlicher GIS Produkte einbindbar)	Land Steiermark GIS Plattform oder o-pengoverment Plattform	erforderlich
Digitales Leitungsinformationssystem (LIS)	Digitalisierung aller wesentlichen Elemente der Misch- und Regenwasserkanalisation	Gemeinde Feldbach	zwingend erforderlich
Digitales Geländemodell (DGM)	Digitale Darstellung der Topografie zur Modellierung des Oberflächenabflusses mit mind. Auflösung von 1x1m	Land Steiermark	Zwingend erforderlich
Digitales Oberflächenmodell (DOM)	Zum Identifizieren von Mikrostrukturen wie Wänden und Bordsteinen (mind. Auflösung 1x1m)	Land Steiermark	erforderlich
Landbedeckung	Zur Bestimmung der Landbedeckungsklassen und anschließender Zuweisung der Nutzungsabhängigen Modellparameter wie Rauigkeiten	Land Steiermark und der Land-Information System Austria Plattform LISA, CORINE Landcover	Zwingend erforderlich
Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung	Standort und Typ von umgesetzten dezentralen Anlagen im EZG	Gemeinde Feldbach und Wasserinformationssystem Austria (WISA)	erforderlich
Niederschlagsdaten	Um reale Starkregenereignisse simulieren zu können benötigt es Messdaten zum Niederschlag mit einer zeitlichen Auflösung von mind. 10min	GeoSphere Austria, WegenerNet	Zwingend erforderlich
Bodeneigenschaften	Art und Eigenschaften der Böden zur realistischen Abbildung der Versickerung	eBod digitale Bodenkarte	erforderlich

12.1.2.2 Qualitative Datengrundlage der Fallstudie Feldbach

Für die qualitativen Untersuchungen wurden nicht oder nur schwer quantifizierbare Informationen über das Anlagen- und Systemverhalten benötigt. Dabei wurden verschiedene Datengrundlagen genutzt, von informellen Gesprächen und strukturierten Interviews, bis hin Bildern und Videos. Ein besonderer Fokus lag dabei auf dem Erfassen von divergierenden Ansichten und Expertenmeinungen, um ein umfassendes Bild des Untersuchungsgegenstandes zu gewinnen. Die Tabelle 77 gibt einen Überblick über die Datenerfordernisse die für die qualitativen Untersuchungen definiert wurden, unterteilt in zwei Klassen: I) zwingend erforderlich; und II) erwünscht.

Tabelle 77: Datenerfordernisse für die qualitativen Untersuchungen

Daten	Beschreibung	Quelle	Klasse
Kontaktdaten	Kontaktdaten der Expert:innen und wichtigen Akteure bezüglich der örtlichen NWB	Primäre Kontaktperson der Fallstudie; Internetseite der Gemeinde	Zwingend erforderlich
Dokumentation NWB Anlagen	Dokumentation der vorhandenen (dezentralen) NWB Anlagen	Gemeinde, Grundbuch, Indirekteinleiterverträge, Ziviltechniker-Büro, Befragungen	Zwingend erforderlich
Gebäudeinformation	Gebäude und Wohnungsregister	Gemeinde	Erwünscht
Einsatzprotokolle	Einsatzprotokolle der freiwilligen Feuerwehr bezüglich vergangener Überflutungsereignisse	Vertreter der freiwilligen Feuerwehr	Zwingend erforderlich
Berichte zu Sanierungsmaßnahmen	Durchgeführte und geplante Sanierungsmaßnahmen bei NWB-Anlagen	Ziviltechniker-Büro, Gemeinde	Erwünscht
Störfallberichte und Betreibertagebücher	Störfallberichte und Betreibertagebücher, bestehende Stör- und Notfallpläne (falls vorhanden)	Gemeinde, Kanalbetriebe	Erwünscht

Im Laufe des Projekts wurden einige der Datenerfordernisse bezüglich der qualitativen Untersuchungen erfolgreich eingeholt. Mithilfe der primären Kontaktperson der Gemeinde und während der ersten zwei Workshops/Veranstaltungen konnten wertvolle Kontakte geknüpft

werden, um die nötigen Informationen zu sammeln. Die Beteiligung der eingeladenen Akteure an diesen Veranstaltungen war erfreulich und hat unseren Erwartungen entsprochen.

In Bezug auf die Dokumentation der NWB Anlagen, speziell der dezentralen Anlagen im Untersuchungsgebiet, wurden einige prominente Beispiele dezentraler Rückhalte- und Versickerungsmaßnahmen vorgelegt. Dennoch deuteten unsere Geländebegehungen und Satellitenbilder darauf hin, dass vermutlich noch weitere dezentrale Anlagen existieren.

Seit 2011 ist in der Gemeinde Feldbach bei Neubauten und Umbau von Bestandsgebäuden eine Retention für Regenwasser vorgeschrieben. Da die Böden im Gemeindegebiet schlecht Sickerfähig sind, wird die Retention über einen Retentionsschacht mit Drossel zum Kanalnetz umgesetzt. Die Schächte werden auf Niederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrzeit von 30 Jahren bemessen. Um herauszufinden, wie viele der im Untersuchungsgebiet befindlichen Gebäude von der Vorgabe betroffen sind, Niederschlagswasser am Grundstück zurückzuhalten, wurde bei der Gemeinde entsprechend nachgefragt. Auf Grundlage des Gebäude- und Wohnungsregister konnte der Anteil der Gebäude geschätzt werden, die von einer solchen Vorgabe betroffen sind. Der Anteil ist mit fünf identifizierten Retentionsschächten sehr gering und in Bezug auf die Auswirkungen auf Überflutungsereignisse vernachlässigbar.

Das Projektteam erhielt Einsatzprotokolle der freiwilligen Feuerwehr für ein spezielles Starkregenereignis mit Überflutungsfolgen in einer Excel-Tabelle. Diese Daten bildeten die Grundlage für unsere Voruntersuchungen im Untersuchungsgebiet und einer ersten Validierung des integrierten 1D-2D Modells.

Für die abschließenden Untersuchungen bezüglich der Stör- und Notfallplanung blieben einige Datenerfordernisse unerfüllt. Insbesondere konnten weder Störfallberichte und Betreiberaktenbücher noch Stör- und Notfallpläne ausfindig gemacht werden.

12.1.3 Quantitative Analysen in Feldbach

Im Folgenden Kapitel wird erläutert wie das integrierte 1D-2D Modell in Feldbach aufgebaut wurde. Dies beinhaltet Voruntersuchung mit Hot Spot Analyse im Einzugsgebiet (EZG) und die Erstellung des hydrodynamischen 2D Oberflächenabflussmodells sowie 1D Kanalmodells. Ebenso wird auf die Kopplung der beiden Modelle eingegangen.

12.1.3.1 Modellierung

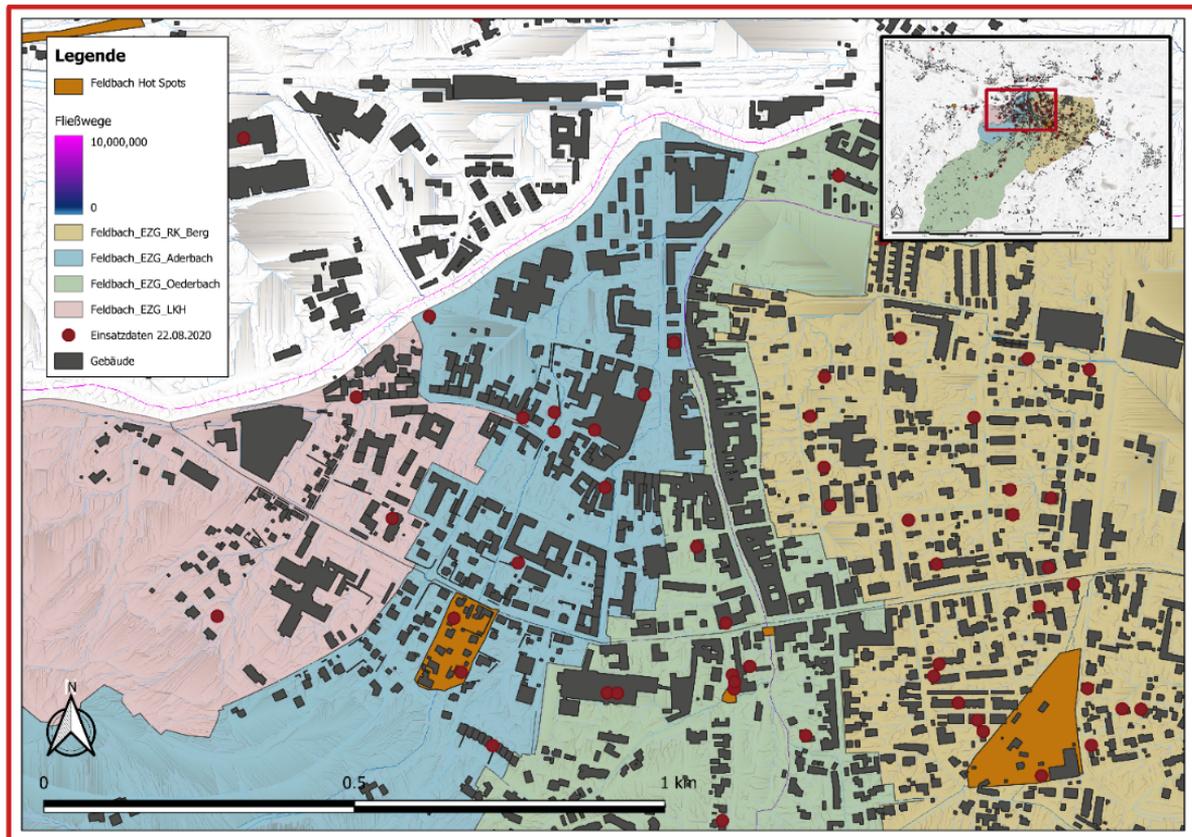
Voruntersuchung: In einem ersten Schritt wurde das gesamte Projektgebiet südlich der Raab auf neuralgisch wichtige Standorte bezüglich urbaner Überflutungen untersucht (Hot Spot Analyse (Reinstaller & Muschalla, 2021)). Dabei wird aus hydrologischer und hydraulischer Sicht neben dem Oberflächenabfluss basierend auf der rein topografischen Fließweganalyse (GIS basierte Fließweganalyse siehe Kapitel 7.4.2) auch die kleinen Nebenzubringer der Raab berücksichtigt. Dabei stellt insbesondere das EZG des Aderbaches westlich des Stadtzentrums sowie das EZG des Oederbach südlich des Stadtzentrums eine mögliche Überflutungsgefahr dar. Dies konnte auch aus Befragungen und einer Ortsbegehung bestätigt werden). Dabei wurden vor allem die Einlaufbauwerke welche die Fließgewässer in das städtische Mischsystem einleiten als Problemstellen identifiziert (Abbildung 68).

Abbildung 68: Fotos der Einlaufbauwerke der beiden Stadtbäche Aderbach (links) und Oederbach (rechts), die im Zuge der Ortsbegehung der Fallstudie aufgenommen wurden.



Ebenso wurden die dokumentierten Schadensmeldungen des Starkniederschlagsereignisses am 22.08.2020 basierend auf Einsatzprotokollen der Feuerwehr in der Analyse berücksichtigt. Zusätzlich wurden auch Befragungen der Teilnehmer am Workshop diesbezüglich durchgeführt und digitalisiert. Daraus konnten vier Hauptuntersuchungsgebiete identifiziert werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**): I) EZG Landeskrankenhaus (LKH); II) EZG Aderbach; III) EZG Oederbach; IV) EZG Rot-Kreuz-Berg. Wobei das EZG Rot-Kreuz-Berg nur für die Hot-Spot Analyse verwendet wurde. Der östlich vom Stadtzentrum gelegene Mischwasserüberlauf bildet dabei die östliche Grenze des Untersuchungsgebiets.

Abbildung 69: Definition der vier projektrelevanten Einzugsgebiete in der Stadt Feldbach im Zuge der Hot Spot Analyse (Rot: EZG LKH; Blau: EZG Aderbach; Grün: EZG Oederbach; Gelb: EZG Rot-Kreuz-Berg)

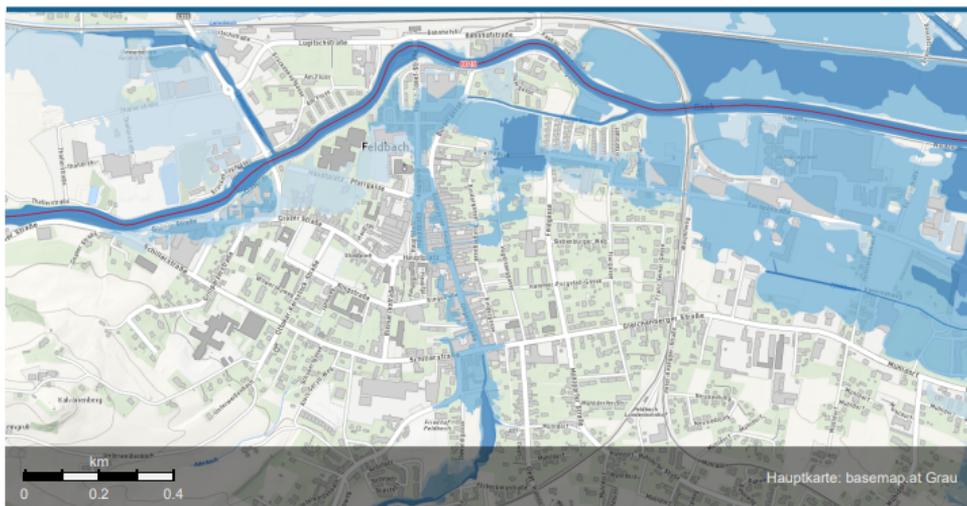


2D-Modellierung: Aufbauend auf den Voruntersuchungen wurde zunächst ein hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell aufgebaut. Das Modell beschränkt sich auf das Kerngebiet des Projektgebietes, da an dieser Stelle die Anzahl an gefährdeten Infrastrukturen als auch die Besiedlungsdichte am höchsten ist. Als äußere Abgrenzung des mit der D8 Methode generierten Untersuchungsgebietes wurden immer die Grundstücksgrenzen aus dem digitalen Grundstückeraster genutzt, da ansonsten teilweise Grundstücke oder Gebäude an den Randzonen nicht vollständig berücksichtigt wären. Zusätzlich wurden basierend auf den Gebäudedaten sowie einer Analyse der Luftbilder und des Digitalen Oberflächen Modells (DOM) begonnen die Hindernisse (z. B. Gartenmauer), Durchlässe und Bordsteinkanten im betrachteten Projektgebiet einzuarbeiten.

Im Zuge der Voruntersuchung wurde ebenfalls festgestellt, dass die Gefährdung durch den Oederbach bereits vielfach im Zuge der Gefahrenzonenausweisung der EU Hochwasserrahmenrichtlinie (EC, 2007) behandelt wurde. Das Aderbach EZG aufgrund der durchschnittlich geringen Durchflussraten jedoch dort nicht auftaucht (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht ge-**

funden werden.) Jedoch zeigen die Ergebnisse der Voruntersuchung einen dringenden Bedarf dieses EZG bezüglich urbaner Überflutungen zu untersuchen. Dasselbe gilt für das Rot-Kreuz-Berg EZG, welches eine reine pluviale Überflutungsbetrachtung (Kanal, Hang und Oberflächenabfluss) erfordert. Dieser Aspekt verdeutlicht nochmals die Notwendigkeit einer kombinierten Betrachtung von pluvialen (Hangwasser, Kanalüberstau, Oberflächenabfluss) und fluvialen Überflutungen (aus dem Fließgewässer) im urbanen Raum. Aus den Voruntersuchungen geht auch hervor, dass Betriebsstörungen und außergewöhnliche Ereignisse wie erhöhte Bodenerosion im Projektgebiet eine bedeutende Rolle spielen. Diese haben in der Vergangenheit vermehrt zur Verklausung von Einlaufbauwerken geführt und dadurch Überflutungen ausgelöst. Dies bestätigt das Bestreben einer Störfallbetrachtung bereits in der Planung der Anlagen zu berücksichtigen.

Abbildung 70: Gefahrenkarte bezüglich der Überflutungsflächen geringer, mittlerer und hoher Wahrscheinlichkeit für das Projektgebiet der Fallstudie Feldbach (Quelle: Wasser Information System WISA)



Gefahrenkarte - Überflutungsflächen

Die Karte stellt die räumliche Ausdehnung der Überflutung auf Basis unterschiedlicher Hochwasserszenarien dar. Diese basieren auf Simulationen unterschiedlicher Hochwasserabflusswerte und Hochwassercharakteristika. In der Karte sind drei Szenarien dargestellt, die jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit verbunden sind. Neben Hochwasser-Ereignissen mit einer hohen und mittleren Wahrscheinlichkeit, die vergleichsweise häufiger auftreten, sind auch Extremereignisse dargestellt, die bestehende Schutzanlagen überschreiten und zu Versagen von Schutzanlagen führen können.

Koordinaten:
46.95267° N
15.89131° E

Maßstab:
1 : 14.000

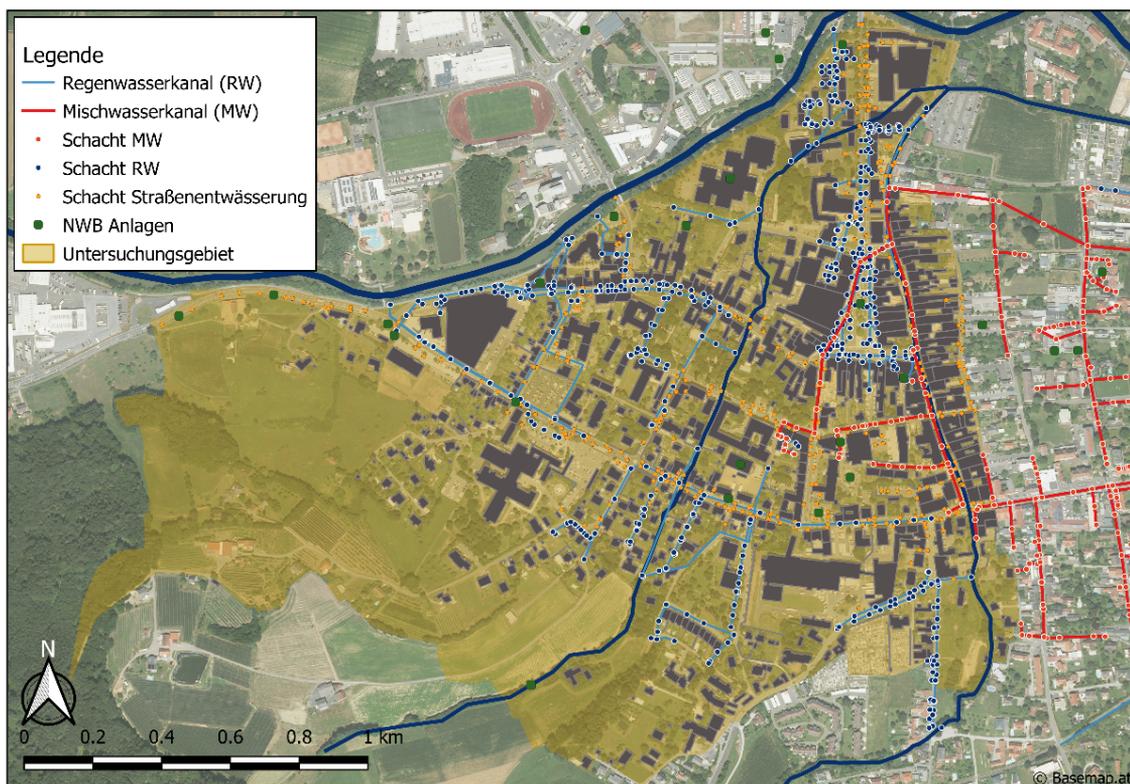


LEGENDE

Gefahrenkarte - Überflutungsflächen		
Ausmaß der Überflutung der Szenarien nach Wiederkehrintervall		
 hohe Wahrscheinlichkeit	 mittlere Wahrscheinlichkeit	 geringe Wahrscheinlichkeit
 Gewässerstrecken innerhalb eines APSFR	 Hauptgewässer	 Verwaltungsgrenzen

Hydrodynamisches 1D Kanalnetzmodell: Im Laufe des Projektes wurde von der Gemeinde Feldbach das bestehende Leitungsinformationssystem (LIS) für die Schmutzkanalisation mit dem Mischsystem sowie der Regenwasserkanalisation erweitert und zur Verfügung gestellt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ein solches System ist auch zwingend erforderlich, um die Untersuchungen und Analysen durchzuführen zu können (Tabelle 76). Das bestehende LIS wurde im Anschluss noch mit den Straßeneinläufen mittels einer Orthophoto Analyse sowie Google Street View erweitert um ein noch genaueres Systemverhalten zu erhalten. Basierend auf diesen Daten konnte ein hydrodynamisches Kanalnetzmodell mit der offen verfügbaren Modell Stormwater Management Model SWMM 5.2 erstellt werden (Rossman and Simon, 2022).

Abbildung 71: Leitungsinformationssystem für das Untersuchungsgebiet innerhalb der Gemeinde Feldbach zur Erstellung eines hydrodynamischen 1D Kanalnetzmodell



Hydrologische Modellierung

Für die Erstellung des hydrologischen Modells wurde das Untersuchungsgebiet räumlich diskretisiert. Wobei dieselbe räumliche Aufteilung verwendet wurde wie im nachfolgenden 1D-2D Modell (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei werden hexagonale Zellen generiert, welche an den Gebäudekanten, Straßenbereichen, und Bereichen von

offenem Fließgewässer verfeinert wurden. Jede dieser Zellen wird in Abhängigkeit der rasterbasierten Landbedeckungs- und Bodendaten alle notwendigen hydrologischen Parameter wie Rauigkeit, Verlustgrößen, und Infiltrationsparameter zugewiesen (Tabelle 78). Als Infiltrationsansatz wird jener von Green-Ampt (Rossman & Simon, 2022) verwendet und der Bodentyp kann im Untersuchungsgebiet als lehmig bewertet werden. Dies geht aus den eBod-Daten sowie aus den Interviews Vorort hervor. Im Anschluss daran wurden an den bekannten Standorten noch die dezentralen Anlagen wie Retentionsschächte und Gründächer in das Modell integriert, wobei wiederum das Modell SWMM 5.2 verwendet wird, welches die dezentralen Anlagen im hydrologischen Modell über den Low Impact Development (LID) Ansatz integriert hat (Rossman & Simon, 2022).

Tabelle 78: Zugewiesene Werte der notwendigen hydrologischen Parameter in Abhängigkeit der Landbedeckung

Landbedeckung	Rauigkeit [m ^{1/3} /s]	Verluste [mm]	Hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]	Saughöhe [mm]	Anfangsverlust der Infiltration [-]
Landwirtschaftliche Fläche	0,138	7,06	0,51	240,03	0,209
Asphalt	0,016	0	0	0	0
Gebüsch	0,275	8,14	0,51	240,03	0,209
Laubbaum	0,51	8,14	0,51	240,03	0,209
Rasen (Garten)	0,125	1,94	0,51	240,03	0,209
Wiese (natürlich)	0,275	5,76	0,51	240,03	0,209
Wasser	0,059	0	0	0	0
Uferzone	0,2	0	0	0	0
Dachflächen	0,018	2	0	0	0
Gründach	0,1	-	73,71	34,45	-

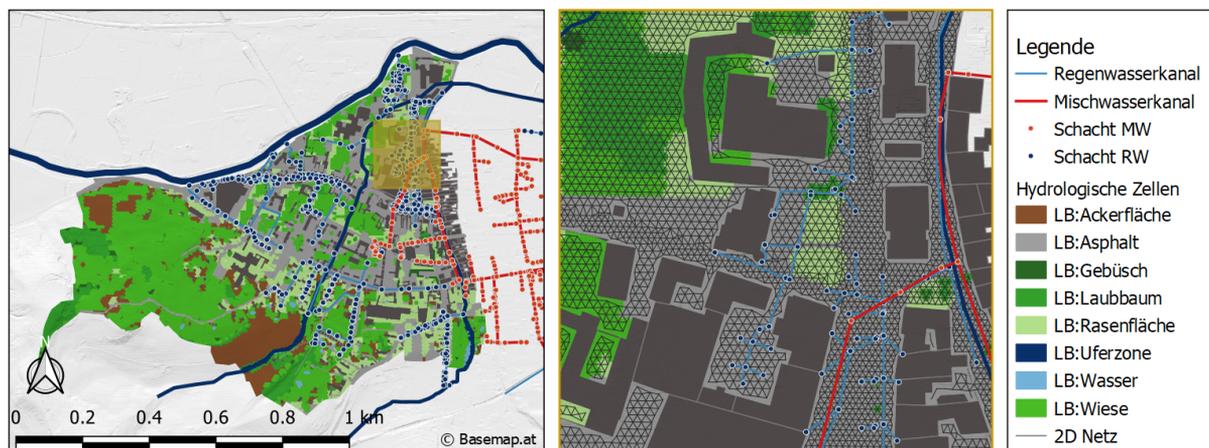
Integrierte 1D-2D Modellierung: Die Integrierte 1D-2D Modellierung gilt als höchster Detaillierungsgrad hinsichtlich der Untersuchung von urbanen Überflutungen (Kapitel 7.4). Dabei wird ein hydrodynamisches 2D Überflutungsmodell mit einem hydrodynamischen 1D Kanalnetzmodell Zeitschritt-synchron gekoppelt. An der Oberfläche wird basierend auf den Höhen-

informationen des DGMs und abhängig von der gewählten Auflösung ein 2D Rechnetz erstellt, welches aus 2D Knoten sowie 2D Haltungen besteht. Dabei wurde für dieses Modell dieselbe Auflösung der räumlichen Diskretisierung wie im hydrologischen Modell verwendet (Verfeinerungen an den Straßenflächen, Fließgewässern, sowie Gebäudekanten). Als Eingangswert erhält sowohl das 1D Modell den effektiven Niederschlag der angeschlossenen Gebäudeflächen als auch jeder 2D Knoten den effektiven Niederschlag der zugehörigen 2D Zelle. Der effektive Niederschlag errechnet sich aus dem hydrologischen Modell, welches die Infiltration sowie die Anfangsverluste und Interzeption räumlich und zeitlich verteilt berücksichtigt. Die unidirektionale Kopplung zwischen hydrologischem Modell und 2D Modell wird daher zum einen über die 2D Knoten des Rechnetzes sowie die Kanalschächte des 1D Modells umgesetzt. Die Schächte des 1D Modells sind auch jene Kopplungselemente der bidirektionalen Kopplung zwischen 1D Modell und 2D Modell. Der einzige notwendige Parameter für die hydraulische Berechnung an der Oberfläche ist die Rauigkeit, welche in Abhängigkeit der Landbedeckung der darüber liegenden Zelle im hydrologischen Modell zugewiesen wird.

Das betrachtete Untersuchungsgebiet beinhaltet sowohl den Aderbach als auch den Oederbach. Um Rechenzeiten zu sparen, wurde entschieden nur die zentrumsnahen Gebiete mittels 1D-2D Ansatz zu modellieren (Abbildung 72). Die angrenzenden Außengebiete werden stark vereinfacht hydrologisch modelliert. Wobei der Gebietsabfluss an den Schnittstellen des 1D-2D Modells in einem 2D Knoten eingeleitet wird.

Als Ergebnis können auf jeder 2D-Zelle der Wasserstand und die Fließgeschwindigkeit ermittelt werden. Darauf basierend können im Anschluss die Überflutungsflächen an der Oberfläche erstellt werden, welche in nachfolgenden Gefahrenanalysen verwendet werden können. Ebenso können an jeder Kanalhaltung und an jedem Knoten der Abfluss und das Volumen ermittelt werden, wodurch es möglich ist den Zustand des Kanalsystems im Fall von außergewöhnlichen Ereignissen bewerten zu können. Zusätzlich ist es mit diesem Modell auch möglich Überflutungsereignisse basierend auf Klimaprojektionen zu simulieren. Eine weitere Anwendung des Modells liegt in der Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Überflutungsfahr (z. B. Regenrückhaltebecken, Notwasserwege (Kapitel 9.1.1, welche in das Modell integriert werden können.

Abbildung 72: Integriertes 1D-2D Modell für das Untersuchungsgebiet der Gemeinde Feldbach inklusive Detailausschnitt



Modellevaluierung

Jedes Modell soll das Systemverhalten der realen Welt so realistisch wie möglich abbilden, um bestmögliche Aussagen aus den einzelnen Simulationen ableiten zu können. Aus diesem Grund muss das Modell evaluiert werden. Da im Untersuchungsgebiet keine Abflussmessungen an neuralgisch wichtigen Positionen, wie dem Oederbach oder am Auslass zur Raab verfügbar sind, müssen andere Datenquellen zur Evaluierung verwendet werden. Für das Starkregenereignis vom 22.08.2020 wurden die dokumentierten Einsatzdaten der Freiwilligen Feuerwehr zur Verfügung gestellt. Diese Daten wurden durch Erfahrungsberichte der Freiwilligen Feuerwehr, sowie involvierten Personen der Stadtverwaltung ergänzt, sodass insgesamt 28 Standorte mit Schäden identifiziert werden konnten. Zusätzlich konnte aus dem Bericht der Hochwasserdokumentation für das Ereignis insgesamt drei Wassermarken am Aderbach sowie am Oederbach identifiziert werden. Diese Daten werden für die Modellevaluierung verwendet. Die Modellergebnisse für das Starkregenereignis vom 22.08.2020 wurden auch mit Personen der Freiwilligen Feuerwehr durchgesprochen und die Einsatzerinnerung mit den Ergebnissen des Modells verglichen.

Die erste Modellsimulation resultiert in einer deutlichen Abweichung ($> 100\%$) an den drei Wassermarken, wobei die maximalen Wasserstände im Modell zum Vergleich verwendet wurden. Reinstaller et al. (2022) empfiehlt die Rauigkeiten sowie die Muldenverluste (Tabelle 78) bei stark geneigten Oberflächen zu reduzieren. Nach erneuter Simulation konnten die Abweichungen der Spitzenwasserstände auf unter 20% reduziert werden, was als akzeptabel bewertet wird. Zusätzlich wurden die überfluteten Gebäude der Modellsimulation mit den identifizierten Standorten mit Überflutungsschäden qualitativ verglichen. Als Grenzwert der

Überflutungsflächen wurde ein kombinierter Grenzwert verwendet (Wasserstand $> 0,1\text{m}$; Fließgeschwindigkeit $> 1\text{m/s}$; Kombination $> 0,3\text{m}^2/\text{s}$). Dies ergibt eine Modellgenauigkeit von 60% sowie einer Trefferquote von 67%. Dies bedeutet, dass das Modell zwei Drittel aller dokumentierten Schäden identifiziert hat, was als akzeptabel bewertet wird. Um die Modellgüte noch weiter zu erhöhen, wird empfohlen noch weitere zukünftige Ereignisse zu analysieren. Dies konnte innerhalb der Projektlaufzeit nicht umgesetzt werden, da es zu keinem erneuten Überflutungsereignis im Projektgebiet gekommen ist und daher keine Daten vorhanden sind.

12.1.3.2 Analysen außergewöhnlicher Ereignisse

Mithilfe des integrierten 1D-2D Modells wurden in der Fallstudie Feldbach verschiedene Niederschlagsereignisse und Störfälle in zentralen und dezentralen Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft und deren Auswirkungen auf Überflutungsflächen untersucht. Dafür wurden drei Niederschlagsereignisse mit unterschiedlichen Intensitäten und Wiederkehrzeiten verwendet (Tabelle 79). Zwei Niederschlagsereignisse aus den Jahren 2009 und 2020 sind gemessene Starkregenereignisse, die im Stadtgebiet Feldbach zu Überflutungen geführt haben. Für beide Ereignisse stehen die Messwerte von vier Regenschreibern zur Verfügung, die das Untersuchungsgebiet und die räumliche Heterogenität der Niederschlagsverteilung abdecken. Die Heterogenität der Niederschläge spiegelt sich für die einzelnen Ereignisse in den Intensitäten und Wiederkehrzeiten gut wider (Tabelle 79). Zusätzlich wurde auf Grundlage des Niederschlagsereignisses von 2020 ein durch den Klimawandel verstärktes Starkregenereignis generiert. Dafür wurden die Niederschlagsintensitäten jedes Zeitschritts der vier Regenschreiber des Ereignisses von 2020 mit einem Faktor von 1,37 multipliziert. Dies beruht auf der Annahme von Maraun et al. (2022), dass sich in einem zukünftigen Klima die Niederschlagsintensität pro Grad K Temperaturerwärmung im Raum Südoststeiermark um 10% - 14% erhöht. Bei einer realistischen Erwärmung von 3K (CCCA, 2016) für die Periode Ferne Zukunft (2071-2100) ergibt sich daraus im Mittel eine Erhöhung der Niederschlagsintensität von 37%. Dies unterscheidet sich zum Klimaszenario in Kapitel 9.1.2, wo der Maximalwert von 42% angesetzt wurde.

Tabelle 79: Eigenschaften der drei modellierten Regenereignisse in Feldbach

Niederschlags-event	Eigenschaft	Datum	Intensität (mm/h)	Wiederkehrzeit (Jahren)
2009	gemessen	18.05.2009	39-57	5,3 - 35,3
2020	gemessen	22.08.2020	51-79	18,8 - 348,9
Klimawandel	generiert	Ferne Zukunft (2071-2100)	70-108	In einem zukünftigen Klima gleiche Wiederkehrzeit wie Event 2020

Alle drei Niederschlagsereignisse wurden mit dem integrierten 1D-2D Modell der Fallstudie Feldbach gerechnet und hinsichtlich der Auswirkungen auf Überflutungsflächen verglichen. Dafür wurden nach LUBW 2016 und Smith et al. 2017 fünf unterschiedliche Gefahrenklassen für urbane Überflutungen basierend auf Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten definiert (Tabelle 80). Damit lassen sich die Gefahren durch urbane Überflutungen besser vergleichen, da eine Zunahme der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten auch gleichzeitig eine deutlich höhere Gefahr von urbaner Infrastruktur und Menschen bedeutet. Zusätzlich zu den einzelnen Gefahrenklassen wurde für die verbesserte Vergleichbarkeit zwischen vielen Szenarien auch ein Kombiniertes Gefahrenindex (KG) entwickelt (Gl-12). Dabei werden die einzelnen Gefahrenklassen mit aufsteigenden Faktoren multipliziert. Hohe Gefahrenklassen erhalten dadurch eine höhere Gewichtung im Vergleich zu niedrigen Gefahrenklassen.

Tabelle 80: Definition von Gefahrenklassen für urbane Überflutungen anhand von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit

Gefahrenklasse	Wassertiefe in Relation zur Fließgeschwindigkeit			
	< 0,5m/s	> 0,5 - 1m/s	> 1 - 2m/s	> 2m/s
gering	5 - 10cm			
mittel	10 - 30cm	5 - 10cm		
hoch	30 - 50cm		10 - 30cm	
sehr hoch	50 - 100cm		30 - 50cm	10 - 30cm
extrem	> 100cm		50 - 100cm	30 - 50cm

$$KG = Kg * 1 + Km * 2 + Kh * 3 + Ksh * 4 + Ke * 5 \quad (GI-12)$$

KG = Kombiniertes Gefahrenindex, Kg = Gefahrenklasse gering (m²), Km = Gefahrenklasse mittel (m²), Kh = Gefahrenklasse hoch (m²), Ksh = Gefahrenklasse sehr hoch (m²), Ke = Gefahrenklasse extrem (m²)

Die Modellergebnisse zeigen für die drei Niederschlagsereignisse einen deutlichen Unterschied zwischen den Überflutungsflächen und damit eine hohe Sensitivität der Fallstudie gegenüber der Niederschlagscharakteristik. Das Niederschlagsereignis von 2009 führt im Modell zu einer Überflutungsfläche von 103.859m² und einem kombinierten Gefahrenindex von 188.903 (Tabelle 81). Die meisten Überflutungsflächen haben die Gefahrenklassen gering und mittel und nur wenige hoch, sehr hoch oder extrem. Die Überflutungsflächen sind über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, wobei die höchsten Gefahrenklassen in den natürlichen Tiefpunkten vorkommen. Dies sind die beiden Fließgewässer Oedter Bach und Aderbach, die von Süden nach Feldbach fließen, sowie im Westen auf den versiegelten Flächen eines Baumarkts und im Norden auf einem unbebauten Grundstück (Abbildung 73). Beim Niederschlagsereignis 2020 kommt es im Modell zu einer Überflutungsfläche von 174.247m² mit einem kombinierten Gefahrenindex von 367.034. Im Vergleich zum Ereignis 2009 gibt es deutlich mehr Überflutungsflächen mit höheren Gefahrenklassen (mittel, hoch, sehr hoch und extrem). Räumlich bleiben die Bereiche mit den höchsten Gefahrenklassen im Vergleich zum Ereignis 2009 etwa gleich, wobei sich die Flächen teilweise noch einmal deutlich ausdehnen und nun auch im

Zentrum des Untersuchungsgebiets größere zusammenhängende Überflutungsflächen vorkommen (Abbildung 73). Für das Event Klimawandel zeigt das Modell eine gesamte Überflutungsfläche von 226.073m² mit einem kombinierten Gefahrenindex von 515.173. Im Vergleich zum Event 2020 erhöht sich vor allem die Fläche mit hohen, sehr hohen und extremen Gefahrenklassen. Die Flächen mit den sehr hohen und extremen Gefahrenklassen konzentrieren sich nicht mehr ausschließlich auf die natürlichen Tiefpunkte, sondern treten über das gesamte Stadtgebiet verteilt auf.

Die Modellergebnisse zeigen, dass die Intensität des Niederschlagsereignisses einen maßgeblichen Einfluss auf die Überflutungsflächen und damit auf die Gefährdung der Fallstudie Feldbach haben. Während es bei kleineren Starkregenereignissen in der Gemeinde nur punktuell zu höheren Wasserständen oder Fließgeschwindigkeiten kommt, ist bei großen Starkregenereignissen das ganze Stadtgebiet betroffen. Die durch die aktuellen Klimamodelle prognostizierte Zunahme der Häufigkeit und Intensivierung von Starkregenereignissen dürfte in der Zukunft zu einer Verschärfung des Problems führen.

Tabelle 81: Überflutungsflächen nach Gefahrenklasse in Feldbach für die drei modellierten Regenereignisse.

Regenereignis	Klasse Gering (m ²)	Klasse Mittel (m ²)	Klasse Hoch (m ²)	Klasse Sehr hoch (m ²)	Klasse extrem (m ²)	Gesamt (m ²)	Kombinierter Gefahrenindex
Event 2009	42.503	46.010	9.188	3.976	2.183	103.859	188.903
Event 2020	49.294	80.007	26.607	13.792	4.547	174.247	367.034
Event Klimawandel	55.937	94.525	40.095	27.677	7.838	226.073	515.173

Abbildung 73: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach beim Starkregenereignis vom 18.05.2009 (39 - 57mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett)

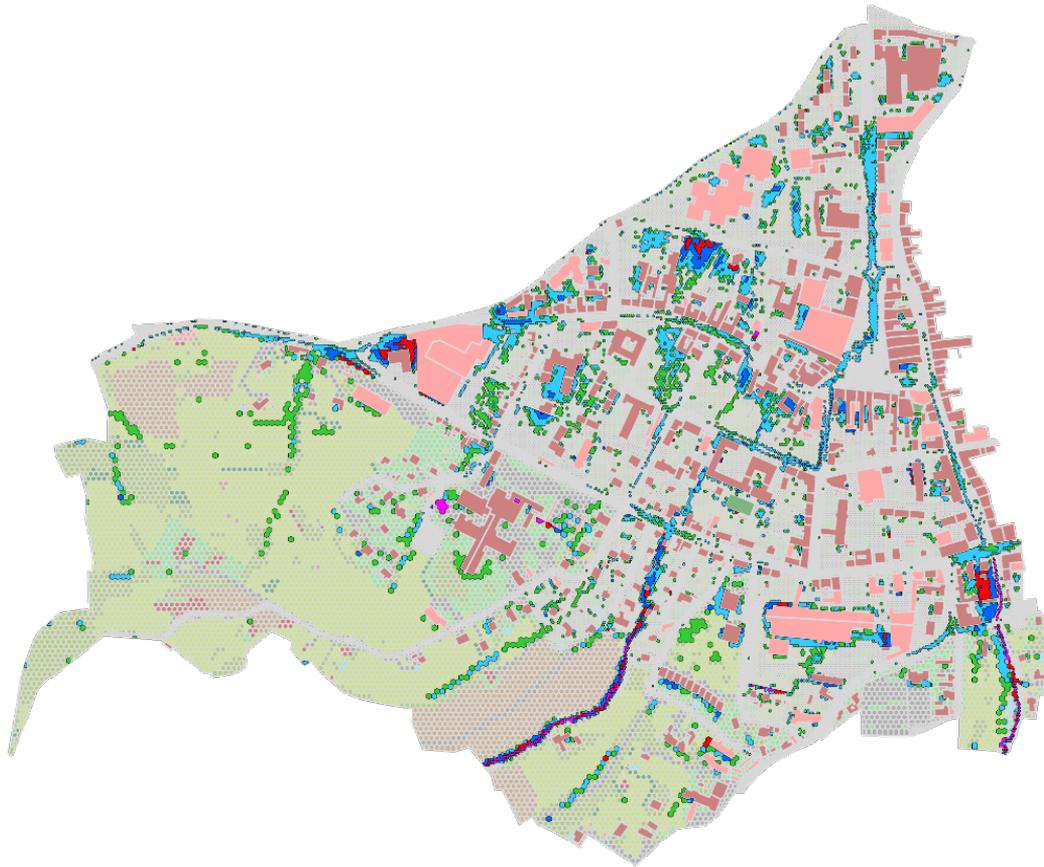


Abbildung 74: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach beim Starkregenereignis vom 22.08.2020 (51 - 79mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett)

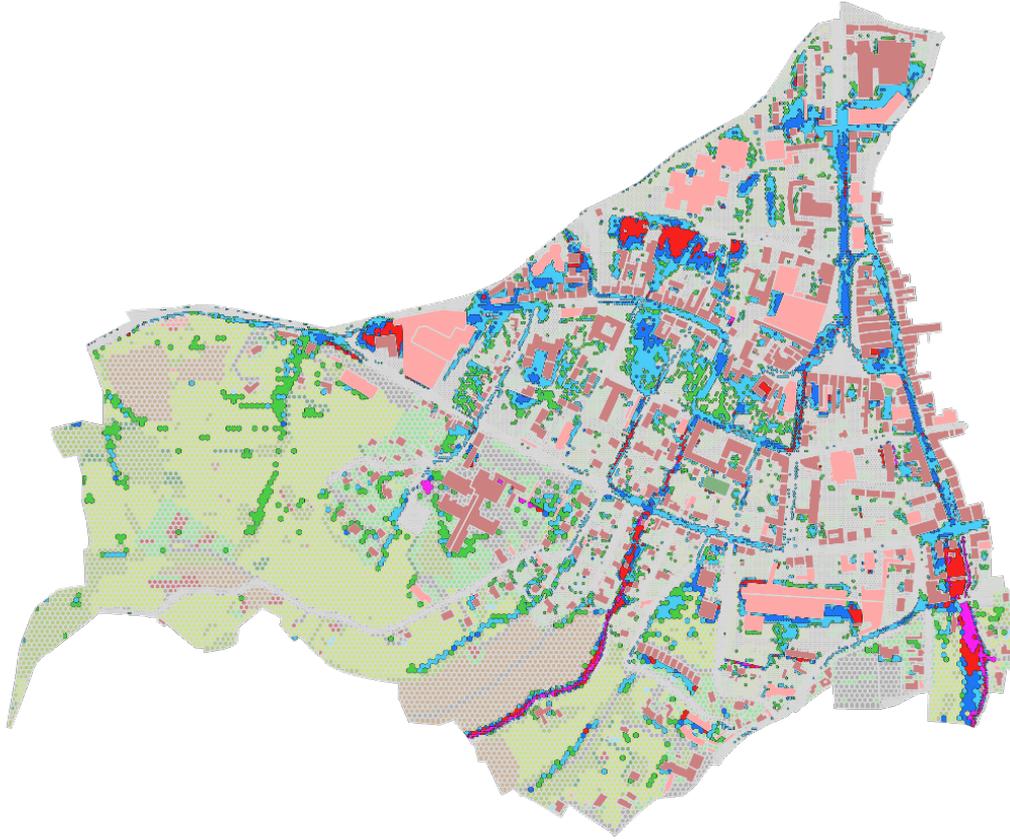
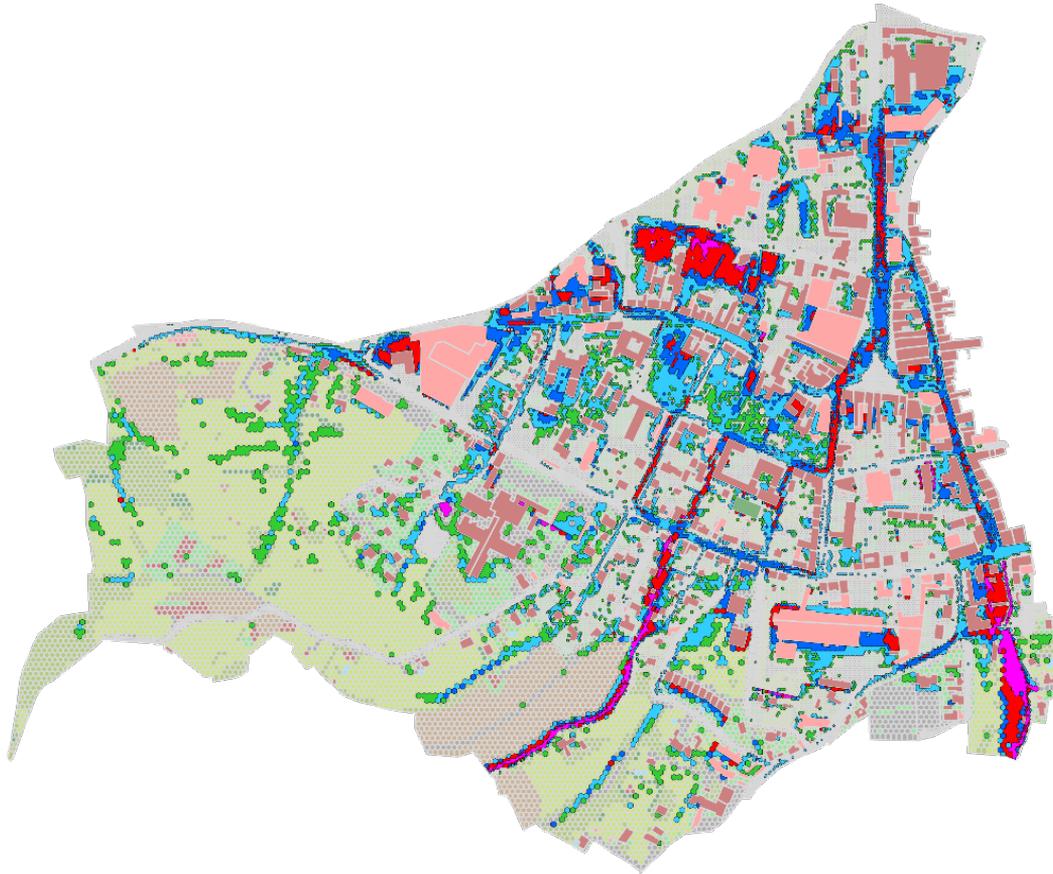


Abbildung 75: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach bei einem durch den Klimawandel verstärkten extremen Starkregen (70 - 108mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett)



Neben den drei Niederschlagsereignissen wurden auch 8 verschiedene Störfallszenarien modelliert, die einen Einfluss auf die urbane Siedlungsentwässerung haben. Darunter sind vier Störfälle und Fehlfunktionen, die die Leistungsfähigkeit von zentralen Anlagen und vier, die die Leistungsfähigkeit von dezentralen Anlagen beeinflussen. Eine detaillierte Übersicht der untersuchten Störfälle und deren Beschreibung findet sich in Tabelle 82.

Tabelle 82: Modellierte Störfallszenarien in der Fallstudie Feldbach

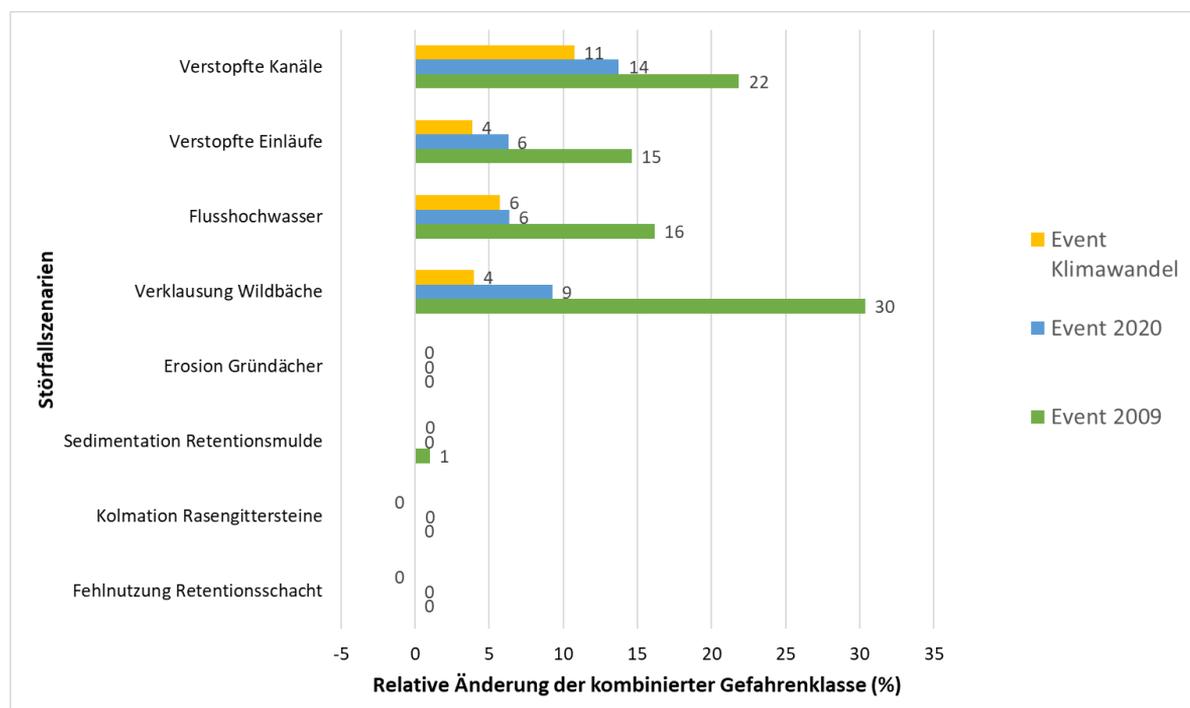
Störfallszenario	Beschreibung	Umsetzung im Modell
Verstopfte Kanäle	Vollständig blockierter Hauptsammler (verrohrter Oedter Bach) durch Haltungseinsturz oder durch Wildbäche eingetragenes Geschiebe.	Conduit Max. Depth = 0m
Verstopfte Einläufe	Blockierte Straßeneinläufe durch Laub, Schmutz, Schnee oder vorangegangene Ereignisse (alle Straßeneinläufe im Untersuchungsgebiet)	Conduit Maximum Flow = 5l/s (Anschlussleitung Straßeneinlauf)
Flusshochwasser	durch Flusshochwasser blockierte Misch- und Regenwasserentlastungen in den Vorfluter (alle Entlastungen im Untersuchungsgebiet blockiert)	Conduit Maximum Flow = 0l/s
Verklausung Wildbäche	Blockierte Einläufe durch Schwemmgut (Totholz, Geröll, Sand, Müll) (beide Einläufe blockiert)	Conduit Maximum Flow = 0l/s
Erosion Gründächer	Erosion Gründachsubstrat (2 Gründächer, 1.170m ²)	LID Soil Thickness - 50%
Sedimentation Retentionsmulde	Sedimentation der Retentionsmulde am LKH mit einem Volumen von 200m ³	Storage Depth -75%
Kolmation Rasengittersteine	Kolmation der Rasengittersteine (7 Parkplätze mit Rasengittersteinen, 2.885m ²)	LID Soil Conductivity - 90%
Fehlnutzung Retentionsschächte	Fehlnutzung der 5 Retentionsschächte, 2.400m ² Dachfläche angeschlossen	Storage Depth = 0,2m

Für jedes Störfallszenario wurde die relative Änderung der kombinierten Gefahrenklasse im Vergleich zum Ist-Zustand (kein Störfall) für die drei Niederschlagsereignisse 2009, 2020 und Klimawandel untersucht. Eine hohe relative Abweichung zum Referenzszenario zeigt einen deutlichen Einfluss des Störfalls auf die Überflutungsflächen. Von den acht untersuchten Störfallszenarien zeigen nur die vier Szenarien, die die zentrale Infrastruktur beeinflussen, einen sichtbaren Einfluss auf die Überflutungsflächen (Abbildung 76). Störfälle in dezentralen Anlagen der Siedlungsentwässerungen zeigen bei den untersuchten Starkregenereignissen keinen oder einen vernachlässigbaren Einfluss auf Überflutungsflächen zwischen 0 und 1%. Bei den Störfallszenarien in zentralen Anlagen zeigt sich für alle Störfälle eine Abnahme der relativen

Abweichung mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität. Während für das Event 2009 bei allen Störfallszenarien die relative Änderung bei 15 - 30% liegt, nimmt sie für das Event 2020 auf 6 - 14% und für das Event Klimawandel auf 4 - 11% ab. Dies bedeutet je kleiner das Niederschlagsereignis, desto größer ist der Einfluss von Störfällen auf die Überflutungsgefahr. Bei Extremereignissen wie dem Event 2020 oder Klimawandel spielen Störfälle eine geringere Rolle.

Von den vier Störfällen in zentralen Infrastrukturen haben für das Event 2009 die Verklausung von Wildbächen mit 30% den größten Einfluss auf Überflutungsflächen. Etwas weniger Einfluss haben verstopfte Kanäle mit 22%, das Flusshochwasser mit 16% und verstopfte Einläufe mit 15%. Für das Event 2020 haben die verstopften Kanäle mit 14% relativer Abweichung den größten Einfluss, gefolgt von der Verklausung von Wildbächen mit 9% und verstopften Einläufen und dem Flusshochwasser mit 6%. Für das Event Klimawandel zeigt sich eine ähnliche Verteilung mit dem größten Einfluss von verstopften Kanälen mit 11%, gefolgt vom Flusshochwasser mit 6% und verstopften Einläufen und der Verklausung von Wildbächen mit 4%.

Abbildung 76: Ergebnisse der Störfallmodellierung in der Fallstudie Feldbach.



Die Ergebnisse zeigen klar, dass Störfälle und Fehlfunktionen in dezentralen Anlagen keinen Einfluss auf Überflutungsflächen in der Fallstudie Feldbach haben. Dies ist darauf zurückzu-

führen, dass es nur sehr wenige dezentrale blau-grüne Anlagen im Bestand gibt. Im Untersuchungsgebiet sind es lediglich 6 Gründächer, 3.000m² Rasengittersteine, eine Retentionsmulde und 6 Retentionsschächte. Bei einem höheren Umsetzungsgrad wäre auch mit einer höheren Bedeutung von Störfällen in diesen Anlagen zu rechnen. Zusätzlich sind die Anlagen auch nur auf Niederschlagsereignisse einer bestimmten Jährlichkeit bemessen. Bei den sehr hohen Niederschlagssummen und Intensitäten der untersuchten Ereignisse ist in jedem Fall mit einem Versagen der Anlagen oder einer Reduktion der Wirksamkeit zu rechnen.

Störfälle und Fehlfunktionen in zentralen Anlagen führen demgegenüber zu einer teilweise deutlichen Verschärfung von urbanen Überflutungen. Dies ist auf die große Fläche zurückzuführen, die zentrale Anlagen bewirtschaften und auf die großen Wassermengen, die in einem fehlerfreien Zustand transportiert werden. Im Hauptsammler von Feldbach wurden während des Ereignisses von 2020 maximale Durchflussmengen von 10m³/s simuliert. Bei einer Einschränkung bzw. einem Ausfall dieses Systems kann das Regenwasser entweder nicht mehr in das Kanalnetz eintreten oder es staut auf die Oberfläche zurück und führt dort zu einem Anstieg der Überflutungsflächen. Dadurch, dass bei stärkeren Niederschlagsereignissen (2020 und Klimawandel) der Anteil an im Kanalnetz abgeleitetem Regenwasser im Vergleich zu an der Oberfläche abfließendem Regenwasser abnimmt, sinkt auch die Bedeutung der Störfälle und Fehlfunktionen. Da bei Extremereignissen bereits ein Großteil des Regenwassers oberflächlich abfließt ist die Bedeutung von Störfällen im Kanalnetz deutlich geringer. Trotzdem führen alle Störfälle auch bei dem Ereignis Klimawandel zu einem deutlichen Anstieg der Überflutungsflächen, der für Gemeinden nicht zu vernachlässigen ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine regelmäßige Inspektion und Wartung aller relevanten Anlagen und damit die Gewährleistung eines störfreien Betriebs, die Gefahr von urbanen Überflutungen deutlich reduzieren kann. Dies gilt insbesondere für Ereignisse mit mittlerer Wiederkehrzeit (T =10 - 30 Jahre) und zentrale Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung.

12.1.4 Interviews und Kognitive Karten in Feldbach

Die Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) Methode wurde in einem partizipativen Modellierungsansatz in der Fallstudie Feldbach eingesetzt, wobei in Einzel- und Gruppeninterviews semi-quantitative „kognitive Karten“ erstellt wurden, die die impliziten und subjektiven Vorstellungen der einzelnen Akteure über Ursache-Wirkungs-Beziehungen und Dynamiken in komplexen Systemen grafisch darstellen (Tepes & Neumann, 2020). In dieser Methode werden das vorhandene Wissen und Verständnis einzelner Akteure oder von ausgewählten Gruppen von Akteuren über ein spezielles Problem oder System durch gezielte Fragen erfasst. Die daraus erstellten Karten dienen als Basis für weitere Analysen. Dabei werden die individuellen

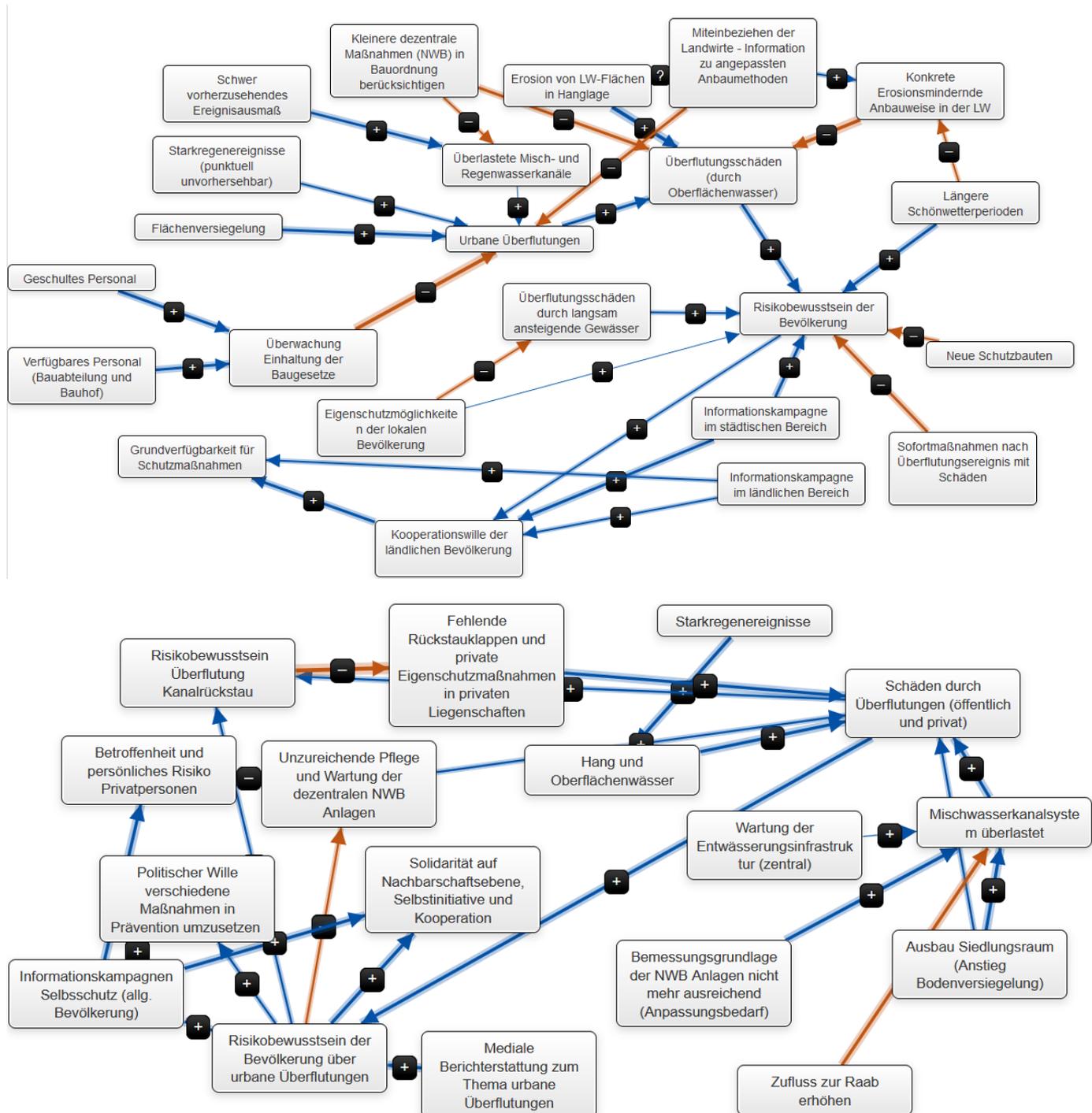
Denkmodelle (sogenannte Mental Models) und unausgesprochenen Erzählungen (implizite Narrative) der Teilnehmer:innen explizit dargestellt (Haraldsson, 2014).

Der partizipative Ansatz zielt darauf ab, den Kreis der am Forschungs- und Lernprozess beteiligten Akteure und Informanten auszuweiten. Ein erster Stakeholder-Workshop mit offenen Diskussionen, Brainstorming und einer interaktiven Kartenanalyse wurde im Juli 2021 durchgeführt und die Expert:innen Interviews für die FCM Erhebungen folgten im Oktober 2021.

Die beteiligten Expert:innen, darunter Mitglieder der örtlichen Feuerwehr, des Zivilschutzverbands, eines Ingenieurbüros und der Leiter für Tiefbau, haben einzeln und zum Teil in Gruppen kognitive Karten erstellt, die das städtische Niederschlagswassersystem und seine relevanten Belastungen sowie Schwachstellen abbildet. Im Kontext des Störfallmanagements bietet die qualitative Modellierung eine wirksame Methode, um Risiken zu identifizieren, potenzielle Störfälle und deren Auswirkungen zu bewerten und entsprechende Vorbeugungs- und Reaktionsstrategien zu entwickeln. Durch die Visualisierung der Systemzusammenhänge können potenzielle Schwachstellen und Risikofaktoren aufgedeckt und gezielte Maßnahmen zur Risikominderung erarbeitet werden.

Die Leitfragen bezogen sich auf die Wahrnehmung der bestehenden Niederschlagswasserbewirtschaftung in der Stadt Feldbach, das allgemeine Resilienzverständnis und die Vorstellungen über mögliche Auswirkungen einzelner Maßnahmen zur kurz-, mittel- und langfristigen Erhöhung der Resilienz des Gesamtsystems. Die Interviews dauerten jeweils zwischen 90 und 100 Minuten und die Gespräche wurden aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Die Transkriptionen wurden mittels der Software ATLAS.ti (<https://atlasti.com/de>) ausgewertet, um die jeweiligen Narrative und Schlüsselthemen zu ermitteln und die Karten mit den zugrundeliegenden Erzählungen zu analysieren. Es zeigten sich sowohl divergierende Ansichten über kritische Systemelemente und ihre kausalen Beziehungen zueinander als auch ein grundlegendes Maß an Übereinstimmung unter den Teilnehmern über die kritischen Belastungen, die auf das System einwirken, sowie mögliche Maßnahmen zur Begrenzung von Überflutungsschäden. Abbildung 77 bildet zwei anonymisierte kognitive Karten exemplarisch ab, die während der FCM Interviews entstanden sind und in Folge digitalisiert wurden.

Abbildung 77: Zwei anonymisierte kognitive Karten aus der ersten FCM-Interview Runde in Feldbach. Die blauen Pfeile zeigen einen verstärkenden Effekt an, die roten Pfeile einen abmildernden Effekt. Diese Karten wurden mit der Software Mental Modeller digitalisiert (<https://www.mentalmodeller.com/>)



Ein zentraler Befund der Gespräche in Feldbach war, dass das zentrale Entwässerungssystem in Feldbach an seiner hydraulischen Kapazitätsgrenze steht, und dass intensive Starkregenereignisse in den Sommermonaten einen akuten Stressfaktor für das urbane System darstellen. Die Teilnehmer waren sich einig, dass gezielte Maßnahmen auf Haushaltsebene und eine Zusammenarbeit mit Land- und Forstwirtschaft notwendig sind, um die Bemühungen und Maßnahmen der Gemeinde zu ergänzen und nachhaltig zu gestalten.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Sektoren bzw. Rollen der teilnehmenden Akteure und ihre Verbindungen zum Thema Niederschlagswasserbewirtschaftung und urbane Überflutungen erläutert, sowie einzelne Interviewergebnisse und ausgewählte Ursache-Wirkungs-Mechanismen aus den kognitiven Karten illustriert.

Straßenerhaltungsdienst

In österreichischen Gemeinden spielen der Straßenerhaltungsdienst bzw. die Straßenmeistereien eine zentrale Rolle in der Niederschlagswasserbewirtschaftung und im Umgang mit urbanen Überflutungen. Sie überwachen regelmäßig die Straßenverhältnisse, um potenzielle Überflutungsrisiken frühzeitig zu erkennen und kümmern sich um die Wartung von Entwässerungseinrichtungen der Straßen. Bei Überflutungen stehen sie in 24-Stunden-Notfallbereitschaft, um schnell auf Schäden reagieren zu können. Zudem pflegen sie Grünflächen entlang der Straßen, die zur Wasserbewirtschaftung beitragen, und sind an der Bewertung von Planungen Dritter beteiligt, um die Aspekte des Wassermanagements zu berücksichtigen.

Das Interview offenbarte die Herausforderungen und Verantwortlichkeiten, denen der Straßenerhaltungsdienst in Zusammenhang mit Niederschlagswassermanagement und Bodenerosion gegenübersteht. Die Interviewten betonten die zunehmende Relevanz dieser Themen, die in den letzten Jahren durch klimatische Veränderungen und landwirtschaftliche Praktiken an Bedeutung gewonnen haben. Bei Problemen, die den Verkehr beeinträchtigen, werden sie in der Regel gleichzeitig mit der Feuerwehr alarmiert, um die nötigen Maßnahmen auf den Fahrbahnen durchzuführen.

Eine der besonderen Herausforderungen, die im Interview genannt wurden, betrifft die Auswirkungen der Bodenerosion von landwirtschaftlich genutzten Hangflächen auf die Verkehrsinfrastruktur. Historisch gesehen konnten sie bei großen Ereignissen, wie beispielsweise 2009 in der Südost-Steiermark, feststellen, dass die Art und Weise, wie die Landwirtschaft betrieben wird, erheblich zu den Problemen beitragen kann. Nach solchen Ereignissen spielen sie eine entscheidende Rolle bei der Sensibilisierung und Schulung der lokalen Landwirte, indem

sie die Problemstellen gemeinsam mit der Landwirtschaftskammer identifizieren und vor Ort analysieren.

Durch die Kooperation mit der Landwirtschaftskammer und den Beitrag von Expert:innen wurden alternative Bewirtschaftungsmethoden sowie nachhaltigere Bodenbewirtschaftungstechniken an lokale Landwirt:innen vermittelt. Dies führte zu einem verbesserten Bewusstsein und Verständnis für die Auswirkungen dieser Methoden auf Wassermanagement-Probleme. Dadurch wurden positive Effekte erzielt, und die Situation hat sich laut den Kontakten des Straßenerhaltungsdienstes seitdem merklich verbessert.

Als weiterer wichtiger Punkt wurde die Verantwortung der Landbesitzer und der Gemeinde genannt. Die Verstädterung und der zunehmende Flächenversiegelungsgrad haben zu einem veränderten Abflussverhalten geführt, was bisher oft vernachlässigt wurde. Der Straßenerhaltungsdienst betont, dass dieser Aspekt inzwischen ernster genommen wird, aber die Nachrüstung ist schwierig.

Die Gesprächspartner des Straßenerhaltungsdienstes stellen auch fest, dass die Beseitigung von Schäden nach Überflutungsereignissen, die die Entwässerungsanlagen verstopfen, eine erhebliche Belastung darstellt. Obwohl strukturelle Schäden selten sind, sind die Kosten für Wartung und Reinigung nach solchen Ereignissen sehr hoch.

Es wird betont, dass das Bewusstsein für diese Probleme gestiegen ist, aber es ist immer noch schwierig, die notwendigen Änderungen in den landwirtschaftlichen Praktiken und im Umgang mit Oberflächenwasser zu erreichen. Insbesondere die mangelnde Überwachung und Durchsetzung von Vorschriften zum Regenwasserrückhalt bei Bauprojekten wird als Problem identifiziert. Zum Beispiel kann unsachgemäß entsorgter Grünschnitt die Straßenentwässerung häufig verstopfen oder blockieren.

Zwei ausgewählte Ursache-Wirkungs-Ketten aus den Karten des Straßenerhaltungsdienstes

Siedlungerschließung in Hanglagen → (+) Einfriedungen und Mauern → (+) geleiteter Abfluss → (+) punktuelle Wassermengen → (+) Schäden an tieferliegenden Gebäuden und Verkehrswegen

Aufklärungsarbeit mit Fachleuten → (+) Vertrauen in die kommunizierten Inhalte von Seiten der Bevölkerung → (+) Wille der privaten Grundbesitzer/Hausbesitzer Schutzmaßnahmen umzusetzen

Freiwillige Feuerwehren

Feuerwehren in Österreich setzen sich aus Freiwilligen Feuerwehren, Betriebsfeuerwehren und Berufsfeuerwehren zusammen, wobei die Freiwilligen Feuerwehren (FF) zahlenmäßig überwiegen. Besonders in kleineren bis mittelgroßen Gemeinden trifft dies zu. Abgesehen von der Brandbekämpfung, sind österreichische Feuerwehren auch für die Vorbereitung und Durchführung von Rettungs- und Hilfsmaßnahmen zuständig. Somit sind die freiwilligen Feuerwehren ein unverzichtbarer Akteur beim Thema urbane Überflutungen. Ihre vielfältigen Aufgaben beinhalten hauptsächlich reaktive, aber auch präventive Maßnahmen.

Präventiv arbeitet die FF eng mit dem Straßenerhaltungsdienst und anderen lokalen Behörden zusammen, um potenzielle Überflutungsgefahren frühzeitig zu identifizieren. Sie nehmen an regelmäßigen Evaluierungen und Übungen teil, um auf mögliche Überflutungsereignisse vorbereitet zu sein und angemessen reagieren zu können.

Im Falle von tatsächlichen Überflutungen ist die FF meist eine der ersten Einsatzkräfte vor Ort. Sie hat die Aufgabe, die unmittelbaren Gefahren zu minimieren und die Sicherheit der Bevölkerung zu gewährleisten. Dazu gehören das Auspumpen von überfluteten Kellern und Gebäuden, die Sicherung von gefährdeten Strukturen, die Räumung von blockierten Straßen und die Unterstützung bei Evakuierungen.

Darüber hinaus ist die FF nach einem Hochwasserereignis an den Aufräumarbeiten beteiligt. Sie hilft dabei, Schutt und Trümmer zu entfernen, beschädigte Infrastrukturen zu reparieren und die normale Funktion der Gemeinde so schnell wie möglich wiederherzustellen.

Ein Hauptproblem bei Starkregenereignissen ist laut Interviewpartner das Management von Hang- und Oberflächenwasser. Diese erklärten, dass bei solchen Ereignissen eine Flut durch die Stadt fließt. Die Versiegelung von Böden durch Bebauung trägt zu diesem Problem bei, da sie die natürliche Versickerung des Wassers verhindert. Daher sind in städtischen Gebieten oft Auffangmaßnahmen erforderlich, die jedoch nicht immer vorhanden oder nur begrenzt wirksam sind.

Die interviewten Personen betonten auch die Bedeutung der ordnungsgemäßen Wartung von Entwässerungseinrichtungen, sowohl auf öffentlichem als auch privatem Grund. Mangelnde Wartung, zum Beispiel nicht gemähte Gräben, kann zu Verstopfungen und Überflutungen führen. Die Verantwortung dafür liegt sowohl bei den Gemeinden als auch bei den Hausbesitzer:innen.

Interessanterweise wurde hervorgehoben, dass die Bewohner von Feldbach im Allgemeinen stärker auf die Möglichkeit eines Blackouts vorbereitet sind als auf urbane Überflutungen durch Starkregen. Trotz mehrerer Überflutungsereignisse in der jüngsten Vergangenheit ist das Bewusstsein für dieses Risiko in der Bevölkerung relativ gering.

Der Bürgermeister wurde für seine proaktive Vorbereitung der Stadt auf mögliche Blackout-Szenarien gelobt. Viele der dafür getroffenen Maßnahmen könnten auch bei einer großflächigen Überflutung nützlich sein. Zwar wurden im Blackout-Szenario nicht zusätzlich ein Überflutungsszenario berücksichtigt, weswegen einige der vorgesehenen Maßnahmen möglicherweise nicht anwendbar sind, trotzdem vermutet ein Interviewpartner der FF, dass die Notfallpläne für das Blackout-Szenario auf die Situation einer schweren Überflutung umgelegt werden könnten.

In der Diskussion um Katastrophenbewusstsein und Präventionsmaßnahmen sind einige zentrale Themen zum Vorschein gekommen. Zunächst ist das Bewusstsein für Katastrophen und deren Auswirkungen in der Bevölkerung oft unzureichend. Es wird darauf hingewiesen, dass viele Menschen erst handeln, wenn eine Katastrophe bereits eingetreten ist. Dies ist ein gravierendes Problem, da ein rechtzeitiges Eingreifen oder Präventionsmaßnahmen viel effektiver und kostengünstiger wären.

Die Rolle der Feuerwehr als primäre Hilfsquelle ist dabei bezeichnend. Es wird festgestellt, dass die Bürger:innen sich in vielen Fällen, auch bei kleineren Vorfällen, auf die Feuerwehr verlassen, statt proaktive Schritte zur Selbsthilfe zu unternehmen. Diese Abhängigkeit führt möglicherweise dazu, dass weniger Wert auf vorbeugende Maßnahmen gelegt wird. Deshalb

sollte die Stärkung des Bewusstseins für das eigene Risiko und den Selbstschutz in den Vordergrund rücken.

Ein ähnliches Muster zeigt sich in der Kommunalpolitik. Hier werden oft Themen erst dann in Angriff genommen, wenn sie bereits zu einem Problem geworden sind. Die Notwendigkeit, mehr in Informationskampagnen und andere präventive Maßnahmen zu investieren, wurde deshalb hervorgehoben.

Ein Beispiel für solche Präventionsmaßnahmen sind bauliche Maßnahmen wie Rückstauklappen zum Schutz vor Überflutungen von Kellern. In der Diskussion wird deutlich, dass viele Menschen sich der Bedeutung dieser Maßnahmen nicht bewusst sind. Dies verdeutlicht erneut das Bedürfnis nach mehr Bewusstsein und Information.

Im Zusammenhang mit Präventionsmaßnahmen wird auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis thematisiert. Die Kosten für Maßnahmen wie das Einbauen einer Rückstauklappe sind verglichen mit den potenziellen Schäden durch eine Katastrophe relativ gering. Dieser Aspekt sollte in der Kommunikation stärker betont werden.

Im Interview betont der Gesprächsteilnehmer die Wichtigkeit von Selbstverantwortung und der Breite von Informationskampagnen. Er befürwortet eine Kombination aus digitalen und traditionellen Kommunikationskanälen, um eine möglichst große Reichweite zu gewährleisten. Er hebt hervor, dass eine Mischung aus Online-Präsenz, Flyer und Informationsveranstaltungen dazu beiträgt, verschiedene Zielgruppen anzusprechen und sie effektiv zu erreichen.

Trotz möglicher anfänglicher geringer Teilnahmezahlen können Informationsveranstaltungen im Laufe der Zeit an Bedeutung gewinnen. Er erkennt auch die Wichtigkeit von Flyern an, die es den Bürger:innen ermöglichen, wichtige Informationen zu Hause aufzubewahren.

Die ständige Präsenz von Informationen ist jedoch entscheidend, um das Bewusstsein und die Vorbereitung der Bevölkerung auf mögliche Ereignisse zu stärken.

Beispiel einer Ursache-Wirkungs-Kette aus Karte der FF:

Unzureichende Pflege und Wartung der dezentralen NWB Anlagen →(+) Schäden durch Überflutungen →(+) Risikobewusstsein der Bevölkerung über urbane Überflutungen →(-) Unzureichende Pflege und Wartung [...]

Ziviltechniker:innen / Ingenieur:innen für Siedlungswasserwirtschaft

Auf der präventiven Seite ist die Hauptaufgabe der Ziviltechniker:innen und Ingenieur:innen die Planung von Infrastrukturen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung. Dazu gehören unter anderem die Planung von Abwassersystemen, die Gestaltung von Versickerungsanlagen und die Einrichtung von Auffangbecken und Rückhalteanlagen, um das Risiko von Überflutungen zu minimieren.

Bei der Reaktion auf urbane Überflutungen spielen Ziviltechniker:innen und Ingenieur:innen ebenfalls eine wichtige Rolle. Sie sind oft Teil der Krisenteams, die die Schadensbeurteilung und Wiederherstellungsmaßnahmen koordinieren. Ihre technische Expertise ist entscheidend für die effiziente Wiederherstellung der betroffenen Infrastrukturen und die Minimierung des Risikos zukünftiger Überflutungen.

Darüber hinaus beraten Ziviltechniker:innen und Ingenieur:innen Gemeinden in Bezug auf bauliche Veränderungen und Anpassungen, die dazu beitragen können, das Risiko von Überflutungen zu verringern. Sie können auch an Informationskampagnen beteiligt sein, um das Bewusstsein der Bevölkerung für die Risiken von urbanen Überflutungen zu schärfen und ihnen zu helfen, sich darauf vorzubereiten.

Einige der wichtigsten Themen, die in den Interviews mit Ingenieuren zum Vorschein kamen, sind der Klimawandel, die Versiegelung von Land, finanzielle Ressourcen, politischer Wille und „Altlasten“ (= bestehende und schlecht gewartete Bauwerke der NWB).

Die Ingenieure weisen auf die Probleme hin, die durch schlecht dimensionierte Anlagen oder sogar durch Anlagen entstehen, die gar nicht dimensioniert wurden, und die einfach ohne Bedacht eingebaut wurden. Diese „Altlasten“ repräsentieren einen Teil der bestehenden Infrastruktur, die nicht angemessen ist. Es gibt auch Bestandsengpässe, da manche infrastrukturellen Einrichtungen nicht mehr saniert werden können.

Ein weiteres Problem sind gewachsene Strukturen, die Platz einnehmen, der für andere Zwecke oder für bessere Anlagen genutzt werden könnte. Besonders problematisch sind hier die zu kleinen Verrohrungen, die das Wasser in die Stadt leiten und quer durch die ganze Stadt laufen. Da sie teilweise überbaut sind, ist es nicht möglich, sie zu sanieren oder größere Leitungen zu verlegen.

Darüber hinaus wurde das Bewusstsein der Bevölkerung für den zukünftigen Flächenbedarf und eine geordnete Bewirtschaftung als ein wichtiges Thema hervorgehoben. Es gäbe viele

Menschen, die nicht verstehen, wie sehr limitierte Flächenressourcen oder die Flächenverfügbarkeit die Bewirtschaftung von Niederschlagswässern beeinflussen können.

Oftmals erkennen Grundstückseigentümer beim Verkauf ihres Landes nicht, dass bei einer Bebauung erhebliche Flächen für Retentionsräume vorgesehen werden müssen, um das anfallende Regenwasser zu bewirtschaften. Dies kann die erwarteten Einnahmen aus dem Verkauf schmälern, da die Kosten für die Anlage dieser Retentionsflächen in die Kalkulation einfließen.

Es gibt auch eine deutliche Diskrepanz im Bewusstsein der Bevölkerung für Risiken. Viele Menschen erkennen nicht das Risiko von Überschwemmungen oder die Auswirkungen, die diese auf ihre persönliche Situation haben können. Dieses Risikobewusstsein schwankt im Laufe der Zeit und wird oft erst nach einem Schadensereignis gestärkt, um dann in den Folgejahren wieder zu abzusinken.

In Bezug auf die Politik zeigt sich, dass das Risikobewusstsein der Bevölkerung einen erheblichen Einfluss auf den politischen Willen haben kann, insbesondere in kleineren Städten und Gemeinden, in denen der direkte Draht zwischen den Bürger:innen und den politischen Entscheidungsträger:innen stärker ausgeprägt ist. Die finanziellen Mittel und die Landes- und Bundespolitik spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in Bezug auf das Budget für wasserwirtschaftliche Maßnahmen.

Beispiel zweier Ursache-Wirkungs-Ketten aus Karte der Ingenieure:

„Altlasten“ → (+) Überflutungsschäden im öffentlichen Raum → (+) Bewusstsein der Bevölkerung über limitierte Flächenressourcen

Klimawandel → (+) Mediale Aufbereitung und Kommunikation an die Öffentlichkeit → (+) Politischer Wille auf kommunaler Ebene → (-) „Altlasten“ → (-) Überflutungsschäden

Zivilschutzverband

Der Österreichische Zivilschutzverband (ÖZSV) besteht aus einem Bundesverband und neun Landesverbänden. Seine Hauptaufgabe besteht in der Schulung der Bevölkerung zu Zivil- und Selbstschutzmaßnahmen sowie dem richtigen Verhalten in Notsituationen. Der Verband arbeitet darauf hin, dass Menschen Gefahren frühzeitig erkennen und so Unfälle verhindern oder deren Schaden minimieren können. Zur Bewältigung dieser Aufgaben fördert der ÖZSV

den Selbstschutzgedanken, indem er die Bevölkerung durch Veranstaltungen, Vorträge und Informationsmaterialien über mögliche Hochwasserrisiken, deren Folgen und präventive Maßnahmen informiert. Obwohl der ÖZSV keine operative Einsatzorganisation ist, spielt er eine entscheidende Rolle in der Informationsweitergabe an die Bevölkerung. Der Verband koordiniert eng mit den Landesverbänden und kommunalen Behörden, um lokalspezifische Gefahren und Lösungen zu identifizieren.

In einem Interview mit Vertretern des steirischen Zivilschutzverbandes wurden vier Arten von Hochwasserereignissen diskutiert, darunter fluviale Überflutungen, welches hauptsächlich Personen betrifft, die in der Nähe von Gewässern leben oder arbeiten. Darüber hinaus wurde Hangwasser erwähnt, das durch intensive Niederschläge verursacht wird und insbesondere in urbanen Gebieten mit stark geneigten Randeinzugsgebieten ein Problem darstellt. Der langanhaltende Regen verursache das Erreichen der Kapazitätsgrenze im Entwässerungssystem sowie einen Anstieg des Grundwasserspiegels. Durch illegale Einleitungen in die Schmutzwasserkanalisation wird dies zusätzlich verschlimmert.

Der Zivilschutzverband betont die Notwendigkeit von Selbstschutzmaßnahmen, einschließlich der Installation von wasserdichten Türen und Fenstern, korrekter Nutzung und Lagerung von Sandsäcken und der Beachtung von Gefahrenzonen- und Hochwasserkarten. Die Bürger werden auch darauf hingewiesen, überflutete Straßen und Keller zu meiden.

Es wurde betont, dass ein vollständiger Schutz vor extremen Wetterereignissen durch Faktoren wie die Klimaerwärmung nicht möglich sei. Dabei spielen sowohl die Gemeinden als auch Einzelpersonen eine wichtige Rolle bei der Bewältigung dieser Herausforderungen, unter anderem durch die ordnungsgemäße Wartung und Nutzung ihrer Immobilien sowie eigenverantwortliches Handeln.

Ein direkter Dialog zwischen Gemeindebeamten und Bürger:innen ist von großer Bedeutung. Er ermöglicht es, individuelle Anliegen wie die Auswahl und die regelmäßige Wartung einer angemessenen Rückstauklappe durch Fachkräfte zu klären. Auch das Thema illegaler Anschlüsse an das Kanalsystem wurde angesprochen. In diesem Zusammenhang wurden private Rückstauklappen zur Vermeidung von Schäden empfohlen.

Hochwasserkarten werden als wertvolles Tool zur Visualisierung der Gefahrenbereiche und zur Förderung des öffentlichen Verständnisses der Risiken erwähnt. Abschließend wurde die Bedeutung der Nachbereitung nach einem Hochwasser hervorgehoben, bei der durch die Aus-

wertung der Ereignisse Maßnahmen zur Reduzierung zukünftiger Schäden identifiziert werden können. Die Priorisierung solcher Nachbereitungen kann dazu beitragen, das Bewusstsein der Bevölkerung zu schärfen.

Beispiel zweier Ursache-Wirkungs-Ketten aus Karte des Zivilschutzverbands:

Bewusstseinsbildung durch Selbstschutz-Kampagnen → (+) Kooperationswille / Nachbarschaftshilfe privater Bürger → (+) Entlastung der Einsatzkräfte

Überflutungsschäden im Siedlungsraum → (-) Durchlaufzeit Hochwasserschutzbauten (Geschwindigkeit der Umsetzung Schutzmaßnahmen) → (+) Vorbildrolle der Gemeinde in Priorisierung des Themas → (+) Vertrauen der Bevölkerung in das Funktionieren der öffentlichen Schutzmaßnahmen

Gemeindemitarbeiter, Leitung Tiefbau

Die Rolle des Tiefbauleiters ist zentral für die Verwaltung und Aufrechterhaltung von unterirdischen Infrastrukturen, wie Kanalsystemen, und umfasst sowohl technische als auch administrative Aufgaben.

Zu den technischen Aufgaben gehören die Planung, Durchführung und Überwachung von Tiefbauprojekten, die oft die Installation, Reparatur und Wartung von unterirdischen Infrastrukturen beinhalten. Die Planung beinhaltet in manchen Fällen auch die Dimensionierung von Rohrleitungen und die Berechnung von Niederschlagsereignissen, um sicherzustellen, dass die Infrastruktur adäquat bemessen ist. Solche spezialisierten Aufgaben werden jedoch häufig an Zivilingenieurbüros delegiert und vom Tiefbauamt begleitet.

Die Wartung von Kanalsystemen ist ebenfalls eine wichtige Aufgabe. Diese umfasst die regelmäßige Kontrolle und Instandhaltung der Kanalinfrastruktur, um etwaige Mängel oder Schäden frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Insbesondere bei älteren Systemen ist eine ausreichende Wartung entscheidend, um Überflutungen oder Brüche zu vermeiden.

Im Bereich der Administration ist der Tiefbauleiter für die Koordination und Überwachung von Bauprojekten zuständig, einschließlich der Zusammenarbeit mit anderen Dienstleistern und Behörden. Der Tiefbauleiter ist auch für die Einhaltung von Vorschriften und Normen verantwortlich und muss sicherstellen, dass alle Arbeiten den gesetzlichen Anforderungen entsprechen.

chen. Der Tiefbauleiter muss in der Lage sein, mit politischen Entscheidungsträgern zu interagieren und gemeinsam Lösungen für die Herausforderungen im Bereich der unterirdischen Infrastruktur zu finden.

Weitere Verantwortlichkeiten können die Identifizierung und Behebung von Fehllanschlüssen in der Kanalisation, die Ausarbeitung und Durchsetzung von Retentionsmaßnahmen auf privaten Grundstücken und die Kommunikation mit der Bevölkerung über das Risiko von Überschwemmungen und die Notwendigkeit von vorbeugenden Maßnahmen beinhalten.

Diese Maßnahmen erstrecken sich über kurz-, mittel- und langfristige Zeiträume. Im kurzfristigen Bereich könnte dies die Wartung bestehender Infrastrukturen beinhalten. Mittelfristig könnten Retentionsmaßnahmen bei Neubauten umgesetzt oder die hydraulischen Bemessungsgrundlagen angepasst werden. Langfristig könnten die Maßnahmen umfangreichere Investitionen in neue Schutzvorkehrungen und Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen beinhalten.

Darüber hinaus ist ein vollständiges Verständnis des vorhandenen Leitungsnetzes eine Grundvoraussetzung für die effektive Wartung und Verbesserung der Infrastruktur.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Planung und Implementierung nicht nur auf einzelne Parzellen oder Infrastrukturanlagen zu beschränken, sondern eine ganzheitliche Betrachtung und Planung auf gesamtstädtischer oder kommunaler Ebene umzusetzen.

Die Finanzierung stellt eine weitere Herausforderung dar. Es ist notwendig, ein effektives Gebührensystem zu haben, das die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen abdeckt. Dies könnte durch Abwassergebühren oder andere Formen der kommunalen Finanzierung sichergestellt werden.

Beispiel einer Ursache-Wirkungs-Kette aus Karte des Leiters für Tiefbau:

Sensibilisierung der Entscheidungsträger für das Thema Überflutungsprävention → (+) Überdenken des Gebührensystems → (+) Gesamtkonzept für angemessenen Betrieb der NWB Anlagen im gesamten EZG → (+) Vollständige Erhebung des Leitungsnetzes → (+) Bemessungsgrundlage der Anlagen anpassen (Hydraulische Betrachtung des Leitungsnetzes) → (-) Schäden durch Überflutungen aus der Kanalisation

12.1.5 Workshops - Fallstudie Feldbach

Kick-Off und Online-Workshop

Ein erster Online-Workshop zur Fallstudie Feldbach fand am 26. April 2021 auf der Plattform Zoom statt. Die Umstellung auf ein digitales Format war aufgrund der anhaltenden Covid-19 Pandemie notwendig.

Die Veranstaltung begann mit einer Begrüßung und einer Vorstellungsrunde, gefolgt von einer allgemeinen und detaillierten Projektvorstellung, mit Schwerpunkt auf Modellierung, Störfallanalyse und partizipative Methoden. Das Projektteam hielt Vorträge über quantitative Methoden zur Bewertung von Starkregenereignissen in urbanen Einzugsgebieten, Starkregen und Störfallanalyse mittels Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA), sowie partizipative Methoden im BEJOND Projekt.

Ein zentrales Element des Workshops war die interaktive, kartenbasierte Diskussion. Dabei konnten alle Teilnehmenden auf einer geteilten Karte Kommentare einfügen und Punkte von bekannten neuralgischen Standorten einzeichnen. Besonders relevant waren dabei Daten zum Kanalnetz, Informationen zu Kern- und Außengebieten, Sonderbauwerken, Hot-Spots und dokumentierten Schadensfällen.

Die Diskussion rund um die interaktive Karte brachte wichtige Erkenntnisse über das Entwässerungssystem (Kanalisation, Sonderbauwerke, und lokale Gewässer) hervor. Ein spezielles Thema war die Wasserführung der Bäche und die Herausforderung, dass nicht das gesamte Oberflächenwasser im Hochwasserfall in die Raab eingeleitet werden kann. Zudem wurde der Mangel an Messsystemen an Überläufen, Schächten und Kanalhaltungen thematisiert.

Die abschließende Diskussion beinhaltete Punkte wie das weitere Vorgehen in Bezug auf die digitale Erfassung der beiden innerstädtischen Untersuchungsgebiete, die Koordination von Projekten im Bereich Regenwasserbewirtschaftung und die Bedeutung von Restrisikomanagement. Darüber hinaus wurde die Notwendigkeit der Kontaktaufnahme mit weiteren Stakeholdern betont.

Insgesamt bot der Workshop eine wertvolle Gelegenheit, aktuelle Daten und Projekte zu diskutieren, zusätzliche erforderliche Informationen zu identifizieren und einen Ausblick auf zukünftige Aktivitäten und Aufgaben im Rahmen des BEJOND-Projekts zu geben.

Stakeholder Workshop Feldbach

Diese Präsenzveranstaltung fand am 20.07.2021 im Veranstaltungszentrum Feldbach statt. Insgesamt haben 16 Personen an der Veranstaltung teilgenommen, darunter Vertreter der Stadtgemeinde Feldbach, des lokalen Straßenerhaltungsdienstes, des Zivilschutzverbands Steiermark, des lokalen Ziviltechnikerbüros Lugitsch & Partner sowie Vertreter:innen der freiwilligen Feuerwehr. Der erste Programmpunkt nach der Begrüßung und einer kurzen Projektvorstellung war ein Gruppen-Brainstorming zu den drei Begriffen „Starkregen“, „Urbane Überflutungen“ und „Niederschlagswasserbewirtschaftung“.

Ziel war es mit den heterogenen Gruppen Kompetenzen aus verschiedenen Bereichen zusammenzuführen und einen übergreifenden Austausch anzuregen. Im Zuge dessen wurden von jedem Teilnehmer Begriffe zu den drei übergeordneten Ausgangsbegriffen gesammelt und auf Notizen festgehalten. Das „Brainstorming“ dauerte 20 Minuten und wurde durch eine gemeinsame Besprechung und intensiven Diskussion aller Ergebnisse abgeschlossen.

In einer weiterführenden Analyse der Brainstorming Plakate wurde ein Clustering der Begriffe vorgenommen. Hierfür wurden einige Überthemen identifiziert, und danach die einzelnen Beiträge der Notizen diesen Kategorien zugeordnet. Aus dieser Darstellung ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Es gab kaum Doppelnennungen trotz der hohen Anzahl an Begriffen, auch Plakatübergreifend
- Themen und Begriffe, die sich damit beschäftigen, wie urbane Überflutungen entstehen oder einen direkten Bezug zur Gemeinde Feldbach aufweisen sind deutlich weniger vertreten als Themen, die konkrete Lösungsansätze beinhalten
- Gemeinde-spezifische Themen und Begriffe, wie etwa lokale Gewässer und Entwässerungssystem, wurden im Zuge dieser Übung nur von Vertretern der freiwilligen Feuerwehr genannt – nicht enthalten waren die im Stadtgebiet relevanten Gewässer Aderbach und Oedter Bach
- Im Gegenzug wurden Themen und Begriffe bezüglich zukünftiger Entwicklungen hier nur von Seiten des Ziviltechniker Büros beigetragen
- Dominiert haben die Beiträge der Vertreter von ZT Lugitsch & Partner ebenfalls in der Kategorie „technische Lösungen gegen urbane Überflutungen“
- Themen und Begriffe, die sich mit dem Management und der Kommunikation bei urbanen Überflutungen beschäftigen wurden hingegen von Vertretern der Stadtgemeinde Feldbach, der Freiwilligen Feuerwehr und dem Straßenerhaltungsdienst geprägt

Im zweiten Block dieses Workshops erfolgte eine gemeinsame Diskussion über die spezifische Situation im Kerngebiet der Stadt Feldbach. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der Identifizierung neuralgischer Punkte, die sich in den vergangenen Jahren während Starkregenereignissen herausgestellt haben. Insbesondere das Starkregenereignis vom 22.08.2020 wurde im Zuge dieser Übung diskutiert und dessen Auswirkungen anhand der Karte analysiert.

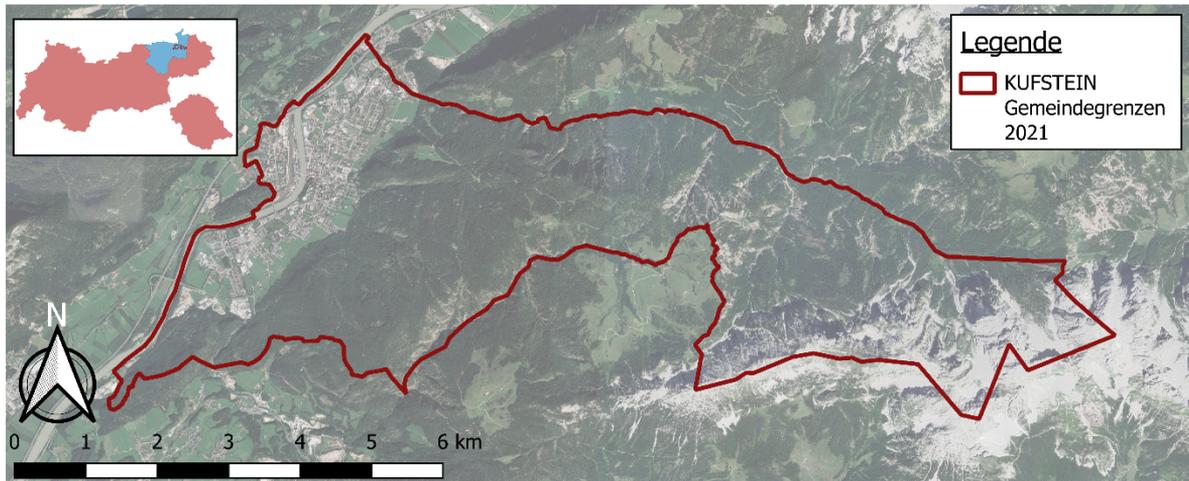
Folgende Punkte konnten aus der Diskussion, den eingetragenen Informationen in der Karte, sowie der Ortsbegehung am nächsten Tag gesammelt werden:

- Hangwässer aus den umliegenden Randgebieten führten in der Vergangenheit zu massiven Problemen in den angrenzenden Kerngebieten
- Durch die landwirtschaftliche Nutzung der Hänge kommt es häufig zu einer starken Bodenerosion. Dieser Abtrag führt in weiterer Folge in Kombination mit Totholz zu Verklausungen in den Einlaufbauwerken der Bäche (Aderbach und Oedter Bach)
- Die Erosion der landwirtschaftlich genutzten Flächen ist vor allem im Juni zu erwarten, da die Pflanzen noch nicht ausreichend etabliert sind, um Erosionsschutz zu bieten
- Das Einlaufbauwerk des Aderbachs ist häufig von Verklausungen betroffen und führt regelmäßig (etwa alle 2 Jahre) zu lokalen Überflutungen, wobei das Wasser vor allem über die Schillerstraße nach Osten abfließt
- Um diese Probleme am Aderbach und Oedter Bach zu entschärfen sind Regenrückhaltebecken in den Außengebieten geplant.
- Bei Hochwasserführung der Raab ist keine Entlastung des Aderbaches und Oedter Baches möglich. Die Folge ist ein Rückstau in das Kerngebiet. Dies tritt vor allem ein, wenn ein Niederschlagsereignis im Westen (Weizer Raum) stattfindet. Eine solche Situation kann durchaus mit der sommerlichen Starkregensaison zusammenfallen

12.2 Fallstudie Kufstein

Aufgrund der Übertragbarkeit der im Projekt erarbeiteten Methoden wurde von Anfang an angestrebt, mehrere Fallstudien im Projekt zu behandeln. Die Stadt Kufstein (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) im Tiroler Unterland bot sich diesbezüglich an, da diese zum einen die Forderung einer kleinen bis mittleren Gemeinde (EW 19.512 mit Stand 01. Jänner 2021) erfüllt und zum anderen am 17. und 18.07.2021 ein Starkregenereignis mit Überflutungsfolge im Stadtgebiet aufgetreten ist. Dadurch sind die projektrelevanten Inhalte in der Bevölkerung und den zugehörigen Gemeindeabteilungen stärker in den Fokus gerückt worden.

Abbildung 78: Übersicht hinsichtlich der geographischen Lage der Stadt Kufstein innerhalb des Bundeslandes Tirol



12.2.1 Modellierung Kufstein

Am 17. und 18. Juli 2021 kam es infolge eines Starkregenereignisses in Kufstein zu umfangreichen Überflutungen. Das Hochwasser führte dabei zu Schäden an Gebäuden und Infrastruktur in Höhe von etwa 2,5 Millionen Euro (Tiroler Tageszeitung, 2021).

Die Stadtgemeinde Kufstein liegt im Osten Tirols. Die im Inntal gelegene Gemeinde wird im Nordwesten durch die Brandenberger Alpen und im Südosten durch das Kaisergebirge begrenzt. Mitten durch das Stadtgebiet fließt der Inn, der sich von Südwesten nach Nordosten erstreckt. Ebenso durchqueren mehrere kleinere Stadtbäche das Einzugsgebiet. Besonders der Kienbach, der Kreuzbach und der Mitterndorfer Bach, welche auf Höhe der Altstadt das Stadtgebiet durchfließen, hatten beim besagten Starkregenereignis im Juli 2021 erheblichen Einfluss auf das Überflutungsgeschehen. Die drei Stadtbäche entspringen östlich der Stadt im angrenzenden Kaisergebirge und münden gemeinsam südlich der Festung Kufstein in den Inn.

Die erforderlichen Leitungsdaten inklusive der Informationen zu den Sonderbauwerken wurden von den Stadtwerken Kufstein (Kanalbetreiber) zur Verfügung gestellt. Das Kanalnetz umfasst (Stand 2022) mehr als 2.000 Rohrleitungen mit einer Gesamtlänge von 68,2km, sowie über 2.000 Schächte. Die Kläranlage der Stadtwerke Kufstein befindet sich im Nordosten des Gemeindegebiets. Bei etwa 81% der Kanäle handelt es sich um Mischwasserkanäle, 9% sind Regenwasser- und 10% Schmutzwasserkanäle. Die Haltungen sind überwiegend als Kreisprofile ausgeführt. Das Entwässerungsnetz verfügt über sechs Pumpwerke, fünf Regenüberlaufbecken und zehn Regenüberläufe.

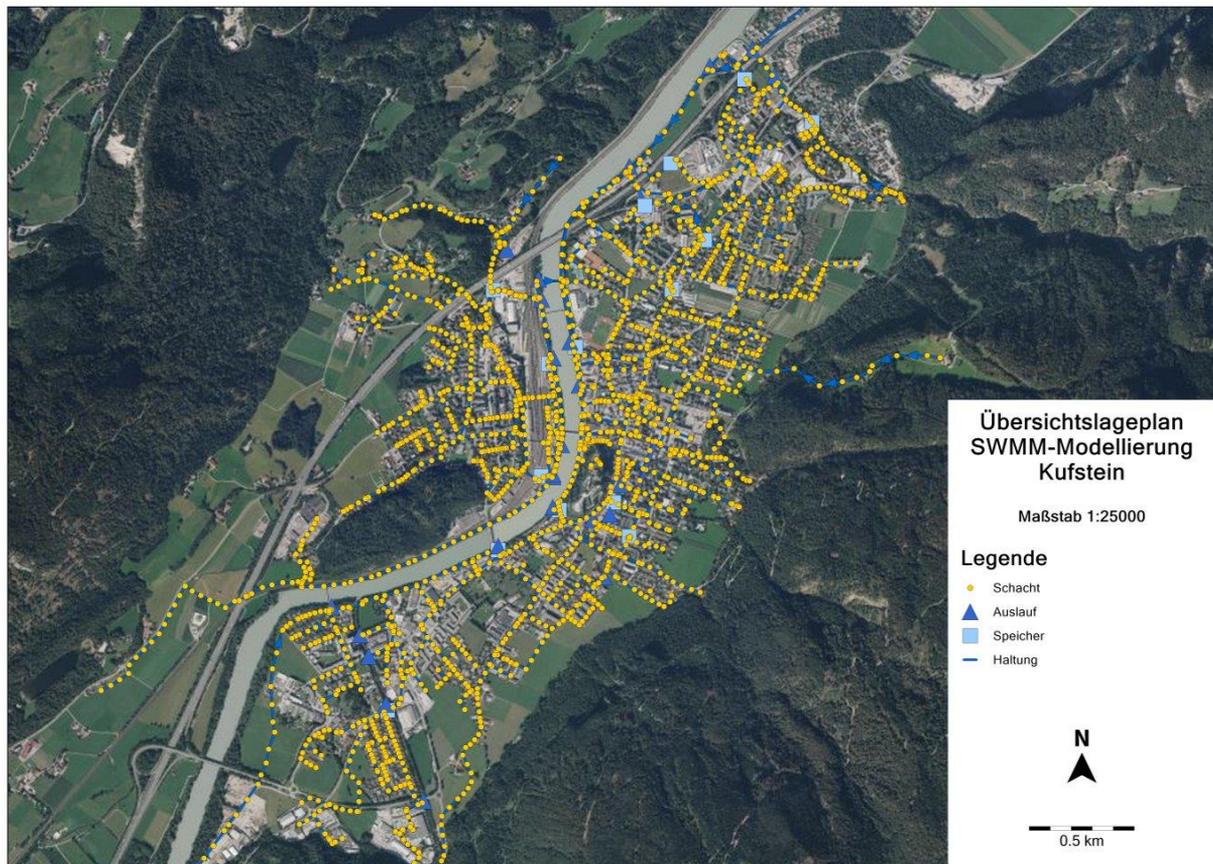
Als abflusswirksame Flächen werden Dachflächen sowie Straßen- und Parkplatzflächen betrachtet. Anhand von GIS Informationen der Stadtgemeinde, wurde dabei zwischen Dachflächen mit grundstückseigener Versickerung, Dachflächen mit Kanaleinleitung, Dachflächen ohne Kanalanschluss sowie Dachflächen mit Privatkanälen unterschieden. Die Straßen- und Parkplatzflächen basieren auf dem Grundstückskataster und wurden nachfolgend angepasst, die Dachflächen stammen aus dem Datensatz der Stadtwerke Kufstein.

Weitere erforderliche Daten wie beispielsweise Niederschlagsdaten, Bevölkerungsstatistik oder Bodenkarten stammen aus Open-Source-Quellen (Tabelle 83).

Tabelle 83: Datenerfordernisse für den Aufbau eines 1D Kanalnetzmodells in Kufstein.

Daten	Beschreibung	Quelle	Klasse
Digitaler Grundstückskataster (DKM)	Grundstücksgrenzen und Dachflächen im EZG (inkl. Anschlussgrad an Kanalisation)	Stadt Kufstein	zwingend erforderlich
Digitales Leitungsinformationssystem (LIS)	Digitale Datenaufbereitung aller wesentlichen Elemente der Misch- und Regenwasserkanalisation	Stadt Kufstein	zwingend erforderlich
Niederschlagsdaten	Um reale Starkregenereignisse simulieren zu können benötigt es Messdaten zum Niederschlag mit einer zeitlichen Auflösung von mind. 10 Minuten	GeoSphere Austria	Zwingend erforderlich
Bodeneigenschaften	Art und Eigenschaften der anstehenden Böden um Prozesse wie Versickerung realistisch abbilden zu können	eBod digitale Bodenkarte	erwünscht
Bevölkerungsdaten	Bevölkerungsdaten des regionalstatistischen Rasters zur Abschätzung des Trockenwetterabflusses	Statistik Austria Datenstand 2017	erwünscht

Abbildung 79: Übersichtslageplan des Leitungskatasters Kufstein als Grundlage für das Kanalnetzmodell (Pavlu, 2023)



Im Zuge einer Masterarbeit (Pavlu, 2023) wurde ein 1D-Kanalnetzmodell der Stadt Kufstein erstellt. Für die Modellerstellung wurde auf die lizenzierte Software PCSWMM zurückgegriffen welche den frei verfügbaren SWMM Code implementiert hat.

In der Modellerstellung wurden zuerst die Haltungen und Schächte importiert und angepasst sowie die dazugehörigen Eigenschaften und Geometrien definiert. Des Weiteren wurden alle Sonderbauwerke möglichst realitätsnah abgebildet, um sowohl Auslässe, Pumpen als auch Regen- und Überlaufbecken in das Modell zu integrieren (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Trockenwetterabfluss errechnet sich aufgrund der Einwohnerzahl und wurde als konstanter Wert je Schacht angesetzt. Für die Abflussberechnung wurde der Ansatz der „Dynamischen Welle“ gewählt. Ebenso wurde die „Green-Ampt“-Methode für das Infiltrationsmodell festgelegt.

Die Simulation wurde sowohl für verschiedene Modellregen als auch für die real gemessenen Daten der Niederschlagsmessung der GeoSphere Austria im Stadtgebiet zum Zeitpunkt des Starkregenereignisses im Juli 2021 durchgeführt. Die Modellregen wurden verwendet, um die Überstausituation des Netzes zu beurteilen. Für das Ereignis von Juli 2021 zeigte sich, dass der

durch das Kanalnetz induzierte Überstau lediglich einen kleinen bis vernachlässigbaren Anteil am Hochwasser hatte, und die Überflutungen überwiegend durch die Stadtbäche verursacht wurden. Das gesamte Überflutungsgeschehen konnte aufgrund des fehlenden 2D-Ansatzes im Modell nicht untersucht werden. Die Untersuchung mithilfe des 1D-Kanalnetzmodells zeigte dessen Limitierung zur Abbildung von außergewöhnlichen Ereignissen auf Gemeindeebene und unterstreicht die Wichtigkeit eines gekoppelten 1D-2D Modells (7.4.6).

Eine vereinfachte Validierung des Modells erfolgte durch eine Plausibilisierung der Stadtwerke Kufstein, sowie anhand von kurzzeitigen Durchflussmessungen im Kanalnetz. Da das Modell einigen Limitierungen unterliegt, wird für weiterführende Berechnungen eine Kalibrierung empfohlen, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen.

12.2.2 Workshop: Starkregentbewältigung in Kufstein

Am 11. August 2022 fand im Bürgersaal des Rathauses von Kufstein ein Workshop zum Thema „Stör- und Notfälle in Kufstein – Wie gehen wir mit Starkregen um?“ statt. 13 Teilnehmer:innen, bestehend aus Vertreter:innen der Stadt Kufstein und Expert:innen aus verschiedenen relevanten Bereichen, nahmen an dem interaktiven Workshop teil, der sich auf den Umgang mit Starkregen in Siedlungsgebieten konzentrierte. Besonderes Augenmerk galt dabei den Ereignissen vom 17. und 18. Juli 2021.

Der Workshop war in drei Blöcke unterteilt, die den drei Phasen des umfassenden Katastrophenmanagements entsprachen: I) Vermeidung und Vorsorge; II) Bewältigung; und III) Wiederherstellung.

Die Teilnehmer:innen des Workshops trugen aktiv zu den Diskussionen und Arbeitsphasen bei und brachten wertvolle Informationen und Perspektiven in die Veranstaltung ein. Die ausgetauschten Ideen und Strategien können für die Weiterentwicklung des bestehenden Störfallmanagements auf Gemeindeebene beitragen, um in Zukunft besser auf Starkregenereignisse vorzubereitet zu sein und ihre Auswirkungen zu minimieren.

Block I: Vorsorge und Prävention

In dem ersten Block „Vorsorge und Prävention“ wurden drei Arbeitsgruppen gebildet, die jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven ein Brainstorming zum Thema Vorsorge und Prävention von Starkregen und Überflutungen durchführten. Jede Gruppe erstellte ein Poster mit ihren Ergebnissen und präsentierte dieses anschließend der Gesamtrunde.

Die erste Gruppe konzentrierte sich auf den **Idealfall**. Im Idealfall sollte Vorsorge und Prävention von Starkregen und Überflutungen in urbanen Gebieten laut Teilnehmer:innen folgendermaßen aussehen:

Zu Beginn wird eine zuverlässige Vorabwarnung durch Institutionen wie GeoSphere Austria (ehemals ZAMG) gewährleistet. Zusätzlich liegt ein umfassender und aktueller Hochwasser-Gefahrenzonenplan vor, der die potenziell gefährdeten Gebiete und die erforderlichen Maßnahmen klar darstellt. Alle Geschiebebecken werden regelmäßig geräumt, um sicherzustellen, dass sie bei Bedarf einsatzbereit sind. Die Gerinne sind so gestaltet, dass Wasser im Überflutungsfall schnell abgeleitet werden kann, um Schäden zu minimieren.

Darüber hinaus wurden im Siedlungsgebiet planbare Hot-Spots identifiziert, an denen verstärkt auf mögliche Überflutungen geachtet wird. Zur Unterstützung dieser Anstrengungen wird Schanzwerkzeug, wie beispielsweise Sandsäcke, vor Ort gelagert. Eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit wurde im Vorfeld durchgeführt, um die Zivilbevölkerung gut über Selbstschutzmöglichkeiten zu informieren.

Ebenso sind Rückhaltebecken fertig gestellt und mit ausreichender Kapazität dimensioniert, um bei Bedarf große Wassermengen aufnehmen zu können. Mobile Streckenposten für Niederschlagsmessungen sind ebenfalls implementiert, die es der Bevölkerung ermöglichen, Daten zu liefern und somit Informationslücken zu schließen.

Diese Maßnahmen sind durch eine klar definierte Informations-, Kommunikations- und Koordinationsstrategie miteinander verknüpft. Schließlich steht ein ausreichendes Budget zur Verfügung, und die Koordination der Freiwilligenarbeit wird von einer geeigneten Stelle übernommen, um unkoordinierte Hilfeleistungen zu reduzieren und zusätzliche Gefährdungen zu vermeiden.

Die zweite Gruppe diskutierte das **Worst-Case-Szenario**. Die Teilnehmer dieser Gruppe haben eine Reihe von möglichen Herausforderungen und Problemen identifiziert, die im Falle von Starkregen und städtischen Überflutungen auftreten können.

Zunächst hat diese Gruppe hervorgehoben, dass das Fehlen eines angemessenen Managements auf Einzugsgebietsebene bedeuten könnte, dass keine umfassenden Maßnahmen zur Vorbereitung und Bewältigung von Überflutungen getroffen werden. Sie haben auch auf potenzielle Schwierigkeiten hingewiesen, die sich aus unzugänglichen oder schlecht gepflegten

Forstwegen ergeben könnten. In Bezug auf das Geschiebe könnten volle oder nicht vorhandene Becken das Risiko von Überschwemmungen erhöhen, ein Problem, das durch weit verbreitete Erosion noch verschlimmert werden könnte.

Verstopfungen, die Brücken und Straßen blockieren, wurden ebenfalls als mögliche Hindernisse für den Zugang zu wichtigen Bereichen genannt. Sie haben betont, dass das Fehlen von Kommunikation zwischen Schlüsselpersonen und unklare Zuständigkeiten zu Verwirrung und Verzögerungen bei der Reaktion auf Überflutungen führen kann. Zudem haben sie angemerkt, dass die Situation durch das gleichzeitige Auftreten mehrerer Notfälle oder Krisen, wie beispielsweise Stromausfälle, Brände oder Wassermangel, noch weiter verschärft werden könnte.

Die Gruppe hat darauf hingewiesen, dass die Urlaubszeit und die damit verbundene Abwesenheit vieler wichtiger Akteure eine weitere Herausforderung darstellen könnte. Sie haben auch die Rolle von baulichen Fehlentscheidungen, wie der Versiegelung oder Überbauung von Grünflächen, bei der Erhöhung des Risikos von Überschwemmungen betont. Zudem könnten Gefahren falsch bewertet oder kommuniziert werden, was zu mangelndem Bewusstsein und unzureichender Vorbereitung führen könnte. Sie haben hervorgehoben, dass eine unzureichende Kommunikation mit den Betroffenen und Helfern dazu führen könnte, dass notwendige Maßnahmen nicht effektiv umgesetzt werden.

Die Gruppe hat außerdem darauf hingewiesen, dass bauliche Mängel an Brücken zusätzliche Probleme verursachen könnten und dass Warnhinweise ignoriert werden, entweder weil die Menschen gegenüber Sirenen abgestumpft sind oder weil sie Unwetterwarnungen nicht ernst nehmen. Schaulustige, die Einsatz- und Rettungswege blockieren und sich selbst in Gefahr bringen, wurden auch als Problem erkannt.

Abschließend wurde betont, dass das Fehlen eines Gefahrenzonenplans und grundlegender Unterlagen, der unsichere Zugang zu Personal und Ausrüstung, insbesondere nachts und am Wochenende, sowie bauliche Mängel in der Kanalisation und das Versagen privater Sickeranlagen weitere Herausforderungen darstellen. Des Weiteren wird ein Personalausfall in kritischen Infrastrukturen, wie Krankenhäusern, als Gefahr angesehen, die eine Überflutungssituation verschärfen würde. Es besteht zudem die Sorge, dass Fachkräfte mit spezifischen Ortskenntnissen fehlen könnten.

Die dritte Gruppe untersuchte den **Ist-Zustand im Juli 2021**. Sie berichteten, dass es viele kleine Durchlässe und überdeckte Strecken gab, was das Überflutungsrisiko erhöht hat. Trotz dieser Herausforderungen wurden laufende Beobachtungen der Wetterkarten sowohl vom

Bauhof als auch von der Feuerwehr durchgeführt, um sich auf mögliche Starkregenereignisse vorzubereiten.

Zusätzlich gab es Erkundungen der Arbeitsgerätschaften, einschließlich Sand und Baggern, als Teil der vorbeugenden Maßnahmen. Die Inspektionsintervalle der Gerinne wurden eingehalten, obwohl die Gruppe der Meinung war, dass sie wahrscheinlich angepasst werden könnten.

Für den Hochwasserschutz wurde vorgesorgt und es gab Zugriff auf Sandsäcke. Allerdings lag der Gefahrenzonenplan nur im Bauamt vor und es gab keine Vorinformationen für die Privaten hinsichtlich des Gefahrenzonenplans.

Bebauungspläne wurden laut Angaben dieser Gruppe nicht mit dem Gefahrenzonenplan abgestimmt. Obwohl die Rückhaltebecken (drei an der Zahl) zur Zeit des Ereignisses als zu klein erachtet wurden, waren sie dennoch geräumt. Die kontinuierliche Räumung dieser Becken wurde durch den Bauhof durchgeführt.

Fazit des Gruppen-Brainstormings

Die individuellen Beiträge der Teilnehmer:innen boten eine differenzierte Sicht auf alle notwendigen Vorbereitungen, Wartungsmaßnahmen und Managementaspekte zur Vorbereitung auf ein Überflutungsereignis. In der anschließenden Diskussion wurde hervorgehoben, dass der Gefahrenzonenplan für Kufstein im Tirol Online GIS (Kartendienst tirisMaps) verfügbar ist und heute bei allen neuen Bauvorhaben berücksichtigt wird.

Zudem wurde die Möglichkeit diskutiert, Bürger:innen Selbstschutzzinformationen zur Verfügung zu stellen. Dabei wurden auch die rechtlichen Herausforderungen erörtert, die sich bei baulichen Selbstschutzmaßnahmen auf privaten Grundstücken ergeben. Denn solche Maßnahmen dürfen nicht dazu führen, dass benachbarte Grundstücke zusätzlich gefährdet werden. Das verdeutlichte die Notwendigkeit eines koordinierten Vorgehens im gesamten Stadtgebiet.

Zum Abschluss der Veranstaltung wurden die Teilnehmer:innen dazu aufgefordert, an einer Abstimmung teilzunehmen. Dabei sollten sie den Stand der Vorsorge und Prävention in Kufstein auf einer Skala von „Worst-Case“ bis „Idealfall“ bewerten, und zwar einmal für das Jahr 2021 und einmal für den aktuellen Stand (August 2022). Die Ergebnisse der Abstimmung für 2021 bewegten sich mehrheitlich von der Skalenmitte hin zum „Worst-Case“. Dies lässt darauf schließen, dass die Teilnehmer:innen der Ansicht waren, dass der Stand der Vorsorge und Prä-

vention in Kufstein in diesem Jahr eher mittelmäßig bis schlecht war. Im Gegensatz dazu konzentrierten sich die Stimmen für 2022 zwischen der Skalenmitte und dem „Idealfall“. Demzufolge stünde es in der Auffassung der Teilnehmer:innen doch deutlich besser um die Vorsorge und Prävention für das nächste Starkregenereignis als noch im Jahr davor.

Block II: Ereignisbewältigung

Nach einer Einführung in die Wettervorhersagen und Niederschlagsmessungen zum Ereignis vom 17./18. Juli 2021 wurde das Ereignis und die Bewältigung (Sofortmaßnahmen und Einsätze) im Programmpunkt „interaktive Karte“ anhand einer ausgedruckten Karte des Stadtgebiets gemeinsam aufgearbeitet und diskutiert (Abbildung 80). Es wurde betont, dass es für die Gemeinde nicht immer sinnvoll oder möglich sei, auf jede Unwetterwarnung zu reagieren. Trotzdem wurde die Möglichkeit zur Nutzung der INCA-Vorhersagen der ZAMG, die Wettermodelle, Messwerte und Radarsignale kombinieren, diskutiert. Diese Vorhersagen könnten die Überwachung und Reaktion auf zukünftige Ereignisse verbessern. Lukas Niedermaier, ein Student der Universität Innsbruck, präsentierte seine Bachelorarbeit, in der er das Ereignis vom Juli 2021 anhand von Video- und Fotodaten rekonstruiert hat.

Abbildung 80: Interaktive Karte während des Kufstein Workshops August 2022



Block III: Nachsorge und Wiederherstellung

Im dritten Block ging es um die Nachbereitung und Wiederherstellung nach der Überflutung. Unter der Leitfrage „Lessons Learned“ wurden Erfahrungen und Ratschläge für andere Gemeinden gesammelt, die sich in ähnlichen Situationen befinden könnten. Es wurden verschiedene Themen behandelt, darunter das Risikobewusstsein der Bevölkerung, die Abwicklung von Kosten und Förderungen, kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen, die Koordination von Einsatzkräften und verantwortlichen Stellen sowie bauliche und infrastrukturelle Maßnahmen im Stadtgebiet und im Umland.

Es wurde betont, dass sich keine Gemeinde vollständig vor jedem Ereignis schützen und absichern kann. Die Bewältigung von Überflutungsrisiken und Starkregenereignissen erfordert eine langfristige Zusammenarbeit verschiedener Stellen und Personengruppen.

Insgesamt lieferte der Workshop wichtige Erkenntnisse und praktische Hinweise zur Verbesserung der Resilienz und Reaktionsfähigkeit der Gemeinde Kufstein gegenüber zukünftigen urbanen Überflutungen und Starkregen.

13 Abkürzungen

Abkürzung	Definition
AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
ABGB	Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AWRL	Richtlinie zur Behandlung von kommunalem Abwasser
AWV	Abwasserverband
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
DET	Detectability (im Kontext der FMEA)
DGM	Digitales Geländemodell
DNWB	Dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung
DOM	Digitales Oberflächenmodell
HORA	Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria, kurz HORA, früher eHORA
HWRL	Hochwasserrahmenrichtlinie
EW	Einwohner
EZG	Einzugsgebiet
FCM	Fuzzy Cognitive Mapping
FF	Freiwillige Feuerwehr
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse)
FWP	Flächenwidmungsplan
GEL	Gemeindeeinsatzleitung
GFZ-Plan	Gefahrenzonen-Plan
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
HWRM	Hochwasserrisikomanagement
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik

Abkürzung	Definition
IKT [Institut]	Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
IUV	Industrieunfallverordnung
LAWZ	Landesalarm- und Warnzentrale
LID	Low Impact Development
LIS	Leitungsinformationssystem
NWB	Niederschlagswasserbewirtschaftung
ÖEK	Örtliches Entwicklungskonzept
OCC	Occurance (im Kontext der FMEA)
ÖNORM	Österreichische Norm
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
ÖZSV	Österreichische Zivilschutzverband
QGIS	Quantum Geographical Information System (Geoinformationssystem-Software)
RI	Reduktionsindex
RPN	Risk Priority Number oder Risikoprioritätenzahl (im Kontext der FMEA)
RTC	Real-Time-Control (Steuerung)
SEV	Severity (im Kontext der FMEA)
SKKM	Staatliches Krisen- und Katastrophenschutzmanagement
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SWMM 5.2	Storm Water Management Model Version 5.2 Software
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken)
TWI	Topografic Wetness Index
VSA	Verband Schweizer Abwasser –und Gewässerschutzfachleute
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung
WRG	Wasserrechtsgesetz
WSUD	Water Sensitive Urban Drainage Design
WRRRL	Wasserrahmenrichtlinie
ZSV	Zivilschutzverband

14 Dissemination

Folgende Vorträge und internationale wissenschaftliche Konferenzen wurden im Zuge des Projektes besucht beziehungsweise daran teilgenommen:

- European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2021 Wien (online)
- European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2022 Wien (Präsenz)
- European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2023 Wien (Präsenz)
- Aqua Urbanica 2021: Schwammstadt – Versickerung 2.0? Innsbruck (Präsenz)
- Aqua Urbanica 2022: „Grün statt Grau“ Glattfelden (Präsenz)
- Aqua Urbanica 2023: „Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt“ Garching (Präsenz)
- 15th International Conference on Urban Drainage (ICUD) 2021 Melbourne (online)
- ÖWAV Seminar Klimawandel Aktuelle Entwicklungen 2021 Wien (online)
- Urban Drainage Modelling Conference (UDM) 2022 Costa Mesa California (online)
- 11th Novatech International Conference Urban water2023 Lyon (Präsenz)
- Kanalmanagement 2022 Wien (online)
- 7th IAHR Europe Congress: Innovative water management in a changing climate 2022 Athen (Präsenz)
- IWA World Water Congress & Exhibition, Kopenhagen, 11.-15.09.2022 (Präsenz)

Weiters wurden folgende Beiträge im Zuge von wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert beziehungsweise veröffentlicht:

Konferenzvorträge:

- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Back, Yannick; Bach, Peter Marcus; Leitao, Joao Paulo; Rauch, Wolfgang; Kleidorfer, Manfred: Comparing urban sub-catchment delineation approaches for dynamic hydrological modelling. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2021, Wien, online, 26.04.2021
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Matzinger, Andreas; Kleidorfer, Manfred: Sensitivity of Sustainable Urban Drainage Systems to precipitation events and malfunctions based on 60-year long-term. 15th International Conference on Urban Drainage 2021 (ICUD 2021), Melbourne, online, 27.10.2021.
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Reinstaller, Stefan; Muschalla, Dirk; Kleidorfer, Manfred: Impact of model structure on analysing malfunctions in urban drainage systems.

Urban Drainage Modelling Conference 2022, Costa Mesa California (online), Costa Mesa, CA (online), 10.01.2022.

- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-AutorInnen: Reinstaller, Stefan; Kleidorfer, Manfred: Impact of malfunctions on urban drainage for different design rainfall events. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2022, Wien, hybrid, 26.05.2022.
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Reinstaller, Stefan; Kleidorfer, Manfred: Common malfunctions in urban drainage and their impact on surface flooding based on an integrated 1D-2D hydraulic model. 7th IAHR Europe Congress: Innovative water management in a changing climate, Athen, 08.09.2022.
- Vortragende/r: Kearney, Katharina Co-Autor:innen: Funke, Fabian; Reinstaller, Stefan; Muschalla, Dirk; Kleidorfer, Manfred, Ertl, Thomas: Urban Stormwater Management in the Face of Extreme Events and Failure Incidents – Diverse Resilience Perspectives through Participatory Modelling in the BEJOND Project. IWA World Water Congress & Exhibition, Kopenhagen, 11.09.2022
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Reinstaller, Stefan; Kleidorfer, Manfred: Impact of urban drainage malfunctions and blue-green measures on urban flooding. 11th international conference Novatech, Lyon, 06.07.2023.
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Reinstaller, Stefan; Kleidorfer, Manfred: Dezentrale Siedlungsentwässerung zur Anpassung an klimawandelinduzierte Starkregenereignisse.. Aqua Urbanica 2023: Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt , Garching, 09. – 10.10.2023

Posterpräsentationen:

- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Matzinger, Andreas; Kleidorfer, Manfred: Sensitivität von Anlagen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Niederschlagsereignisse und Störfälle anhand einer 60-jährigen Langzeitmodellierung. Aqua Urbanica 2021: Schwammstadt - Versickerung 2.0?, Innsbruck, 13.09.2021.
- Vortragende/r: Funke, Fabian Co-Autor:innen: Reinstaller, Stefan; Kleidorfer, Manfred: Betriebsstörungen bei Anlagen der Siedlungsentwässerung und deren Einfluss auf urbane Überflutungen. Aqua Urbanica 2022 - Grün statt Grau, Glattfelden, 14.11.2022.

Folgende Beiträge im Zuge des Forschungsprojektes BEJOND wurden in Fachzeitschriften publiziert:

- Funke, Fabian; Kleidorfer, Manfred (2024): Sensitivity of sustainable urban drainage systems to precipitation events and malfunctions. Blue Green Systems 6 (1): 33-52. doi: <https://doi.org/10.2166/bgs.2024.046>

Folgende Beiträge im Zuge des Forschungsprojektes BEJOND in Fachzeitschriften eingereicht:

- Maßnahmen zur urbanen Überflutungsprävention: Wirksamkeit von dezentraler Niederschlagswasserbewirtschaftung im Vergleich zu herkömmlichen technischen Maßnahmen (Autoren: Stefan Reinstaller, Fabian Funke, Manfred Kleidorfer, Dirk Muschalla) in „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ des Springer Verlage

15 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Planung, Bemessung, und Betrieb von zentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	32
Tabelle 2: Planung, Bemessung, und Betrieb von dezentralen Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	33
Tabelle 3: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Starkniederschlag.....	37
Tabelle 4: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Dauerregen.....	39
Tabelle 5: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Trockenheit und Dürre	40
Tabelle 6: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Unwetter und Sturm	41
Tabelle 7: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Schnee, Eis und Tauwetter.....	42
Tabelle 8: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Flusshochwasser.....	43
Tabelle 9: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Grundwasser	45
Tabelle 10: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Naturkatastrophen.....	46
Tabelle 11: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Stromausfall	48
Tabelle 12: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall der Kommunikationsnetze.....	49
Tabelle 13: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Sabotage durch Cyberangriff oder Terrorismus.....	50
Tabelle 14: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Kontamination mit Gefahrenstoffen	52
Tabelle 15: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis unsachgemäßer Betrieb (privat)	54
Tabelle 16: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Kolmation von Versickerungsanlagen	56
Tabelle 17: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verstopfung und Verklausung von Einläufen.....	58
Tabelle 18: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Pumpwerksausfall	61
Tabelle 19: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall von Sensoren und Kontrollsystemen	63
Tabelle 20: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verstopfungen.....	65
Tabelle 21: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Verzopfungen.....	67
Tabelle 22: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Haltungsschäden und Haltungseinstürze.....	69
Tabelle 23: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausführungsfehler.....	71

Tabelle 24: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Planungsfehler.....	73
Tabelle 25: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Ausfall von Betriebspersonal (kurzfristig)	75
Tabelle 26: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis unsachgemäßer Betrieb (technisch)	77
Tabelle 27: Zusammenfassung außergewöhnliches Ereignis Fehlende Wartung und Pflege	79
Tabelle 28: Erklärung der FMEA-Methodik	87
Tabelle 29: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für die Anlage (SEV-A)	89
Tabelle 30: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für Nachbarsysteme (SEV-K)	90
Tabelle 31: FMEA Klassifizierung des Schweregrads für die Umgebung (SEV-U)	91
Tabelle 32: Klassifizierung der Fehlerhäufigkeit (OCC)	92
Tabelle 33: FMEA Klassifizierung der Fehlererkennung (DET)	93
Tabelle 34: Beschreibung der topografischen Fließweganalyse	97
Tabelle 35: Beschreibung des rasterbasierten 2D Modells.....	98
Tabelle 36: Beschreibung eines hydrodynamischen 1D Modells.....	100
Tabelle 37: Beschreibung eines hydrodynamischen 2D Modells.....	102
Tabelle 38: Beschreibung eines hydrodynamischen 1D-2D Überflutungsmodell	104
Tabelle 39: Betrachtete Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	106
Tabelle 40: FMEA-Analyse Mischwasserkanal	108
Tabelle 41: FMEA-Analyse Regenwasserkanal	113
Tabelle 42: FMEA-Analyse Hausanschlusskanal.....	116
Tabelle 43: FMEA-Analyse Pumpwerk	118
Tabelle 44: FMEA-Analyse Mischwasserüberlauf und Mischwasserüberlaufbecken.....	121
Tabelle 45: FMEA-Analyse Speicherkanal	123
Tabelle 46: FMEA-Analyse Regenrückhaltebecken	126
Tabelle 47: FMEA-Analyse Mulden- und Flächenversickerung.....	128
Tabelle 48: FMEA-Analyse Kombinierte Versickerungssysteme und Baumrigole	133
Tabelle 49: FMEA-Analyse Schacht-, Drainagerohr- und Rigolenversickerung.....	137
Tabelle 50: FMEA-Analyse Zisterne mit Regenwassernutzung	140
Tabelle 51: FMEA-Analyse künstliche Wasserflächen.....	143
Tabelle 52: FMEA-Analyse teilversiegelte Oberflächen	145
Tabelle 53: FMEA-Analyse Dachbegrünung	148
Tabelle 54: Auftreten von Störfällen mit hohen Schweregraden in allen Anlagentypen..	152
Tabelle 55: Übersicht über die modellierten dezentralen Anlagen und deren Dimensionierung (Funke & Kleidorfer).	155

Tabelle 56: Untersuchte Störfälle in einzelnen dezentralen Anlagen mit den davon betroffenen LID-Parametern und der Leistungsverringerung im Vergleich zum Ausgangswert in % (Funke & Kleidorfer).....	156
Tabelle 57: Übersichtsergebnisse der modellierten dezentralen Anlagen ohne Störfälle und Betriebsstörungen (Funke & Kleidorfer).	157
Tabelle 58: Ergebnisse der Modellierung von Störfällen in einzelnen dezentralen Anlagen (Funke & Kleidorfer).	158
Tabelle 59: Steckbrief zu der Maßnahme Rückhaltebecken für die Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen	163
Tabelle 60: Steckbrief für die Maßnahme Notwasserweg zur Reduktion der Auswirkungen außergewöhnlicher Ereignisse	165
Tabelle 61: Steckbrief zu multifunktionalen und multicodierten Retentionsflächen als Maßnahme zur Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen	166
Tabelle 62: Steckbrief zu Blau-Grüne Infrastrukturanlagen zur Reduktion der Auswirkung von außergewöhnlichen Ereignissen	169
Tabelle 63: Steckbrief zu Land und Forstwirtschaftlichen Maßnahmen zur Überflutungsprävention.....	172
Tabelle 64: Steckbrief zu Erweiterung des städtischen Entwässerungssystem und eines Speicherkanals.....	174
Tabelle 65: Steckbrief zur Maßnahme mobiler Überflutungsschutz	175
Tabelle 66: Steckbrief zur kleinräumigen Maßnahmen Eigenvorsorge im privaten Bereich	177
Tabelle 67: Beispiel für einen Kosten Nutzen Vergleich zweier Maßnahmen.....	185
Tabelle 68 Übersicht über relevante Normen und Regelwerke im Bereich Risiko-, Stör-, Notfall- und Krisenmanagement.....	194
Tabelle 69 Beispiel eines Alarm- und Einsatzplans für den Starkregenfall auf Gemeindeebene	198
Tabelle 70 Beispielhafte Organisationsstruktur und Verantwortlichkeiten für die betriebliche Stör- und Notfallplanung	206
Tabelle 71: Kommunikationsformen mit und an Bürger:innen	212
Tabelle 72 Teilnehmende der KAN-Umfrage Stör- und Notfälle im Kanalbetrieb.....	215
Tabelle 73 Ausgewählte Performance Indikatoren am Beispiel der teilnehmenden Kanalbetriebe; Vergleich von Kanalnetzlängen, Mitarbeiterzahlen und Betriebsstörungen pro Jahr.....	217
Tabelle 74: Übersicht über Meldestellen und Informationsbereitstellung zu Starkregen- und Überflutungsrisiken der Teilnehmer	236

Tabelle 75: Organisationen die in der Entwicklung einer Kommunikationsstrategie mitwirken können	245
Tabelle 76: Datenerfordernisse für den Aufbau eines integrierten 1D-2D Modells in Feldbach (Kapitel 7).....	277
Tabelle 77: Datenerfordernisse für die qualitativen Untersuchungen	278
Tabelle 78: Zugewiesene Werte der notwendigen hydrologischen Parameter in Abhängigkeit der Landbedeckung.....	284
Tabelle 79: Eigenschaften der drei modellierten Regenereignisse in Feldbach	288
Tabelle 80: Definition von Gefahrenklassen für urbane Überflutungen anhand von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit.....	289
Tabelle 81: Überflutungsflächen nach Gefahrenklasse in Feldbach für die drei modellierten Regenereignisse.....	290
Tabelle 82: Modellierete Störfallszenarien in der Fallstudie Feldbach.....	294
Tabelle 83: Datenerfordernisse für den Aufbau eines 1D Kanalnetzmodells in Kufstein..	313

16 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtlicher Rahmen für die Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich	22
Abbildung 2: Urbaner Starkniederschlag	36
Abbildung 3: Dauerregen im urbanen Raum	38
Abbildung 4: Vertrockneter Boden aufgrund von Dürre	40
Abbildung 5: Gewitter mit Blitzeinschlag	41
Abbildung 6: Schneebedeckte Straße	42
Abbildung 7: Flusshochwasser mit Überschwemmung angrenzender Flächen	43
Abbildung 8: Schichtenwasser im Sickerschacht.....	44
Abbildung 9: Murenabgang in einer kleinen Gemeinde	45
Abbildung 10: Reparatur von Stromleitungen	47
Abbildung 11: Reparatur von Kommunikationsnetzen.....	48
Abbildung 12: Cyberangriff	49
Abbildung 13: Löscharbeiten beim Großbrand eines Reifenlagers	51
Abbildung 14: Unsachgemäßer Betrieb im privaten Bereich.....	53
Abbildung 15: Kolmatierte Versickerungsanlage	55
Abbildung 16: Verklausung eines Einlaufs	57
Abbildung 17: Pumpwerksausfall.....	60
Abbildung 18: Sensoren im Kanalsystem	62
Abbildung 19: Verstopfung und Ablagerungen im Kanal.....	64
Abbildung 20: Verzopfung im Pumpwerk	66
Abbildung 21: Beschädigung einer Rohrleitung.....	68
Abbildung 22: Ausführungsfehler bei Kanalarbeiten	70
Abbildung 23: Überstau aus der Kanalisation	72
Abbildung 24: Betriebspersonal in der Mischwasserkanalisation	74
Abbildung 25: Verdichtung des Muldensubstrats durch Einsatz von schwerem Gerät	76
Abbildung 26: Kanalarbeiten	78
Abbildung 27: Schema einer „fuzzy cognitive map“ mit gerichteten und gewichteten Pfeilen zwischen den jeweiligen Systemelementen (hier als „Konzept“ bezeichnet). (Eigene Darstellung)	85
Abbildung 28: Übersichtskarte des fiktiven Einzugsgebietes mit allen Anlagen der zentralen und dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftung (mod. Holzer, 2021; Funke et al., 2022).....	95

Abbildung 29: Beispielhafte Abbildung der topographischen Fließweganalyse basierend auf dem D8-Ansatz, der Abflussakkumulation sowie des Topografic Wetness Index (TWI)	96
Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung eines rasterbasierten 2D Überflutungsmodells ..	98
Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells für die Bewertung von zentralen und dezentralen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen	100
Abbildung 32: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen 2D Überflutungsmodells bezüglich der Bewertung auf Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	102
Abbildung 33: Beispielhafte Darstellung eines hydrodynamischen 1D-2D Überflutungsmodells zur Bewertung von Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	103
Abbildung 34: Schema des Modells zur Untersuchung von einzelnen dezentralen Anlagen mit dem Modell SWMM 5.2 (Funke & Kleidorfer).....	154
Abbildung 35: Beispiel für ein Rückhaltebecken für die Reduktion von außergewöhnlichen Ereignissen.....	163
Abbildung 36: Beispiel für verschiedene Ausführungen der Maßnahme Notwasserweg zur Reduktion der Auswirkungen außergewöhnlichen Ereignissen	164
Abbildung 37: Beispielhafte Abbildung von multifunktionalen und multicodierten Retentionsflächen	166
Abbildung 38: Beispielhafte Umsetzung verschiedener BGI - Anlagen	168
Abbildung 39: exemplarische Umsetzung von Land - und Forstwirtschaftliche Maßnahmen	171
Abbildung 40: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung der Maßnahmen Kanalmodifizierung.....	173
Abbildung 41: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung der Maßnahmen mobiler Überflutungsschutz	175
Abbildung 42: Exemplarische Darstellung einer Umsetzung von eigenvorsorglichen Überflutungsschutz im privaten Bereich.....	176
Abbildung 43: Qualitative Bewertung der nachhaltigen Wirkung (OF3) über die Wasserbilanzgrößen	182
Abbildung 44: Beispielhafte Gegenüberstellung der resultierenden Überflutungsflächen der Landwirtschaftlichen Maßnahme (M6 (rechte Abbildung)) mit der Überflutungsfläche des Referenzszenarios (M0 (linke Abbildung)) für das Klimawandelszenario Z1.....	187
Abbildung 45: Darstellung des Wirksamkeitsindex (Bereichsgrenze: -1 bis 1) aller simulierten Maßnahmen und Zustände im fiktiven EZG wobei die blauen Färbungen eine Verschlechterung und eine orange Färbung eine Verbesserung des gesamten Systems der NWB darstellen.....	189

Abbildung 46 Zyklus der Stör- und Notfallplanung, eigene Abbildung.....	202
Abbildung 47: Beispiel einer möglichen Meldekette bei unterschiedlichen Stör- und Notfällen, eigene Darstellung.....	209
Abbildung 48: Häufigkeit von Problemen im Kanalbetrieb durch Starkregen.....	219
Abbildung 49: Gefährdungen im Kanalbetrieb, Einschätzung bzgl. bestehenden Gefahren und Angaben zur Maßnahmenplanung.....	222
Abbildung 50: Schriftliche Festhaltung von Informationen für die Stör- und Notfallplanung und die Verantwortlichkeiten im täglichen Betrieb.....	226
Abbildung 51: Planung von Sofortmaßnahmen für unterschiedliche Notfallsituationen .	227
Abbildung 52: Dokumentationsformen von Handlungsanweisungen für Sofortmaßnahmen im Notfall.....	228
Abbildung 53: Verfügbarkeit von Sofortmaßnahmen und Handlungsanweisungen für verschiedene Akteure.....	229
Abbildung 54: Notfall-Kommunikationswege: An wen sich Betriebe bei nicht alleine bewältigbaren Störungen wenden.....	230
Abbildung 55: Alarmierung relevanter Personen und Stellen bei verschiedenen Störungsszenarien	231
Abbildung 56: Zentrale Fragen für eine Risikokommunikationsstrategie (eigene Darstellung)	240
Abbildung 57: Schritte in der Formulierung einer umfassenden Kommunikationsstrategie mit möglichen Leitfragen (eigene Darstellung).....	242
Abbildung 58: Kommunikationskanäle und -methoden (eigene Darstellung)	249
Abbildung 59: Anteil der Befragten, die schon einmal über eine Informationskampagne zu den Gefahrenthemen informiert wurde: Hochwasser, Blackout und Kanalrückstau.....	254
Abbildung 60: Anteile der Befragten, die spezifische Informationen zu Hochwasser, Starkregen und Überflutungsschutz erhalten haben.....	255
Abbildung 61: Wichtigkeit verschiedener Informationsformate zu Starkregen und Überflutungsschutz nach Nutzer:innenbewertung.....	256
Abbildung 62: Einschätzungen zum Nutzen unterschiedlicher Kommunikationskanäle zur Warnung.....	258
Abbildung 63: Wichtigkeit verschiedener Funktionen bei Warn- und Alarmierungs-Apps nach Teilnehmer:innenbewertung.....	259
Abbildung 64: Zustimmung bezogen auf einzelne Aussagen zum Thema Starkregen und Überflutungsgefahren	260
Abbildung 65: Starkregenindex (SRI) als Skala zur Einstufung von Niederschlagsereignissen und Kommunikation dieser an die Bevölkerung (Schmitt et al., 2018)	264

Abbildung 66: Infografik von Anglian Water bietet klare Anweisungen und Kontaktdaten für Betroffene bei unterschiedlichen Überflutungsarten (abrufbar unter https://www.anglianwater.co.uk/services/sewers-and-drains/flooding/)	266
Abbildung 67: Geographische Lage sowie Abgrenzung des Untersuchungsgebiete für die Fallstudie Feldbach in der Südost Steiermark (Projektgebiet: blau; Randgebiet Aderbach: grün; Randgebiet Oederbach: violett).....	275
Abbildung 68: Fotos der Einlaufbauwerke der beiden Stadtbäche Aderbach (links) und Oederbach (rechts), die im Zuge der Ortsbegehung der Fallstudie aufgenommen wurden.	280
Abbildung 69: Definition der vier projektrelevanten Einzugsgebiete in der Stadt Feldbach im Zuge der Hot Spot Analyse (Rot: EZG LKH; Blau: EZG: Aderbach; Grün: EZG Oederbach; Gelb: EZG Rot-Kreuz-Berg)	281
Abbildung 70: Gefahrenkarte bezüglich der Überflutungsflächen geringer, mittlerer und hoher Wahrscheinlichkeit für das Projektgebiet der Fallstudie Feldbach (Quelle: Wasser Information System WISA)	282
Abbildung 71: Leitungsinformationssystem für das Untersuchungsgebiet innerhalb der Gemeinde Feldbach zur Erstellung eines hydrodynamischen 1D Kanalnetzmodell.....	283
Abbildung 72: Integriertes 1D-2D Modell für das Untersuchungsgebiet der Gemeinde Feldbach inklusive Detailausschnitt	286
Abbildung 73: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach beim Starkregenereignis vom 18.05.2009 (39 - 57mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett).....	291
Abbildung 74: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach beim Starkregenereignis vom 22.08.2020 (51 - 79mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett).....	292
Abbildung 75: Modellierte Überflutungsflächen in Feldbach bei einem durch den Klimawandel verstärkten extremen Starkregen (70 - 108mm/h) unterteilt in die 5 Gefahrenklassen (gering = grün, mittel = hellblau, hoch = dunkelblau, sehr hoch = rot und extrem = violett)	293
Abbildung 76: Ergebnisse der Störfallmodellierung in der Fallstudie Feldbach.	295
Abbildung 77: Zwei anonymisierte kognitive Karten aus der ersten FCM-Interview Runde in Feldbach. Die blauen Pfeile zeigen einen verstärkenden Effekt an, die roten Pfeile einen abmindernden Effekt. Diese Karten wurden mit der Software Mental Modeller digitalisiert (https://www.mentalmodeller.com/).....	298
Abbildung 78: Übersicht hinsichtlich der geographischen Lage der Stadt Kufstein innerhalb des Bundeslandes Tirol.....	312

Abbildung 79: Übersichtslageplan des Leitungskatasters Kufstein als Grundlage für das Kanalnetzmodell (Pavlu, 2023).....	314
Abbildung 80: Interaktive Karte während des Kufstein Workshops August 2022.....	320

17 Literaturverzeichnis

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

Alegre, H. (2002). Performance indicators as a management support tool. In L.W. Mays (Ed.), *Urban Water Supply Handbook* (ISBN 0-07-137160-5). MacGraw-Hill.

Achleitner S., Huber A., Lumassegger S., Kohl B., Spira Y., & Weingraber F. (2020) PILOTSTUDIE OBERÖSTERREICH MODELLIERUNG VON STARKREGEN-OBERFLÄCHENABFLUSS/HANGWASSER.

Amt der Salzburger Landesregierung (2016) Leitfaden zur Überprüfung von Kanalanlagen, Salzburg.

Andradóttir H. Ó., Arnardóttir A. R., & Zaqout T. (2021) Rain on snow induced urban floods in cold maritime climate: Risk, indicators and trends. *Hydrological Processes*, 35(9).

Arbter, K., & Trattnigg, R. (2005). Teil 3: II Standards zur Öffentlichkeitsbeteiligung. In H. Bauer, P. Biwald, & E. Dearing (Hrsg.), *Public Governance - Öffentliche Aufgaben gemeinsam erfüllen und effektiv steuern*. Neuer Wissenschaftlicher Verlag.

Argyris, C. (1982) The executive mind and double-loop learning. *Organ. Dyn.*, 11, 5–22

BAFU/ARE (2022) Regenwasser im Siedlungsraum. Starkniederschlag und Regenwasserbewirtschaftung in der klimaangepassten Siedlungsentwicklung. Bundesamt für Umwelt (BAFU, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)).

Bakhtavar, E., Valipour, M., Yousefi, S., Sadiq, R., & Hewage, K. (2020). Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: a comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 7(2), 621–638.

Baumgartner D., Flury R., Muff N., Oppliger S., & Winz E. (2019) Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter: GESAMTPAKET, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute; VSA.

Benden J., Broesi R., Illgen M., Lennartz G., Scheid C., & Schmitt T. G. (2017) Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb

BMLFUW S. W. (2009) Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Schutzwasserbau, Wien.

[BMLFUW] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft U. und W. (2010) Leben mit Naturgefahren. Ratgeber für die Eigenvorsorge bei Hochwasser, Muren, Lawinen, Steinschlag und Rutschungen, Wien.

[BMLFUW] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (2012) Technische Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft., 91.

[BMLRT] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (2018). Hochwasserrisiko-management in Österreich: Ziele – Maßnahmen – Beispiele. Wien Abrufbar unter: https://info.bml.gv.at/dam/jcr:8db881ee-6f67-4241-ad80-5193c9bc165e/HWRM_%C3%96_2018_Barrierefrei_DE.PDF [05.09.2023]

[BMNT] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018). EU-Hochwasserrichtlinie Bericht zur Umsetzung in Österreich: Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos, Wien. Abrufbar unter: <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:71fe2966-192d-42a2-b3e3-8ea4cc06cd99/Vorl%C3%A4ufige%20Risikobewertung%202018.pdf> [02.01.2024]

Bölke K.-P. (2009) Kanalinspektion, Berlin.

Born, M., Körner, C., Lieser, R., Reinholz, K., & Dittrich, M. (2017). Haus und Grund vor Starkregen schützen. Stadtverwaltung Worms.

Born, M., Körner, C., Löchtefeld, S., Werg, J., & Grothmann, T. (2021). Erprobung und Evaluierung von Kommunikationsformaten zur Stärkung privater Starkregenvorsorge - Das Projekt Regen//Sicher. Umweltbundesamt. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>.

Bringer A. (2019) Blitz auf grünem Grasfeld. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/blitz-unk-auf-grunem-grasfeld-3637060/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Bundesgesetz: Wasserrechtsgesetz 1959 - WRG 1959 (BGBl 1959/215 (WV) idF BGBl I 2006/123)

[CCCA] Climate Change Center Austria (2016) ENDBERICHT ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich,

[CEN] Europäisches Komitee für Normung (2008) EN 752 - Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Brüssel.

[CEN] Europäisches Komitee für Normung (2018) ÖNORM EN 16932-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme. , 36.

Dangerfield, B. (2014). Systems thinking and system dynamics: A primer. In Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making (Vol. 9781118349, Issue June, pp. 26–51).

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, [online] http://www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hrsg.) (2011) Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, DWA, Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser u. Abfall, Hennef.

DWA (2005) Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.

DWA (2013) DWA-A 117 - Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.

EC (2007) Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken,

Union, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 910/2014 und der Richtlinie (EU) 2018/1972 sowie zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2016/1148.

EU-Richtlinie 2022/2557 vom 14. Dezember 2022 (ABl. L 333/80 vom 27.12.2022) über die Resilienz kritischer Einrichtungen und zur Aufhebung der Richtlinie 2008/114/EG des Rates.

EU-Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser (ABl L 135/40) idF der Richtlinie 2013/64/EU (ABl. L 353 vom 28.12.2013, S. 8–12) [EU-AWRL]

Fefufoto (2021) Kanalarbeiten. Adobe Stock. [online] https://stock.adobe.com/search?k=kanalarbeiten&asset_id=66315604.

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., Mikkelsen P. S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., & Viklander M. (2015) SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. [online] <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314> (Zugegriffen 3. Februar 2022).

Fratini C. F., Geldof G. D., Kluck J., & Mikkelsen P. S. (2012) Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through trans-disciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5), 317–331. [online] <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.668913> (Zugegriffen 10. April 2020).

Funke F., Matzinger A., Gunkel M., Nenz D., Schulte P. A., Reichmann B., & Rouault P. (2019) Partizipative Regenwasserkonzepte als wirksames Element zur Gestaltung klimaresilienter Städte. *wwt Modernisierungsreport 2019/20*, 6–10.

Funke F., Reinstaller S., Muschalla D., & Kleidorfer M. (2022) „Impact of model structure on analysing malfunctions in urban drainage systems“ in California.

Geiger W., Dreiseitl H., & Stemplewski J. (2009) *Neue Wege für das Regenwasser.* , 270.

Glatz H. (2018) BLACKOUT-Szenarien in der Siedlungswasserwirtschaft.

Goh, Y. M., Brown, H., & Spickett, J. (2010). Applying systems thinking concepts in the analysis of major incidents and safety culture. *Safety Science*, 48(3), 302–309. doi:10.1016/j.ssci.2009.11.006

Glugla G., Goedecke M., Wessolek G., & Fuertig G. (1999) Langjährige Abflußbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin. *Wasserwirtschaft*, (89), 34–42.

Gray, S. A., Gray, S., Cox, L. J., & Henly-Shepard, S. (2013). Mental Modeler: A fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 965–973.

Gujer W. (2007) *Siedlungswasserwirtschaft*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

GZÜV. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung – GZÜV) StF: BGBl. II Nr. 479/2006 [CELEX Nr.: 32000L0060]

Hagen, L. M., Heiland, P., & Weiner, S. (2020). Analyse im Rahmen des Projekts STRIMA II: Ansatzpunkte für eine grundlegende Kommunikationsstrategie zur Hochwasser-Risikokommunikation im sächsisch-tschechischen Grenzraum. Auftraggeber: Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat 45 – Landeshochwasserzentrum. In Zusammenarbeit mit: INFRASTRUKTUR & UMWELT Professor Böhm und Partner

Hamburg Wasser (o.d.) www.risa-hamburg.de: [online] Verfügbar unter: <https://www.risa-hamburg.de/starkregenvorsorge>

Haunschild, J., Kaufhold, M.-A., & Reuter, C. (2022). Perceptions and Use of Warning Apps – Did Recent Crises Lead to Changes in Germany? *Mensch Und Computer* 2022, 25–40.

Hauri, A. ;, Kohler, K. ;, & Scharte, B. (2022). A Comparative Assessment of Mobile Device-Based Multi-Hazard Warnings: Saving Lives through Public Alerts in Europe.

Hauser M. (2022) Auswirkungen von Kellerüberflutungen auf die Gefährdungsanalyse von urbanen Sturzfluten. [online] https://online.tugraz.at/tug_online/wbAbs.showThesis?pThesisNr=80121&pOrgNr=1231.

Hennecke F.-W. & Kempf J. (2017) Wenn die Pumpe ausfällt - was kann man dagegen tun? , 3. [online] <https://www.process.vogel.de/wenn-die-pumpe-ausfaellt-was-kann-man-dagegen-tun-a-333989/>.

Holzer J. (2021) Dimensionierung von siedlungswasserbaulichen Anlagen und Bauten bezüglich Überflutungsprävention.

Hu M., Zhang X., Siu Y., Li Y., Tanaka K., Yang H., & Xu Y. (2018) Flood Mitigation by Permeable Pavements in Chinese Sponge City Construction. *Water*, 10(2), 172. [online] <http://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/172> (Zugegriffen 1. April 2020).

Huber A., Lumassegger S., Kohl B., Spira Y., Weingraber F., & Achleitner S. (2021) Modellierung pluvialer Sturzfluten – Anforderungen und Sensitivitäten der 2D-hydraulischen Modellierung. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 73(3), 116–133. [online] <https://doi.org/10.1007/s00506-021-00749-1> (Zugegriffen 3. Mai 2021).

[IBH & WBW] Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz & WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH. (2013). Starkregen – Was können Kommunen tun? Leitfaden verfügbar unter: https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/201060/Leitfaden_Starkregen.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden_Starkregen.pdf [Zugriff am 06.09.2023]

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH: Basic-Manual zum „Starkregen-Check Kanalbetrieb“ (2019). Gelsenkirchen. Forschungsvorhaben Umweltministerium MULNV NRW. www.komnetgew.de.

Interreg-Projekt Hochwasserwissen. (o.d.). Akteure im Hochwasserfall und in der Nachsorge: Fachunterlagen Akteure. Interreg-Projekt – Bewusstseinsbildung zum Thema Hochwasser im Einzugsgebiet von Salzach, Inn und Donau (OÖ, Salzburg, Oberbayern und Niederbayern) bei Einsatzkräften der Feuerwehr und Jugendlichen. Verfügbar unter <https://www.hochwasserwissen.info/downloads/>

IPCC (Hrsg.) (2023) „Summary for Policymakers“ in *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 3–32. [online]

<https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/summary-for-policymakers/8E7A4E3AE6C364220F3B76A189CC4D4C> (Zugegriffen 6. Juli 2023).

IUV: BGBl. II Nr. 354/2002, 27. Sept. 2002, S. 2583–2590 Industrieunfallverordnung 1. Oktober 2002

Jakoby W. (2019) Qualitätsmanagement für Ingenieure. Ein praxisnahes Lehrbuch für die Planung und Steuerung von Qualitätsprozessen, Wiesbaden.

Jetter, A. J., & Kok, K. (2014). Fuzzy Cognitive Maps for futures studies-A methodological assessment of concepts and methods. *Futures*, 61, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.05.002>

Juan-García, P., Butler, D., Comas, J., Darch, G., Sweetapple, C., Thornton, A., & Corominas, L. (2017). Resilience theory incorporated into urban wastewater systems management. State of the art. In *Water Research* (Vol. 115, pp. 149–161). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.047>

Kemper S. (2018) Hydraulische Leistungsfähigkeit von Straßenablauf-Aufsätzen. , (22).

Kim, D. H. (1999). *Introduction to Systems Thinking*. Pegasus Communications, Inc. <https://thesystemsthinker.com/introduction-to-systems-thinking/>

Kleidorfer M., Leimgruber J., Simperler L., Zeisl P., Kretschmer F., Himmelbauer P., Krebs G., Ertl T., Stöglehner G., & Muschalla D. (2019) Endbericht Projekt Flexadapt,

Kluge B., Sommer H., & Kaiser M. (2016) Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen (LEIREV) Abschlussbericht,

Kotrba, D. (2021): Handy-Warnsystem: Wie Österreich künftig vor Katastrophen warnt. <https://futurezone.at/netzpolitik/handy-warnsystem-alarm-sms-cell-broadcast-oesterreich/401452546>. (02.02.2023).

Kroiss, F.; Waitz-Vetter von der Lilie, W.: *Regenwassermanagement: Rechtliche Grundlagen* (2011). Medieninhaber und Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22. www.umweltschutz.wien.at.

L. K. (2016) Fotografie Des Mannes, Der Elektrische Drähte Repariert. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/fotografie-des-mannes-der-elektrische-drahte-repariert-2898199/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Laker (2017) Brauner Und grauer Betonboden. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/brauner-und-grauer-betonboden-6156554/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Langeveld J. G., Cherqui F., Tscheikner-Gratl F., Muthanna T. M., Juarez M. F. D., Leitão J. P., Roghani B., Kerres K., do Céu Almeida M., Wery C., & Rulleau B. (2022) Asset management for blue-green infrastructures: a scoping review. *Blue-Green Systems*, 4(2), 272–290.

[LFU] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016) Kontrolle von Durchflussmesseinrichtungen in Abwasseranlagen. Merkblatt, 4.7/3, 1–27. [online] [Merkblatt Nr. 4.7/3. https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_473.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_473.pdf) (Zuletzt gepr. am 10.08.2018).

Löschner, L., Nordbeck, R., Scherhauser, P., Seher, W., Löschner, L., Nordbeck, R., Scherhauser, P., & Seher, W. (2016). Scientist-stakeholder workshops: A collaborative approach for integrating science and decision-making in Austrian flood-prone municipalities. *Environmental Science and Policy*, 55(August 2015), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.003>

[LUBW] Landesanstalt für Umwelt M. und N. B.-W. (2010) Klimawandel und Siedlungsentwässerung, Karlsruhe. [online] http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-28925-6%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Sabine_Manzel/publication/337972596_Klimawandel_und_Feinstaub-Alarm_Das_Dieselfahrverbot_in_der_Kontroverse_CIVES-Praxistest_8/links/5df88fb44585159aa483097e/Klimawa.

[LUBW] Landesanstalt für Umwelt M. und N. B.-W. (2016) Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Lukaz2020 (2021) Neuer Sickerschacht halb voll - ist das normal? |. Energiesparhaus. [online] <https://www.energiesparhaus.at/forum-neuer-sickerschacht-halb-voll-ist-das-normal/62290> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Maier R., Reinstaller S., & Muschalla D. (2021) Begriffe und Modelle der Überflutungsanalyse. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 73(3), 76–84. [online] <https://doi.org/10.1007/s00506-021-00748-2> (Zugegriffen 1. Juni 2023).

Maraun D., Knevels R., Mishra A., Truhetz H., Bevacqua E., Proske H., Zappa G., Brenning A., Petschko H., Schaffer A., Leopold P., & Puxley B. (2022) A severe landslide event in the Alpine foreland under possible future climate and land-use changes. *Communications Earth & Environment*, 3, 87.

Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., & Schulz, A. (2003). Performance Indicators for Wastewater Services. International Water Association.

Maurer M., Chawla F., von Horn J., & Staufer P. (2012) Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz, Dübendorf, Switzerland.

Mayr E., Lukas A., Möderl M., Perfler W. R. R., & Infra- Z. A. (2011) Integrales Risikomanagement für die Trinkwasserversorgung in Österreich. , 82–86.

McClymont, K., Morrison, D., Beevers, L., & Carmen, E. (2020). Flood resilience: a systematic review. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(7), 1151–1176. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1641474>

Meadows, D. H. (2009). Thinking in systems - A Primer. In D. Wright (Ed.), *Sustainable Investing: Revolutions in Theory and Practice*. Earthscan UK. <https://doi.org/10.4324/9781315558837>

Miroshnichenko T. (2020) Cyber Attacke. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/technologie-verschlusselung-programm-hacking-5380589/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

[MUEFF] Ministerium für Umwelt Energie Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2019) Leitfaden Brandschadensfälle, Vorsorge - Bewältigung - Nachsorge, Mainz.

[MUNLV] Ministerium für Umwelt N. und V. N.-We. (2009) Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung, Betrieb von Anlagen zur naturnahen Niederschlagswasserversickerung, Düsseldorf.

Muschalla D. & Gruber G. (2017) Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswasserma-
nagement im Spannungsfeld zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen, Technische
Universität Graz, Graz, Austria.

MUST Städtebau. (2023). Wasser-Sensibel Planen Und Bauen: Leitfaden zur Starkregenvor-
sorge für Hauseigentümerinnen, Bauwillige und Architektinnen in Köln. Stadtentwässe-
rungsbetriebe Köln. Abgerufen von <https://steb-koeln.de/>.

Nicolics, S.; Mayr, E.; Salamon, A.; Perfler, R.: Störfallplanung Wasserversorgung – Leitlinie
für den Umgang mit Störfällen, Notfällen und Krisen von kleinen bis hin zu großen zentralen
Wasserversorgungen in der Steiermark (2018). Institut für Siedlungswasserbau, Industrie-
wasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien. Im Auftrag des
Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.

[ÖBFV] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband (2016) Schadstoffausbreitung im Kanal-
netz,

ON (2002) ÖNORM B 2501 - Entwässerungsanlagen für Gebäude - Ergänzende Richtlinien
für die Planung, Ausführung und Prüfung, ON, Wien.

ON (2017) ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Österrei-
chisches Normungsinstitut (ON), Wien, Österreich.

[ON] Österreichisches Normeninstitut (2000) ÖNORM B 2506-1 Regenwasser-Sickeranlagen
für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen. Anwendung, hydraulische Bemess-
ung, Bau und Betrieb,

ÖWAV (2019) ÖWAV Regelblatt 35: Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächenge-
wässer, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

ÖWAV (2015a) ÖWAV Regelblatt 45: Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den
Untergrund, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich.

ÖWAV (2020) ÖWAV-ExpertInnenpapier: Klimawandelanpassung Wasserwirtschaft – Pluvi-
ales Hochwasser/Oberflächenabfluss, Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsver-
band (ÖWAV), Wien.

ÖWAV (2009) Regelblatt 11: Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich.

ÖWAV (2007) Regelblatt 19: Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich.

ÖWAV (2015b) Regelblatt 22: Betrieb von Kanalisationsanlagen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich.

Özesmi, U., & Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: A multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 176(1–2), 43–64.

Pavlu, A. (2023): Hydrodynamische Kanalnetzberechnung der Stadt Kufstein. Masterarbeit, Innsbruck, Österreich.

Pichler M., Camhy D., König A., & Muschalla D. (2022) „Integrated data management to prevent data loss and raise data quality“ in Costa Mesa, USA.

Reinstaller S. & Muschalla D. (2021) Modellbasierte urbane Überflutungsvorsorge. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 73, 1–10.

Reuter, C. (2021): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion: Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement. Darmstadt: Springer Verlag.

Rie P. (2021) Hochwasser. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/stadt-natur-wasser-dorf-6471946/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Rieckermann J., Gruber G., & Hoppe H. (2017) „Zukunftsfähige Systeme zur Regenwasserbehandlung brauchen datenbasierte Betriebs-, Planungs-, und Vollzugskonzepte“ in *Aqua Urbanica 2017 - Urbanes Niederschlagswassermanagement zwischen zentralen und dezentralen Maßnahmen*. Graz.

Rossman L. A. & Simon A. M. (2022) Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA.

Ruhr-Universität Bochum & IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur (2015) Abschlussbericht Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien,

Salamon, A. in Zusammenarbeit mit Lengyel, A.; Kitzberger, J.; Reisinger, F.; Zöscher, A.; Fladischer, S.: [Entwurf] Störfallplanung Abwasserentsorgung – Leitlinie für den Umgang mit Störfällen, Notfällen und Krisen bei Kanalisationsanlagen und Kläranlagen in der Steiermark (2022). Im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.

Salomon, M.; Schlüter, M.: Abschlussbericht: Starkregenereignisse in Nordrhein-Westfalen – Umgang mit Starkregenereignissen im Kanalbetrieb (2018). Gelsenkirchen. Fördermittelgeber: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Auftragnehmer: IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH.

Schlenkhoff A., Abrigata J., Grebien F., & Kemper S. (2018a) Abschlussbericht Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen im urbanen Raum: Begrenzung des Schluckvermögens von Straßenabläufen durch Verlegung und Verschmutzung, Wuppertal.

Schlenkhoff A., Abrigata J., Grebien F., & Kemper S. (2018b) Abschlussbericht: Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen im urbanen Raum: Begrenzung des Schluckvermögens von Straßenabläufen durch Verlegung und Verschmutzung, Wuppertal.

Schmitt F. (1992) Einfluß von Ablagerungen auf den Betrieb von Abwasserkanälen, Hannover.

Schmitt T. G., Krüger M., Pfister A., Becker M., Mudersbach C., Fuchs L., Hoppe H., & Lakes I. (2018) Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex. Korrespondenz Abwasser, Abfall, 65(2), 113–120.

Schroeer K. & Kirchengast G. (2018) Sensitivity of extreme precipitation to temperature: the variability of scaling factors from a regional to local perspective. *Climate Dynamics*, 50(11–12), 3981–3994. [online] <http://link.springer.com/10.1007/s00382-017-3857-9> (Zugegriffen 1. September 2023).

Schubert R.-L., Sperling K., Caradot N., Kaiser D., Köhler M., Schmidt M., Riechel M., & Matzinger A. (2015) „Monitoring of runoff water quality from green and gravel roofs with bitumen membranes“ in 17th IWA Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication., 8.

Senge, P. The Fifth Discipline: The Art and Practice of Organizational Learning; Currency, Double day, Random House, Inc.: New York, NY, USA, 1990.

[SENUM] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2010) Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, [online] http://www.grueneliga-berlin.de/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Sen-Stadt-Regenwasser_dt.pdf.

Servin G. (2015) Person, die ein Fahrrad während des regnerischen Tages fährt. Pexels. [online] <https://www.pexels.com/de-de/foto/person-die-ein-fahrrad-waehrend-des-regnerischen-tages-fahrt-763398/> (Zugegriffen 16. Februar 2022).

Sieker H. (2007) Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung. UNITRACC.de. [online] <https://www.unitracc.de/aktuelles/artikel/dezentrale-regenwasserbewirtschaftung> (Zugegriffen 14. Dezember 2017).

Smith G., Modra B., Tucker T., & Cox R. (2017) Vehicle stability testing for flood flows. Technical Report 2017/07, Water Research Laboratory, University of New South Wales, 62.

Solinska-Nowak A, Magnuszewski P, Curl M, French A, Keating A, Mochizuki J, Liu W, Mechler R, et al.: 2018. An overview of serious games for disaster risk management – Prospects and limitations for informing actions to arrest increasing risk. International Journal of Disaster Risk Reduction 31: 1013-1029.

Statistik Austria (2020) Bevölkerung im Jahresdurchschnitt. Bevölkerung im Jahresdurchschnitt. [online] https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/index.html.

Tepes, A., & Neumann, M. B. (2020). Multiple perspectives of resilience: A holistic approach to resilience assessment using cognitive maps in practitioner engagement. Water Research, 178, 115780. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115780>

Tiroler Tageszeitung (2021) Unwetter in Kufstein: Hochwasser legt die Stadtkasse trocken. [online] <https://www.tt.com/artikel/30800035/unwetter-in-kufstein-hochwasser-legt-die-stadtkasse-trocken> (Zugegriffen 6. September 2023).

Tracy, S. J. (2013). Qualitative Research Methods: Collecting Evidence, Crafting Analysis, Communicating Impact (Vol. 43, Issue 1). <https://doi.org/10.5613/rzs.43.1.6>

Umweltbundesamt (2019) Leitfaden zur Sanierung von Abwasserkanalisationen, Dessau-Roßlau.

Umweltjournal (2019) Verzopfungen - WASSER & ABWASSER. [online] <https://www.umwelt-journal.at/zopfstoffe-teil-2-drei-beispiele-fuer-bekaempfung-von-kosmetikartikeln-im-kanal/> (Zugegriffen 31. August 2023).

UN (2018) 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. [online] <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.

Vercruyssen, K., Dawson, D. A., & Wright, N. (2019). Interoperability: A conceptual framework to bridge the gap between multifunctional and multisystem urban flood management. *Journal of Flood Risk Management*, 12(October 2018), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12535>

[VSA] Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (2019) Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter.

Werdich Martin. (2012) FMEA - Einführung und Moderation. Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld), Wangen.

White, C. T., Mitasova, H., Bendor, T. K., Foy, K., Pala, O., Vukomanovic, J., & Meentemeyer, R. K. (2021). Spatially explicit fuzzy cognitive mapping for participatory modeling of storm-water management. *Land*, 10(11).

WRG (1959) RIS - Wasserrechtsgesetz 1959, WRG, BGBl. Nr. 215/1959 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 07.01.2019, [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> (Zugegriffen 7. Jänner 2019).

ZAMG (2020) Vermehrte Starkniederschläge? [online] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/starkniederschlag> (Zugegriffen 4. Februar 2021).

Zessner M., Schaar H., Zoboli O., Kreuzinger N., Kittlaus St., Muscha D., Gruber G., Reinstaller St., Neunteufel B., Camhy D., Sommer R., Reiter M., Cervero-Aragó S., Holzhammer E., Farnleitner A., Steinbacher S., Mayer R., Ertl T., De Vito-Francesco E., Allabashi R., Pressl A., Kretschmer F., Steidl C., Lenz K., Jiménez E., & Hohenblum P. (2022) Zukünftige stoffliche und mikrobiologische Herausforderungen für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft SIWAWI - Endbericht, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft.

Zimmermann M., Schramm E., & Ebert B. (2020) Siedlungswasserwirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung. Cybersicherheit als Achillesferse. TATup-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, 1(29), 37–43.

18 Anhang: Nützliche Ressourcen und weiterführende Literatur

Folgende Richtlinien und Leitfäden unterstützen die Zusammenarbeit zwischen dem Bundesministerium, den Bundesländern und den Gemeinden bei der Planung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen gemäß dem Wasserbautenförderungsgesetz. Alle diese Richtlinien und Leitfäden sind relevant für die Niederschlagswasserbewirtschaftung und das Überflutungsrisikomanagement in Österreich. Sie decken verschiedene Aspekte ab, wie etwa die Gefahrenzonenplanung, Förderung von Hochwasserschutzmaßnahmen, Öffentlichkeitsbeteiligung, Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss und die Erstellung von Gewässerpflegekonzepten:

- Technische Richtlinie für die Gefahrenzonenplanungen im Wasserbau: Diese Richtlinie wurde entwickelt, um Planungsinstrumente zu vereinheitlichen und den neuesten Entwicklungen anzupassen. Sie legt die Vorgehensweise für die Ausweisung von Gefahrenzonen fest und wurde zuletzt im September 2022 aktualisiert.
- Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung: Diese Richtlinien legen fest, unter welchen Bedingungen Hochwasserschutzmaßnahmen vom Bund gefördert werden. Sie wurden an die geänderten rechtlichen und organisatorischen Vorgaben angepasst und traten am 1. Januar 2016 in Kraft.
- Leitfaden „Öffentlichkeitsbeteiligung im Prozess der Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepte“: Dieser Leitfaden unterstützt die Einbindung der Öffentlichkeit in den wasserwirtschaftlichen Planungsprozess und stellt einen entscheidenden Schritt in der österreichischen Flussraumplanung dar.
- Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss - Ein Leitfaden für Planung, Neubau und Anpassung: Dieser Leitfaden hilft, die Gefahrenlage für Gebäude und Grundstücke zu bewerten und gibt Hinweise auf mögliche Schwachstellen sowie Vorsorgemaßnahmen, die bei Planung, Neubau oder Anpassung getroffen werden können.

- Leitfaden für die Erstellung von Gewässerpflegekonzepten: Dieser Leitfaden dient als Planungsinstrument, um Instandhaltungs-, Pflege- und Betriebsmaßnahmen an Gewässern festzulegen. Er trägt zu einer bundesweiten Standardisierung der Inhalte, Abläufe und Vorgehensweise bei der Erstellung von Gewässerpflegekonzepten bei.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien
bml.gv.at