Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Konzept zur Bewertung von Auswirkungen außerordentlicher und außerplanmäßiger Ereignisse auf Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen

verfasst von

Jan Julius LASCHINSKI, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Dezember 2021

Betreut von:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Thomas Ertl
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien unter der Leitung von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Thomas Ertl und unter der Mitbetreuung von MSc. Katharina Kearney geschrieben.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Ertl für die Möglichkeit, dieses interessante Thema ausarbeiten zu können und meiner Betreuerin Katharina Kearney, die sich viel Zeit genommen hat, alle meine Fragen zu beantworten und mich durch die hilfreichen Anregungen und Hinweise bei der Erstellung der Arbeit sehr unterstützt hat.

Ein großer Dank gilt ebenfalls den drei Experten, die ich im Rahmen der Arbeit interviewen durfte. Sie haben sich die Zeit genommen, ihr Wissen aus der Praxis mit mir zu teilen und konnten auf diese Weise wichtige Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit liefern.

Nicht zuletzt möchte ich mich insbesondere bei meinen Eltern sowie bei meinen Geschwistern, meinem Schwager und meinen Nichten für die Unterstützung und Hilfe während meines gesamten Studiums und bei der Erstellung der Arbeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis VII

Tabellenverzeichnis IX

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis X

1. Einleitung 1

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung 2

3. Allgemeine Grundlagen 3

3.1 Rechtliche Grundlagen 3

3.1.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie 3

3.1.2 Richtlinie 91/271/EWG 4

3.1.3 Richtlinie 2007/60/EG 4

3.1.4 Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG 1959 4

3.1.5 Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV 5

3.1.6 Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG) 6

3.1.7 Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW) 6

3.1.8 Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) 6

3.1.9 Gesetze auf Landesebene 7

3.2 Normen und Regelwerke 7

3.3 Technische Grundlagen 9

3.3.1 Wasserwirtschaftliche Einordnung 9

3.3.2 Niederschlagswasserbewirtschaftung und ihre Herausforderungen in Österreich 9

3.3.3 Wasserhaushalt & Wasserkreislauf 10

3.3.4 Boden 12

3.3.5 Stoffliche Belastung von Niederschlagswasser 13

3.3.5.1 Auswirkungen von Niederschlagsabflüssen auf Oberflächengewässer 16

3.3.5.2 Auswirkungen von Niederschlagsabflüssen auf das Grundwasser 16

3.3.6 Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen 17

3.3.6.1 Mischwasserkanal 19

3.3.6.2 Regenwasserkanal 21

3.3.6.3 Transportmulden und Gräben 22

3.3.6.4 Speicherkanal 23

3.3.6.5 Flächenversickerung 24

3.3.6.6 Muldenversickerung 24

3.3.6.7 Beckenversickerung 26
3.3.6.8 Rigolen- oder Rohrversickerung 27
3.3.6.9 Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung 28
3.3.6.10 Schachtversickerung 29
3.3.6.11 Retentionsraumversickerung (Versickerungsteiche) 31
3.3.6.12 Dachbegrünung 31
3.3.6.13 Fassadenbegrünung 33
3.3.6.14 Regenwassernutzung 33
3.3.6.15 Übersicht der Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen 34
3.3.7 Multifunktionale Flächennutzung 35
4. Material und Methoden 36
4.1 Literaturstudie 36
4.2 Expert*inneninterviews 36
4.2.1 Befragungsmethodik und Fragenformulierung 36
4.2.2 Auswertung der Expert*inneninterviews 37
4.3 Entwicklung eines konzeptionellen Basismodells 41
5. Ergebnisse und Diskussion 42
5.1 Ereignisse 42
5.1.1 Starkregen 42
5.1.2 Trockenheit (Dürre) 43
5.1.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb 44
5.1.3.1 Mängel in der Planungsphase: 44
5.1.3.2 Mängel aufgrund baulicher Fehler 46
5.1.3.3 Mängel während des Betriebs 46
5.2 Reaktionen der NWB 51
5.2.1 Kanalisationsanlagen 51
5.2.1.1 Starkregen 51
5.2.1.2 Trockenheit (Dürre) 53
5.2.1.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb 53
5.2.2 Versickerungsanlagen 57
5.2.2.1 Starkregen 57
5.2.2.2 Dürre 58
5.2.2.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb 59
5.3 Konzeptionelles Modell 75
6. Interpretation 80

7. Schlussfolgerungen und Ausblick 84

8. Zusammenfassung 86

9. Literaturverzeichnis 89

10. Anhang 98

11. Lebenslauf 129

12. Eidesstattliche Erklärung 131

Kurzfassung

Der Klimawandel und die fortschreitende Urbanisierung stellen für die Siedlungsentwässerung eine Herausforderung dar. Treten in konventionellen Kanalisationsanlagen zunehmend Überlastungen und Überflutungen auf, besteht mit Hilfe von dezentralen Entwässerungsanlagen die Möglichkeit, die Herausforderungen bewältigen zu können. Dabei fehlt es in der Siedlungsentwässerung, insbesondere bei den dezentralen Entwässerungsanlagen, jedoch häufig an einem standardisierten Störfallmanagement.

Das Ziel der Arbeit war es, einen standardisierten Rahmen für die Beurteilung der Funktionsfähigkeit von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen zu entwerfen, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten und die systematische Untersuchung von NBW zu ermöglichen. Ein besonderer Fokus wurde hierbei auf Funktionsbeeinträchtigungen durch die Ereignisse *Starkregen*, *Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Planung, Bau und Betrieb* gelegt. Die abschließende Analyse mündete in dem Entwurf eines konzeptionellen Basismodells, um der Interferenz dieser Faktoren in der Einschätzung der Funktionsweise der Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen gerecht zu werden. Dazu wurden zunächst mit Hilfe einer Literaturrecherche die rechtlichen und technischen Grundlagen beleuchtet sowie ausgewählte Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung beschrieben. Anschließend konnten anhand einer fortführenden Literaturrecherche und drei Expert*inneninterviews die drei genannten Ereignisse definiert und beschrieben werden. Es wurden für konventionelle Kanalisationsanlagen sowie für dezentrale bzw. naturnahe Anlagen potenzielle Reaktionen auf die drei Ereignisse dargestellt.

Im Falle eines (Stark-)Regenereignisses, das größer als der Bemessungsregen ist, ist von einer Reaktion, die die Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt, auszugehen. Eine Reaktion, die die Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt, tritt ebenfalls auf, wenn sich die Anlage nicht im planmäßigen Betriebszustand befindet und sie die bemessene Niederschlagsmenge aufgrund von Mängeln an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb oder einer vorhergehenden Trockenperiode bzw. eines vorhergehenden Regenereignisses nicht aufnehmen kann.

Schlagwörter: Siedlungsentwässerung, Niederschlagswasserbewirtschaftung, Starkregen, Trockenheit, Störfallmanagement, Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

Abstract

Climate change and progressive urbanisation pose a challenge for urban drainage systems. If overloading and flooding increasingly occur in conventional urban drainage systems, sustainable urban drainage systems offer the possibility of being able to cope with the challenges. However, there is often a lack of incident management in urban drainage systems, especially in the case of decentralised systems.

The aim of the present work was to work out a standardized framework to assess the functionality of urban drainage systems, and to ensure a comparability and systematic investigation of the systems. A special focus was placed on functional impairments due to the events of *heavy rainfall*, *drought* and *undesirable development in planning, construction* and *operation.* The final analysis led to a conceptual basic model which presents the conflations of the three event categories and in which cases potential responses, which impair the functionality of the systems, can be expected.

For this purpose, the legal and technical fundamentals were first illuminated with the help of a literature search, and selected urban drainage systems were described. Subsequently, the three mentioned events were defined and described based on a further literature search and three expert interviews. Potential reactions to the three events were presented for conventional urban drainage systems and sustainable urban drainage systems.

In the event of a (heavy) rainfall that is greater than the designed rainfall, a reaction of the system which impairs the functionality is to be expected. A reaction which impairs the functionality also occurs if the system is not in the planned operating condition, and it cannot absorb the designed amount of precipitation due to undesirable developments in planning, construction and operation or a previous dry period/ rain event.

Keywords: urban drainage, stormwater management, heavy rainfall, drought, incident management, decentralised stormwater management

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Qualitative Darstellung eines gestörten und ungestörten Wasserhaushalts (GRIMM und ACHLEITNER 2010)..... 10

Abbildung 2: Qualitative Darstellung der Abflussbildung während eines Regens mit konstanter Intensität (GUJER 2007, 206)..... 11

Abbildung 3: Wassergehaltsprofil einer Infiltrationsfront bei Überstau (GISI 1997, 98) 13

Abbildung 4: Klassifizierung der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsansätze (FLETCHER et al. 2015; KLEIDORFER et al. 2019) 17

Abbildung 5: Systemeigenschaften NWB (in Anlehnung an DWA 2006c; KLEIDORFER et al. 2019)..... 18

Abbildung 6: Schema Mischsystem (ÖWAV 2008)..... 19

Abbildung 7: Schema Trennsystem (ÖWAV 2008)..... 21

Abbildung 8: Schematische Darstellung eines V-Grabens, eines U-Grabens und einer bepflanzten Transportmulde (KLEIDORFER et al. 2019)..... 22

Abbildung 9: Vergleich Fangbecken (oben) und Durchlaufbecken (unten) (GUJER 2007, 262) 23

Abbildung 10: Schema einer mittels Rasengittersteinen befestigten Fläche (ÖNORM B 2506-1) 24

Abbildung 11: Versickerungsmulde (DWA 2006c) 25

Abbildung 12: Rohr-Rigolenelement (DWA 2006c)..... 27

Abbildung 13: Mulden-Rigolen-Element (Längs- und Querschnitt) (BLfU 2020) 29

Abbildung 14: Schema Sickerschacht (Versickerung über die Schachtsohle) mit Kiesfilter (ÖNORM B 2506-1)..... 30

Abbildung 15: Retentionsraumversickerung (GEIGER et al. 2009, 88) 31

Abbildung 16: Aufbau eines extensiven Gründachs (MANN 2008) 32

Abbildung 17: Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufmodell (in Anlehnung an MAYRING 2015, 62)..... 38

Abbildung 18: Erhebliche Stammaustriebe bei der Wurzelbasis bei Hainbuche (BALDER et al. 2018). 61

Abbildung 19: Auswurzeln aus einer benachbarten Baumscheibe durch lückige Begrenzung und Hebung von Kleinstpflaster, Platten etc. (BALDER et al. 2018). 61

Abbildung 20: Schwermetallgehalte im Bodenfeststoff der Versickerungsmulde der *LEIREV-Anlage 9* in verschiedenen Bodentiefen und Beprobungsjahren (1994, 1997, 2014). Mischprobe= 1,5 m Entfernung vom Einlauf. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für die Bodenart Sand. (KLUGE et al. 2016)..... 65

Abbildung 21: Schwermetallgehalte im Bereich mit Sedimentaufhöhung und außerhalb der Sedimentaufhöhung *LEIREV-Anlage 21*. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für die Bodenart Sand (KLUGE et al. 2016)..... 67

Abbildung 22: Änderung vom Muldenquerschnitt am Standort *LEIREV-Anlage 8*. Eine gleichartige Skalierung der Höhen und Breiten ist auf Grund unterschiedlicher Bezugspunkte nicht möglich (KLUGE et al. 2016). 71

Abbildung 23: Längsschnitt und Draufsicht *LEIREV-Anlage 8* im Ist-Zustand (2015). Einlaufbereich ist rot markiert (KLUGE et al. 2016). 71

Abbildung 24: Ablaufdiagramm zur Bewertung der hydraulischen Funktionsfähigkeit bei (Stark-) Regenereignissen 76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Normen und Regelwerke der vorliegenden Arbeit 7

Tabelle 2: Zonen der Infiltration bei gleichbleibender Wasserzufuhr (GEIGER et al. 2009, 35). 12

Tabelle 3: Mittlere Konzentration in Dachabflüssen (Dächer ohne Verwendung von Schwermetallen für Dach- und Ableitungsmaterial) (ÖWAV 2019) 14

Tabelle 4: Typische Schadstoffe und deren Herkunft (ÖWAV 2019)..... 15

Tabelle 5: Mittlere Konzentration in Straßenabflüssen (Straßen mit durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) > 10.000 Kfz/24 h) nach (ÖWAV 2019) 15

Tabelle 6: Häufigkeiten für die Bemessung von Entwässerungsnetzen (ÖNORM EN 752) 20

Tabelle 7: Jährlichkeit der Niederschlagsereignisse für die Bemessung von Sickeranlagen mit Retentionsmöglichkeit bei erhöhten Schutzanforderungen (ÖWAV 2015b) 26

Tabelle 8: Übersicht der NWB und ihrer Funktionen (in Anlehnung an KLEIDORFER et al. 2019) 34

Tabelle 9: Regelintervalle für die Überwachung und Wartung (ÖWAV 2015a) 47

Tabelle 10: Art und Umfang der Überprüfung von Entwässerungsanlagen und -systemen (ÖWAV 2015b)..... 49

Tabelle 11: Probleme üblicher Abwasserleitungen und -kanäle während der Betriebsdauer 54

Tabelle 12: Einflussfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit eines Flächenversickerungsbelages (in Anlehnung an NOLTING et al. 2005)..... 73

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

A	Mittlere Abflusshöhe [mm]
AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
A_S	Versickerungswirksame Fläche
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
A_U	Befestigte Fläche
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BSB_5	Biochemische Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
Cd	Cadmium
CSB	Chemische Sauerstoffbedarf
Cu	Kupfer
D	Dauerstufe
D-A-CH	Deutschland, Österreich, Schweiz
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
Evapotransp.	Evapotranspiration
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau
Ges. N	Gesamtstickstoff
Ges. P	Gesamtphosphor
GW	Grundwasser
JDTV	jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr
K_f-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
MHGW	Mittlere höchste Grundwasserstand

N	Mittlere Niederschlagshöhe des Einzugsgebiets [mm]
NWB	Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlage
OG	Oberflächengewässer
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
QZV	Qualitätszielverordnung
T	Wiederkehrzeit
V	Verdunstungshöhe [mm]
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRG	Wasserrechtsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
Zn	Zink
ΔS	Rücklage (= Speicherung) oder Aufbrauch von Wasser im Einzugsgebiet [mm]

1. Einleitung

Das Themengebiet der Siedlungsentwässerung stellt eine interdisziplinäre Herausforderung dar, deren Dringlichkeit durch die menschengemachten Klimaveränderungen an Aktualität gewinnt. Die bei der Siedlungsentwässerung bestehenden Voraussetzungen und Notwendigkeiten bedingen einen hohen Komplexitätsgrad bei der Umsetzung der festgelegten Normen und Ziele. Es gilt als sehr wahrscheinlich, dass durch den Klimawandel Starkregenereignisse und Trockenperioden auch in Österreich zunehmen werden (MASSON-DELMOTTE et al. 2018). Zusätzlich werden auch Flächenversiegelung und Bevölkerungszunahme bestehende Systeme der Siedlungsentwässerung zunehmend unter Druck bringen (BOKU Wien et al. 2020). Dies zeigte sich nicht erst durch Starkregenereignisse in der jüngeren Vergangenheit, wie zum Beispiel im Juli 2021 in vielen Teilen Europas, darunter auch in Österreich und in Deutschland, die während des Bearbeitungszeitraumes dieser Arbeit bestehende Entwässerungssysteme und die Städte überfluten ließen. So begann schon in den letzten Jahren ein Umdenken in der Siedlungswasserwirtschaft stattzufinden. Niederschlagsabflüsse sollen vermieden, reduziert und nicht mehr komplett abgeleitet werden (DWA 2013). Es wurde begonnen, vermehrt die Möglichkeiten einzusetzen, das Wasser zu speichern, zu versickern oder zu verdunsten (GEIGER et al. 2009, 7). Dies kann im Sinne der multifunktionalen Flächennutzung nicht nur für einen Einsatz in der Starkregenvorsorge ausgenutzt werden, sondern hat darüber hinaus noch einen positiven Effekt auf das Klima und den Naherholungswert von Städten (DEISTER et al. 2016).

Zusätzlich zu den externen Faktoren wie Klimawandel und Urbanisierung, können auch interne Faktoren, wie zum Beispiel Alterungsprozesse, die Siedlungswasserwirtschaft als kritische Infrastruktur gefährden (ZHANG et al. 2021). Gemäß KIM et al. (2019) fehlt in der Infrastrukturplanung aktuell häufig ein Notfallmanagement. Auf Grund vieler verschiedener Einflussfaktoren und schwieriger Vorhersagebedingungen ist es unmöglich, Maßnahmen gegen alle potentiellen Gefahren vorzunehmen (ZHANG et al. 2021). Es sollten jedoch strategische Lösungen gefunden werden, wie die Systeme auf die sich ändernden Bedingungen, auf Extremereignisse und auf Störfälle reagieren (NIKOLOPOULOS et al. 2019).

Die Auswertung der aktuellen Fachliteratur hat gezeigt, dass es viele Veröffentlichungen zur Rolle der Siedlungsentwässerung in der Starkregen- und Überflutungsvorsorge gibt. Dabei wird häufig jedoch nicht berücksichtigt oder umfassend beleuchtet, wie die Anlagen im Detail auf Starkregen, Überflutung oder andere Störfälle reagieren. Es existiert derzeit kein allgemeingültiges Störfallmanagement. Diese aktuell fehlenden Standards erschweren sowohl die Vergleichbarkeit der vorliegenden Störfälle, als auch eine konsekutive systematische Fehleranalyse und die Optimierung der Entwässerungsanlagen auf die zu stemmenden zukünftigen Herausforderungen hin.

Zu der Thematik existieren wenig empirische Daten, zukünftige Herausforderungen sind jedoch eindeutig gegeben, sodass die Möglichkeiten der Literaturrecherche und Expert*inneninterviews genutzt werden sollen.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *BEJOND* (Niederschlagswasser*BE*handlung Jenseits *O*riginärer Bemessungsereignisse und planmäßiger Betriebszustä*ND*e) im Bearbeitungszeitraum vom 23.11.2020–11.11.2021 geschrieben.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Arbeit wird erörtert, wie außerordentliche und außerplanmäßige Ereignisse die Funktionsfähigkeit von normgemäß bemessenen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen (NWB) beeinflussen. Hierfür wird ein konzeptionelles Modell aufgestellt, welches zur Visualisierung des möglichen Anlagenverhaltens bei ausgewählten Betriebsstörungen und außerplanmäßigen Ereignissen dienen soll.

Die Arbeit soll Erkenntnisse hinsichtlich der Vorbeugung, Früherkennung sowie einer schnellen und effizienten Behebung von Störfällen in der Siedlungsentwässerung liefern. Des Weiteren stellt sie eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen dar, wie zum Beispiel eine Beurteilung der Resilienz unterschiedlicher Anlagentypen.

Basierend auf einer Literaturstudie wird zunächst ein Überblick über die unterschiedlichen Formen der Siedlungsentwässerung und Niederschlagswasserbewirtschaftung in Österreich gegeben. Im Anschluss erfolgt eine Zusammenstellung der verschiedenen NWB, deren Bemessung nach geltenden europäischen und österreichischen Gesetzen, Normen und Regelwerken sowie eine Erläuterung der Funktionsweisen im planmäßigen Betriebszustand.

Ebenso werden ausgewählte außerplanmäßige Ereignisse beschrieben und die daraus resultierenden Betriebsstörungen und Leistungsverluste dargestellt. Zu diesem Zweck werden verschiedene Ereigniskategorien definiert. Die Untersuchung bekannter außerplanmäßiger Ereignisse und die Identifizierung der damit verbundenen möglichen Last-/ bzw. Störfälle soll zusätzlich zur Literaturrecherche mit Hilfe von Expert*inneninterviews mit Anlagenbetreiber*innen, Planungsbüros und Gemeinden erfolgen.

Die Arbeit zielt darauf ab, ein konzeptionelles Basismodell zur Bewertung von möglichen Auswirkungen außerordentlicher und außerplanmäßiger Ereignisse auf NWB zu entwickeln.

Anhand der beschriebenen Methoden sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Welche Ereignisse sollten bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung und NWB im Kontext von österreichischen Gemeinden untersucht werden?
2. Wie reagieren normgemäß bemessene NWB auf ausgewählte außerplanmäßige Ereignisse?
3. Wie können die Ergebnisse der ersten beiden Forschungsfragen in einem konzeptionellen Basismodell bestmöglich dargestellt werden?

3. Allgemeine Grundlagen

Im folgenden Kapitel 3 werden die allgemeinen Grundlagen dargestellt, die für die Beantwortung der Forschungsfragen relevant sind. Diese allgemeinen Grundlagen gliedern sich in rechtliche Grundlagen, Normen und Regelwerke sowie technische Grundlagen.

3.1 Rechtliche Grundlagen

Das Rechtsgebiet der Niederschlagswasserbewirtschaftung ist nicht scharf abgrenzbar, sodass es als Querschnittsmaterie bezeichnet werden kann (KROISS und WAITZ - VETTER VON DER LILIE 2011). Dabei nehmen verschiedene Gesetze auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene Einfluss auf NWB und das Niederschlagswassermanagement.

Im Folgenden wird daher nur erläutert, welche Gesetze und Verordnungen in Österreich für die Niederschlagswasserbewirtschaftung eine besondere Relevanz haben. Dabei wird auf einige zu berücksichtigende Gesetzesabschnitte intensiver eingegangen. Genaue rechtliche Rahmenbedingungen müssen in den einzelnen Fällen geprüft werden.

3.1.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (EU-WRRL) soll einen Ordnungsrahmen für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik schaffen. Der Begriff Niederschlagswasser wird in der EU-WRRL zwar nicht ausdrücklich genannt, jedoch verfolgt sie laut Artikel 1 das Ziel, einen *„Ordnungsrahmen für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers zwecks*

a) Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt,
b) Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen,
c) Anstrebens eines stärkeren Schutzes und einer Verbesserung der aquatischen Umwelt, unter anderem durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritären Stoffen und durch die Beendigung oder schrittweise Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritären gefährlichen Stoffen;
d) Sicherstellung einer schrittweisen Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung seiner weiteren Verschmutzung; und
e) Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren“

zu schaffen.

Da durch ein nachhaltiges Niederschlagswassermanagement ein Beitrag zum Erreichen dieser Ziele geleistet werden kann, muss die EU-WRRL in der Niederschlagswasserbewirtschaftung

berücksichtigt werden. Insbesondere Art. 1 e) zeigt die Relevanz dieser EU-Richtlinie in Bezug auf Starkregenereignisse.

3.1.2 Richtlinie 91/271/EWG

Die Richtlinie 91/271/EWG *„betrifft das Sammeln, Behandeln und Einleiten von kommunalem Abwasser“* und hat das Ziel *„die Umwelt vor den schädlichen Auswirkungen dieses Abwassers zu schützen.“*

In Art. 2. Nr. 1 wird Niederschlagswasser als möglicher Teil des Kommunalen Abwassers genannt, sodass diese Richtlinie bei Mischwasserkanalisationen zu beachten ist.

3.1.3 Richtlinie 2007/60/EG

Die Richtlinie 2007/60/EG behandelt die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Gemäß Artikel 2 Nr. 1 wird Hochwasser als *„zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist [,definiert]. Diese umfasst Überflutungen durch Flüsse, Gebirgsbäche, zeitweise ausgesetzte Wasserströme im Mittelmeerraum sowie durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser; Überflutungen aus Abwassersystemen können ausgenommen werden.“*

Überflutungen durch Starkregen werden in der Richtlinie weder explizit genannt noch ausgenommen.

3.1.4 Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG 1959

Das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959) beinhaltet die rechtlichen Grundlagen sowie die zur Umsetzung erforderlichen rechtlichen Instrumente für eine Vielzahl von wirtschaftlich relevanten Maßnahmen. Dies beinhaltet insbesondere folgende drei Aspekte:

- *„Benutzung der Gewässer,*
- *Schutz und Reinhaltung der Gewässer,*
- *Schutz vor den Gefahren des Wassers“* (BMLRT 2021).

Das Wasserrechtsgesetz unterscheidet in öffentliche und private Gewässer, wobei die meisten Maßnahmen der Siedlungsentwässerung Privatgewässer betreffen (ANKOWITSCH et al. 2017).

Gemäß § 3. Abs. 1 b) umfassen private Gewässer unter anderem

a) „das in einem Grundstück enthaltene unterirdische Wasser (Grundwasser) und das aus einem Grundstücke zutage quellende Wasser;
b) die sich auf einem Grundstück aus atmosphärischen Niederschlägen sammelnden Wässer;
c) das in Brunnen, Zisternen, Teichen oder anderen Behältern enthaltene und das in Kanälen, Röhren usw. für Verbrauchszwecke abgeleitete Wasser;
ferner, soweit nicht die Bestimmungen des § 2 Abs. 1 lit. a und b entgegenstehen,

d) Seen, die nicht von einem öffentlichen Gewässer gespeist oder durchflossen werden;
e) die Abflüsse aus den vorgenannten Gewässern bis zu ihrer Vereinigung mit einem öffentlichen Gewässer."

Gemäß § 32 WRG 1959 sind „*Einwirkungen auf Gewässer, die unmittelbar oder mittelbar deren Beschaffenheit (§ 30 Abs. 3) beeinträchtigen, […] nur nach wasserrechtlicher Bewilligung zulässig. Bloß geringfügige Einwirkungen, insbesondere der Gemeingebrauch (§ 8) sowie die ordnungsgemäße land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung (Abs. 8), gelten bis zum Beweis des Gegenteils nicht als Beeinträchtigung."*

Gemäß § 33 WRG 1959 besteht eine Reinhaltungsverpflichtung bei der Einwirkung auf die Beschaffenheit von Gewässern. In § 33b. WRG 1959 werden die Emissionsbegrenzungen für Abwasserinhaltsstoffe festgelegt.

Hochwasser wird im WRG gemäß § 55 Abs. 2. a) als *„eine zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist, insbesondere durch Ströme, Flüsse, Bäche und Seen [definiert]. Davon ausgenommen sind Überflutungen aus Abwassersystemen."*

3.1.5 Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV

Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung regelt die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässern und öffentlichen Kanalisationen.

Dabei gilt die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung laut § 1 Abs. 1 unter anderem „*für die Einleitung von*

1. *Abwasser*
2. *Mischwasser*
3. *Niederschlagswasser, mit welchem Schadstoffe von der Landoberfläche eines Einzugsgebietes in ein Gewässer abgeschwemmt werden, die überwiegend durch menschliche Tätigkeiten in diesem Einzugsgebiet entstanden sind […]*

in Fließgewässer oder öffentliche Kanalisationen."

Niederschlagswasser wird gemäß § 1 Abs. 3 Nr. 3. AAEV als „*Wasser, das zufolge natürlicher oder künstlicher hydrologischer Vorgänge als Regen, Tau, Hagel, Schnee oder ähnliches auf ein bestimmtes Einzugsgebiet fällt und an der Landoberfläche dieses Einzugsgebietes zu einem Gewässer abfließt oder durch technische Maßnahmen abgeleitet wird",* definiert.

Generelle wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Abwasserbehandlung in Bezug auf Niederschlagswasser sind in § 3 Abs. 3 und 4 geregelt:

„[…] (3) In einer Mischkanalisation bei Niederschlagsereignissen, Spül- oder sonstigen Vorgängen anfallende Schmutzstoffe sollen – nötigenfalls unter Zwischenschaltung von Regenüberlaufbecken zur Speicherung und mechanischen Reinigung – weitestgehend in der zentralen Abwasserreinigungsanlage behandelt werden. Hydraulische Entlastungsbauwerke in einer Mischkanalisation sollen nach dem Konzept der kritischen Regenspende sowie unter Berücksichtigung der Forderung der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers bemessen und betrieben werden. Nicht oder nur gering verunreinigtes Niederschlagswasser aus

einem Siedlungsgebiet mit Mischkanalisation soll – soweit örtlich möglich – noch vor dem Eintritt in die Kanalisation dem natürlichen ober- und unterirdischen Abflußgeschehen überlassen werden.

(4) *Nicht oder nur gering verunreinigtes Niederschlagswasser aus einem Siedlungsgebiet mit Trennkanalisation soll gleichfalls – soweit örtlich möglich – noch vor dem Eintritt in den Regenwasserkanal dem natürlichen ober- und unterirdischen Abflußgeschehen überlassen werden. Niederschlagswasser mit anthropogenen Verunreinigungen aus Abschwemmungen von Flächen in Siedlungsgebieten mit Trennkanalisation, von stark frequentierten Verkehrsflächen sowie von sonstigen Flächen (§ 1 Abs. 1 Z 3) soll, sofern die Einleitung in ein Fließgewässer eine Veränderung der Wasserbeschaffenheit erwarten läßt, die das geringfügige Ausmaß übersteigt (§ 32 Abs. 1 WRG 1959), mit Maßnahmen nach dem Stand der Technik sowie unter Berücksichtigung der Forderung der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers gereinigt und eingeleitet werden.*

(5) Kanalisationen sollen in regelmäßigen Zeitabständen kontrolliert, gewartet sowie auf Bestand und Funktionsfähigkeit überprüft werden (§§ 50 und 134 WRG 1959); die Ergebnisse der Überprüfungen sollen dokumentiert werden. In regelmäßigen Zeitabständen sollen Fehlanschlüsse und Fremdwasserzutritte aufgeklärt und beseitigt werden."

3.1.6 Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG)

Auf Grund des § 30a Abs. 2 Z 2 WRG legt die QVZ CHEMIE OG einen Zielzustand für Oberflächengewässer fest.

Die in der Verordnung festgelegten Umweltqualitätsnormen für bestimmte Schadstoffe haben eine Relevanz für die Niederschlagswasserbewirtschaftung, da die Schadstoffe mit dem Niederschlag oder durch den Niederschlag in Oberflächengewässer gelangen können.

3.1.7 Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW)

Auf Grund § 30c Abs. 2 Z 1 bis 3, § 32a Abs. 1 und 2, § 33f Abs. 1, § 111 Abs. 5 und § 134 Abs. 6 des Wasserrechtsgesetztes 1959 bezeichnet die QZV Chemie GW den guten chemischen Zustand des Grundwassers sowie laut § 1 die *„[…]im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot maßgeblichen Kriterien zum Schutz des Grundwassers […]".*

Die in der Verordnung festgelegten Schwellenwerte und Bewilligungspflichten für bestimmte Schadstoffe haben eine Relevanz für NWB, da die Schadstoffe mit dem Niederschlag oder durch den Niederschlag ins Grundwasser gelangen können.

3.1.8 Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG)

Auf Grund des § 30a Abs. 1 des WRG 1959, BGBl. Nr. 215 ist das Ziel dieser Verordnung *„die Festlegung von […] zu erreichenden Zielzuständen sowie von im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot maßgeblichen Zuständen für Typen von Oberflächengewässern durch Werte für die*

biologischen, hydromorphologischen und die allgemeinen Bedingungen der physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten für den ökologischen Zustand mit dem Zweck der Beurteilung der Qualität von Oberflächengewässern."

Dabei gilt die Verordnung gemäß § 2 „*für alle Oberflächengewässer (§ 30a Abs. 3 Z 1 WRG 1959) ausgenommen künstliche und erheblich veränderte Gewässer".*

Da Niederschlagswasser in Oberflächengewässer gelangt und geleitet wird, hat diese Verordnung eine Relevanz für NWB.

3.1.9 Gesetze auf Landesebene

Die Niederschlagswasserbewirtschaftung wird auf Landesebene hauptsächlich über die Bauordnung und über Bestimmungen zur Einleitung von Niederschlagswasser in den Kanal gesetzlich geregelt (KLEIDORFER et al. 2019). Dazu zählen das Burgenländische Kanalanschlussgesetz, das Kärntner Gemeindekanalisationsgesetz, das Niederösterreichische Kanalgesetz, das Oberösterreichische Abwasserentsorgungsgesetz, das Steiermärkische Kanalgesetz, das Benützungsgebührengesetz (Salzburg), das Tiroler Kanalisationsgesetz, das Vorarlberger Kanalisationsgesetz sowie das Kanalanlagen- und Einmündungsgebührengesetz (Wien). Um ein komplettes Bild der Rechtslage in den einzelnen Bundesländern zu erhalten, muss zusätzlich der eingeräumte „Bewegungsspielraum" der Gemeinden berücksichtigt werden (KROISS und WAITZ - VETTER VON DER LILIE 2011).

3.2 Normen und Regelwerke

Nachfolgend sind in Tabelle 1 die relevantesten Normen, Regelblätter, Arbeitsblätter und Merkblätter aus Österreich und Deutschland zusammengestellt.

Tabelle 1: Relevante Normen und Regelwerke der vorliegenden Arbeit

Normen	
ÖNORM B 2400	Hydrologie – Hydrographische Begriffe und Zeichen
ÖNORM B 2506-1	Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 1
ÖNORM B 2506-2	Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 2
ÖNORM EN 14654-1	Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden
ÖNORM EN 16932-1	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Pumpsysteme
ÖNORM EN 16933-2	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Planung
ÖNORM EN 16941	Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser

ÖNORM EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement
ÖNORM L 1131	Gartengestaltung und Landschaftsbau – Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken
ÖWAV - Regelblätter	
ÖWAV- Regelblatt 9	Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren
ÖWAV-Regelblatt 11	Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen
ÖWAV-Regelblatt 19	Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen
ÖWAV-Regelblatt 22	Betrieb von Kanalisationsanlagen
ÖWAV-Regelblatt 35	Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer
ÖWAV-Regelblatt 45	Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund
DWA-Arbeitsblätter und Merkblätter	
DWA-A 102-1/BWK-A 3-1	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 1: Allgemeines
DWA-A 102-2/BWK-A 3-2	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen
DWA-M 102-4/BWK-A 3-4	Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers
DWA-A 110	Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen
DWA-A 117	Bemessung von Regenrückhalteräumen
DWA-A 118	Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen
DWA-M 119	Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen
DWA-A 138 (2006)	Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
DWA-A 138-1 (2020) -Entwurf	Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb

Da die Überarbeitung des DWA-A 138 (DWA 2006c) noch nicht abgeschlossen ist, ist stand April 2021 weiterhin das DWA-A 138 (DWA 2006c) zu verwenden (INTEWA 2021).

3.3 Technische Grundlagen

3.3.1 Wasserwirtschaftliche Einordnung

Die Siedlungsentwässerung hat die Aufgabe, sowohl die Siedlungshygiene als auch den Hochwasserschutz zu gewährleisten und dabei den natürlichen hydrologischen Zustand so wenig wie möglich zu verändern (GUJER 2007, 200). In den meisten Siedlungsgebieten gelangt Niederschlagswasser heutzutage jedoch nicht mehr auf natürlichem Weg in den Wasserkreislauf (DWA 2006c). Dadurch können langfristige Veränderungen des Boden- und Wasserhaushaltes eintreten sowie die chemischen und biologischen Verhältnisse oberhalb und unterhalb der Geländeoberfläche beeinflusst werden (DWA 2006c).

Bis vor einigen Jahren wurde Niederschlagswasser fast ausschließlich in Regenwasser- und Mischwasserkanälen abgeleitet (GEIGER et al. 2009, 7; ZIEGLER 2011, 14). Diese spontane Notlösung aus dem 19. Jahrhundert, das Regenwasser wie das Schmutzwasser systematisch und schnellstmöglich zu entfernen, war der Bekämpfung der Folgen von Cholera- und Typhusepidemien geschuldet. So wurde erst in den 1980er Jahren anerkannt, dass überschüssiges Regenwasser auch gespeichert, versickert und genutzt werden kann und nur ein geringer Teil gegebenenfalls abgeleitet werden muss (GEIGER et al. 2009, 7).

Spätestens nach Einführung der EU-WRRL 2000 gab es einen konkreten Handlungsbedarf für eine nachhaltige Siedlungsentwässerung in Österreich und den restlichen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. *„Zur Zielerreichung bietet die Niederschlagswasserbewirtschaftung ein breites Spektrum unterschiedlicher Maßnahmen zur Abflussvermeidung, zur Versickerung, zur verzögerten (offenen) Ableitung, zur Regenwassernutzung sowie zur Behandlung verschmutzter Abflüsse“* (DWA 2020a). Ausgewählte Anlagen, die zur Umsetzung der Maßnahmen eingesetzt werden, werden in Kapitel 3.3.6 genauer beschrieben.

3.3.2 Niederschlagswasserbewirtschaftung und ihre Herausforderungen in Österreich

„Österreich ist mit einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von ca. 1.100 mm pro Jahr eines der wasserreichsten Länder Europas“ (BMLRT 2021). Die Niederschlagsverhältnisse sind jedoch kleinräumig strukturiert und sehr heterogen, sodass die Jahresniederschlagssummen von 500 mm im Marchfeld und Weinviertel bis über 2000 mm in den alpinen Stauregionen reichen (FORMAYER und KROMP-KOLB 2009).

Vorhersagen zeigen, dass über ein gesamtes Jahr gesehen keine großen Veränderungen für Trocken- und Regenperioden in Österreich zu erwarten sind. Die Trockenperioden im Sommer und Herbst werden jedoch tendenziell länger und nehmen im Winter und Frühling ab. Bei den Regenperioden verhält es sich entgegengesetzt. Während im Sommer und Herbst kürzere Regenperioden prognostiziert werden, sind im Winter und Frühling längere Phasen zu erwarten. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die lokale Betrachtung der Entwicklungen zu legen, da in Österreich große Unterschiede auftreten können (KLEIDORFER et al. 2019). Auch in Österreich sind durch die Auswirkungen des Klimawandels Zunahmen von Hitzewellen, Trockenheit und Starkregen zu erwarten (HUTTER et al. 2011; APCC 2018; MASSON-DELMOTTE et al. 2018; BALAS und FELDERER 2021).

In Österreich existiert eine über Jahrzehnte gewachsene leitungsgebundene Infrastruktur, sodass sich die flächendeckende dezentrale Regenwasserbewirtschaftung noch nicht etabliert hat. Aktuell ist der Einsatz auf Einzelmaßnahmen und lokale Projekte begrenzt (KLEIDORFER et al. 2019). Im Jahr 2019 betrug die Länge aller Schmutzwasserkanäle 58.100 km, aller Mischwasserkanäle 24.100 km und aller Regenwasserkanäle 10.800 km (BMLRT 2021).

3.3.3 Wasserhaushalt & Wasserkreislauf

Für die Wasserbilanz eines Einzugsgebiets gilt für eine bestimmte Zeitspanne die Grundgleichung:

$$N = A + V \pm \Delta S$$

mit:

N = Mittlere Niederschlagshöhe des Einzugsgebiets [mm],

A = Mittlere Abflusshöhe [mm],

V = Verdunstungshöhe [mm],

ΔS = Rücklage (= Speicherung) oder Aufbrauch von Wasser im Einzugsgebiet [mm] (MANIAK 2016, 4).

Kommt es durch Regen oder andere Niederschläge zu einer Benetzung der mit Vegetation bedeckten Bodenoberfläche, wird das Wasser je nach Art und Wassergehalt des Bodens vom Untergrund aufgenommen. Das überschüssige Wasser sammelt sich in Mulden und wird bei ausreichendem Gefälle zum Abfluss gebracht. Gleichzeitig kommt es direkt an der Oberfläche des Bodens und der Pflanzen zur Evapotranspiration. Mit steigender Wassermenge in den oberen Bodenschichten dringt das Wasser unter Wirkung der Schwerkraft in tiefere Bodenschichten und schließlich ins Grundwasser ein (GEIGER et al. 2009, 24–25). Durch die Versiegelung in bebauten Gebieten und dem damit verbundenen Eingriff in die hydrologischen Prozesse Infiltration und Evapotranspiration verändert sich der Wasserhaushalt (Abbildung 1) (BARRON et al. 2013; DWA 2020d).

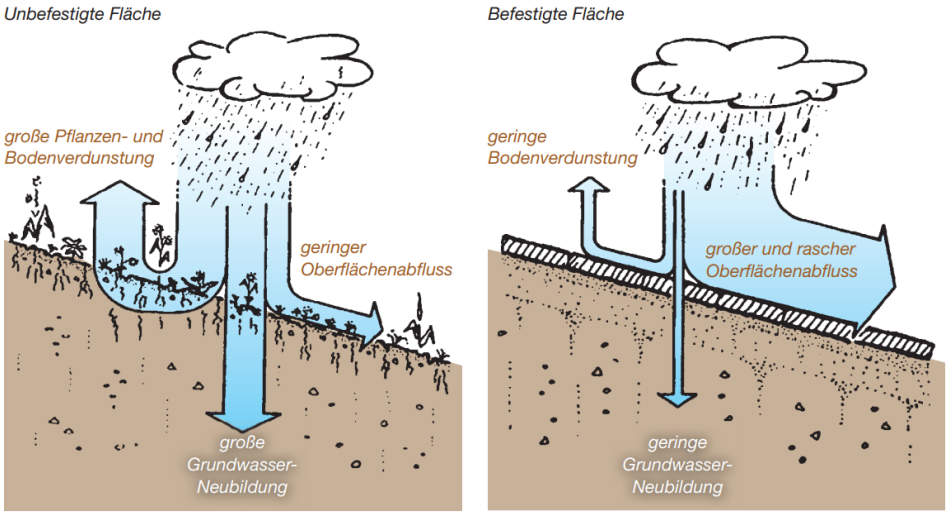


Abbildung 1: Qualitative Darstellung eines gestörten und ungestörten Wasserhaushalts (GRIMM und ACHLEITNER 2010)

Auch bei versiegelten Flächen wird zunächst die Oberfläche benetzt und anschließend werden die Mulden gefüllt. Die versiegelten Flächen haben jedoch im Vergleich zu natürlichen und mit Vegetation bedeckten Flächen eine geringere Verdunstung und eine kleinere Speicherkapazität. Sie führen dadurch schneller zum Abfluss und die Grundwasserneubildung wird reduziert (GEIGER et al. 2009, 25).

Abbildung 2 stellt die Abflussbildung während eines Niederschlagsereignisses mit konstanter Intensität qualitativ dar. Zu Beginn eines Regenereignisses muss eine anfänglich trockene Oberfläche zunächst benetzt und ein Wasserfilm aufgebaut werden. Erst im Anschluss kann der Abfluss in Bewegung kommen. Durch Verwehungen, Verdunstungen sowie Versickerung gelangt ein Teil des Niederschlagswassers im Laufe des Prozesses nicht zum Oberflächenabfluss (GUJER 2007, 205).

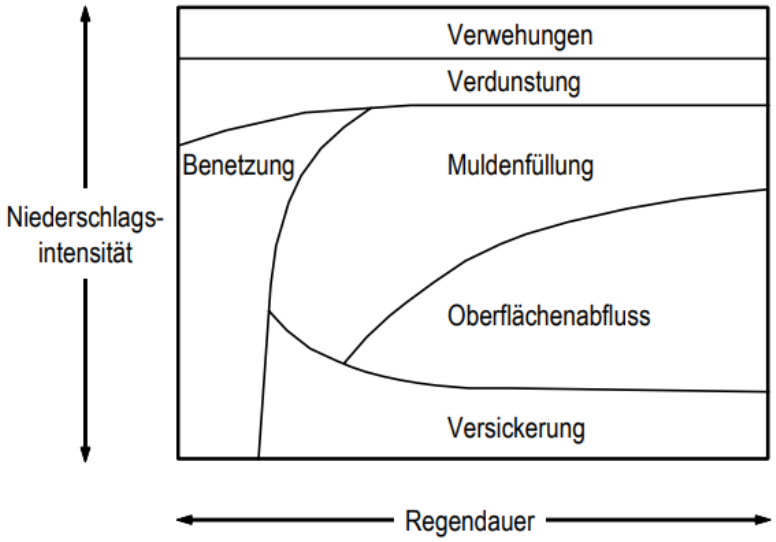


Abbildung 2: Qualitative Darstellung der Abflussbildung während eines Regens mit konstanter Intensität (GUJER 2007, 206)

Neben der Niederschlagsdauer und der Niederschlagsintensität können Niederschlagsereignisse auch über die Niederschlagshöhe und die zugehörige Jährlichkeit bzw. die Wiederkehrzeit charakterisiert werden (GEIGER et al. 2009, 43). In der Siedlungswasserwirtschaft wird der Bemessungsniederschlag als Grundlage für Kanalnetzberechnungen sowie Dimensionierung von Versickerungsanlagen, Rückhaltebecken und Regenentwässerung verwendet (WEILGUNI 2018). *„Der Bemessungsniederschlag berücksichtigt die Jährlichkeit (Wiederkehrzeit T) und die Niederschlagsdauer (Dauerstufe D)“* (ÖWAV 2015b). Das hydrografische Zentralbüro des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft stellt Tabellen zum Bemessungsniederschlag in dem Internetportal eHYD (https://ehyd.gv.at) zur Verfügung. In den Tabellen sind Dauerstufen von 5 Minuten bis zu 6 Tagen und Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten) von 1 bis 100 Jahren zusammengestellt. Das Ziel von Entwässerungskonzepten sollte immer sein, die natürliche Wasserbilanz so wenig wie möglich zu verändern (ÖWAV 2008; GEIGER et al. 2009, 25; DWA 2020a).

3.3.4 Boden

Ein „*zentraler und integraler Bestandteil der Ökosphäre, und zwar als Akkumulator, Transformator und Filter von Wasser sowie Nähr- und Schadstoffen*“ (LECHER 2020, 275) ist der Boden. Gemäß DIN 4047-3 und LECHER (2020) umfasst der Boden die Pedosphäre, den ungesättigten und gesättigten Untergrund „*von der Erdoberfläche bis zum unbelebten Locker- bzw. Festgestein*“ (LECHER 2020, 275).

Im natürlichen Wasserregime spielen Oberflächen und Substrate mit hoher Speicherfähigkeit eine wichtige Rolle. Die Wasserbewegung und somit auch die Versickerungsleistung im Boden wird durch das Porensystem bestimmt. Während im wasserungesättigten Zustand der Boden ein Dreiphasensystem, bestehend aus festen Partikeln, Bodenwasser und Bodenluft ist, sind im gesättigten Zustand alle Poren mit Wasser gefüllt. Die Wasserdurchlässigkeit (hydraulische Leitfähigkeit) des Bodens ist abhängig von der Porengröße, ihrer Kontinuität, der Porenform, der Porenzahl, der Geometrie der Porenkanäle und dem Flurabstand. Dabei sind die Bodenart und das Bodengefüge vorrangig für die Porengröße und ihre Verteilung verantwortlich. Je größer die Poren, desto höher ist die hydraulische Leitfähigkeit. Diese ist in Böden sehr unterschiedlich, sodass zum Beispiel in einem homogenen Sandboden täglich eine 1 m mächtige Wassersäule versickern kann, während in einem dichten Tonboden häufig weniger als 1 mm pro Tag versickert. Die Wasserleitfähigkeit des Bodens kann dazu noch durch zum Beispiel Wurmgänge, Wurzelgänge oder Schrumpfungsrissen beeinflusst werden. Die Infiltration des Niederschlagswassers in einem überfluteten, homogenen Boden verläuft abhängig vom Porenvolumen, Anfangswassergehalt, von der Verschlämmung der Bodenoberfläche und der Veränderung des Durchlässigkeitsbeiwertes bei wechselndem Wassergehalt (GEIGER et al. 2009, 34–35). Eine gute Durchlüftung des Bodens, die auch abhängig von der Porengröße ist, wirkt sich ebenfalls positiv auf den Versickerungsvorgang aus (BENDEL 1948; zit. bei RICHARD 1973).

Die Infiltration bei gleichbleibender Wasserzufuhr lässt sich in vier Zonen unterscheiden (GISI 1997, 98; GEIGER et al. 2009, 35), die in Tabelle 2 aufgelistet sind und in Abbildung 3 veranschaulicht werden.

Tabelle 2: Zonen der Infiltration bei gleichbleibender Wasserzufuhr (GEIGER et al. 2009, 35)

Zone	***Beschreibung***
Sättigungszone	*Hier sind die Poren vollständig mit Wasser gefüllt. Diese Zone ist in der Regel 1 cm bis 2 cm mächtig und wird nur geringfügig und sehr langsam mächtiger.*
Übergangszone	*Hier nimmt der Wassergehalt rasch ab.*
Transportzone	*Hier bleibt der Wassergehalt konstant.*
Befeuchtungszone	*Hier ändern sich der Wassergehalt und das Wasserpotential rasch.*

Dabei bewegt sich eine Infiltrationsfront im Bodenprofil zu Beginn des Versickerungsvorgangs mit hoher Vorrückgeschwindigkeit als Befeuchtungszone nach unten. Je höher dabei der

Anfangswassergehalt der Zone ist, desto schneller rückt die Befeuchtungszone vor. In der nachfolgenden Transportzone ändert sich der Wassergehalt nur wenig, in der anschließenden Übergangszone nimmt der Wassergehalt dann jedoch rasch ab. Bei Überstau bildet sich eine Sättigungszone, in der die Poren vollständig mit Wasser gefüllt sind. Diese Zone rückt nur geringfügig und sehr langsam in den Boden vor. Kommt es zu keiner Überflutung des Bodens, wie es bei natürlichen Regenereignissen zumeist der Fall ist, bildet sich keine Sättigungszone (GISI 1997, 97–98; GEIGER et al. 2009, 35–36).

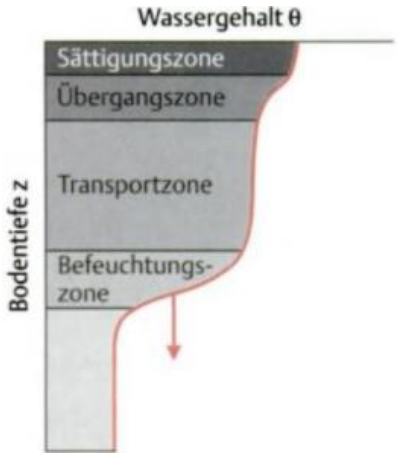


Abbildung 3: Wassergehaltsprofil einer Infiltrationsfront bei Überstau (GISI 1997, 98)

Eine genaue Prognose über das genaue Versickerungsvermögen in unterschiedlichen Böden fällt aufgrund der hohen Abhängigkeit von äußeren Faktoren schwer. Dies kann anhand von Sand- und Tonböden veranschaulicht werden: Sandiger Boden hat allgemein eine höhere Wasserdurchlässigkeit als Tonboden. Sind im Tonboden aber nach zum Beispiel langen Trockenphasen Schrumpfungsrisse entstanden, kann mehr Wasser am Anfang des Versickerungsvorganges versickern als in einem Sandboden (GISI 1997, 103; GEIGER et al. 2009, 36).

Hinzu kommt, dass Böden mit hohen Anteilen von Schluff und Ton zwar eine geringere hydraulische Leitfähigkeit als sand- und kieshaltige Böden haben, die Sorptionskapazität von anorganischen Schadstoffen jedoch höher ist (KLUGE et al. 2016).

3.3.5 Stoffliche Belastung von Niederschlagswasser

„*Niederschlagsabflüsse können durch pathogene, organische und anorganische Stoffe verunreinigt sein*“ (ÖNORM B 2506-2), sodass sie gegebenenfalls vor der Einleitung in ein Oberflächengewässer oder vor der Versickerung ins Grundwasser behandelt werden müssen (DWA 2020a). Organische und anorganische Spurenstoffe gelangen über verschiedene Eintragspfade in den Boden und die Gewässer (CLARA et al. 2014; BURKHARDT 2019).

Bereits durch das Auswaschen von Staubpartikeln enthält Niederschlagswasser eine Vielzahl von anorganischen und organischen Stoffen, die sich in trockenen Perioden ablagern (Trockendeposition) und anschließend während Niederschlagsereignissen gelöst oder transportiert werden (Nassdeposition). Schwermetalle und diverse Kohlenwasserstoffe, insbesondere polyzyklische

aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), haben den größten Anteil an toxischen Substanzen aus der Atmosphäre. Die PAK treten vor allem partikelgebunden im Abfluss auf, sodass sie vom Boden gefiltert werden. Der Abbau erfolgt jedoch in der Regel nur langsam. Zusätzlich zu den bereits im Niederschlag vorhandenen Stoffen werden weitere Schadstoffe durch Flächennutzungen in den Niederschlagsabfluss eingetragen (GEIGER et al. 2009, 36–37). Während erhöhte Konzentrationen anorganischer Stoffe im ländlichen Raum überwiegend naturbedingten Ursprungs sind, können in Siedlungsbereichen zusätzlich durch verschiedene anthropogene Quellen, wie zum Beispiel Verkehr, Siedlungsabfälle oder Industrieemission, noch höhere Werte auftreten (LABO 2003).

Da in der Praxis die Messung der Schadstoffkonzentrationen mit einem großen Aufwand verbunden wäre, wird in den ÖWAV-Regelblättern 35 (ÖWAV 2019) und 45 (ÖWAV 2015b) generell zwischen Dachabflüssen und Straßenabflüssen unterschieden, wobei im ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) die Straßenabflüsse noch detaillierter in unterschiedliche Fahr-, Park- und Stellflächen unterteilt werden. Basierend auf dieser Unterscheidung wird die Verschmutzung der Abflüsse des Niederschlagswassers durch Zuordnung zu einem Flächentyp charakterisiert. Der Flächentyp gibt anschließend zum Beispiel die Anforderungen an die Versickerung oder die Art und den Umfang von Überprüfungen vor.

Die Unterteilung der Flächen erfolgt in den ÖWAV-Regelblättern 35 (ÖWAV 2019) und 45 (ÖWAV 2015b) in fünf Flächentypen. Die Auflistung der Flächentypen in Abhängigkeit von der Art der Fläche befindet sich im Anhang A.4.1. Da die Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, sollen nicht aufgelistete Flächen, der möglichen Belastung entsprechend, einem Flächentyp zugeordnet werden (ÖWAV 2015b).

Bei Dachabflüssen sind Art und Konzentration der Schadstoffe im Wesentlichen von der atmosphärischen Deposition und den Dach- und Ableitungsmaterialien abhängig. Es können Kupfer- und Zinkverbindungen enthalten sein, die durch das saure Milieu des Niederschlagswassers herausgelöst werden. Ebenso können die Abflüsse Pestizide beinhalten, die bei foliengedichteten Flachdächern eingesetzt werden. Durch den Einsatz von bituminösen Dichtungsmaterialien können PAK enthalten sein. Bei Grün- und Kiesdächern müssen mögliche Emissionen aus Dichtungsmaterialien berücksichtigt werden. Die Konzentrationen an biochemischem Sauerstoffbedarf (BSB_5) sind in Dachabflüssen vernachlässigbar gering (ÖWAV 2015b; ÖWAV 2019).

In Tabelle 3 sind die durchschnittlichen Konzentrationen in Dachabflüssen aus dem ÖWAV-Regelblatt 35 (ÖWAV 2019) angeführt.

Tabelle 3: Mittlere Konzentration in Dachabflüssen (Dächer ohne Verwendung von Schwermetallen für Dach- und Ableitungsmaterial) (ÖWAV 2019)

AFS	***CSB***	***Ges. N***	***Ges. P***	***Cd***	***Cu***	***Pb***	***Zn***	***PAK***
mg/l	*mg/l*	*mg/l*	*mg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*
60	*< 30*	*2*	*0,2*	*0,6*	*20*	*20*	*100*	*1,5*

Die wesentlichen Schadstoffquellen aus Straßenabflüssen fasst das Regelblatt 35, wie in Tabelle 4 dargestellt, zusammen. Die mittleren Konzentrationen in Straßenabflüssen, basierend auf dem ÖWAV-Regelblatt 35 (ÖWAV 2019), sind in

Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 4: Typische Schadstoffe und deren Herkunft (ÖWAV 2019)

Herkunft	***Schmutz- und Schadstoff***
Verbrennungsrückstände	*Kohlenwasserstoffe (Mineralöle), Metalle (Pb, Zn, Ni), Feinstoffe (Ruß)*
Bremsabrieb	*Metalle (Cu), Feinstoffe*
Reifenabrieb	*Metalle (Zn, Cd, Pb), Kautschuk, Ruß*
Tropfverluste	*Organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe), Metalle (Pb, Ni, Zn)*
Korrosion, Verschleiß	*Al, Cu, Fe, Co, Mn*
Straßenabrieb	*Feinstoffe, organische Verbindungen (Teer)*
Winterdienst, Unterhaltsarbeiten	*Streusalz, Splitt, Pflanzenschutzmittel*
Ladegutverluste	*N/A*

Tabelle 5: Mittlere Konzentration in Straßenabflüssen (Straßen mit durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) > 10.000 Kfz/24 h) nach (ÖWAV 2019)

AFS	***CSB***	***Ges. N***	***Ges. P***	***Cd***	***Cu***	***Pb***	***Zn***	***PAK***
mg/l	*mg/l*	*mg/l*	*mg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*	*µg/l*
200	*100*	*2*	*0,5*	*1,5*	*100*	*30*	*500*	*3*

Die hohe Konzentration an chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) wird insbesondere durch Abfall, Laub und Exkremente von Tieren verursacht. Die Hauptquelle für die hohe Zink-Konzentration ist in erster Linie der Reifenabrieb, für die hohe Kupfer-Konzentration der Bremsbelagabrieb (ÖWAV 2019). Des Weiteren ist die Qualität des Regenwasserabflusses von der Dauer und der Intensität des Niederschlags abhängig. So sind zu Beginn eines Regenabflusses die Konzentrationen von partikulären Wasserinhaltsstoffen häufig höher als im nachfolgenden Abfluss (GEIGER et al. 2009, 37). Dieser sogenannte „First Flush“ ist wiederum von vielen Parametern, wie zum Beispiel

der Regenintensität, Flächenversiegelung und vorhergehenden Trockenperioden abhängig (LEE et al. 2002).

„*Stark verunreinigte Niederschlagsabflüsse, die nicht in geeigneter Form versickert werden können oder deren Behandlung vor der Einleitung in ein Oberflächengewässer nicht mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand möglich ist, sind – im Regelfall nach Retention – über den Schmutzwasserkanal der Kläranlage zuzuführen*“ (ÖWAV 2019).

3.3.5.1 Auswirkungen von Niederschlagsabflüssen auf Oberflächengewässer

Gelangt Niederschlagswasser in Oberflächengewässer, müssen sowohl die Auswirkungen der hydraulischen als auch der stofflichen Belastung berücksichtigt werden (ANKOWITSCH et al. 2017). Besonders bei kleinen Gerinnen kann die punktuelle Einleitung von Niederschlagswasser aus einer Kanalisation eine wesentliche Veränderung der Strömungsbedingungen auslösen (ANKOWITSCH et al. 2017). Durch zum Beispiel Geschiebetrieb können an der Gewässersohle lebende Organismen zermalmt, zerquetscht oder abgeschwemmt werden (KREJCI et al. 2004), sodass es zu lokalen Verlusten von Individuen einer Lebensgemeinschaft kommen kann (ANKOWITSCH et al. 2017).

Sofern es keine Fehlanschlüsse gibt, sind biologisch abbaubare organische Stoffe nur in geringen Konzentrationen im Niederschlagswasser enthalten (ANKOWITSCH et al. 2017). Chemische Substanzen, Bakterien und pathogene Keime können jedoch die Wasserqualität beeinträchtigen. Diese stoffliche Beeinträchtigung umfasst anorganische, organische und metallische Schadstoffe, die durch häusliche und industrielle Abwässer sowie von erodiertem Sediment und Biofilm aus der Kanalisation eingetragen werden können. Ebenso können sich die Schadstoffe aus der Atmosphäre, die durch den Niederschlag ausgewaschen werden, die Schadstoffe aus bestimmten Oberflächen (z.B. Metallfassaden) sowie die Schadstoffe, die von Oberflächen wie Dächern und Verkehrswegen abgespült werden, negativ auf die im Wasser lebenden Organismen auswirken (KREJCI et al. 2004). Gerade bei kleinen Vorflutern können die nur durch Regenwetter freigesetzten Stoffe zu lokalen und zeitlich begrenzten Stoffbelastungen führen (KREJCI et al. 2004; BURKHARDT 2019).

3.3.5.2 Auswirkungen von Niederschlagsabflüssen auf das Grundwasser

Das Ausmaß einer Grundwasserbeeinträchtigung ist im Wesentlichen von der Adsorbierbarkeit und Abbaubarkeit von Schadstoffen im Boden abhängig. Findet kein Absetzen oder Ausfällen, keine Adsorption oder finden keine biologischen Abbauprozesse der Substanzen im Sickerwasser statt, werden die Schadstoffe größtenteils ins Grundwasser transportiert (ANKOWITSCH et al. 2017). Die maximal zulässigen Schadstoffkonzentrationen im Boden und Grund- bzw. Sickerwasser sollten dabei so festgelegt sein, dass selbst bei langfristiger Einwirkung die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht geschädigt wird (GEIGER et al. 2009, 36).

3.3.6 Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen

Es gibt eine Vielzahl von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen, die in der Literatur und in verschiedenen Forschungsprojekten unterschiedlich definiert und kategorisiert werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird zwischen konventioneller und dezentraler bzw. naturnaher Regenwasserbewirtschaftung unterschieden. Während bei der konventionellen Regenwasserbewirtschaftung das Regenwasser im Kanalnetz schnell aus dem Siedlungsgebiet abgeleitet werden soll (FREYTAG et al. 2018), hat die dezentrale bzw. naturnahe Regenwasserbewirtschaftung das Ziel, Niederschlagswasser lokal zurückzuhalten, zu nutzen, zu verdunsten, zu versickern oder gegebenenfalls gedrosselt und behandelt abzuleiten (SIEKER 2021). Für die dezentrale bzw. naturnahe Regenwasserbewirtschaftung gibt es im internationalen Kontext verschiedene Begriffe, die zum Teil für ähnliche Methoden (KLEIDORFER et al. 2019), aber auch abweichend voneinander (SIEKER 2021) verwendet werden. Dabei unterscheiden sich die Begriffe hinsichtlich des Hauptziels und der Breite des Ansatzes (Abbildung 4).

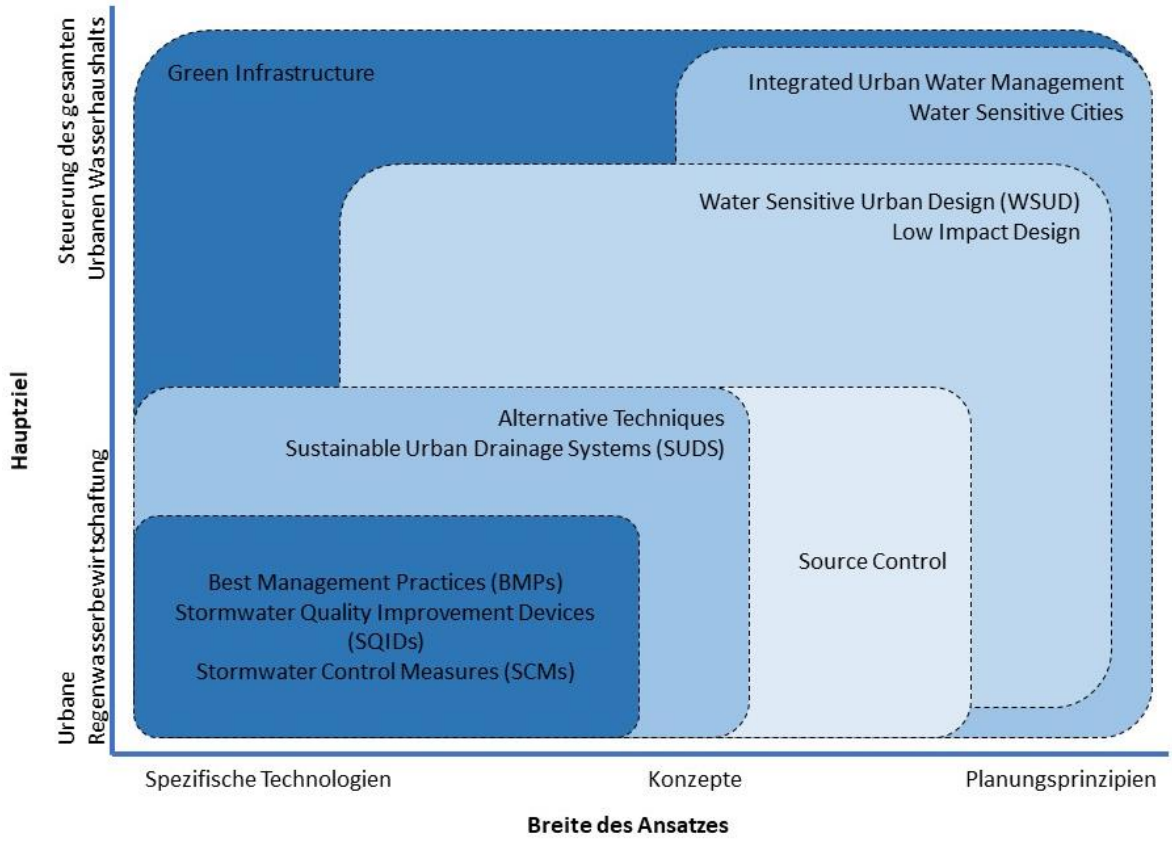


Abbildung 4: Klassifizierung der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsansätze (FLETCHER et al. 2015; KLEIDORFER et al. 2019)

Obwohl die verschiedenen Begriffe zum Teil für unterschiedliche Ansätze stehen, beschreiben sie dennoch alle den Umgang mit Regenwasser losgelöst von der herkömmlichen Ableitung über Kanalsysteme (SIEKER 2021).

In der vorliegenden Arbeit dienen die NWB des Projekts *Flexadapt* (KLEIDORFER et al. 2019) als Untersuchungsgrundlage. In Abbildung 5 sind diese betrachteten NWB hinsichtlich ihrer

Funktionen und Gruppierung in konventionelle und dezentrale bzw. naturnahe Anlagen dargestellt. Die graugefärbten Anlagen sind den konventionellen NWB und die grüngefärbten Anlagen den naturnahen bzw. dezentralen NWB zuzuordnen. Dabei lag der Fokus bei der Gruppierung auf den Funktionen Versickerung und Ableitung. Dadurch wurden Beckenversickerungen den naturnahen bzw. dezentralen Anlagen zugeordnet, obwohl Becken naturnah, aber in der Regel nicht dezentral sind (DWA 2006c). Transportmulden können je nach Ausführung beiden Kategorien zugeordnet werden.

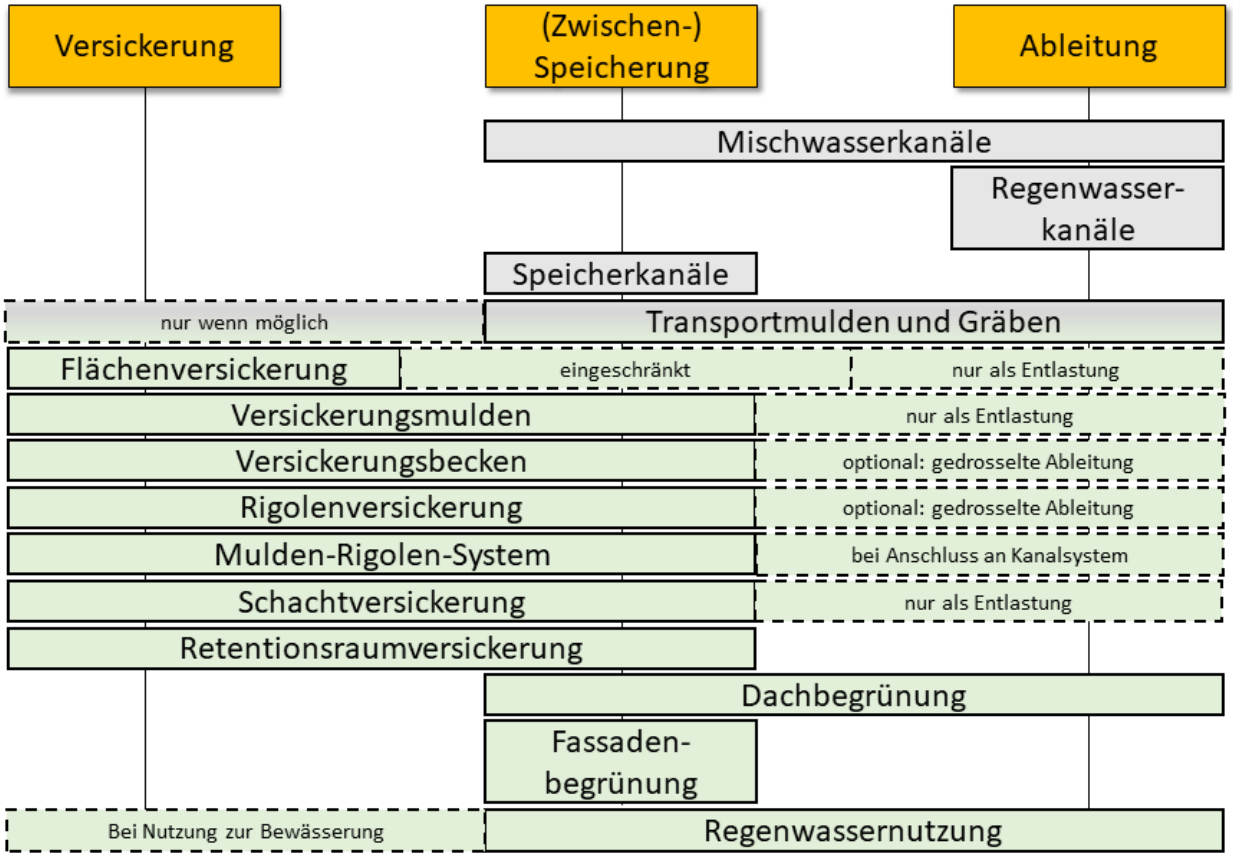


Abbildung 5: Systemeigenschaften NWB (in Anlehnung an DWA 2006c; KLEIDORFER et al. 2019)

Um die Reaktionen der verschiedenen NWB auf ausgewählte außerplanmäßige Ereignisse beschreiben zu können, werden folgend zunächst die Funktionsweise sowie die relevanten Parameter für die Dimensionierung und den Betrieb der Anlagen beschrieben. Anschließend erfolgt eine tabellarische Zusammenstellung aller Anlagen mit ihren Funktionen.

3.3.6.1 Mischwasserkanal

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

In einem Mischsystem (Abbildung 6) werden Schmutz- und Niederschlagswasser im gleichen Leitungs-/ Kanalsystem abgeleitet. Der Trockenwetterzufluss beansprucht nur einen geringen Teil der Kanalkapazität, sodass dem Regenwasserzufluss eine erhöhte Bedeutung beizumessen ist (ÖNORM EN 752; KLEIDORFER et al. 2019).

Bei einem modifizierten Mischsystem wird nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser am Entstehungsort versickert oder in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet und nur behandlungsbedürftiges Regenwasser sowie Schmutzwasser dem Mischwasserkanal zugeführt (ÖWAV 2008; KLEIDORFER et al. 2019). Kann das gesamte Abwasser bei Niederschlagsereignissen nicht zur Kläranlage abgeleitet werden, wird verdünntes Schmutzwasser zur Entlastung in die Gewässer eingeleitet (GUJER 2007, 229; KLEIDORFER et al. 2019). In kleinen oder gestauten Gewässern können auf diese Weise durch die stark sauerstoffzehrenden und akut toxischen Substanzen sowie pathogenen Keime Immissionsprobleme auftreten (ÖWAV 2008; KLEIDORFER et al. 2019).

Wenn die Randbedingungen es zulassen, soll behandlungsbedürftiges Regenwasser vor Ort einer Vorbehandlung (durch zum Beispiel Sand- und Schlammfänge, Fettabscheider, Mineralölabscheider, Absetzbecken) unterzogen werden (KLEIDORFER et al. 2019). Durch das Zwischenspeichern und gedrosselte Einleiten von sowohl behandlungsbedürftigem als auch nicht behandlungsbedürftigem Regenwasser soll die hydraulische Belastung im Mischwasserkanal reduziert werden (ÖWAV 2008; KLEIDORFER et al. 2019).

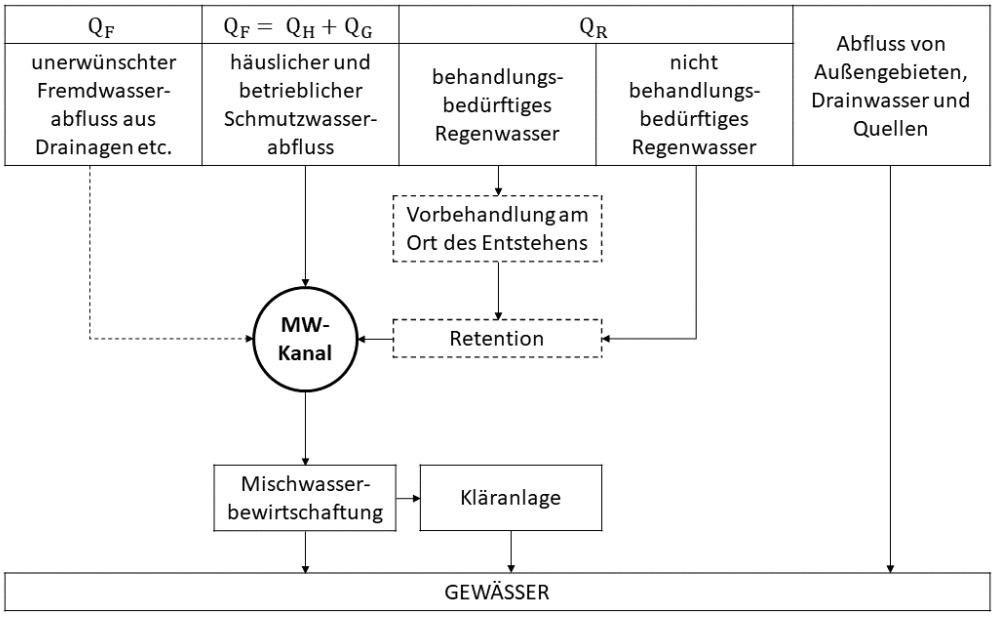


Abbildung 6: Schema Mischsystem (ÖWAV 2008)

Dimensionierung

Die Berechnung und Dimensionierung von Mischwasserkanälen kann nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV 2009) oder nach dem DWA-A 118 (DWA 2006b) erfolgen. Die Ermittlung der

Bemessungsabflüsse, bestehend aus Regenabfluss und Schmutzwasserabfluss, erfolgt nach ÖNORM EN 16933-2.

Während einfache Systeme mit Hilfe eines analogen Modells, dem Fließzeitverfahren, näherungsweise modelliert werden, benötigen komplexe Systeme aufwendigere hydrologische oder hydrodynamische Modelle (KLEIDORFER et al. 2019). Abhängig von der Art des verwendeten Bemessungsverfahrens werden verschiedene Bemessungskriterien festgelegt. Bei der Verwendung einfacher Bemessungsverfahren werden die hydraulischen Bemessungskriterien üblicherweise in Bemessungsregenhäufigkeiten, die das Rohr lediglich füllen, ohne es zu überlasten, ausgedrückt (ÖNORM EN 752). *„Die Häufigkeit eines Ereignisses kann entweder als Jährlichkeit oder als Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung innerhalb eines Jahres ausgedrückt werden*" (ÖNORM EN 752). In Tabelle 6 sind Beispiele für Bemessungsregenhäufigkeiten an verschiedenen Orten angegeben.

Tabelle 6: Häufigkeiten für die Bemessung von Entwässerungsnetzen (ÖNORM EN 752)

Ort	***Bemessungsregenhäufigkeiten[a]***	
	Jährlichkeit *Jahre*	***Überschreitungswahrscheinlichkeit je Jahr***
Ländliche Gebiete	*1*	*100 %*
Wohngebiete	*2*	*50 %*
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	*5*	*20 %*
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	*10*	*10 %*
[a] Für das gewählte Bemessungsregenereignis darf das Rohr lediglich vollgefüllt und nicht überlastet sein.		

Um das Risiko von kanalinduzierten Überflutungen zu reduzieren, sollten ebenfalls Bemessungshäufigkeiten für kanalinduzierte Überflutungen festgelegt werden. Da bei starken Regenereignissen Überflutungen kaum zu vermeiden sind, sollen die Kanäle so bemessen werden, dass Personen und Sachgüter bei Überflutungen durch Regenereignisse, die die national und lokal festgelegten Überflutungshäufigkeiten übersteigen, nach Möglichkeit nicht beeinträchtigt werden. (ÖNORM EN 752). *„Bei Ereignissen, bei denen die kanalinduzierte Bemessungsüberflutungshäufigkeit überschritten wird, muss der Planer unter Berücksichtigung der kanalinduzierten Überflutungshäufigkeiten und -folgen das Überflutungsrisiko beurteilen"* (ÖNORM EN 752). Um Auswirkungen der kanalinduzierten Überflutungen zu analysieren, sollte dazu eine Betrachtung der Fließwege bei Überflutung erfolgen, sodass die Planung, wenn möglich, geändert wird und die konkreten Überflutungsfolgen minimiert werden. Kann so das kanalinduzierte Überflutungsrisiko nicht verringert werden, sollte eine Verringerung der Bemessungshäufigkeit angesetzt werden (ÖNORM EN 752).

3.3.6.2 Regenwasserkanal

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

In einem Trennsystem (Abbildung 7) bzw. in einem modifizierten Trennsystem mit Schmutz- und Regenwasserleitung dient der Regenwasserkanal der unterirdischen Sammlung und Ableitung von Niederschlagsabflüssen (ÖWAV 2008; KLEIDORFER et al. 2019).

Das Schmutzwasser wird dabei zur Reinigung in eine Kläranlage und das Regenwasser in ein Gewässer abgeleitet (ÖWAV 2008). In Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad des Niederschlagsabflusses sind gegebenenfalls Reinigungsmaßnahmen notwendig, bevor das Regenwasser in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet oder versickert wird (KLEIDORFER et al. 2019). Geeignete Maßnahmen zur Reinigung sind laut ÖWAV-Regelblatt 35 (ÖWAV 2019):

- Sedimentationsanlagen
- Filteranlagen
- Regenrückhaltebecken.

Dabei sollte das verschmutzte Regenwasser möglichst am Entstehungsort gereinigt werden (DWA 2006c; ÖWAV 2008; ÖWAV 2019). Es ist darauf zu achten, dass so wenig wie möglich Regenwasser in die Schmutzwasserkanäle gelangt. Wird das Niederschlagswasser in kleine Bäche geleitet, ist die hydraulische Belastbarkeit des Gewässers zu prüfen und gegebenenfalls eine Retention des Regenwasserabflusses einzuplanen (ÖWAV 2008).

In einem modifizierten Trennsystem wird nur behandlungsbedürftiges Regenwasser nach einer Behandlung am Ort der Entstehung in den Regenwasserkanal geleitet. Das nicht behandlungsbedürftige Regenwasser wird versickert, genutzt oder gelangt direkt in den Vorfluter (ÖWAV 2008).

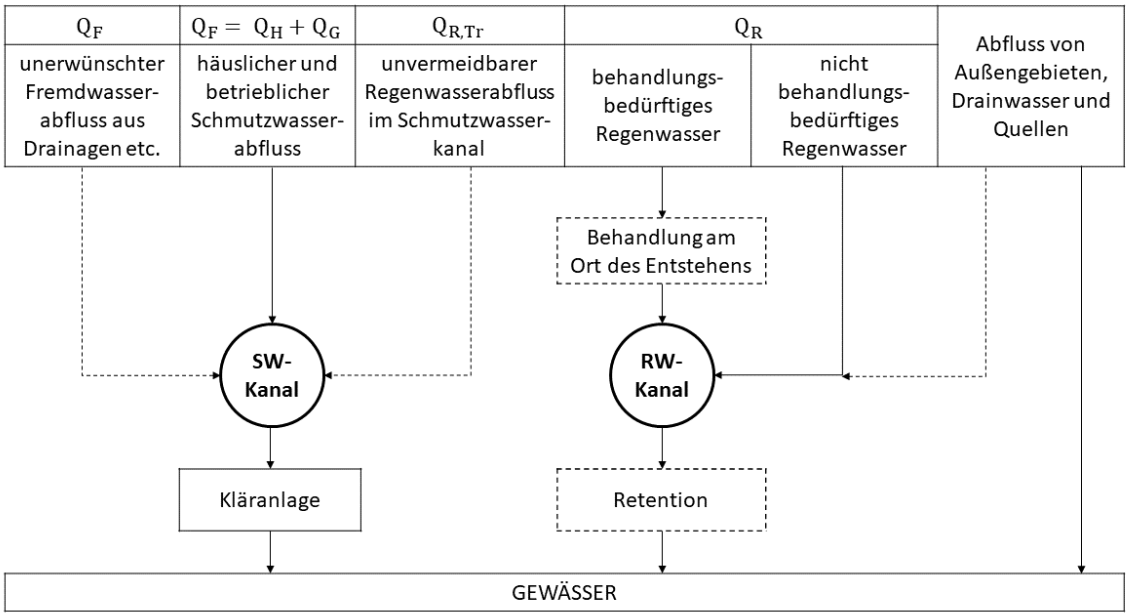


Abbildung 7: Schema Trennsystem (ÖWAV 2008)

Dimensionierung

Die Berechnung und Dimensionierung von Regenwasserkanälen kann nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV 2009) oder DWA-A 118 (DWA 2006b) erfolgen. Dabei erfolgt die hydraulische Bemessung wie bei Mischwasserkanälen, nur ohne einen Schmutzwasserabfluss bzw. Trockenwetterzufluss (ÖNORM EN 752). Die Größe des Regenwasserkanals sollte so dimensioniert sein, dass die Bemessungsregenspende ohne Probleme abgeleitet werden kann (KLEIDORFER et al. 2019) und Überflutungen begrenzt werden (ÖNORM EN 752). Dabei gelten die gleichen Grundsätze, die in der Dimensionierung von Mischwasserkanälen in Kapitel 3.3.6.1 beschrieben wurden.

3.3.6.3 Transportmulden und Gräben

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Eine Alternative zu Regenwasserkanälen stellen Transportmulden und Gräben dar (WOODS BALLARD et al. 2016; KLEIDORFER et al. 2019). Wie in der schematischen Darstellung in Abbildung 8 zu erkennen, sind Transportmulden flacher ausgebildet als Gräben. Wasserundurchlässige Transportmulden sind ausschließlich für den Wassertransport und die Kontrolle der nachgeschalteten Prozesse erdacht (HOYER et al. 2011). Wasserdurchlässige Mulden können für die Infiltration während der Beförderung genutzt werden. Neben der Reduktion der Abflussspitzen und der Erhöhung des Stoffrückhalts durch die Oberflächenrauigkeit der bewachsenen Gräben und Mulden wird ebenfalls die Verdunstungs- und Versickerungsrate bei einer gedrosselten Einleitung erhöht (GRIMM und ACHLEITNER 2010; KLEIDORFER et al. 2019). Die Ableitung des Niederschlagswassers über offene Gräben erfolgt dann, wenn weder Retention noch Versickerung möglich sind (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

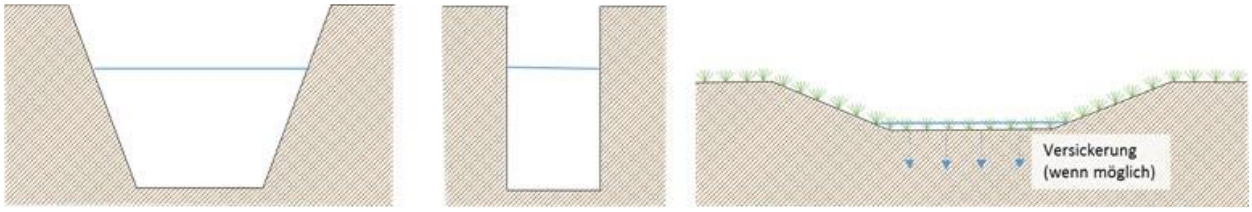


Abbildung 8: Schematische Darstellung eines V-Grabens, eines U-Grabens und einer bepflanzten Transportmulde (KLEIDORFER et al. 2019)

Dimensionierung

Die Berechnungsverfahren für die Ableitung im offenen Gerinne richten sich streng nach ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV 2009) und DWA-A 110 (DWA 2006a). Die maßgeblichen Parameter für die Bestimmung der notwendigen Gerinnegröße sind der Bemessungsniederschlag und die hydraulische Aufnahmefähigkeit des Vorfluters (GRIMM und ACHLEITNER 2010; KLEIDORFER et al. 2019). Bei einer möglichen Versickerung sollte ebenfalls die Versickerungsrate bei der Dimensionierung berücksichtigt werden (WOODS BALLARD et al. 2016; KLEIDORFER et al. 2019).

3.3.6.4 Speicherkanal

Speicherkanäle, Stauraumkanäle oder Fangkanäle bezeichnen Kanalhaltungen mit großen Durchmessern, die während Regenereignissen Speichervolumen zur Verfügung stellen. Solche Kanäle können je nach Anordnung eher wie ein Fangbecken (Fangkanal) oder wie ein Durchlaufbecken (Durchlaufkanal) ausgeführt sein (Abbildung 9). Beim Fangbecken bzw. Fangkanal wird der erste Teil des Regenabflusses, der häufig eine hohe Schmutzstoffbelastung aufweist, gespeichert und am Ende des Niederschlags zur Kläranlage geleitet. Beim Durchlaufbecken (Durchlaufkanal) sedimentieren spezifisch schwere Feststoffe auf den Boden und werden am Ende des Regens mit dem restlichen Wasser zur Kläranlage gepumpt. Während des Regenereignisses fließt das teilweise geklärte Wasser zum Vorfluter (GUJER 2007, 262). Beide Ausführungen kommen hauptsächlich dann bei Misch- und Regenwasserkanälen zum Einsatz, wenn nicht ausreichend Platz für ein Becken zur Verfügung steht (KLEIDORFER et al. 2019).

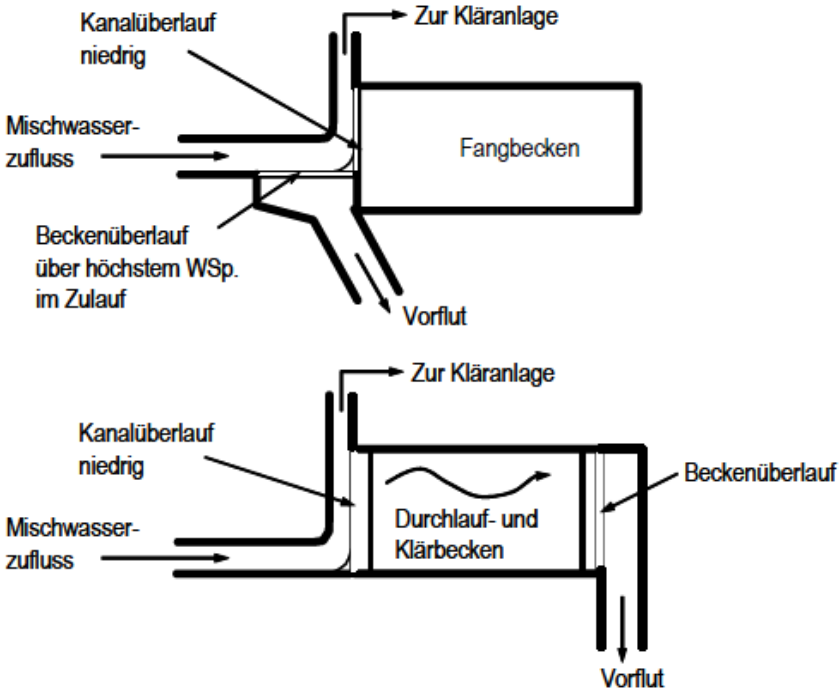


Abbildung 9: Vergleich Fangbecken (oben) und Durchlaufbecken (unten) (GUJER 2007, 262)

Dimensionierung

Speicherkanäle können nach der Vorgaben des DWA-A 102-2 (DWA 2020b) bemessen werden. Die Vorgaben zum Wirkungsgrad von Speicherkanälen in Mischwasserkanälen sind ebenfalls im ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖWAV 2007) zu finden.

3.3.6.5 Flächenversickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Bei der Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser über eine durchlässige, bewachsene Oberfläche versickert. Es findet kein Aufstau sowie keine Speicherung des Wassers statt. Ebenso muss die Versickerungsfähigkeit des Bodens größer als der Regenabfluss, der auf die Fläche geleitet wird, sein (GEIGER et al. 2009, 60). Da bei der Flächenversickerung kein Speicherraum zur Verfügung steht, wird häufig ein großer Flächenbedarf benötigt. Dieser Bedarf kann je nach Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Fugenanteil) variieren (KLEIDORFER et al. 2019).

Die Flächenversickerung erfolgt in der Regel auf Flächen, die ohne Nutzungsbeschränkung wasserdurchlässig befestigt werden können, wie zum Beispiel Grundstückszufahrten (SIEKER et al. 1996, 34). Mögliche durchlässige Befestigungen sind unter anderem Grasnarben, Schottersteine, Rasengittersteine (Abbildung 10), Porenbeton, Dränasphalt und haufwerksporige Steine. (SIEKER et al. 1996, 34; GEIGER et al. 2009, 60; KLEIDORFER et al. 2019). Die Reinigungsleistung kann aufgrund einer belebten Bodenzone als hoch eingestuft werden (GEIGER et al. 2009, 63).

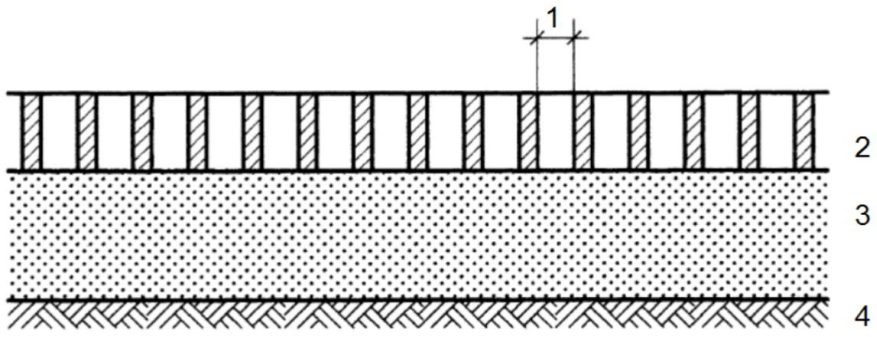


Abbildung 10: Schema einer mittels Rasengittersteinen befestigten Fläche (ÖNORM B 2506-1)

Dimensionierung

Bei der Dimensionierung von Sickeranlagen ohne Speichervolumen (Flächenversickerung) muss laut ÖNORM B 2506-1 die Sickerleistung mindestens dem Zufluss aus dem gewählten Regenereignis entsprechen.

Gemäß ÖNORM B 2506-1 ist als Mindestbemessung, wenn *„eine Überflutung erwartungsgemäß nur zu einer geringen Beeinträchtigung führt, ein 5-jähriges Regenereignis (n = 0,2) der Berechnung zugrunde zu legen. In Fällen, in denen größere Beeinträchtigungen oder Schäden zB [sic!] durch Überflutung zu erwarten sind, muss die Jährlichkeit entsprechend erhöht werden (n < 0,2).“*

3.3.6.6 Muldenversickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Eine Mulde ist „*eine längs gestreckte Bodensenke mit Retentionsvolumen*“ (ÖWAV 2015b), deren Oberfläche begrünt ist (SIEKER et al. 1996, 35). Das Wasser kann bei dieser

Versickerungsvariante zwischengespeichert werden, sollte die Aufenthaltsdauer von 24 Stunden laut DWA-A 138 (DWA 2006c) aber nicht überschreiten.

Mulden können in die Grünbereiche von Grundstücken und Straßenseiten gestalterisch eingebunden werden. Sie können in Trockenzeiten betreten werden, es ist jedoch darauf zu achten, dass sie nicht intensiv als Spielflächen genutzt werden, um eine Verdichtung des Bodens zu vermeiden (GEIGER et al. 2009, 64). Aufgrund einer belebten Bodenzone haben Versickerungsmulden eine sehr gute biologische Reinigungsleistung (GEIGER et al. 2009, 37). Abbildung 11 zeigt den schematischen Aufbau einer Versickerungsmulde.

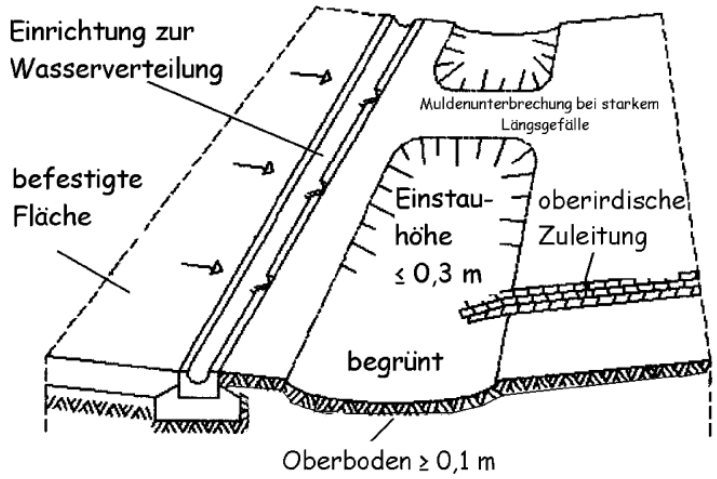


Abbildung 11: Versickerungsmulde (DWA 2006c)

Dimensionierung

Laut ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) sind für die Dimensionierung von Sickeranlagen der Bemessungsniederschlag des Entwässerungsortes, die abflusswirksame Gesamtfläche sowie die Sickerfähigkeit des Untergrundes maßgeblich.

Gemäß ÖNORM B 2506-1 erfolgt die Dimensionierung bei der Muldenversickerung *„unter Zugrundelegung der Jährlichkeit, der Dauer und der Intensität des Bemessungsniederschlags, der ermittelten abflusswirksamen Gesamtfläche, der ermittelten Sickerfähigkeit des Untergrundes und der zur Verfügung stehenden bzw. (im Zuge der Bemessung) gewählten Sickerfläche. Die Bemessung bezweckt die Ermittlung des erforderlichen Speichervolumens“.* Dabei ist das jeweilige Speichervolumen für alle Dauerstufen aus den eHyd-Datenreihen zu ermitteln und der Maximalwert und die dazugehörige Dauerstufe und Niederschlagssumme als maßgebende Parameter festzulegen (ÖNORM B 2506-1).

Im ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) wird für die Dimensionierung von Sickeranlagen empfohlen, der Bemessung mindestens ein 5-jährliches Niederschlagsereignis zugrunde zu legen. In Gebieten mit erhöhten Schutzanforderungen kann sich die Jährlichkeit erhöhen, wie in Tabelle 7 dargestellt ist.

Tabelle 7: Jährlichkeit der Niederschlagsereignisse für die Bemessung von Sickeranlagen mit Retentionsmöglichkeit bei erhöhten Schutzanforderungen (ÖWAV 2015b)

Nutzungskategorie/ Ort	***Jährlichkeit*** *(1-mal in „n“ Jahren)*
Ländliche Gebiete	*1 in 10*
Wohngebiete	*1 in 20*
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete (hohe Bebauungsdichte)	*1 in 30*

Bezüglich der maximalen Einstauhöhe wird im ÖWAV-Regelblatt 35 (ÖWAV 2019) der aus dem DWA-A 138 (DWA 2006c) stammende Erfahrungswert von 30 cm angegeben. Um die Gefahr der Verschlickung und Verdichtung der Oberflächen infolge eines Dauerstaus nicht zu erhöhen, sollte dieser Wert nicht überschritten werden (DWA 2006c).

3.3.6.7 Beckenversickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Beckenversickerungen sind meistens zentrale Versickerungsanlagen (DWA 2006c; KLEIDORFER et al. 2019) und weisen die gleiche Funktionsweise wie Muldenversickerungen auf (KLEIDORFER et al. 2019). Versickerungsbecken lassen sich über ein größeres Verhältnis von angeschlossener befestigter Fläche (A_U) zur versickerungswirksamen Fläche (A_S) von der Versickerungsmulde abgrenzen (SIEKER et al. 1996, 40; DWA 2006c; GEIGER et al. 2009, 65). Dieses Verhältnis A_U/A_S ist in der Regel größer als 15 (DWA 2006c). Ebenso wird das zu versickernde Wasser in der Regel länger eingestaut. Da Versickerungsbecken in der Regel eingezäunt sind, dürfen sie tiefer und steiler geböscht sein (GEIGER et al. 2009, 66). In der belebten Bodenschicht erfolgt eine gute Reinigungsleistung (GEIGER et al. 2009, 68).

Dimensionierung

Laut ÖNORM B 2506-1 ist für Sickerbecken eine gesonderte Dimensionierung durchzuführen, *„wobei der folgende Bemessungsgrundsatz Gültigkeit hat: Erforderliches Speichervolumen ist gleich der Differenz aus zufließender Niederschlagsmenge zur Versickerungsmenge bei maßgebenden Regenereignissen“* (ÖNORM B 2506-1). Ein Verfahren zur Bemessung findet sich im DWA-A 138 (DWA 2006c). Der K_f-Wert des Bodens sollte größer als 10^{-5} m/s sein, *„da die Versickerungsanlage sonst zu lange einstaut*“ (ÖWAV 2019).

Die hohe hydraulische Belastung bei der Beckenversickerung erfordert eine schnelle Entleerung des Beckens sowie eine ausreichende und gesicherte Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds. Eine Einschätzung der im Laufe der Zeit auftretenden Selbstabdichtung des Sickerbeckens, die hauptsächlich durch mitgeführte Stoffe im Niederschlagswasser verursacht wird, ist besonders wichtig. Die mitgeführten Stoffe lagern sich im Versickerungsbereich ab und führen zur Kolmation.

Die Kolmation kann durch eine zum Beckenzulauf geneigte Sohle im gesamten Beckenbereich vorgebeugt werden, wobei es durch diese Maßnahme zu verstärkten Ablagerungen im Beckenzulauf kommt. Eine vorgeschaltete Absetzanlage kann Leichtstoffe zurückhalten. Bei Becken ohne Absetzanlage wird die während des Betriebs auftretende Kolmation der Beckensohle bei der Bemessung berücksichtigt (DWA 2006c; ÖWAV 2019).

3.3.6.8 Rigolen- oder Rohrversickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Unterirdisch verlegte Rigolen und Rohre kommen häufig dann zum Einsatz, wenn nicht ausreichend Fläche für eine oberirdische Speicherung des Regenwassers zur Verfügung steht oder eine schlecht durchlässige Bodenschicht zu durchschneiden ist (DWA 2006c; GEIGER et al. 2009, 73). Bei der Rigolenversickerung wird das Regenwasser ober- oder unterirdisch in unterirdische Räume eingeleitet, die mit Kies-, Lavapackungen oder Wabenkunststoffkörpern gefüllt sind. Bei der Rohrversickerung wird ein in Kies gebetteter perforierter Rohrstrang genutzt, wodurch eine bessere und schnellere Verteilung des eingeleiteten Wassers erreicht wird (GEIGER et al. 2009, 73; KLEIDORFER et al. 2019).

Das Niederschlagswasser wird in den Rigolen bzw. Rohren zwischengespeichert und verzögert in den Untergrund abgegeben (DWA 2006c). Ein Erhalt der Durchlässigkeit des Untergrunds ist dabei für eine dauerhafte Leistungsfähigkeit der Anlagen notwendig (GEIGER et al. 2009, 136). In Abbildung 12 ist der schematische Aufbau eines Rohr-Rigolenelements mit unterirdischer Zuleitung dargestellt.

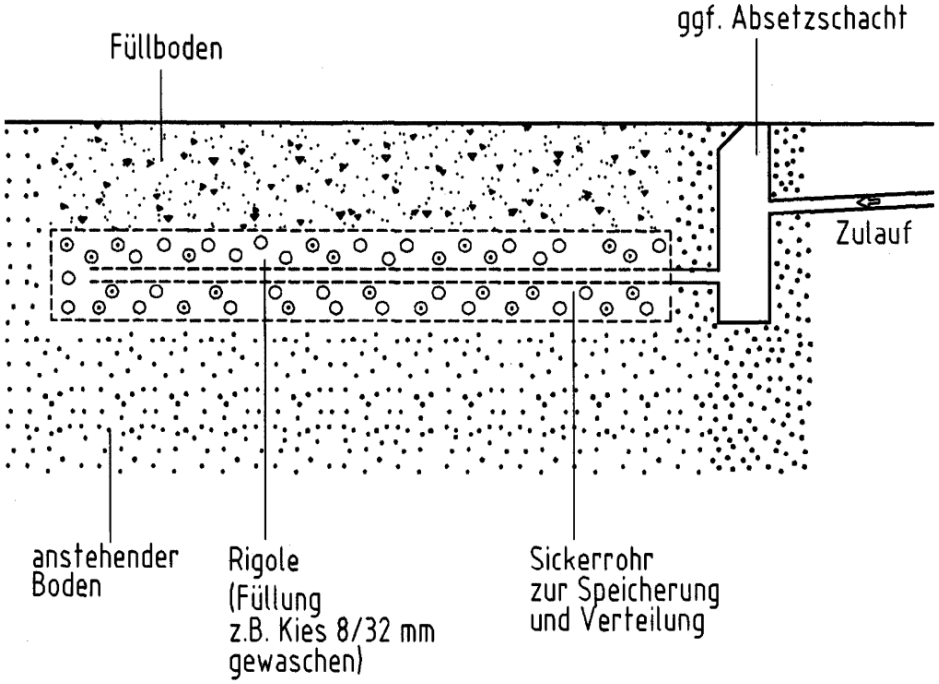


Abbildung 12: Rohr-Rigolenelement (DWA 2006c)

Die Reinigungsleistung bei der Rigolenversickerung ist sehr gering. Sie verbessert sich jedoch und kann als gut eingestuft werden, wenn der Zulauf über eine belebte Bodenzone erfolgt. Bei offenem oder unterirdischem Zufluss ohne Bodenzone sollte eine Reinigungsanlage vorgeschaltet werden (GEIGER et al. 2009, 74). Bei der Rohrversickerung erfolgt keine Reinigungsleistung, sodass eine Reinigungsanlage zur dauerhaften Funktionsfähigkeit vorgeschaltet werden sollte (GEIGER et al. 2009, 76).

Dimensionierung

Die Dimensionierung der Rigolen- und Rohrversickerung erfolgt wie die der Muldenversickerung nach ÖNORM B 2506-1.

3.3.6.9 Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Die Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerung setzt sich aus einer begrünten Mulde und einer darunterliegenden Rigole bzw. eines Rohres zusammen (DWA 2006c). Dabei wird sowohl der Speicherraum der oberirdischen Mulde als auch der unterirdischen Rigole bzw. des unterirdischen Rohrs genutzt (MATZINGER et al. 2017). Die beiden Speicher haben einen jeweils eigenen Füll- und Entleerungsprozess. Die Einstauhöhe sollte 30 cm nicht überschreiten, damit die Vegetation nicht beschädigt wird. Aus diesem Grund sollte das Wasser auch relativ schnell in die Rigole versickert werden und der mindestens 10 cm mächtige Oberboden eine Durchlässigkeit von $1*10^{-5}$ aufweisen (DWA 2006c).

Bei hydraulischer Spitzenlast sorgt ein Notüberlauf von der Mulde in die Rigole für eine Entlastung des oberirdischen Muldenspeichers (MATZINGER et al. 2017). Dieser Überlauf ist zwangsläufig notwendig, wenn die Mulde mit einer geringeren Überlaufhäufigkeit als das gesamte Mulden-Rigolen-Element dimensioniert wurde (DWA 2006c). Durch die belebte Bodenschicht erfolgt eine sehr gute biologische Reinigungsleistung und ein Rückhalt von gelösten und ungelösten Stoffen (GEIGER et al. 2009, 82). Ein Längs- und Querschnitt eines Mulden-Rigolen-Elements ist in Abbildung 13 dargestellt.

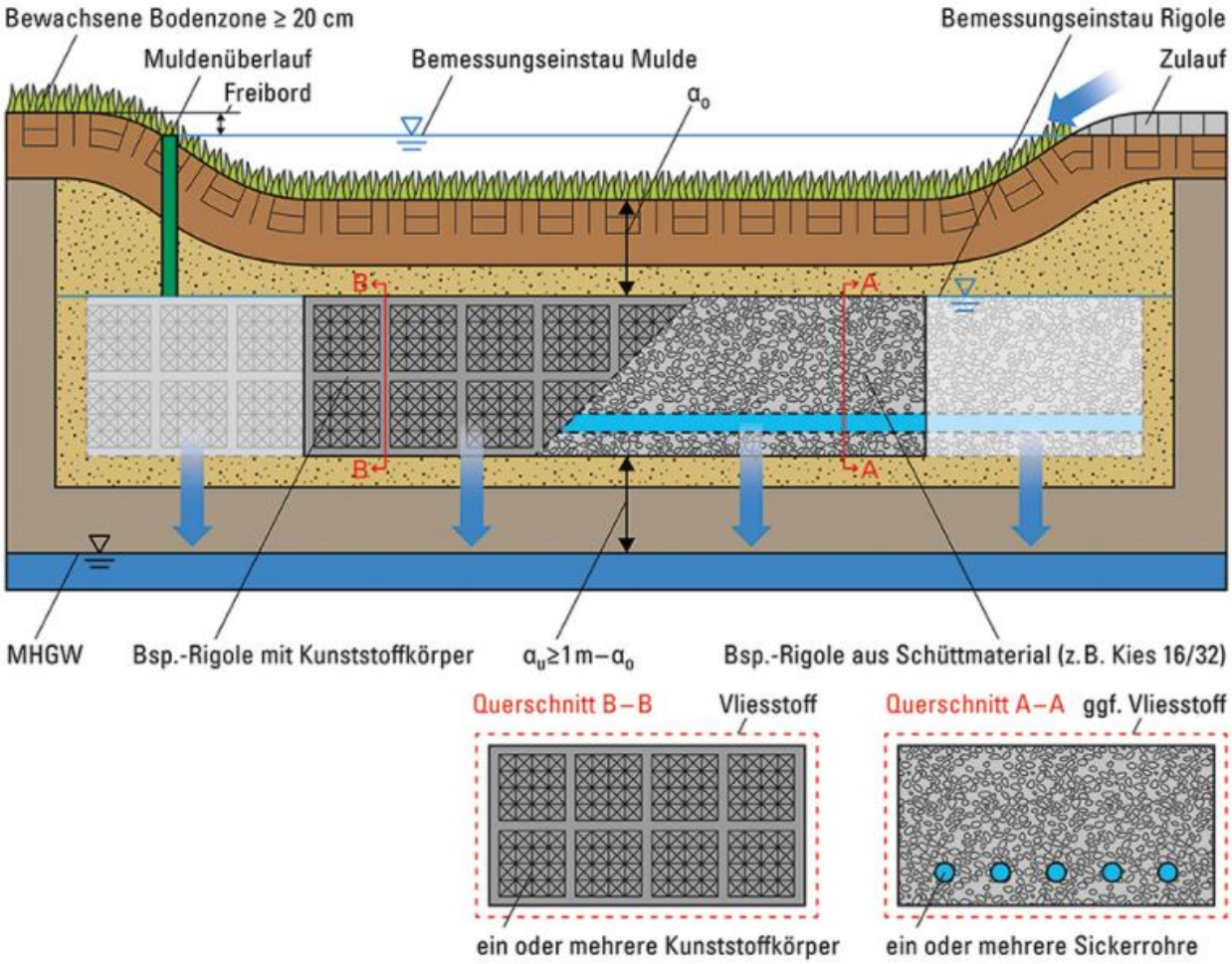


Abbildung 13: Mulden-Rigolen-Element (Längs- und Querschnitt) (BLfU 2020)

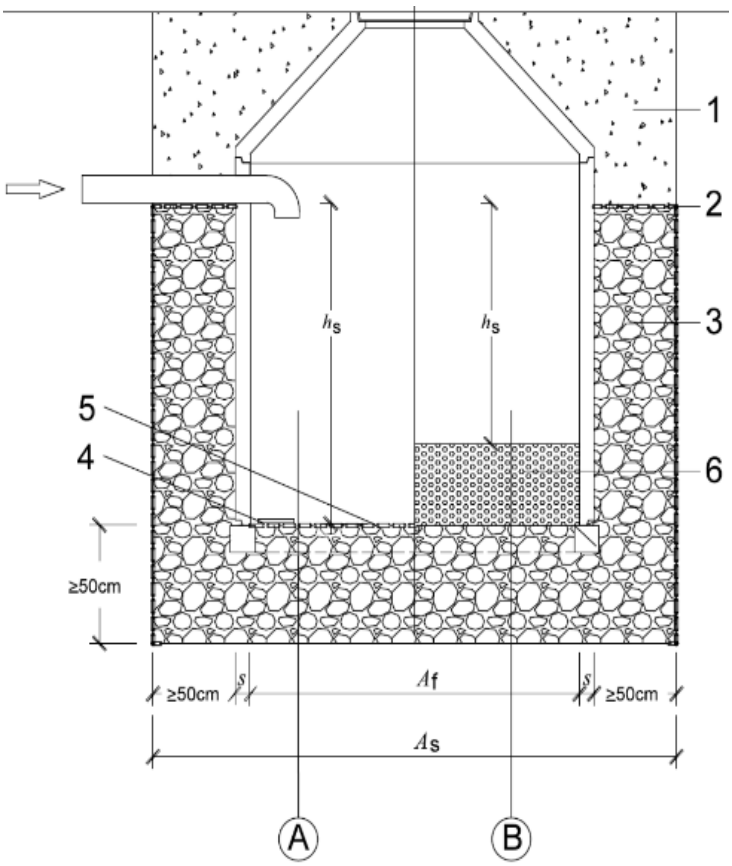
Dimensionierung

Wie bei der Beckenversickerung ist laut ÖNORM B 2506-1 für Mulden-Rigolen/Rohr-Versickerungen eine gesonderte Dimensionierung durchzuführen, *„wobei der folgende Bemessungsgrundsatz Gültigkeit hat: Erforderliches Speichervolumen ist gleich der Differenz aus zufließender Niederschlagsmenge zur Versickerungsmenge bei maßgebenden Regenereignissen“* (ÖNORM B 2506-1). Eine Möglichkeit der Vordimensionierung mit einfachem Verfahren findet sich im DWA-A 138 (DWA 2006c).

3.3.6.10 Schachtversickerung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Die Schachtversickerung hat eine ähnliche Funktionsweise wie die Rigolen- und Rohrversickerung. Das Regenwasser wird in einen Schacht, dessen Wände und Boden durchlässig sind eingeleitet, dort gespeichert und langsam in den Untergrund versickert. Da die maximale Tiefe durch die Geologie begrenzt wird, ist das Speichervermögen weniger flexibel als bei der Rigolen- und Rohrversickerung (GEIGER et al. 2009, 73–74). In Abbildung 14 ist das Schema eines Sickerschachtes mit Kiesfilter skizziert.



1 Hinterfüllung

2 Geotextil-Trenngewebe (falls erforderlich)

3 Kiesfilter; Grobkies, z.B. 16/32 gewaschen

4 Prallplatte

5 Geotextil-Filtergewebe

6 Stufenfilter gemäß Filterregeln

A Ausführungsvariante mit Geotextil-Filtergewebe und Spannband

B Ausführungsvariante mit Stufenfilter

A_f wirksame Filterfläche an der Sickerschachtsohle (= Filteroberfläche)

A_s wirksame Filterfläche an der Baugrubensohle (= Übergang zum gewachsenen Boden)

h_s Stauhöhe in m, gemessen von der Sickerschachtsohle (=Filteroberfläche) bis zur Unterkante des Zulaufrohres (sofern dieses nicht eingestaut wird)

s Wandstärke, in m

Abbildung 14: Schema Sickerschacht (Versickerung über die Schachtsohle) mit Kiesfilter (ÖNORM B 2506-1)

Bei der Schachtversickerung erfolgt keine Reinigungsleistung beim Versickerungsvorgang, sodass unter der Schachtsohle eine mindestens 50 cm dicken Reinigungsschicht erforderlich ist. Es sollte zusätzlich eine Absetz- bzw. Reinigungsanlage vorgeschaltet werden (GEIGER et al. 2009, 79).

Dimensionierung

Die Schachtversickerung zählt laut ÖNORM B 2506-1 zu den Sickeranlagen mit Speichervolumen, sodass die Grundprinzipien die gleichen wie bei der Mulden- und Rigolenversickerung sind. Dabei ist die Sickerleistung sowohl *„für die Filterschicht als auch für den anstehenden Boden zu ermitteln“* (ÖNORM B 2506-1). Der Innendurchmesser darf nicht kleiner als DN 1000 sein. Ebenso muss ein Auskolken der Schachtsohle durch geeignete Maßnahmen verhindert werden (ÖNORM B 2506-1).

3.3.6.11 Retentionsraumversickerung (Versickerungsteiche)

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Retentionsraumversickerung bezeichnet einen zum Untergrund hin abgedichteten Teich, an den ein Überflutungsraum im Prinzip der Muldenversickerung angeschlossen ist. Neben der Versickerung besteht auch die Möglichkeit der Reinigung und Speicherung von Regenwasser. Diese Art der Versickerung ist bei stärker belastetem Regenwasser sowie bei Anlagen mit einem erhöhten Störfallrisiko besonders geeignet. Reinigungsprozesse im Teich finden durch eine vorgeschaltete Reinigungsstufe, Sedimentation sowie gegebenenfalls Wasserpflanzen statt. In der Mulde kann eine belebte Bodenschicht für eine zusätzliche biologische Reinigung sorgen. Insgesamt erfolgt eine sehr hohe Reinigungsleistung (GEIGER et al. 2009, 89–90). Abbildung 15 veranschaulicht die Funktionsweise der Retentionsraumversickerung als Kombination aus Teichbiotop und Muldenversickerung.

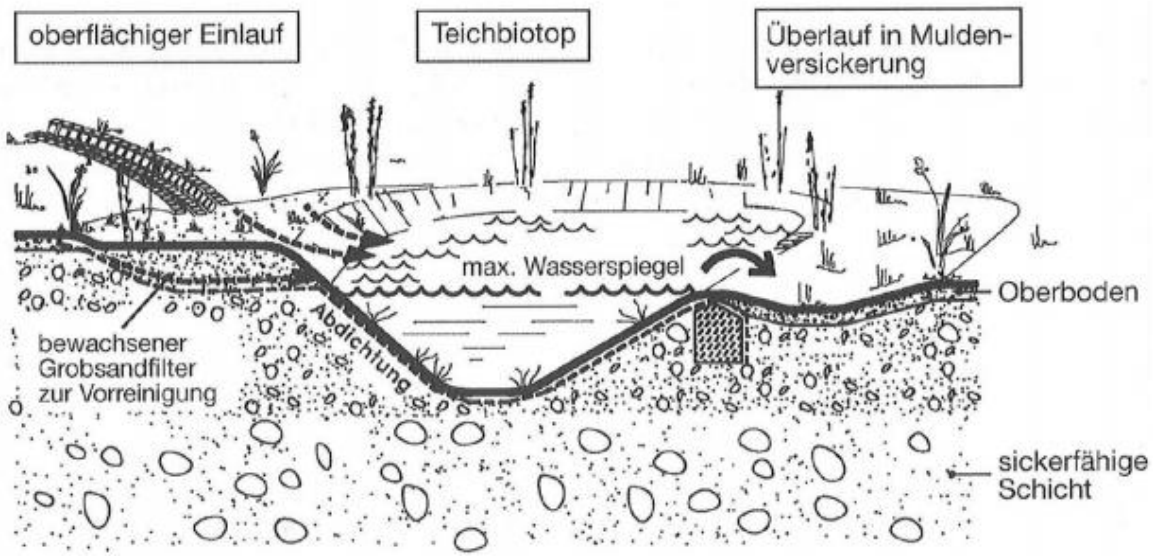


Abbildung 15: Retentionsraumversickerung (GEIGER et al. 2009, 88)

Dimensionierung

Die Größe des Teiches sollte ≥ 20 m², die Wassertiefe ≥ 0,8 m, die Böschungsneigung 1:2, und die Wasserspiegelschwankung infolge von Einstau nicht größer als 30 cm sein (GEIGER et al. 2009, 90). Da laut EGLV (o.D.) der Teich keine weiteren Auswirkungen auf die Dimensionierung hat, ist für die Planung wie bei Versickerungsmulden vorzugehen.

3.3.6.12 Dachbegrünung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Mit Hilfe von Dachbegrünungen ist es möglich, einen Teil des Niederschlagswassers nicht oder verzögert zum Abfluss zu bringen. Dies erfolgt durch gezielte Retention, sodass der Anteil der Verdunstung an der Gesamtwasserbilanz erhöht wird. Abhängig von der Begrünungsart erfolgt

eine Unterscheidung zwischen extensiver Dachbegrünung und intensiver Dachbegrünung. Extensive Dachbegrünungen zeichnen sich durch eine dünne Substratschicht aus und können durch die geringe Auflast auch nachträglich eingebaut werden. Die wassergesättigte Traglast beträgt 90–180 kg/m^2 und ist somit nicht für eine längere Aufenthaltszeit geeignet. Intensive Gründächer haben eine Substratdicke > 15 cm und eine Traglast > 180 kg/m^2. Damit eignen sie sich als Aufenthaltsort sowie für komplette Gartenlandschaften mit Bäumen, Wegen, Teichen und Sumpfzonen. Durch die hohe Verdunstungsleistung können Gründächer einen sehr positiven Effekt auf das Stadtklima haben, wobei dies hauptsächlich bei niedrigen Dächern, wie zum Beispiel Tiefgaragen, bemerkbar ist. Ebenfalls wird durch die abflussdämpfende Wirkung der hydraulische Stress in Oberflächengewässern reduziert. Je nach Höhe und Art der Substratschicht, der Anstauhöhe im System, der Art der Bepflanzung und der Dachneigung ändert sich der Anteil der Verdunstung und der Retention (MATZINGER et al. 2017).

Die Pflanzen sowie das Substrat sorgen durch die Filtrierung von Schadstoffen für eine biologische und mechanische Reinigung des Regenwassers (GEIGER et al. 2009, 96). Der schematische Aufbau eines extensiven Gründachs ist in Abbildung 16 dargestellt.

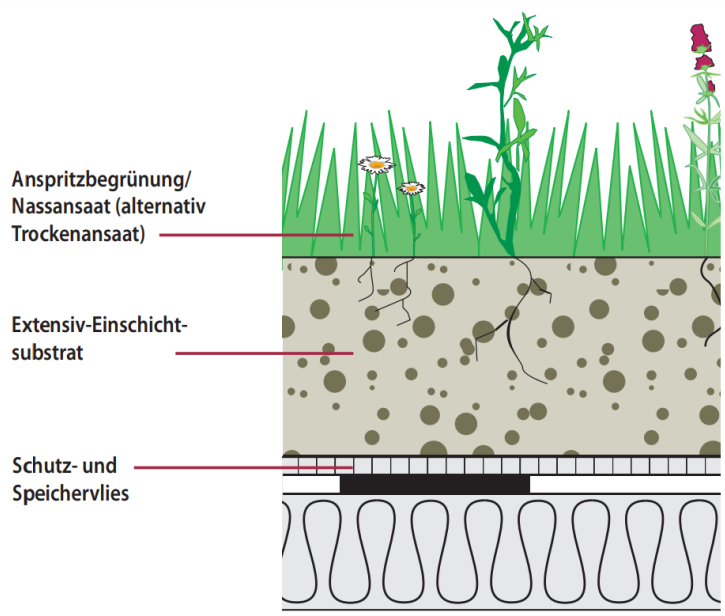


Abbildung 16: Aufbau eines extensiven Gründachs (MANN 2008)

Dimensionierung

Die Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung von Dachbegrünungen befinden sich in der ÖNORM L 1131. Unterschiedliche Leitfäden, wie zum Beispiel die *Richtlinien für die Planung, den Bau und die Instandhaltung von Dachbegrünungen*, veröffentlicht von der *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL*) (FLL 2018), fassen dazu die bautechnischen und vegetationstechnischen Grundlagen zusammen.

3.3.6.13 Fassadenbegrünung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Bei der Fassadenbegrünung können Pflanzen, die planmäßigen und kontrolliert speziell vorgerichtete Wände und Fassaden bewachsen, gezielt mit unbelastetem Regenwasser bewässert werden und somit zur Niederschlagswasserbewirtschaftung genutzt werden (MATZINGER et al. 2017).

Laut MATZINGER et al. (2017) wird zwischen erdgebundenem Bewuchs (Kletterpflanzen) und systemgebundenem Bewuchs in modularer Bauweise unterschieden. Beim direkten Bewuchs wachsen selbstklimmende Kletterpflanzen direkt an der Wand, während die Pflanzen beim indirekten Bewuchs entweder eine einzelne Konstruktion oder mehrere Module als Rankhilfe benutzen (MANSO und CASTRO-GOMES 2015; MATZINGER et al. 2017). Während die systemgebundene Bauweise ein Bewässerungssystem inklusive Düngung benötigt, werden die erdgebundenen Pflanzen direkt am und im Wurzelraum in der bepflanzten Mulde bewässert (MATZINGER et al. 2017).

Zusätzlich zur Regenwasserbewirtschaftung hat die Fassadenbegrünung einen positiven Effekt auf das Stadt- und Gebäudeklima. Durch die Evapotranspiration der Pflanzen sowie die Verdunstung des Wassers im Substrat wird die Umgebungsluft gekühlt (SenStadtWohn Berlin 2010; KLEIDORFER et al. 2019).

Fassadenbegrünungen sind nicht für die Reinigung von Niederschlagsabflüssen vorgesehen (SIEKER 2021). Einige Pflanzen reagieren sogar empfindlich auf die Verschmutzung des Regenwassers (SenStadtWohn Berlin 2010; SIEKER 2021). Da Fassadenbegrünungen jedoch eine lufthygienische Verbesserung bewirken, tragen sie indirekt zur Schadstoffreduzierung im Regenwasserabfluss bei (SIEKER 2021).

Dimensionierung

Es gibt in Österreich keine Norm, die sich direkt mit der Fassadenbegrünung befasst. Unterschiedliche Leitfäden, wie zum Beispiel der *Leitfaden Fassadenbegrünung* (KRAUS et al. 2019), herausgegeben von der *MA 22 Wien* und *ÖkoKaufWien* fassen jedoch die bautechnischen und vegetationstechnischen Grundlagen sowie relevante Normen zusammen.

Bei systemgebundenen Fassadenbegrünungen sollten Substrate ausgewählt werden, die eine hohe Wasserspeicherfähigkeit mit möglichst geringem Gewicht kombinieren, sodass die Traglast möglichst geringgehalten wird (MATZINGER et al. 2017).

3.3.6.14 Regenwassernutzung

Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand

Regenwasser kann als Betriebswasser für verschiedene Zwecke auf Gebäude- und Grundstücksebene genutzt werden, wie zum Beispiel zur Grünflächenbewässerung, Toilettenspülung und Gebäudekühlung.

Bei der Verwendung von Regenwasser sind die Quelle und die Qualität des Wassers zu beachten, um eine Schädigung von Pflanzen durch die Bewässerung zu vermeiden (MATZINGER et al. 2017).

Dimensionierung

Die Grundsätze für Anlagen, die für die Regenwassernutzung genutzt werden, befinden sich in der ÖNORM EN 16941.

3.3.6.15 Übersicht der Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen

In der nachfolgenden Tabelle 8 sind alle beschriebenen NWB mit ihren jeweiligen Funktionen zusammengefasst. Wenn eine Anlage die jeweilige Funktion erfüllt, ist dies mit einem „+“ gekennzeichnet. Erfüllt die NWB eine der Funktionen nicht, ist dies mit einem „-" gekennzeichnet. Die Tabelle ergänzt Abbildung 5 um die Funktionen Reinigung und Evapotranspiration.

Tabelle 8: Übersicht der NWB und ihrer Funktionen (in Anlehnung an KLEIDORFER et al. 2019)

	Versickerung	**Speicherung**	**Abfluss**	**Reinigung**	**Evapotransp.**
Mischwasserkanal	-	+ (durch Sonder-bauwerke)	+	+	-
Regenwasserkanal	-	-	+	-	-
Transportgräben und Mulden	+	+	+	Je nach Ausführung	+
Speicherkanal	-	+	-	+	-
Flächenversickerung	+	Begrenzt	Nur als Entlastung	+	+
Muldenversickerung	+	+	Nur als Entlastung	+	+
Beckenversickerung	+	+	Nur als Entlastung	+	+
Rigolen- oder Rohrversickerung	+	+	Bei Anschluss an Kanalsystem	begrenzt	-
Mulden-Rigolen/ Rohr-Versickerung	+	+	Bei Anschluss an Kanalsystem	+	+
Schachtversickerung	+	+	-	begrenzt	-

Retentionsraumversickerung	+	+	Nur zur Entlastung	+	+
Dachbegrünung	-	+	+	+	+
Fassadenbegrünung	-	+	-	gering	+
Regenwassernutzung	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	+	+	-	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)

3.3.7 Multifunktionale Flächennutzung

Die multifunktionale Flächennutzung ist die Kombination unterschiedlicher Funktionen auf diversen Oberflächen (DEISTER et al. 2016), wobei generell zwischen zwei Ansätzen unterschieden wird (SCHEID et al. 2018). So können zum einen Flächen, die nicht der regulären Siedlungsentwässerung gewidmet sind, wie zum Beispiel Verkehrs- oder Grünflächen, öffentliche Plätze, Sport- und Erholungsflächen, zur temporären Zwischenspeicherung und als sogenannte Notwasserwege vom Regenwasser mitgenutzt werden (DEISTER et al. 2016; SCHEID et al. 2018). Ebenso können öffentliche und private Grünflächen zur Rückhaltung, Speicherung und Verdunstung von Regenwasser eingesetzt werden, um so einen ausgeglichenen Wasserhaushalt zu fördern und bei Hitzeperioden die Kühlwirkung zu verbessern (DEISTER et al. 2016). Die andere Möglichkeit der multifunktionalen Flächennutzung ist es, die Funktionen der dezentralen Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung mit einer Retentionsfunktion für seltene Starkregenereignisse zu kombinieren. Ebenfalls können bei Trockenwetter weitere Funktionen, wie zum Beispiel der Einsatz als Sport- oder Erholungsfläche, ergänzt werden (SCHEID et al. 2018).

Bei der multifunktionalen Flächennutzung können durch die verschiedenen Nutzungsinteressen Konflikte auftreten (FREYTAG et al. 2018). So müssen technische und rechtliche Vorgaben der Stadtentwässerung und Gewässerbewirtschaftung, Interessen der Stadt- und Freiraum- sowie der Verkehrsplanung (DEISTER et al. 2016), Sicherheitsfragen, Haftungsfragen und wirtschaftliche Faktoren durch den höheren Unterhaltsaufwand berücksichtigt und miteinander abgeklärt werden (FREYTAG et al. 2018). Da derartige Maßnahmen häufig im Rahmen von Straßenerneuerungen durchgeführt werden, braucht die Umsetzung häufig eine gewisse Zeit (Interview mit B1 am 06.04.2021).

4. Material und Methoden

4.1 Literaturstudie

Zur Beantwortung der gestellten Forschungsfragen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Da die Grenzen des Forschungsfeldes im Laufe des Bearbeitungszeitraumes der vorliegenden Arbeit mit der Beantwortung der einzelnen Forschungsfragen zunächst festgelegt werden mussten, erfolgte die Literaturstudie im Sinne eines narrativen Reviews, um eine „*breite Darstellung und Reflexion theoretischer, methodischer und empirischer Aspekte eines Forschungsfeldes*“ (DÖRING und BORTZ 2016, 899) abbilden zu können.

Dabei waren zu Beginn der *Flexadapt-Leitfaden* (KLEIDORFER et al. 2019), das Handbuch *Neue Wege für das Regenwasser* (GEIGER et al. 2009) sowie der unveröffentlichte Forschungsantrag des Forschungsprojekts *BEJOND* (BOKU Wien et al. 2020) die Grundlage der Recherche. Darauf aufbauend folgten die relevanten Gesetze, Normen und Regelblätter aus Österreich und Deutschland. In Online-Datenbanken (BOKU Lit-Search, Scopus, Web-of-Science, researchgate und Google Scholar) wurde nach deutscher und englischsprachiger Fachliteratur recherchiert. Dabei waren die wichtigsten deutschsprachigen Schlüsselwörter bei der Suche: „Siedlungsentwässerung“, „Dezentral“, „Niederschlagswasserbewirtschaftung“, „Kanal“, „Risiko“, „Resilienz“, „Reaktion“, „Auswirkungen“, „Überflutung“, „Hochwasser“, „Störfall“ sowie „LID“, „best practice“, „green infrastructure“, „Sustainable Urban Drainage System“, „sewer“, „floods“, „reaction“, „accident“ als englischsprachige Schlüsselwörter. Dabei wurden die Begriffe untereinander kombiniert sowie die Suche um die Wörter „(Stark-)Regen“ „(Stark-)Niederschlag“ und „Trockenheit“ bzw. „rain“, „precipitation“ und „drought“ ergänzt. Zusätzlich erfolgte eine Rückwärtssuche nach zitierter Literatur in bereits gefundenen Quellen.

Da im untersuchten Forschungsgebiet viel graue Literatur, insbesondere in Form von Forschungsberichten, existiert, fand zusätzlich eine Recherche bei Google statt. Dadurch konnten Endberichte vergangener relevanter Forschungsprojekte sowie diverse Merkblätter und Leitfäden zu der Thematik gefunden werden.

Die Literatur wurde mit Hilfe der Software *Citavi 6* verwaltet.

4.2 Expert*inneninterviews

4.2.1 Befragungsmethodik und Fragenformulierung

Ergänzend zur Literaturstudie wurden im Rahmen dieser Masterarbeit Expert*inneninterviews durchgeführt. Dabei können Expert*innen als „*Personen, die über ein spezifisches Rollenwissen verfügen, solches zugeschrieben bekommen und eine darauf basierende besondere Kompetenz für sich selbst in Anspruch nehmen*“ (PRZYBORSKI und WOHLRAB-SAHR 2008, 133), definiert werden.

Die Interviews wurden als teilstandardisierte Leitfadeninterviews durchgeführt. Der teilstandardisierte Interviewleitfaden diente dabei als Vorgabe zur Gestaltung des Interviewablaufes und besteht aus einer Liste von Fragen und Themen (TAUSENDPFUND 2020, 278–279). Die Fragen

sollen dabei „*so offen wie möglich […] und so strukturierend wie nötig*“ (BAUR und BLASIUS 2019, 673) sein.

Da die ausgewählten Expert*innen in unterschiedlichen Berufen tätig sind, wurde der Interviewleitfaden für jedes Interview den Expert*innen entsprechend im Voraus individuell angepasst. Mit Hilfe der Leitfäden sollte ein Überblick über die praktischen Erfahrungen sowie das theoretische Fachwissen der Expert*innen in Bezug auf die Niederschlagswasserbewirtschaftung verschafft werden. Dies beinhaltet die Planung, Dimensionierung sowie den Bau und Betrieb von NWB. Das Hauptaugenmerk wurde dabei, den Forschungsfragen dieser Arbeit entsprechend, auf außerplanmäßige Ereignisse und Störfälle während der kompletten Betriebsdauer der NWB gerichtet. Auch hierbei haben sowohl praktische Erfahrungen als auch das theoretische Fachwissen eine Relevanz. Der Fokus der Untersuchungen wurde auf kleine bis mittelgroße Gemeinden im D-A-CH Raum gelegt. Die Auswahl der Expert*innen erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Praxiserfahrung im Bereich der Siedlungsentwässerung und des dezentralen Regenwassermanagements,
- mögliche Erfahrungen mit Starkregenereignissen in Siedlungsgebieten und den damit einhergehenden Auswirkungen,
- Relevanz für die ausgearbeiteten Forschungsfragen.

Die Interviewleitfäden sind im Anhang A.1 aufgeführt.

4.2.2 Auswertung der Expert*inneninterviews

Die Auswertung der Interviews erfolgte mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2015). Dabei wurde gemäß dem allgemeinen inhaltsanalytischen Ablaufmodell (Abbildung 17) vorgegangen. Die Ablaufschritte sind in Abbildung 17 abgebildet und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

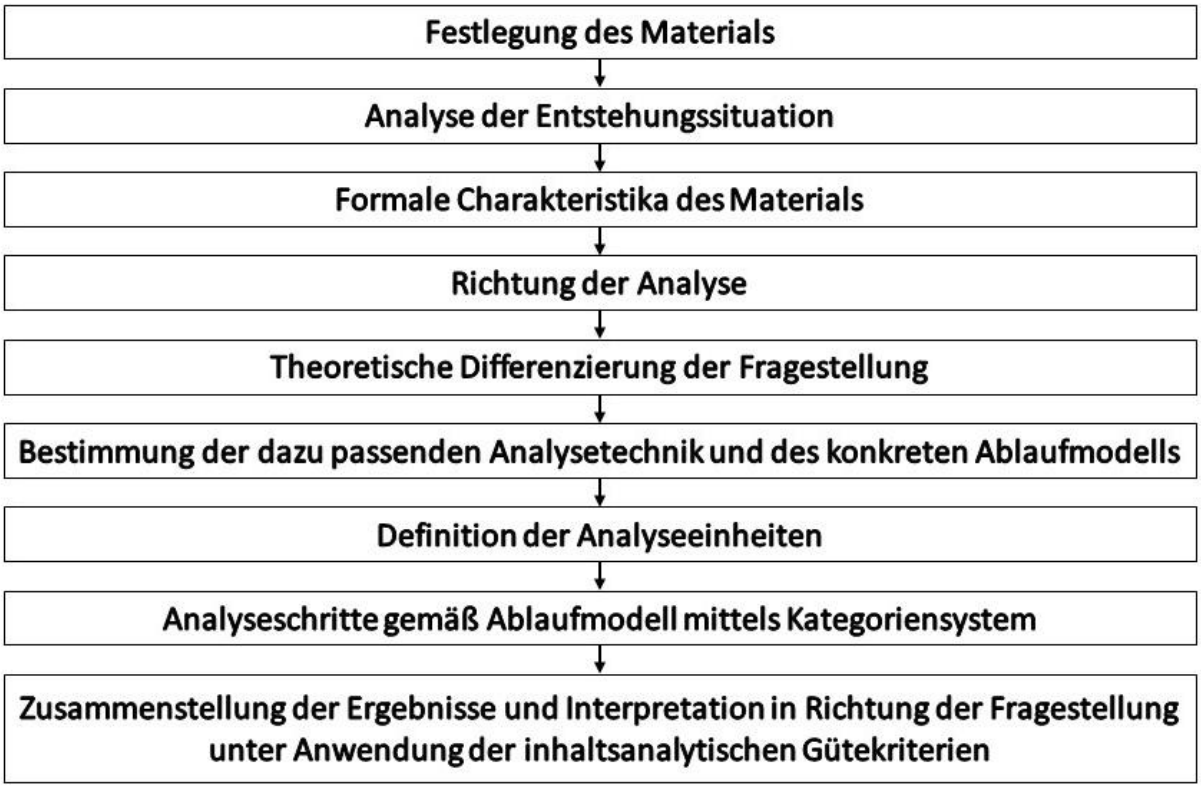


Abbildung 17: Allgemeines inhaltsanalytisches Ablaufmodell (in Anlehnung an MAYRING 2015, 62)

1. Festlegung des Materials

Zu Beginn der Inhaltsanalyse muss das zugrundeliegende Material der Analyse genau beschrieben werden (MAYRING 2015, 54). Das Datenmaterial umfasst drei Expert*innen-interviews. Die Interviews erfolgten mit

- B1: einem technischen Leiter einer Stadt mit ca. 25.000 Einwohnern in Deutschland, der sehr engagiert im Bereich der Starkregenvorsorge ist,
- B2: einem Diplomingenieur aus Wien, der in einem Ingenieurbüro im Bereich der Wasserwirtschaft angestellt ist und jahrzehntelange Erfahrung in der Siedlungsentwässerung hat,
- B3: einem Betriebsleiter für Kanal- & Wasseranlagen in einer Stadt mit ca. 11.000 Einwohnern in Österreich, der sowohl konventionelle als auch dezentrale Entwässerungsanlagen betreut.

Die Interviewteilnehmer*innen wurden durch persönlichen Kontakt gewonnen. Es fand keine Randomisierung in der Expert*innenauswahl statt. Es handelt sich um eine subjektive Auswahl, die zusätzlich durch die Zu- bzw. Absage der jeweiligen Interviewteilnehmer*innen verzerrt wurde. Jede Aussage aus diesen Expert*inneninterviews ist deshalb a priori durch einen Selektionsbias beeinflusst. Deshalb können die Befragungsergebnisse nicht repräsentativ für alle Akteur*innen im Bereich der Niederschlagswasserbewirtschaftung stehen.

2. Analyse der Entstehungssituation

Die Analyse der Entstehungssituation soll genau beschreiben, *„von wem und unter welchen Bedingungen das Material produziert wurde“* (MAYRING 2015, 55).

Die Interviews wurden im April 2021 vom Verfasser der vorliegenden Arbeit durchgeführt und erfolgten somit während der SARS-CoV-2 Pandemie, sodass alle Interviews mit Hilfe der Software Zoom per Videotelefonie durchgeführt wurden.

3. Formale Charakteristika des Materials

Mit Einverständnis der Interviewpartner*innen wurden alle Gespräche aufgezeichnet. Anschließend wurden die Interviews gemäß DRESING und PEHL (2018, 21–22) eigenständig mit Hilfe eines Media Players inhaltlich-semantisch transkribiert.

4. Richtung der Analyse

Da das Ausgansmaterial in verschiedene Richtungen interpretiert werden kann, muss festgelegt werden, was eigentlich herausinterpretiert werden soll (MAYRING 2015, 58). Da die Expert*inneninterviews im Rahmen der vorliegenden Arbeit geführt wurden, wird die Richtung der Analyse durch die Zielsetzung und Aufgabenstellung (Kapitel 2) der vorliegenden Arbeit bestimmt. Durch die Interviews sollen die Ergebnisse der Literaturrecherche ergänzt und validiert werden.

5. Theoretische Differenzierung der Fragestellung

Die Fragestellung soll im Vorfeld der Analyse genau geklärt sein und theoretisch an die bisherige Forschung anknüpfen (MAYRING 2015, 60). Dies ergibt sich durch die durchgeführten Interviews im Rahmen der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Forschungsfragen.

6. Bestimmung der dazu passenden Analysetechnik und konkreten Ablaufmodells

Es wird die inhaltliche Strukturierung als Analysetechnik verwendet, um *„bestimmte Themen, Inhalte, Aspekte aus dem Material herauszufiltern und zusammenzufassen“* (MAYRING 2015, 103).

7. Definition der Analyseeinheiten

Um die Präzision der Inhaltsanalyse zu erhöhen, werden Analyseeinheiten festgelegt:

- *„Die Kodiereinheit legt fest, welches der kleinste Materialbestandteil ist, der ausgewertet werden darf, was der minimale Textteil ist, der unter eine Kategorie fallen kann.*

- *Die Kontexteinheit legt den größten Textbestandteil fest, der unter eine Kategorie fallen kann.*

Die Auswertungseinheit legt fest, welche Textteile jeweils nacheinander ausgewertet werden" (MAYRING 2015, 61).

Die Kodiereinheit kann in der vorliegenden Arbeit ein Wort sein, die Kontexteinheit kann ein ganzes Interview sein. Jedes Expert*inneninterview entspricht einer Auswertungseinheit, die chronologisch analysiert werden.

8. Analyseschritte gemäß Ablaufmodell mittels Kategoriensystem

Da genau festgestellt werden muss, wann ein Materialbestandteil unter eine Kategorie fällt, werden die Kategorien definiert, Ankerbeispiele angeführt und Kodierregeln formuliert:

- Definition der Kategorien: Definition, welche Textbestandteile unter eine Kategorie fallen.
- Ankerbeispiele: Anführung konkreter Textstellen, die als Beispiel für eine Kategorie gelten.
- Kodierregeln: Formulierung von Regeln zur eindeutigen Zuordnung zu einer Kategorie und zur Vermeidung von Abgrenzungsproblemen zwischen Kategorien (MAYRING 2015, 97).

Entsprechend der drei zu untersuchenden Ereignisse, die während der Literaturrecherche festgelegt wurden, wurden auch für die qualitative Inhaltsanalyse folgende Kategorien definiert:

- K1: Starkregen allgemein,
- K1.1: Starkregen Kanalisation,
- K.1.2: Starkregen Versickerungsanlagen,
- K2: Trockenheit allgemein,
- K2.1 Trockenheit Kanalisation,
- K.2.2: Trockenheit Versickerungsanlagen,
- K3: Mängel allgemein,
- K3.1 Mängel Kanalisation
- K3.2 Mängel Versickerungsanlagen.

Die entsprechenden Ankerbeispiele und Kodierregeln für die jeweiligen Kategorien sind im Anhang A.2 aufgeführt.

9. **Zusammenstellung der Ergebnisse und Interpretation in Richtung der Fragestellung unter Anwendung der inhaltsanalytischen Gütekriterien**

   Die Ergebnisse der Analyse befinden sich im Anhang A.3. Da die Interviews als Ergänzung zur Literaturstudie dienen, werden die Interviews wie eine Quelle verwendet und im Rahmen der Arbeit in Richtung der Fragestellungen interpretiert.

4.3 Entwicklung eines konzeptionellen Basismodells

Die Entwicklung des konzeptionellen Basismodells war ein mehrstufiger Prozess, der parallel zur Literaturrecherche und den Expert*inneninterviews erfolgte. Es wurde schlussendlich ein Flussdiagramm ausgearbeitet, das die ausgewählten Ereignisse in ihrem Zusammenspiel darstellt. Ebenfalls soll aufgezeigt werden, wann potenziell eine Reaktion zu erwarten ist, bei der die hydraulische Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt wird.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Ereignisse

Durch die durchgeführte Literaturrecherche skizzierten sich drei Hauptszenarien des außerplanmäßigen Betriebs von NWB heraus:

- Starkregen,
- Trockenheit (Dürre),
- Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb.

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Szenarien definiert und beschrieben.

5.1.1 Starkregen

Durch die Abhängigkeit eines Niederschlagsereignisses vom jeweiligen Klimagebiet gibt es keine allgemeingültige statistische Abgrenzung des Begriffs Starkregen bezüglich der Regenhöhe oder Regenintensität (DWD 2021). Der Hydrologische Atlas der Schweiz definiert Starkniederschlag *„als Niederschlag, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und daher selten auftritt“* (PROBST 2021). In der Regel werden Starkniederschläge durch Gewitter und Sturm erzeugt (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009). Die einzelnen Gewitterzellen verweilen dabei für längere Zeit auf einer Stelle und können sich „ausregnen“ (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009).

Kommt es zu Starkregenniederschlägen oder großräumigen Niederschlagsfeldern, können pluviale Überflutungen auftreten (ZAHNT et al. 2018). Pluviale Überflutungen sind gemäß FALCONER et al. (2009) *„Überflutungen, die aus niederschlagsgenerierten Oberflächenabflüssen und Überflutungen verursacht werden, bevor der Abfluss ein Fließgewässer oder ein Entwässerungssystem erreicht, oder nicht in dieses Netzwerk fließen kann, da seine Kapazitätsgrenzen erreicht sind“* (FALCONER et al. 2009; zit. bei ZAHNT et al. 2018).

Werden Überflutungen hinsichtlich ihrer Herkunft bzw. ihrer Entstehung unterschieden, erfolgt die Unterteilung in zwei Hochwasserarten. Neben den pluvialen Überflutungen sind dies die fluvialen Überflutungen, die als Überschwemmungen mit Gewässerbezug beschrieben werden können (WELLER et al. 2016, 131).

Die ÖNORM B 2400 definiert Hochwasser als einen „*Wasserstand oder Abfluss, der eine zu bestimmende Grenze – im Allgemeinen das niederste (kleinste) Jahreshochwasser – überschreitet“.* Die Richtlinie 2007/60/EG definiert Hochwasser als „*zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist“ […] Überflutungen aus Abwassersystemen können ausgenommen werden.“* Im WRG 1959 werden in § 55 Abs. 1 Nr. 2.a) Überflutungen aus Abwassersystemen explizit aus der Hochwasserdefinition ausgenommen.

Treten infolge von Starkniederschlägen starke Oberflächenabflüsse, sogenannte Sturzfluten auf, können diese laut SCHLENKHOFF und OERTEL (2009) in:

- Sturzfluten im Flachland und
- Sturzfluten im Hügelland oder Mittelgebirge

unterteilt werden. Die Sturzfluttypen unterscheiden sich in der Strömungs- und Abflusscharakteristik. Während die Flächen bei der Flachlandsturzflut von ruhenden Wassermassen mit verhältnismäßig geringen Fließgeschwindigkeiten überschwemmt werden, treten bei Sturzfluten im Hügelland oder Mittelgebirge sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auf. Deshalb sind für diesen Sturzfluttyp ebenfalls große Mengen an mitgeführtem Material charakteristisch. Inwiefern die Intensität von Starkniederschlägen mit den daraus resultierenden Extremabflüssen zusammenhängt, ist noch nicht geklärt. Da bisher noch kein direkter Zusammenhang gefunden werden konnte, wird vermutet, dass der Niederschlag einen geringeren Einfluss auf den Extremabfluss haben muss als andere Gebietseigenschaften (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009).

So wird laut SCHLENKHOFF und OERTEL (2009) eine Kombination aus der Abflusskapazität der Entwässerungsanlagen, der Dichte und Art der Bebauung, der topographischen Situation sowie dem Boden und seiner Versiegelung in erster Linie für die Entstehung von Extremabflüssen verantwortlich sein. Ebenso kann der Feuchtezustand von Böden entscheidend sein, da dieser den Anteil des Niederschlags bestimmt, der nicht versickern kann (GLADE et al. 2020, 231). Für eine genaue Beurteilung, weshalb Starkniederschläge in manchen Städten harmlose Auswirkungen und in anderen Städten katastrophale Auswirkungen haben, müssen eingehende Analysen durchgeführt werden. Für diese Analysen werden Niederschlags-Abfluss-Modelle und dynamische Simulationen der Stadtentwässerung eingesetzt. Um potenzielle Abflusswege und Kapazitäten zu erkennen, werden in neuen Ansätzen ebenfalls Oberflächenabflüsse auf Straßen in die hydrodynamische Analyse miteinbezogen (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009). Da bei seltenen Niederschlagsereignissen ohnehin von einer Überlastung des Systems ausgegangen werden kann, spielen urbane Entwässerungssysteme tendenziell eher bei Niederschlagsereignissen mit kleiner Jährlichkeit eine größere Rolle (GLADE et al. 2020, 267).

5.1.2 Trockenheit (Dürre)

„Unter Dürre versteht man einen Mangel an Wasser, der durch weniger Niederschlag und/oder eine höhere Verdunstung durch erhöhte Temperatur (oder Wind) als üblich verursacht wird“ (DWD 2021). Je nach Zeitspanne der Dürre kann zwischen:

- meteorologischer Dürre (1–2 Monate länger trocken als üblich),
- landwirtschaftlicher Dürre (≥ 2 Monate trocken – Ernteeinbußen),
- hydrologischer Dürre (≥ 4 Monate – Grundwasser und Pegel betroffen)
- sozio-ökonomischer Dürre (≥ 12 Monate – Wassermangel bremst produzierende Wirtschaft)

unterschieden werden. Den lokalen Gegebenheiten entsprechend können Probleme auch früher auftreten. Ebenfalls existieren je nach Anwendungsbereich andere Definitionen (DWD 2021). Trockenheit wird selbst als Naturgefahr bezeichnet und bildet gleichzeitig auch die Grundlage für

weitere Naturgefahren, wie zum Beispiel Waldbrände, Ernteausfälle oder Schädlingsbefall (GLADE et al. 2020, 81). Ebenfalls kann ein trockener Boden dazu führen, dass das Niederschlagswasser nicht im Boden versickern kann (LAMPARTER und STANGE 2020).

5.1.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb

Die in diesem Kapitel beschriebenen Mängel umfassen die Planungsphase, den Bau und die Betriebsphase der Anlage. Die Anlagen sollten gemäß den geltenden Gesetzen, Normen und Regelwerken geplant und gebaut werden.

5.1.3.1 Mängel in der Planungsphase:

Bei der Entscheidung, welche NWB an welcher Stelle gebaut werden kann, sind einige Randbedingungen zu berücksichtigen. Dazu zählen laut KLEIDORFER et al. (2019) unter anderem:

- Niederschlag,
- Flächentyp/-nutzung,
- Flächenverfügbarkeit,
- wasserwirtschaftliche Faktoren,
- Grundwasserschutzzonen,
- Grundwasserflurabstand,
- geogene Faktoren,
- Altlastenverdachtsfälle,
- Hangneigung,
- Bodendurchlässigkeit, Unterkante der bindigen Deckschicht.

Die Hangneigung hat besonders bei oberirdischen NWB eine große Relevanz, da mit zunehmender Neigung das Speichervolumen abnimmt und eine kaskadenförmige oder hangparallele Anordnung erforderlich wird (MUSCHALLA et al. 2014).

Zusätzlich sollten im Sinne einer nachhaltigen Siedlungsentwässerung robuste und wartungsarme Anlagen geplant werden. Dabei sollte die Prämisse für einen störungsfreien Betrieb *„Prävention vor Wartung vor Wiederherstellung“* (GEIGER et al. 2009, 129) lauten.

Gemäß ÖNORM EN 752 ist *„die Planung […] der Prozess, bei dem das Projekt ausreichend detailliert festlegt [sic!] wird, sodass Anweisungen an Dritte für Bau oder Unterhalt des Systems gegeben werden können. […] Die Planung muss die Ziele […] und die Funktionalanforderungen […] sowie den Maßnahmenplan […] erfüllen.“*

In der Planungsphase müssen die zuständigen Fachleute der Entwässerungsplanung ihre Anforderungen gegenüber anderen Planungsbeteiligten darlegen, sodass es zu keinen Komplikationen kommt. Fachleute aus anderen Planungsbereichen sind unter anderem:

- Stadt- und Freiraumplaner*innen,
- Tiefbau- und Verkehrsplaner*innen,
- Architekten*innen (DWA 2020c).

Dies wird ebenfalls in dem Interview mit B1 am 06.04.2021 und dem Interview mit B3 am 21.04.2021 unterstrichen. Insbesondere in der Starkregenvorsorge ist es wichtig, dass verschiedene Akteur*innen zusammenarbeiten, um den Bürger*innen eine Daseinsvorsorge zu bieten. Dazu zählen neben der Siedlungswasserwirtschaft unter anderem die Stadtplanung, das Tiefbauamt und die Oberbürgermeister*in (Interview mit B1 am 06.04.2021). Auch die Bürger*innen sollten in der Planungsphase mit einbezogen werden, sodass die Anlagen akzeptiert werden und gut erhalten bleiben (Interview mit B2 am 14.04.2021).

Ebenfalls sollten Zuständigkeiten und die Finanzierung des Betriebs über die gesamte vorhersehbare Lebensdauer bereits während der Planung definiert werden (CVC und TRCA 2010; KLEIDORFER et al. 2019). Während die Zuständigkeit für den Betrieb von konventionellen Anlagen häufig eindeutig ist (KLEIDORFER et al. 2019), können für dezentrale Anlagen Privatpersonen, Kanalbetreiber, Gemeinden und Privatunternehmen zuständig sein (CAMPBELL 2015; KLEIDORFER et al. 2019). Die Einbindung von Privatpersonen kann helfen, die Akzeptanz der Anlagen zu erhöhen, da sie so nach eigenem ästhetischem Befinden gepflegt und gewartet werden können (Interview mit B2 am 14.04.2021).

Während bei einer Überlastung von konventionellen unterirdischen Ableitungssystemen das Wasser vor allem auf Verkehrsflächen austritt, sind bei Versickerungsanlagen häufig private Flächen betroffen. Daher sollte ein Notüberlauf eingeplant werden, der nur im äußersten Notfall an den Kanal angeschlossen wird. Bei Teichen oder Mulden kann ein kurzzeitiger Einstau von unbefestigten Randstreifen zugelassen werden. Anlagen mit Retentionsfunktion oder Regenwassernutzung sollten standardmäßig mit einem Überlauf ausgestattet sein, sodass überschüssiges Niederschlagswasser in eine Versickerungsanlage, ein Gewässer oder im Ausnahmefall in die Kanalisation geleitet werden kann. Erfolgt der Überlauf auf freie Grünflächen, muss der Abfluss weg von Gebäuden und anderen zu schützenden Gütern geleitet werden. Dabei ist für die unterschiedlichen Flächen (Nutzgarten, Parkplatz, Spielfläche) individuell abzuwägen, welcher Überstau toleriert wird. Werden offene Rinnen als Form der Zuleitung zu den Anlagen gewählt, sollten keine abrupten Änderungen der Fließrichtung auftreten, da das Wasser sonst bei starken Regenereignissen ausufern könnte. Bei der Planung, Konstruktion und Dimensionierung ist ebenfalls zu beachten, dass auch bei stärkeren Niederschlagsereignissen keine Remobilisierung von abgesetzten Schadstoffen erfolgt (GEIGER et al. 2009, 131–132).

5.1.3.2 Mängel aufgrund baulicher Fehler

Kanalisationsanlagen

Gemäß der ÖNORM EN 752 soll der Bau von Entwässerungssystemen entsprechend der Planung erfolgen. Dabei sollen folgende Punkte berücksichtigt werden:

a) *„Gesundheit, Sicherheit und Schutz des Baupersonals und anderer Personen;*
b) *Optimale Abfolge der Bauarbeiten insbesondere im Hinblick auf die Weiterführung des Betriebs von bestehenden Entwässerungssystemen, der durch die Arbeiten beeinträchtigt sein könnte;*
c) *Verfahrensweisen im Umgang mit bestehenden Abflüssen in teilweise fertiggestellten Systemen oder bei Durchführung von Sanierungsmaßnahmen;*
d) *Schutz der Umwelt“* (ÖNORM EN 752).

Bei einem Neubau müssen Rohrleitungen entweder nach der ÖNORM EN 1610 (Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen) oder der ÖNORM EN 12889 (Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen) eingebaut werden.

Versickerungsanlagen

Damit Versickerungsanlagen während der Betriebsdauer der Planung entsprechend funktionieren, sind einige Punkte zu berücksichtigen. Im Entwurf vom DWA A-138-1 (DWA 2020c) befindet sich eine Checkliste mit empfehlendem Charakter, was beim Bau von Versickerungsanlagen zu berücksichtigen ist (siehe Anhang 0).

5.1.3.3 Mängel während des Betriebs

Im folgenden Kapitel werden insbesondere die Kontrolle und Wartung nach dem Stand der Technik als Bestandteil eines reibungslosen Betriebsablaufs beschrieben. Ob eine Kontrolle der NWB erfolgt, ist je nach Gemeinde und Betreiber*in unterschiedlich. Im Interview mit B1 am 06.04.2021 berichtete die befragte Person von ihrer Erfahrung in der Praxis, dass in einer ihr bekannten Stadt die Versickerungsanlagen in regelmäßigen Abständen sowie vor der Starkregensaison und nach Starkregenereignissen kontrolliert werden. In einer anderen Stadt sei hingegen kein Geld und Personal dafür vorhanden. Auch im Interview mit B2 am 14.04.2021 wurde ein Beispiel benannt, bei dem den Betreiber*innen nicht einmal bekannt war, dass es überhaupt einen unterirdischen Sickerschacht gibt. Ebenfalls wurde im Interview mit B2 am 14.04.2021 angegeben, dass man froh sein müsse, wenn sich generell um die Anlagen gekümmert wird. Im Interview mit B3 am 21.04.2021 hingegen wurde berichtetet, die dezentralen Anlagen persönlich alle 3–4 Wochen zu kontrollieren. Zusätzlich sei es wichtig, dass regelmäßige Kanalkamerabefahrungen oder Kanalprüfungen durchgeführt werden, um auf Probleme reagieren zu können sowie die Wartungsintervalle ordnungsgemäß durchzuführen, sodass es zu keinen Verstopfungen oder Abflussverminderungen kommen kann.

Kanalisationsanlagen

Gemäß ÖNORM EN 752 sollen die Betriebsabläufe:

a) *„sicherstellen, dass das gesamte System jederzeit betriebsbereit ist und entsprechend der [sic!] anderen Leistungsanforderungen funktioniert;*
b) *sicherstellen, dass der Betrieb des Systems sicher, umweltverträglich und wirtschaftlich ist;*
c) *sicherstellen, dass, soweit möglich, das Versagen eines Teils der Kanalisation die Leistungsfähigkeit anderer Teile des Systems nicht nachteilig beeinflusst.“*

Dazu sollen gemäß § 3 Abs. 5 der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung Kanalisationen, also Mischwasser-, Regenwasser- und Speicherkanäle *„in regelmäßigen Zeitabständen kontrolliert, gewartet sowie auf Bestand und Funktionsfähigkeit überprüft werden.“*

Die erforderlichen Tätigkeiten für eine ordnungsgemäße Überwachung und Wartung von Kanalisationsanlagen gemäß ÖWAV-Regelblatt 22 (ÖWAV 2015a) sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Regelintervalle für die Überwachung und Wartung (ÖWAV 2015a)

Bauwerk/ Objekt	***Tätigkeit***	***Intervall***
Schächte	*Sicht-/ Funktionskontrolle*	*alle 5 Jahre oder bedarfsorientiert*
Schmutzfänger	*Entleerung + Sicht-/ Funktionskontrolle*	*alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert*
Alle Kanäle und Schächte	*detaillierte bauliche und betriebliche Zustandserfassung*	*alle 10 Jahre oder bedarfsorientiert*
Druck- bzw. Unterdruckleitungen	*Überwachung bzw. Überprüfung*	*permanent, jährlich oder bedarfsorientiert*
	Reinigung	*bedarfsorientiert*
Schmutzwasser bzw. Mischwasserkanäle	*HD-Reinigung*	*alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert*
Regenwasserkanäle	*HD-Reinigung*	*alle 6 Jahre oder bedarfsorientiert*
begehbare Kanäle	*Reinigung*	*alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert*
Straßeneinläufe	*Reinigung mit Sicht-/ Funktionskontrolle*	*alle 3 Jahre oder bedarfsorientiert*
Pumpwerke	*Wartung (maschinell, elektrotechnisch) und Reinigung*	*jährlich oder bedarfsorientiert*

	Sicht-/Funktionskontrolle	*monatlich oder bedarfsorientiert*
Entlastungs-, Retentions- und Auslaufbauwerk und Drosselorgane	*Sicht-/Funktionskontrolle*	*monatlich oder bedarfsorientiert (z. B. nach größeren Niederschlagsereignissen)*
Sand- bzw. Schotterfänge	*Sicht-/Funktionskontrolle*	*vierteljährlich oder bedarfsorientiert*

Im ÖWAV-Regelblatt 22 (ÖWAV 2015a) wird empfohlen, die Überwachungs- und Wartungsarbeiten bedarfsorientiert durchzuführen, wenn ausreichendes Wissen bzw. Erfahrungen mit den örtlichen Gegebenheiten vorhanden sind. Die Erkenntnisse sind zu dokumentieren, sodass sie die Basis für ein bedarfsorientiertes Überwachungs- und Wartungsprogramm bilden können. Ebenso dient die Dokumentation der geplanten und durchgeführten Tätigkeiten als Nachweis einer fachgerechten bedarfsorientierten Überwachung und Wartung. Neben gesetzlichen Vorgaben sind auch die Herstellervorschriften, zum Beispiel bei maschinellen und elektronischen Ausrüstern, zu beachten (ÖWAV 2015a).

Reinigungsmaßnahmen können entweder vorbeugend oder reaktiv nach auftretenden Problemen durchgeführt werden (ÖNORM EN 14654-1). Diese Maßnahmen können laut ÖNORM EN 14654-1 folgende Reinigungsziele umfassen:

a) *„Vorrausschauende Reinigung, um*
   - *sicherzustellen, dass die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems ausreichend ist;*
   - *die Nutzungsdauer zu verlängern und den Vermögenswert aufrechtzuerhalten;*
   - *Faulprozesse einzuschränken, um damit verbundene Geruchs-, Gesundheits- und mögliche Korrosionsprobleme zu reduzieren;*
   - *Schadstoffeinleitung in Gewässer zu begrenzen;*
   - *Inspektions- oder Sanierungsarbeiten am Entwässerungssystem zu ermöglichen;*
   - *die Leistungsfähigkeit der Schlüsselkomponenten des Systems in kritischen Zeiten (z.B. vor Zeiträumen mit starken Regenfällen, Saisonzeiten von touristischen Zielorten) zu optimieren;*
   - *die Inspektion zu erleichtern.*

b) *Reaktive Reinigung, um*
   - *eine Verstopfung zu beseitigen, um den Abfluss wiederherzustellen;*
   - *die Funktion des Entwässerungssystems wiederherzustellen;*
   - *Ablagerungen zu beseitigen, um Faulprozesse und Geruchsprobleme zu reduzieren“* (ÖNORM EN 14654-1).

Versickerungsanlagen

Im DWA-A 138 (DWA 2006c) sowie ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) befinden sich Hinweise zum Betrieb und zur Kontrolle, Wartung und Überprüfung von Entwässerungsanlagen und -systemen.

Um Mängel während der Betriebszeit einer Versickerungsanlage zu vermeiden und *„die Funktionstüchtigkeit der Anlage zu gewährleisten, ist die Anlage entsprechend der [sic!] Vorgaben des Herstellers oder Projektanten hinsichtlich Betrieb, Kontrolle und Wartung bzw. der Bescheidinhalte zu betreiben“* (ÖWAV 2015b). Laut Entwurf des DWA-A 138-1 (DWA 2020c) sind *„Versickerungsanlagen [nicht nur] aus funktionalen Gründen […] regelmäßig zu überwachen, zu pflegen, zu warten und instand zu setzen“*, sondern auch aus ästhetischen Gründen.

In der ÖNORM B 2506-1 sind die Mindestanforderungen für Betrieb, Kontrolle und Wartung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswässern festgelegt. Laut ÖNORM B 2506-1 soll zumindest halbjährig sowie nach außergewöhnlichen Regenereignisse eine optische Kontrolle durchgeführt werden. Die Wartungsintervalle sind von der Häufigkeit und Intensität der Niederschläge sowie der Feststoffeinträge abhängig (ÖNORM B 2506-1). Die laut ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) durchzuführenden Überprüfungen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Art und Umfang der Überprüfung von Entwässerungsanlagen und -systemen (ÖWAV 2015b)

***Flächentyp gemäß* Anhang A.4.1**	***Optische Kontrolle***	***Untersuchung des gereinigten Oberflächenwassers (Ablaufprobe)***	***Untersuchung von Bodenfiltern bzw. technischen Filtern***
F1	*Ja*	*Nein*	*Nein*
F2	*Ja*	*Nein*	*nein*
F3	*Ja*	*Ja (2–4 Jahre)*	*Alternativ zur Ablaufprobe*
F4	*Ja*	*Ja (2–4 Jahre)*	*Optional, zusätzlich zur Ablaufprobe*
F5	*Ja*	*Ja (Mindestens 1 x jährlich)*	*Optional, zusätzlich zur Ablaufprobe*

Die Empfehlungen zu betrieblichen Maßnahmen für Versickerungsanlagen im DWA-A 138 (DWA 2006c) sind ausführlicher als im ÖWAV Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b). Sie dienen als Anhaltspunkte und sollen individuell angepasst werden.

In der Praxis sind die Wahrnehmung und Einschätzung der Betreiber*innen von NWB über den Zustand der Anlagen gegebenenfalls nicht korrekt. So traten bei KLUGE et al. (2016) Diskrepanzen zwischen den Betreiber*innenangaben und den gewonnenen Untersuchungsergebnissen auf. Solange keine akuten Schadensmeldungen auftreten, werden Wartung und Pflegemaßnahmen auf ein Mindestmaß reduziert. Wenn die Anlagen prinzipiell funktionieren, werden vor allem

kleine Schäden, die die Leistungsfähigkeit der Anlagen jedoch langfristig negativ beeinträchtigen können, toleriert. Da dabei das äußere Erscheinungsbild eine größere Rolle spielt als die Funktionalität, werden oberirdische Anlagen in der Regel besser als unterirdische Anlagen gewartet (KLUGE et al. 2016).

5.2 Reaktionen der NWB

Die Reaktionen der NWB auf die definierten Ereignisse *Starkregen, Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* werden gruppiert für die konventionellen Kanalisationsanlagen und die dezentralen bzw. naturnahen Anlagen dargestellt. Bei den dezentralen bzw. naturnahen NWB liegt der Fokus auf Anlagen zur Versickerung, da diese den größten Anteil aufweisen. Gründächer werden bei den Versickerungsanlagen mitberücksichtig. Da der Einfluss von Fassadenbegrünungen und Regenwassernutzung bei Starkniederschlägen gering ist und eine Kombination mit anderen Anlagen zur Regenwasserspeicherung notwendig ist (SIEKER 2021), wird im Folgenden nicht intensiver auf diese NWB eingegangen.

5.2.1 Kanalisationsanlagen

5.2.1.1 Starkregen

Da Misch- & Regenwasserkanäle aus wirtschaftlichen Gründen nur auf 1–10-jährliche Niederschlagsereignisse ausgelegt werden, kann ein Hochwasser zu einem Wasserspiegelanstieg im Kanalnetz führen. Dieser Rückstau im Kanal kann durch große Regenmengen oder den hohen Wasserstand des Vorfluters auftreten (ÖWAV 2013).

„Überflutungen aus Abwasserleitungen und -kanälen können Auswirkungen auf die Gesundheit der betroffenen Menschen haben. Darüber hinaus können sie Gebäude und die kommunale Infrastruktur beschädigen“ (ÖNORM EN 752). Wird bei einem Starkregen die Mischwasserkanalisation hydraulisch überlastet, kann ungeklärtes Mischwasser überlaufen (MUTZ und REMY 2016). Bei diesen Überflutungen aus Mischwasserkanälen kann das kontaminierte Abwasser ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen (HAGHIGHATAFSHAR et al. 2018). Ob die Kanalisation jedoch tatsächlich überflutet, ist auch davon abhängig, wie groß die Reserven im Vergleich zum angesetzten Bemessungsregen sind und welche konzentrierenden und verteilenden Wirkungen das Kanalnetz aufweist (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009; MUTZ und REMY 2016).

Leitungen im Gebäude

Der Anstieg des Wasserspiegels im Kanalnetz kann sich von den Abflussleitungen und Hausanschlüssen bis ins Gebäudeinnere fortsetzen. Somit besteht die Möglichkeit, dass der Wasserspiegel im Leitungsnetz des Gebäudes bis auf das Wasserspiegelniveau im Kanalnetz ansteigt, sodass Abwasser aus den Abflüssen der Sanitäranlagen austritt, wenn keine Sicherheitseinrichtungen vorhanden sind. Um den Rückstau vom Abwasser aus der Kanalisation zu unterbinden, gibt es die Möglichkeit, Hebeanlagen oder Rückstauklappen zu installieren. Hebeanlagen pumpen das Abwasser in das Kanalnetz zurück, Rückstauklappen verhindern das Austreten von Abwasser ins Gebäude (ÖWAV 2013).

Sturzfluten

Sturzfluten unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der unterschiedlichen Strömungs- und Abflusscharakteristik, sondern auch hinsichtlich der unterschiedlichen Auswirkungen auf das

Kanalnetz. Bei Flachlandsturzfluten spielt der Versiegelungsgrad eine wichtige Rolle und es kann zu einer Überlastung der lokalen Abwasser- und Entwässerungssysteme kommen. Bei Sturzfluten im Hügelland oder Mittelgebirge können die großen Mengen an mitgeführtem Material die Abwasser- und Entwässerungssysteme verstopfen (SCHLENKHOFF und OERTEL 2009).

Kanaleinläufe

Eine weitere Gefährdung durch pluviales Hochwasser stellen durch den Wasserdruck angehobene Kanaldeckel dar. Die folglich offenen Kanalschächte sind aufgrund der mitgeführten Schlammmassen häufig nicht mehr ersichtlich, sodass eine lebensbedrohliche Gefahr entstehen kann, da Personen in den Schacht fallen können (GLADE et al. 2020, 254). Durch Straßenabläufe und Schachtdeckel soll das Wasser planmäßig von der Oberfläche in die Kanalisation gelangen, es kann jedoch auch genau an diesen Verbindungselementen wieder an die Oberfläche austreten (SCHLENKHOFF et al. 2016).

Aus SCHLENKHOFF et al. (2016) geht ebenfalls hervor, dass laut Beobachtungen sowohl bei Starkniederschlägen als auch bei Kombinationen von intensiven Niederschlägen, Abflusseinschränkungen und räumlichen Besonderheiten das Wasser nicht in die Kanalisation eintritt, obwohl das Kanalnetz lokal nicht voll ausgelastet ist. Gerade bei steilen Straßen fließe das Wasser über die Straßenabläufe oder an ihnen vorbei, sodass es nicht unmittelbar in das Kanalnetz gelangt. Diese Beobachtungen konnten in dem Forschungsprojekt sowohl durch numerische und physikalische Modellversuche als auch durch Feldversuche validiert werden. Einen maßgeblichen Einfluss auf das Vorbeifließen hat der Einlaufquerschnitt der Straßenablaufaufsätze sowie die Anordnung der Querstreben. Bei Straßen mit einem geringen Längsgefälle ist jedoch zu beachten, dass durch die begrenzte Breite der Straßenablauf-Aufsätze nahezu immer ein gewisser Anteil unabhängig vom Aufsatztyp am Straßenablauf vorbeifließt. Straßenabläufe in Senken bilden eine Ausnahme, die im Rahmen des Forschungsprojektes jedoch nicht näher betrachtet wurden. Durch effiziente Aufsätze können Straßenabflüsse insbesondere bei Regenereignissen im Bemessungsrahmen verringert werden. Ein vollständiger Schutz vor Überschwemmungen aus Starkregen kann durch eine veränderte Anordnung von Aufsätzen oder eine optimierte Aufsatzgeometrie jedoch nicht erzielt werden (SCHLENKHOFF et al. 2016). Zwei Faktoren, die im Forschungsprojekt von SCHLENKHOFF et al. (2016) nicht untersucht wurden, jedoch erwähnt werden, sind zum einen sehr häufig und insbesondere im Herbst gefüllte Schlammeimer sowie zum anderen Ablagerungen von Laub und Schmutz auf den Aufsätzen.

In einem nachfolgenden Projekt der Bergischen Universität Wuppertal wurden diese zwei Faktoren ebenfalls untersucht. Versuche mit echtem Laub haben gezeigt, dass die Effizienz der mit Laub bedeckten Straßenaufsätze im Mittel um 10 % geringer ist als im ideal freien Zustand. Somit ist das Ablagerungsverhalten des Laubs auf bzw. vor dem Aufsatz ein reduzierender Faktor für die Leistungsfähigkeit von Straßenabläufen. Die unterirdischen Bauteile des Straßenablaufs mit Schlammeimer und Anschlussleitung (DN 150) stellen bei einem maximalen Durchfluss von 18 l/s jedoch keine Begrenzung der Leistungsfähigkeit dar, wie die in dem Projekt durchgeführten nummerischen Modellierungen aufgezeigt haben. Der maßgeblich begrenzende Faktor für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems Straßenablauf ist die Geometrie des Pultaufsatzes (SCHLENKHOFF et al. 2018).

5.2.1.2 Trockenheit (Dürre)

Ist bei geringen Trockenwetterabflüssen die Schubspannung zu niedrig, um sämtliche Feststoffe im Abwasser zu transportieren, kann es im Kanal zu Sedimentation und Bildung von Ablagerungen kommen (WICHERN 2012). Ablagerungen und Remobilisierungen bei Niederschlagsabfluss in Abwasseranlagen können die hydraulische Leistungsfähigkeit, betriebliche Aufwendungen sowie die Umwelt beeinflussen (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005). Die hydraulische Leistungsfähigkeit wird durch eine

- *„Verkleinerung des vorhandenen Kanalquerschnitts,*
- *Verringerung des Abflusses durch eine Zunahme der betrieblichen Rauheit,*
- *Erhöhung der Entlastungshäufigkeiten an Entlastungsanlagen in Mischsystemen“*

beeinträchtigt (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005). Höhere betriebliche Aufwendungen sind die Folge von:

- *„erhöhte[m] Reinigungsaufwand,*
- *gesundheitliche[r] Beeinträchtigung des Betriebspersonals infolge [von] Gasentwicklung unter anaeroben Bedingungen,*
- *biogene[r] Schwefelsäurekorrosion an zementgebunden Kanalbauwerken infolge von Schwefelwasserstoffbildung,*
- *Belastung der Kläranlagen durch Frachtstöße bei Remobilisierung abgelagerter Feststoffe durch Niederschlagsabflussereignisse in Mischsystemen“* (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005).

Die Umwelt wird durch:

- einen *„erhöhte[n] Schmutzfrachtaustrag aus Mischsystemen bei Remobilisierung abgelagerter Feststoffe durch Niederschlagsabflussereignisse,*
- *Geruchsbeeinträchtigung durch Schwefelwasserstoffbildung“* (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005)

beeinträchtigt.

5.2.1.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb

Probleme, die während des Betriebs üblicher Abwasserleitungen und -kanäle auftreten können, lassen sich laut ÖNORM EN 752 in funktionelle Probleme und bauliche Probleme sowie Probleme an Spezialbauwerken unterteilen, wobei die bestehenden Probleme häufig miteinander verknüpft sind (ÖNORM EN 752). Die verschiedenen Probleme in den unterschiedlichen Problemkategorien sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Probleme üblicher Abwasserleitungen und -kanäle während der Betriebsdauer

Problemkategorie	**Problem**
Funktionelle Probleme an Abwasserleitungen und -kanälen	- *„Verstopfungen – treten üblicherweise auf, wenn sich Sedimente bzw. Schmutzpartikel in der Kanalisation ablagern und somit Verstopfungen verursachen und zu einem verringerten Durchfluss durch das Rohr führen;* - *Sedimentation – kann ebenfalls zu Verstopfungen führen;* - *Oberflächenablagerung – Ansammlungen von Mineralablagerungen an den Rohrwänden;* - *Fett – Ablagerungen an den Rohrwänden;* - *Eindringen von Wurzelwerk;* - *Durch bauliche Probleme verursachte Infiltration oder Exfiltration;* - *Störung von Be- und Entlüftungsventilen und anderen Schutzsystemen (bei Pumpendruckleitungen)“* (ÖNORM EN 752).
Bauliche Probleme an Abwasserleitungen und -kanälen	- *„Rohrbruch;* - *Risse oder Brüche des Rohrs;* - *Chemischer Angriff oder Korrosion;* - *Bodenerosion außerhalb der Rohrwände – üblicherweise durch Eindringen von Boden in das Rohr verursacht;* - *Fehlerhafte Anschlüsse;* - *Verformungen von Rohren;* - *Offene oder verschobene Verbindungen zwischen den Rohren“* (ÖNORM EN 752).
Probleme am Speicherbecken (Speicherkanälen)	- *„Verstopfung von Drosselorganen;* - *Entfernung von Ablagerungen“* (ÖNORM EN 752).
Probleme an Einsteigeschächten und Kontrollschächten	- *„Schadhafte Abdeckungen – dazu zählen gebrochene, gerissene, schlechtsitzende oder mit dem Boden nicht bündige Abdeckungen;* - *Probleme mit dem Zugang – etwa ungenügend großer Einsteigschacht oder beschädigte Steigeisen oder -leitern;*

	- *Bauliche Probleme mit der Bausubstanz des Schachtes einschließlich chemischen Angriffs und Infiltration;* - *Ablagerung in der Sohle;* - *Gerüche oder Gasmissverhältnisse bzw. Sauerstoffmangel"* (ÖNORM EN 752).
Probleme an Mischwasserüberläufen	- *„Verstopfungen;* - *Ablagerungen im Schacht;* - *Bewuchs der Rechen;* - *bauliche Probleme"* (ÖNORM EN 752).
Probleme an Pumpanlagen	- *„durch Abfälle verstopfte Pumpen, Armaturen, Rechen/ Siebe usw.;* - *Stromausfall;* - *Versagen einer Pumpendruckleitung;* - *elektrische oder mechanische Störung einer Komponente der Pumpe, ihrer Steuerungs- oder Fernübertragungseinheit;* - *Bildung von Verkrustungen oder Belägen, welche die Funktion von Steuerungsgeräten beeinträchtigen;* - *Lärm und/ oder Erschütterung;* - *Geruchsbelästigung;* - *Übermäßiger Stromverbrauch* - *mutwillige Beschädigung"* (ÖNORM EN 16932-1).

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 der Pumpe (ÖNORM EN 16932-1). Generell sind laut dem Interview mit B2 am 14.04.2021 Systeme mit Mechanik immer anfällig, besonders jedoch im Kanal. Dazu zählen neben Pumpwerken auch Drosselungen oder Hebeanlagen.

Um bei Abscheidern, Absetzschächten und Abläufen Verstopfungen zu verhindern, sollten sie regelmäßig entleert werden (insbesondere nach Leckagen und Starkregenereignissen). Bei Dükern sind Ablagerungen und die daraus resultierenden Verstopfungen des Dükerrohres das grundlegende Problem (ÖNORM EN 752). Generell treten Verstopfungen in Kanalisationen vor allem bei zu geringem Gefälle oder in Senken auf (Interview mit B2 am 14.04.2021).

In Abwasserkanälen können Schädlingsprobleme auftreten, wie zum Beispiel Ratten oder in einigen Gebieten auch Insekten, wie Schaben oder Stechmücken. Da Ratten ein Gesundheitsrisiko darstellen (Leptospirose und Salmonellen) und durch die Wühltätigkeiten bauliche Schäden verursacht werden können, ist ihre Bekämpfung notwendig (ÖNORM EN 752).

Bei Anschlüssen an bestehende Abwasserleitungen und -kanäle können folgende Probleme auftreten:

- Die Abwasserleitung oder der Abwasserkanal wird geschwächt und durch einen Anschluss beschädigt,
- es entstehen betriebliche Probleme,
- das System im Anschlussbereich ist nicht wasserdicht,
- falscher Anschluss bei einem Trennsystem (ÖNORM EN 752).

Externe Baumaßnahmen oberhalb von Kanälen oder angrenzend an Kanälen können folgende Probleme hervorrufen:

- *„übermäßige Belastung, die zu einem baulichen Versagen eines Teils des Entwässerungssystems führen;*
- *Behinderung des Zugangs von Unterhaltspersonal oder Ausrüstung in Schächte oder Inspektionsöffnungen, Abwasserpumpstationen oder andere angeschlossene Bauwerke;*
- *Behinderung des Zugangs von Unterhaltspersonal oder Ausrüstung für die Reparatur eines Schadens an einer Rohrleitung;*
- *Schaffen von unverhältnismäßigen Versagensrisiken des Gebäudes durch bauliches Versagen der Abwasserleitung oder des -kanals;*
- *Blockierung eines oberirdischen Fließweges, die zu einem übermäßigen Überflutungsrisikos des Gebäudes führt“* (ÖNORM EN 752).

Mit Hilfe von Störfallberichten soll der Einfluss betrieblicher Probleme auf die Leistungsfähigkeit des Systems ermittelt werden. Dies umfasst die hydraulischen, umweltrelevanten sowie baulichen Anforderungen (ÖNORM EN 752). Diese Störfallberichte sind häufig nicht vorhanden. Die Kanalbetreiber*innen kennen zwar die Problempunkte des Systems (Interview mit B2 am 14.04.2021; Interview mit B3 am 21.04.2021), protokollieren diese jedoch nicht (Interview mit B2 am 14.04.2021). Im Interview mit B2 am 14.04.2021 wurde berichtet, dass zu einigen Kanalbetreiber*innen seit 30 Jahren persönlicher Kontakt besteht und diese immer gute Arbeit im Betrieb und in der Wartung geleistet haben. Dabei wurde jedoch nie etwas niedergeschrieben. Auch ein Wartungsbuch in dem steht, wann die Reinigung stattgefunden hat, sei selten vorhanden, obwohl es von der Behörde vorgeschrieben ist (Interview mit B2 am 14.04.2021).

Detaillierte Ausführungen

Ablagerungen

Ablagerungen im Kanalnetz können zu Geruchsbeeinträchtigungen durch zum Beispiel Schwefelwasserstoffbildung führen (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005). Diese Reduktionsprodukte können jedoch nicht nur Geruchsemissionen verursachen, sondern auch zu Korrosionen der Kanäle und Schächte führen (ÖWAV 2008).

Fremdwasser

Fremdwasser, also „*unerwünschter Zufluss in ein Entwässerungssystem*“ (ÖNORM EN 16323), ist zum einen wegen der zusätzlich monetären Belastung und zum anderen wegen der negativen Beeinflussung des Betriebes unerwünscht (LUCAS 2003).

Im Regenwasserkanal kann der Fremdwasseranteil vernachlässigt werden, da aufgrund der ungleich größeren Niederschlagsmengen weder quantitative noch qualitative Auswirkungen zu erwarten sind. Mischwasserkanäle verhalten sich bei Starkregenereignissen hydraulisch ähnlich wie Regenwasserkanäle, sodass der Fremdwasseranteil ebenfalls vernachlässigt werden kann. Da sich in Mischwasserkanälen unter planmäßigen Bedingungen bei Trockenwetter ausschließlich Schmutzwasser befinden sollte, kann Fremdwasser zu Problemen führen. Der maximale Mischschwasserabfluss kann an der Kläranlage überschritten werden, sodass Regenentlastungsanlagen einstauen und das Abwasser ins Kanalnetz zurückgestaut wird (LUCAS 2003). Kommt es zu einer vorzeitigen Entlastung an Regenüberläufen, wird mehr Schmutzwasser und somit auch eine größere Fracht ins Gewässer geleitet (LONDONG 2003; LUCAS 2003).

5.2.2 Versickerungsanlagen

5.2.2.1 Starkregen

Versickerungsanlagen werden in vielen Fällen in der Starkregenvorsorge eingesetzt (KEELEY et al. 2013; ZHOU 2014; ZAHNT et al. 2018; ÖWAV 2020).

Ist ein Starkregenereignis größer als das Bemessungsregenereignis, kann die Anlage versagen und überfluten (WOODS BALLARD et al. 2016; ÖWAV 2019). Da die Jährlichkeit abhängig von der Betriebssicherheit der Sickeranlage festgelegt wird, kann diese bei einzelnen Anlagen variieren (siehe Kapitel 3.3.6). Das bei einer Überlastung bestehende Restrisiko sollte ebenfalls, wie zum Beispiel durch Notwasserwege bei einer Überflutung, berücksichtigt werden (ÖWAV 2020). Sind keine Notwasserwege vorhanden, besteht die Möglichkeit, dass bei einer Überlastung das Niederschlagswasser unkontrolliert die Straßen überflutet (Interview mit B3 am 21.04.2021). Durch Starkregenereignisse können Systemteile der unterschiedlichen Versickerungsanlagen unterschiedlich stark beeinträchtigt werden, wie beispielsweise Böschungsbrüche bei der Retentionsraumversickerung (WOODS BALLARD et al. 2016).

Bei Gründächern mit intensiver Begrünung muss der Starkregen statisch berücksichtigt werden, da die Substratschicht mehr Feuchtigkeit speichern kann, je dicker sie ist (GEIGER et al. 2009,

138). Im Interview mit B1 am 06.04.2021 wurde angemerkt, dass ein Gründach zwar den Vorteil hat, dass das Wasser langsamer und reduziert zum Abfluss gelangt, es jedoch bei extremen Starkregenereignissen auch nicht mehr zurückgehalten werden kann. Ebenfalls wurde in dem Interview bemerkt, dass Versickerung für die befragte Person aktuell keine Maßnahme zur Starkregenvorsorge sei, da die Anlagen in der Regel zu kleine Regenereignisse aufnehmen können. Das Bewusstsein ist jedoch vorhanden, dass dies von manchen Akteur*innen anders gesehen wird und es könne sein, dass es in zehn Jahren von der befragten Person auch anders gesehen wird. Außerdem sei die Topografie der Stadt für seine Ansicht entscheidend, da im persönlichen Fall das Niederschlagswasser auf Grund der bergigen Lage nicht lange an einer Stelle verweilen kann. Es werden aufgrund von Wasserknappheit und Verdunstungskühlung jedoch kleine dezentrale Versickerungsanlagen befürwortet und vielleicht sei es in Zukunft möglich, mit einer Summe von Maßnahmen die Auswirkungen der Starkregenereignisse zu reduzieren (Interview mit B1 am 06.04.2021). Fassadenbegrünungen können durch Starkregenereignisse beschädigt und zerstört werden (PFOSER et al. 2013).

Bei der Literaturrecherche fiel auf, dass viele Veröffentlichungen zum Einsatz von dezentralen NWB als Starkregenmaßname vorhanden sind (KEELEY et al. 2013; ZHOU 2014; ZAHNT et al. 2018; ÖWAV 2020). In diesen wird häufig beschrieben, wie die Anlagen in der Starkregenvorsorge eingesetzt werden können, indem sie zum Beispiel konventionelle Kanalisationsanlagen ersetzen (ZHOU 2014), und was ihr Beitrag in der Vorsorge sein kann. Die direkten Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Anlagen werden jedoch in der Regel nur kurz oder gar nicht in den Veröffentlichungen erwähnt.

5.2.2.2 Dürre

Aufgrund langer Trockenperioden kann sich die Versickerungsfähigkeit eines Bodens verändern. Wie in Kapitel 3.3.4 beschrieben, kann nach einer langen Trockenphase zu Beginn eines Versickerungsvorganges in einem Tonboden mehr Wasser versickern als in einem Sandboden, obwohl Sandboden eigentlich eine höhere Wasserdurchlässigkeit als Tonboden aufweist. In der Dimensionierung bleibt diese Phase unberücksichtigt (GEIGER et al. 2009, 36).

Wird ein falsches Bodensubstrat ausgewählt, besteht die Möglichkeit, dass die Vegetation die lang andauernden Trockenperioden nicht toleriert (GEIGER et al. 2009, 134). Bei einer falschen Artenauswahl können die Pflanzen gegebenenfalls nicht ohne Zusatzbewässerung überdauern (EPPEL-HOLTZ 2019).

Gab es keine längere Trockenperiode, sondern ein vorhergehendes Regenereignis, sodass der Boden bereits teilgesättigt ist, kann dies die Versickerungsleistung ebenfalls deutlich reduzieren (KLEIDORFER et al. 2019).

Auch im Interview mit B1 am 06.04.2021 berichtete die befragte Person, dass nach Erfahrungswerten auf einem sehr trockenen Boden das Wasser nicht mehr gut versickern kann. Eine Reduzierung des Versickerungsprozess könne ebenfalls auftreten, wenn durch ein vorhergehendes Regenereignis der Boden bereits gesättigt sei.

Die Dauer der vorhergehenden Trockenperiode kann ebenfalls die Schadstoffkonzentration im „First Flush“ eines Regenereignisses beeinflussen (LEE et al. 2002; ZURAINI und ALIAS 2020).

5.2.2.3 Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb

Kommt es zu Mängeln durch Planungs- und Baufehler oder durch unterlassene bzw. falsche Wartung und Pflege, können Schäden bzw. Mängel an verschiedenen Betriebspunkten der unterschiedlichen Versickerungsanlagen auftreten.

Nachfolgend werden in Anlehnung an KLUGE et al. (2016) die Schadensbilder, die während des Baus und des Betriebs entstehen können, in neun Kategorien unterteilt:

- Erosionsschäden und Ausspülungen,
- Setzungen,
- Trittschäden und Verdichtung,
- Materialermüdung und -schäden an Bauteilen,
- Vegetationsschäden,
- Sedimentablagerung

sowie Schäden infolge von:

- Nutzungskonflikten,
- unplanmäßiger Nutzung- und Gestaltungsänderung,
- Schadstoffen im Boden, Sickerwasser, Grundwasser und in Oberflächengewässern.

Eine detaillierte Beschreibung der bei KLUGE et al. (2016) aufgetretenen Schadensbilder bei den 30 untersuchten Versickerungsanlagen sowie die Kriterien zur Risikobewertung befinden sich im Anhang A.4.3 und A.4.4.

Erosionsschäden und Ausspülungen

Die Kategorie Erosionsschäden und Ausspülungen umfasst alle „*Abrutschungen, Trittschäden und Ausspülungen an Muldenböschung[en] [sowie] durch Regenwasser verursachte Unterspülungen von Pflasterflächen, Ableitungselementen (Pflaster-, Betonstein-, Rasenrinnen), Überläufe Mulden*“ (KLUGE et al. 2016). Durch Erosion und Ausspülungen an den verschiedenen Betriebspunkten kann es zu wild abfließendem Niederschlagswasser kommen, die Vegetation kann beeinträchtigt werden und die Anstauhöhe kann fortlaufend verringert werden. Dies kann zu einem Verlust des Retentionsvolumens sowie zu Gebäudevernässung und Überflutung führen (KLUGE et al. 2016). Bei Mulden mit größeren hydraulischen Einwirkungen oder punktuellen Einleitungen großer Abflüsse besteht die Gefahr, dass es immer wieder aufs Neue zu Erosionen und Verschlammungen bei den Einläufen kommt. Durch einen dauerhaften Kolkschutz mit Energieumwandlung kann dieses Problem behoben werden (GEIGER et al. 2009, 134).

Setzungen

Die Kategorie Setzungen umfasst *„alle Absenkung von Muldensohle, -überläufen, Pflasterflächen und Ableitungselementen“* (KLUGE et al. 2016). Es kann dadurch vorkommen, dass das Niederschlagswasser wild abfließt und Überflutungen sowie Gebäudevernässungen auftreten. Die

Möglichkeit der ungleichmäßigen hydraulischen Belastung, der Ausfall von Vegetation sowie Kolmation an der Muldensohle können zu einer Verringerung der versickerungswirksamen Fläche führen. Durch Absenkung der Anstauhöhe kann das Retentionsvolumen reduziert werden. Ebenfalls können Setzungen zu weiteren Erosionsprozessen führen (KLUGE et al. 2016).

Trittschäden und Verdichtung

Diese Kategorie umfasst alle Trittschäden und Verdichtungen, die „*durch Überfahrung mit Kfz, Mäh- und Pflegegeräte[n], in der Nähe befindlicher Bautätigkeiten [entstanden sind] sowie informelle Fußwege“* (KLUGE et al. 2016). Durch Absenkungen in Folge von Trittschäden und Verdichtungen kann ähnlich wie bei der Setzung das Retentionsvolumen reduziert werden. Ebenfalls kann die Vegetation beeinträchtigt werden und Kolmationen können auftreten (KLUGE et al. 2016).

Materialermüdung und -schäden an Bauteilen

Die Kategorie Materialermüdung und -schäden an Bauteilen umfasst alle *„Schäden an Schacht-, Überlauf- und Drosselbauwerken, Ableitungselementen und Einfriedungen“* (KLUGE et al. 2016).

Die diversen Schadensbilder durch Materialermüdungen und Materialschäden können Überflutung, Gebäudevernässung, Verringerung des Retentionsvolumens, Querschnittsverringerungen bei Rohrleitungen sowie Kontrollverlust bei Schächten zur Folge haben (KLUGE et al. 2016).

Vegetationsschäden

Die Kategorie Vegetationsschäden umfasst alle *„stellenweis[n] oder vollständige[n] Schädigung[en] der geschlossenen Vegetationsdecke, Verbuschung bzw. Verwaldung infolge fehlender Pflegemaßnahmen“* (KLUGE et al. 2016). Bilden sich feuchteresistente Vegetationen, hat dies einen höheren Pflegeaufwand bei der Mahd zur Folge. Dieser tritt auch auf, wenn Wildstauden und Gehölze aufwachsen. Zusätzlich kann es bei dem Aufwuchs noch zu einer Verschattung, Kolmation sowie Verstopfung der Zulaufrohre kommen. Werden durch eine Veränderung der Vegetation die Abflusswege verändert, können langanhaltende Wasserstände auftreten. Wie in Kapitel 3.3.6.6 beschrieben, sollte der Wassereinstau bei oberirdischen Versickerungsanlagen mit Zwischenspeicherung 24 Stunden nicht überschreiten. Wird der Wert überschritten, ist eine ausreichende Durchlüftung des Bodens nicht mehr gegeben und es hat negative Auswirkungen auf die Versickerungsleistung des Bodens. Ebenfalls kann das Retentionsvolumen verringert werden (KLUGE et al. 2016). Zum Schutz vor Erosion und Kolmation sollten oberirdische Versickerungsanlagen vor der Inbetriebnahme eine ausreichend aufgewachsene Vegetationsdecke aufweisen. Um dies zu erreichen, sollte eine Mindestwartezeit von 4–6 Wochen nach Einbringen des Saatguts eingehalten werden. Für die Wurzeldecke hat eine mindestens einmalige Mahd vor der Inbetriebnahme eine positive Wirkung. Abhängig von der Jahreszeit ist mit einer unterschiedlichen Dauer bis zur Inbetriebnahme der Versickerungsanlagen zu rechnen. Aufgrund der hohen Produktivität der Vegetation bedarf es in der Regel im Frühjahr oder Sommer einen kürzeren Zeitraum bis zur Inbetriebnahme als im Herbst oder Winter. Erosionsgefährdete Anlagenteile sowie

steile Böschungen sollten durch zum Beispiel Strohmatten oder fertige Rasenmatten (Rollrasen) geschützt werden (GEIGER et al. 2009, 132).

Bei Mulden-Rigolen-Systemen können zu tief wurzelnde Pflanzen das Geotextil um den Rigolenkörper zerstören. Ebenso muss die Vegetation zum einen häufigem, schnellem Überfluten und zum anderen lang andauernden Trockenphasen standhalten. Durch eine erhöhte Einstaudauer und dem resultierenden Sauerstoffabschluss leidet auch die Vegetationsdecke oberirdischer Anlagen. Die dadurch entstehenden „Absetzbereiche“ trocknen mit der Zeit immer schlechter ab (GEIGER et al. 2009, 134).

Werden die Versickerungsanlagen mit Bäumen bepflanzt, kann dies Auswirkungen auf die Mulde, das Muldenumfeld und die Bäume selbst haben. Bei Hainbuche und Feldahorn tritt zum Beispiel ein verstärkter Austrieb von Stammaustrieben im Stammfuß auf (Abbildung 18). Dies hängt mit temporären Schwankungen im Wasserhaushalt der Wurzelsysteme zusammen und ist ohne Muldensysteme kaum zu beobachten. Zum einen werden durch diese Austriebe die ästhetische Wirkung beeinträchtigt, zum anderen bedingen sie einen höheren Wartungsaufwand, da die Triebe jährlich manuell entfernt werden müssen. Durch Störungen im Wasserhaushalt können die Bäume mit sogenannten Schwächeparasiten befallen werden und die Gehölze abgetötet werden. Durch die Wurzelentwicklung können Schäden an technischen Einrichtungen und im Muldenumfeld entstehen (Abbildung 19). Ebenfalls erschwert die oberflächennahe Wurzelbildung die Pflege der Anlagen und bei mechanischer Beschädigung der Wurzeln können nachfolgend Baumpilze die Bäume befallen und die Stand- und Bruchsicherheit mittelfristig negativ beeinflussen (BALDER et al. 2018).

Es sollten also generell Pflanzen ausgewählt werden, die Trockenheit, Hitze und Wasserstau tolerieren (Interview mit B1 am 06.04.2021).

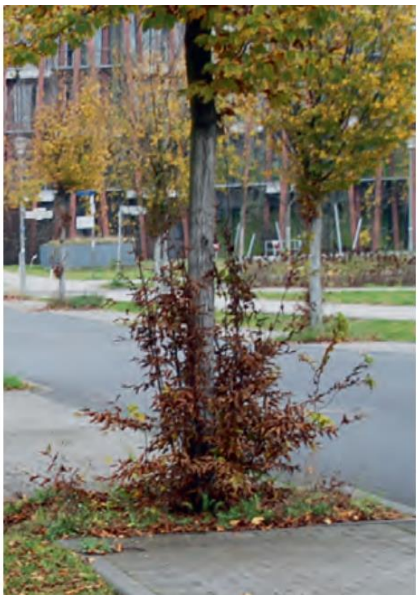


Abbildung 18: Erhebliche Stammaustriebe bei der Wurzelbasis bei Hainbuche (BALDER et al. 2018).

Abbildung 19: Auswurzeln aus einer benachbarten Baumscheibe durch lückige Begrenzung und Hebung von Kleinstpflaster, Platten etc. (BALDER et al. 2018).

Bei Gründächern kann ein unerwünschter Aufwuchs entstehen (GEIGER et al. 2009, 157). Bei starker Dachneigung trocknet das Substrat im höher gelegenen Teil des Daches stärker aus (GEIGER et al. 2009, 138).

Sedimentablagerung

Die Kategorie Sedimentablagerung umfasst alle Schäden durch *Ablagerung von Partikeln [in] Zulaufrinnen im Zulaufbereich der Mulden, in breitflächige[n] Zulaufbereich[en] (Wulstbildung), Einlaufbereich[en] oder weiterem Sohlenbereich der Mulde"* (KLUGE et al. 2016). Dies kann zu wild abfließendem Niederschlagswasser und Überflutungen führen. Durch Sedimentablagerungen in Zuläufen kann bei einem Straßenlängsgefälle von 0 % ein Rückstau des Wassers sowie ein verzögerter Abfluss auftreten. Bei Straßenlängsgefällen > 0 % besteht die Möglichkeit, dass die Anlagen nicht gleichmäßig belastet werden (KLUGE et al. 2016).

Bei einer nicht präzisen Modellierung von offenen, großflächigen Anlagen können sich alle mitgeführten Feinpartikel an Tiefpunkten durch die dort vorherrschende erhöhte Absetzwirkung ansammeln (GEIGER et al. 2009, 134). Der Eintrag von tonhaltigem Feinmaterial in Versickerungsanlagen kann zu einer Ausbildung einer Kolmationsschicht führen (KLUGE et al. 2016).

Bei Rigolen- und Rohrversickerungen führen in den Sickerraum eingetragene Stoffe zu einer verringerten Sickerleistung und einem Volumenverlust. Bei der Schachtversickerung können eingetragene Feinstoffe die Zuläufe und Filtersäcke bzw. Filterschichten am Schachtboden zusetzen (GEIGER et al. 2009, 154). Auch bei Gründächern können Zu- und Abläufe verstopfen und überlaufen (GEIGER et al. 2009, 157).

Nutzungskonflikte

Die Kategorie Nutzungskonflikte umfasst alle Schäden infolge von *„Mehrfachnutzung von Mulden ohne bauliche oder gestalterische Veränderung (z.B. als Grünfläche für Aufenthalt)"* (KLUGE et al. 2016). Durch Beeinträchtigungen der Zuläufe kann der Zufluss behindert werden und es können Gebäudevernässungen und Überflutungen auftreten. Die Nutzungskonflikte können Verdichtungen, Auskolkungen von Rohrauslässen, Erosion, Kolmation sowie Ausfall von Vegetation zur Folge haben. Ebenfalls kann das Rückhaltevolumen verringert werden und Versickerungsanlagen überlastet werden (KLUGE et al. 2016). Häufig sind während der Bauphase und zu Beginn der Inbetriebnahme der Entwässerungsanlagen (Versickerung, Retention, Ableitungselemente & Nutzungsanlagen) ein Großteil des Einzugsgebietes verschmutzt, nicht begrünt oder frisch eingesät. Ein erhöhter Eintrag von kolmatierten Feinpartikeln ist zu erwarten. Dies kann eine verringerte Versickerungsleistung nach sich ziehen und eine komplette Selbstabdichtung bewirken (GEIGER et al. 2009, 132).

Finden in einem Neubaugebiet zeitgleich Hochbauarbeiten und der Bau eines naturnahen Entwässerungssystems statt, kann dies zu Problem führen. Die Doppelnutzung der Versickerungsflächen während der Bauarbeiten, wie zum Beispiel das Befahren durch Baustellenfahrzeuge oder die Lagerung von Materialien, kann zu einem Verlust der Sickerfähigkeit und des Reinigungsvermögens führen. Während des Baus können verwendete Materialien in die Versickerungsfläche eigetragen werden, sodass die Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes negativ

beeinflusst werden kann. Werden wassergefährdende Stoffe in der Nähe von geplanten Versickerungsflächen gelagert oder umgefüllt, kann dies gegebenenfalls negative Auswirkungen auf das Grundwasser haben (GEIGER et al. 2009, 132,156).

Unplanmäßige Nutzungs- und Gestaltungsveränderung

Die Kategorie unplanmäßige Nutzungs- und Gestaltungsveränderung umfasst alle Schäden infolge von „*Umgestaltung der Versickerungsanlage durch Dritte oder informell durch Betreiber*“ (KLUGE et al. 2016). Die Möglichkeiten der unplanmäßigen Nutzungs- und Gestaltungsveränderung sind zahlreich und können somit auch diverse Auswirkungen haben. So können wild abfließendes Wasser, Gebäudevernässung, eine Vergrößerung der angeschlossenen Fläche, langanhaltende Wasserstände, Kolmation und ein Verlust des Retentionsvolumens auftreten (KLUGE et al. 2016). Im Interview mit B3 am 21.04.2021 wurde von unsachgemäß entsorgtem Grünschnitt berichtet, der die Pflege der Anlagen erschwert. Ebenfalls sollen die Retentionsgräben im Sinne einer multifunktionalen Flächennutzung auch als Kinderspielplätze und Naherholungsgebiete dienen, sodass bei der Nutzung der Gräben ein Kompromiss gefunden werden musste. Wenn ein Graben von Kindern überbaut wurde, wird es geduldet, solange es kein Hindernis darstellt. Die Ablaufrohre müssen jedoch zum Beispiel jederzeit frei sein. Das Projekt wurde vor zehn Jahren gestartet und laut der befragten Person gab es bisher noch keine Verschleißerscheinungen an den Anlagen (Interview mit B3 am 21.04.2021). Auch im Interview mit B2 am 14.04.2021 waren der befragten Person keine Beispiele bekannt, dass durch die Nutzung von spielenden Kindern die Versickerungsleistung beeinflusst wurde. Es wurde zum Beispiel die Böschung eines Sickerbeckens so gebaut, dass Kinder dort im Winter Schlitten fahren können.

Schadstoffe im Boden, Sickerwasser, Grundwasser und in Oberflächengewässern

Wie in Kapitel 3.3.5 beschrieben, können sich verschiedene Schadstoffe während des Betriebs von Versickerungsanlagen im Boden anlagern und ins Grundwasser und Oberflächengewässer gelangen. Nachfolgend wird beschrieben, welche Faktoren zu einer verstärkten Anreicherung der verschiedenen Stoffe führen können. Dabei muss beim Einsatz von Sickerschächten besonders darauf geachtet werden, dass das zu versickernde Wasser frei von Schwebstoffen ist, da bei diesen Anlagen keine Reinigungsleistung erbracht wird (GEIGER et al. 2009, 80).

Im Interview mit B1 am 06.04.2021 wurde angemerkt, dass es ein Problem sein könne, dass das Niederschlagswasser Schmutzfrachten über die Notwasserwege in Oberflächengewässer und das Grundwasser einträgt. Da jedoch der „First Flush“ in den meisten Fällen in den Kanal gelangt, werden bei einem Starkregenereignis pro Jahr nur ca. 5 % der Schmutzfrachten nicht zurückgehalten. Ob sich Schadstoffe im Boden einer Anlage ansammeln oder ins Grundwasser bzw. in Oberflächengewässer gelangt, kann unbemerkt bleiben, da dies in der Regel im laufenden Betrieb nicht mehr kontrolliert wird. Zusätzlich müsse im Falle einer Notsituation, wie zum Beispiel einem Starkregenereignis, abgewogen werden, ob eine kurzzeitige Einleitung schadstoffbelasteten Niederschlagswassers in die Umwelt zumutbar ist, um schwerwiegendere Auswirkungen und Schäden zu verhindern (Interview mit B1 am 06.04.2021).

Schwefel-, Stickstoff- und Phosphor

Schwefel, Stickstoff und Phosphor sind zwar wichtige Nährstoffe für das Pflanzenwachstum, sie können jedoch bei einem erhöhten Austrag, zu einer Gefährdung von Oberflächengewässern und Grundwasser führen. Ein übermäßiger Eintrag erfolgt in der Regel, wenn es neben den natürlichen Quellen zu mineralischen Düngungen oder Luftdepositionen kommt (KLUGE et al. 2016). Im Forschungsprojekt von KLUGE et al. (2016) wurden erhöhte Werte bei Anlagen gemessen, die:

- an Auslassbereichen größerer Park- und Rangierflächen liegen,
- an denen es durch Straßenabflüsse zu einem Eintrag von standortfremden, technogenem Material kam.

Die Anreicherung der drei Stoffe wird ebenfalls durch hydraulische Bedingungen beeinflusst. Das Verhältnis von angeschlossener Fläche zur Versickerungsfläche bedingt eine häufigere und intensivere Durchfeuchtung des Bodens als unter natürlichen Bedingungen, sodass der Boden weniger durchlüftet wird. Dies hat eine verminderte Aktivität von Mikroorganismen und somit eine geringere Mineralisierung der organischen Bodensubstanzen zur Folge (BLUME et al. 2010; zit. bei KLUGE et al. 2016).

Schwermetalle im Boden

Schwermetalle werden über Niederschlagsabflüsse in die Versickerungsanalgen eingetragen und können sich in Form von feinen Partikeln an der Oberfläche ablagern oder als gelöste Stoffe mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert werden. Da Muldensubstrate eine sehr hohe Heterogenität aufweisen, muss zur genauen Ermittlung der betriebsbedingten Anreicherung von Schwermetallen die Feststoffkonzentration des Ausgangsmaterials bekannt sein (KLUGE et al. 2016).

Im Forschungsprojekt von KLUGE et al. (2016) wurden dazu zwei Versickerungsanlagen punktgenau wie in den Forschungsprojekten von HILLER et al. (2001) bzw. SCHÖTTLER et al. (1997) beprobt. So konnten mit Hilfe einer Ex-Post-Analyse die Festphasengehalte von Blei, Cadmium, Zink und Kupfer aus dem Jahre 2014 mit den Festphasengehalten von 1997 bzw. 2001 verglichen werden (KLUGE et al. 2016). Die erste untersuchte Versickerungsanlage war eine dezentrale Anlage in einem Wohngebiet, bei der das Abflusswasser über eine verzinkte Dachrinne aus der Dachentwässerung abgeführt und direkt in die angrenzende Mulde infiltriert wurde (KLUGE et al. 2016). Bei dieser Anlage (*LEIREV-Anlage 9*) wurden an zwei Punkten:

1) 1,5 m Entfernung zum Fallrohr der Regenrinne (= Einlassprobe),
2) Mischprobe aus drei Einzelproben im zentralen Bereich der Mulde (= Mischprobe)

Bodenproben entnommen und mit den Daten von SCHÖTTLER et al. (1997) verglichen (KLUGE et al. 2016).

Im Oberboden (0-10 cm) konnte bei der Einlassprobe im Zeitraum von 1994–2014 eine Erhöhung des Feststoffgehaltes festgestellt werden: Bei Blei um den Faktor 7, bei Cadmium um den Faktor 6 und bei Zink um den Faktor 42 (Abbildung 20) (KLUGE et al. 2016).

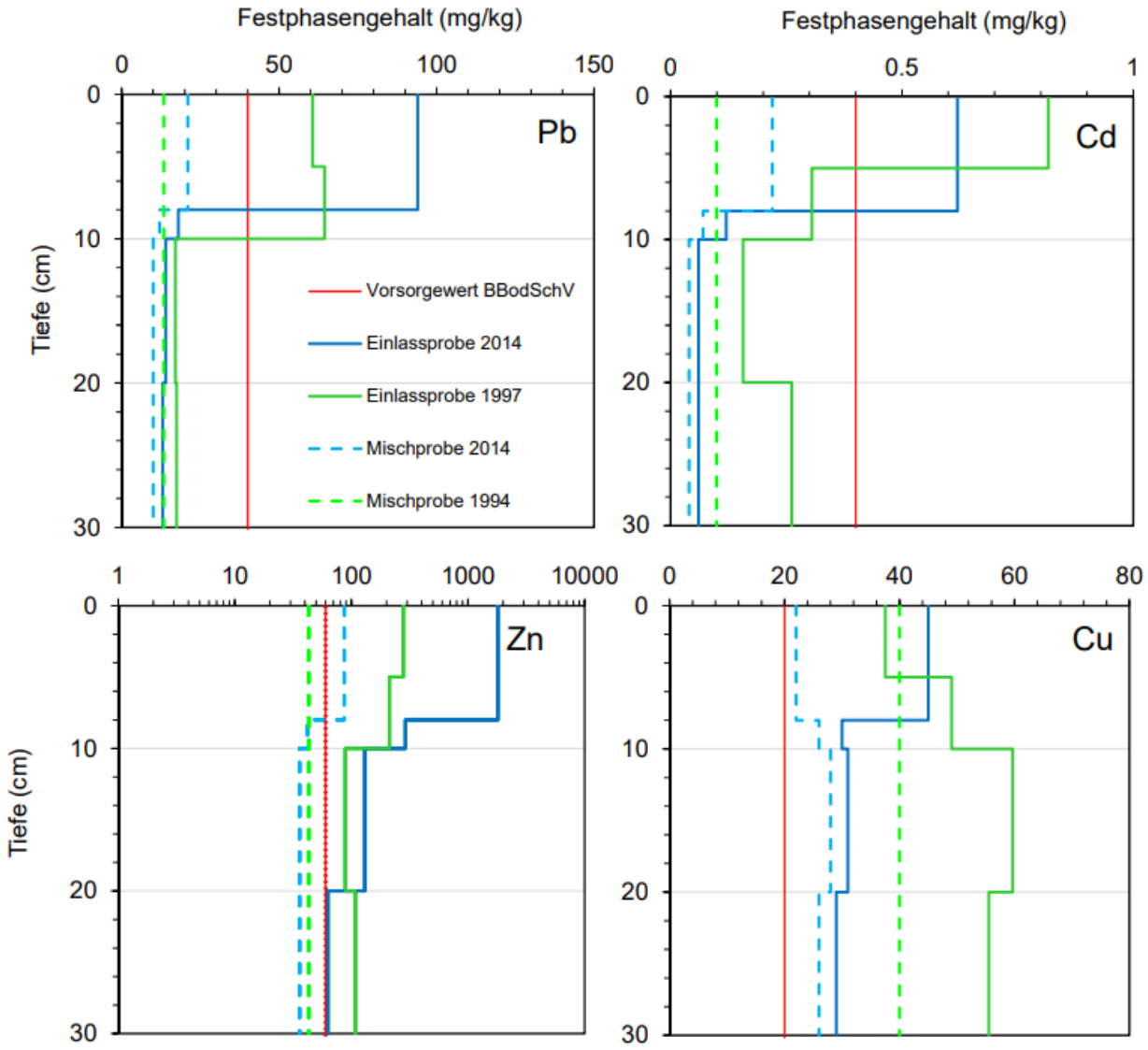


Abbildung 20: Schwermetallgehalte im Bodenfeststoff der Versickerungsmulde der *LEIREV-Anlage 9* in verschiedenen Bodentiefen und Beprobungsjahren (1994, 1997, 2014). Mischprobe= 1,5 m Entfernung vom Einlauf. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für die Bodenart Sand. (KLUGE et al. 2016)

Die starke Erhöhung des Zink-Feststoffgehaltes ist auf Korrosionsprozesse der verzinkten Regenrinne zurückzuführen. Es werden jedoch auch Cadmium, Blei und Kupfer bei der Korrosion durch Niederschlagsabflüsse freigesetzt und in die Mulde eingetragen (KLUGE et al. 2016). Laut GÖBEL et al. (2007) sind bei Abflüssen von Dächern mit Rinnen und Fallrohren häufig höhere Schwermetallkonzentrationen vorzufinden als bei Abflüssen von hoch frequentierten Straßen.

In den ersten drei Betriebsjahren konnte mit Ausnahme von Kupfer eine rasche Zunahme aller Schwermetallkonzentrationen im Oberboden beobachtet werden (KLUGE et al. 2016). Dies deckt

sich mit Untersuchungen von HE et al. (2001), bei denen Korrosionsraten von Zinkdachmaterialien untersucht wurden. Nach anfänglich hohen Metallkonzentrationen nahmen die Konzentrationen anschließend stark ab und fanden sich mit der Zeit auf einem konstanten Niveau ein (HE et al. 2001). Eine Erklärung, warum der Feststoffgehalt von Kupfer in den Misch- und Einlassproben im Zeitraum von 1994–2014 gesunken ist, könnte die bevorzugte Assoziation von Kupfer an organische Bodenpartikeln sein. Ebenso kann Kupfer verstärkt in tiefere Bodenschichten verlagert werden (KLUGE et al. 2016). Die Auswaschung von Kupfer in Mulden wurde ebenfalls von SAUVÉ et al. (2000), LI und DAVIS (2008), TROWSDALE und SIMCOCK (2011) und MULLANE et al. (2015) beobachtet.

Auch in Straßenrandböden, die eine ähnlich hohe Abfluss- und Infiltrationsrate wie Mulden aufweisen, können Tiefenverlagerungen von Kupfer nachgewiesen werden. Diese Verlagerung kann durch die starke Bindungsaffinität von Kupfer an organische Bodenbestandteile sowie die hohe Löslichkeit durch Wasser begründet werden (BÄCKSTRÖM et al. 2004).

Im Einlaufbereich wurden in allen untersuchten Tiefen im Jahr 1997 höhere Cadmiumkonzentrationen als 2014 gemessen. Da Cadmium als das mobilste Gehalt im Boden gilt, könnte dies auf eine Verlagerung von Cadmium hinweisen (KLUGE et al. 2016).

Bei der zweiten Anlage von KLUGE et al. (2016) (*LEIREV-Anlage 21*), bei der die zeitliche Veränderung der Schwermetallgehalte untersucht wurde, konnten neue Beprobungen aus dem Jahr 2014 mit Daten von HILLER et al. (2001) verglichen werden (Abbildung 21). Da es über die Betriebszeit zu einer starken Sedimentanreicherung im Einlassbereich kam, wurde neben dem Muldensubstrat auch das aufgelagerte Sediment beprobt (KLUGE et al. 2016).

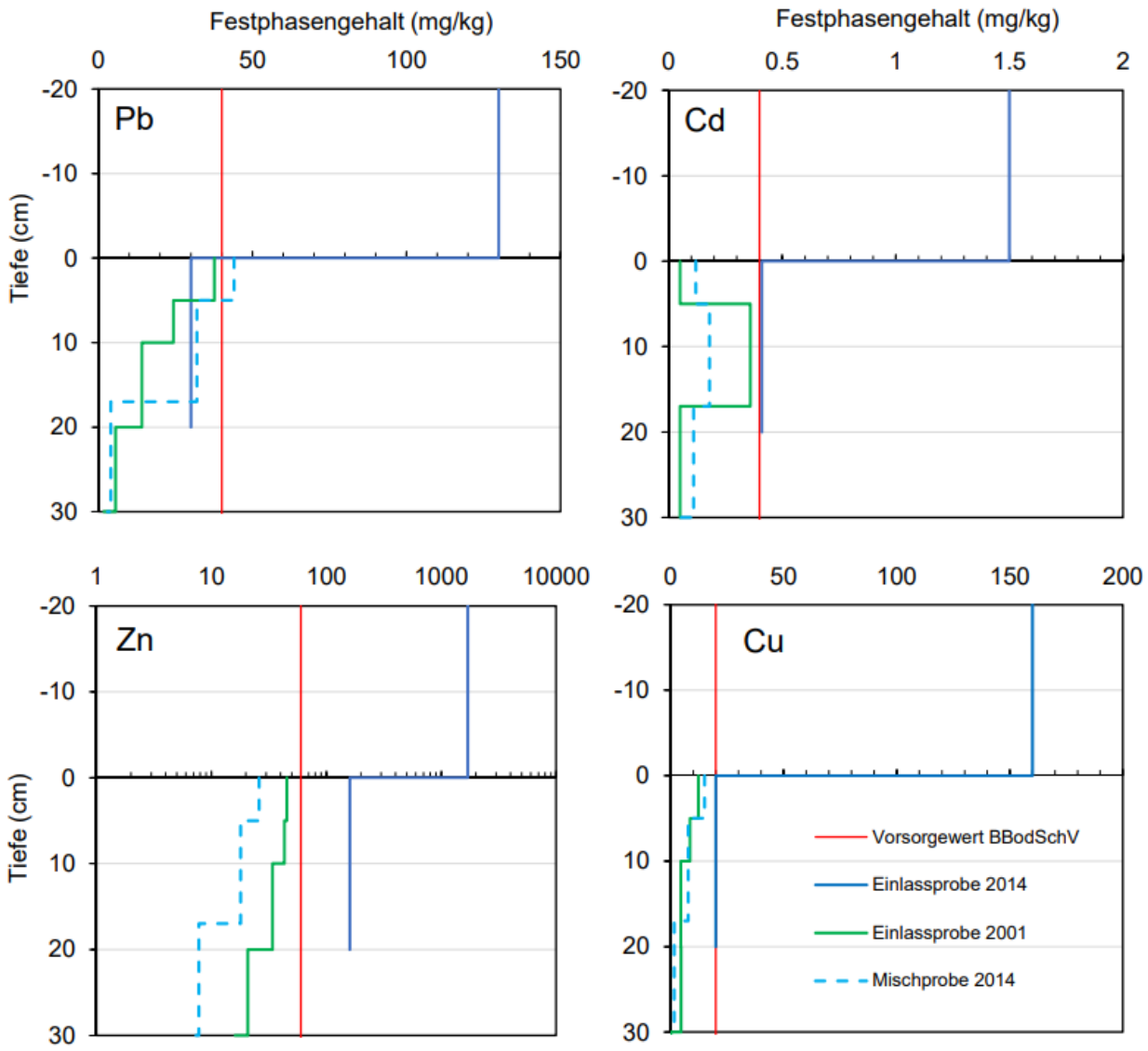


Abbildung 21: Schwermetallgehalte im Bereich mit Sedimentaufhöhung und außerhalb der Sedimentaufhöhung *LEIREV-Anlage 21*. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für die Bodenart Sand (KLUGE et al. 2016).

Der Gehalt an Blei, Cadmium, Kupfer und Zink ist in der Sedimentanreicherung um ein Vielfaches höher als im Muldensubstrat zum gleichen Entnahmezeitpunkt sowie im Jahr 2001 und überschreitet die Vorsorgewerte der deutschen *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung* (BBodSchV). Ein hoher Fahrzeugwechsel sowie die intensiven Rangier- und Verladearbeiten auf den angeschlossenen Flächen und der damit verbundene starke Reifenabrieb sind vermutlich die Ursache der Schwermetallanreicherungen (KLUGE und WESSOLEK 2012).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch HAILE et al. (2016), die bei einer Regenwasserversickerungsanlage an einer österreichischen Autobahn eine Sedimentansammlung mit starker Akkumulation partikulärer Anteile von Schwermetallen vorfanden. Bei einem Vergleich der Schwermetallkonzentration der Einlassprobe 2001 mit der Mischprobe 2014 ist eine leichte Erhöhung von Blei und eine Abnahme von Cadmium und Zink im Bereich der Mischprobe zu erkennen. Diese Veränderung könnte sowohl durch Akkumulation bzw. Verlagerung durch den Anlagenbetrieb als

auch durch heterogene Ausgangskonzentrationen der Einbausubstrate eingetreten sein (KLUGE et al. 2016).

Bei Versickerungsanlagen aus dem Projekt von KLUGE et al. (2016), bei denen die Ausgangskonzentrationen nicht vorhanden waren, wurden die untersuchten Böden mit Hintergrundwerten für Böden, die im gleichen Ballungskern liegen, verglichen. Es konnte eine Anreicherung der Schwermetalle Zn, Cu und Pb in Oberböden (0–10 cm) vermutet werden, die Schwermetallgehalte nehmen jedoch mit zunehmender Tiefe in der Regel ab (KLUGE et al. 2016). Dies ist durch zwei Faktoren, die zu einer Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden führen, zu erklären:

- dem Eintrag von atmosphärischer Deposition,
- der Ableitung konzentrierter Niederschlagsabflüsse.

Laut KLUGE et al. (2016) zeigt die Abnahme der Schwermetallkonzentrationen mit der Tiefe eine wirksame Filter- und Schutzfunktion des Oberbodensubstrats und der tieferen Schichten gegenüber belasteten Oberflächenabflüssen. Die langfristige Retention der stofflichen Belastung wurde jedoch noch nicht ausreichend untersucht. Des Weiteren zeigte sich, dass die Zink- und Bleikonzentrationen insbesondere in Oberböden (0–10 cm) bei Abflüssen von Verkehrs- und Wohnflächen (Dachabläufen) am höchsten waren. Ebenfalls waren im Bereich von 20–30 cm die Feststoffgehalte von Zn, Pb und Cd bei den Wohnflächen höher als bei Verkehrsflächen und Gewerbeflächen. Diese Tendenzen der Schwermetallbelastung sind hauptsächlich auf den Abfluss des Niederschlagswassers über Regenrinnen und Fallrohre aus Zinkblech zurückzuführen. Geringe Niederschlagsmengen verstärken den Aspekt, dass es zu einer verstärkten Akkumulation und Verlagerung der Schwermetalle kommt, indem der Großteil des Dachablaufs direkt im Einlaufbereich versickert (KLUGE et al. 2016).

Schwermetalle im Sickerwasser

Schüttelversuche im Labor von KOCHER (2008), KLUGE et al. (2014) und KLUGE et al. (2016) haben gezeigt, dass selbst bei hohen Bodenstoffkonzentraten nur geringe Metallkonzentrationen in der flüssigen Phase auftreten und nur im Einzelfall Grenzwerte überschritten werden. Bei diesen im Labor durchgeführten Elutionsversuchen ist jedoch immer zu beachten, dass sie nur einen Hinweis für eine mögliche Belastung des Sickerwassers darstellen, da der Stofftransport in der Natur, respektive Schadstoffretention, durch Fließwege, hohe Wasserflüsse, unterschiedliche Einlaufkonzentrationen, Temperaturen etc. beeinflusst wird (KLUGE et al. 2016).

Ebenfalls zeigen Prognosen von KLUGE et al. (2016) zur zukünftigen Sickerwasserkonzentration einer Modellmulde, die mit Hilfe numerischer Simulationen erstellt wurden, dass der Modellmulde im Simulationszeitraum von 40 Jahren eine ausreichende Retentionskapazität prognostiziert wird. Die Simulationen sind jedoch nicht auf alle betrachteten Muldenstandorte und Betriebsbedingungen übertragbar und können nur exemplarisch bewertet werden. Verschiedene Einlaufkonzentrationen, Anschlussverhältnisse, Substrateigenschaften, etc. haben einen großen Einfluss und müssen für eine genaue Voraussage berücksichtigt werden. Zusätzlich wurden nur gelöste Schwermetallkonzentrationen betrachtet und partikuläre Stoffe sowie eine schnelle Verlagerung durch Risse bei zum Beispiel lehmigem Boden nicht berücksichtigt (KLUGE et al. 2016).

Organische Schadstoffe

Eine unspezifische Tiefenverteilung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in den obersten 30 cm der Anlagen ist auf eine regionale Grundbelastung des Bodenmaterials zurückzuführen. Eine betriebsbedingte Belastung hätte eine Anreicherung im humosen Oberboden bedingt (KLUGE et al. 2016).

Höhere Gehalte unterhalb der technischen Anlage (in der Tiefenstufe > 30 cm) können durch technogene Materialien (u.a. Schlacke, Holzkohle, Ziegel, Mörtel, Gips u.v.a.) erklärt werden. Diese Materialen wurden bei bodenkundlichen Kartierungen häufig in den Substraten unterhalb von 30 cm gefunden. Vorranging war dies in urban geprägten Räumen der Fall. Zusätzlich zeichnen sich urbane Substrate (v.a. Trümmerschutt) durch erhöhte Schadstoffgehalte aus (ABEL 2015).

pH-Wert

Verändert sich der pH-Wert des Bodens einer Versickerungsanlage, beeinflusst dies die biologische Aktivität, Humusakkumulation, Nährstoffdynamik sowie das Sorptionsverhalten (KLUGE et al. 2016). Bei pH-Werten von < 6 nimmt die Adsorptionsfähigkeit von Kationen wie Cd2+, Cu2+, Pb2+ und Zn2+ stark ab und die Möglichkeit des Auswaschens von Schwermetallen zu, sodass die pH-Werte von Muldenböden im neutralen bis basischen Bereich liegen sollten (KLUGE et al. 2016).

PH-Werte < 5,5 sind vor allem auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Das geologische Ausgangsmaterial, das für die Versickerungsanlage verwendet wird, weist bereits einen niedrigen pH-Wert auf.
- Über punktuelle Zuläufe, wie Regenrinnen oder Rohrbrücken kommt es zu einer intensiven Beschickung der Versickerungsmulden. Die Säurepufferkapazität des Bodens wird an diesen Stellen schneller aufgebraucht, als es unter natürlichen Bedingungen der Fall wäre (KLUGE et al. 2016).

Bei Anlagenstandorten, die einen pH-Wert > 7 aufweisen, liegt die Ursache häufig in der Beimengung von kalkhaltigen Böden, Bauschutt oder sonstigen Fremdmaterialen bei der Errichtung der Anlage oder in der Versickerung von basenhaften Oberflächenabflüssen, die insbesondere bei Anlagen entlang von Verkehrs-, Rangier- und Straßenflächen auftreten (KLUGE et al. 2014).

Salzgehalt

Salzanreicherungen in der Bodenlösung infolge von übermäßigem Eintrag von salzhaltigem Oberflächenabfluss können eine Belastung von Grundwasserleitern zur Folge haben (EGLV 2006; KLUGE et al. 2016). Ebenfalls kann sich das Bodengefüge dauerhaft verändern, was eine Verringerung der Wasserdurchlässigkeit zur Folge haben kann (EGLV 2006; GEIGER et al. 2009, 156). Eine Versalzung des Bodens kann zum Beispiel dann auftreten, wenn im Winter in der Nähe von Versickerungsanlagen Tausalz eingesetzt wird (EGLV 2006; GEIGER et al. 2009, 156).

Folgeschäden

Verlust des Retentionsvolumens

Die Ausführungen in diesem Kapitel beruhen auf den Ergebnissen des Abschlussberichts des Forschungsprojekts *Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen* (KLUGE et al. 2016).

Kommt es im Moment der Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers zu einem länger anhaltenden Einstau, kann dies zu inneren und äußeren Kolmationsprozessen führen. Dabei wird während der Betriebsdauer der Anlage das Einstauvolumen durch zwei Prozesse beeinflusst:

- Partikuläre Stoffeinträge durch die zugeführten Abflüsse reduzieren das absolute Muldenvolumen. Das Sediment lagert sich vor allem an der Muldensohle ab.

- Erosionen und Trittschäden können zu stofflichen Umlagerungen von der Böschung in die Sohle führen. Dadurch ändert sich nicht das absolute Muldenvolumen, es verschiebt sich jedoch die Volumen-Füllstands-Kennlinie, sodass bei gleichen Niederschlagsvolumina höhere Wasserstände am Anfang des Füllungsvorgangs zu beobachten sind.

Diese Prozesse wurden von KLUGE et al. (2016) mit Hilfe einer Ex-Post-Analyse untersucht, indem Muldenzustände zum Zeitpunkt der Untersuchungen mit dem geplanten Zustand bzw. dem Zustand nach baulicher Fertigstellung verglichen wurden. Um Abweichungen der Einstauvolumina sowie Tiefpunkte oder schräge Sohlen, die ungleichmäßige hydraulische Belastung der Anlage nach sich ziehen können, zu identifizieren, wurden die Anlagen vermessen und Baupläne und Revisionsaufmaße des geplanten Zustands bzw. des Zustands nach baulicher Vollendung digitalisiert und dreidimensional abgebildet.

Ein direkter Vergleich von Ist- und Planzustand der Muldenvolumina wurde an zwei Standorten (*LEIREV-Anlage* 8 & *LEIREV-Anlage 1*) durchgeführt. Bei *LEIREV-Anlage 8* weicht das aktuelle Einstauvolumen um 65 % vom ursprünglich geplanten Volumen ab. Bei *LEIREV-Anlage 1* weicht es um 53 % ab. Bei *LEIREV-Anlage 1* war bereits nach dem Bauabschluss der Anlage eine Differenz von fast 8 % im Vergleich zum Planzustand vorhanden. Diese erheblichen Volumenveränderungen sind zum einen die Folge des Eintrags von Sedimenten und zum anderen auf die Erosionen der Muldenböschung zurückzuführen. In den Querschnitten der Mulde (Abbildung 22) ist zu erkennen, dass sich durch Erosion das anfängliche Trapezprofil zu einem V-Profil verändert hat und die Breite der Sohle deutlich reduziert wurde.

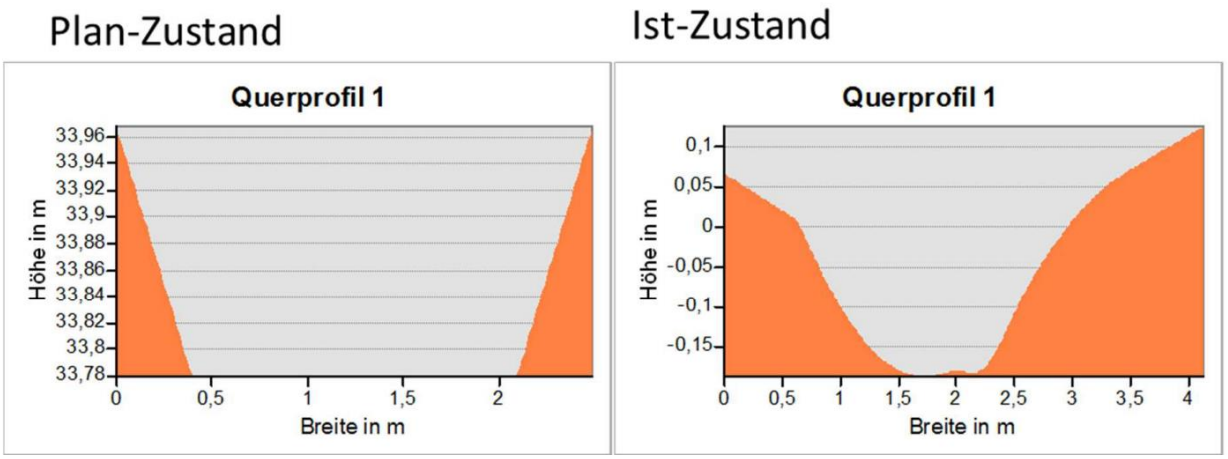


Abbildung 22: Änderung vom Muldenquerschnitt am Standort *LEIREV-Anlage 8*. Eine gleichartige Skalierung der Höhen und Breiten ist auf Grund unterschiedlicher Bezugspunkte nicht möglich (KLUGE et al. 2016).

Vor allem bei linienhaften, schmalen und straßenbegleitenden Mulden wirken diese Prozesse reduzierend auf das Volumen. Bei größeren Mulden hat die Böschungserosion eine geringere Auswirkung auf das Einstauvolumen. Der Längs- und Querschnitt für den Standort *LEIREV-Anlage 8* zeigt, dass Erosionen und Einträge auftreten können (Abbildung 23). Insbesondere im Bereich des Zulaufs kam es zu Ablagerungen, die eine Mächtigkeit von ca. 5 cm aufweisen. Dies hat eine ungleichmäßige Beschickung der Mulde zur Folge und die Kolmationsgefahr am Tiefpunkt der Mulde steigt.

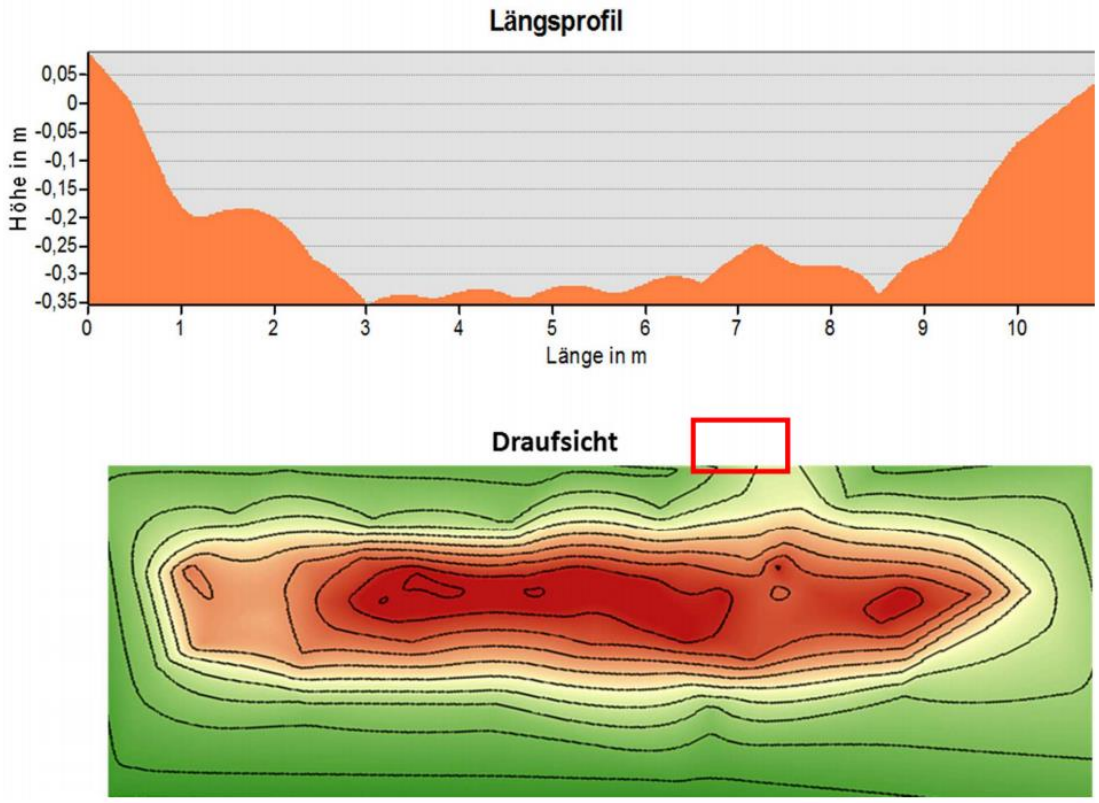


Abbildung 23: Längsschnitt und Draufsicht *LEIREV-Anlage 8* im Ist-Zustand (2015). Einlaufbereich ist rot markiert (KLUGE et al. 2016).

Trotz gewisser Messunsicherheiten, kann ein Trend festgestellt werden, der drei wesentliche Gründe für die Veränderung der Muldenvolumina aufzeigt:

- Sedimenteintrag führt zur Teilfüllung,
- Reduzierung der Einstauhöhe durch Erosion oder Setzungen,
- zu kleine bauliche Umsetzung.

Durch die Veränderung des Muldenvolumens wird das Gleichgewicht zwischen Zufluss, Versickerung und Zwischenspeicherung beeinträchtigt, sodass es zu längeren Einstauphasen kommen kann. Die hydraulische Leistungsfähigkeit nimmt ab.

Verlust der Wasserdurchlässigkeit bei Flächenversickerung

Die Ausführungen in diesem Kapitel beruhen auf den Ergebnissen des Abschlussberichts des Forschungsprojekts *Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer* (NOLTING et al. 2005). Im Rahmen dieses Projekts von der Fachhochschule Bochum und dem IKT Gelsenkirchen wurden bestehende wasserdurchlässige Flächen auf ihren Aufbau und die tatsächliche Versickerungsleistung nach mehrjähriger Nutzungsdauer überprüft. Damit sollten relevante Einflussfaktoren auf die Versickerungsfähigkeit der Flächen beim Bau und Betrieb der Anlagen identifiziert werden. Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass bei zwei von 23 untersuchten Objekten keine ausreichende oder eine zweifelhafte Durchlässigkeit vorhanden war. Diese zwei Anlagen waren durch ihre Lage in einer Senke bzw. an einen Schrottplatz angrenzend mit Schmutzpartikeln zugesetzt.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde festgestellt, dass die gemessenen Infiltrationsraten abhängig vom Wassergehalt des Belages und des Untergrundes waren. Die Wasserdurchlässigkeit bei trockenen Belägen ist deutlich höher als bei nassen Belägen. Dies wurde überprüft, indem an zwei Objekten an identischen Stellen nach Regentagen und Trockentagen die Infiltrationsrate gemessen wurde. Die Wasserdurchlässigkeit betrug bei den trockenen Belägen 1030 l/(s*ha) bzw. 1200 l/(s*ha) und war somit deutlich höher als bei den nassen Belägen, bei denen die Wasserdurchlässigkeit 210 l/(s*ha) bzw. 260 l/(s*ha) betrug.

Der Verschmutzungsgrad des Belages ist ein limitierender Faktor für die Durchlässigkeit. Er wird hauptsächlich durch die Lage und Flächennutzung beeinflusst. Während Bereiche, die in schattiger Lage oder unterhalb von Vegetationen liegen, oft vermoost und mit Feinpartikeln zugesetzt waren, konnten bei anderen Bereichen mit gleichen Belägen meistens keine augenscheinlichen Verschmutzungen beobachtet werden. Die Beläge in schattiger Lage und unterhalb von Vegetationen hatten in der Regel geringere Versickerungsraten. Eine geringere Wasserdurchlässigkeit konnte ebenfalls bei Anlagen, in die aufgrund der Nutzungsart Feinpartikel eingetragen werden, beobachtet werden. Ebenfalls wurden in Senken, in denen sich vermehrt Wasser konzentriert, eine verstärkte Verschmutzung durch Feinpartikel sowie Moosbildung dokumentiert.

Durch Wartung, wie zum Beispiel die Reinigung der Fugen und gegebenenfalls der Steine, kann die Wasserdurchlässigkeit erhöht werden. Um die Rückhaltefähigkeit von Schadsoffen nicht zu verringern, sollte ausgetragenes Fugenmaterial ersetzt werden. Die Reinigungsintervalle sind überwiegend von der Nutzung und Vegetation der angrenzenden Flächen abhängig. Eine

rechtzeitige Reinigung hilft, dass die Steine nicht komplett zugesetzt bzw. die Schmutzpartikel nicht zu tief in den Stein eingetragen werden.

Beim Einbau der Beläge konnte kein Unterschied zwischen Arbeiten durch Fachfirmen oder Privatpersonen festgestellt werden. Ein beobachteter Fehler beim Einbau war das Einfegen von Sand als Fugenmaterial in einen haufwerksporigen Stein. Dies kann die Wasserdurchlässigkeit negativ beeinflussen.

Mit zunehmender Nutzungsdauer der Anlagen nimmt auch der Schmutzpartikeleintrag zu. Darüber hinaus ist das Alter der Beläge jedoch kein maßgeblicher Einflussfaktor auf die Minderung der Wasserdurchlässigkeit. Gemäß den Ergebnissen der Untersuchungen von NOLTING et al (2005) sind die Einflussfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit von Flächenbelägen in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Einflussfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit eines Flächenversickerungsbelages (in Anlehnung an NOLTING et al. 2005)

Einflussfaktoren	**Auswirkungen auf die Wasserdurchlässigkeit**
Einbau (Eigenleistung/Fachfirma)	Es besteht kein Unterschied zwischen Einbau durch Fachfirmen oder Privatpersonen. Einbaufehler in Form von Einfegen eines feinen Sandes in einem haufwerksporigen Stein kann die Wasserdurchlässigkeit mindern.
Alter	Mit zunehmendem Alter der Anlagen werden Schmutzpartikel in den Belag eingetragen, die die Wasserdurchlässigkeit verringern können. Das Alter der Anlagen ist jedoch kein Haupteinflussfaktor.
Verschmutzung	Schmutzpartikel, wie z.B. Staub und Vermoosung, können die Wasserdurchlässigkeit erheblich mindern.
Nutzung	Die Nutzungsart kann zu einem Eintrag von Schmutzpartikeln führen und ggf. Setzungen des Belages verursachen.
Vegetation und Sonneneinstrahlung	Moosbewuchs oder Verschmutzungen durch Laub, Blüten, Pollenstaub oder Nadeln traten vermehrt unterhalb von Bäumen und Sträuchern sowie in Schattenlagen auf. In der Regel wiesen diese Flächen eine geringere Infiltrationsrate als die angrenzenden sauberen Flächen auf.
Reinigung	Die Reinigung des Belages (inklusive der Fugen) kann die Durchlässigkeit erhalten bzw. erhöhen.
Nässe des Belages	Der Wassergehalt eines Belages kann die Infiltrationsrate deutlich beeinflussen.

Gebäudevernässung

Kommt es durch Versickerung zu einer höheren Grundwasserneubildung und damit zu einem unerwünschten Anstieg des Grundwasserstandes, kann dies eine Kellervernässung zur Folge haben (GÖBEL et al. 2004; HÖLTING und COLDEWEY 2019). Eine hohe Gefahr der Kellerwandvernässung ist bei Rinnen oder Fallrohranschlüssen direkt am Haus, die in offene Rinnen münden, gegeben (KLUGE et al. 2016). Laut ÖNORM B 2506-1 *„ist darauf zu achten, dass durch das versickernde Wasser nicht Fundamente, Keller, Leitungskanäle und dergleichen durchfeuchtet werden, das heißt, dass diese nicht vom Sickerbereich bzw. der Grundwasseraufhöhung berührt werden dürfen. Daher ist zur Vermeidung von Vernässung ein ausreichender Sicherheitsabstand einzuhalten.“*

Hangrutschungen

Aufgrund der gesteigerten Durchnässung des Untergrundes durch Versickerung erhöht sich die Gefahr von Hangrutschungen (DWA 2006c).

Auftriebswirkung

Bei nichtfunktionierenden Sickeranlagen besteht die Gefahr der Auftriebswirkung an baulichen Anlagen. Befinden sich Gebäude innerhalb schwach durchlässiger Böden und in unmittelbarer Nähe einer nicht ordnungsgemäß funktionierenden Versickerungsanlage, so kann die Bauwerkshinterfüllung in einen wassergesättigten Zustand versetz werden, sodass unterschiedliche Auftriebskräfte auf die Bauwerkssohle wirken (ANKOWITSCH et al. 2017).

Bauwerkssetzung

Durch starke Durchfeuchtung des Bodens können Setzungen auftreten, die durch gezielte Versickerungen von Niederschlagswasser noch verstärkt werden (BURGHARDT et al. 1998). Dies kann Schäden an tragenden Bauwerkselementen zur Folge haben (ANKOWITSCH et al. 2017).

Spannungsumlagerungen

Kommt es zu einer Volumenzunahme durch eine zusätzliche Wasseraufnahme quellfähiger Böden aus Versickerungsanlagen, erhöht dies die Spannung, die auf angrenzende Kellerwände eines Bauwerks wirkt. Dies kann Bauwerksschäden, wie zum Beispiel Hebungen der Bodenplatten, zur Folge haben (ANKOWITSCH et al. 2017).

Gesundheitliche Schäden

Auch fehlende Betriebssicherheit bei Versickerungsanlagen, wie zum Beispiel keine Fluchtmöglichkeiten, fehlende Absperrungen oder der Betrieb in der Nähe von außergewöhnlich verunreinigten Flächen, können zu einer Gefahr werden (GEIGER et al. 2009, 156).

Störungen durch Kälte

Die Versickerungsleistung kann durch Gefrieren des Bodens, Eisbildung und Akkumulation von Schnee verringert werden. Durch Frosteinwirkung können Risse im Filtermedium entstehen, die zu einer kurzzeitig erhöhten Wasseraufnahme des Bodens führen können. Dies hat eine geringere Wahrscheinlichkeit von oberflächigem Einstau und Eisbildung zur Folge. Dieser Effekt tritt bei Sickerschächten nicht auf, sodass durch den großen Luftraum im Schacht sich auch in der Filterschicht noch Frost bilden kann. Da Starkniederschläge jedoch nur selten auf gefrorenen Boden treffen, ist die Gefahr von Überschwemmungen in kalten Perioden als insgesamt eher gering einzuordnen. Ebenfalls ist die maximale Schneeschmelzrate mit 2 mm/h bedeutend geringer als die Abflussrate gängiger Bemessungsniederschläge (GEIGER et al. 2009, 155–156). Weiterhin kann die Reduktion der mikrobiellen Aktivität die Reinigungsleistung der Anlagen in kalten Klimaregionen herabsetzen (MARSALEK et al. 2003; WESTERLUND und VIKLANDER 2006; SØBERG et al. 2014).

5.3 Konzeptionelles Modell

Das konzeptionelle Basismodell ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung 24 dargestellt. Es zeigt auf, wie die drei definierten Ereignisse *„Starkregen“*, *„Trockenheit“* und „*Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau, Betrieb*“ miteinander interagieren und wie dies die hydraulische Funktionsfähigkeit einer NWB beeinflussen kann.

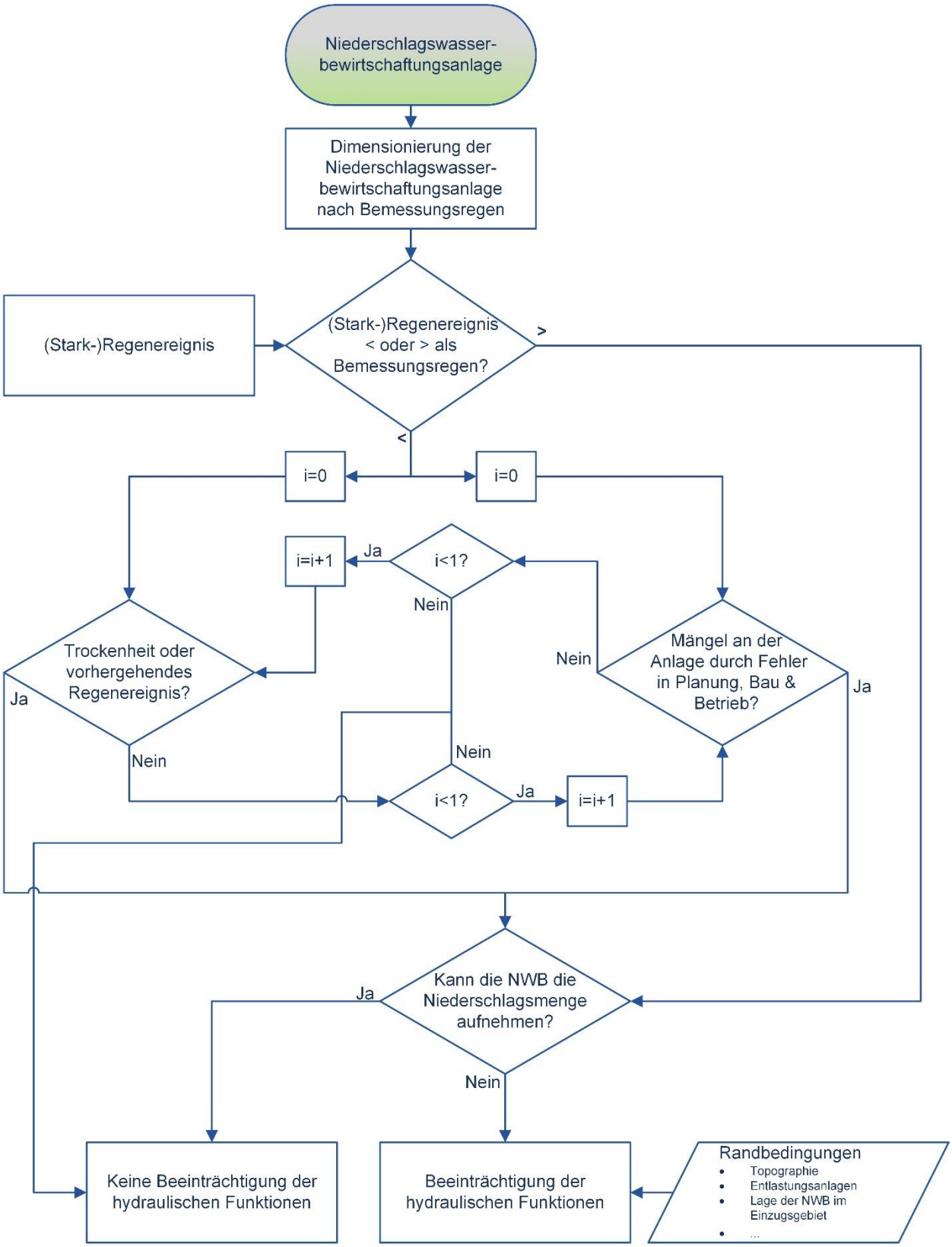


Abbildung 24: Ablaufdiagramm zur Bewertung der hydraulischen Funktionsfähigkeit bei (Stark-)Regenereignissen

Als Startpunkt des Modells ist die Auswahl einer der beschriebenen konventionellen oder naturnahen bzw. dezentralen NWB festgelegt. Die gewählte Anlage ist nach einem bestimmten

Bemessungsregen dimensioniert. Kommt es zu einem (Stark-)Regenereignis, findet eine Überprüfung statt, ob der Bemessungsregen größer oder kleiner als das (Stark-)Regenereignis ist. Wenn das (Stark-)Regenereignis größer als der Bemessungsregen ist, wird anschließend abgefragt, ob die NWB die Niederschlagsmenge aufnehmen kann. Wenn die NWB die Niederschlagsmenge nicht aufnehmen kann, kann von einer Reaktion, die die hydraulische Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt, ausgegangen werden. Zusätzlich wird die Reaktion von diversen Randbedingungen, wie zum Beispiel der Topographie, möglichen Entlastungsanlagen und der Lage der NWB im Einzugsgebiet, beeinflusst. Kann die NWB die Niederschlagsmenge aufnehmen, obwohl das (Stark-)Regenereignis größer als der Bemessungsregen ist, kann von keiner Beeinträchtigung der hydraulischen Funktionsfähigkeit ausgegangen werden. Dies kann unter anderem der Fall sein, wenn bei einer NWB Reserven im Vergleich zum Bemessungsregen vorhanden sind.

Ist das (Stark-)Regenereignis kleiner als der Bemessungsregen, muss geklärt werden, ob es zuvor eine Trockenperiode/ ein vorhergehendes Regenereignis gab oder ob Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau, Betrieb vorhanden sind. Dazu wird zunächst vor beiden Abfragen einer Zählervariablen *„i“* der Startwert Null zugewiesen und anschließend kontrolliert, ob es *„Trockenheit oder ein vorhergehendes Regenereignis“* gab oder *“Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau & Betrieb“* vorhanden sind. Dabei ist es irrelevant, welches der beiden Abfrageelemente zuerst überprüft wird, da bei einem negativen Ausgang der Abfrage, das andere Entscheidungselement überprüft wird. Diese weitere Überprüfung findet jedoch nur statt, wenn der Wert von *„i“* < 1 ist. Dadurch wird sichergestellt, dass die Schleife maximal einmal durchlaufen wird. Ist der Wert von *„i“* < 1 findet eine Inkrementierung von *„i“* um den Wert 1 statt und das andere Ereignis wird überprüft. Ist der Wert von *„i“* ≥ 1, wurde die Schleife zuvor schon durchlaufen und somit das andere Entscheidungselement bereits abgefragt. In diesem Fall gab es weder eine vorhergehende Trockenperiode oder ein vorhergehendes Trockenereignis, noch sind Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau & Betrieb vorhanden. Es kann von keiner Beeinträchtigung der hydraulischen Funktionsfähigkeit ausgegangen werden.

Wenn eines oder beide der Entscheidungselemente *„Trockenheit oder vorhergehendes Regenereignis“* oder „*Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau, Betrieb*“ mit *„ja“* beantwortet wird, muss das Entscheidungselement „*Kann die NWB die Niederschlagsmenge aufnehmen?“* abgefragt werden. Für den Fall, dass die NWB die Niederschlagsmenge aufnehmen kann, sind keine außerplanmäßigen Reaktionen, die die hydraulische Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigen, zu erwarten. Wenn die NWB die Niederschlagsmenge nicht aufnehmen kann, ist von einer Reaktion, die die hydraulische Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt, auszugehen. Auch in diesem Fall wird die Reaktion von diversen Randbedingungen beeinflusst.

Beispielhafte Betrachtung des Modells anhand einer Versickerungsmulde

Bei der Dimensionierung einer Versickerungsmulde wird laut ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV 2015b) ein 5-jährliches Niederschlagsereignis zugrunde gelegt, sofern es keine erhöhten Schutzanforderungen gibt. Bis zu diesem Bemessungsregen sollen die Funktionen Versickerung, Speicherung, Reinigung und Evapotranspiration des Niederschlagswassers gewährleistet sein.

Wenn bei einem (Stark-)Regenereignis, das größer als der Bemessungsregen ist, die Versickerungsmulde das Niederschlagswasser nicht aufnehmen kann, können die Funktionen der Versickerungsmulde versagen und es treten Überflutungen auf. Die Auswirkungen und Folgeschäden der Überflutung sind vom Vorhandensein von Entlastungsmöglichkeiten und Notwasserwegen sowie weiteren Randbedingungen, wie zum Beispiel der Lage der Anlage, abhängig. Ob die Versickerungsmulde die Niederschlagsmenge des betrachteten (Stark-)Regenereignisses tatsächlich nicht aufnehmen kann, wird zum Beispiel von vorhandenen Reserven der Mulde im Vergleich zum Bemessungsregen beeinflusst.

Die hydraulischen Funktionen der Versickerungsmulde können durch die definierten Ereigniskategorien „*Trockenheit“* und „*Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb“* beeinträchtigt werden. Aufgrund einer vorhergehenden Trockenperiode oder eines vorherigen Regenereignisses besteht die Möglichkeit, dass die Versickerungsleistung und Speicherfähigkeit reduziert wird. Durch ein mögliches Absterben der Vegetation (GEIGER et al. 2009, 134; EPPELHOLTZ 2019) kann ebenfalls die Evapotranspiration beeinträchtigt werden. Zusätzlich kann die Reinigungsleistung beeinflusst werden, sodass insbesondere die Dauer der vorhergehenden Trockenperiode die Schadstoffkonzentration im „First Flush“ eines neuen Regenereignisses beeinflussen kann (LEE et al. 2002; ZURAINI und ALIAS 2020). Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb können Erosionsschäden und Ausspülungen, Setzungen, Trittschäden und Verdichtung, Materialermüdung und -schäden an Bauteilen, Vegetationsschäden, Sedimentablagerung sowie Schäden infolge von Nutzungskonflikten, unplanmäßiger Nutzung- und Gestaltungsänderung, Schadstoffen im Boden, Sickerwasser, Grundwasser und in Oberflächengewässern hervorrufen (KLUGE et al. 2016).

Wenn aufgrund einer oder diverser Reaktionen der Ereigniskategorien „*Trockenheit“* und „*Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb“* die Versickerungsmulde die Niederschlagsmenge bei einem (erneuten) (Stark-)Regenereignis nicht mehr aufnehmen kann, ist von einer Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Anlage auszugehen, insbesondere von einer Überflutung. Auch in diesem Fall wird die Reaktion von diversen Randbedingungen beeinflusst.

Gab es weder *„Trockenheit“* oder ein *„vorhergehendes Regenereignis“,* noch sind „*Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau & Betrieb“* vorhanden, kann davon ausgegangen werden, dass keine Beeinträchtigung der hydraulischen Funktionsfähigkeit der Versickerungsmulde eintritt.

Beispielhafte Betrachtung des Modells anhand eines Mischwasserkanals

Bei der Dimensionierung eines Mischwasserkanals wird laut ÖNORM EN 752 ein 1–10-jährliches Niederschlagsereignis zugrunde gelegt. Bis zu dem festgelegten Bemessungsregen soll das Niederschlagswasser ohne Probleme abgeleitet werden und Überflutungen begrenzt werden.

Wenn bei einem (Stark-)Regenereignis, das größer als der Bemessungsregen ist, der Mischwasserkanal das Niederschlagswasser nicht aufnehmen kann, kann die Funktionsfähigkeit des Mischwasserkanals beeinträchtigt werden und es können Überflutungen auftreten. Die Auswirkungen und Folgeschäden der Überflutung sind vom Vorhandensein von Entlastungsmöglichkeiten und Notwasserwegen sowie weiteren Randbedingungen, wie zum Beispiel der Lage des Kanals im Einzugsgebiet oder der Beschaffenheit des Abwassers, abhängig. Ob der

Regenwasserkanal die Niederschlagsmengen bei dem betrachteten (Stark-)Regenereignis tatsächlich nicht aufnehmen kann, wird zum Beispiel von vorhandenen Reserven im Vergleich zum Bemessungsregen sowie der konzentrierenden und verteilenden Wirkung des Kanalnetzes beeinflusst.

Die Funktionen des Mischwasserkanals können durch die definierten Ereigniskategorien *„Trockenheit“* und *„Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb“* beeinträchtigt werden. Aufgrund einer vorhergehenden Trockenperiode oder eines vorherigen Regenereignisses besteht die Möglichkeit, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit beeinträchtigt wird. Durch Sedimentation und Ablagerungen bei zu geringer Schubspannung kann der Kanalquerschnitt verkleinert werden sowie der Abfluss durch eine Zunahme der betrieblichen Rauheit verringert werden. Zusätzlich kann durch einen Schmutzfrachtaustrag und Geruchsbelästigungen die Umwelt beeinträchtigt werden (SCHMITT 1992; zit. bei DETTMAR 2005). Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb können funktionelle und bauliche Probleme im Kanalnetz sowie an den Spezialbauwerken verursachen. Diese Probleme können zum Beispiel durch fehlende Kontrollen und Wartung auftreten (ÖNORM EN 752).

Wenn aufgrund einer oder diverser Reaktionen der Ereigniskategorien „*Trockenheit“* und *„Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb“* der Mischwasserkanal die Niederschlagsmenge bei einem (erneuten) (Stark-)Regenereignis nicht mehr aufnehmen kann, kann die Funktionsfähigkeit des Mischwasserkanals beeinträchtigt werden und es können Überflutungen auftreten. Auch in diesem Fall wird die Reaktion von diversen Randbedingungen beeinflusst.

Gab es weder eine vorhergehende Trockenperiode oder ein vorhergehendes Regenereignis, noch sind Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau & Betrieb vorhanden, kann davon ausgegangen werden, dass keine Beeinträchtigung der hydraulischen Funktionsfähigkeit des Mischwasserkanals eintritt.

6. Interpretation

Im Rahmen der Literaturrecherche konnten drei Ereignisse identifiziert werden, die diverse Reaktionen bei den NWB hervorrufen können und somit Auswirkungen auf die Funktionsweise der Anlagen haben können. Dass die unterschiedlichen Ereignisse *Starkregen*, *Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrie*b sowie die auftretenden Reaktionen nicht entkoppelt voneinander betrachtet werden können, zeigt das erstellte konzeptionelle Modell.

Die außerplanmäßigen Reaktionen der NWB konnten grundsätzlich zum einen als Reaktionen der konventionellen Kanalisationsanlagen und zum anderen als Reaktionen der dezentralen bzw. naturnahen Anlagen zusammenfassend beschrieben werden. Es muss jedoch bei jeder NWB zunächst individuell geklärt werden, nach was für einem Bemessungsregen sie dimensioniert wurde und ob sie bei einem (Stark-)Regenereignis die anfallende Niederschlagsmenge theoretisch und praktisch aufnehmen kann.

Anhand des erstellten konzeptionellen Modells werden die interferierenden Faktoren *Starkregen, Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* in Beziehung gesetzt, um zu einer adäquaten Kapazitätseinschätzung des ursprünglich angesetzten Bemessungsregen der betreffenden NWB zu gelangen.

Exemplarisch stößt die NWB, sofern keine Reserven vorhanden sind, bei einem Starkregenereignis, das größer als die Bemessungsregenspende ist, an ihre Grenzen; häufig mit der Konsequenz einer Überschwemmung. Es können jedoch auch weitere Reaktionen auftreten. Bauteile der Anlagen können beschädigt werden und es kann zu Folgeschäden auf Grund der Überflutung kommen. Speziell bei Gründächern muss der Starkregen auch statisch berücksichtigt werden, um ein Versagen von Gebäudeteilen zu verhindern. Des Weiteren spielt bei Starkregenereignissen die Topografie eine entscheidende Rolle, da die auftretenden Sturzfluten sich im Flachland und Hügelland bzw. Mittelgebirge hinsichtlich ihrer Strömungs- und Abflusscharakteristik unterscheiden. Zusätzlich zur aufnehmenden Bemessungsregenspende und der Topografie konnten auch noch die Art und Dichte der Bebauung, der Boden und seine Versiegelung sowie der Feuchtezustand des Bodens als mögliche Einflussfaktoren auf die Reaktion einer NWB auf ein Starkregenereignis identifiziert werden.

Entlastungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel das gezielte Ableiten des Niederschlagswassers über Notüberläufe und Notwasserwege, können hilfreich sein, die Überflutungsauswirkungen an und abseits der Anlage einzuschränken. Da diese Maßnahmen häufig im Rahmen von Straßenerneuerungen durchgeführt werden, bedarf es aufgrund bürokratischer Erfordernisse einer gewissen Zeitspanne für die baulichen Maßnahmen.

Ist der Bemessungsregen größer als das Regenereignis, stellt sich die Frage, ob die NWB die Niederschlagsmenge auch tatsächlich aufnehmen kann. Dabei haben die definierten Ereignisse *Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* einen Einfluss. Es muss überprüft werden, ob sich die Anlage im geplanten Betriebszustand befindet und ob es zuvor eine Trockenperiode oder ein vorhergehendes Regenereignis gab. Im Fall einer längeren Trockenperiode vor dem Regenereignis, kann dies zu Sedimentation und Bildung von

Ablagerungen im Kanal führen. Dies kann Auswirkungen auf die hydraulische Leistungsfähigkeit, betrieblichen Aufwendungen und die Umwelt haben. Durch die Beeinträchtigung der hydraulischen Leistungsfähigkeit besteht auch bei Regenereignissen, die kleiner sind als der Bemessungsregen, die Möglichkeit, dass der Kanal überlastet wird. Für Versickerungsanlagen bedeutet eine längere Trockenperiode, dass das Niederschlagswasser schlechter oder gar nicht versickern kann. Ebenfalls kann es die Vegetation beeinträchtigen, die gegebenenfalls ohne Zusatzbewässerung nicht überdauern kann.

Im Fall eines vorherigen Regenereignisses können die Kanäle und Rückhaltekapazitäten in der Kanalisation bereits gefüllt sein oder es kann bei Versickerungsanlagen durch die höhere Bodenfeuchte weniger versickern. Ebenfalls kann die Dauer der Trockenperiode die Schadstoffkonzentration im „First Flush“ eines Regenereignisses beeinflussen.

Gab es Mängel an der Anlage durch Fehler in der Planung, beim Bau oder während des Betriebs der NWB, können die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Reaktionen auftreten und die Funktion der Anlage eingeschränkt sein. Diese Mängel können dazu führen, dass die Anlagen nicht mehr in der Lage sind, den Bemessungsregen vollständig abzuleiten, zu versickern, zu speichern oder zu verdunsten.

Bei der Planung und dem Bau von NWB sollten die entsprechenden Normen und Regelblätter herangezogen werden und alle Randbedingungen berücksichtigt werden, damit der spätere Betrieb ordnungsgemäß ablaufen kann und die dimensionierten Regenereignisse bewältigt werden können. Es sollten alle involvierten Akteur*innen einbezogen werden und die Zuständigkeiten für den Betrieb im Voraus bereits abgeklärt sein.

Die in Kapitel 5.2.1.3 beschriebenen Probleme, die während der Betriebsdauer von Abwasserleitungen und -kanälen auftreten können, können sowohl die hydraulische Leistungsfähigkeit der Anlagen beeinträchtigen als auch die Funktionsweise teilweise oder komplett einschränken. Dies betrifft zum einen die Abwasserleitungen selbst und zum anderen auch die Spezialbauwerke, wie zum Beispiel Speicherkanäle oder Pumpanlagen. Dadurch können Überflutungen auftreten oder das Abwasser aus undichten Kanälen austreten. Ebenfalls können unerwünschte Geruchsemissionen auftreten.

Auch bei Versickerungsanlagen können Mängel an der Anlage durch Fehler während des Betriebs die hydraulische Leistungsfähigkeit beeinträchtigen und die Funktionsweise teilweise oder komplett einschränken. Da das Retentionsvolumen ein entscheidender Faktor dabei ist, welche Mengen an Niederschlagswasser zurückgehalten werden können, wurde bei der Darstellung der Ergebnisse ein besonderes Augenmerk auf den Verlust des Retentionsvolumens bei Versickerungsanlagen gelegt. Das Einstauvolumen wird durch Sedimentablagerungen an der Muldensohle sowie durch Erosionen und Trittschäden, die zur stofflichen Umlagerung von der Böschung in die Sohle führen, beeinflusst. Abhängig vom Verhältnis der Erosionen bzw. des eingetragenen Materials zum Gesamtvolumen der Anlage, haben die Beeinträchtigungen bei kleineren Mulden einen stärkeren Einfluss als bei größeren Mulden. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die Versickerungsanlagen zum Teil mit einem kleineren Muldenvolumina gebaut wurden, als es eigentlich geplant und vorgesehen war.

Bei den oberirdischen Versickerungsanlagen ohne Speicherfunktion, den Flächenversickerungen, ist die Wasserdurchlässigkeit ein entscheidender Faktor für die Funktionsfähigkeit der

Anlage. Das Forschungsprojekt von NOLTING et al. (2005) hat gezeigt, dass Einbaufehler, das Alter der Anlage, der Verschmutzungsgrad, die Nutzungsart, die Nässe des Belags, die Vegetationsart sowie die Sonneneinstrahlung die Wasserdurchlässigkeit negativ beeinflussen können, die Wartung und Reinigung der Anlagen hingegen die Durchlässigkeit erhalten und sogar erhöhen kann. Auch der Betrieb von unterirdischen Versickerungsanlagen ist vor allem von der Durchlässigkeit des Untergrunds abhängig.

Als Folgeschäden bei der Versickerung von Niederschlagswasser sollten Gebäudevernässungen, Hangrutschungen, Auftriebswirkungen, Bauwerkssetzungen und Spannungsumlagerungen berücksichtigt werden. Ebenfalls sollte die Anlage, falls notwendig, ausreichend durch Fluchtmöglichkeiten und Absperrungen gesichert sein, sodass keine Gefahr für die Bevölkerung besteht.

Der Zustand einer NWB hinsichtlich der Ereigniskategorien *Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* hat nicht nur bei Regenereignissen, die kleiner sind als der Bemessungsregen, eine Relevanz. Er muss auch bei Starkregenereignissen berücksichtigt werden, da sich die Reaktionen und Folgeschäden verändern können, wenn die Anlage nicht die dimensionierte Niederschlagsmenge aufnehmen kann. Bei allen NWB sollte ein besonderes Augenmerk auf Anlagen gelegt werden, bei denen mechanisch oder elektrisch betriebene Anlagenteile involviert sind, da diese besonders fehleranfällig sind.

Mit Hilfe von Kontrolle und Wartung können viele der Probleme verhindert oder vermindert werden. Die in den Normen und Regelblättern vorgeschlagene betriebsbedingte Überwachung und Wartung kann positive Aspekte haben, da dabei Probleme vorrausschauend entdeckt und behoben werden können. Es besteht jedoch auch die Gefahr, dass Überwachung und Wartung in einem zu geringen Maße ausgeübt werden, Störfälle auftreten und die Wartungsarbeiten reaktiv durchgeführt werden müssen. Ebenso können Diskrepanzen zwischen der Wahrnehmung der Betreiber*innen und der Realität bestehen, ob eine Anlage tatsächlich voll funktionsfähig ist. Dies trifft besonders unterirdische Anlagen, da bei der Einschätzung das äußere Erscheinungsbild häufig eine größere Rolle spielt. Jedoch können auch bei oberirdischen NWB kleinere Schäden, die toleriert werden, die Leistungsfähigkeit der Anlagen langfristig beeinträchtigen. Auch wirtschaftliche Gründe können für eine mangelhafte Kontrolle und Wartung verantwortlich sein. Ein zusätzliches Problem könnte eine mangelhafte Dokumentation der Überwachungs- und Wartungstätigkeiten sowie der Störfälle sein. Das Wissen der handelnden Personen ist häufig vorhanden, wird jedoch vielfach nicht aufgezeichnet. So besteht die Gefahr, dass diese Expertise für künftige Verantwortungsträger*innen verloren geht und nicht mehr verfügbar ist.

Da das Ziel der Siedlungsentwässerung sein sollte, das Wasser schadlos abzuleiten, zu versickern, zu speichern oder zu verdunsten, sollte das Wasser ohne Schadstoffe in den Boden, das Grundwasser oder das Oberflächenwasser geleitet werden. Bei Mischwasserkanälen besteht die Gefahr, dass das Abwasser durch das Schmutzwasser kontaminiert ist und ohne Reinigung durch defekte Kanäle oder bei Überflutungen in die Umwelt gelangt. Geschieht dies bei Regenwasserkanälen, Speicherkanälen oder Transportgräben ohne Versickerung, ist der Verschmutzungsgrad in der Regel nur durch das Niederschlagswasser bestimmt. Versickerungsanlagen, die eine

eigene Reinigungsfunktion haben, sollten so dimensioniert sein, dass sie die jeweiligen Grenzwerte einhalten. In den in der Arbeit untersuchten Forschungsergebnissen gab es keine Überschreitung von Grenzwerten bei Schwermetallen- und PAK-Konzentrationen. Die betrachteten Schadstoffverläufe in den Bodenschichten weisen auch darauf hin, dass in den untersuchten Versickerungsanlagen ein guter Rückhalt der Schwermetalle erfolgt. Es wurde jedoch auch angemerkt, dass Forschungsergebnisse über eine längere Betriebsdauer der Versickerungsanlagen notwendig wären und jede Anlage auf Grund der unterschiedlichen Standortbedingungen individuell betrachtet werden müsse. In den geführten Interviews berichtete keiner der befragten Personen von Schadstoffproblemen. Da bei pH-Werten < 6 die Adsorptionsfähigkeit von Kationen stark abnimmt und diese somit ausgewaschen werden könnten, ist bei der Planung und beim Bau der Anlage zu beachten, dass ein geologisches Ausgangsmaterial mit pH-Wert im neutralen bis basischen Bereich ausgewählt wird. Ebenso sollte während des Betriebs der Anlagen ein besonderes Augenmerk auf punktuelle Zuläufe gelegt werden, da die Säurepufferkapazität an dieser Stelle durch die intensive Beschickung schneller aufgebraucht wird. Durch Versalzung des Bodens, durch zum Beispiel Tausalzeinsatz im Winter, kann das Grundwasser belastet werden, sowie die Wasserdurchlässigkeit des Bodens verringert werden. Im Falle eines Starkregenereignisses und in der Starkregenvorsorge muss abgewogen werden, ob eine kurzzeitige Einleitung schadstoffbelasteten Niederschlagswassers in die Umwelt zumutbar ist, um schwerwiegendere Schäden zu verhindern.

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden sollte und im Entwurf des DWA-A 138-1 beschrieben wird, ist die Ästhetik der Anlagen. Wird das Erscheinungsbild gestört, ist das nicht zwangsläufig eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit. Da der optische Zustand der Anlage jedoch oft mit der Kontrolle und Wartung zusammenhängt, kann es ein Indiz für eine gut gepflegte und voll funktionsfähige NWB sein. Ebenfalls könnte ein für die Bürger*innen ansehnliches Erscheinungsbild dabei helfen, die Akzeptanz der dezentralen bzw. naturnahen Anlagen zu erhöhen.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen sollen so dimensioniert werden, dass sie die jeweils angedachten Funktionen Ableitung, Versickerung, Speicherung, Evapotranspiration und Reinigung erfüllen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten die Ereignisse *Starkregen, Trockenheit* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* als Ursachen identifiziert werden, bei denen die Funktionen der Anlagen teilweise oder komplett beeinträchtig werden.

Mit Hilfe einer Literaturrecherche und Expert*inneninterviews wurden Möglichkeiten herausgearbeitet, wie die Anlagen auf diese Ereignisse reagieren können. Welche Reaktion einer individuell betrachteten Anlage jedoch genau auf eines der definierten Ereignisse erfolgt, kann nicht pauschal beantwortet werden. So kristallisierte sich besonders die Interaktion der drei Ereignisse als relevant in der Beurteilung der Funktionsfähigkeit von NWB heraus, sodass dies in einem konzeptionellen Modell dargestellt wurde.

Mit Hilfe des Modells konnte ein standardisierter Rahmen geschaffen werden, in dem die Faktoren, die die hydraulische Funktionsfähigkeit einer NWB beeinflussen, im Zusammenspiel miteinander abgebildet sind. Das Modell ist eine Orientierungshilfe, mit dem eine vergleichbare Funktionalitätsprüfung von verschiedenen NWB erfolgen kann. Auf Basis dessen können weiterführende Maßnahmen entwickelt werden, die den Zustand einer NWB bewerten und ihren Beitrag in der Siedlungsentwässerung sowie insbesondere in der Starkregenvorsorge sicherstellen. Denkbar wäre zum Beispiel eine standardisierte Checkliste oder Applikation, mit der NWB hinsichtlich eines Notfallmanagements in regelmäßigen Abständen auf die Funktionsfähigkeit überprüft werden.

Dazu müssen jedoch zusätzlich die Anlagen im Kontext des gesamten Siedlungsentwässerungssystems einer Gemeinde berücksichtigt werden und nicht wie in der vorliegenden Arbeit die Anlagen einzeln betrachtet werden. Als besonders relevante Randbedingung, die die Reaktion einer Anlage beeinflusst, konnte der Standort einer Anlage identifiziert werden. Die Lage ist bereits bei der Planung entscheidend für die Anlagenauswahl. Zusätzlich unterscheiden sich die Abflusscharakteristika bei Sturzfluten abhängig von der Topografie, sodass je nach Berg- oder Tallage abweichende Oberflächenabflüsse auftreten. Ebenso sind die angeschlossenen Flächen mitverantwortlich, welcher stofflichen Belastung die NWB ausgesetzt ist.

Die Literaturrecherche hat insgesamt gezeigt, dass es für die Kanalisationsanlagen der konventionellen Regenwasserbewirtschaftung mehr Informationen hinsichtlich eines Störfallmanagements gibt als für die naturnahen und dezentralen Anlagen. Dies spiegelt sich besonders in den Normen wider, in denen es für Kanalisationen eine detaillierte Tabelle mit möglichen Schadensfällen gibt. Bei den naturnahen und dezentralen Anlagen konnte im Rahmen dieser Arbeit keine Zusammenfassung von möglichen Schadensfällen gefunden werden.

Während Starkregen und Trockenheit als natürliche Einflussfaktoren auf eine NWB nicht direkt beeinflusst werden können, besteht während der Planung, des Baus und des Betriebs die Möglichkeit, die Reaktionen, die durch die natürlichen Einflussfaktoren eintreten können, zu reduzieren oder zu verhindern. Ein Bestandteil, auf den in Zukunft mehr Wert gelegt werden sollte, ist die Ästhetik einer Anlage. Durch ein positives äußeres Erscheinungsbild könnte die Einbeziehung

der Bevölkerung gestärkt werden und die dezentralen Anlagen und multifunktionalen Flächen werden akzeptiert. Dies ist für den langfristigen Erhalt der dimensionierten Funktionen von hoher Relevanz.

Ein Ansatz, um die Auswirkungen der Ereignisse generell in den Griff zu bekommen, ist, anstelle einer „*fail-safe*“ Planung einen „*safe-to-fail*“-Ansatz zu wählen. *Fail-Safe* bedeutet, dass die Anlagen nicht darauf ausgelegt sind, zu versagen und falls der Versagensfall doch eintreten sollte, die Auswirkungen immens sind. *Safe-to-fail* hingegen berücksichtigt den Versagensfall bereits in der Planung, sodass die Auswirkungen reduziert werden können (KIM et al. 2019). Diese Methode wird durch zum Beispiel Notüberläufe und Notwasserwege auch schon umgesetzt, beinhaltet aber weitaus mehr Potential für die Zukunft.

Die wasserwirtschaftlichen Institutionen und Verantwortungsträger sind sich der Aktualität der Thematik bewusst. Das Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA 2006c) wurde grundlegend überarbeitet. Der Entwurf der Überarbeitung stand bis zum 31.1.2021 öffentlich zur Diskussion, wurde aber noch nicht veröffentlicht.

Zusätzlich wurde 2014 das Merkblatt DWA-M 179 „*Empfehlungen für Planung und Betrieb von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung*“ von der DWA angekündigt. Dieses Merkblatt soll Erkentnisse zum Betrieb und Betriebsaufwand liefern sowie die Rolle der Anlagen in der Niederschlagswasserbehandlung einordnen. Das Merkblatt sollte bis Mitte 2016 fertiggestellt sein, wurde jedoch bis zur Fertigstellung der vorliegenden Arbeit noch nicht veröffentlicht (DWA 2021).

Inwieweit dezentrale Anlagen in der Starkregenvorsorge eine Rolle spielen werden, bleibt zu beobachten. Im Merkblatt DWA-M 119 „*Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen*“ (DWA 2016) werden dezentrale Versickerung, Retention und Verdunstung in nur einem kurzen Abschnitt erwähnt. Sie könnten zur Entschärfung lokaler Überflutungsgefahren beitragen, seien aber bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen nur begrenzt wirksam (DWA 2016).

Da dezentrale Anlagen erst seit einigen Jahren in größerem Umfang eingesetzt werden, müssen Erkenntnisse zum langfristigen Betrieb der Anlagen noch wissenschaftlich auf Feldmaßstab erforscht und abgesichert werden und detaillierte Modellierungen durchgeführt werden.

8. Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels machen sich durch zunehmende Starkregenereignisse und Trockenperioden auch in der Siedlungsentwässerung bemerkbar, sodass eine Anpassung an die auftretenden Veränderungen notwendig ist.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit Hilfe einer Literaturrecherche sowie drei Expert*inneninterviews, mögliche Reaktionen von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen auf auszuwählende Ereignisse, die die Siedlungsentwässerung unter Druck bringen können, auszuarbeiten und diese Erkenntnisse bestmöglich in einem konzeptionellen Modell darzustellen. Dies erfolgte im Rahmen des BEJOND-Forschungsprojekts am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien im Bearbeitungszeitraum vom 23.11.2020–11.11.2021.

Um die Fragestellungen zu beantworten, wurde zunächst ein Überblick über die relevanten rechtlichen Grundlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung gegeben sowie die wichtigsten Normen und Regelwerke aufgeführt. Es erfolgte eine wasserwirtschaftliche Einordnung der Siedlungsentwässerung sowie eine Darstellung der aktuellen Situation in Österreich. Nachfolgend wurden die technischen Grundlagen zum Wasserhaushalt und Wasserkreislauf, zur Relevanz des Bodens im Wasserregime sowie zu möglichen Verunreinigungen von Niederschlagswasser behandelt. Neben der Erläuterung der Funktionsweise im planmäßigen Betriebszustand und der Dimensionierung von ausgewählten NWB erfolgte eine Einteilung der Anlagen in konventionelle Kanalisationsanlagen und dezentrale bzw. naturnahe Anlagen. Zusätzlich wurde der Ansatz von NWB als Bestandteil der multifunktionalen Flächennutzung dargestellt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit werden in den nachfolgenden Absätzen abschließend zusammengefasst.

1. Es konnten die Ereignisse *Starkregen, Trockenheit (Dürre)* und *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* identifiziert werden, dass sie bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung und NWB, im Kontext von österreichischen Gemeinden, untersucht werden sollen. Diese Ereignisse wurden beschrieben, definiert und im Falle der Ereigniskategorie *Mängel an der Anlage durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb* wurde aufgezeigt, wie die NWB fachgerecht geplant, gebaut und betrieben werden sollen.

2. Bei Starkniederschlägen haben neben der Niederschlagsintensität die Abflusskapazität der Entwässerungsanlagen, die Dichte und Art der Bebauung, die topographische Situation, der Boden und seine Versiegelung sowie der Feuchtezustand vom Boden einen Einfluss auf die Entstehung von Extremabflüssen.

3. In der Planungsphase von NWB sind diverse Randbedingungen zu berücksichtigen, um die Anlagen gemäß der Dimensionierung betreiben zu können. Dazu zählen unter anderem die geeignete Auswahl einer Anlage für den jeweiligen Standort, die Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen und die Festlegung von Zuständigkeiten für den späteren Betrieb.

4. Beim Bau der Anlagen sollten die Empfehlungen der Normen und Regelwerke berücksichtigt werden. Die Kontrolle und Wartung der NWB sollte ebenfalls gemäß den Normen und Regelwerken erfolgen. Die Bewertung des Zustands der Anlage kann gegebenenfalls vom tatsächlichen Zustand der Anlage abweichen.

5. Die Reaktionen der Anlagen auf die identifizierten Ereignisse wurden in Reaktionen von konventionellen Kanalisationsanlagen und Reaktionen von dezentralen bzw. naturnahen Anlagen getrennt voneinander beschrieben.

6. Bei Starkregenereignissen, die größer als der Bemessungsniederschlag sind, stoßen die NWB an ihre Grenzen. Bei Kanalisationsanlagen können Überflutungen auftreten. Dies kann negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, angrenzende Gebäude und die Infrastruktur haben. Ebenfalls kann das Niederschlagswasser gegebenenfalls nicht in die Kanalisation eintreten, obwohl das Kanalnetz nicht voll ausgelastet ist.

7. Ist ein Starkregenereignis größer als das Bemessungsregenereignis, können Versickerungsanlagen versagen und überfluten. Obwohl Versickerungsanlagen vermehrt in der Starkregenvorsorge eingesetzt werden, finden sich dennoch nicht viele Veröffentlichungen zu detaillierten Reaktionen der Anlagen auf Starkregenereignisse.

8. Bei Trockenheit kann es im Kanal zu Sedimentation und Bildung von Ablagerungen kommen. Dies kann die hydraulische Leistungsfähigkeit und Umwelt beeinträchtigen sowie die betrieblichen Aufwendungen erhöhen.

9. Bei Versickerungsanlagen kann Trockenheit die Versickerungsfähigkeit des Bodens negativ beeinträchtigen und die Vegetation absterben. Bei einem vorhergehenden Regenereignis kann die Teilsättigung des Bodens die Versickerungsleistung ebenfalls deutlich reduzieren.

10. Aufgrund von Fehlern in der Planung, dem Bau oder während des Betriebs von Kanalisationsanlagen können funktionelle Probleme (wie zum Beispiel Verstopfungen und Ablagerungen) und bauliche Probleme (wie zum Beispiel Rohrbrüche) sowie Probleme an Spezialbauwerken auftreten. Dabei sind generell Bauteile mit Mechanik besonders anfällig.

11. Bei Versickerungsanlagen können während des Baus und Betriebs Erosionsschäden und Ausspülungen, Setzungen, Trittschäden und Verdichtung, Materialermüdungen und -schäden an Bauteilen, Vegetationsschäden, Sedimentablagerungen sowie Schäden infolge von Nutzungskonflikten, unplanmäßiger Nutzungs- und Gestaltungsänderung und Schadstoffen im Boden, Sickerwasser, Grundwasser und in Oberflächengewässern auftreten.

12. Der Verlust des Retentionsvolumens kann die hydraulische Leistungsfähigkeit bei Versickerungsanlagen mit Speicherfunktion maßgeblich beeinträchtigen. Das Einstauvolumen wird durch Sedimentablagerungen an der Muldensohle sowie durch Erosionen und Trittschäden, die zu stofflichen Umlagerungen von der Böschung in die Sohle führen, beeinflusst. Bei Flächenversickerungen ist die Wasserdurchlässigkeit der entscheidende Faktor für die

Funktionsfähigkeit der Anlagen. Diese wird durch Einbaufehler, das Alter der Anlage, den Verschmutzungsgrad, die Nutzungsart, die Nässe des Belags, die Vegetationsart und die Sonneneinstrahlung negativ beeinflusst sowie durch Wartung und Reinigung erhöht.

13. Bei allen NWB besteht die Gefahr, dass Schadstoffe über die Anlagen in die Umwelt getragen werden. Während bei Mischwasserkanälen kontaminiertes Abwasser ausgetragen werden kann, wird bei Regenwasserkanälen, Speicherkanälen, Transportgräben sowie den dezentralen Versickerungsanlagen der Verschmutzungsrad in der Regel durch das Niederschlagswasser bestimmt. Durch die Reinigungsfunktion der dezentralen Anlagen sollte ein Schadstoffeintrag in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer in der Regel kein Problem sein.

14. Durch eine korrekte Kontrolle und Wartung können viele der Probleme verhindert oder vermindert werden. Eine regelmäßige Wartung wirkt sich ebenfalls positiv auf die Ästhetik der Anlage aus. Dies könnte zu einer größeren Akzeptanz in der Bevölkerung führen und eine lange Lebensdauer der Anlagen begünstigen.

15. Das konzeptionelle Modell schafft einen standardisierten Rahmen, in dem die Faktoren, die die hydraulische Funktionsfähigkeit einer NWB beeinflussen, im Zusammenspiel miteinander abgebildet sind.

16. Für eine exakte Beurteilung, wie NWB auf bestimmte Ereignisse reagieren, müssen Feldstudien und Modellierungen durchgeführt werden und die Anlagen mit allen Randbedingungen im Kontext der gesamten Siedlungsentwässerungen einer Gemeinde berücksichtigt werden.

9. Literaturverzeichnis

ABEL, S. (2015). Building rubble composed soils: contamination status and sulfate release. Dissertation. Berlin, TU Berlin. Online verfügbar unter https://www.boden.tu-berlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/_diss/abel_stefan.pdf (abgerufen am 01.09.2021).

ANKOWITSCH, A./BILEK, A./DIEBOLD, W./DÖHRN, V./EPPENSTEINER, G./FUXJÄGER, G./HOFER, D./LUIDOLT, U./MAURER, G./NEUBAUER, E./NEUHOLD, G./PIRKNER, W./RAUCH, P./RAUCHLATNER, P./SCHOBER, M./SCHWARZBECK, H./SCHWARZL, H./TESCHINEGG, A./TOPF, G. (2017). Leitfaden für Oberflächenentwässerung. Graz.

APCC (Hg.) (2018). Österreichischer Special Report Gesundheit, Demographie und Klimawandel (ASR18). Austrian Panel on Climate Change (APCC). Wien, Österreichische Akademie der Wissenschaften.

B1 (2021). Interview mit B1 für die Masterarbeit zu dem Thema "Konzept zur Bewertung von Auswirkungen außerordentlicher und außerplanmäßiger Ereignisse auf Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen". Interview durch J. LASCHINSKI am 06.04.2021.

B2 (2021). Interview mit B2 für die Masterarbeit zu dem Thema "Konzept zur Bewertung von Auswirkungen außerordentlicher und außerplanmäßiger Ereignisse auf Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen". Interview durch J. LASCHINSKI am 14.04.2021.

B3 (2021). Interview mit B3 für die Masterarbeit zu dem Thema "Konzept zur Bewertung von Auswirkungen außerordentlicher und außerplanmäßiger Ereignisse auf Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen". Interview durch J. LASCHINSKI am 21.04.2021.

BÄCKSTRÖM, M./KARLSSON, S./BÄCKMAN, L./FOLKESON, L./LIND, B. (2004). Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. Water research 38 (3), 720–732. https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.006.

BALAS, M./FELDERER, A. (2021). Zweiter Fortschrittsbericht – Executive Summary zur österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Wien.

BALDER, H./GOLL, L./NICKEL, D./REHFELD-KLEIN, M. (2018). Befunde zur Verwendung von Bäumen in Muldensystemen im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Pro Baum (4), 15–21.

BARRON, O. V./BARR, A. D./DONN, M. J. (2013). Effect of urbanisation on the water balance of a catchment with shallow groundwater. Journal of Hydrology 485, 162–176. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.027.

BAUR, N./BLASIUS, J. (Hg.) (2019). Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. 2. Aufl. Wiesbaden, Springer VS.

BENDEL, L. (1948). Ingenieurgeologie. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Wien, Springer.

BLfU (2020). Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser. Bayrisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/wasser/umgang_mit_niederschlagswasser/versickerung/index.htm (abgerufen am 24.06.2021).

BLUME, H.P./BRÜMMER, G./HORN, R./KANDELER, E./KÖGEL-KNABNER, I./KRETZSCHMAR, R./STAHR, K./WILKE, B.M./THIELE-BRUHN, S./WELP, G./TIPPKÖTTER, R. (Hg.) (2010). Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Heidelberg, Spektrum Akad. Verl.

BMLRT (2021). Kanal- und Wasserleitungsbestand - Stand Ende 2019. Online verfügbar unter https://www.bmlrt.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/zahlen/anlagenbestand.html#:~:text=In%20%C3%96sterreich%20wurden%20bis%20Ende,mal%20dem%20Durchmesser%20unserer%20Erde (abgerufen am 06.07.2021).

BMLRT (2021). Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959). Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/wasserrechtsgesetz/WRG1959.html (abgerufen am 29.07.2021).

BOKU Wien/Universität Innsbruck/TU Graz (Hg.) (2020). BEJOND. NiederschlagswasserBEhandlung Jenseits Originärer Bemessungsereignisse und planmäßiger BetriebszustäNDe. Projektantrag (Unveröffentlicht). Wien.

BURGHARDT, W./DEMUTH, N./MEUSER, A. (1998). Leitfaden - Flächenhafte Niederschlagswasserversickerung. Handlungsempfehlungen für Planer, Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Mainz.

BURKHARDT, M. (2019). Mikroschadstoffe im Regenwasser: Erkenntnisse und Behandlungsmöglichkeiten. 31. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft.

CAMPBELL, R. (2015). Sustainable Drainage Systems (SuDS) maintenance and adoption options (England). Online verfügbar unter https://www.susdrain.org/files/resources/fact_sheets/09_15_fact_sheet_suds_maintenance_and_adoption_options_england_.pdf (abgerufen am 01.09.2021).

CLARA, M./ERTL, T./GISELBRECHT, G./HOFER, T./HUMER, F./KRETSCHMER, F./KOLLA, L./SCHEFFKNECHT, C./WEIß, S./WINDHOFER, G. (2014). Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

CVC/TRCA (2010). Low impact development stormwater management planning and design guide. Version 1.0. Online verfügbar unter https://cdn.fs.guides.co/Q7xzCjKkS4OdEM47QKeF (abgerufen am 01.09.2021).

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. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.project.uni-stuttgart.de/samuwa/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf (abgerufen am 07.07.2021).

DETTMAR, J. (2005). Beitrag zur Verbesserung der Reinigung von Abwasserkanälen. Dissertation. Aachen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

DIN 4047-3. Landwirtschaftlicher Wasserbau - Begriffe - Teil 3: Bodenkunde, Bodensystematik und Bodenuntersuchung, 2002. Berlin.

DÖRING, N./BORTZ, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

DRESING, T./PEHL, T. (2018). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende. 8. Aufl. Marburg.

DWA (2006a). Arbeitsblatt DWA-A 110. Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2006b). Arbeitsblatt DWA-A 118. Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2006c). Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. 2. Aufl. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2013). Arbeitsblatt DWA-A 117. Bemessung von Regenrückhalteräumen. 2013. Aufl. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2016). Merkblatt DWA-M 119. Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2020a). Arbeitsblatt DWA-A 102-1/BWK-A 3-1. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 1: Allgemeines. 2020. Aufl. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2020b). Arbeitsblatt DWA-A 102-2/BWK-A 3-2. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2020c). Arbeitsblatt DWA-A 138-1 (Entwurf). Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2020d). Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-A 3-4. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers. 2020. Aufl. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2021). Regelwerksankündigungen - Volltext. DWA-M 179: Empfehlungen für Planung und Betrieb von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung. Vorhaben. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/regelwerksankuendigungen-volltext/dwa-m-179-empfehlungen-fuer-planung-und-betrieb-von-dezentralen-anlagen-zur-niederschlagswasserbehandlung.html (abgerufen am 29.07.2021).

DWD (2021). Dürre. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100578&lv3=603288 (abgerufen am 15.04.2021).

DWD (2021). Unwetterklimatologie: Starkregen. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/starkregen/starkregen.html#:~:text=Starkregen%20entsteht%20durch%20Konvektion.,enthaltene%20Wasserdampf%20kondensiert%20zu%20Wasser.&text=Je%20st%C3%A4rker%20die%20Auf%2D%20und,desto%20gr%C3%B6%C3%9Fer%20werden%20die%20Wassertropfen. (abgerufen am 08.04.2021).

EGLV (Hg.) (o.D.). Regen auf richtigen Wegen. Praxisratgeber für den richtigen Umgang mit Regenwasser. Online verfügbar unter https://emscher-regen.de/fileadmin/web/files/downloads/publikationen/EG_PraxisratgeberRegen.pdf (abgerufen am 11.10.2021).

EGLV (Hrsg.) (2006). Regen auf richtigen Wegen. Tausalze – ein Problem bei naturnaher Regenwasserbewirtschaftung. Online verfügbar unter https://emscher-regen.de/fileadmin/web/files/downloads/newsletter/2006_4_Tausalze.pdf (abgerufen am 24.06.2021).

EPPEL-HOLTZ, A. (2019). Pflanzen für Versickerung und Retention. Veitshöchheimer Berichte (186), 73–85.

FALCONER, R. H./COBBY, D./SMYTH, P./ASTLE, G./DENT, J./GOLDING, B. (2009). Pluvial flooding: new approaches in flood warning, mapping and risk management. Journal of Flood Risk Management 2 (3), 198–208. https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2009.01034.x.

FLETCHER, Tim D./SHUSTER, W./Hunt, William F./Ashley, Richard/Butler, David/Arthur, Scott/Trowsdale, Sam/Barraud, Sylvie/Semadeni-Davies, Annette/Bertrand-Krajewski, Jean-Luc/Mikkelsen, Peter Steen/Rivard, Gilles/Uhl, Mathias/Dagenais, Danielle/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. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314.

FLL (2018). Dachbegrünungsrichtlinien - Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Bonn.

FORMAYER, H./KROMP-KOLB, H. (2009). Hochwasser und Klimawandel. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich. Wien.

FREYTAG, T./BANNERT, L./KÖNIG, F. (2018). Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im Planungsprozess. Hintergründe, Problemfelder und Erfolgsfaktoren. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Institut für Umweltsozialwissenschaften und Geographie.

GEIGER, W./DREISEITL, H./STEMPLEWSKI, J. (2009). Neue Wege für das Regenwasser. Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. 3. Aufl. München, Oldenbourg Industrieverlag.

GISI, U. (1997). Bodenökologie. 2. Aufl. Stuttgart/New York, G. Thieme.

GLADE, T./MERGILI, M./SATTLER, K. (2020). ExtremA 2019. Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich. Wien, Vienna University Press.

GÖBEL, P./DIERKES, C./COLDEWEY, W. G. (2007). Storm water runoff concentration matrix for urban areas. Journal of contaminant hydrology 91 (1-2), 26–42. https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2006.08.008.

GÖBEL, P./STUBBE, H./WEINERT, M./ZIMMERMANN, J./FACH, S./DIERKES, C./KORIES, H./MESSER, J./MERTSCH, V./GEIGER, W./COLDEWEY, W. G. (2004). Near-natural stormwater management and its effects on the water budget and groundwater surface in urban areas taking account of the hydrogeological conditions. Journal of Hydrology 299 (3-4), 267–283. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.013.

GRIMM, K./ACHLEITNER, M. (2010). Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete - Leitfaden für Gemeinden. Online verfügbar unter https://www.noe.gv.at/noe/Wasser/Naturnahe_Oberflaechenentwaesserung_-_Leitfaden_fuer_Gemeind.pdf (abgerufen am 11.10.2021).

GUJER, W. (Hg.) (2007). Siedlungswasserwirtschaft. 3. Aufl. Berlin [u.a.], Springer.

HAGHIGHATAFSHAR, S./NORDLÖF, B./ROLDIN, M./GUSTAFSSON, L.-G./LA COUR JANSEN, J./JÖNSSON, K. (2018). Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation - Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. Journal of environmental management 207, 60–69. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.018.

HAILE, T./HOBIGER, G./KAMMERER, G./ALLABASHI, R./SCHAERFINGER, B./FUERHACKER, M. (2016). Hydraulic Performance and Pollutant Concentration Profile in a Stormwater Runoff Filtration Systems. Water, Air, & Soil Pollution 227 (1). https://doi.org/10.1007/s11270-015-2736-4.

HE, W./WALLINDER, I./LEYGRAF, C. (2001). Water, Air and Soil Pollution: Focus 1 (3/4), 67–82. https://doi.org/10.1023/A:1017547903442.

HILLER, D./WINZIG, G./DORNAUF, C. (2001). Abschlussbericht - Bodenchemische Untersuchungen von Versickerungsanlagen als Grundlage für eine nachhaltige Niederschlagswasserbewirtschaftung im Sinne des Boden- und Grundwasserschutzes. Universität Essen. Essen.

HÖLTING, B./COLDEWEY, W. (2019). HYDROGEOLOGIE. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Berlin, Springer.

HOYER, J./DICKHAUT, W./KRONAWITTER, L./WEBER, B. (2011). Water sensitive urban design: principles and inspiration for sustainable stormwater management in the city of the future. Berlin, Jovis.

HUTTER, H.-P./KUNDI, M./MOSHAMMER, H./HAAS, W./WEISZ, U./NIEDERKROTENTHALER, T./WALLNER, P. (2011). Anpassungsmaßnahmen zur Reduktion von klimawandelinduzierten Gesundheitsrisiken in Österreich. Prävention und Gesundheitsförderung 6 (3), 164–171. https://doi.org/10.1007/s11553-010-0292-8.

INTEWA (2021). Regenwasser-Management aktuell. Wichtige Hinweise zur Verwendung der DWA Regelwerke. Stand April 2021. Online verfügbar unter https://www.intewa.com/de/news/artikel/regenwasser-management-aktuell/ (abgerufen am 29.07.2021).

KEELEY, M./KOBURGER, A./DOLOWITZ, D. P./MEDEARIS, D./NICKEL, D./SHUSTER, W. (2013). Perspectives on the use of green infrastructure for stormwater management in Cleveland and Milwaukee. Environmental management 51 (6), 1093–1108. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0032-x.

KIM, Y./CHESTER, M./EISENBERG, D./REDMAN, C. (2019). The Infrastructure Trolley Problem: Positioning Safe-to-fail Infrastructure for Climate Change Adaptation. Earth's Future 7 (7), 704–717. https://doi.org/10.1029/2019EF001208.

KLEIDORFER, M./LEIMGRUBER, J./SIMPERLER, L./ZEISL, P./KRETSCHMER, F./HIMMELBAUER, P./KREBS, G./ERTL, T./STÖGLEHNER, G./MUSCHALLA, D. (2019). Endbericht Projekt Flexadapt. Entwicklung flexibler Adaptierungskonzepte für die Siedlungsentwässerung der Zukunft- Langversion inklusive theoretischer Grundlagen. Wien.

KLUGE, B./SOMMER, H./KAISER, M. (2016). LEIREV. Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen.

KLUGE, B./WERKENTHIN, M./WESSOLEK, G. (2014). Metal leaching in a highway embankment on field and laboratory scale. The Science of the total environment 493, 495–504. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.120.

KLUGE, B./WESSOLEK, G. (2012). Heavy metal pattern and solute concentration in soils along the oldest highway of the world--the AVUS Autobahn. Environmental monitoring and assessment 184 (11), 6469–6481. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2433-8.

KOCHER, B. (2008). Schadstoffgehalte von Bankettmaterial. Bundesweite Datenauswertung; [Bericht zum Forschungsprojekt 06636 des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen]. Bremerhaven, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss.

KRAUS, F./FRITTHUM, R./ROBAUSCH, E./SCHARF, B./PREISS, J./ENZI, V./STEINBAUER, G./OBERBICHLER, C./LICHTBLAU, A./HAAS, S./DYK, G./KORJENIC, A./TUDIWER, D./JESNER, L. (2019). Leitfaden Fassadenbegrünung. Wien. Online verfügbar unter https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruenung-leitfaden.pdf (abgerufen am 14.01.2021).

KREJCI, V./FRUTIGER, A./KREIKENBAUM, S./ROSSI, L. (2004). Gewässerbelastungen durch Gewässerbelastung durch Abwasser aus Kanalisationen bei Regenwetter. Dübendorf.

KROISS, F./WAITZ - VETTER VON DER LILIE, W. (2011). Regenwassermanagement: Rechtliche Grundlagen. Wien.

LABO (2003). Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. Aufl. Online verfügbar unter https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text_4e3.pdf (abgerufen am 01.09.2021).

LAMPARTER, A./STANGE, F. (2020). Benetzbarkeit der Böden Deutschlands - Ausmaß und räumliche Verteilung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Stoffgehalte-mobilitaet_laufend/Hydrophobizitaet.html?nn=1541164 (abgerufen am 18.10.2021).

LECHER, K. (Hg.) (2020). Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Grundlagen - Planungen - Maßnahmen. 10. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.

LEE, J. H./BANG, K. W./KETCHUM, L. H./CHOE, J. S./YU, M. J. (2002). First flush analysis of urban storm runoff. Science of The Total Environment 293 (1-3), 163–175. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00006-2.

LI, H./DAVIS, A. P. (2008). Urban Particle Capture in Bioretention Media. I: Laboratory and Field Studies. Journal of Environmental Engineering 134 (6), 409–418. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134:6(409).

LONDONG, J. (2003). Auswirkungen von Fremdwasser auf Kanalisation und Kläranlage. 4. ATV-DVWK-Landesverbandstagung – Suhl "Wasserwirtschaft zwischen Naturereignis und Pflichterfüllung".

LUCAS, S. (2003). Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse - eine zeitliche und räumliche Analyse. Karlsruhe, Institutsverl. Siedlungswasserwirtschaft.

MANIAK, U. (Hg.) (2016). Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

MANN, G. (2008). Standardwissen Dachbegrünung. Garten und Landschaft (1), 32–33.

MANSO, M./CASTRO-GOMES, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews 41, 863–871. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203.

MARSALEK, J./OBERTS, G./EXALL, K./VIKLANDER, M. (2003). Review of operation of urban drainage systems in cold weather: water quality considerations. Water Science and Technology 48 (9), 11–20. https://doi.org/10.2166/wst.2003.0481.

MASSON-DELMOTTE, V./PÖRTNER, H. O./SKEA, J. (Hg.) (2018). Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty ; summary for policymakers. IPCC Switzerland.

MATZINGER, A./RIECHEL, M./REMY, C./SCHWARZMÜLLER, H./ROUAULT, P./SCHMIDT, M./OFFERMANN, M./STREHL, C. (2017). Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.

MAYRING, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 12. Aufl. Weinheim, Beltz.

MULLANE, J. M./FLURY, M./IQBAL, H./FREEZE, P. M./HINMAN, C./COGGER, C: G./SHI, Z. (2015). Intermittent rainstorms cause pulses of nitrogen, phosphorus, and copper in leachate from compost in bioretention systems. The Science of the total environment 537, 294–303. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.157.

MUSCHALLA, D./GRUBER, G./SCHEUCHER, R. (2014). ECOSTORMA - Handbuch. Ökologische und ökonomische Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung. Wien.

MUTZ, D./REMY, C. (2016). Ökobilanz von ausgesuchten Maßnahmen im urbanen Bereich. NITROLIMIT2. Gemeinsamer Ergebnisbericht. Online verfügbar unter https://publications.kompetenz-wasser.de/pdf/Mutz-2016-1049.pdf (abgerufen am 30.08.2021).

NIKOLOPOULOS, D./VAN ALPHEN, H.-J./VRIES, D./PALMEN, L./KOOP, S./VAN THIENEN, P./MEDEMA, G./MAKROPOULOS, C. (2019). Tackling the “New Normal”: A Resilience Assessment Method Applied to Real-World Urban Water Systems. Water 11 (2), 330. https://doi.org/10.3390/w11020330.

NOLTING, B./SCHÖNBERGER, O./HARTING, K./GABRYL, P. (2005). Abschlussbericht zum Forschungsprojekt "Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjrähriger Betriebsdauer". Bochum.

ÖNORM B 2400. Hydrologie - Hydrographische Begriffe und Zeichen, 01.03.2016. Wien.

ÖNORM B 2506-1. Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen, 01.08.2013. Wien.

ÖNORM B 2506-2. Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen, 15.11.2012. Wien.

ÖNORM EN 14654-1. Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, 01.08.2014. Wien.

ÖNORM EN 16932-1. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Pumpsysteme, 01.07.2018. Wien.

ÖNORM EN 16933-2. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Planung, 01.11.2017. Wien.

ÖNORM EN 16941. Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser, 01.07.2018. Wien.

ÖNORM EN 752. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement, 01.07.2017. Wien.

ÖNORM L 1131. Gartengestaltung und Landschaftsbau - Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken, 01.06.2010. Wien.

ÖWAV (2007). ÖWAV-Regelblatt 19. Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. 2. Aufl. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2008). ÖWAV-Regelblatt 9. Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2009). ÖWAV-Regelblatt 11. Richtlinien für die abwassertechnischen Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. 2. Aufl. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2013). Wassergefahren für Gebäude und Schutzmaßnahmen. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2015a). ÖWAV-Regelblatt 22. Betrieb von Kanalisationsanlagen. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2015b). ÖWAV-Regelblatt 45. Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2019). ÖWAV-Regelblatt 35. Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer. 2. Aufl. ÖWAV. Wien.

ÖWAV (2020). ÖWAV-ExpertInnenpapier. Klimawandelanpassung Wasserwirtschaft – Pluviales Hochwasser/Oberflächenabfluss. Wien.

PFOSER, N./JENNER, N./HENRICH, J./HEUSINGER, J./WEBER, S. (2013). Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Darmstadt.

PROBST, M. (2021). Hydrologischer Atlas der Schweiz. Starkniederschlag. Online verfügbar unter https://hydrologischeratlas.ch/downloads/04/01/starkniederschlag.pdf (abgerufen am 16.04.2021).

PRZYBORSKI, A./WOHLRAB-SAHR, M. (2008). Qualitative Sozialforschung. ein Arbeitsbuch. München/Oldenbourg.

RICHARD, F. (1973). Porengrössenverteilung und Entwässerbarkeit von Böden. Birmensdorf (Schweiz). Berichte, Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 105.

SAUVÉ, S./HENDERSHOT, W./ALLEN, H. E. (2000). Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. Environmental Science & Technology 34 (7), 1125–1131. https://doi.org/10.1021/es9907764.

SCHEID, C./BENDEN, J./BROESI, R./ILLGEN, M./LEINWEBER, U./LENNARTZ, G./SCHMITT, T.G. (2018). Lösungswege und Erfolgsfaktoren für die Konzeption multifunktionaler urbaner Retentionsräume. Erfahrungen aus dem Projekt MURIEL. Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Ressourcen (Band 1), 67–80.

SCHLENKHOFF, A./ABRIGATA, J./GREBIEN, F./KEMPER, S. (2018). Abschlussbericht - Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen im urbanen Raum: Begrenzung des Schluckvermögens von Straßenabläufen durch Verlegung und Verschmutzung. Wuppertal.

SCHLENKHOFF, A./KEMPER, S./MAYER, A. (2016). Abschlussbericht - Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen im urbanen Raum: Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen (LANUV). Wuppertal.

SCHLENKHOFF, A./OERTEL, M. (2009). Über Starkregen und Sturzfluten. BUW Output (II), 6–11.

SCHMITT, F. (1992). Einfluss von Ablagerungen auf den Betrieb von Abwasserkanälen. Hannover.

SCHÖTTLER, U./REMMLER, F./HÜTTER, U. (1997). Analytisches Begleitprogramm für die Versickerung von Niederschlagsabflüssen an einem Pilotprojekt bei kritischen Untergrundverhältnissen. Abschlussbericht zum F+E AZ 04684/01 und 02. Dortmund.

SenStadtWohn Berlin (2010). Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung.

SIEKER, F./ADAMS, R./HUHN, V./STECKER, A. (1996). Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Grundlagen, Leitfaden und Anwendungsbeispiele ; mit 20 Tabellen. Renningen-Malmsheim, expert-Verl.

SIEKER, H. (2021). Begriffe der RW-Bewirtschaftung. Online verfügbar unter https://www.sieker.de/fachinformationen/umgang-mit-regenwasser/article/begriffe-der-rw-bewirtschaftung-77.html (abgerufen am 07.07.2021).

SIEKER, H. (2021). Fassadenbegrünung. Online verfügbar unter https://www.sieker.de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/article/fassadenbegruenung-187.html (abgerufen am 28.07.2021).

SØBERG, L. C./VIKLANDER, M./BLECKEN, G.-T. (2014). The influence of temperature and salt on metal and sediment removal in stormwater biofilters. Water Science and Technology 69 (11), 2295–2304. https://doi.org/10.2166/wst.2014.161.

Swiss Academic Software GmbH. Citavi. Wädenswil (Schweiz). Online verfügbar unter http://www.citavi.com (abgerufen am 31.08.2021).

TAUSENDPFUND, M. (Hg.) (2020). Fortgeschrittene Analyseverfahren in den Sozialwissenschaften. Wiesbaden, Springer VS.

TROWSDALE, S. A./SIMCOCK, R. (2011). Urban stormwater treatment using bioretention. Journal of Hydrology 397 (3-4), 167–174. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.023.

WEILGUNI, V. (2018). EHYD-Auswertung. Karte Bemessungsniederschlag. Wien. Online verfügbar unter https://ehyd.gv.at/assets/ehyd/pdf/bemessungsniederschlag.pdf.

WELLER, B./FAHRION, M.-S./HORN, S./NAUMANN, T./NIKOLOWSKI, J. (2016). Überflutung. In: B. WELLER/M.-S. FAHRION/S. HORN et al. (Hg.). Baukonstruktion im Klimawandel. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, 131–178.

WESTERLUND, C./VIKLANDER, M. (2006). Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall. Science of The Total Environment 362 (1-3), 143–156. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.06.031.

WICHERN, M. (2012). Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien. Phase I. Bochum. Online verfügbar unter https://www.ikt.de/website/down/f0198langbericht.pdf (abgerufen am 27.04.2021).

WOODS BALLARD, B./WILSON, S./UDALE-CLARKE, H./IllMAN, S./SCOTT, T./ASHLEY, R./KELLAGHER, R. (2016). The SuDs Manual. London, CIRIA.

ZAHNT, N./EDER, M./HABERSACK, H. (2018). Herausforderungen durch pluviale Überflutungen – Grundlagen, Schäden und Lösungsansätze. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 70 (1-2), 64–77. https://doi.org/10.1007/s00506-017-0451-7.

ZHANG, D./DONG, X./ZENG, S: (2021). Exploring the structural factors of resilience in urban drainage systems: a large-scale stochastic computational experiment. Water research 188, 116475. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116475.

ZHOU, Q. (2014). A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. Water 6 (4), 976–992. https://doi.org/10.3390/w6040976.

ZIEGLER, Ch. (Hg.) (2011). Regenwasserbewirtschaftung. Ausführliche Informationen für Planung und Ausführung mit gesetzlichen Rahmenbedingungen, Anwendungsbeispielen aus der Praxis und nützlichen Adressen. München, Oldenbourg Industrieverlag.

ZURAINI, N. A./ALIAS, N. (2020). Influence of Rainfall Characteristics on First Flush Behaviour. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 884, 12036. https://doi.org/10.1088/1757-899X/884/1/012036.

10. Anhang

A.1 Interviewleitfäden 99

A.1.1 Interviewleitfaden B1 99

A.1.2 Interviewleitfaden B2 100

A.1.3 Interviewleitfaden B3 101

A.2 Kategoriensystem 102

A.3 Interviewauswertungen 106

A.3.1 Interview mit B1 106

A.3.2 Interview mit B2 114

A.3.3 Interview mit B3 119

A.4 Ergänzende Tabellen 121

A.4.1 Auflistung und Einteilung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche (ÖWAV 2015b) 121

A.4.2 Checkliste zum Bauablauf von Versickerungsanlagen (DWA 2020c) 122

A.4.3 Kriterien zur Risikobewertung gemäß Gefährdungspotential vor Ort (KLUGE et al. 2016) 124

A.4.4 Schadensbilder, Folgeschäden, Risikobewertung von Versickerungsanlagen (KLUGE et al. 2016) 124

A.1 Interviewleitfäden

A.1.1 Interviewleitfaden B1

Kategorie	Fragen	Anknüpfende Fragen
Gesprächseinstieg	- Begrüßung - Einverständnis Aufzeichnung - Eigene Vorstellung - Vorstellung Experte	
Integrale Siedlungsentwässerung/ Dezentrale NWB	- Situation davor? - Beweggründe? - Aktuelle Situation? - Ziele? - Probleme? - Erfolgsfaktoren?	- Welche Anlagen besonders verwendet und wieso? - Beispiele: ○ [redacted] ○
Risikomanagement	- Bei Überflutung? - Belastung GW & Oberflächengewässer? - Probleme mit Schadstoffen allgemein?	- Risikoanalyse: Integraler Ansatz von Überflutungen, aber wie werden die einzelnen Anlagen berücksichtigt? - Wie wird der Schutz des GW und der Oberflächengewässer berücksichtigt?
Reaktionen auf außerplanmäßige Ereignisse	- Starkregen - Dürre - Kontrolle & Wartung	- Dürre: Wie verändert sich die Versickerungsleistung?
Anlagen	- Was sind die vulnerablen Punkte? - Gibt es Störfälle, die besonders häufig auftreten?	
Ergänzende Bemerkungen	- Gibt es noch irgendetwas, dass Sie ergänzen möchten? Wichtige Faktoren, die bei der Betrachtung dieser Thematik vergessen wurden?	

A.1.2 Interviewleitfaden B2

Kategorie	Fragen	Anknüpfende Fragen
Gesprächseinstieg	- Begrüßung - Einverständnis Aufzeichnung - Eigene Vorstellung - Vorstellung Experte	
Siedlungsentwässerung	- Rolle von Regenwassermanagement in Ihrem Ingenieurbüro? - An welchen Projekten haben Sie mitgewirkt? - Wie hat sich die Siedlungsentwässerung in den letzten Jahren verändert?	- Projekte genauer beschreiben: o Aufgaben? o Verhältnis konventionell – dezentral? o Welche Anlagen wurden am häufigsten eingesetzt?
Beispielprojekte	- Wie sieht die NWB bei Projekt [redacted] aus?	- Wie werden die Anlagen kontrolliert/ gewartet? o Einfluss nach der Fertigstellung? o Zustand nach gewisser Zeit?
Risikomanagement	- Gibt es ein Risikomanagement?	- Wenn ja: wie sieht es aus?
Anlagen	- Was sind die vulnerablen Punkte? - Gibt es Störfälle, die besonders häufig auftreten?	
Reaktionen auf außerplanmäßige Ereignisse	- Starkregen - Dürre - Kontrolle & Wartung	
Ergänzende Bemerkungen	- Gibt es noch irgendetwas, dass Sie ergänzen möchten? Wichtige Faktoren, die bei der Betrachtung dieser Thematik vergessen wurden?	

A.1.3 Interviewleitfaden B3

Kategorie	Fragen	Anknüpfende Fragen
Gesprächseinstieg	- Begrüßung - Einverständnis Aufzeichnung - Eigene Vorstellung - Vorstellung Experte	
Siedlungsentwässerung	- Siedlungsentwässerung in [redacted]? - Was ist Ihre Arbeit in diesem Bereich? - Wie hat sich die Siedlungsentwässerung in den letzten Jahren verändert?	- Welche Anlagen gibt es?
Beispielprojekte	- Wie sieht die NWB bei Projekt [redacted] aus?	- Wie werden die Anlagen kontrolliert/ gewartet? - Zustand nach gewisser Zeit?
Anlagen	- Was sind die vulnerablen Punkte? - Gibt es Störfälle, die besonders häufig auftreten?	- Vulnerable Punkte im Siedlungsgebiet?
Reaktionen auf außerplanmäßige Ereignisse	- Starkregen - Dürre - Kontrolle & Wartung	
Risikomanagement	- Starkregenvorsorge? - Schadstoffe?	- Entlastung?
Ergänzende Bemerkungen	- Gibt es noch irgendetwas, das Sie ergänzen möchten? Wichtige Faktoren, die bei der Betrachtung dieser Thematik vergessen wurden?	

A.2 Kategoriensystem

Kategorie	Definition	Ankerbeispiele	Kodierregeln
K1: Starkregen allgemein	Aussagen zu Starkregen gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.1	Das Wasser schadlos, schnell aus der Stadt zu bringen, zumindest das gemäßigte Wasser, also so ein normales Regenereignis. Das schaffen wir weg. Was wir auch machen müssen ist: schadlos Starkregen managen. Vor 5 Jahren habe ich noch gesagt: schnellstmöglich raus aus der Stadt, mittlerweile sag ich: Viele dezentrale Orte, und wenn die voll sind, dann erst raus aus der Stadt. Wie das auch machbar ist, egal. Aber erstmal nach diesem Prinzip.	Alle Aussagen, die das Thema "Starkregen" betreffen und nicht den Kategorien K1.1 oder K1.2 zuzuordnen sind
K1.1: Starkregen Kanalisation	Aussagen zu Starkregen gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.1 in Kombination mit Kanalisationsanlagen	Und die Kanalbetreiber, die kennen Ihre Problempunkte einerseits bei Starkregenereignissen und setzen dann natürlich technische und planerische Maßnahmen, dass man das beseitigt.	Alle Aussagen, die das Thema "Starkregen" in Kombination mit Kanalisationsanlagen betreffen
K1.2: Starkregen Versickerungsanlagen	Aussagen zu Starkregen gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.1 in Kombination mit Versickerungsanlagen	Bei Starkregen würde ich gar nicht auf Versickerung gehen. (okay) Weil bei Starkregen wird, wenn 10 % Prozent von diesen 60, 80 Litern, die da runterkamen pro m^2, wenn die versickern, habe ich immerhin noch, also mehr wird nicht versickern als 6 mm in der Stunde, was schon viel ist. Ich hab dann immerhin noch 90 % von diesen 70 Litern, die mir pro m^2 runterkommen. Deshalb Versickerung ist für mich keine Starkregenmaßnahme. Sie hilft vielleicht minimal. Wobei sie auf jeden Fall hilft, ist bei kleineren Starkregen vielleicht oder bei Dauerregen	Alle Aussagen, die das Thema "Starkregen" in Kombination mit Versickerungsanlagen betreffen
K2: Trockenheit allgemein	Aussagen zu Trockenheit gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.2	Also vorher habe ich mich hauptsächlich konzentriert in [redacted] auf Starkregenvorsorge und nachdem die ersten trockenen Sommer kamen. 2018 war auch dieser trockene Sommer, der ja seitdem jedes Jahr da war. Da haben wir gemerkt, wir müssen irgendwie auch anders denken. Es ist doch verrückt, auf der einen Seite gucken wir, wie wir das Wasser bei Starkregen so schnell wie	Alle Aussagen, die das Thema "Trockenheit" betreffen und nicht den Kategorien K2.1 oder K2.2 zuzuordnen sind

		möglich rauskriegen und auf der anderen Seite haben wir dann erstmal wieder vier Wochen Trockenheit und wünschen uns sehnlichst Wasser. Und das ist die Überlegung, dass man nicht Versickerung schafft, sondern vielleicht so ganz viele kleine dezentrale Rückhalteräume, wenn die auch nur mal 5 m^3 pro 100 m Straßenabschnitt sind, indem man so eine Baumscheibe nutzt, Straßenbegleitgrün nutzt. Wenn man das Stadtweit macht, wird man nicht so ein Starkregenereignis verhindern können, aber vielleicht irgendwann mal das in der Summe von Maßnahmen das zu reduzieren. Also das heißt, diese Versickerung würde ich nur sehen als Überbrückung von Trockenzeiten, um das Wasser in der Stadt zu halten. Und das sehe ich auch mittlerweile als unsere Aufgabe. Nicht nur die Entwässerung zu planen, sondern auch das Wasser zu managen in der Stadt, das heißt auch im Sommer. Wir haben auf der einen Seite zu viel, auf der anderen Seite zu wenig. Und das ist die Überlegung, wo wir damals in [redacted], aber jetzt auch hier, wenn wir unseren Stadtpark, den werden wir bald erneuern, dass wir da unterirdisch eine 100 m^3 Zisterne einbauen. Kostet 20,30.000 Euro plus Erdaushub ist dann nochmal das doppelte teurer, aber das sind keine utopischen Summen und dann hat man zumindest Wasser, wo man sagen kann, man kann gewisse Punkte, Stadtparks oder sowas im Sommer dann mal grün halten, damit die auch Verdunstungskühlung und so weiter bringen	
K2.1: Trockenheit Kanalisation	Aussagen zu Trockenheit gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.2 in Kombination mit Kanalisationsanlagen	N/A	Alle Aussagen, die das Thema "Trockenheit" in Kombination mit Kanalisationsanlagen betreffen
K2.2: Trockenheit Versickerungsanlagen	Aussagen zu Trockenheit gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.2 in Kombination	**Aber auch generelle Erfahrungen mit Nachlass der Versickerungsleistung auf Grund von Dürre, haben Sie da schon welche gemacht?**	Alle Aussagen, die das Thema "Trockenheit" in Kombination mit Versickerungsanlagen betreffen

	mit Versickerungsanlagen	Nein, keine Messbaren, nur optische, wo ich gesagt habe, ja, da wird nichts versickern. Also klar, wenn das knochentrocken ist, dann sind das nur aber Erfahrungswerte, dass man da sagt, nein, das kann nicht versickern, das geht nicht.	
K3: Mängel allgemein	Aussagen zu Mängeln gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.3	Störfallplanung […], das ist Zukunftsmusik. Da gibt es momentan nur ganz geringe Sachen. Da gibt es Zweiseiter bei der Kläranlage, die der Betriebsanleitung drin sind, was zu tun ist bei Störfällen. Aber das war es dann, mehr gibt es nicht.	Alle Aussagen, die das Thema "Mängel" betreffen und nicht den Kategorien K1.1 oder K1.2 zuzuordnen sind
K3.1: Mängel Kanalisation	Aussagen zu Fehlentwicklungen gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.3 in Kombination mit Kanalisationsanlagen	Das heißt, man muss sein Kanalnetz kennen, Punkt 1. man muss schauen, dass man regelmäßige Kanalkamerabefahrungen oder optische Kanalprüfungen dort durchführt in regelmäßigen Abständen und dann muss man natürlich beobachten, wo habe ich jetzt sensiblere Bereiche und wo hab ich nicht sensible Bereiche und dementsprechend muss ich nachher reagieren als Betriebsleiter oder als Zuständiger für den Kanalbereich dort, dass ich dementsprechend ordnungsgemäße Wartungsintervalle habe und dass es dort zu keinen Verstopfungen, Abflussverminderungen kommen kann, sag ich jetzt einmal.	Alle Aussagen, die das Thema "Mängel" in Kombination mit Kanalisationsanlagen betreffen
K3.2: Mängel Versickerungsanlagen	Aussagen zu Mängel gemäß der Definition aus Kapitel 5.1.3 in Kombination mit Versickerungsanlagen	Das Einzige, was uns auffällt ist, dass Leute ihren Grasmüll, sag ich jetzt einmal, wenn zu Hause Gras gemäht wird. Natürlich ist das eh sehr super toll, wenn man halt das am Wochenende macht oder irgendwas und sich den Weg zum Sammelzentrum bei uns ersparen will, wo man Grünschnittlager abgeben kann, kostenlos abgeben kann. Aber sich den Weg ersparen will, nimmt man ganz einfach seinen Rasenmäherkorb und entleert das auf dem öffentlichen Grund, sprich in unseren Graben hinein, weil es sieht eh keiner und sonstiges. Natürlich ist das ist ein Hindernis für unseren Gärtner, der unsere Gräben dort pflegt. Und dann fault das natürlich dort	Alle Aussagen, die das Thema "Mängel" in Kombination mit Versickerungsanlagen betreffen

		Ganze fault an und ist natürlich keine optimale Entsorgung, das heißt mit diesen Liegenschaftseigentümer muss man den Kontakt suchen und dass das in Zukunft nachher nicht mehr so passiert.	

A.3 Interviewauswertungen

A.3.1 Interview mit B1

Kategorie	Paraphrasierung des extrahierten Materials
K1: Starkregen allgemein	- Ein nie veröffentlichtes Forschungsvorhaben kam zu dem Fazit, dass in Deutschland mit Entwässerungsgebühren Straßen und Grünflächen für die Starkregenvorsorge umgebaut werden dürfen. Im Landeswassergesetz von NRW steht seit 2016, dass Gebühren zur Starkregenvorsorge, Klimaanpassung und Überflutungsschutz erhoben werden dürfen. Das Forschungsvorhaben wurde nie veröffentlicht. Wir befürchten deswegen, dass die Angst besteht, dass wenn das Fazit Schule macht, mit Abwassergebühren die Straßen umgebaut werden. Das haben wir auch schon gemacht, indem ein Teil der Kosten für einen Straßenumbau übernommen wurde. Die Straße wurde gekippt, sodass das Wasser anstatt nach links in eine Grünfläche, rechts in eine Tiefgarage fließt. (Z. 120) - Ich bin skeptisch, ob ein Starkregenereignis in den nächsten 20 Jahren nicht die gleichen Auswirkungen hätte [wie beim letzten Starkregen vor 3 Jahren]. Vielleicht ändert sich die Situation in 50 Jahren, wenn weitergedacht wurde und die Maßnahmen Stück für Stück umgesetzt wurden. Es gibt begrenzte finanzielle Ressourcen, sodass nicht von heute auf morgen riesige Veränderungen erfolgen können. Es können Fließwege angepasst werden. Dies aber auch nur, wenn z.B. eine Straße umgebaut wird. Alle 50 Jahre wird eine Straße saniert bzw. erneuert. Deswegen glaube ich, dass erst in 50 Jahren vielleicht ein Schutz vorhanden ist, der das letzte Starkregenereignis reduziert hätte. Dass es schon in den nächsten 5 Jahren der Fall ist, glaube ich nicht. Ich darf es in der Öffentlichkeit so aber nicht sagen. (Z. 190) - Die Stadt, in der ich gearbeitet habe, war schon vor dem 2018er Starkregenereignis aktiv und hat über Ingenieurbüros eine Starkregengefahrenkarte gebastelt. In der Stadt, in der ich momentan arbeite, hatten wir so eine Karte fast zeitgleich. Das ist der Trend gewesen und manche Kommunen haben es damals schon gemacht, andere kommen jetzt erst. Es gab 2018 bei dem Starkregen schon eine Starkregengefahrenkarte, aber da hätten die Maßnahmen, die wir in den nächsten Jahren erst umsetzen werden, nicht viel gebracht, weil das ein Katastrophenregen war. Es wurde nachts ein Katastrophenalarm ausgelöst und die Feuerwehr und das technische Hilfswerk kam auch aus anderen Gegenden. Das gesamte Stadtgebiet wurde eine Stunde lang von 60 mm Regen getroffen. Auf Grund unserer Topographie, das Stadtgebiet liegt in der Tiefebene und dahinter geht es dann 100 Meter in die Höhe, ist das Wasser über die Felder und Bäche runtergerauscht und in die Stadt reingekommen. Dort hat es sich an 2–4 Stellen konzentriert und sehr viele Schäden verursacht. Das waren Felder, die im Sommer noch nicht mit

	Wurzeln verwachsen waren, sodass viel Schlammwasser runtergekommen ist. Dort wo ich wohne ist das Wasser einfach vorbeigeschossen. Erst am nächsten Morgen habe ich gesehen, dass mit Schneeschippen der Schlamm weggeschoben wurde. Die Schlammschicht war zum Teil 30–40 cm tief. Wir müssen realisieren, dass bei solchen Starkregenereignissen die dezentralen Maßnahmen nicht so viel helfen. (Z. 156) - Das gemäßigte Wasser schadlos schnell aus der Stadt abzuleiten ist kein Problem. Was auch geschafft werden muss, ist schadlos den Starkregen zu managen. Vor 5 Jahren hätte ich noch gesagt, dass das Niederschlagswasser möglichst schnell aus der Stadt heraus soll. Mittlerweile bevorzuge ich viele dezentrale Orte und das Wasser soll erst raus aus der Stadt, wenn die dezentralen Anlagen voll sind. Es ist egal, wie dies geschieht, aber das ist das Prinzip. (Z. 517) - Es ist wichtig, dem Bürger eine Eigenverantwortung mitzugeben. Einmal im Jahr gibt es vor der Starkregensaison eine Bürgerveranstaltung in [redacted]. Dies soll den Bürgern signalisieren, dass die Stadt für sie da ist, ob sie kommen oder nicht. Sie sollen jedoch nicht sagen, die Stadt hätte sie nicht informiert. Damit soll dem Bürger aufgezeigt werden, dass wir Kompetenz haben und er nicht sagt, dass die Stadt schuld sei, wenn etwas passiert ist. Der Kanal kann nicht alles lösen und der Bürger hat gemäß WHG § 5 eine Eigenverantwortung und muss sein Objekt auch selber schützen. (Z. 562) - Wenn wir in Talsenken Querriegel einbauen, besteht die Möglichkeit, dass der Damm nicht hält. (Z. 408)
K1.1: Starkregen Kanalisation	- Bis 2010/2012 haben wir mit der generellen Entwässerungsplanung so gearbeitet, wie die meisten anderen Kommunen heute noch arbeiten. Es wurde geguckt, was das Kanalnetz leisten muss, wie viel Wasser durchgehen kann, wie viel Wasser anfällt und welche Wassermengen abgeleitet werden müssen. Es wurde nach der ATV A 118 und der DIN EN 752 gerechnet, wie groß das Kanalnetz dimensioniert sein muss. Es wurde so getan, dass alles, was bei einem Regenereignis auf Dachflächen, befestigten Flächen oder Straßenflächen anfällt, dort auch in das Kanalnetz reingeht. Anschließend wurde geguckt, ob eine Dimension größer benötigt wird oder nicht. 2010 hat der Leiter der Stadtentwässerung gefragt, wieso es häufig in der Realität nicht passt, obwohl die Anlagen vernünftig bemessen sind. Bei Überstauschächten, die mit hydraulischen Methoden simuliert wurden, ist kein Wasser bei Starkregen ausgetreten, an anderer Stelle hingegen schon. Für die Bezirksregierung wird nachgewiesen, dass das Kanalnetz gemäß den Normen in Ordnung ist. Ob das tatsächlich so ist, hat nie jemanden interessiert. Es kann auch nur nachgeprüft werden, wenn Erfahrungsberichte vorhanden sind. Der Leiter der Stadtentwässerung war nicht bereit, zigtausende Euros für etwas, das nicht stimmt und vielleicht dazu führt, dass unterirdische Bauwerke gebaut

	werden müssen, auszugeben. Nachdem dann erstmals ein Oberflächenmodell vorhanden war, fing es mit den gekoppelten Berechnungen an. Dann ging es darum, an welchen Schnittstellen das Wasser in den Untergrund gelangt und wie viel Niederschlagswasser in einen Einlauf reingeht. Das Fazit eines Forschungsprojektes daraufhin war, dass es bei Starkregen einen Oberflächenabfluss gibt, weil die Rosteinläufe und Dachrinnen überlastet sind. Das sieht man und weiß man, aber es hat bis dahin keiner berücksichtigt. Bei der klassischen Berechnung ging das alles direkt in den Untergrund. Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass ein Teil des Wassers bei Starkregen gar nicht in den Kanal gelangt. 2014/ 2015 konnten wir dann einstellen, ob und wie viel Wasser an den Schnittstellen in den Kanal gelangt. Anschließend wird dann geguckt, ob es irgendwo wieder rauskommt und wie es an der Oberfläche weiterfließt. Es wird die Oberflächentopographie und auch ein bisschen die Oberflächencharakteristik berücksichtigt, ob es eine Straße oder Grün ist. So wurde nach und nach die generelle Entwässerungsplanung umgebaut, indem die Oberflächen integriert wurden. Daher kommt auch der Begriff "Integrale Entwässerung“. Integral heißt aber auch, dass wir mit den Kollegen aus anderen Fachbereichen und als Kommune zusammenarbeiten müssen. Früher haben wir uns nur um unsere unterirdischen Anlagen gekümmert und dort konnten wir gemäß den Normen machen, was wir wollten. Jetzt bewegen wir uns an den Oberflächen, können Fließwege dort ermitteln und Maßnahmen ergreifen, um das Regenwasser auf der Straße zu lenken. Dort sind wir dann häufig auf Oberflächen, die uns gar nicht gehören. Die gehören zwar der Stadt, aber es handelt sich um eine Grünfläche oder Verkehrsfläche, die schon besetzt sind. Da kommt der Begriff multifunktionale Flächennutzung ins Spiel. Wenn wir die gesamte Entwässerung einer Stadt betrachten, also auch bei Starkregen, müssen wir z.B. mit den Grünflächenleuten und Verkehrsleuten zusammenarbeiten, um auf diesen Flächen temporär Wasser stapeln zu können und Lösungen anzubieten. (Z. 8) - Der Bauhof sagt mittlerweile, dass die Berechnungen immer noch nicht passen, aber anstatt 100 Überstauschächten sind es nur noch 30. Wir kommen der Realität näher. Das ist nicht nur bei Regenereignissen für das Kanalnetz ein Mehrwert, sondern auch bei 100-jährlichen Regenereignissen, wo das Kanalnetz gar keine Rolle spielt. Wir bekommen Informationen, die wir der Stadt zur Verfügung stellen und die können daraus Maßnahmen generieren. (Z. 109)
K1.2: Starkregen Versickerungsanlagen	- Bei der aktuellen Starkregenvorsorge ist nicht mehr alles auf den Kanal fokussiert, sondern auch auf die Oberflächen (Z. 138) - Von einem Eigentümer wurde angeboten, dass auf drei Grundstücken Querriegel gebaut werden dürfen, um dort Wassermengen zurückzuhalten. Das wird jedoch bei großen Wassermengen nicht reichen. Es geht darum, die Durchlässe

	zu vergrößern und Notumwege zu schaffen, da mehrere Durchlässe über die Straßen gingen, weggespült worden sind. Anschließend muss geguckt werden, dass die Notüberläufe nicht erodieren. (Z. 184) - Die unterirdischen Versickerungsanlagen und Versickerungsbecken sind auf ein 5-jährliches Regenereignis ausgelegt. Das Regenereignis war ein 70- oder ein 80-jährliches Regenereignis. Die Anlagen kamen nicht mit der Menge zurecht. (Z. 202) - Versickerung ist für mich keine Starkregenmaßnahme. Wenn z.B. 10 % von 60–80 Litern pro m^2 Niederschlag versickern, gibt es immer noch 90 % die nicht versickern können. Denn mehr als 6 mm in der Stunde werden nicht versickern. Versickerung hilft vielleicht minimal. Wobei sie jedoch hilft, ist bei kleineren Starkregen oder Dauerregen. (Z. 216) - Starkregenvorsorge mit Versickerung ist für mich irrelevant. Kleinere dezentrale Kaskaden sind relevant. Auf Grund der mittlerweile auftretenden Wasserknappheit befürworte ich jedoch die Versickerung von Niederschlagswasser. (Z. 241) - Dezentrale Anlagen sind bis jetzt noch nicht in der Starkregenkarte aufgenommen. Aber mit den Karten kann abgeschätzt werden, ob es sinnvoll ist, das Niederschlagswasser woanders hinzulenken. Die Starkregenkarte beinhaltet das Gelände im Bestand und es kommen jetzt erst Stück für Stück Anlagen hinzu. Wenn die nächste Befliegung ist, wird vielleicht sichtbar sein, wenn es z.B. eine Mulde gibt, die sich mit Wasser füllt. (Z. 287) - Es werden nicht verstärkt Gründächer zum Hochwasserschutz verwendet. Es kann nicht vorgeschrieben werden, wenn es nicht im Bebauungsplan steht. Der Vorteil des Gründachs ist, dass neben der Verdunstung, Kühlung, mehr Grün und weniger Hitzebildung, das Wasser bei Starkregen langsamer zum Abfluss kommt. Und auch das nur reduziert, weil ein Teil im Substrat gehalten wird. In der Stadt, in der ich davor gearbeitet habe, habe ich lange mit den Städteplanern diskutiert. Die meinten aber, dass wir es gar nicht oder nur sehr vorsichtig fordern können, weil die Stadt ein wirtschaftliches Problem hat. Es wird immer mit den anderen Städten im Umkreis konkurriert und die Hürden dürfen nicht zu hoch sein. Ein Gründach kostet ein paar Prozent mehr von der Bausumme. Sie meinten, sie schreiben es als Empfehlung rein. In 3–4 Jahren wären wir vielleicht so weit, dass wir es fordern können, aber im Moment noch nicht. Es liegt auch immer an der politischen Situation. In der Stadt, in der ich aktuell arbeite, könnte es vielleicht gefordert werden, weil die Grünen sehr stark im Parlament sind und das ganze Thema gerade gepusht wird. Man muss aber auch sagen, dass es sich um eine Kleinstadt handelt und die paar Häuser, die dazukommen, spielen nicht so eine große Rolle. Aber ich würde es natürlich trotzdem gerne haben. Mehr Fördermittel vom

	Land oder mehr Kampagnen. Es gibt die DIN 1986 Teil 100, das ist eine Norm der Grundstücksentwässerung, wie das Grundstück für die Entwässerung gestaltet werden soll. Seit 2013 gibt es glaube ich ein Passus, der besagt, dass alle Grundstücke über 800 m^2 abflusswirksamer Fläche ein Rückhaltevolumen auf dem Gelände schaffen müssen. Bei großen Firmen können das mehrere 100 m^3 sein, bei kleinen Grundstücken 8–10 m^3. Das ist ein Baustein des dezentralen Konzepts. Wenn dann die Rückhaltung auf dem Dach erfolgt, können wir als Stadt das Volumen davon anrechnen. Das ist allerdings eher eine Sache bei größeren Städten mit größerer Verdichtung. Die Stadt, in der ich aktuell arbeite, ist relativ locker bebaut. Trotzdem haben wir aber Probleme. (Z. 442) - Es werden keine Gründächer in der Hochwassergefahrenkarte berücksichtigt. (Z. 483) - Bei Gründächern argumentiere ich, dass das Wasser bei Extremregenereignissen nicht auf Gründächern zurückgehalten werden kann. Da weiterhin Abflussmengen entstehen, würde ich sie aus der Gefahrenkarte draußen lassen, damit die Situation eher dramatisierender dargestellt ist. Gründächer nehmen vielleicht ein 10-jährliches Ereignis auf. (Z. 488) - 2018 gab es in der Stadt, in der ich zuvor gearbeitet habe, vor dem großen Starkregenereignis bereits ein kleineres Starkregenereignis, dass nicht so schlimm gewesen ist. Dadurch war der Boden jedoch gesättigt, sodass bei dem nächsten Starkregen der Boden kaum was aufnehmen konnte. Das gleiche kann ich mir auch bei den Gründächern vorstellen. Deswegen würde ich die nicht in einer Starkregengefahrenkarte berücksichtigen. Aber vielleicht sage ich in 10 Jahren, dass ich es doch berücksichtigen würde. (Z. 494) - In der Starkregenvorsorge interessiert mich die Versickerung wenig. Ich weiß, dass manche das anders sehen. Auch sind beide Städte, in denen ich tätig war, bergig. Wenn ich im Flachland bin und das Wasser dort auch mal steht und versickert, sieht die Situation vielleicht anders aus. Aber in einem Gebiet mit Gefälle, in dem nichts steht und nur fließt, berücksichtige ich die Versickerung nicht. (Z. 251)
K2: Trockenheit allgemein	- Bis die ersten trockenen Sommer kamen, die seitdem jedes Jahr waren, habe ich mich hauptsächlich auf die Starkregenvorsorgen konzentriert. Als der Sommer 2018 so trocken war, haben wir gemerkt, dass wir umdenken müssen. Zum einen wollen wir bei Starkregen das Wasser so schnell wie möglich aus der Stadt ableiten und zum anderen haben wir die nächsten vier Wochen dann wieder Trockenheit und wünschen uns sehnlichst das Wasser. Die Überlegung ist, dass man keine Versickerung schafft, sondern ganz viele kleine dezentrale Rückhalteräume, indem man z.B. eine Baumscheibe oder das Straßenbegleitgrün nutzt. Wenn man das stadtweit macht, wird man so ein Starkregenereignis nicht verhindern können, aber vielleicht schaffen es die Summen der

	Maßnahmen irgendwann einmal es zu reduzieren. Versickerung sehe ich zur Überbrückung von Trockenzeiten, um das Wasser in der Stadt zu halten. Wir bauen unter anderem eine unterirdische Zisterne mit 100 m^3. Damit ist Wasser vorhanden, um zum Beispiel Stadtparks im Sommer grün zu halten, damit diese Verdunstungskühlung bringen. (Z. 222) - Mittlerweile müssen wir nicht nur die Entwässerung und Starkregenvorsorge planen, sondern auch, wie wir im Sommer das Wasser dort hinkriegen, wo es gebraucht wird. Wenn es einen kurzen Gewitterschauer gibt, soll das Wasser nicht in einen Straßeneinlauf ablaufen, sondern in eine begleitende Grünfläche geleitet werden. Auch wenn dort ein bisschen Bremsabrieb dabei ist. Aber ich bin kein Ökologe und weiß nicht, ob ich dem Baum danach auch schade. (Z. 522)
K2.1: Trockenheit Kanalisation	N/A
K2.2: Trockenheit Versickerungsanlage	- Ich habe keine messbaren Erfahrungen gemacht, dass die Versickerungsleistung auf Grund von Dürre nachlässt. Aber wenn es knochentrocken ist, kann ich anhand von Erfahrungswerten erkennen, dass nichts mehr versickern kann. (Z. 246)
K3: Mängel allgemein	- In der Stadt, in der ich davor gearbeitet habe, hatten wir ein großes Problem mit der unteren Wasserbehörde. Die wollten die gleiche Einleitgenehmigung wie bei der Regelentwässerung haben, weil wir Notwasserwege von den Straßen in die Bäche geplant haben und damit auch Schmutzwasserfrachten in die Bäche oder über die Grünflächen ins Grundwasser geleitet hätten. Dafür haben wir uns dann auch Hilfe von Fachjurist*innen geholt. Wir wollten keine Einleitgenehmigung für jede Maßnahme, weil wir dann auch haftbar sind. Zusätzlich sind wir auch gar nicht zuständig für die Überflutungsvorsorgen. Wir haben die Aufgaben für die Stadt übernommen, weil wir die Kompetenz haben. Es ist eine kommunale Aufgabe, bei der die Stadtplanung, das Tiefbaumt, der Oberbürgermeister*in usw. zusammenarbeiten müssen, um der Bürger*in eine Daseinsvorsorge zu bieten – einen Schutz vor Gefahren im Rahmen des Zumutbaren. Es ist nirgendwo richtig definiert, was bei der Starkregenvorsorge getan werden muss. Es gibt eine Fürsorgepflicht, aber die haben nicht wir als Abwasserbetrieb. Wir machen es zwar gerne und zahlen es in NRW mit Gebühren. Wir wollen jedoch nicht haftbar sein, wenn etwas schiefgelaufen ist. Die untere Wasserbehörde ist Teil der Kommune und wir machen das auch für sie. Des Weiteren ist das keine planmäßige Entwässerung. Wenn etwas planmäßig mit einer Einlaufmenge etc. zu berechnen ist, machen wir auch die vorgesehene Einleitgenehmigung. Bei einem Katastrophenfall wissen wir nicht, wie viel Niederschlagswasser wirklich ankommt oder durch Öl verschmutzt ist. Zusätzlich gibt es noch das Verhältnismäßigkeitsprinzip.

	"Not kennt kein Gebot". Darauf beruft sich auch die Feuerwehr, dass auch etwas Illegales getan werden darf, um Leben zu retten oder ein größeres Schadensmaß zu reduzieren. Also sagen wir, das Wasser soll lieber in einen Bach eingeleitet werden als in einen Keller mit Öltank. Dann haben wir uns mit der Wasserbehörde zusammengesetzt, um zu testen, wie viel Schmutzfracht überhaupt anfällt. Es wurden Feldversuche durchgeführt, die gezeigt haben, dass der „First Flush", wenn bei Starkregen die Straßen zu Beginn langsam freigespült werden, weitgehend in den Kanal gelangt. Nach 2–4 Minuten war nur noch die Hälfte der anfänglichen Schmutzfracht vorhanden und damit konnte die Wasserbehörde leben. Ebenfalls haben wir eine Situation simuliert, bei der einmal im Jahr ein Starkregen vorkommt und das ganze System überlastet ist und es im Bach landet. Das waren vielleicht 5 % der Wassermenge. Wenn der Rest aufgefangen wird, ist das halb so wild. So haben wir uns mit der Wasserbehörde geeinigt, sodass sie noch ein Datenblatt bekommt, damit bekannt ist, welche Einzugsgebiete da mit dranhängen. (Z. 297)
K3.1: Mängel Kanalisation	- Wir befinden uns in einem bergigen Gebiet und als ein Ast in einem Bachtal quer lag, hat sich dort das Wasser angestaut. Als der Wasserdruck so hoch war, dass durch einen Schwung viele Äste mitgerissen wurden, haben sich diese in der Kanalisation verkeilt. Der Regenwasserkanal war verstopft und zum Glück war kein Haus von dem Aufstau betroffen. (Z. 402)
K3.2: Mängel Versickerungsanlagen	- In der Stadt, in der ich aktuell arbeite, haben wir noch keine Überwachung oder Kontrolle der dezentralen Anlagen, weil wir keine Leute dafür haben. Es sind viele kleine Anlagen, die alle kontrolliert werden müssen und dafür ist kein Personal vorhanden. In der Stadt, in der ich davor gearbeitet habe, war so etwas gerade im Aufbau. Dort ist ein Team vor der Starkregensaison rausgegangen und hat überprüft, ob die wichtigsten Bereiche, Bachdurchlässe und Rückhalteräume noch sauber sind und das Wasser abfließen kann. Nach einem Starkregenereignis soll sich die Aufgabe wiederholen, aber das ist noch nicht vorgekommen. Dort soll kontrolliert werden, ob es irgendwo eine Beschädigung gibt und diese ausgebessert werden muss. Wenn bekannt war, dass in den nächsten Tagen ein Gewitter eintreten könnte, wurden davor gewisse Punkte abgefahren, an denen sich das Wasser anstaut. Dort wurde nachgeguckt, ob der Eimer sauber ist und das Wasser ablaufen kann. Es muss so geplant werden, dass möglichst wenig Personal benötigt wird. Das Ziel wäre, eine Mulde zu haben, die einmal im Jahr gemäht wird und anschließend nicht mehr kontrolliert werden muss. (Z. 260) - Bei normalen Versickerungsanlagen brauch man eine Einleitgenehmigung, die wir uns einholen. (Z. 359)

	- Es gab noch nie Probleme mit Schadstoffen. Bei Autobahnen, Bundesstraßen oder vielbefahrenen Straßen muss das Niederschlagswasser zu einer Behandlungsanlage. In der Regel ist das eine Kläranlage. Wenn es nur eine mittelmäßig befahrene Straße ist, kann es in eine belebte Oberbodenzone und bei kleinen Wohnstraßen, kann es auch nur versickern. (Z. 365) - Für die Genehmigung von Versickerungsanlagen muss ein Antrag gestellt werden, der auf 20 Jahre beschränkt ist. Es muss ein Bodengutachten nachgewiesen werden und es müssen technische Vorgaben gemacht werden. Zum Beispiel haben wir vor, bei einem Schacht eine Tauchwand einzulassen, damit Leichtflüssigkeit nicht in die Versickerungsanlage und ins Grundwasser gelangen, wenn etwas ausläuft. Die Abnahmen werden ganz selten kontrolliert, aber sie sind zumindest aktenkundig. (Z. 375) - Theoretisch könnte es passieren, dass sich Schadstoffe nach zehn Jahren absetzen und es unbemerkt bleibt. Aber wenn das Niederschlagswasser über eine belebte Oberbodenzone versickert, dann sammelt sich dort etwas an. Aber das baut sich wohl ab und sei relativ harmlos. (Z. 386) - Wir haben in der Innenstadt auch überlegt, Spielplätze aufzustauen, wie die Hamburger das schon gemacht haben. Dann muss eine Gefährdungsbeurteilung gemacht werden, die Gefährdungen abgeschätzt werden und versucht werden, die Gefährdungen mit Maßnahmen zu reduzieren. Das schlimmste ist, wenn eine Person zu Schaden kommt. Damit macht man sich eventuell selbst haftbar, sodass die Jurist*innen uns gewarnt haben, dass wir eine nachvollziehbare Argumentation mit der Gefährdungsbeurteilung schaffen müssen. Eine falsche Bewertung ist besser, als fahrlässig zu handeln oder sich gar keine Gedanken gemacht zu haben. (Z. 411) - Bei der Versickerung ist Taumittel ein Dauerthema, dass diese die Versickerung minimieren. Dafür habe ich keine Lösung, außer dass der Klimawandel dazu führt, dass weniger Salz benötigt wird. Das bestätigt mir auch der Bauhof. (Z. 426) - Wenn neue Straßen angelegt werden, kann Straßenbegleitgrün tiefer gelegt werden, damit dort Wasser zurückgehalten werden kann, bis es weiterläuft bis zur nächsten Kaskade. Dort kann das Problem auftreten, dass das Wasser zu lange in den tieferen Mulden steht. Das hat letztens unsere Baumexpert*in gesagt. Dort müssen Pflanzen gefunden werden, die mit Trockenheit, Hitze und Wasserstau umgehen können. (Z. 432)

A.3.2 Interview mit B2

Kategorie	Paraphrasierung des extrahierten Materials
K1: Starkregen allgemein	N/A
K1.1: Starkregen Kanalisation	- Der Gehsteig, ein Bordstein rechts und links von der Straße sind ein riesiges Reservoir auf der Straße, wo ein Starkniederschlagsereignis entweder auf der Oberfläche abfließt und hoffentlich nirgendwo in eine Tiefgarage reinfließt. Oder es wird dort gespeichert und fließt in den Kanal, wenn der Regen vorbei ist. (Z. 69) - Die Kanalbetreiber kennen ihre Problempunkte bei Starkregenereignissen und setzen dann technische und planerische Maßnahmen um, dass die Probleme beseitigt werden. (Z. 156)
K1.2: Starkregen Versickerungsanlagen	N/A
K2: Trockenheit allgemein	N/A
K2.1: Trockenheit Kanalisation	N/A
K2.2: Trockenheit Versickerungsanlage	N/A
K3: Mängel allgemein	- Die Planung erfolgt von uns nach dem Stand der Technik. Bei einem öffentlichen Auftrag verlangen die Behörden eine Störfallplanung/ Bedienungsanleitung/ Betriebsanleitung/ Erhaltungsanleiten als Auflage in ihren Bescheid. Bei privaten Anlagen ist die Wasserrechtsbehörde jedoch häufig nicht dabei, sondern nur die Baubehörde. (Z. 139) - Störfallplanung ist Zukunftsmusik. Da ist momentan nur ganz wenig vorhanden, wie zum Beispiel ein Zweiseiter bei der Kläranlage, der der Betriebsanleitung zugefügt ist. Dort steht drin, was bei einem Störfall zu tun ist. Mehr gibt es aber nicht. (Z. 151)
K3.1: Mängel Kanalisation	- Dass neuere Methoden zur Oberflächenwasserbewirtschaftung eingesetzt werden, wie z.B. Versickerung von Niederschlagswässern oder die Trennung von Schmutzwasserkanalisation und Niederschlagswasserkanalisation, wurde in den letzten Jahren immer mehr zum Thema, da die Kanäle immer voller werden. Die Anrainer*innen oder Architekt*innen werden für neue Aufschlüsse immer vorsichtiger, da sie von den Baubehörden und sachverständigen Personen mehr geprüft

	werden. Sie lassen sich daher eine bestimmte Wassermenge, die sie einleiten dürfen, offiziell vom Kanalbetreiber*innen genehmigen. Das Problem ist, dass die Bemessung der Kanalbetreiber*innen und Ingenieur*innen sich von den Bemessungen der Architekt*innen und Installateur*innen unterscheiden. Da gibt es andere Bemessungsverfahren, sodass die berechneten Mengen sehr häufig differieren. Die Berechnungen sind sowohl beim Schmutzwasser als auch beim Regenwasser anders. Beim Schmutzwasseranfall rechnen die Architekt*innen und Installateur*innen mit der sogenannten Gleichzeitigkeit, dass alle Wasserhähne, Duschen und WC-Spülungen gleichzeitig aufgedreht sind und dieser Wert um 50 % reduziert wird. In der öffentlichen Kanalisation wird hingegen mit einer Schmutzwasserspitze von 4 l/ 1000 Einwohner*innen gerechnet. Beim Regenwasser rechnen die Architekt*innen und Installateur*innen mit anderen Wahrscheinlichkeiten. Sie bemessen laut Norm mit mindestens 300 l/s*ha oder mindestens einem 5-jährlichen Ereignis mit 5 Minuten Dauer. In der öffentlichen Kanalisation wird einerseits ein 5-jährliches Ereignis bei neueren Kanalisationen angesetzt, nur dass dort nicht mit 5 Minuten Dauer, sondern mit 15 Minuten gerechnet wird. Und in ganz vielen Fällen sind es noch alte Kanalisationen, die für ein 1-jährliches Ereignis mit 15 Minuten bemessen sind. Im Wiener Raum und Umgebung zum Beispiel sind viele Kanäle nur auf ein 1-jährliches Ereignis mit 100 l/s*ha bemessen. (Z. 13) - Zum Beispiel, wenn die Installateur*innen oder Architekt*innen eine Bemessung für eine Parzelle mit 3–4 Wohnungen gemacht hat, kommen um die 20–30 l/s raus, die er an Regenwasser in den Kanal einleiten möchte. Wenn ich das auf die ursprüngliche Bemessung des Kanals umrechne, komme ich auf 4–5 l/s für diese Parzelle. Für den Umgang mit der Differenz gibt es zwei Lösungen. Die erste Option ist die pragmatischere, für die ich immer plädiere. Der Architekt*in ist bewusst, dass es eine Differenz gibt und berücksichtigt beim Anschließen die Rückstauebene. Die beträgt 15 cm über dem nächstgelegenen Kanaldeckel. Das ist in der 2501 geregelt. Bis 2016 waren das 10 cm. Bis dahin muss der Kanal im Haus dicht sein. Sollte unterhalb dieser Ebene Schmutzwasser oder Regenwasser anfallen, muss es gehoben werden. Am Kanaldeckel kommt es dann raus oder nichts mehr rein, je nachdem wie die Wetterlage ist. Wenn die Dachrinnen dort angeschlossen sind, geht das gesamte Niederschlagswasser 1:1 in den Kanal. Ich würde nicht sagen, dass es so gedacht ist, aber so passiert es eben. (Z. 51) - Bei der zweiten Option, wenn die Architekt*innen nicht flexibel sind und genau ihre bemessene Menge einleiten wollen, müssen wir sagen, dass dies nicht umsetzbar ist. Den Architekt*innen wird dann eine Menge genannt, die sie einleiten dürfen und die Differenz muss mit einem Speicher ausgeglichen werden. Viele Architekt*innen bauen dann Speicherkanäle auf Privatgrundstücken und leiten die restliche Menge gedrosselt in den Kanal ein. (Z. 74)

	- Speicherkanäle auf Privatgrundstücken sind Systeme mit Mechanik für die Drosselung, die Hebeanlage, einem Pumpwerk, bei denen Störungen auftreten können. Mechanik ist immer anfällig, gerade im Kanal. Es kann ein Stromausfall auftreten sowie die Drosselorgane oder die Pumpe verstopfen. (Z. 86) - Bei Kanalbetreiber*innen, die ich schon seit 30 Jahren kenne und die schon seit 60–70 Jahren bei uns Kunden sind, die haben immer eine sehr gute Arbeit für den Betrieb und die Wartung geleistet. Aber es wurde nie etwas niedergeschrieben. Wir müssen froh sein, wenn es ein Wartungsbuch gibt, weil das auch von der Behörde vorgeschrieben ist. Dort wird eingetragen, wann die Reinigung stattgefunden hat. (Z. 173) - Die Kanalbetreiber*innen kennen auch die Problempunkte aus dem Betrieb, z.B. wann und wo ständig Verstopfungen passieren, weil das Gefälle zu gering ist oder sich eine Senke im Kanal befindet. Dort wissen sie, dass sie häufiger zur Reinigung hinfahren müssen. Das ist aber in keinem Wartungsbuch niedergeschrieben, das ist das Wissen der handelnden Personen. (Z. 158)
K3.2: Mängel Versickerungsanlagen	- Es wird versucht, mit dezentralen Anlagen die Differenzen der Bemessungen von Architekt*innen und Ingenieur*innen auszugleichen. In den letzten 5–10 Jahren kamen die Architekt*innen auf uns zu, um Ihnen als Spezialist*innen die Oberflächenentwässerung planen zu lassen. Wir bauen Versickerungskombinationen mit Speicher und Versickerung. Je nachdem wie sickerfähig der Boden ist und wo der Grundwasserspiegel ist, werden Mulden, Mulden-Rigolen-Systeme oder Sickerschächte gebaut. Wir bauen alles, was Stand der Technik ist mit der 2506 oder dem ÖWAV RB 45 bzw. der DWA 138. (Z. 95) - Wir müssen froh sein, wenn es überhaupt eine Bedienungsanleitung für die Hausmeister*in gibt oder es überhaupt jemanden gibt, der sich um die Anlagen kümmert. Das entzieht sich aber meiner Kenntnis. Wir reichen unsere Arbeit bei den Architekt*innen ein und dann wird das selbstständig umgesetzt. Sie brauchen uns dann nicht mehr, außer wenn sie z.B. nicht wissen, wie ein Pumpwerk funktioniert oder welchen Sickerschacht sie nehmen sollen und wo sie diesen herbekommen. Ich bekomme ab und zu mit, dass bei öffentlichen Gebäuden die Sickeranlagen verschlammt sind. Dann kommt die Anfrage, ob die richtig bemessen sind. Wenn ich mir das anschaue und nachfrage, ob die schon einmal gewartet wurden oder wie lange die bestehen, kommt meistens raus, dass der Sickerschacht seit 20–30 Jahren im Betrieb ist und keiner gewusst hat, dass überhaupt ein Sickerschacht existiert, geschweige denn gewartet werden muss. (Z. 117) - In einer Gemeinde haben wir einen Spielplatz nicht direkt in einen Rückhalteraum gesetzt, weil genügend Platz

	vorhanden war. Der Rückhalteraum ist aber in den Spielplatzbereich integriert. Die Böschungen von dem Sickerbecken haben eine Höhendifferenz von 2 m und sind sehr flach ausgebildet. Dort kann im Winter z.B. Schlitten gefahren werden. Das dies die Versickerung beeinflussen könnte, haben wir bisher noch nicht gehabt. Das Sickerbecken dort ist auch eigentlich ein Filterbecken zur Reinigung von Straßenniederschlagswasser. Nach einer Humusschicht fließt das Wasser über eine Drainageschicht in den Vorfluter. Dabei handelt es sich um ein Toteisloch in einem Naturschutzgebiet. Über eingeleitetes Wasser sind dort alle froh, aber es muss sehr sauber sein. Da es bei der Oberflächenentwässerung häufig Probleme mit Straßenüberflutung gibt, haben wir die Straßen und die Regenwasserkanäle so gestaltet, dass das Niederschlagswasser auf die große Grünfläche, die als Spielplatz genützt wird, geleitet wird. Dort wurden dann diese Filterbecken mit der Humusschickt und der Drainageschicht gebaut, die das Niederschlagswasser gereinigt in den Vorfluter leiten. (Z. 222) - In einer Gemeinde haben wir gerade Diskussionen, weil eine Straßenentwässerung, bestehend nur aus Sickermulden, nicht angenommen wird von der Bevölkerung. Als wir dort eine Schmutzwasserkanalisation geplant hatten, habe ich zum ehemaligen Baudirektor gesagt, dass der Boden dort sehr sickerfähig ist und das Grundwasser erst in größeren Tiefen beginnt. Die Häuser könnten Sickerschächte für die Dachwässer bekommen und die Straßenwässer könnten in Sickermulden neben dem Asphaltbereich entwässern. Ich weiß nicht, ob das vielleicht von der Baufirma oder allgemein in der Konstellation ungünstig gelaufen ist, aber die Anrainer*innen haben es von vornherein abgelehnt. Die haben sich aufgeregt und meinten, dass die Sickermulden hässlich seien und dort Kinder ertrinken würden. Als ich dann meinte, sie sollen sich die Mulden vor ihrem Haus selber gestalten, indem sie z.B. Rosen anpflanzen, sagte die Bürgermeisterin, ich soll nicht zynisch werden. Ich meinte das aber ernst. Wir haben dann eine Lösung mit dem Neubaudirektor gewählt, dass wir einen Regenwasserkanal für die Straßenwässer gebaut haben und eine Grundstücksparzelle als öffentliches Gut erklärt haben. Diese Parzelle hat die Gemeinde zurückbehalten oder gekauft und dort bauen wir jetzt ein zentrales Sickerbecken. Dieses Sickerbecken wird wahrscheinlich als Spielplatz ausgestaltet. (Z. 246) - Wenn Parkplätze verloren gehen, gibt es immer Probleme. In einer Stadt wie Wien gibt es das Thema nicht. Ich kann mir dort nicht herausnehmen, dass der Parkplatz vor meinem Haus mir gehört und ich den immer haben will. Wenn es einen Widerstand gibt und etwas einfach abgelehnt wird, dann kann nichts dagegen unternommen werden. Auch wenn ich sage, dass ein bisschen Grün vor dem Haus doch schön sei, bringt das nichts, da rundherum nur Äcker und Felder sind. Für mich gibt es auch nichts Hässlicheres, wenn der Parkplatzbereich mit Asphaltrecyclingmaterial anstelle von

	Schotter gestaltet ist. Der Asphalt ist jedoch praktisch, weil er einfach zu reinigen ist und es beim Rüberfahren nicht rumpelt. (Z. 276) - In einer anderen Gemeinde wollten wir die Straße neugestalten und hatten links und rechts 1–2 Meter Grünstreifen und ein ganz schmales Asphaltband. Die Autos haben kreuz und quer auf der Grünfläche geparkt. Dementsprechend hat die Grünfläche auch ausgesehen, sodass die Anwohner*innen grundsätzlich dafür waren, dass diese neugestaltet wird. Wir haben dann eine Mulde und eine breitere Verkehrsfläche daraus gemacht. Die Mulde hat den restlichen Grünstreifen voll eingenommen, sodass es keine Parkplätze mehr gab. Es befinden sich in der Straße nur Einfamilienhäuser und jeder Zweite hat vor der Einfahrt eine Doppelgarage und vor der Garage noch Doppelabstellplätze. Es haben also schon vier Autos Platz. Die Anwohner*innen haben aber drauf beharrt, dass auf dem öffentlichen Grund auch eine Parkmöglichkeit besteht. Der Bürgermeister war geschickt und meinte, dass alle, die es möchten, eine Parkfläche mit Gitterrasensteinen bekommen. Dahinter beginne dann die Mulde. Es habe allerdings keine Person ein Anrecht auf einen Privatparkplatz und wer diese Option haben möchte, muss die Steine selbstständig bezahlen. Die Verlegung bezahlt die Gemeinde. Das Konzept ist umgesetzt worden und jedes Mal, wenn ich alle 2–3 Monate durch die Gemeinde fahre, sehe ich, dass alles perfekt gepflegt ist. Ich glaube sogar, dass die Anrainer*innen die Anlagen selber pflegen. Da müsste ich nachfragen. Ein Hausbesitzer in einer anderen Gemeinde war froh über eine Mulde vor seinem Haus, da jetzt keiner mehr vor seinem Grundstück parke. Er hat die Mulde auch immer selbstständig gepflegt und gemäht. (Z. 296) - Ich weiß leider nicht, ob eine Anlage schon einmal nicht mehr funktioniert hat und ausgebessert werden musste. So lange gibt es diese Anlagen auch noch nicht. Anrainer*innen haben sich schon beschwert, dass die Anlagen gefährlich seien und dort Kinder ertrinken oder die Kinder sich verletzen, wenn sie mit dem Rad reinfahren. Ich bin auch auf dem Land aufgewachsen und ich kenne nur Straßen mit einem Straßengraben als Entwässerungsgraben. Dort bin ich auch nicht reingefahren als Kind und wenn es passiert ist, war ich selbst schuld. (Z. 331)

A.3.3 Interview mit B3

Kategorie	Paraphrasierung des extrahierten Materials
K1: Starkregen allgemein	- Irgendwann müssen bei der Starkregenvorsorge Grenzen gesetzt werden. Irgendwann ist Schluss mit dem, was vorgesorgt werden kann. Wenn Straßen jedoch neu gemacht werden, kann das in die Planung mit einfließen und das Wasser kann noch irgendwo hingeleitet werden. In den Altbestand kann jedoch nicht eingegriffen werden. (Z. 108)
K1.1: Starkregen Kanalisation	N/A
K1.2: Starkregen Versickerungsanlagen	- Die Anlagen sind für ein HQ 100 ausgelegt. (Z. 89) - Wenn das Wasser bei einem Starkregenereignis nicht zurückgehalten werden kann, gibt es keine Notfließwege und es rinnt irgendwo auf der Straße hinunter zum Altgebiet. Es gibt auch keine Planungen, Berechnungen oder dergleichen in diese Richtung. (Z. 97)
K2: Trockenheit allgemein	N/A
K2.1: Trockenheit Kanalisation	N/A
K2.2: Trockenheit Versickerungsanlage	N/A
K3: Mängel allgemein	N/A
K3.1: Mängel Kanalisation	- Wichtig ist, dass man sein Kanalnetz kennt. Es müssen regelmäßige Kanalkamerabefahrungen oder optische Kanalprüfungen durchgeführt werden und beobachtet werden, wo es sensible und weniger sensible Bereiche gibt. Die zuständigen Personen für den Kanalbereich müssen darauf reagieren und ordnungsgemäße Wartungsintervalle durchführen, dass es zu keinen Verstopfungen oder Abflussverminderungen kommen kann. (Z. 157)
K3.2: Mängel Versickerungsanlagen	- Die Grünflächen sind gleichzeitig auch Naherholungsgebiete und Kinderspielplätze und sind so gestaltet, dass nichts passieren kann (die Zugänge usw.). (Z. 36) - Da es gewollt ist, dass den Kindern ihr Spielraum gelassen wird, muss ein Kompromiss bei der Nutzung gefunden werden. Ist zum Beispiel ein Graben überbaut, darf alles dortbleiben und wird geduldet, solange es kein Hindernis darstellt. Ablaufrohre müssen jedoch frei sein. Baurechtlich ist es ein Wahnsinn und darf dort natürlich nicht sein. Die

	Haftungsfrage dementsprechend ist: Wenn ein Kind dort aus dem Baumhaus herausfällt, wer ist dann schuld? (Z. 48) - Grundsätzlich muss immer laufend kontrolliert werden. Alle 3–4 Wochen fahre ich einmal mit dem Auto durch die Siedlungsgebiete und kontrolliere optisch, ob die Retentionsbecken und Gräben frei sind. Wenn dies nicht der Fall ist, werden sie freigeräumt. (Z. 64) - Ein Problem ist, dass Leute ihren Grünschnitt vom Rasenmähen in die Gräben entleeren. Das stellt ein Hindernis für den Gärtner dar, der die Gräben pflegt. Die Gartenabfälle faulen an und es ist keine optimale Entsorgung gewährleistet. Es muss in dem Fall der Kontakt mit den Liegenschaftseigentümern gesucht werden, dass dies nicht mehr so passiert. (Z. 74) - Es gibt keine Verschleißerscheinungen und keine Probleme aufgrund des Alters der NWB seit Inbetriebnahme vor ca. 10 Jahren. (Z. 84) - Es gibt keine Probleme mit Schadstoffen. Es gibt eine Humusvorfilterung, das Wasser wird anschließend oberflächig in den Vorfluter geleitet. (Z. 132) - Grundsätzlich stimme ich zu, dass durch Reifenabrieb Verunreinigungen des Regenwassers auftreten können. Es gibt keine Probleme mit Verunreinigungen durch Reifenabrieb, da es nur eine kleine Siedlungsstraße ist. (Z. 142)

A.4 Ergänzende Tabellen

A.4.1 Auflistung und Einteilung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche (ÖWAV 2015b)

Flächentyp	***Art der Fläche***
F1	- *Dachflächen (Glas-, Grün-, Kies- und Tondächer, zementgebundene und kunststoffbeschichtete Deckungen), gering verschmutzt.* - *Alle anderen Dachflächenmaterialien und Terrassen (gering verschmutzt) mit einem Gesamtflächenanteil nicht größer als 200 m² projizierter Fläche.* - *Rad- und Gehwege* - *Nicht befahrene Vorplätze und Zufahrten für Einsatzfahrzeuge.*
F2	- *Dachflächen und Terrassen, gering verschmutzt, die nicht dem Flächentyp F1 zugeordnet werden können* - *Parkflächen für Pkw nicht größer als 20 Parkplätze bzw. 400 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt).* - *Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2. 000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit nicht häufigem Fahrzeugwechsel (Wohnhausanlagen, Mitarbeiterparkplätze bei Betrieben, Park-and-Ride-Anlagen und Parkplätze mit ähnlich geringem Fahrzeugwechsel).* - *Fahrflächen mit einer JDTV bis 500 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen bis 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke*
F3	- *Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit häufigem Fahrzeugwechsel (z.B. Kundenparkplätze von Handelsbetrieben, wie z.B. Einkaufsmärkte).* - *Parkflächen für Pkw größer 75 Parkplätze und nicht größer als 1.000 Parkplätze.* - *Fahrflächen mit einer JDTV von 500 bis 15.000 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen größer 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke.* - *Park- und Stellflächen für Lkw, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen (z.B. Verluste von Kraft- und Schmierstoffen, Frostschutzmitteln, Flüssigkeiten aus Brems- oder Klimatisierungssystemen etc.) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.* - *Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.*
F4	- *Parkflächen für Pkw größer 1.000 Parkplätze (z.B. Einkaufszentren).*

	- *Betriebliche Fahrflächen mit einer JDTV über 15.000 Kfz/24 h (Straßen mit in der Regel mehr als zwei Fahrstreifen).* - *Betriebliche Fahrflächen, Plätze und Flächen mit starker Verschmutzung z.B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen und Märkte.*
F5	- *Park- und Stellflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.* - *Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.* - *Dachflächen, stark verschmutzt (z.B. in Industriezonen mit hohen Emissionen).* - *Sonstige Flächen, stark verschmutzt.*

A.4.2 Checkliste zum Bauablauf von Versickerungsanlagen (DWA 2020c)

Grundlagen	- *Liegen ausreichend detaillierte Planunterlagen zu den Versickerungsanlagen vor? Sind darin alle erforderlichen vor-/nachgeschalteten Anschlusssysteme ausreichend genau berücksichtigt?* - *Liegt eine Maßnahmenbeschreibung vor, aus der Funktion und gegebenenfalls Einbindung in übergeordnete Systeme (Entwässerungs-, Verkehrsanlagen) hervorgehen?* - *Liegt ein Übersichtslageplan mit vorhandenen und geplanten Leitungen auch anderer Gewerke im Maßnahmenbereich vor?* - *Liegt ein geotechnisches Gutachten mit den erforderlichen Bodenbewertungen zu den Versickerungseigenschaften und der Grundwassersituation in ausreichendem Umfang für die Maßnahme vor?* - *Enthält das geotechnische Gutachten folgende Informationen:* o *Anzahl und Verteilung der Beprobungsstellen,* o *Angaben zur Bodenbelastung und zur Weiterverwendungsmöglichkeit der Böden,* o *Angaben zu den Versickerungseigenschaften der anstehenden Bodenschichten inkl. Methode von Bodenbeprobung und K_f -Werte-Ermittlung.*
Baustellenmanagement	- *Wie ist die Baustellenentwässerung geregelt?*

	- *Wo liegt ein möglicher Vorfluter (Entwässerungsanlage oder Oberflächengewässer)? Sind Einleitungen während der Dauer der Bauarbeiten zulässig?* - *Ist der Maßnahmenbereich im Baustelleneinrichtungsplan berücksichtigt?* - *Wie sind Zugang und Andienung vorgesehen?* - *Wo lassen sich Lagerflächen für Aushub und Materialien anordnen?* - *Ist der Maßnahmenbereich von Auffüllungen/Abtrag/Geländemodellierungen betroffen?* - *Gibt es potenzielle Konfliktpunkte mit anderen Gewerken?* - *Ist ein Umlegen von Leitungen erforderlich?* - *Welche permanenten oder phasenweisen Schutzmaßnahmen sind während der Bauphase für den Bereich der Versickerungsanlage erforderlich?* - *Welche Bauunternehmen und Fachplanende sind zu informieren?* - *Liegen behördliche Auflagen vor?*
Geotechnische Begleitung	- *Ist eine geotechnische Begleitung für die ergänzende Bodenbewertung erforderlich?* - *Ist die Material/Bodenmischung für die belebte Bodenzone geeignet?* - *Wie hoch ist der Mittlere höchste Grundwasserstand (MHGW)?*
Konstruktive Bauausführung	- *Wie sind die Abläufe der erforderlichen Bodenbewegungen, Aushub- und Einbauarbeiten zeitlich und räumlich konzipiert?* - *Sind versickerungsrelevante Bereiche ausreichend geschützt?* - *Sind kritische Stellen gegen Erosion geschützt (Mulden, Fließwege)?* - *Werden bei Verwendung von Systemelementen die Hersteller-Einbauanweisungen beachtet?* - *Sind Wartungs-/Unterhalts-/Betriebs-Punkte für die erforderlichen Maßnahmen und Arbeiten erreichbar?*
Dokumentation	- *Wie ist die Dokumentation der hergestellten Anlage organisiert?* - *Wer begleitet und bestätigt die ordnungsgemäße und fachgerechte Herstellung und Baudurchführung?*

A.4.3 Kriterien zur Risikobewertung gemäß Gefährdungspotential vor Ort (KLUGE et al. 2016)

Risikobewertung	***Gefährdungspotenzial***
Sehr hoch	*Funktionsmängel bei der offenen Ableitung mit der Gefahr direkter Gebäudevernässung/ -überflutung*
Hoch	*grundlegende Funktionsmängel der Entwässerungsanlage bei Retentions- und Versickerungsleistung an der Entwässerungsanlage*
Mittel	*punktuelle Funktions- und Zustandsmängel an der Entwässerungsanlage*
Gering	*punktuelle Zustandsmängel mit geringer Auswirkung auf die entwässerungstechnische Funktionsfähigkeit der Versickerungsanlage*
Sehr gering	*punktuelle Zustandsmängel ohne Auswirkung auf die entwässerungstechnische Leistungsfähigkeit der Versickerungsanlage*

A.4.4 Schadensbilder, Folgeschäden, Risikobewertung von Versickerungsanlagen (KLUGE et al. 2016)

Erosionsschäden			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Rinne an Gebäudesockel	*Wild abfließendes Niederschlagswasser*	*Sehr hoch*	*Gebäudevernässung, Überflutung baulicher Anlagen*
Böschung	*Vegetationsausfall und Erosion*	*Mittel*	*Verlust an Muldensohlenfläche und -volumen durch erodiertes Böschungsmaterial*
Bauwerk in Mulde	*Fortscheidender Verlust Anstauhöhe*	*Sehr hoch*	*Verlust Retentionsvolumen*
Überlauf	*Fortschreitender Verlust Anstauhöhe*	*Hoch*	*Verlust Retentionsvolumen*
Setzungen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Rinne/ Pflasterflächen	*Wild abfließendes Niederschlagswasser*	*Sehr hoch*	*Gebäudevernässung, Überflutung baulicher Anlagen*

Muldensohle	*Ungleichmäßige hydrauliche [sic!] Belastung. Ausfall der Vegetation und Kolmation*	*hoch*	*Verringerung versickerungswirksamer Fläche*
Muldenwälle	*Absenkung Anstauhöhe*	*hoch*	*Verlust Retentionsvolumen, weitere Erosionsprozesse*
Schächten und Schachteinfassungen	*Reduzierung des Einstauvolumens*	*mittel*	*Verlust von Retentionsvolumen*
Trittschäden und Verdichtungen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Muldenwall/-böschung	*Absenkung*	*hoch*	*Verlust Retentionsvolumen*
Muldensohle	*hochfrequentierte Spielbereiche*	*mittel*	*punktuelle bis flächige Verdichtung, Ausfall Vegetation und Kolmation*
Muldensohle	*Trampelpfade*	*gering*	*punktuelle/lineare Verdichtung, Ausfall Vegetation und Kolmation*
Muldensohle	*Spurrillen in Teilbereich (PKW)*	*gering*	*punktuelle/lineare Verdichtung, Ausfall Vegetation und Kolmation*
Muldensohle	*Spurrillen auf gesamter Sohlfläche (Mahd mit schwerem Gerät)*	*hoch*	*flächige Verdichtung, Ausfall Vegetation und Kolmation*
Materialermüdungen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Fallrohrkrümmer (Endstück)/Fallrohr	*Ablösung Krümmer und Rohrschellen, RW-Ableitung in Rinne nicht gesichert*	*sehr hoch*	*Gebäudevernässung, Überflutung baul. Anlagen*
Rinne	*ausgespülte Fugen und Bettung*	*sehr hoch*	*Gebäudevernässung*
Hochbord auf Lücke	*Anprallschäden an Hochborden*	*sehr gering*	*-*
Muldenabgrenzung aus Holz	*Verrottet, nicht mehr vorh.*	*gering*	*Überfahrung durch PKW (v.a. bei geschl. Schneedecke)*
Holzeinfassung Überläufe	*Verrottet, lückenhaft*	*hoch*	*Verlust Retentionsvolumen*

Schächte	*Überwachsen*	*gering*	*Kontrollverlust*
Rohrleitungen (IPS)	*Wurzeleinwuchs, Sedimentablagerung*	*mittel*	*Querschnittsverringerung*
Sohlvegetationen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Muldenzulaufbereich	*Ausfall Vegetationsdecke durch eingeschwemmte mineralische Sedimente und organische Stoffe (Laub)*	*gering*	*Beschränkung auf Einlaufbereich: Regeneration Vegetationsdecke in Sommermonaten, Entnahme im Rahmen der Pflege*
Böschung	*Reduzierte Vegetation*	*mittel*	*Beschränkung auf Einlaufbereiche*
Muldensohle	*Ausbildung feuchteresistenter Vegetation*	*gering*	*höherer Pflegeaufwand (Mahd und Entnahme Mahdgut)*
Muldensohle	*Aufwuchs von Wildstauden (Brombeere)*	*mittel*	*partielle Verschattung, höherer Arbeitsaufwand bei Mahd*
Muldensohle	*Aufwuchs von kleinen und mittleren Gehölzen (U ca. 40 cm)*	*hoch*	*partielle Verschattung, moderater Laubanfall, Kolmation, Verstopfung von Zulaufrohren*
Muldensohle	*Aufwuchs von Großgehölzen* (U ca. 60 cm)	*hoch*	*Großflächige Verschattung, massiver Laubanfall, Kolmation*
Muldensohle	*Veränderung der Abflusswege, Überlastung tiefer gelegener Muldensegment*	*mittel*	*Kolmation der Muldensohle, langanhaltende Wasserstände*
Muldenwall/Überlauf	*Absenkung durch Gehölzaufwuchs*	*hoch*	*Verlust Retentionsvolumen, Überflutungsgefahr*
Sedimentablagerungen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Ableitungselemente (Rinnen)	*Sedimentablagerung fixiert durch Pflanzenbewuchs*	*hoch*	*wild abfließendes NW, Überflutung baulicher Anlagen*
dezentrale Zuläufe (Hochborde auf Lücke)	*Sedimentablagerung fixiert durch Pflanzenbewuchs*	*mittel*	*bei 0 % Straßenlängsgefälle Rückstau, verzögerter Abfluss, bei >0 %keine gleichmäßige*

			Belastung Muldensegment
Diffuser Zulauf (über Schulter)	*Wulstbildung durch Rasenaufwuchs*	*hoch*	*bei 0 % Straßenlängsgefälle Rückstau, verzögerter Abfluss, bei >0 % ungleichmäßige Belastung Mulden Segmente (Kaskade), Belastung von Tiefpunkten*
punktueller Einlauf (oberhalb Sohle)	*flächige Sedimentablagerung fixiert durch Pflanzenbewuchs (Aufhöhung)*	*gering (sichtbar!)*	*Volumenverlust vernachlässigbar, allerdings kann bei erhöhter Belastung eine Verringerung der Versickerungsleistung auftreten*
punktueller Einlauf (sohlgleich)	*flächige Sedimentablagerung fixiert durch Pflanzenbewuchs (Aufhöhung)*	*hoch (unsichtbar!)*	*Rückstau bis hin zu Verstopfung des Rohrzulaufs*
Nutzungskonflikte			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Rinne	*Abstellen von Blumentöpfen, Gartengeräten etc.*	*mittel (sichtbar!)*	*Abflussbehinderung, Gebäudevernässung, Überflutung baul. Anlagen*
Rinne zu Mulde	*unqualifizierter Umbau Rinne zu Grundleitung*	*mittel*	*Auskolkung Rohrauslässe, Erosion im Einlaufbereich*
Muldensohle	*Trampelpfad*	*gering*	*punktuelle Verdichtung, Ausfall Vegetation und Kolmation*
Muldensohle	*Temporäre Nutzung Baustelleneinrichtung*	*hoch*	*Flächige Verdichtung, Ausfall Vegetation, Kolmation, Verlust Rückhaltevolumen*
Muldensohle	*Erweiterung bef. Flächen*	*hoch*	*Überlastung Versickerungsanlagen*
Nutzungs- und Gestaltungsveränderungen			
Betriebspunkt	***Schadensbild***	***Risikobewertung***	***Trendentwicklung/ Folgeschäden***
Krümmer/Rinnenanschluss	*Lageveränderung Fallrohr*	*sehr hoch*	*Gebäudevernässung, wild abfließendes Wasser*
Offene Rinne an Gebäude	*Zugestellt (Pflanzkübel, Regentonne etc.)*	*hoch*	*Wild abfließendes Wasser*

Rasenrinne	*Angleichung an umliegende GOK*	*mittel*	*Wild abfließendes Wasser*
Muldensohle	*Informelle Nachverdichtung (bef. Vorgärten zur Stellplatznutzung)*	*hoch*	*Vergrößerung angeschlossene befestigte Fläche, langanhaltende Wasserstände, Kolmation*
Muldensohle	*Verfüllung von Mulden oder Rückbau zugunsten von Pflanz-/Kiesbeeten*	*mittel*	*Verlust Retentionsvolume*
Muldensohle	*Abflachung durch Überfahrung mit schwerem Mähgerät*	*hoch*	*Verlust Retentionsvolumen*

11. Lebenslauf

Jan Julius Laschinski

21. Juli 1992 in Berlin

Ausbildung

Seit 10/2017 — **Universität für Bodenkultur Wien**

Masterstudium Kulturtechnik & Wasserwirtschaft
- Angestrebter Abschluss: Dipl.-Ing.
- Master-Thesis: Reaktionen von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen auf außerplanmäßige Ereignisse
- Schwerpunkte: Siedlungswasserwirtschaft, Konstruktiver Wasserbau und Flussgebietsmanagement, Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung, Risikomanagement und Ressourcenschutz
- Ausgewählte Projekte: Modellierung der Trinkwasserversorgung & Abwasserentsorgung einer österreichischen Gemeinde, Überprüfung der H_2S-Konzentration in der Kanalisation einer österreichischen Gemeinde, Flussrenaturierung und Wiederherstellung der natürlichen Gewässerstruktur, Niederschlags-Abfluss Modellierung, Modellierung und Konstruktion eines Bürogebäudes

10/2013 – 11/2016 — **Technische Universität Dresden**

Bachelorstudium Wasserwirtschaft
- Abschluss: Bachelor of Science
- Bachelor-Thesis: Untersuchungen zur Optimierung der Wasseraufbereitung in einem sächsischen Wasserwerk

09/2011 – 07/2013 — **Technische Hochschule Ingolstadt**

Duales Bachelorstudium Wirtschaftsinformatik bei der Siemens AG

08/2009 – 06/2011 — **Beethoven Gymnasium Berlin**

Abschluss: Abitur

08/2002 – 07/2009 — **Gymnasium Steglitz Berlin**

Berufserfahrung

07/2019 – 08/2019 **Laschinski Rambow Zech Ingenieure GmbH, Berlin**

Praktikum

Modellierungen und statische Aufbereitung von Tragwerken

11/2016 – 01/2017 **Technologiezentrum Wasser, Dresden**

Praktikum zu dem Thema „Beurteilung des Zustands von Schiebern in Trinkwassernetzen mittels Schieberdrehgerät“

08/2012 – 03/2013 **Siemens AG, Erlangen**

Praxiseinsatz im Rahmen des Dualen Studiums in der IT-Infrastruktur des Healthcare Sektors

Auslandserfahrung

02/2012 **European College of Business and Management London**

Approved Course in „Doing Business in the Global Environment“

09/2009 – 01/2010 **Lord Selkirk regional comprehensive secondary school**

Auslandssemester in Kanada

IT-Kenntnisse

Microsoft Office	sehr gute Kenntnisse
Visual Basic for Applications	sehr gute Kenntnisse
Autodesk AutoCAD	gute Kenntnisse
QGIS	gute Kenntnisse
EPANET & SWMM	gute Kenntnisse
Dlubal RFEM & DUENQ	gute Kenntnisse
R	gute Kenntnisse

Sprachen

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Verhandlungssicher

Führerschein

Klasse B

12. Eidesstattliche Erklärung

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

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

Wien, 11.11.2021, Jan Julius Laschinski