



Kathrin Rappold, BSc

Optimierung eines kleinen Einzugsgebietes durch den Einsatz von grüner Infrastruktur

Naturnahe Maßnahmen zur Behandlung des Niederschlagswassers

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer:

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

Mitbetreuende Assistenten:

Dipl.-Ing. Gerald Krebs, D.Sc.

Dipl.-Ing. Roman Maier, BSc

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, Jänner 2018

Kontakt:
Kathrin Rappold
kathrin.rappold@hotmail.com

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

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

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

06.01.2018

Datum / Date

Kathrin Rappold

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

In erster Linie geht ein großes Dankeschön an Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla, an Herrn Dipl.-Ing. Gerald Krebs, D.Sc. und an Herrn Dipl.-Ing. Roman Maier, BSc, die meine Masterarbeit betreut und begutachtet haben. Durch ihre hilfreichen Anregungen und ihrer konstruktiven Kritik unterstützten sie mich bei der Erstellung dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Frau Dipl.-Ing. Ingrid Frisch, Stadt Graz / Stadtbaudirektion Referat Hochbau, für die Bereitstellung wichtiger Projektunterlagen.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, meiner Oma und meinem Opa bedanken. Ohne ihre Unterstützung und Ermutigung hätte ich es nicht geschafft, vom Berufsleben wieder auf die Schulbank zurück zu kehren. Nicht nur beim Verfassen dieser Arbeit, sondern auch während meiner gesamten Studienzzeit standen sie immer hinter mir und ich konnte mich auf sie verlassen. Das Vertrauen, welches sie in mich steckten, ist einfach unbezahlbar.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinem Freund Markus, der mich während dieser arbeitsintensiven und vor allem zeitintensiven Phase meines Lebens immer wieder ermutigte und viel Geduld mit mir aufbrachte. Dank ihm und seiner Unterstützung war es überhaupt möglich mein gestecktes Ziel zu erreichen. Die ganze Studienzzeit über war er stets an meiner Seite und schenkte mir Kraft. Vielen Dank dafür.

Ein weiteres Dankeschön gebührt meiner besten Freundin Julia, die mich schon seit vielen Jahren auf meinem Lebensweg begleitet. Auf ihre Unterstützung und Zusprache konnte ich immer zählen, trotz der wenigen Zeit, die ich in den letzten Jahren wegen meines Studiums für sie hatte. Vielen Dank für deine treue Freundschaft.

Zuletzt geht ein besonderer Dank an Bianca, meiner lieben Studienkollegin. Mit ihrem herzlichen und liebevollen Wesen begleitete sie mich durch meine gesamte Studienzzeit. In ihr habe ich nicht nur eine nette Kollegin gefunden, sondern auch eine gute Freundin.

Kurzfassung

Der natürliche Wasserkreislauf wird zunehmend durch befestigte und undurchlässig gestaltete Oberflächen gestört. Ein erhöhter Oberflächenabfluss ist die Folge. Dabei wird zum Teil nicht bzw. nur gering verschmutztes Niederschlagswasser, entstanden durch abgeschwemmte schädliche Stoffe der einzelnen Oberflächen, in das vorhandene Kanalsystem eingeleitet. Dieses kann bei Starkregenereignissen zu einer hydraulischen Überlastung des vorhandenen Kanalsystems führen. Zudem wird die Anreicherung des Grundwassers mit Regenwasser verhindert. Durch die Versiegelung der Flächen wird für das anfallende Niederschlagswasser kein effektiver Rückhalt geboten, weswegen kein Wasser für die Verdunstung zur Verfügung steht. Dadurch ist der Wärmeaustausch nicht ausreichend gegeben, was zu einer deutlichen Zunahme des Stadtklimas führt. Unter Betrachtung dieser angeführten Gründe wird eine nachhaltige Bewirtschaftung des Niederschlagswassers in nächster Zukunft eine bedeutende Rolle in der Siedlungswasserwirtschaft spielen.

Für eine dezentrale und naturnahe Niederschlagswasserbewirtschaftung stehen eine Vielzahl an möglichen Maßnahmen bereit: Nutzung, Versickerung und Retention. Alle diese Maßnahmen sorgen für die Wiederherstellung des natürlichen Wasserkreislaufes.

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden die allgemeinen und rechtlichen Grundlagen für die Behandlung von Niederschlagswasser angeführt. Einflussfaktoren auf die richtige Wahl der Bewirtschaftungsanlagen werden aufgezeigt und die Vor- und Nachteile dieser Systeme werden erörtert. Für ein Einzugsgebiet ist die Aufstellung der Wasserbilanz, unter Betrachtung verschiedener Behandlungsmaßnahmen, mit Hilfe des Simulationsprogramms PCSWMM modelliert worden. Zum Einsatz kamen extensiv und intensiv begrünte Dächer, Speicherbecken, Zisternen und durchlässig gestaltete Flächen. Durch diese naturnahen Niederschlagswasserbehandlungen konnte eine deutliche Verbesserung der Wasserbilanz erzielt werden. Eine abschließende Kostenaufstellung hat die Auswahl einer Bewirtschaftungsanlage erleichtert. Da es sich bei dem Einzugsgebiet um einen Bildungscampus handelt, schließt die Masterarbeit mit einem Kapitel, welches den Kindern den Umgang mit dem Niederschlagswasser aus spielerischer und wissenschaftlicher Sicht näherbringt.

Schlüsselwörter:

Natürlicher Wasserkreislauf, Wasserbilanz, Oberflächenversiegelung, Oberflächenabfluss, Niederschlagswasserbewirtschaftung, grüne Infrastruktur, Versickerung, Verdunstung, Regenwasserspeicherung, Smart City, Simulationsmodell, Lebenszykluskosten

Abstract

The natural water cycle is increasingly affected by paved and impermeable surfaces resulting in an increased surface runoff. Not only slightly polluted rainwater, caused by washed away of harmful substances of the individual surfaces, is discharged into the existing sewer system. This can lead to hydraulic overload of the sewer system during heavy precipitation events. It also prevents the accumulation of groundwater with rainwater. By sealing the areas, no effective retention is provided for the generated storm water. Therefore, there is no water available for evaporation, which means that the heat exchange cannot be regulated automatically. Considering these reasons, sustainable management of storm water will play an important role in urban water management.

For a decentralized and near-natural storm water management a variety of possible measures are available: usage, infiltration and retention. These are all measures to restore the natural water cycle.

In the context of this master's thesis, the general and legal basis for the treatment of rainwater is summarized. Factors influencing the proper choice of management systems are identified and the advantages and disadvantages of these systems are discussed. For a catchment area, the water balance, under consideration of the various treatment measures, has been modelled using the simulation program PCSWMM. Extensive and intensive green roofs, reservoirs, cisterns, and permeable pavements were used. Because of these near-natural rainwater treatments, a significant improvement of the water balance could be achieved. A final statement of costs supported the selection of a management system. Since the catchment area is an educational campus, the master's thesis includes a section to give children an understanding on how to deal with storm water in a playful but scientific way.

Key words:

Natural water cycle, water balance, surface sealing, surface runoff, storm water treatment, green infrastructure, infiltration, evaporation, rainwater storage, smart city, simulation model, life-cycle costs

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Allgemeine Grundlagen	4
1.3.1	Der natürliche Wasserkreislauf	4
1.3.2	Notwendigkeit der Niederschlagswasserbewirtschaftung	6
1.3.3	Qualität von Oberflächenabflüssen	7
1.3.4	Entwässerungssysteme	12
1.4	Rechtliche Grundlagen	15
1.4.1	Europäische Vorgaben	15
1.4.2	Bundesgesetze	17
1.4.3	Landesgesetze	21
1.4.4	Kommunale Vorschriften	23
1.4.5	Normen, Regelwerke und Richtlinien	25
1.4.6	Überblick über die rechtlichen Grundlagen	26
1.5	Maßnahmen und Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung	27
1.5.1	Einflussfaktoren auf die Wahl der Oberflächenentwässerung	28
1.5.2	Vermeidung	29
1.5.3	Nutzung	32
1.5.4	Versickerung	35
1.5.5	Retention und Ableitung	46
2	Methodik	49
2.1	Beschreibung des Einzugsgebietes	50
2.1.1	Geologie	51
2.1.2	Klima	52
2.1.3	Entwässerungssystem	53
2.2	Simulations- und Datengrundlage	53
2.2.1	Abflussbildung	54
2.2.2	Flächennutzung und Flächeneigenschaften	56
2.2.3	Hydraulische Bemessungsgrundsätze	58
2.2.4	Niederschlagsdaten	61

Inhaltsverzeichnis

2.2.5	Klimadaten	63
2.3	Modellaufbau	65
2.3.1	Modell 01 - Referenzmodell	66
2.3.2	Modell 02 – Gründach und Garten.....	67
2.3.3	Modell 03 - Schotterrasen	67
2.3.4	Modell 04 – wasserdurchlässiger Kunststoffbelag	68
2.3.5	Modell 05 - Speicherbecken	68
2.3.6	Modell 06 - Zisterne	69
2.3.7	Modell 07 – kombinierte LIDs.....	69
2.3.8	Modell 08 – geplantes Modell	70
2.3.9	Modellierung der LIDs	71
2.4	Ermittlung der Wasserbilanzen.....	76
2.5	Kostenrechnung	77
2.5.1	Kostenstellen	77
3	Ergebnisse und Diskussion.....	81
3.1	Berechnung der Wasserbilanzen.....	81
3.1.1	Aufstellung der Wasserbilanz für einzelne LID-Anwendungen	81
3.1.2	Aufstellung der Wasserbilanz für kombinierte LID Anwendungen	83
3.2	Ergebnisse der Wasserbilanzen	84
3.3	Wirkungsweise der LIDs	86
3.4	Diskussion der Ergebnisse	89
3.5	Ergebnisse des hydraulischen Nachweises der Leistungsfähigkeit der Sickerschächte	90
3.5.1	Niederschlagskontinuum – Langzeitregenserie über 10 a	90
3.5.2	Einzelmodellregen – Euler-Typ-II mit Wiederkehrzeit von 20 a	91
3.5.3	Interpretation der Ergebnisse.....	91
3.6	Berechnung der Lebenszykluskosten der ausgewählten Modelle	91
3.6.1	Wirtschaftlichkeit.....	92
3.6.2	Kosteneinsparungen	94
4	Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick	97
	Literaturverzeichnis	101
	Anhang	i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematische Darstellung des natürlichen Wasserkreislaufes	4
Abbildung 1-2: Prozess der Evaporation und Transpiration	5
Abbildung 1-3: Zusammenfassung der Entwässerungssysteme für ein Einzugsgebiet.....	14
Abbildung 1-4: Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie.....	15
Abbildung 1-5: Bewilligungspflicht bei der Einbringung von Niederschlagswässern durch Versickerung.....	18
Abbildung 1-6: Überblick über die rechtlichen Grundlagen für die Behandlung von Niederschlagswasser.....	26
Abbildung 1-7: Die Elemente der naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	27
Abbildung 1-8: Priorisierung der NWB-Maßnahmen	28
Abbildung 1-9: Einflussfaktoren der Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	29
Abbildung 1-10: Trinkwasserverwendung im Haushalt und Garten 2014 pro Person / pro Tag in Deutschland und Möglichkeiten zur Regenwassernutzung.....	33
Abbildung 1-11: Aufbau einer Anlage zur Regenwassernutzung im Haushalt.....	33
Abbildung 1-12: Einsatz von Regenwasser im Haus und Garten.....	34
Abbildung 1-13: Prinzip der durchlässigen Befestigung	38
Abbildung 1-14: Prinzip der Muldenversickerung	39
Abbildung 1-15: Prinzip der Beckenversickerung.....	40
Abbildung 1-16: Prinzip der Rigolenversickerung.....	41
Abbildung 1-17: Prinzip der Rohrversickerung.....	41
Abbildung 1-18: Prinzip der Schachtversickerung.....	43
Abbildung 1-19: Prinzip der Mulden-Rigolen-Versickerung.....	44
Abbildung 1-20: Prinzip der Retentionsraumversickerung	45
Abbildung 2-1: Ablaufschema der Masterarbeit	49
Abbildung 2-2: Abflussprozesse im Einzugsgebiet.....	54
Abbildung 2-3: Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags	55
Abbildung 2-4: nichtlineares Speichermodell von einem Einzugsgebiet	55
Abbildung 2-5: Flächennutzung des Einzugsgebietes.....	56
Abbildung 2-6: Auszug aus dem Bemessungsniederschlag-Datenblatt für den Gitterpunkt 5214.....	59
Abbildung 2-7: Bemessungsniederschlagshöhen h [mm] gemäß dem ÖWAV Leitfaden „Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 9“ (2007) für den Gitterpunkt 5214	60

Abbildung 2-8: Niederschlagshöhe [mm] der einzelnen Zeitintervalle vor und nach der Aufbereitung.....	61
Abbildung 2-9: gemessener Niederschlag [mm] im Jahr 2002	62
Abbildung 2-10: gemessene maximale und minimale Lufttemperatur [°C] im Jahr 2002	63
Abbildung 2-11: grafische Darstellung der gemessenen Windgeschwindigkeit [km/h] im Jahr 2002	64
Abbildung 2-12: Simulationsmodell 01 – Referenzmodell (ohne LIDs)	66
Abbildung 2-13: Simulationsmodell 02 - Gründächer und Garten.....	67
Abbildung 2-14: Simulationsmodell 03 - Schotterrasen	67
Abbildung 2-15: Simulationsmodell 04 - durchlässige Sportplätze	68
Abbildung 2-16: Simulationsmodell 05 - Speicherbecken.....	68
Abbildung 2-17: Simulationsmodell 06 - Zisterne	69
Abbildung 2-18: Simulationsmodell 07 - kombinierte LIDs.....	69
Abbildung 2-19: Simulationsmodell 08 - geplantes Modell	70
Abbildung 2-20: die einzelnen Kostenstellen der LCC-Berechnung	77
Abbildung 3-1: Änderung der Evapotranspiration in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell.....	84
Abbildung 3-2: Änderung der Speicherung in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell	84
Abbildung 3-3: Änderung des Oberflächenabflusses in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell.....	84
Abbildung 3-4: Ergebnisse der Wirkungsweise der Evapotranspiration in [mm/100 m ²] für die einzelnen LID-Anwendungen.....	87
Abbildung 3-5: Ergebnisse der Wirkungsweise der Speicheränderung in [mm/100 m ²] für die einzelnen LID-Anwendungen.....	87
Abbildung 3-6: Ergebnisse der Wirkungsweise des Oberflächenabflusses in [mm/100 m ²] für die einzelnen LID-Anwendungen	87
Abbildung 3-7: Ergebnisse der Wirkungsweise der Wasserbilanz in [mm/100 m ²] für die kombinierten LID-Anwendungen – Modell 07	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von ihrer Herkunft.....	8
Tabelle 1-2: Dacheindeckungen.....	9
Tabelle 1-3: Typische Schadstoffe und deren Herkunft für Straßenabflüsse	10
Tabelle 1-4: Typische Schadstoffe und deren Herkunft für Gleisanlagenabflüsse	10
Tabelle 1-5: Typische Schadstoffe und Schadstoffgruppen in Niederschlagsabflüssen verschiedener Herkunftsflächen	11
Tabelle 1-6: Anforderungen an die Versickerung von Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit der entwässerten Fläche	12
Tabelle 1-7: Grundsätze des Stadtentwicklungskonzeptes 4.0	24
Tabelle 1-8: Normen, Regelblätter und Richtlinien für Planung, Bemessung, Errichtung und Betrieb der Anlagen zur Bewirtschaftung von Niederschlagswasser	25
Tabelle 1-9: Vor- und Nachteile von entsiegelten Flächen.....	30
Tabelle 1-10: Richtwerte für die prozentuale jährliche Wasserretention bei Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der Aufbau- dicke.....	31
Tabelle 1-11: Vor- und Nachteile von extensiven und intensiven Dachbegrünungen.....	32
Tabelle 1-12: Vor- und Nachteile für die Regenwassernutzung	35
Tabelle 1-13: Herkunftsflächen und die damit verbundene Entwässerungsanlage	36
Tabelle 1-14: Größe des Speichervolumens einer Versickerungsanlage.....	37
Tabelle 1-15: Vor- und Nachteile der Flächenversickerung	38
Tabelle 1-16: Vor- und Nachteile der Muldenversickerung	39
Tabelle 1-17: Vor- und Nachteile der Beckenversickerung	40
Tabelle 1-18: Vor- und Nachteile der Rigolen- Rohrversickerung	42
Tabelle 1-19: Vor- und Nachteile der Schachtversickerung	43
Tabelle 1-20: Vor- und Nachteile der Mulden-Rigolen-Versickerung	44
Tabelle 1-21: Vor- und Nachteile der Retentionsraumversickerung.....	46
Tabelle 1-22: Anforderungen bei Fließgewässereinleitung	47
Tabelle 2-1: geologischer Aufbau des Baugrundes.....	51
Tabelle 2-2: Klimadaten von Graz im Zeitraum von 1971-2000	52
Tabelle 2-3: Stationsdaten der Messstelle Graz – Universität.....	53
Tabelle 2-4: Parameter für die Speicherkapazität und die Oberflächenrauigkeit.....	57
Tabelle 2-5: erforderliche Eigenschaften für die Beschreibung der einzelnen Flächen	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-6: Reihung aller berechneten Niederschlagsdifferenzen (Δh – mm) vom Maximum zum Minimum in einem Zeitintervall von 5 min	60
Tabelle 2-7: Einzelmodellregen nach Euler-Typ-II.....	61
Tabelle 2-8: Monatssummen des Niederschlags in [mm] der Messstation Graz-Universität für die Jahre 1996 bis 2006.....	62
Tabelle 2-9: Stationsdaten der Messstelle Graz – Flughafen	63
Tabelle 2-10: Überblick über Modelle mit den verwendeten LIDs.....	65
Tabelle 2-11: verfügbare Process-Layer zum Modellieren von LIDs	71
Tabelle 2-12: Bodenparameter für den Versickerungsprozess.....	72
Tabelle 2-13: LID-Parameter für die extensiv begrünten Dächer und der intensiv begrünte Garten.....	73
Tabelle 2-14: LID-Parameter für die Kiesfassung.....	73
Tabelle 2-15: LID-Parameter für die Speicherbecken.....	74
Tabelle 2-16: LID-Parameter für den Schotterrasen.....	74
Tabelle 2-17: LID-Parameter für den wasserdurchlässigen Kunststoffbelag.....	75
Tabelle 2-18: Übersicht der Herstellungskosten für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche	78
Tabelle 2-19: Übersicht der Betriebskosten für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche	79
Tabelle 2-20: Diskontierungsfaktor abhängig der Nutzungsdauer	79
Tabelle 2-21: Übersicht der Nutzungsdauer für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche	80
Tabelle 3-1: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 01	81
Tabelle 3-2: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 02	82
Tabelle 3-3: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 03	82
Tabelle 3-4: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 04	82
Tabelle 3-5: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 05	82
Tabelle 3-6: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 06	83
Tabelle 3-7: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 07	83
Tabelle 3-8: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 08	83

Tabelle 3-9: Lebenszykluskosten für die Umsetzung der NWB-Maßnahmen für die gewählten drei Modelle.....	92
Tabelle 3-10: Reduktion des Oberflächenabflusses durch den Einsatz von LIDs und den dazugehörigen Herstellungskosten	93
Tabelle 3-11: prozentualer Kostenvergleich der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell Modell 01 bei einer Nutzungsdauer über 30 Jahre mit ausgewählten LIDs.....	93
Tabelle 3-12: prozentualer Kostenvergleich der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell Modell 01 bei einer Nutzungsdauer über 30 Jahre mit allen eingesetzten LIDs	94
Tabelle 3-13: Berechnung der Trinkwasserkosteneinsparung unter Verwendung einer Regenwassernutzungsanlage für die Volksschule Smart City Graz.....	95
Tabelle 3-14: Berechnung der Einsparung des Kanalisationsbeitrages unter Verwendung von NWB-Maßnahmen für die Volksschule Smart City Graz.....	96

Abkürzungsverzeichnis

AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
Al	Aluminium
BauG	Baugesetz
Bto	Tägliche Bruttotonnenbelastung ermittelt für einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr für eine Bahnstrecke
BK	Betriebskosten
Cd	Cadmium
Cl	Chlor
Co	Cobald
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DWA	deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
E	Evaporation
ET	Evapotranspiration
EU	Europäische Union
Fe	Eisen
ges.N	gesamter Stickstoff
ges.P	gesamter Phosphor
GK	Gesamtkosten
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
HK	Herstellungskosten
JDTV	Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24 h
KW	Kohlenwasserstoffe
LKW	Lastkraftwagen
Mn	Mangan
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion
Ni	Nickel
NWB	Niederschlagswasserbewirtschaftung
OG	Oberflächengewässer
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PKW	Personenkraftwagen
PVC	Polyvinylchlorid
QZV	Qualitätszielverordnung
STEK	Stadtentwicklungskonzept 4.0

Abkürzungsverzeichnis

Stmk	Steiermark
StROG	Steiermärkisches Raumordnungsgesetz
T	Transpiration
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
WRG	Wasserrechtsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
Zn	Zink

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Bevölkerungsdichte der Stadt Graz, bezogen auf ihre Einwohner mit Hauptwohnsitz in Graz, steigt jährlich um etwa 1,5 % (Graz-Präsidialabteilung, 2017). Mehr Einwohner bedeuten auch eine zunehmende Erweiterung von Wohn- und Industriegebieten. Ebenso ist der Ausbau von Verkehrsinfrastruktur nötig. Grünflächen, Freiflächen und Parkanlagen fallen dem zum Opfer und der Anteil an befestigten und zumeist undurchlässigen Oberflächen steigt drastisch.

Grünflächen jeglicher Art sind wichtiger Bestandteil für die Annäherung an den natürlichen Wasserkreislauf und nehmen maßgebenden Einfluss auf das Stadtklima. Durch den hohen Versiegelungsgrad, zurückzuführen auf z.B. Bauwerke, Gewerbeflächen oder asphaltierte Straßen, kommt es zu einer geringeren Verdunstung. Diese führt zu einer Veränderung des urbanen Wasserkreislaufes und zu einer deutlichen Zunahme der Lufttemperatur, was zunehmend das Stadtklima beeinflusst (Samimi & Strobel, 2003).

Das Versiegeln von jeglichen Vegetations- und Grünflächen in städtischen Gebieten führt zu einem deutlich höheren Oberflächenabfluss, als in vegetationsreichen Gebieten (SENSW, 2013). Das öffentliche Kanalnetz der Stadt Graz besteht zum größten Teil aus einem Mischsystem (erläutert in Kapitel 1.3.4 Entwässerungssysteme), laut Holding Graz Services Wasserwirtschaft (2012) sind es rund 70 % des gesamten Kanalsystem. Der gesamte anfallende Oberflächenabfluss wird in das Mischsystem eingeleitet und weiter zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) transportiert. Während bzw. kurz nach Starkregenereignissen kann dieser vermehrte Oberflächenabfluss zu einer hydraulischen Auslastung des Kanalsystems führen und örtliche Überschwemmungen verursachen.

Ebenso stellt dieser Umstand eine weitere große Belastung für die Umwelt dar: die ARA kann das anfallende Mischwasser nicht vollständig aufnehmen, je mehr Niederschlagwasser demnach in die Kanalisation gelangt, desto mehr Mischwasser wird bei Starkregenereignissen in die Gewässer entlastet und somit in die Umwelt ungefiltert freigegeben. Besonders für kleinere Gewässer kann diese stoßweise Eintragung des Mischwassers zu erheblichen hydraulischen Belastungen führen. Die Strömungsbedingungen im Fließgewässer werden verändert und es kann zu einer Verdriftung der vorhandenen Organismen aus ihren Lebensräumen kommen.

Zudem nehmen die steigenden Emissionen maßgebenden Einfluss auf das Gewässerökosystem. Die Flächen, welche an das Kanalsystem angeschlossen werden, bringen die verschiedensten Schadstoffe in stark veränderten Konzentrationen in das Gewässer ein und können somit den Zustand des Gewässers in

ökologischer und chemischer Hinsicht verschlechtern (Diaz-Fierros T. u. a., 2002).

Aufgrund der auftretenden Probleme aus den Mischwassereinleitungen in die Gewässerökosysteme und des steigenden Bewusstseins der Öffentlichkeit in Bezug auf den Umweltschutz, ist eine dezentrale, nachhaltige und wirtschaftliche Lösung für die Behandlung des Niederschlagswassers von großem Interesse (Staufer, 2008). Der frühere Ansatz den anfallenden Niederschlag in die Kanalisation einzuleiten und zu einer zentralen Abwasserreinigungsanlage zu führen oder zu einem nahegelegenen Gewässer ist weder ausreichend noch zeitgemäß.

1.2 Zielsetzung

Um die negativen Auswirkungen des städtischen Abflusses vor Ort zu reduzieren, sollten nachhaltige und naturnahe Lösungen für die Behandlung des Niederschlagswassers eingeführt werden. Es stehen eine Vielzahl an möglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verfügung, um diese Aufgabe zu erfüllen. Jede dieser Möglichkeiten hat jedoch begrenzende Faktoren und ist meist nur für spezifische Nutzungsbereiche geeignet. Eine sorgfältige Betrachtung des Einzugsgebietes ist also notwendig, um die beste Maßnahme für die Behandlung des auftretenden Regenwassers zu eruieren.

Die Stadt Graz versucht einen nachhaltigen Umgang mit dem anfallendem Regenwasser zu realisieren und hat in ihren „Allgemeinen Bedingungen für den Anschluss an den öffentlichen Kanal der Stadt Graz und für die Einleitung von Abwässern“ (AB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft, 2011) vorgeschrieben:

„10.7 Niederschlagswässer, Drainage-, Quell- und Grundwässer dürfen grundsätzlich nicht in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden.“

Für die Umsetzung einer energieeffizienten, ressourcenschonenden und emissionsarmen Stadt mit höchster Lebensqualität ist das Stadtentwicklungskonzept „Smart City Graz“ ins Leben gerufen worden.

„Smart City“ ist definiert als eine Stadt, die die Zukunftsfähigkeit der Stadt verbessert unter Berücksichtigung der Bereiche Energie, Mobilität, Stadtplanung und Governance (Rohde & Loew, 2011).

Ein Teil dieser „Smart City Graz“ wird in einem ehemaligen Industriegebiet nahe dem Grazer Hauptbahnhof realisiert. Neben multimodalen Mobilitätslösungen und hochwertigen Wohn- und Bürogebäuden ist auch ein neuer Schulcampus, mit Volksschule und Neuer Mittelschule, Teil dieser Entwicklung.

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Auswahl von Maßnahmen, um eine naturnahe und effiziente Lösung zur Behandlung des Regenwassers des Schulcampus Teil Volksschule zu finden. Mit Fokus auf die Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt werden unterschiedliche Möglichkeiten der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung mit einem detaillierten hydrologischen Modell

bewertet. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit werden abschließend die anfallenden Kosten für Investition, Betrieb und Entsorgung der eingesetzten naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen aufgestellt. Mögliche Einsparungen der Trink- und Abwassergebühren werden ebenfalls in dieser Kostenaufstellung berücksichtigt.

Das Ziel dieser Masterarbeit liegt in der Identifizierung der effizientesten und zugleich nachhaltigsten Methode zur Behandlung des Regenwassers vor Ort. Ebenso soll den Volksschulkindern der effiziente Umgang mit dem Niederschlagswasser in spielerischer Form nähergebracht werden.

Die vorliegende Masterarbeit beinhaltet folgende Themenschwerpunkte:

- Allgemeine und rechtliche Grundlagen der naturnahen Wasserbewirtschaftung
- Faktoren, die Einfluss auf die Wahl der Oberflächenentwässerung nehmen
- Maßnahmen und Anlagen der naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung – Stand der Technik
- Modellierung unterschiedlicher Oberflächenentwässerungen und Diskussion der Simulationsergebnisse
- Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) der einzelnen Anlagen zur Bewirtschaftung von Niederschlagswasser
- Vergleich der definierten Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen in Bezug auf Effizienz und Nachhaltigkeit

1.3 Allgemeine Grundlagen

In diesem Kapitel werden allgemeine Grundlagen rund um das Thema Niederschlagswasser erörtert. Den Anfang macht eine Beschreibung des natürlichen Wasserkreislaufs. Hier wird aufgezeigt wie dieser Kreislauf entsteht und warum er für den Menschen und die Umwelt wichtig ist. Des Weiteren wird die Notwendigkeit der Niederschlagswasserbewirtschaftung beschrieben. Die Qualität von Oberflächenabflüssen hängt stark von der zu entwässernden Fläche ab und wird ebenso Thema dieses Kapitels sein. Abschließend wird ein Überblick über die unterschiedlichen Entwässerungssysteme gegeben.

1.3.1 Der natürliche Wasserkreislauf

Der in Abbildung 1-1 dargestellte natürliche Wasserkreislauf beschreibt die horizontale und vertikale Bewegung des Wassers auf, in und über der Erde und verbindet den Ozean, die Landflächen und die Atmosphäre miteinander. Das Wasser wechselt dabei immer wieder seinen Aggregatzustand von flüssig zu gasförmig zu fest und wieder zurück.



Abbildung 1-1: Schematische Darstellung des natürlichen Wasserkreislaufes (Baisch, 2017)

Durch die Sonneneinstrahlung verdunstet das Wasser aus den Ozeanen und anderen Gewässern und steigt als Dampf in die Luft auf. Durch Luftströme steigt dieser Dampf zusammen mit dem Wasserdampf aus der Transpiration der Pflanzen in die Atmosphäre auf. Zusammengefasst, wird dieser Prozess Evapotranspiration, ersichtlich in Abbildung 1-2, genannt und setzt sich folglich aus den zwei

Teilprozessen Evaporation (E) und Transpiration (T) zusammen. Die Evaporation beschreibt die direkte, physikalische Verdunstung von Oberflächengewässern hauptsächlich hervorgerufen durch Sonneneinstrahlung und Wind. Die Abgabe von Wasserdampf durch die oberirdischen Organe der Pflanzen an die Atmosphäre ist die Transpiration.

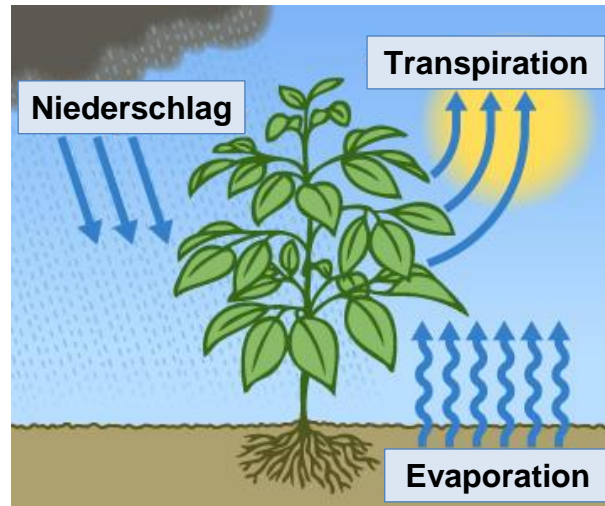


Abbildung 1-2: Prozess der Evaporation und Transpiration (Suyama & Rollins, 2007, mod.)

Die kühleren Temperaturen in der Atmosphäre lassen den gasförmigen Wasserdampf durch Anlagerung an festen Oberflächen (Eisteilchen) oder Kondensationskeimen (kleinste atmosphärische Schwebeteilchen) zu kleinen Tröpfchen kondensieren. Das Sonnenlicht wird von diesen Tröpfchen gestreut, wodurch für das menschliche Auge ein diffuses weißes Licht sichtbar wird – eine Wolke (Max-Planck-Institut für Meteorologie, 2018). Aufgrund des abnehmenden Dampfdruckes innerhalb der Wolke setzen sich vermehrt Wassermoleküle an den Eisteilchen (Eiskristallen) ab. Diese Eiskristalle werden durch Aufwinde so lange getragen, bis ihre Masse, durch fangen von weiteren Wassertropfen, so groß ist, dass die Gewichtskraft überwiegt und sie in Richtung Erdoberfläche fallen. Die Temperatur der unteren Troposphärenschicht ist entscheidend für die Niederschlagsart, welche in Form von Regen, Schnee oder Hagel auftreten kann (Hammer, 2012).

Ein Teil des gefallenen Niederschlags fließt als Oberflächenabfluss direkt in ein nächstgelegenes Gewässer ab oder wird in Mulden oder in porösen Felsschichten gesammelt und verdunstet. Durch Infiltration wird ein weiterer Teil des Wassers in die Bodenschichten aufgenommen. Nahe der Bodenoberfläche kommt es zu einem Zwischenabfluss, welcher dem nächstgelegenen Gewässer mit geringer zeitlicher Verzögerung zu fließt. Tiefere Versickerungen des Niederschlags werden dem Grundwasser zugeführt (Hofius, 2001).

Der natürliche Wasserkreislauf nimmt Einfluss auf das gesamte Leben auf der Erde. Der Mensch greift jedoch immer mehr in diesen Prozess ein. Mit dem Versiegeln von Flächen kann kein Niederschlag mehr in den Boden versickern, das Grundwasser wird nicht mehr angereichert und zusätzlich wird der Oberflächenabfluss gesteigert. Die Folgen daraus sind stärkere Hochwasser, Trinkwassermangel und vermehrte Dürreschäden (Fitz, 2006).

1.3.1.1 Der Wasserhaushalt un bebauter Flächen

Niederschlagswasser auf un bebauten und unbefestigten Flächen bleibt als Interzeption oder als Oberflächenrückhalt zunächst auf der Oberfläche zurück. Als Interzeption bezeichnet man die Benetzung des Bewuchses, welche später, aufgrund von Witterungseinflüssen, zusammen mit einem Teil des Oberflächenrückhalts, verdunstet. Durch die Ansammlung des Regenwassers in kleinen Bodenvertiefungen, kann das Wasser versickern und anschließend gespeichert oder weitergeleitet werden. Bei Niederschlagsereignissen fließt nur ein geringer Teil des Niederschlagswassers als Oberflächenabfluss ab (Sieker u. a., 2003).

1.3.1.2 Der Wasserhaushalt versiegelter Flächen

Der Niederschlagsabfluss einer versiegelten Fläche wird direkt in die Kanalisation eingeleitet. Die Bildung von Grundwasser wird unterbunden und der Rückhalt des Wassers an der Oberfläche wird stark reduziert. Die Folge daraus ist ein entsprechend hoher Oberflächenabfluss, welcher das Kanalsystem, den Vorfluter und die Kläranlage belastet (Sieker u. a., 2003).

1.3.2 Notwendigkeit der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Grünflächen und un bebauten Landschaften werden, aufgrund der wachsenden Bevölkerung, zu Siedlungs-, Industrie- oder Verkehrsflächen umgewidmet. In den letzten 18 Jahren nahm der Grünflächenanteil der Stadt Graz von ca. 84 % im Jahr 1999 (Magistrat Graz, 1999) auf ca. 40 % im Jahr 2017 (Graz-Präsidialabteilung, 2017) ab.

Diese Entwicklung hat eine negative Veränderung des natürlichen Wasserhaushaltes zur Folge. Die unversiegelten Flächen sind nicht in der Lage die Regenwasserabflüsse aufzunehmen, zu infiltrieren und in den natürlichen Wasserkreislauf wieder zurück zu führen. Die Grundwasservorräte werden nicht ausreichend aufgefüllt, was in einzelnen Gebieten einen erheblichen Einfluss auf die Versorgung des Trinkwassers nimmt.

Das anfallende Regenwasser kann durch das Versiegeln der Flächen nicht verdunsten und keinen Beitrag zur Kühlung der Luft leisten. Nicht nur das Stadtklima wird negativ verändert, auch für Pflanzen und Bäume findet man keinen geeigneten Standort. Diese wären jedoch wichtig, um zum einen als Wasserverdunster und zum anderen als Schattenspender zu fungieren (Wilke, 2013).

Das Bewusstsein im Hinblick auf eine ökonomische, ökologische und soziale Lösung für eine Niederschlagsbewirtschaftung hat sich maßgebend zum positiven entwickelt. Es stehen viele Möglichkeiten für die dezentrale Bewirtschaftung von Regenwasser bereit. Fakt ist aber auch, dass nicht immer eine reine dezentrale Lösung, aufgrund von Bodenverhältnissen oder Entwässerungsansprüchen, realisiert werden kann. Wichtig ist aber, zu versuchen, den Wasserhaushalt der bebauten oder besiedelten Fläche wieder an den ursprünglichen Wasserhaushalt einer unbebauten Fläche anzunähern (Thöming, 2017).

1.3.3 Qualität von Oberflächenabflüssen

Die Einleitung von Oberflächenabflüssen in ein Gewässer, sei es nun oberirdisch (Fließgewässer, Seen oder Meere) oder unterirdisch (Grundwasser), setzt voraus, dass diese nicht zu stark verunreinigt sind und keine schädlichen Stoffe damit abgeschwemmt werden können. Die Verunreinigung des Oberflächenabflusses kann, je nach Lage, Beschaffenheit, Nutzung und Pflege der Entwässerungsflächen, mehr oder weniger stark ausfallen. Ist der Abfluss mit erheblichen Schadstoffen belastet, muss die Eliminierung dieser Stoffe mit technischen Behandlungsmaßnahmen sichergestellt werden (Burkhardt u. a., 2009).

Laut dem Leitfaden für Oberflächenentwässerung (2012) setzten sich Verunreinigungen zusammen aus:

- Inhaltsstoffen, die vom Niederschlag bereits in der Atmosphäre aufgenommen werden
- den Materialien, die der Entwässerungsfläche selbst entstammen
- Verunreinigungen, die bei der Nutzung bzw. Pflege der Entwässerungsflächen anfallen
- Stoffen, deren Vorkommen auf den Entwässerungsflächen unbeeinflussbar sind

Die Art und die Nutzung der befestigten Flächen können sehr unterschiedlich sein, dementsprechend schwierig und mit großem Aufwand verbunden, ist auch die Messung der Konzentration der Schadstoffbelastungen in den einzelnen Oberflächenabflüssen.

Das ÖWAV-Regelblatt 45 (2015) kategorisiert in Tabelle 1-1 aus diesem Grund den Grad der Verschmutzung des Oberflächenabflusses anhand eines bestimmten Flächentyps.

Tabelle 1-1: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von ihrer Herkunft (ÖWAV Regelblatt 45, 2015)

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

Flächentyp	Art der Fläche
F5	<p>Park- und Stellflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.</p> <p>Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverluste oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.</p> <p>Dachflächen, stark verschmutzt (z.B. in Industriezonen mit hohen Emissionen).</p> <p>Sonstige Flächen, stark verschmutzt.</p>

1.3.3.1 Dachabflüsse

Abfließender Niederschlag von Dächern, kann je nach Dach- und Ableitungsmaterialien Grob- und Feinstoffe, sowie organische Verbindungen enthalten (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012).

Laut dem ÖWAV Regelblatt 45 (2015) können folgende, in der Tabelle 1-2 zusammengefassten, Dacheindeckungen unterschieden werden:

Tabelle 1-2: Dacheindeckungen (ÖWAV Regelblatt 45, 2015)

	Dacheindeckungen
Harte Deckungen (Harddach)	Tonziegel
	Betonsteine
	Faserzement
	Glas
	Kunststoffbeschichtete Metalle (z.B. Aluminium, Stahlblech)
	Unbeschichtete Metalle (z.B. Kupfer, Titanzink, verzinkter Stahl)
Weiche Deckungen (Weichdach)	Bitumen
	Folien (z.B. PVC)
	Holzschindeln
	Extensive/ intensive Begrünung (Gründach)

1.3.3.2 Fahr-, Park- und Stellflächen

Die wesentlichen verkehrsbedingten Schadstoffe der Fahr-, Park- und Stellflächenabflüsse können, wie in Tabelle 1-3 ersichtlich, nach ihrer Herkunft zusammengefasst werden:

Tabelle 1-3: Typische Schadstoffe und deren Herkunft für Straßenabflüsse (ÖWAV Regelblatt 45, 2015), (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012)

Herkunft	Schmutz- und Schadstoffe
Verbrennungsrückstände	Kohlenwasserstoffe (z.B. Mineralöle), Metalle (z.B. Ni, Zn, Pb), Feinstoffe (z.B. Ruß)
Bremsabrieb	Metalle (z.B. Cu, Cd), Feinstoffe (z.B. Asbest, andere Bremsbelagsstoffe)
Reifenabrieb	Metalle (z.B. Zn, Cd, Pb), Feinstoffe (z.B. Kautschuk, Ruß)
Tropfverluste	Organische Verbindungen (z.B. Kohlenwasserstoffe), Metalle (z.B. Ni, Zn, Pb)
Korrosion, Verschleiß	Al, Cu, Fe, Co, Mn
Straßenabrieb	Feinstoffe (z.B. Beton), organische Verbindungen (z.B. Bitumen, Teer), Metalle (z.B. von Markierungsfarbe)
Winterdienst, Unterhaltsarbeiten	Streusalze (Auftausalze), Grob- und Feinstoffe (z.B. Streusplitt), Pflanzenschutzmittel

1.3.3.3 Gleisanlagen in Bahnhöfen, Traktionsstandorten, Betriebswerken sowie Ladegleise

Die wesentlichen verkehrsbedingten Schadstoffe der Niederschlagsabflüsse von Gleisanlagen können, wie in Tabelle 1-4 ersichtlich, nach ihrer Herkunft zusammengefasst werden:

Tabelle 1-4: Typische Schadstoffe und deren Herkunft für Gleisanlagenabflüsse (ÖWAV Regelblatt 45, 2015)

Herkunft	Schmutz- und Schadstoffe
Abrieb von Fahrleitung	Metalle (z.B. Fe, Cu, Zn, Cr)
Abrieb von Rad/Schiene	Metalle (z.B. Fe, Cu, Zn, Cr)
Abrieb von Bremsen	Metalle (z.B. Fe, Cu, Zn, Cr)
Abrieb von Gleisschotter	Metalle (z.B. Fe, Cu, Zn, Cr)
Tropfverluste, Schmierverluste	Organische Verbindungen (z.B. Mineralölkohlenwasserstoffe)
Abrieb von Holzschwellen	Organische Verbindungen (z.B. PAK)
Winterdienst, Unterhaltsarbeiten	Streusalze (Auftausalze), Grob- und Feinstoffe (z.B. Streusplitt), Pflanzenschutzmittel

1.3.3.4 Stoffliche Belastung von Niederschlagsabflüssen verschiedener Herkunftsflächen

Soll der Niederschlagsabfluss mit einer naturnahen Bewirtschaftung, wie zum Beispiel einer Versickerung, behandelt werden, so sind die Eignung der zu entwässernden Fläche und der des Untergrundes, in dem versickert wird, zwingend zu prüfen. Eine mögliche Vorbelastung des Bodens kann bei der Versickerung von Niederschlagswasser vorhandene Verunreinigungen aus dem Boden lösen und in das Grundwasser einleiten. Wird hingegen zu stark verschmutztes Wasser in den Boden eingebracht, kann dieser die Reinigungsleistung nicht mehr erfüllen und Schadstoffe gelangen in das Grundwasser. Daher ist darauf zu achten erforderliche Untersuchungen in Bezug auf mit Schadstoffen belastete Flächen zwingend durchzuführen (Kreis Siegen-Wittgenstein, Fachservice Umwelt, 2013).

In der Tabelle 1-5 sind gemäß dem ÖWAV Regelblatt 45 (2015) typische Schadstoffe und Schadstoffgruppen in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit ihrer Herkunftsfläche dargestellt.

Tabelle 1-5: Typische Schadstoffe und Schadstoffgruppen in Niederschlagsabflüssen verschiedener Herkunftsflächen (ÖWAV Regelblatt 45, 2015)

Inhaltsstoff	Dachflächen			Fahr-, Park- und Stellflächen				
	Tondach, Gründach, Glasdach, zementgebundene Deckung	Folien-/ Bitumengedichtete Dächer	Cu, Zn-Dächer	Rad- und Gehwege; nicht gefahrene Flächen	Fahr-, Park- und Stellflächen für Pkw/Lkw	Lager- und Manipulationsflächen	Parkflächen für Pkw > 1.000 Parkplätze	Gleisanlagen in Bahnhöfen, Traktionsstandorten, Betriebswerken sowie Ladegleise
Cu			x		x	x	x	x
Zn			x		x	x	x	x
Cd					x	x	x	
Cr					x	x	x	x
Ni					x	x	x	
Pb			x				x ^[1]	
Orthophosphat							x	
Cl				x	x	x	x	x
PAK		x			x	x	x	x
KW					x	x	x	x
NH ₄ ⁺								
TOC					x	x	x	
Pestizide		x		x ^[2]	x ^[2]	x ^[2]	x ^[2]	x ^[2]

Legende für die Tabelle 1-5:

- [1]...U.a. ist aufgrund des nunmehrigen Verbots des Bleizusatzes in Kraftstoffen heute nur mehr mit geringen Bleikonzentrationen zu rechnen
- [2]...Im Falle des Einsatzes von Pestiziden

Die Anforderungen an Versickerungsmaßnahmen von Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit des zu entwässernden Flächentyps zeigt Tabelle 1-6.

Tabelle 1-6: Anforderungen an die Versickerung von Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit der entwässerten Fläche (ÖWAV Regelblatt 35, 2003)

Flächentyp	Anforderungen
F1	Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist anzustreben; die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage gilt aber als unbedenklich.
F2	Die Versickerung über eine Bodenpassage ist anzustreben. Die unterirdische Versickerung ohne Bodenpassage kann in Ausnahmefällen toleriert werden, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist und eine geeignete Vorreinigung (z.B. Schlammfänge, Adsorptionsfilter (matten)) ausgeführt wird. Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge ist in der Regel zulässig.
F3	Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge ist in Ausnahmefällen zulässig, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist.
F4	Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. Eine Vorbehandlung vor der Versickerungsanlage ist in der Regel erforderlich. Die Versickerungsleistung ist unabhängig von der Durchlässigkeit (kf-Wert) des verwendeten Bodens höchstens mit 10^{-5} m/s (= 0,6 mm/min) anzusetzen.
F5	Die Versickerung ist in der Regel nur mit Vorbehandlung vor der Versickerungsanlage mit anschließender Kontrollmöglichkeit zulässig.

1.3.4 Entwässerungssysteme

Das Sammeln, Ableiten, Reinigen und Einleiten von Abwässern sind die Funktionen eines Abwasserentsorgungssystems.

Ein Teil dieses Abwasserentsorgungssystems ist das Entwässerungssystem, welches die Aufgabe hat, das Abwasser zu sammeln und abzuleiten. Laut ÖNORM EN 752 (2008) leisten diese Entwässerungssysteme einen Dienst für die Gesellschaft und können wie folgt beschrieben werden:

- Entfernung des Abwassers von Grundstücken aus Gründen der öffentlichen Gesundheit und der Hygiene
- Vermeidung von Überflutungen in Siedlungsgebieten
- Schutz der Umwelt

Der Hintergrund solcher Entwässerungssysteme liegt darin, eine rasche Ableitung aller Abwässer, ohne Berücksichtigung ihres Ursprungs, zu gewährleisten und somit einwandfreie hygienische Verhältnisse in den Siedlungsgebieten zu schaffen.

Später jedoch erkannte man, dass infolge von Starkregenereignissen die hydraulische Belastung im Kanalnetz drastisch zunahm und es dadurch zu Problemen im Kanalsystem kam. Mischwasserentlastungen sowie Mischwasserüberlaufbecken mussten errichtet werden. Verunreinigtes Wasser wird nun mehrmals pro Jahr direkt in den Vorfluter eingeleitet und belastet somit die Umwelt.

Mit der Trennkanalisation werden Schmutz- und Regenwasser separat voneinander abgeführt. So wird bei starken Niederschlagsereignissen das Schmutzwasser weiter zur Abwasserreinigungsanlage transportiert und das vermehrte Regenwasser kann, nach erforderlicher Behandlung, in den Vorfluter abgeführt werden (ÖWAV Regelblatt 9, 2008).

Für ein konventionelles Entwässerungssystem gelten nach ÖNORM EN 752 (2008) folgende Begriffsbestimmungen für Abwässer:

Schmutzwasser Q_s

Das Schmutzwasser ist ein durch Gebrauch verändertes und in ein Entwässerungssystem eingeleitetes Wasser. Die Menge ergibt sich gemäß der Gleichung 1-1 aus dem häuslichen und dem betrieblichen Schmutzwasser.

- Häusliches Schmutzwasser Q_H :

Abwasser aus den Haushalten (Schmutzwasser aus Küchen, Wäscheräumen, Waschbecken, Badezimmern, Toiletten, ...) sowie ähnlich beschaffenen Abwasser aus Schulen, Ämtern, Kleingewerbe und ähnlichen Einrichtungen

- Betriebliches Schmutzwasser Q_G :

Abwasser aus größeren Industrie- und Gewerbebetrieben mit einem Anteil an häuslichen Abwasser

$$Q_s = Q_H + Q_G$$

Gleichung 1-1

Fremdwasser Q_F

Das Fremdwasser ist der unerwünschte Abfluss in einem Entwässerungssystem bei Trockenwetterbedingungen, der sich in folgende Anteile aufteilt:

- Unerwünschter Fremdwasserabfluss Q_F :

Unerwünschter Abfluss in Entwässerungssystemen bei Trockenwetterbedingungen, der durch undichte Stellen in die Kanäle eindringt

- Unvermeidbarer Regenwasserabfluss $Q_{R,Tr}$:

Regenwasser im Schmutzwasserkanal, das bei Trennkanalisation durch falsch angeschlossene Dachrinnen oder durch die Lüftungsöffnungen der Kanaldeckel in den Schmutzwasserkanal gelangt

Trockenwetterabfluss Q_T

Der Trockenwetterabfluss ist die Summe aus dem Schmutzwasserabfluss und dem Fremdwasserabfluss. Dieser ist in der Gleichung 1-2 dargestellt.

$$Q_T = Q_S + Q_f = Q_H + Q_G + Q_F \quad \text{Gleichung 1-2}$$

Regenwasserabfluss Q_R

Der Regenwasserabfluss ist der planmäßig in die Kanalisation gelangende Niederschlagswasserabfluss.

Mischwasser Q_M

Das Mischwasser setzt sich nach der Gleichung 1-3 aus dem Schmutzwasser-, dem Fremdwasser- und dem Regenwasserabfluss zusammen.

$$Q_M = Q_T + Q_R = Q_H + Q_G + Q_F + Q_R \quad \text{Gleichung 1-3}$$

1.3.4.1 Entwässerungssysteme im Überblick

Die unten angeführte Abbildung 1-3 zeigt einen Überblick der einzelnen Entwässerungssysteme und ihre Eigenschaften:



Abbildung 1-3: Zusammenfassung der Entwässerungssysteme für ein Einzugsgebiet (Halbach, 2012, mod.)

1.4 Rechtliche Grundlagen

Dieses Kapitel umfasst die rechtlichen Grundlagen für die planerischen und baulichen Ausführungen von Anlagen zur naturnahen Behandlung von Niederschlagswasser. Ebenso sind Richtlinien, Regelwerke und Gesetze für den Erhalt und Schutz der Wasserqualität von Oberflächengewässern und Grundwässern angeführt.

1.4.1 Europäische Vorgaben

1.4.1.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie - EU-WRRL

In der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) ist zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik unter anderem nachstehender Grund angeführt:

„(1) Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“

Die Wasserrahmenrichtlinie ist im Jahr 2000 in Kraft getreten und zielt darauf ab, bis 2015, mit Ausnahmen bis spätestens 2027, den Schutz aller europäischen Gewässer, wie Oberflächengewässer, Übergangswässer, Küstengewässer und Grundwässer, zu fordern, sowie eine systematische Verbesserung und keine weitere Verschlechterung des Zustands aller Gewässer zu erreichen (Richtlinie 2000/60/EG, 2000).

Die Ziele dieser Richtlinie sind laut Artikel 4 Abs. 1 WRRL (2000) in der folgenden Abbildung 1-4 definiert:

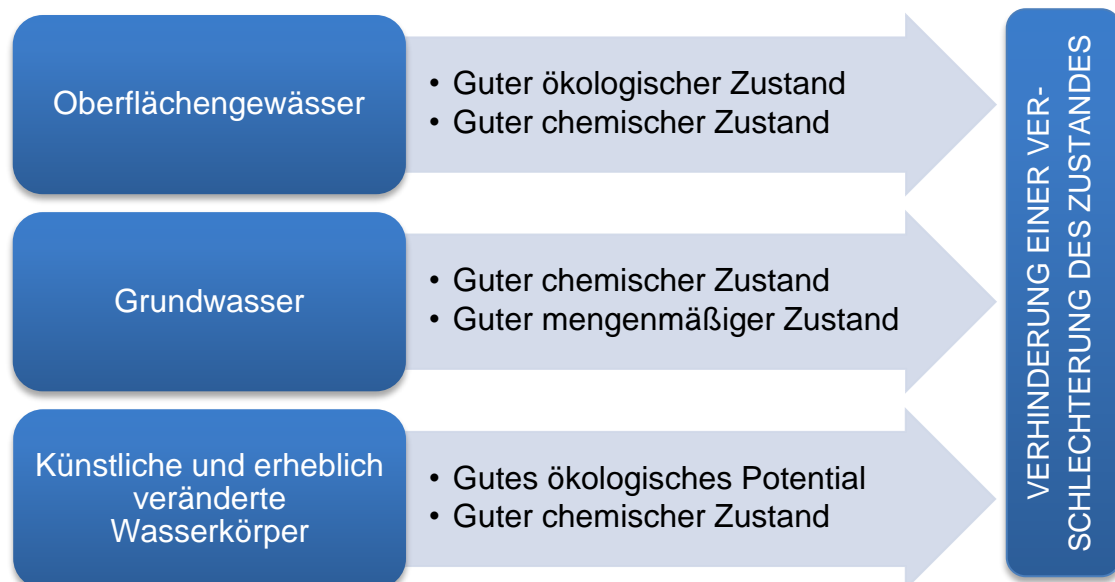


Abbildung 1-4: Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie

Um diese geforderten Ziele erreichen zu können, sind genaue Vorgaben für die Bewertung dieser Zustände erforderlich (BMLFUW-WRRL, 2000):

Oberflächengewässer befinden sich in einem guten ökologischen und chemischen Zustand, wenn die Beeinflussung durch Menschen in Hinsicht auf ihre Lebensgemeinschaften, ihre Struktur und ihre chemischen Inhaltsstoffe nur gering ausfällt. Die ökologische Bewertung dieser Fließgewässer, Seen oder Meere orientiert sich an der Ausprägung der Lebensgemeinschaften im Gewässer und den charakteristischen Merkmalen im natürlichen Zustand dieses Gewässers. So gibt die Wasserrahmenrichtlinie vor, die Gewässer in Typen einzuteilen, um ihre ökologische Bewertung anhand der typspezifischen Tiere und Pflanzen festzulegen. Die Struktur der Gewässer gibt an, wie weit sich der vorhandene Zustand von dem natürlichen Zustand abweicht. Über exakte Standards wird der chemische Zustand des Gewässers gemessen, mit Schwellenwerten verglichen, um eine Kategorisierung vorzunehmen.

Der gute Zustand des Grundwassers bleibt erhalten, wenn die chemischen Inhaltsstoffe und die Menge nur gering von Menschen beeinflusst werden. Einfluss und Bewertungskriterium für die Menge des Grundwassers ist die Höhe des Grundwasserspiegels. Bei zu geringem Grundwasserspiegel steigt zum einen die Konzentration der Schadstoffe im Grundwasser und zum anderen trocknet er die oberen Bodenschichten aus, was zum Austrocknen von Mooren, Feuchtgebieten und ganzen Wäldern führen kann (Heger, 2017). Charakteristische Leitparameter, Nährstoffe sowie Kennwerte wie Schwermetalle und Pflanzenschutzmittel werden für die Beschreibung und Bewertung der Grundwasserqualität gemessen.

Die Mitgliedsstaaten sind dazu verpflichtet die angeführten zentralen Elemente der Wasserrahmenrichtlinie zu erfüllen (Richtlinie 2000/60/EG, 2000), um die geforderten Ziele zu erreichen:

- Verankerung von Umweltzielen für Oberflächengewässer und Grundwasser
- umfassende Analyse der Flusseinzugsgebiete
- Einrichtung eines Überwachungsmessnetzes
- Erstellung von flussgebietsbezogenen Bewirtschaftungsplänen samt Maßnahmenprogramm unter Einbeziehung der Öffentlichkeit zur Erreichung der Ziele bis zum Jahr 2015, mit Ausnahmen spätestens 2027.
- Zyklische Überarbeitung der Bewirtschaftungspläne für Flusseinzugsgebiete (alle 6 Jahre).

1.4.2 Bundesgesetze

1.4.2.1 Wasserrechtsgesetz 1959 - WRG 1959

Fassung vom 12.11.2017 - Das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG, 1959) bildet die rechtliche Grundlage für alle Wasserrechtsbescheide und Verordnungen, die zur Beurteilung der Lebensverhältnisse aus wasserwirtschaftlicher Sicht relevant sind.

Insbesondere werden in diesem Bundesgesetz drei große Themenkreise behandelt:

- die Benutzung der Gewässer
- der Schutz und die Reinhaltung der Gewässer
- der Schutz vor den Gefahren des Wassers

Die Gewässer im WRG (1959) werden entweder in öffentliche oder in private Gewässer unterteilt, wobei der Fokus für die Maßnahmen der Siedlungsentwässerung auf den Privatgewässern liegt. Wenn nicht von anderen Rechten vorliegen, gehören laut § 3 Abs. 1 (WRG, 1959) Privatgewässer dem Grundeigentümer.

Gemäß § 3 Abs. 1 WRG (1959) zählen zu den privaten Gewässern unter anderem das in einem Grundstück enthaltene unterirdische Wasser oder auch die sich auf einem Grundstück aus atmosphärischen Niederschlägen sammelnden Wasser.

Wird die Beschaffenheit eines Gewässers bei Einleitung von Niederschlagswässern oder sonstigen Oberflächenabflüssen unmittelbar oder mittelbar beeinträchtigt, auch wenn das Ausmaß nur geringfügig überstiegen wird, liegt nach § 32 Abs. 2 (WRG, 1959) eine wasserrechtliche Bewilligungspflicht vor. Eine Beeinträchtigung liegt vor, wenn die Beschaffenheit des Wassers von der natürlichen Beschaffenheit in physikalischer, chemischer oder biologischer Hinsicht abweicht.

Hingegen gelten laut § 32 Abs. 1 des Wasserrechtsgesetzes 1959 geringfügige Einwirkungen nicht als Bewilligungspflichtig bis das Gegenteil bewiesen ist. Unter geringfügige Einwirkungen fallen unter anderem der Gemeingebrauch (§ 8 WRG 1959) sowie die ordnungsgemäße land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung (§ 32 Abs. 7 WRG 1959).

Kommen Versickerungsanlagen für die Maßnahme zur Behandlung der Niederschlagsabflüsse zum Einsatz, so müssen für diese, bei der wasserrechtlichen Bewilligung, spezielle Grundsätze des kombinierten Ansatzes gemäß §§ 12a, 30 und 33b Wasserrechtsgesetz 1959 beachtet werden.

Die nachstehende Abbildung 1-5 zeigt, ob bei einer Einbringung von Niederschlagswasser in den Untergrund oder in das Grundwasser das Maß der Geringfügigkeit überschritten wird und damit eine wasserrechtliche Bewilligungspflicht gegeben ist oder nicht (ÖWAV Regelblatt 45, 2015).

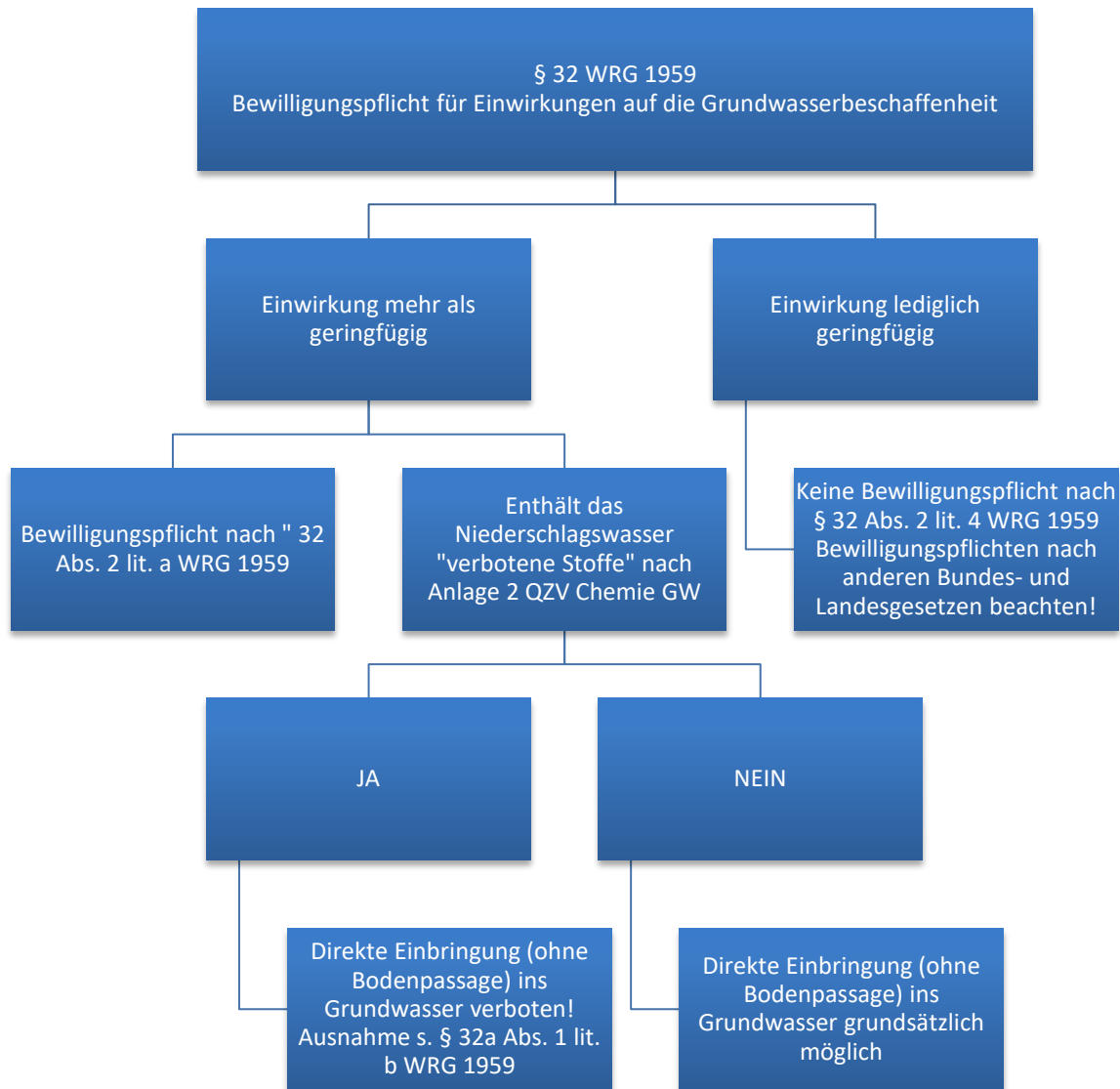


Abbildung 1-5: Bewilligungspflicht bei der Einbringung von Niederschlagswässern durch Versickerung (ÖWAV Regelblatt 45, 2015, mod.)

1.4.2.2 Allgemeine Abwasseremissionsverordnung - AAEV

Fassung vom 12.11.2017 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen

Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung regelt die Grenz- und Richtwerte von Abwasseremissionen für die Einleitung von Wässern in Fließgewässer oder öffentliche Kanalisationen. Gemäß § 1 Abs. 1 Z 2 bis 6 (AAEV, 1996) zählen zu diesen Wässern auch Niederschlagswässer, welche eine Abschwemmung von Schadstoffen, überwiegend hervorgerufen durch menschliche Tätigkeiten, von

der Landoberfläche eines Einzugsgebietes verursachen. Der Begriff Niederschlagswasser wird in der Allgemeinen Emissionsverordnung (1996) laut § 1 Abs. 3 Z 3 wie folgt erklärt:

„3. Niederschlagswasser:

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

Um den ökologischen Zustand des Fließgewässers zu erhalten und den natürlichen Wasserkreislauf weitestgehend zu unterstützen, sollen gemäß § 3 AAEV (1996), dem allgemeinen Stand der Rückhalte- und Reinigungstechnik, folgende Grundsätze der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (1996) § 3 Abs. 3 und 4 eingehalten werden:

„(3) ... 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...

..., mit Maßnahmen nach dem Stand der Technik sowie unter Berücksichtigung der Forderung der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers gereinigt und eingeleitet werden.“

1.4.2.3 Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser - QZV Chemie GW

Fassung vom 12.11.2017 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers

Für die Bezeichnung des guten chemischen Zustands des Grundwassers werden in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser Grenz- und Richtwerte für die direkt oder indirekt eingebrachten Schadstoffe in das Grundwasser festgelegt (BMLFUW-QZV Chemie GW, 2010). Ebenso zielt diese Verordnung darauf ab maßgebliche Kriterien zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot zu definieren (QZV-Chemie GW, 2010).

Wird ein Schadstoff direkt in das Grundwasser eingebracht, so ist gemäß § 6 Abs. 2 QZV Chemie GW (2010) eine dauernde oder zeitweilige Einbringung von Schadstoffen in das Grundwasser ohne durchflossener Bodenpassage gegeben. Gelangt das Oberflächenwasser und die somit enthaltenen Schadstoffe jedoch über eine Bodenpassage in das Grundwasser, so spricht man von einer indirekten Einleitung.

In der QZV Chemie GW (2010) zählen unter anderem Mineralöle und Kohlenwasserstoffe, sowie Cadmium und Cadmiumverbindungen zu den angeführten Schadstoffen, welche in Oberflächenabflüssen von Straßen und Parkflächen, je nach Art und Intensität der Nutzung, enthalten sein können (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012). Diese sind bei indirekter Einbringung laut § 7 der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (2010) bewilligungspflichtig. Weitere bewilligungspflichtige direkt oder indirekt eingebrachte Schadstoffe können der Anlage 3 der QZV Chemie GW (QZV-Chemie GW, 2010) entnommen werden.

Besteht eine Bewilligungspflicht, so muss die Schadstofffracht, die in das Grundwasser eingebacht wird begrenzt werden, um eine Verschlechterung (§§ 4 und 5) bzw. eine Verschmutzung des Grundwassers (§ 30 Abs. 3 Z 3 WRG 1959) zu vermeiden. Werden die festgelegten Schwellenwerte der Anlage 1 in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (2010) eingehalten, so besteht keine Gefahr für eine mögliche Verschmutzung des Grundwassers.

1.4.2.4 Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer - QZV Chemie OG

Fassung vom 12.11.2017 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer

In der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer werden gemäß § 30a Abs. 2 Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959) die charakteristischen Eigenschaften sowie Grenz- und Richtwerte für die Beurteilung des maßgeblichen Zustandes des Oberflächengewässers definiert. Des Weiteren soll mit dieser Verordnung die Umsetzung der definierten Zielzustände laut Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG erreicht werden (BMLFUW-QZV Chemie OG, 2006).

Zur Beschreibung des guten chemischen Zustands und der chemischen Komponenten des guten ökologischen Zustands für chemische Schadstoffe in Oberflächenwasserkörpern wurden durch die QZV Chemie OG Umweltqualitätsnormen festgelegt (BMLFUW-QZV Chemie OG, 2006).

Von dieser Verordnung sind alle Oberflächenwasserkörper, die gemäß § 30a Abs. 3 Z 2 (WRG, 1959) ausgewiesen sind, sowie laut § 30b Abs. 3 Z 1 und 2 WRG (1959) alle erheblich veränderten und künstlichen Oberflächenwasserkörper betroffen (BMLFUW-QZV Chemie OG, 2006).

1.4.3 Landesgesetze

1.4.3.1 Steiermärkisches Kanalgesetz 1988

Fassung vom 12.11.2017 - Gesetz vom 17. Mai 1988 über die Ableitung von Wässern im bebauten Gebiet für das Land Steiermark – Kanalgesetz 1988

Gemäß § 1 Abs. 1 Kanalgesetz (1988) sind die im Bauland oder auf sonstigen bebauten Grundstücken anfallenden Schmutz- und Regenwässer nach den Bestimmungen dieses Gesetzes in einer nach den Erfahrungen der technischen Wissenschaften, den Erfordernissen des Umweltschutzes und der Hygiene entsprechenden Weise vom Grundstückseigentümer abzuleiten oder zu entsorgen.

Schmutzwässer sind gemäß § 1 Abs. 2 Kanalgesetz 1988 Hausabwässer sowie gewerbliche, industrielle und landwirtschaftliche Produktionsabwässer (Betriebswässer).

Wird in der Gemeinde eine öffentliche Kanalanlage betrieben oder errichtet, so ist der Eigentümer von bebauten Grundstücken laut § 4 Abs. 1 Kanalgesetz 1988 verpflichtet, die Schmutz- und Regenwässer ihrer bestehenden oder künftig zu errichtenden Bauwerke auf eigene Kosten über die öffentliche Kanalanlage abzuleiten. Dies tritt in Kraft sofern die kürzeste Entfernung eines Bauwerkes von dem für den Anschluss in Betracht kommenden Kanalstrang nicht mehr als 100 m beträgt.

Niederschlagswasser darf gemäß § 4 Abs. 2 (Kanalgesetz, 1988) nur abgeleitet werden, wenn eine Regenwasser- oder Mischwasserkanalisation vorhanden ist.

Für bestimmte Bauten, Nebengebäuden und andere Bauteile gibt es laut § 4 Abs. 5 Kanalgesetz (1988) eine Ausnahme von der Verpflichtung nach § 4 Abs. 1 (Kanalgesetz, 1988), wenn dadurch eine schadlose Entsorgung der Abwässer nach § 1 Abs. 1 Kanalgesetz 1988 gewährleistet ist und keine Schädigung öffentlicher Interessen sowie ein Nachteil für die Nachbarschaft entsteht. Ebenso gilt gemäß § 4 Abs. 5 Kanalgesetz (1988) eine Ausnahme, wenn eine Versickerung des Niederschlagswassers auf dem eigenen Grundstück oder der Gebrauch des Niederschlagswassers (zum Beispiel zur Bodenbewässerung) möglich ist.

1.4.3.2 Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010 - StROG

Fassung vom 12.11.2017 - Gesetz vom 23. März 2010 über die Raumordnung in der Steiermark

Gemäß § 1 Abs. 2 (StROG, 2010) beinhaltet dieses Gesetz den nachhaltigen Umgang und die bestmögliche Nutzung des Lebensraumes. Die Gestaltung eines Gebietes sollte im Sinne des Gemeinwohles planmäßig und vorausschauend

ausgeführt werden. Zudem sind auf die natürlichen Gegebenheiten und den erforderlichen Umweltschutz acht zu geben. Die Bedürfnisse der Bevölkerung dürfen keineswegs vernachlässigt werden.

Im Raumordnungsgesetz des Landes Steiermark ist die Schonung der natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser und Luft einer der Grundsätze. Dabei soll mit diesem Gut sparsam und sorgsam umgegangen werden (StROG, 2010).

Gemäß § 40 Abs. 2 StROG (2010) ist mit der Bebauungsplanung eine den Raumordnungsgrundsätzen entsprechende Entwicklung der Struktur und Gestaltung des im Flächenwidmungsplan ausgewiesenen Baulandes und des Freilandes anzustreben. In diesen Bebauungsplänen können laut § 41 Abs. 2 (StROG, 2010) auch zusätzliche Inhalte festgelegt werden. Darunter wird in Zif. 10 auch Oberflächenentwässerung angeführt:

„10. Umweltschutz (Lärm, Kleinklima, Beheizung, Oberflächenentwässerung und dergleichen): Maßnahmen an Gebäuden, an Verkehrs und Betriebsflächen und Grundstücken und zum Schutz vor Naturgefahren.“

1.4.3.3 Steiermärkisches Baugesetz - Stmk. BauG

Fassung vom 12.11.2017 - Gesetz vom 4. April 1995, mit dem Bauvorschriften für das Land Steiermark erlassen werden

Eine Grundstücksfläche ist dann als Bauplatz für eine vorgesehene Bebauung geeignet, wenn laut § 5 Abs. 1 (BauG, 1995)

1. eine Bebauung nach dem Steiermärkischen Raumordnungsgesetz zulässig ist,
2. eine hygienisch einwandfreie und für den Verwendungszweck der geplanten baulichen Anlage ausreichende Wasserversorgung sowie
3. eine für den Verwendungszweck der geplanten baulichen Anlage entsprechende Energieversorgung und Abwasserentsorgung sichergestellt ist,
4. der Untergrund tragfähig ist sowie die vorgesehene Bebauung keine Gefährdung der Standsicherheit benachbarter baulicher Anlagen zur Folge hat,
5. Gefährdungen durch Lawinen, Hochwasser, Grundwasser, Vermurungen, Steinschlag, Rutschungen u. dgl. nicht zu erwarten sind.
6. eine für den Verwendungszweck geeignete und rechtlich gesicherte Zufahrt von einer befahrbaren öffentlichen Verkehrsfläche besteht.

Die Abwässer und Niederschlagswässer müssen gemäß § 57 Abs. 1 BauG (1995), unter Berücksichtigung ihres Verwendungszweckes, gesammelt und beseitigt werden. Diese Anlagen sind so anzuordnen, herzustellen und instand zu halten, dass laut § 57 Abs. 2 BauG 1995 keine Gefahren oder unzumutbare Belästigungen entstehen. Zudem sollten sie einen sicheren Betrieb gewährleisten.

Die dauerhafte Sicherung für das Eindringen von Wasser und das Aufsteigen von Feuchtigkeit in ein Bauwerk ist gemäß § 61 Abs. 1 (BauG, 1995) vorgeschrieben. Hierbei ist auf das Grundwasser als auch auf das vorhersehbare Oberflächenwasser (z. B. Hangwasser und Hochwasserereignisse) zu achten.

Entsprechend § 67 Abs. 1 BauG (1995) muss das Fußbodenniveau der Räume gegenüber dem Gelände so geplant und ausgeführt sein, dass vorhersehbare oberflächige Wasserabflüsse oder Hochwasserereignisse die Gesundheit und das Wohlbefinden des Benutzers nicht beeinträchtigen. Dasselbe gilt für Veränderungen des Geländes gemäß § 19 oder § 20 (BauG, 1995): Hierbei dürfen laut § 88 BauG 1995 keine Gefährdungen oder unzumutbare Beeinträchtigungen, durch veränderte Abflussverhältnisse, verursacht werden.

1.4.4 Kommunale Vorschriften

1.4.4.1 Geschäftsbedingungen der Landeshauptstadt Graz

Die Landeshauptstadt Graz, vertreten durch die Holding Graz Kommunale Dienstleistungen GmbH, ist Kanalisationsunternehmer und betreibt eine öffentliche Kanalisationsanlage. Diese Anlage umfasst das gesamte öffentliche Entwässerungssystem einschließlich aller technischen Einrichtungen, insbesondere Straßenkanäle Abwasserpumpwerke, Regenrückhaltebecken und Regenentlastungsbauwerke, weiteres das Klärwerk in Gössendorf samt Zu- und Ableitungskanälen einschließlich aller technischen Einrichtungen. Das Kanalisationsunternehmen ist zuständig für die Ableitung des Abwassers des/der Kanalbenützers/in und übernimmt, gemäß den jeweils geltenden rechtlichen Bestimmungen, behördlichen Anordnungen und sonstigen einschlägigen Richtlinien, dessen Reinigung im Klärwerk Gössendorf (GB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft, 2011).

In Bezug auf den Umgang mit den Niederschlagswässern haben die Geschäftsbedingungen für Indirekteinleitungen in die öffentliche Kanalisationsanlage der Landeshauptstadt Graz, (Stand 1.1.2011) folgende Forderungen (GB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft, 2011):

Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV, 1996) ist nach § 20 Abs. 1 bei der Einleitung von Abwässern in die öffentliche Kanalisationsanlage einzuhalten.

Kühlwasser, Drainage-, Quell- und Grundwasser darf, soweit es nicht verunreinigt ist, laut § 22 nicht der öffentlichen Kanalisationsanlage zugeführt werden. Sind Regenwasserkanäle vorhanden, tritt diese Regelung außer Kraft.

Gemäß § 23 Abs. 2 ist entsprechend der Vorgaben der Holding Graz Services | Wasserwirtschaft eine Drosselung und erforderlichenfalls ein Regenrückhaltebecken oder Stauraumkanal, bei der Einleitung des Regenwassers in die öffentliche Kanalisationsanlage, zu errichten.

In den Allgemeinen Bedingungen für den Anschluss an den öffentlichen Kanal der Stadt Graz und für die Einleitung von Abwässern ist in Bezug auf den Umgang mit dem Regenwasser folgendes vorgeschrieben (AB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft, 2011):

„10.7. Niederschlagswässer, Drainage-, Quell- und Grundwässer dürfen grundsätzlich nicht in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden. Ausnahmen bedürfen der schriftlichen Zustimmung der Holding Graz Services | Wasserwirtschaft.“

1.4.4.2 Stadtentwicklungskonzept

Das Stadtentwicklungskonzept 4.0 (STEK, 2013a) basiert auf insgesamt 10 Grundsätzen der Stadtentwicklung und wird als strategisches Planungsinstrument, im Austausch und Zusammenspiel zwischen Ordnungs- und Entwicklungsplanung, der Landeshauptstadt Graz in den nächsten 15 Jahren eingesetzt. Die Grundsätze, zusammengefasst in der Tabelle 1-7, haben das Ziel eine Stadt mit hoher Lebensqualität zu realisieren und stellen allgemein anerkannte Prinzipien für die Stadtentwicklung dar.

Tabelle 1-7: Grundsätze des Stadtentwicklungskonzeptes 4.0 (STEK, 2013a)

Grundsätze	
1.	Graz entwickelt sich zu einer „Smart City“
2.	Graz versteht sich als wesentlicher Akteur der regionalen Entwicklung
3.	Graz stellt ein ausgewogenes Gesamtsystem dar
4.	Graz bekennt sich zu einer integrierten Stadtentwicklung
5.	Graz bietet attraktive Lebensbedingungen im gesamten Stadtgebiet
6.	Graz bekennt sich zu einem qualitätsvollen Wachstum
7.	Graz bietet Urbanität und Vielfalt
8.	Graz erhält seine Handlungsspielräume
9.	Graz bekennt sich zu seiner gelebten Baukultur
10.	Graz bekennt sich zum Schutz seines Grünraums

Rechtlich gesehen unterliegt das Stadtentwicklungskonzept 4.0 (STEK 4.0) dem Steiermärkischen Raumordnungsgesetz, in welchem die Instrumente, der Ablauf und die Inhalte der Ordnungsplanung genau definiert sind. Formal betrachtet ist

das STEK 4.0 der Stadt Graz somit eine Verordnung und besteht aus rechtlichen verbindlichen Festlegungen, welche in 34 Paragraphen gegliedert ist.

Im STEK 4.0 werden neben den raumbezogenen Zielen und Maßnahmen auch sachbereichsbezogene Ziele und Maßnahmen festgelegt. In Bezug auf die Ziele und Maßnahmen für den Gewässer- und Hochwasserschutz wird im Sachbereich „Natur und Umwelt“ (STEK, 2013b) hingewiesen.

1.4.5 Normen, Regelwerke und Richtlinien

Nach dem Stand der Technik sind die, in der Tabelle 1-8, angeführten Normen, Regelblätter und Richtlinien für Planung, Bemessung, Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Bewirtschaftung von Niederschlagswasser von Bedeutung:

Tabelle 1-8: Normen, Regelblätter und Richtlinien für Planung, Bemessung, Errichtung und Betrieb der Anlagen zur Bewirtschaftung von Niederschlagswasser

Ö-Normen
ÖNORM EN 752 : 2017 07 01 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
ÖNORM B 2506 - 1 : 2013 08 01 Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen (Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb)
ÖNORM B 2506 – 2 : 2012 11 15 Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen (Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser, Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen)
ÖNORM B 2506 – 3 : 2016 01 01 Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen (Teil 3: Filtermaterialien - Anforderungen und Prüfmethode)
ÖNORM B 2572 : 2005 11 01 Grundsätze zur Regenwassernutzung
ÖWAV Regelblätter
ÖWAV RB 9 (2008) Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren
ÖWAV RB 11 : 2009 Abwassertechnische Dimensionierung und Berechnung von Abwasserkanälen
ÖWAV RB 19 : 2007 Richtlinien zur Bemessung von Mischwasserentlastungen
ÖWAV RB 35 : 2003 Behandlung von Niederschlagswässern
ÖWAV RB 45 : 2015 Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund

DWA Regelblätter
Merkblatt DWA-M 153 (2007) Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser
Arbeitsblatt DWA-A 138 (2005) Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

1.4.6 Überblick über die rechtlichen Grundlagen

Die nachfolgende Abbildung 1-6 soll zusammenfassend eine schematische Gliederung der rechtlichen Grundlagen in Bezug auf naturnahe Anlagen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung veranschaulichen:



Abbildung 1-6: Überblick über die rechtlichen Grundlagen für die Behandlung von Niederschlagswasser (Assinger, 2012, mod.)

1.5 Maßnahmen und Anlagen der Niederschlagswasserbewirtschaftung

Der nachhaltige Schutz und Umgang mit den Gewässern erfordert ein Umdenken in Bezug auf die Regenwasserbewirtschaftung. Das Ableiten des anfallenden Niederschlagswassers in die Kanalisation und die damit verbundene Belastung des Kanal- und Ökosystems muss erheblich reduziert bzw. wenn möglich vermieden werden. Mit Hilfe von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen soll die Entstehung des Oberflächenabflusses möglichst vermieden oder zumindest verringert und verlangsamt werden. Das anfallende Niederschlagswasser ist schon nahe bzw. direkt am Entstehungsort zu behandeln. Ein großes Augenmerk liegt unter anderem darauf, vorhandene befestigte Flächen zu entsiegeln bzw. schon im Vorhinein bei der Planung von Neubauten zu vermeiden. Dieses schaffen von Grünflächen fördert die Verdunstung und die Versickerung, was sich positiv auf den Wasserhaushalt auswirkt. Zudem wird das Abflussgeschehen mit einer Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlage wieder einer unbebauten, natürlich gewachsenen Fläche angenähert.

Für den dezentralen und naturnahen Umgang mit dem Niederschlagswasser gibt es eine Vielzahl an möglichen technologischen Lösungen. Je nach Anlagentyp wird das anfallende Regenwasser versickert, verdunstet, zurückgehalten oder auch gespeichert. Zudem sind oberirdische als auch unterirdisch eingebaute Regenwasserbewirtschaftungsanlagen realisierbar.

In Abbildung 1-7 sind einige der wesentlichen Elemente der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung angeführt.

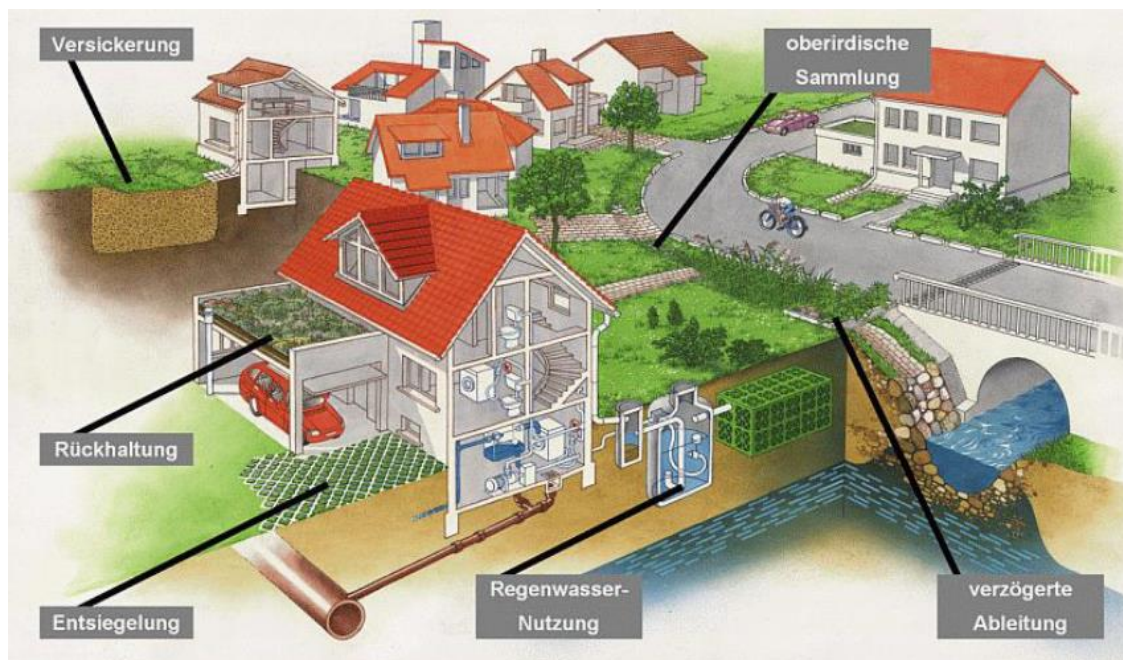


Abbildung 1-7: Die Elemente der naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung (LfU, 2016)

Eine Kombination aus diesen einzelnen Elementen ist ebenfalls möglich, so kann das Niederschlagswasser zum Beispiel in einem Rückhaltebecken gespeichert werden und anschließend gedrosselt in den Vorfluter eingeleitet werden. Solche Kombinationen sind jedoch von den örtlichen Verhältnissen sowie von der Beschaffenheit des Oberflächenwassers abhängig (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2013).

Angelehnt an die Grundsätze des ÖWAV-Regelblatts 35 (2003), Geiger u. a. (2009) und Herzer (2004) kann, schematisch dargestellt in der Abbildung 1-8, für die Bewirtschaftung von Regenwasser folgende Vorgehensweise festgehalten werden:



Abbildung 1-8: Priorisierung der NWB-Maßnahmen ((ÖWAV Regelblatt 35, 2003), (Geiger u. a., 2009), (Herzer, 2004), mod.)

Im folgenden Kapitel werden die relevanten Einflussfaktoren für die Wahl der richtigen Bewirtschaftungsanlage für den Umgang mit Niederschlagswasser erläutert. Ebenso werden mögliche Maßnahmen und Anlagen zur Bewirtschaftung von Niederschlagswasser und deren Auswirkungen und Ziele behandelt.

1.5.1 Einflussfaktoren auf die Wahl der Oberflächenentwässerung

Nachhaltige Niederschlagsbewirtschaftungen schaffen die Möglichkeit das Regenwasser wieder entsprechend dem natürlichen Wasserhaushalt zu übergeben, ohne diesen wesentlich zu beeinträchtigen. Eine sorgfältige Betrachtung des Einsatzgebietes und die richtige Wahl der Anlage für die Oberflächenentwässerung sind ausschlaggebend für den richtigen Umgang mit dem Niederschlagswasser.

Welches Bewirtschaftungssystem wo am besten zum Einsatz kommt, hängt von einigen Randbedingungen ab, vorwiegend aber von den Standorteigenschaften selbst. Die Zusammenhänge von Naturraum und Nutzung muss genau erörtert werden. Laut Sieker u.a. (2009) spielt die Kenntnis über die anzutreffenden Untergrundverhältnisse eine wesentliche Rolle für die richtige Wahl einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsanlage. Ebenso ist aufzuzeigen, ob und in welcher Dimension befestigte und unbefestigte Flächen im Untersuchungsgebiet vorhanden sind.

In der nachstehenden Abbildung 1-9 werden die wesentlichen Einflussfaktoren für die Wahl der richtigen Anlage aufgelistet:

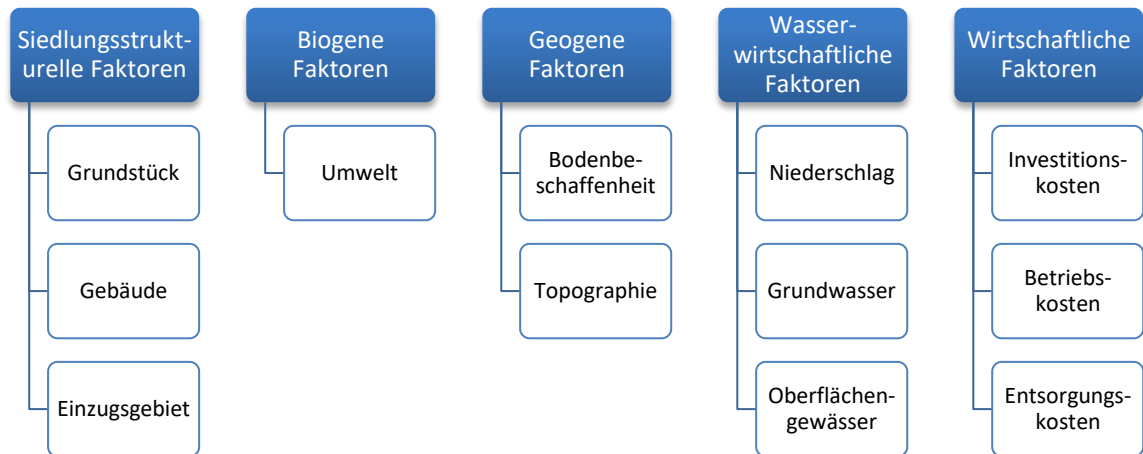


Abbildung 1-9: Einflussfaktoren der Niederschlagswasserbewirtschaftung (Assinger, 2012, mod.) (in Anlehnung an (Sieker u. a., 2003), (ÖWAV Regelblatt 9, 2008), (DWA-A 138, 2005))

1.5.2 Vermeidung

In der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV, 1996) ist festgelegt, dass nicht oder nur gering verunreinigtes Niederschlags- und Oberflächenwasser noch vor dem Eintritt in den Regenwasserkanal dem natürlichen ober- oder unterirdischen Abflussgeschehen überlassen werden soll. Aufgrund der zunehmenden Versiegelung von Oberflächen kommt es jedoch bei Niederschlägen zu einer starken Erhöhung des Oberflächenabflusses und der Abflussgeschwindigkeit (Herzer, 2004). Diese können durch die Minimierung von Verkehrsflächen, Verwendung von wasserdurchlässigen Befestigungsarten und der Ausführung von Dachbegrünungen wesentlich reduziert werden (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2013).

Die Umsetzung solcher naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen lassen sich in Neubaugebieten leichter realisieren, als bei bereits vorhandenen Flächen. Deshalb sollte bereits bei der Erstellung von Flächenwidmungsplänen bzw. in den frühen Planungsphasen darauf geachtet werden.

1.5.2.1 Entsiegeln

Das Entsiegeln von Flächen ist eine der effizientesten Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Verminderung des Oberflächenabflusses. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass keine Gefährdung des Gewässers oder des Grundwassers vorliegt.

Beim Entsiegeln steht die Vermeidung von vollständig und dicht versiegelten Flächen im Vordergrund, soweit die Nutzung dieser Fläche nicht beeinträchtigt wird.

Gering verschmutzte Flächen und Flächen mit geringer mechanischer Beanspruchung können durch Verwendung von Rasengittersteinen (Rasenfugenpflaster), porigen Betonsteinen (Sickersteine, Porenplaster), Schotterrassen, Kies-Splitt-Decken, Pflaster ohne Fugenverguss (Sickerfugensteine) möglichst durchlässig gestaltet werden (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2007). Zu solchen Flächen zählen beispielsweise Einfahrten, Wege, Spielplätze, Schul- und Innenhöfe sowie Lager-, Manipulations-, Park- und Stellplätze mit geringem Fahrzeugwechsel.

Die Vor- und Nachteile von einer Entsiegelung der Flächen sind in der nachfolgenden Tabelle 1-9 zusammengefasst:

Tabelle 1-9: Vor- und Nachteile von entsiegelten Flächen ((Assinger, 2012), (Geiger u. a., 2009), (Herzer, 2004), (Sieker u. a., 2003))

Vorteile
Einfache Wartung und Kontrolle
Geringer technischer Aufwand bei der Herstellung
Vielseitige Nutzung möglich
Hoher Verdunstungsfaktor
Reinigungsleistung bzw. gute Grundwasseranreicherung, je nach anstehenden Boden
Nachteile
Hoher Flächenbedarf
Eingeschränkte Nutzbarkeit
Geringe Speicherwirkung
Reinigung einer befestigten, durchlässigen Oberfläche mit einer konventionellen Reinigungsmaschine nicht möglich
Verschlämmung der Fugen mit Feinteilen bei Anwendung von Porenbetonpflaster

1.5.2.2 Dachbegrünung

Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung bzw. Rückhaltung des Oberflächenabflusses ist die Verwendung von Dachbegrünungen. Der Aufbau eines Gründaches ist so konzipiert, dass das anfallende Niederschlagswasser vorerst gespeichert wird. Ein Teil des gespeicherten Regenwassers fließt nach einer beträchtlichen Verzögerung ab, der andere Teil des gespeicherten Regenwassers geht über die Transpiration der Pflanzen bzw. der Evaporation des Schichtaufbaus wieder in den natürlichen Wasserkreislauf ein (Hüfting u. a., 2009).

Die Tabelle 1-10 gibt Richtwerte für die prozentuale jährliche Wasserretention bei Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der Aufbaudicke an:

Tabelle 1-10: Richtwerte für die prozentuale jährliche Wasserretention bei Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der Aufbaudicke (FLL, 2008)

Begrünungsart	Aufbaudicke [cm]	Vegetationsform	Wasserrückhaltung Jahresmittel [%]	Jahresabflussbeiwert
Extensivbegrünung	2 – 4	Sedum – Moos – Kraut – Gras - Begrünung	40	0,6
	> 4 – 6		45	0,55
	> 6 – 10		50	0,50
	10 – 15		55	0,45
	>15 - 20		60	0,40
Intensivbegrünung	25 – 25	Rasen, Stauden, Kleingehölze, Sträucher, Bäume	60	0,40
	> 25 – 50		70	0,30
	> 50		> 90	0,10

Bei der Dachbegrünung kann zwischen Extensiv- und Intensivbegrünung unterschieden werden. Ausschlaggebend für die Art der Begrünungsausführung ist die Stärke der verwendeten Substratschicht. Extensive Dachbegrünungen weisen eine Substratschichtdicke von etwa 2 bis 12 cm auf. Das geringe Gewicht dieser Ausführung ermöglicht einen Einbau bei Schrägdächern bis 30° ohne eine zusätzliche Sicherungsmaßnahme. Zudem kann ein extensiv begrüntes Dach auch nachträglich eingebaut werden. Extensivbegrünungen erfordern aufgrund ihrer naturnahen Vegetationsform einen geringen Pflegebedarf (Geiger u. a., 2009).

Bei Verwendung einer Substratschicht von 12 bis >20 cm spricht man von einem intensiv begrüntem Dach. Hier finden nicht nur einfache Pflanzen und Stauden ihren Einsatz, sondern es können auch Rasenflächen und einzelne Bäume gepflanzt werden. Intensivbegrünungen weisen eine höhere Belastung für das Dach auf und beeinflussen somit wesentlich die Statik, was wiederum zu höheren Kosten führen kann (Geiger u. a., 2009).

Eine zusammenfassende Bewertung der Vor- und Nachteile von extensiven und intensiven Dachbegrünungen ist in der Tabelle 1-11 aufgelistet:

Tabelle 1-11: Vor- und Nachteile von extensiven und intensiven Dachbegrünungen (BENZ24, 2016)

Vorteile
Schutz des Dachs vor Witterungseinflüssen
Funktion als zusätzliche Wärmedämmung und sommerlicher Hitzeschutz
Schadstoff-Reduktion im Niederschlagsabfluss
Schaffung von Ersatzräumen für Pflanzen und Tiere
Ansehnliche Optik: Als Gestaltungselement
Große Menge an Regenwasser wird zurückgehalten bzw. verdunstet
Nachteile
Bei hohem Gewicht große Belastung für die Traglast des Daches (nachträgliche Dachbegrünung daher manchmal nicht umsetzbar)
Je nach Dachbegrünung entsprechende Pflegeaufwand fällig
Je nach Aufbau und Bepflanzung sind die Investitionskosten im Vergleich zum herkömmlichen Dach hoch

1.5.3 Nutzung

Die Nutzung des Regenwassers kann sehr vielseitig sein und erstreckt sich in die Bereiche Haushalt, Industrie und Gewerbe.

1.5.3.1 Regenwassernutzung im Haushalt

Für die Verwendung von Regenwasser im Haushalt wird der anfallende Niederschlag auf die Dachflächen über die Dachrinnen und über Fallrohre abgeleitet und in dafür vorgesehenen Behälter gespeichert. In der Regel ist das Regenwasser sauber, es kann jedoch durch eine stark belastete Umgebungsluft oder auch durch das Material der Dächer selbst verschmutzt werden. Findet keine entsprechende Vorreinigung des Niederschlagswassers statt, so ist es nicht für den häuslichen Gebrauch geeignet.

Im privaten Haushalt kann das Regenwasser als Gartenbewässerung bis hin zur Wasserversorgung für den Haushalt genutzt werden. Die Abbildung 1-10 zeigt auf, welcher Wasserbedarf im Haushalt über das Regenwasser abgedeckt werden könnte.

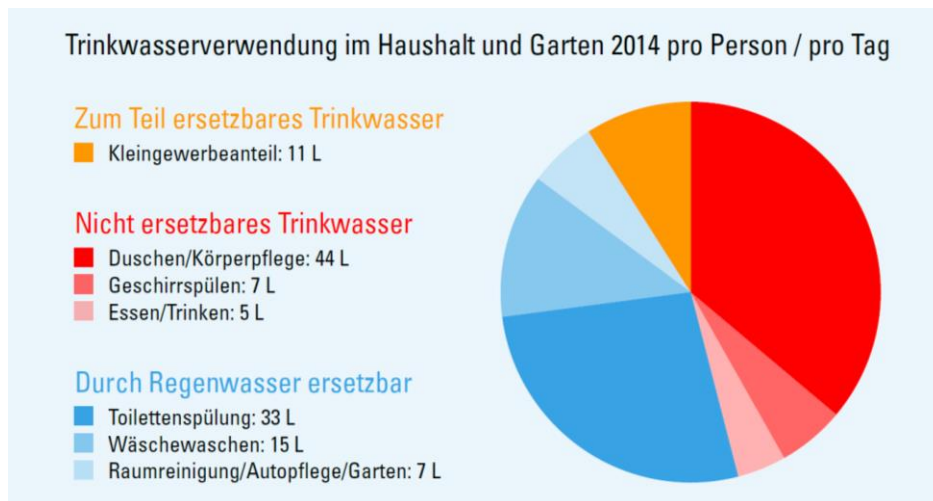


Abbildung 1-10: Trinkwasserverwendung im Haushalt und Garten 2014 pro Person / pro Tag in Deutschland und Möglichkeiten zur Regenwassernutzung (BENZ24, 2016)

Für die Gartenbewässerung werden hauptsächlich Regentonnen eingesetzt, wobei darauf zu achten ist, dass diese aus einem hochwertigen und robusten Kunststoff bestehen, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. Regenwasser kann aber nicht nur für die Bewässerung des Gartens gespeichert werden, sondern ist auch für den Haushalt nutzbar. Bei einer solchen Regenwasserhausanlage wird das Niederschlagswasser vom Dach abgeleitet, durch einen Filter gereinigt und in einer unterirdischen Zisterne gespeichert. Von dort wird es mittels einer Pumpe in das dafür vorgesehene Leitungsnetz des Hauses eingespeist. Wichtig dabei ist, wie in Abbildung 1-11 ersichtlich, dass der Trinkwasserkreislauf, in der Abbildung 1-11 in Rot dargestellt, keine Verbindung mit dem Regenwasserkreislauf, in der Abbildung 1-11 in Blau dargestellt, hat.

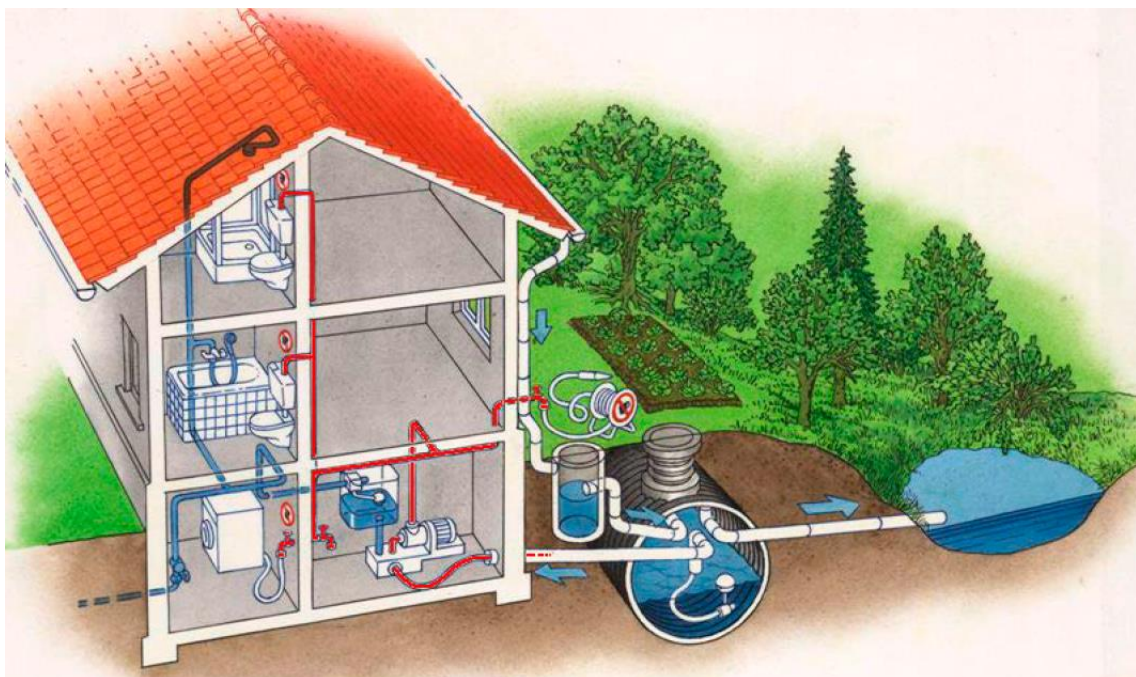


Abbildung 1-11: Aufbau einer Anlage zur Regenwassernutzung im Haushalt (LfU, 2016)

Dieses gespeicherte Regenwasser kann nun im Haushalt für die Toilettenspülung, die Waschmaschine oder für Putz- und Reinigungsarbeiten verwendet werden. Ebenso ist die Bewässerung des Gartens mit diesem Wasser möglich. Eine schematische Darstellung der einzelnen Nutzungsbereiche wird in Abbildung 1-12 aufgezeigt:

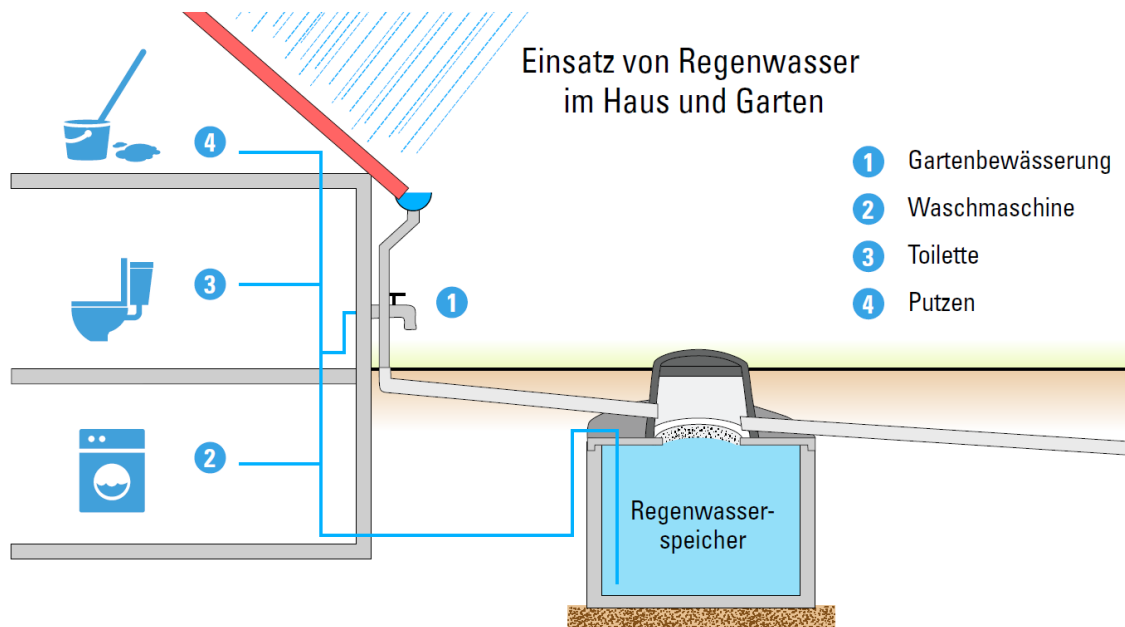


Abbildung 1-12: Einsatz von Regenwasser im Haus und Garten (BENZ24, 2016)

1.5.3.2 Regenwassernutzung in Industrie und Gewerbe

Basierend auf den Erfahrungsbericht für Regenwassernutzung (Bullermann & Sperfeld, 2004) wurden die folgenden Absätze verfasst:

Der Einsatz von Regenwassernutzungsanlagen in Gewerbe und Industrie ist weit verbreitet. Die Dimensionierung und Auslegung der Anlage wird nach den spezifischen Anforderungen und je nach Anwendungsbereich des Kunden erstellt. Eine sorgfältige Planung ist ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen.

Die Funktionsweise solcher großen Nutzungsanlagen ist der häuslichen Anlage ähnlich: Das Niederschlagswasser wird von den Dachflächen über die Regenrinnen und Fallrohre abgeleitet, durch eine Filteranlage gereinigt und in einer Zisterne gespeichert. Die Speicherung des Regenwassers kann, je nach Dimensionierung, in einer großen Zisterne oder in kleineren gekoppelten Einheiten erfolgen. Die verwendeten Filtersysteme werden so ausgelegt, dass nur ein geringer Wartungsaufwand erforderlich ist. Um eine wirtschaftliche Dimensionierung der Druckerhöhungsanlagen zu erzielen, wird das gespeicherte Niederschlagswasser aus der Zisterne in einen kleineren Vorlagespeicher gefördert. In der Industrie und im Gewerbe ist die Überwachung und Wartung von Anlagen ein großes und wichtiges Thema, demnach besteht die Möglichkeit die Regenwassernutzungsanlage mit einer kabellosen Ferndatenübertragung auszustatten.

Der Einsatzbereich dieses gespeicherten Niederschlagswassers reicht von der Versorgung der Toilettenspülung bis hin zur Kühlwasserspeisung. Die Wasserspeicher der Regenwassernutzungsanlage werden auch oft als Löschwasserbevorratung vorgesehen.

Zusammenfassend sind in der Tabelle 1-12 Vor- und Nachteile für die Nutzung von Regenwasser im häuslichen und gewerblichen Bereich.

Tabelle 1-12: Vor- und Nachteile für die Regenwassernutzung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Einsparung von Kosten für Trinkwasser
Im Neubau einfach realisierbar
Einsparung von Gewässerbelastenden Waschmitteln durch geringeren Härtegrad des Waschwassers
Speichervolumen unterirdisch – kein oberirdischer Platzbedarf
Einfache und langlebige Bauteile bei der Nutzung im häuslichen Bereich
Nachteile
Kaum Nachrüstbar in verdichteten Wohngebieten
In bestehenden Gebäuden nur bei Renovierung effizient
Wechselndes Retentionsvolumen – für Stadtentwässerung nicht genau kalkulierbar
Komplexe Technik bei Nutzung im gewerblichen Bereich

Die Regenwassernutzung, egal ob im privaten Haushalt, im Gewerbe oder in der Industrie, ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht ein wichtiger Bestandteil einer sinnvollen Ressourcennutzung und hilft den natürlichen Wasserhaushalt nachhaltig für Mensch und Natur in Einklang zu halten.

1.5.4 Versickerung

Auch bei guter Planung und Ausführung eines Entwässerungskonzeptes kann ein Oberflächenabfluss nicht gänzlich vermieden werden. Bevor dieses Niederschlagswasser jedoch in den Vorfluter oder die Kanalisation eingeleitet wird besteht die Möglichkeit einer naturnahen Variante zur Bewirtschaftung dieses Abflusses. Der anfallende Niederschlagsabfluss wird gezielt durch eine Versickerungsmaßnahme in den Untergrund eingeleitet. Dadurch wird einerseits die Neubildung des Grundwassers gefördert und andererseits kann die, durch die Bebauung verlorengegangene, Bodenfunktion wieder ausgeglichen werden (Herzer, 2004).

Der Oberflächenabfluss soll über eine möglichst große Fläche in die begrünte und bewachsene Oberbodenschicht versickert werden. Die Bodenart spielt hierbei eine wichtige Rolle, da sie die natürliche Filterfunktion des versickerten Niederschlagswassers übernimmt. Das versickerte Wasser kann von den entwässerten Flächen mit Schadstoffen angereichert sein. Der daraus folgende Schadstoffeintrag darf jedoch keine Folgewirkungen auf das Grundwasser haben und es nicht in physikalischer, chemischer und biologischer Beschaffenheit nachteilig beeinflussen (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012).

Bei der Wahl einer Versickerungsanlage ist darauf zu achten, welcher Aufbau des Oberbodens vorhanden ist. Nicht jeder Bodentyp kann eine ausreichende Vorreinigung und Filtration des Niederschlagswassers gewährleisten. Ebenso ist die Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche ein entscheidendes Kriterium für die passende Entwässerungsanlage. Gemäß dem ÖWAV Regelblatt 45 (2015) muss das Entwässerungssystem in Bezug auf die Fähigkeit zur Einbringung des Niederschlagsabflusses, von Flächentypen F1 – F5, in den Untergrund bewertet werden. In der Tabelle 1-13 ist dieses Bewertungsmodell angeführt.

Tabelle 1-13: Herkunftsflächen und die damit verbundene Entwässerungsanlage (ÖWAV Regelblatt 45, 2015)

Flächentyp gemäß Tabelle 1-1	Systeme mit mineralischem Filter		Systeme mit Rasen			Systeme mit Bodenfilter		Systeme mit technischem Filter		
	Sickerschicht	Unterirdischer Sickerkörper (Rigolenversickerung)	Rasenfläche	Rasenmulde	Rasenbecken	Bodenfilter in Mulden-/ Rinnenform	Bodenfilter in Beckenform	Sickerschicht mit technischem Filter	Technischer Filter in Mulden-/ Rinnenform	Technischer Filter in Beckenform
F1	M	M	x	x	x	x	x	x	x	x
F2	--	--	x	x	x	x	x	M	x	x
F3	--	--	M	--	--	x	x	i. B.	M	M
F4	--	--	--	--	--	x	x	i. B.	M	M
F5	--	--	--	--	--	i. B.	i. B.	i. B.	i. B.	i. B.

Legende für die Tabelle 1-13:

Empfohlen (x) :

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

Zulässig (M) :

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

Zulässig nach individueller Beurteilung (i. B.):

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

Nicht zulässig (--):

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

Laut dem Leitfaden für Oberflächenentwässerung 2.0 (2012) ist das Verhältnis zwischen der angeschlossenen zu entwässernden Fläche und dem Flächenbedarf für die Versickerung und die Durchlässigkeit des Bodens entscheidend für die Größe des Speichervolumens einer Versickerungsanlage. Demnach sind, angeführt in der Tabelle 1-14, folgende Anlagentypen zu unterscheiden:

Tabelle 1-14: Größe des Speichervolumens einer Versickerungsanlage (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012)

Art der Anlage	Größe des Speichervolumens
Flächenversickerung	Ohne Speichervolumen
Muldenversickerung	Geringes Speichervolumen
Rigolen-, Rohr-, Schachtversickerung	Mittleres Speichervolumen
Beckenversickerung	Großes Speichervolumen

Auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arten von Versickerungsanlagen, sowie dessen Vor- und Nachteile wird in den nachstehenden Kapiteln eingegangen.

1.5.4.1 Flächenversickerung

Bei der Flächenversickerung, schematisch dargestellt in Abbildung 1-13, wird das Niederschlagswasser auf eine durchlässige, unbefestigte und bewachsene Oberfläche geleitet, auf der es ohne Speicherung in den Unterboden versickern kann. Aufgrund der nicht vorhandenen Speichermöglichkeit des Niederschlagswassers spielt die Sickerfähigkeit des Bodens eine wesentliche Rolle. Der Oberboden muss in der Lage sein, mehr oder zumindest gleich viel Wasser aufzunehmen als Niederschlag anfällt. Um solch eine schadlose Flächenversickerung zu gewährleisten muss der Untergrund einen Durchlässigkeitsbeiwert k_f von mindestens 10^{-5} m/s aufweisen.

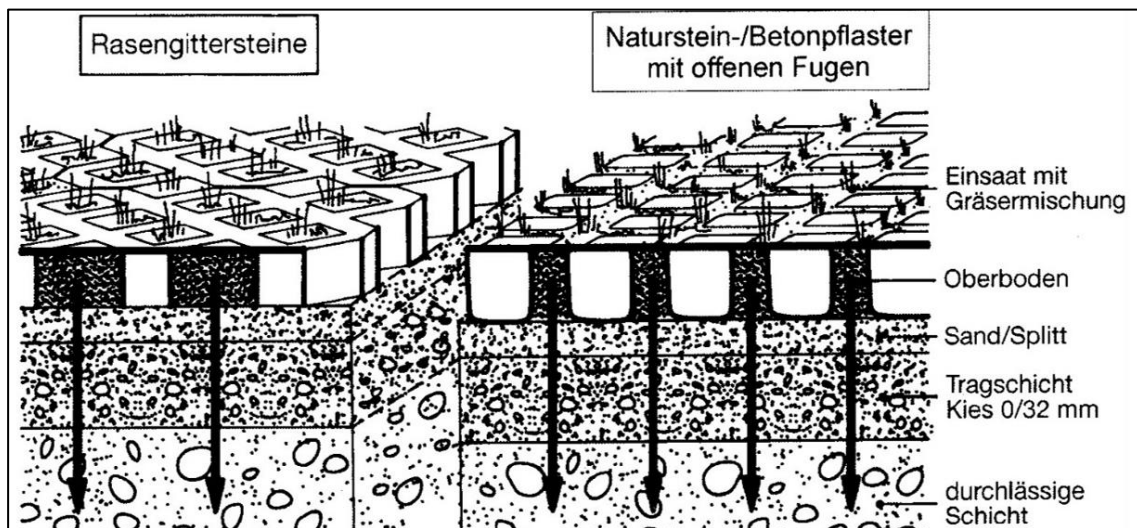


Abbildung 1-13: Prinzip der durchlässigen Befestigung (Geiger u. a., 2009)

Die Anwendung einer Flächenversickerung im öffentlichen und gewerblichen Bereich umfasst die Gestaltung von durchlässigen Verkehrsflächen, Gehwegen, Fußgängerbereichen, Sportanlagen, Parkplätzen mit geringer Frequenz und Manipulationsflächen. Im privaten Bereich können sowohl Parkplätze, Hofflächen als auch Terrassen und Gehwege durchlässig ausgeführt werden.

Die Vor- und Nachteile einer Flächenversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-15 zusammengefasst:

Tabelle 1-15: Vor- und Nachteile der Flächenversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Sehr gute Reinigungsleistung
Gute Wartungsmöglichkeiten
Geringer technischer Aufwand
Nachteile
Keine Speicherfähigkeit
Hoher Flächenbedarf

1.5.4.2 Muldenversickerung

Das Prinzip der Muldenversickerung, dargestellt in der Abbildung 1-14, berücksichtigt eine Zwischenspeicherung des Oberflächenabflusses in einer vertieften Rasen- oder Pflanzfläche, um anschließend das Niederschlagswasser flächenförmig über einen begrüneten und belebten Boden zu versickern.

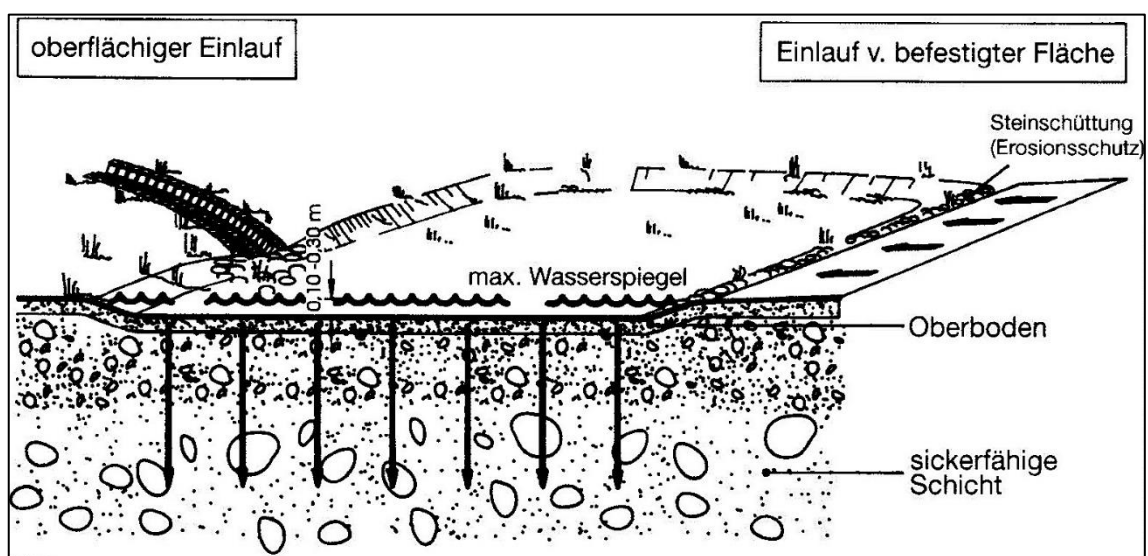


Abbildung 1-14: Prinzip der Muldenversickerung (Geiger u. a., 2009)

Die Mulden sollten das Wasser nur kurzzeitig speichern, laut dem Arbeitsblatt DWA-A 138 (2005) maximal 24 Stunden, da bei längerer Einstaudauer die Verschlickung und Verdichtung des Oberbodens erhöht wird. Diese Gefahr einer Selbstabdichtung der Muldensohle hat wesentlichen Einfluss auf die Dimensionierung einer Muldenversickerung und begrenzt die Ausführungstiefe der Mulde auf 30 cm. Zudem müsste als Sicherheitsgründen eine tiefere Mulde eingezäunt werden (Geiger u. a., 2009).

Die Anwendung solcher Muldenversickerungen ist bei gut bis mäßig durchlässigem Untergrund mit einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f von mindestens 10^{-6} m/s realisierbar. Vor allem aber dann, wenn die verfügbare Versickerungsfläche oder Durchlässigkeit des Untergrundes für eine Flächenversickerung nicht ausreicht (DWA-A 138, 2005). Geeignete Flächen dafür sind auf Grundstücken mit großen Grün- und Freiflächen, da der Flächenbedarf ca. 15 – 30 % der angeschlossenen befestigten Fläche betragen sollte (Geiger u. a., 2009).

Die Vor- und Nachteile einer Muldenversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-16 zusammengefasst:

Tabelle 1-16: Vor- und Nachteile der Muldenversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Gute Retentionswirkung
Sehr gute Reinigungsleistung
Gute Wartungsmöglichkeiten
Geringer technischer Aufwand
Gut in Grünflächen integrierbar

Nachteile
Missbrauch: Ablagerung von Abfällen
Relativ hoher Flächenbedarf

1.5.4.3 Beckenversickerung

Die Beckenversickerung folgt dem Funktionsprinzip der Muldenversickerung, wie in Abbildung 1-15 ersichtlich, mit dem Unterschied, dass bei der Beckenversickerung ein größeres Anschlussverhältnis, eine größere Einstautiefe und eine strengere technische Ausführung gegeben sind. Die längere Einstaudauer im Becken lässt sich dadurch erklären, dass integrierte Absetzbereiche, vorgeschaltete Absetzbecken oder auch Bereiche mit Dauerstau errichtet werden können.

Der Einsatzbereich von Beckenversickerungen ist vor allem bei größeren Einzugsgebieten sinnvoll (Geiger u. a., 2009).

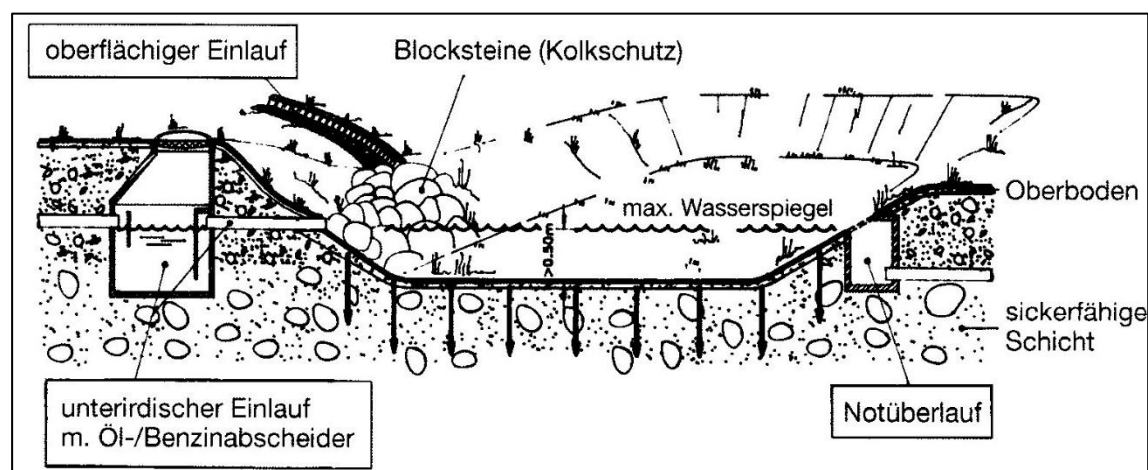


Abbildung 1-15: Prinzip der Beckenversickerung (Geiger u. a., 2009)

Die Vor- und Nachteile einer Beckenversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-17 zusammengefasst:

Tabelle 1-17: Vor- und Nachteile der Beckenversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Gute Retentionswirkung
Gute Reinigungsleistung
Gute Wartungsmöglichkeiten
Geringer technischer Aufwand
Gut in die Landschaft integrierbar

Nachteile
Gefährdungspotenzial für Kinder bei gefülltem Becken
Selbstabdichtung der Sohle bei unsachgemäßer oder fehlender Wartung

1.5.4.4 Rigolen- und/oder Rohrversickerung

Bei der Rigolen- und/oder Rohrversickerung handelt es sich um eine unterirdische Versickerungsart des anfallenden Niederschlagswassers, welche, in Kombination mit einer gedrosselten Ableitung, auch bei schlecht durchlässigen Böden eingesetzt werden können. Bei der Rigolenversickerung, wie in Abbildung 1-16 ersichtlich, gelangt das Niederschlagswasser oberirdisch in einen in den Boden eingebauten Rigolenkörper. Bei der Rohrversickerung hingegen, dargestellt in Abbildung 1-17, wird es unterirdisch in einen mit Füllmaterial gebetteten perforierten Rohrstrang eingeleitet. Eine Kombination aus den beiden Versickerungsanlagen ist ebenso möglich.

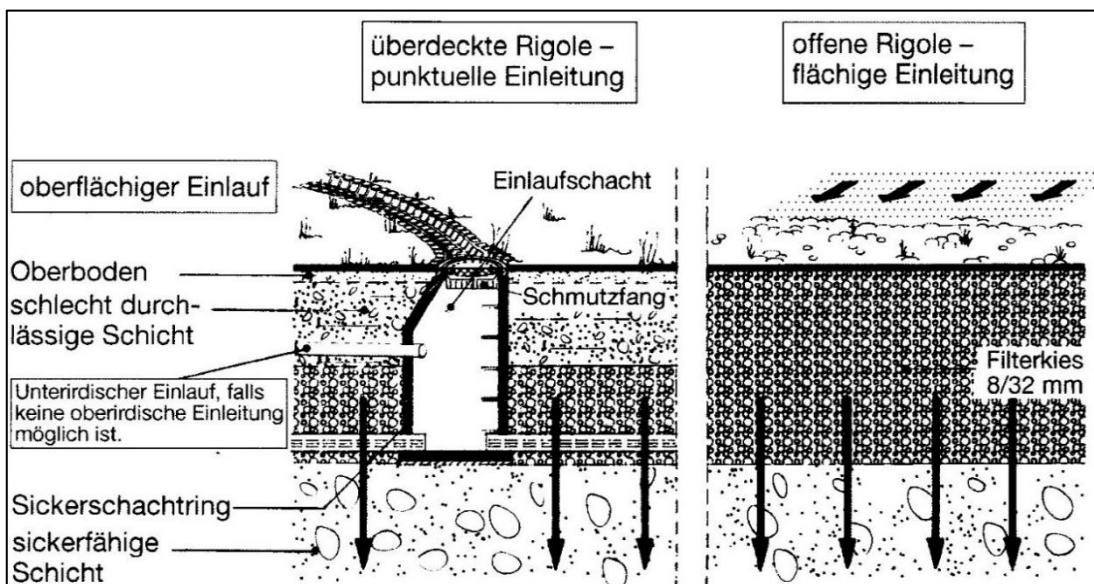


Abbildung 1-16: Prinzip der Rigolenversickerung (Geiger u. a., 2009)

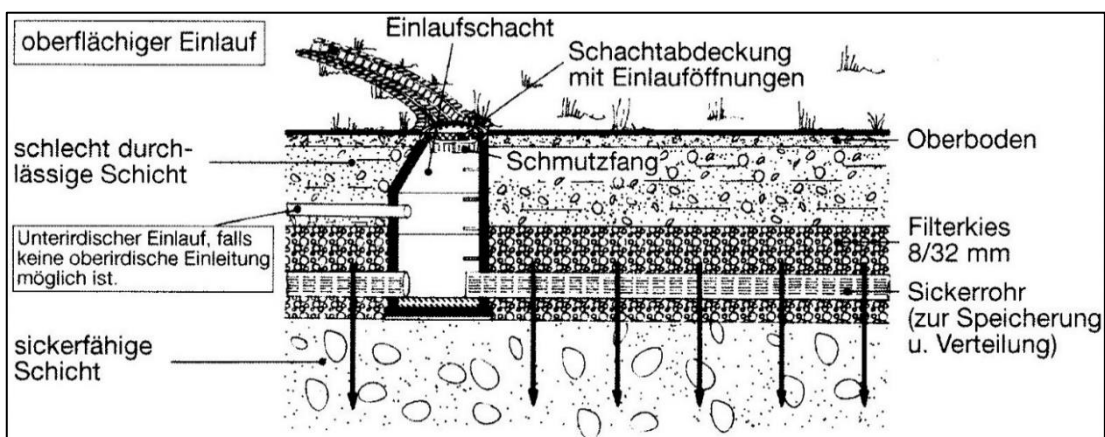


Abbildung 1-17: Prinzip der Rohrversickerung (Geiger u. a., 2009)

Für die Zwischenspeicherung der Abflüsse ist das Porenvolumen des Füllmaterials entscheidend. Materialien wie Kies, Lavagranulat oder auch Wabenkunststoff sind für die Füllung möglich. Ebenso nimmt die Abmessung der Rigole bzw. der Rohre Einfluss auf die Speicherkapazität. Um das Eindringen von Bodenfeinteilen in den Versickerungskörper zu vermeiden, sollte dieser mit einem Geotextil bzw. einem Filtervlies ummantelt werden.

Aufgrund der unterirdischen Zuführung und Speicherung des Wassers ist für die Versickerungsanlage kein Platzbedarf an der Oberfläche nötig und sie kann somit auch dort eingesetzt werden, wo keine Freiflächen verfügbar sind. Es ist aber darauf zu achten, dass nur gering belastete Flächen in die Versickerungsanlage eingeleitet werden, da keine Reinigung des Wassers durch eine belebte Oberbodenzone erfolgt. Gegebenenfalls sollte eine Reinigungsanlage vorgeschaltet werden (Geiger u. a., 2009).

Die Vor- und Nachteile einer Rigolen- Rohrversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-18 zusammengefasst:

Tabelle 1-18: Vor- und Nachteile der Rigolen- Rohrversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Geringer Flächenbedarf
Gutes Retentionsvermögen
Wenig bis nichteingeschränkte Nutzbarkeit der Oberfläche
Nachteile
Sehr geringe Reinigungsleistung
Keine Wartungsmöglichkeiten

1.5.4.5 Schachtversickerung

In einem Sickerschacht wird das anfallende Niederschlagswasser durch ein Rohr unterirdisch eingeleitet, zwischengespeichert und über die offene Schachtsohle in den durchlässigen Untergrund versickert. Der Aufbau der Sohle besteht aus künstlich eingebrachten Filterschichten, um unterschiedliche Ansprüche in der Qualität im Sohlbereich zu ermöglichen (ÖNORM B 2506-1, 2013). Zur Verbesserung der Sickerleistung und bei ausreichend durchlässiger Bodenschicht ist, wie in Abbildung 1-18 beschrieben, auch eine zusätzliche Versickerung über gelochte oder geschlitzte Schachtwände möglich. In diesem Fall muss jedoch der vorgesehene Filter bis über die Lochung hochgezogen werden (ÖNORM B 2506-1, 2013). Um die Sickerleistung bei dieser Ausführung zu unterstützen wird der perforierte Schacht mit einer Kiesschicht ummantelt.

Zum Schutz des Grundwassers und zur Erhaltung der Sickerfähigkeit sollte das Regenwasser einer Vorreinigung unterzogen werden. Hierfür kann ein Absetzschacht oder eine Reinigungseinrichtung vorgeschaltet werden. Zusätzlich in den Sickerschacht eingebaute Filtervliese mindern ebenso die Gefahr einer Verschlickung oder Verstopfung (ÖNORM B 2506-1, 2013).

Der Anwendungsbereich solcher Sickerschächte ist dem der Rigolen- oder Rohrversickerung gleichzustellen. Somit ist laut ÖWAV RB 35 (2003) die linienförmige Versickerung über Rigolen oder Sickerrohre der punktuellen Versickerung über einen Sickerschacht jedenfalls vorzuziehen.

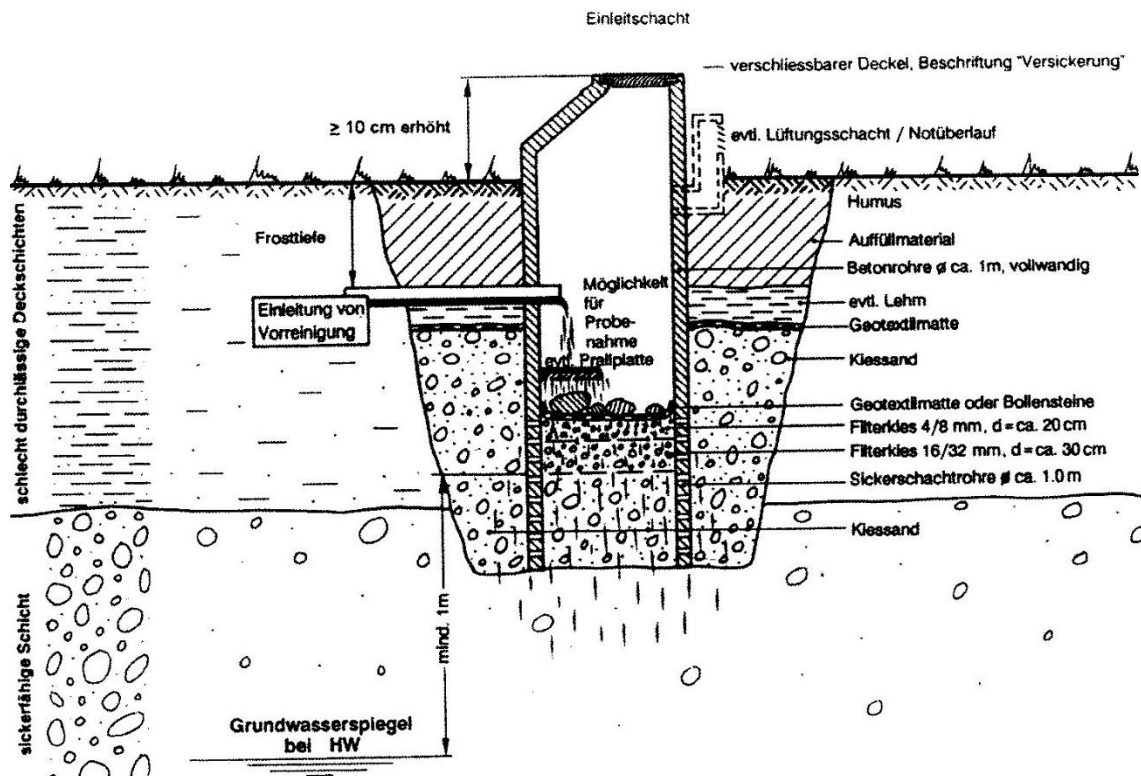


Abbildung 1-18: Prinzip der Schachtversickerung (Geiger u. a., 2009)

Die Vor- und Nachteile einer Schachtversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-19 zusammengefasst:

Tabelle 1-19: Vor- und Nachteile der Schachtversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Sehr geringer Flächenbedarf
Keine bzw. geringe Nutzungsbeschränkungen des Grundstückes
Anwendung auch bei oberflächennahen undurchlässigen Schichten
Gute Kontrollmöglichkeit

Nachteile
Großer Grundwasserflurabstand notwendig
Keine Reinigungsleistung
Beschränkte Wartungsmöglichkeiten

1.5.4.6 Mulden- Rigolen-Versickerung

Bei diesem Versickerungssystem wird eine begrünte Mulde mit einer darunterliegenden Rigole kombiniert. Das anfallende Niederschlagswasser wird auf diese Weise nicht nur in den Untergrund versickert sondern es findet auch eine gedroselte Ableitung der nicht versickernden Wassermenge statt (ÖWAV Regelblatt 35, 2003). In der Abbildung 1-19 ist das Funktionsprinzip einer Mulden- Rigolen-Versickerung dargestellt:

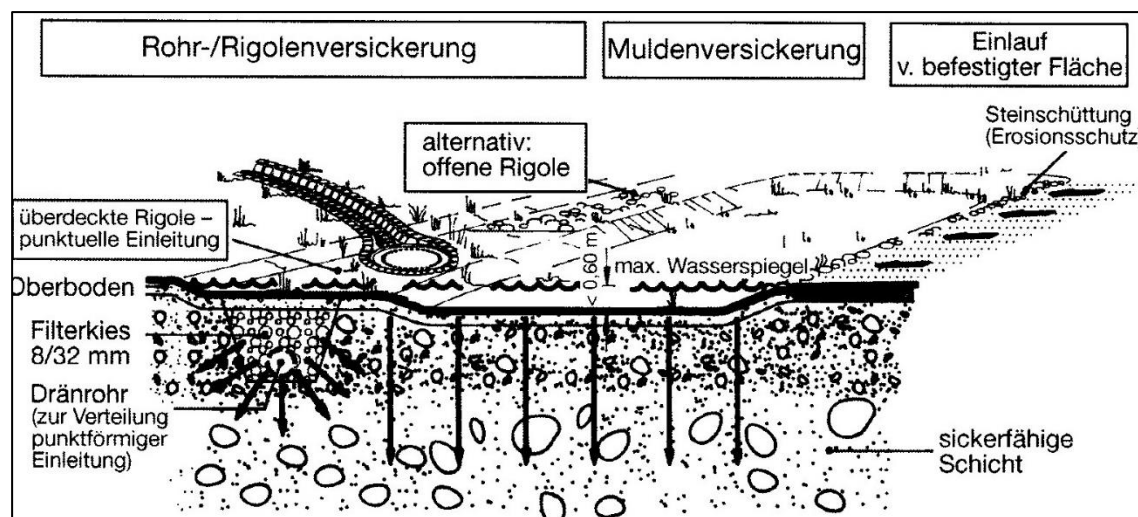


Abbildung 1-19: Prinzip der Mulden-Rigolen-Versickerung (Geiger u. a., 2009)

Ist aufgrund der unzureichenden Durchlässigkeit des Untergrundes eine vollständige Versickerung des anfallenden Niederschlagsabflusses über Versickerungsmulden nicht möglich, kann ein Mulden-Rigolen-Versickerungssystem zum Einsatz kommen.

Die Vor- und Nachteile einer Mulden-Rigolen-Versickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-20 zusammengefasst:

Tabelle 1-20: Vor- und Nachteile der Mulden-Rigolen-Versickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Relativ geringer Flächenbedarf
Gutes Retentions- und Ableitungsvermögen

Nachteile

Wartungsmöglichkeiten der Rigole nur, wenn baulich extra vorgesehen

Aufwendiges System

1.5.4.7 Retentionsraumversickerung

Laut Geiger u. a. (2009) spricht man von einer Retentionsraumversickerung, wenn die Reinigung, Speicherung und Versickerung von Regenwasser in einem System vereint wird. Niederschlagswässer werden oberirdisch in einen Speicherteich oder Graben eingeleitet, welcher zum Untergrund abgedichtet wird. Bevor das Wasser in das Speicherbecken eingeleitet wird, kann eine Vorreinigung des Abflusses durch einen horizontal durchflossenen Sandfilter erfolgen. Im Speicherbecken selbst tragen Wasserpflanzen zum Abbauprozess der gelösten und ungelösten Stoffe bei. Überschreitet der Wasserpegel im Retentionsbecken die Dauerstaulinie, wird der Überlauf in die angeschlossene Versickerungsmulde zugeleitet und in den Untergrund versickert. Das Prinzip der Retentionsraumversickerung ist in Abbildung 1-20 ersichtlich:

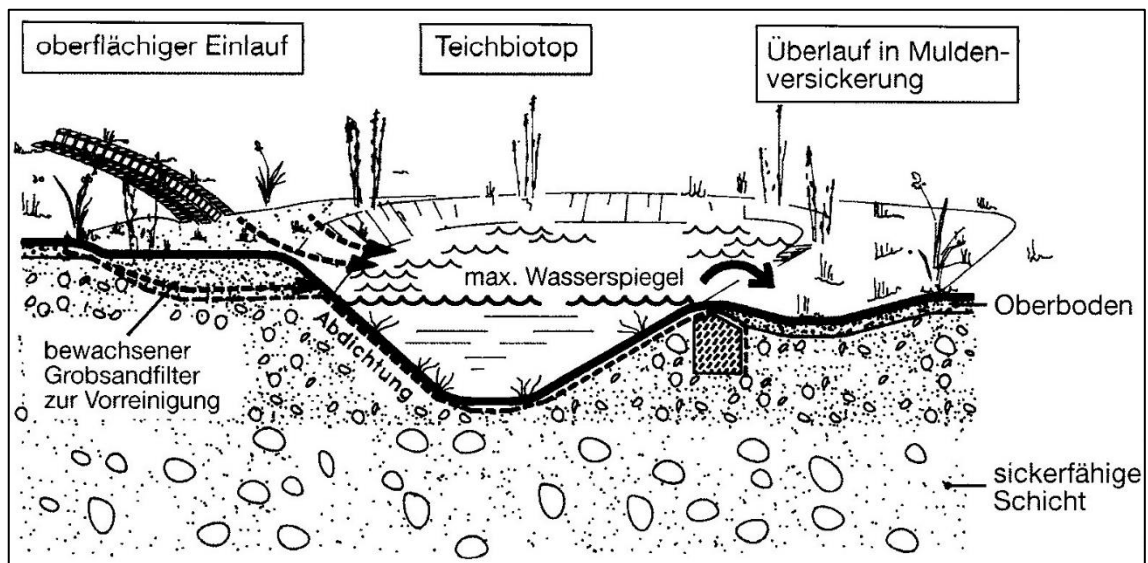


Abbildung 1-20: Prinzip der Retentionsraumversickerung (Geiger u. a., 2009)

Die Retentionsraumversickerung findet in den Siedlungsgebieten als gestalterisches Element seine Anwendung und wird vor allem bei stärker belastetem Regenwasser mit erhöhtem Störfallrisiko eingesetzt (Muschalla u. a., 2014).

Die Vor- und Nachteile einer Retentionsraumversickerung sind in der nachfolgenden Tabelle 1-21 zusammengefasst:

Tabelle 1-21: Vor- und Nachteile der Retentionsraumversickerung (Geiger u. a., 2009)

Vorteile
Relativ geringer Flächenbedarf
Gutes Retentionsvermögen
Gute Wartungsmöglichkeiten
Nachteile
Regelmäßige Wartung
Relativ großer Flurabstand erforderlich

1.5.5 Retention und Ableitung

Der Einsatz von Speichersystemen bzw. Retentionsmaßnahmen nimmt Einfluss auf das Abflussgeschehen und somit auf die Umwelt in wasserwirtschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Hinsicht (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012). Das Ziel einer Retention des anfallenden Niederschlagswassers ist zum einen die Reduktion des hydraulischen Stresses bei der Einleitung des anfallenden Oberflächenabflusses in den Vorfluter bzw. in das Kanalsystem und zum anderen der Hochwasserschutz. Das Abflussverhalten und die Einleitmengen sollten auf ein Maß reduziert werden, das den natürlichen Abflussverhältnissen nahekommt. Retentionssysteme bewirken eine Dämpfung und Verzögerung der Abflussspitze, indem sie das plötzlich anfallende Oberflächenwasser zwischenspeichern und in geringen Mengen wieder ableiten. Bei diesen Systemen findet jedoch keine Versickerung bzw. Verminderung des Niederschlagswassers statt (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2012).

Die Retention des anfallenden Regenwassers kann oberirdisch aber auch unterirdisch ausgeführt werden. Als oberirdisches Retentionsvolumen dienen sämtliche Flächen, bei denen eine kurzzeitige Nutzungsbeschränkung bei Starkregen akzeptiert wird. So bieten zum Beispiel Park- und Umgebungsflächen, Flachdächer oder Gräben und Mulden Retentionsmöglichkeiten für das Niederschlagswasser. Unterirdisch ist die Schaffung von Retentionsmaßnahmen durch speziell ausgebildete Sammelschächte oder Speicherkanäle realisierbar (ERZ, 2014).

Nach der Zwischenspeicherung wird das angefallene Regenwasser entweder in ein Fließgewässer eingeleitet oder wird dem vorhandenen Kanalsystem zugeleitet. Um die Ziele einer naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung zu er-

füllen, wird die Ableitung in einen nahegelegenen Vorfluter empfohlen. Die Gewässergüte und der Gewässerzustand dieses Fließgewässers dürfen nicht negativ beeinträchtigt werden.

Diesbezüglich sind Anforderungen an die Vorbehandlung des Niederschlagsabflusses zu treffen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 1-22 zusammengefasst:

Tabelle 1-22: Anforderungen bei Fließgewässereinleitung (ÖWAV Regelblatt 35, 2003)

Flächentyp	Anforderungen
F1 – F3	<p>In der Regel ist keine Behandlung der Niederschlagsabflüsse dieser Flächen vor der Einleitung in ein Fließgewässer erforderlich.</p> <p>Immissionsseitig ist die Notwendigkeit von Maßnahmen zu prüfen, wenn der mittlere Gewässerabfluss geringer ist als der Richtwert, der sich nach den Prüfkriterien dieses Regelblattes errechnet.</p>
F4, F5	<p>Die Niederschlagsabflüsse dieser Flächen sind nach Möglichkeit getrennt zu erfassen und vor zu reinigen, bevor sie in ein Fließgewässer eingeleitet werden. Als Mindestanforderung gilt eine mechanische Reinigung (Absetzbecken mit Tauchwand), nach Möglichkeit ist eine Filterpassage vorzusehen.</p> <p>Immissionsseitig ist die Notwendigkeit von weitergehenden Maßnahmen zu prüfen, wenn der mittlere Gewässerabfluss geringer ist als der Richtwert, der sich nach den Prüfkriterien dieses Regelblattes errechnet.</p>

2 Methodik

Dieses Kapitel erläutert die Methodik der vorliegenden Masterarbeit. Hierzu werden Prozesse zur Bearbeitung der Zielsetzungen beschrieben, Das Ablaufschema wird in der Abbildung 2-1 dargestellt.

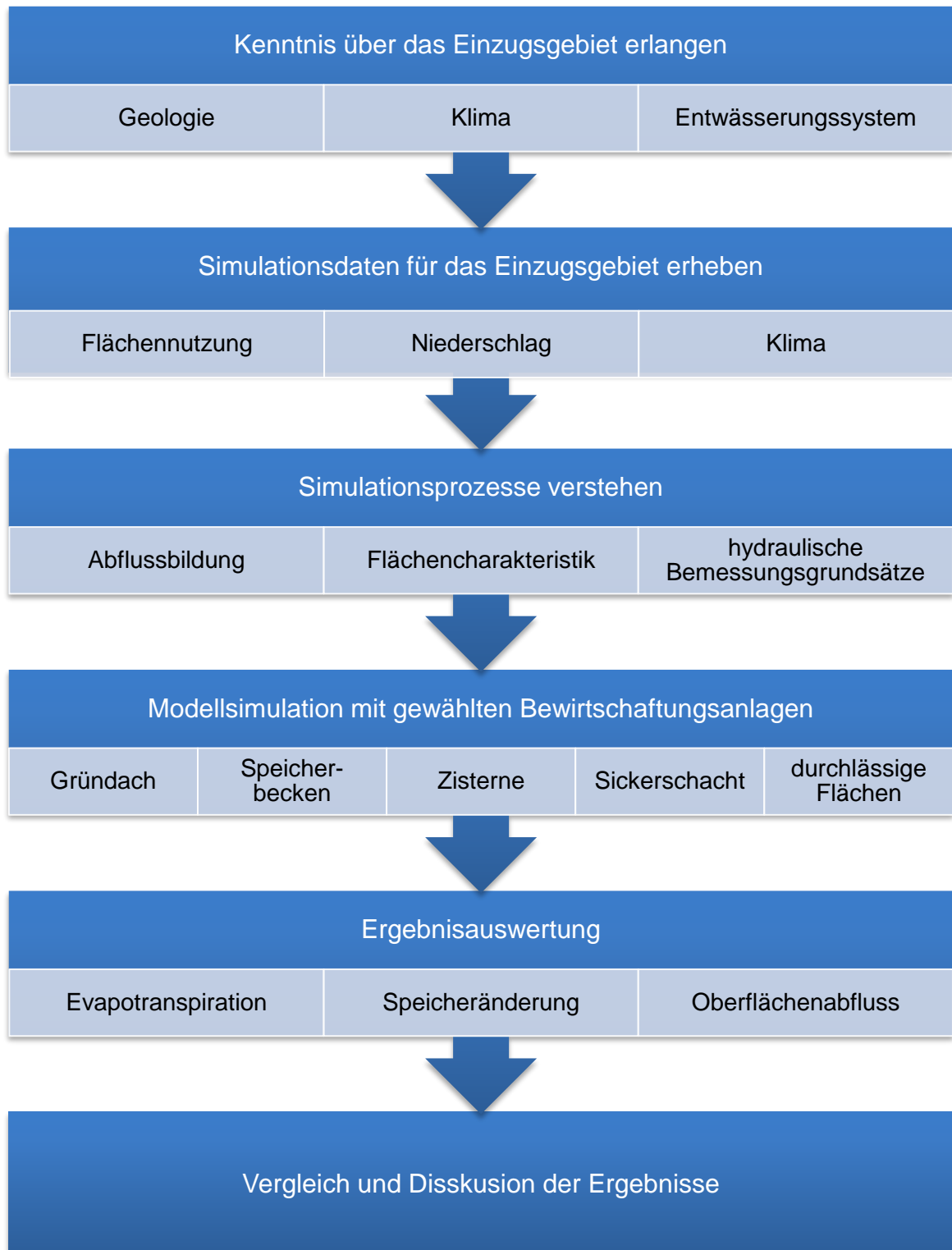


Abbildung 2-1: Ablaufschema der Masterarbeit

Mit Hilfe der Simulationssoftware PCSWMM, ein professionelles Softwaresystem für Regenwasserbewirtschaftung und Abwassermodellierung, werden für das Einzugsgebiet unterschiedliche Entwässerungssysteme modelliert und in weiterer Folge simuliert. Anschließend werden die Ergebnisse der einzelnen Modellsimulationen in Bezug auf die Reduzierung des Oberflächenabflusses, der Steigerung der Evapotranspiration und der Speicheränderung miteinander verglichen. Die Auswertung der Simulationsergebnisse dieser einzelnen Wasserbilanzen soll Aufschluss über das am besten geeignete Bewirtschaftungssystem für die Behandlung des Niederschlagswassers für dieses Projektgebiet geben. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht würde die Erreichung eines guten und ausgeglichenen Wasserhaushaltes genügen, jedoch ist dies nicht ausreichend für einen Bildungscampus, welcher den Auftrag des Lehrens und Lernens erfüllen soll. So ist bei der Wahl der passenden Modellvariante auch darauf zu achten, welche den zukünftigen Volksschulkindern des Bildungscampus Smart City den Umgang mit dem anfallenden Niederschlagswasser näherbringt. Abschließend sind die einzelnen Maßnahmen für die Behandlung des Regenwassers mit Hilfe der Kostenrechnung auf ihre Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Zusammenfassend werden in diesem Kapitel alle relevanten und notwendigen Parameter und Randbedingungen für die Simulations- und Modellbildung für das vorliegende Untersuchungsgebiet aufgezeigt. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Modellvarianten, in Hinblick auf die verwendeten naturnahen Bewirtschaftungsmaßnahmen, ist ebenso Teil davon.

2.1 Beschreibung des Einzugsgebietes

Das Projektgebiet Smart City Graz – Waagner-Biro entsteht in einem ehemaligen Industriegebiet rund 2 km nordwestlich der Grazer Innenstadt. Eine Fläche von etwa 127.000 m² sieht der städtebauliche Rahmenplan für das komplette Smart-City-Areal vor, wovon ca. 6000 m² für den Schulcampus Teil Volksschule angestrebt werden (Stadtbaudirektion Graz, 2017).

Das Grundstück, auf dem die Volksschule gebaut werden soll, wurde bisher als Parkplatzfläche genutzt. Durch die asphaltierte Oberfläche der Parkplatzflächen liegt aktuell ein Versiegelungsgrad, eventuelle Fugen und Risse in der Asphaltoberfläche werden vernachlässigt, von 100% vor.

Durch den Bau des Bildungscampus soll der Oberflächenabfluss minimiert oder, wenn möglich, zur Gänze vermieden werden. Einen Vorentwurf für solch ein Entwässerungssystem wurde von der Firma Geolith Consult eingereicht.

2.1.1 Geologie

Die getroffenen Aussagen über die Geologie des Einzugsgebietes sind dem geologisch geotechnischem Gutachten der Firma Geolith Consult (Loizenbauer u. a., 2017) entnommen worden.

Der geologische Aufbau des Baugrundes, ersichtlich in Tabelle 2-1, im Projektgebiet Smart City Graz – Waagner-Biro Volksschule kann vereinfacht in einen Oberbodenbereich und drei Bodenhorizonte (Bodenhorizont I, Bodenhorizont II und Bodenhorizont III) unterteilt werden.

Tabelle 2-1: geologischer Aufbau des Baugrundes (Loizenbauer u. a., 2017)

Nr.	Schichtbezeichnung	Sieblinie	Lagerung	Bemerkungen
I	Anschüttung		sehr locker bis locker	nicht verdichtbarer und nicht als Gründungshorizont geeignet!
II	Kies, schwach schluffig, stark sandig, steinig	Kies und Sand weitgestuft	locker	braune und graubraune Sande und Kiese bis in eine Tiefe von 4,00 m unter GOK
III	Kies, schwach schluffig, stark sandig, steinig	Kies weitgestuft	mitteldicht bis dicht	quartäre Terrassenkiese lokal mit Einschaltungen von konglomeraten Horizonten, Härtlingschichten und Findlingen

Anhand der vorgenommenen Schürferkundungen ist ersichtlich, dass der Oberbodenbereich aus einer etwa 0,10 m mächtigen Asphaltenschicht und aus einem ca. 0,40 m dicken Asphaltunterbau besteht. Dieser Unterbau setzt sich aus vornehmlich braunen, stark sandigen bis sandigen, steinigen, schwach schluffigen Kiesen zusammen.

Ab einer Tiefe von etwa 0,50 m unter der Geländeoberkante (GOK) ist der Bodenhorizont I anzutreffen. Dieser überwiegend schwarze Bodenhorizont erreicht eine Mächtigkeit von ca. 2,10 m und baut sich aus Schlacke, Asche, Beton- und Ziegelresten auf. Ebenso können Blei- und Eisenreste in dem Bodenhorizont I zu finden sein. Aufgrund dieser Bodenkontamination ist eine Versickerung des Niederschlagswassers in diese Bodenzone nicht zulässig. Erst ab einer Tiefe von 2,60 m unter GOK ist eine Versickerung in den Untergrund unbedenklich.

Schluffige, steinige, sandige bis stark sandige Niederterrassenkiese sind in einer Tiefe von ca. 2,40 m bis 2,60 m unter GOK anzutreffen. Gegebenenfalls kann über dieser Kiesschicht eine schluffige, steinige, stark kiesige Sandschicht mit variabler Mächtigkeit auftreten. Diese locker gelagerten Sande und Kiese reichen bis in eine Tiefe von etwa 4,0 m unter GOK und bilden den Bodenhorizont II.

Der Bodenhorizont III besteht aus weitgestuften mittel gelagerten Kiesen der Niederterrasse und ist ab einer Tiefe von ca. 4,0 m anzutreffen.

2.1.2 Klima

Das Klima in der Stadt Graz ist im Allgemeinen kalt und gemäßigt. Aufgrund der gut geschützten Lage am südöstlichen Alpenrand kommen Wetterextreme nur selten vor. Das Grazer Stadtklima lässt sich nach Köppen (1918) in der Klimaklassifikation Dfb einordnen. Laut den Klimadaten, zusammengefasst in der Tabelle 2-2, liegt die Lufttemperatur in Graz im Durchschnitt innerhalb eines Jahres bei 9,4°C und der durchschnittliche Niederschlag im Jahr beträgt 818,9 mm.

Tabelle 2-2: Klimadaten von Graz im Zeitraum von 1971-2000 (ZAMG, 1971)

Monat	Lufttemperatur [°C]			Niederschlag [mm]	Wind [m/s]
	t	t _{max}	t _{min}		
Jänner	-1,0	2,8	-3,7	23,9	1,0
Februar	1,0	5,8	-2,4	30,4	1,2
März	5,1	10,7	1,0	44,1	1,4
April	9,6	15,3	4,9	49,0	1,7
Mai	14,6	20,5	9,5	86,0	1,7
Juni	17,7	23,4	12,7	117,8	1,7
Juli	19,5	25,3	14,4	125,1	1,7
August	18,9	24,7	14,3	113,0	1,4
September	14,7	20,4	10,6	81,1	1,3
Oktober	9,4	14,6	5,9	61,7	1,2
November	3,7	7,7	0,9	51,9	1,1
Dezember	0,1	3,6	-2,3	34,9	1,0
Ø	9,4	14,6	5,5	818,9	1,4

Legende für die Tabelle 2-2:

- Lufttemperatur:** *t...Tagesmittel*
t_{max}...Mittel aller täglichen Maxima
t_{min}...Mittel aller täglichen Minima
- Niederschlag:** *Mittlere Monatssumme des Niederschlags*
- Wind:** *Monatsmittel der Windgeschwindigkeit*

Die angeführten Klimadaten beziehen sich auf den Zeitraum 1971 bis 2000 und sind an der Messstation Graz-Universität aufgezeichnet worden. Die Stationsdaten sind der Tabelle 2-3 zu entnehmen.

Tabelle 2-3: Stationsdaten der Messstelle Graz – Universität (ZAMG, 1971)

Stationsname	Seehöhe [m]	WGS 84 X [°]	WGS 84 Y [°]
Graz-Universität	366	15,448991	47,077697

Die nachstehend angeführten Klimadaten von Graz sind der Tabelle 2-2 entnommen worden.

Warme und feuchte Sommermonate prägen das Klima von Graz. Die mittlere maximale Tagestemperatur kann mit 25,3°C im Juli verzeichnet werden. In diesem Monat ist auch mit einem mittleren maximalen Niederschlag von 125,1 mm zu rechnen.

Die Wintermonate hingegen sind durch kältere Lufttemperaturen und weniger Niederschlag gekennzeichnet. Der Monat Januar ist im Mittel der Kälteste und weist eine mittlere minimale Tagestemperatur von -3,7 °C auf. Mit 23,9 mm mittlerem Niederschlag ist er zugleich auch der mit dem minimalsten Niederschlag im Jahr.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass zwischen dem wärmsten Monat Juli und dem kältesten Monat Januar im Schnitt ein Temperaturunterschied von 20,9°C vorliegt. Der mittlere Niederschlag dieser beiden Monate weist einen Unterschied von 101,2 mm auf.

2.1.3 Entwässerungssystem

Bei einem Niederschlagsereignis fließt der anfallende Oberflächenabfluss der asphaltierten Parkplatzfläche aufgrund der gegebenen Geländeneigung in die dafür vorgesehen Regeneinlaufschächte. Über einen Kanal wird das Niederschlagswasser in das vorhandene öffentliche Mischwasserkanalsystem eingeleitet.

2.2 Simulations- und Datengrundlage

Nach der Richtlinie VDI 3633 Blatt 1 (2016) ist die Simulation definiert als das *„Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“*

Demnach spiegelt das Simulationsmodell ein reales System bzw. eine reale Situation wider. Umso wichtiger ist es, dass die zugehörigen Eigenschaften, Beziehungen und Randbedingungen der realen Objekte genau identifiziert und in das Modell implementiert werden. Je genauer das zu simulierende System analysiert wird, desto präziser kann das spätere Computermodell aufgebaut werden.

Ebenso spielt der Simulationsprozess eine wichtige Rolle: Simulationen werden durch mathematische Modelle beschrieben. Deshalb ist es wichtig, die mathematischen Grundzüge des Modells zu verstehen. Denn nur, wenn für das zu realisierende System der richtige Prozess ausgewählt wird, kann auch das Simulationsergebnis zielführend sein.

In diesem Kapitel werden für die Modellbildung und Simulation des zu untersuchenden Gebietes relevante Prozesse und Grundlagen beschrieben.

2.2.1 Abflussbildung

Durch den anfallenden Niederschlag kommt es in einem Einzugsgebiet zu unterschiedlichen Abfluss- und Rückhalteprozessen, welche sowohl unmittelbar als auch verzögert Einfluss auf die Abflussbildung nehmen. Zu diesen Prozessen, ersichtlich in Abbildung 2-2, zählen die Verdunstung, in Form von Transpiration, Interzeption und Evaporation, der oberirdischer Abfluss, der unterirdischer Abfluss, mit den Komponenten Versickerung, Zwischenabfluss und Grundwasserneubildung und die Wasservorratsänderung (SENSW, 2007).

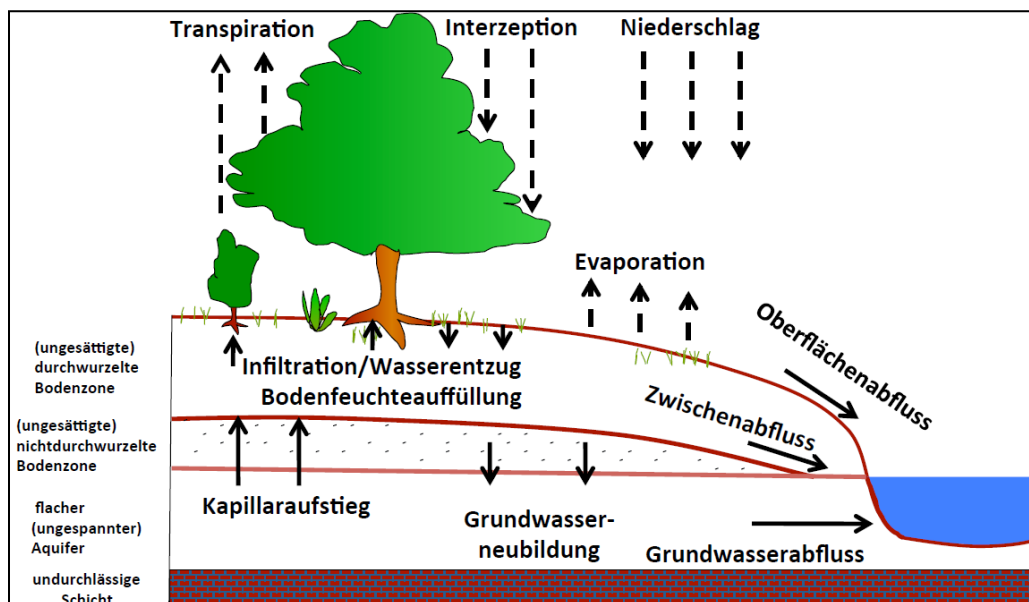


Abbildung 2-2: Abflussprozesse im Einzugsgebiet (Muschalla, 2015)

Für die Modellierung des Niederschlagsabflusses muss zunächst der abflusswirksame Niederschlag ermittelt werden. Dieser abflusswirksame Niederschlag, oder auch Effektivniederschlag genannt, setzt sich aus dem Oberflächenabfluss und dem Zwischenabfluss zusammen und wird laut Muschalla (2015) definiert als „Niederschlag, der nicht über längere Zeit im Einzugsgebiet zurückgehalten wird oder verdunstet und daher unmittelbar zum Abfluss gelangt.“

Die Berechnung des Effektivniederschlags, veranschaulicht in der Abbildung 2-3, erfolgt über den gesamten gemessenen Niederschlag im betrachteten Einzugsgebiet abzüglich aller Verluste, wie Benetzungsverluste, Versickerungsverluste, Muldenverluste und Dauerverluste.

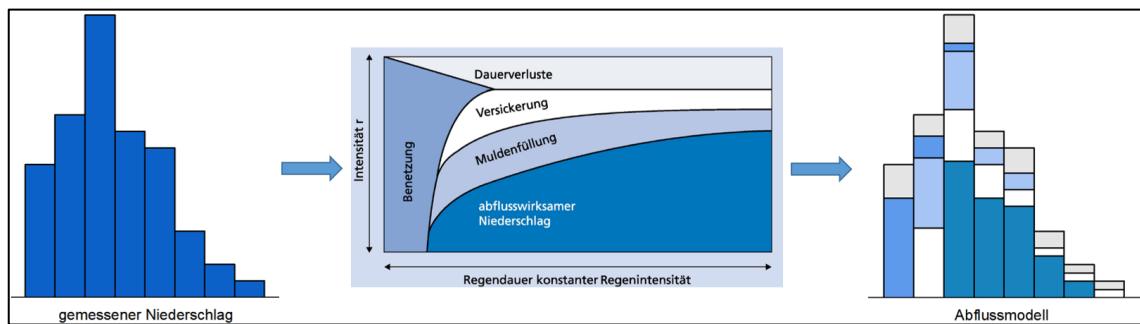


Abbildung 2-3: Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags (Muschalla, 2015, mod.)

Die Simulationssoftware PCSWMM verwendet für die Modellierung des Oberflächenabflusses ein nichtlineares Speichermodell, dargestellt in der Abbildung 2-4. Der Niederschlagsüberschuss, welcher durch einen Zufluss aus Niederschlag und/oder Schneeschmelze über einem Teileinzugsgebiet entsteht, wird, unter Berücksichtigung von Verlusten, in einen Oberflächenabfluss umgewandelt (Rossman & Huber, 2016a).

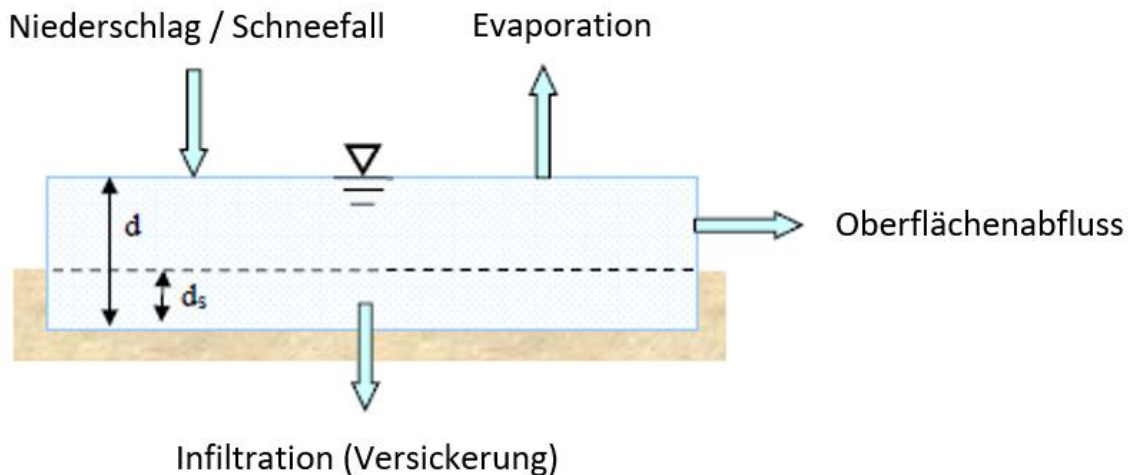


Abbildung 2-4: nichtlineares Speichermodell von einem Einzugsgebiet (Rossman & Huber, 2016a)

Die Unterteilung eines Untersuchungsgebietes in beliebig viele Teileinzugsgebiete bringt den Vorteil, dass eine genauere Beschreibung der klimatologischen und topographischen Eigenschaften dieses Gebietes erzielt wird und damit der Abflussprozess besser generiert werden kann (Rossman & Huber, 2016a).

Mathematisch wird die Abflussbildung in PCSWMM anhand der allgemeinen Gleichung 2-1 für die Wasserbilanz beschrieben (Rossman & Huber, 2016a):

$$i = e + f + q + d_s$$

Gleichung 2-1

Legende für die Gleichung 2-1:

i ... Niederschlag [ft]

f ... Infiltration [ft]

e ... Evaporation [ft]

q ... Oberflächenabfluss [ft]

d_s ... Tiefe des gespeicherten Wassers [ft]

Die volumetrische Abflussrate (volumetrischer Oberflächenabfluss) wird, unter der Annahme die Strömung über der Teileinzugsfläche verhält sich wie ein Fluss in einem rechteckigen Kanal mit der Breite W , der Höhendifferenz $d-d_s$ und der Geländeneigung S , nach der Manning-Gleichung 2-2 berechnet (Rossman & Huber, 2016a):

$$Q = W * \frac{1,49}{n} * (d - d_s)^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Gleichung 2-2

Legende für die Gleichung 2-2:

- | | |
|---|---|
| W ... Breite des Einzugsgebietes [ft] | d_s ... Tiefe des gespeicherten Wassers [ft] |
| n ... Rauigkeit nach Manning [] | S ... Geländeneigung [ft/ft] |
| d ... Wassertiefe [ft] | Q ... volumetrischer Oberflächenabfluss [cfs] |

2.2.2 Flächennutzung und Flächeneigenschaften

Die Nutzung der einzelnen Flächen für den Schulcampus Smart City Volksschule ist dem technischen Bericht zur Oberflächenentwässerung der Firma Geolith Consult (Weissenbrunner, 2017) entnommen worden. Hierbei wird die Flächennutzung, dargestellt in der Abbildung 2-5, wie folgt typisiert:



Abbildung 2-5: Flächennutzung des Einzugsgebietes

Eine ausreichende Kenntnis über die Nutzung der Flächen ist wichtig, um in weiterer Folge die richtige Wahl für den Standort und der Art der naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlage zu treffen. Ebenso ist die Flächennutzung relevant für die Definition der in PCSWMM benötigten Eigenschaften für die Modellierung der einzelnen Teileinzugsflächen.

Die Bestimmung der Durchlässigkeit ist eine dieser Eigenschaften. Man gibt dem System vor, zu wie viel Prozent ein Einzugsgebiet das anfallende Niederschlagswasser infiltrieren kann. 100 % undurchlässige Fläche bedeutet demnach, dass bei einem Regenereignis kein Wasser durch diese Fläche in den Boden eindringen kann. Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Fläche kein Niederschlagswasser aufnehmen kann. Jede Fläche, ob durchlässig oder undurchlässig, weist eine gewisse Speicher- und Retentionsleistung, in Form von Pfützenbildung, Oberflächenfeuchtigkeit oder Interzeption auf. Diese Eigenschaften werden in PCSWMM als Speicherkapazität (Depression Storage) definiert. Weitere charakteristische Eigenschaften einer Teileinzugsfläche können die Neigung (Slope), der Querschnitt (Area, Width) und die Oberflächenrauigkeit (Manning's Roughness) sein.

Die Parameter, angeführt in der Tabelle 2-4 für die Speicherkapazität und die Oberflächenrauigkeit wurden anhand von Literaturrecherchen ermittelt.

Tabelle 2-4: Parameter für die Speicherkapazität und die Oberflächenrauigkeit

Speicherkapazität [mm]	Layer	Literatur				gewählt
	Asphalt	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	0,08 ^[3]	1,5 ^[4]	0,5
	Beton	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	1,5 ^[4]		0,5
	Betonplatten	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	0,56 ^[3]	1,5 ^[4]	1,5
	Metall	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	1,5 ^[4]		0,5
	Undurchlässiger Kunststoffbelag	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	1,5 ^[4]		1,5
	Holzbohlen	1,25 - 2,5 ^[1]	0,2 - 2,8 ^[2]	1,5 ^[4]		1,5
	Kies	0,5 - 15 ^[2]	5 ^[4]			5
	Gründach	2,5 - 5 ^[1]	0,5 - 15 ^[2]	5 ^[4]		5
Rauigkeit nach Manning []	Layer	Literatur				gewählt
	Asphalt	0,011 ^[5]	0,013 ^[6]		0,013 ^[7]	0,013
	Beton	0,012 ^[5]	0,012 ^[6]		0,011 - 0,015 ^[7]	0,012
	Betonplatten	0,012 ^[5]	0,012 ^[6]		0,011 - 0,015 ^[7]	0,012
	Metall	0,015 ^[5]				0,015
	Undurchlässiger Kunststoffbelag	0,024 ^[5]				0,024
	Holzbohlen	0,015 ^[5]	0,012 - 0,018 ^[6]			0,015
	Kies	0,025 ^[5]	0,022 - 0,030 ^[6]			0,025
	Gründach	0,15 - 0,41 ^[5]	0,022 - 0,033 ^[6]		0,025 - 0,035 ^[7]	0,15

Legende für die Tabelle 2-4:

[1]...(Rossman, 2015)

[2]...(Marsalek u. a., 2008)

[3]...(Nehls u. a., 2015)

[4]...(Skotnicki & Sowiński, 2015)

[5]...(McCuen, 1989)

[6]...(ODOT, 2014)

[7]...(Chow, 1959)

Die erforderlichen Eigenschaften für die Beschreibung der einzelnen Flächen für die Smart City Volksschule können zusammenfassend der Tabelle 2-5 entnommen werden.

Tabelle 2-5: erforderliche Eigenschaften für die Beschreibung der einzelnen Flächen

Flächenbelag	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Fläche [ha]	0,0365	0,0268	0,0115	0,0188	0,0345	0,0225
Breite [m]	20	12	8	20	33	20
Neigung [%]	2	2	2	2	2	2
Durchlässigkeit [%]	100	100	100	100	100	100
Rauigkeit []	0,013	0,013	0,013	0,013	0,015	0,015
Speicherkapazität [mm]	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5
Flächenbelag	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Fläche [ha]	0,035	0,0258	0,066	0,06	0,0325	0,0226
Breite [m]	25	5	20	20	40	35
Neigung [%]	2	2	2	2	2	2
Durchlässigkeit [%]	100	100	100	100	100	100
Rauigkeit []	0,012	0,012	0,025	0,024	0,013	0,013
Speicherkapazität [mm]	1,5	0,5	5	1,5	0,5	0,5

Legende für die Tabelle 2-5:

A1...Dach 1	A8...Vorplatz
A2...Dach 2	A9...Terrasse Mensa
A3...Dach 3	A10...Schulhof
A4...Dach 4	A11...Sportplätze
A5...Schulterrasse 1	A12...Westzufahrt
A6...Schulterrasse 2	A13...Radweg

2.2.3 Hydraulische Bemessungsgrundsätze

Für den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der gewählten Versickerungsanlagen sind zwei Ansätze, gemäß ÖWAV Regelblatt 11 (2009), gewählt worden:

- Niederschlagskontinuum: Ansatz von vollständig gemessenen Niederschlagsserien
- Einzelmodellregen: Intensitätsvariabler Modellregen nach Euler-Typ-II aus ÖKASTRA-Daten erstellt

2.2.3.1 Niederschlagskontinuum

Für die Langzeitsimulation ist eine durchgehend gemessene Regenserie von zehn Jahren herangezogen worden. Für weitere Details siehe Kapitel 2.2.4.

2.2.3.2 Einzelmodellregen

Die verwendeten Daten für den Modellregen liegen einer statistischen Auswertung von Regenspendenlinien zu Grunde und stammen nicht von originalen Niederschlagsdaten (ÖWAV Regelblatt 11, 2009). Der gewählte Bemessungsniederschlag, Gitterpunkt: 5214, konnte aus der Datenbank des hydrographischen Dienstes in Österreich (eHYD, 2008) entnommen werden und basiert auf ÖKOSTRA-Daten. Dieses Datenblatt, dargestellt in Abbildung 2-6, enthält alle Maximalwerte der Dauerstufe in Abhängigkeit einer definierten Wiederkehrzeit.

Hydrographischer Dienst in Österreich 16.12.2008 13:58

Bemessungsniederschlag h [mm] (gewichtete (g1,g2) Starkniederschlagsauswertung - h=g1MaxModN+g2ÖKOSTRA)
Gitterpunkt: 5214; (M34, R: -66448m, H: 5215426m)
Flächenabminderung: keine

Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	7.9	10.3	11.7	13.4	15.8	18.2	18.9	19.6	21.3	22.7	23.7
	8.6	10.7	11.9	(13.4)	15.4	17.5	18.2	18.7	20.2	21.4	22.2
	*9.6	*11.2	*12.1	13.3	15.0	16.7	17.2	17.6	18.8	19.8	20.4
10 Minuten	9.9	14.3	16.9	20.2	24.7	29.1	30.5	31.7	35.0	37.6	39.4
	10.8	(14.3)	16.3	19.0	22.5	26.1	27.2	28.1	30.7	32.7	34.1
	*11.8	*14.3	15.7	17.6	20.2	22.8	23.5	24.1	26.0	27.4	28.4
15 Minuten	11.4	17.2	20.6	24.8	30.6	36.4	38.3	39.8	44.0	47.4	49.8
	12.6	16.9	19.5	22.7	27.1	31.6	33.0	34.2	37.5	40.1	41.9
	*13.7	16.7	18.4	20.7	23.7	26.8	27.8	28.7	31.0	32.8	34.1
20 Minuten	12.5	19.1	23.0	27.9	34.5	41.1	43.2	44.9	49.8	53.6	56.4
	13.8	18.8	21.8	25.6	30.6	35.7	37.3	38.6	42.4	45.3	47.4
	*15.1	18.6	20.7	23.4	27.0	30.6	31.7	32.7	35.4	37.5	38.9
30 Minuten	14.4	22.2	26.8	32.6	40.4	48.2	50.8	52.8	58.6	63.2	66.4
	16.2	22.0	25.6	30.0	36.0	41.8	43.9	45.4	49.8	53.3	55.8
	*17.7	21.9	24.5	27.8	32.2	36.4	37.9	39.1	42.3	44.9	46.7
45 Minuten	16.4	25.4	30.7	37.4	46.4	55.5	58.4	60.8	67.4	72.7	76.5
	18.8	25.6	29.7	34.8	41.7	48.7	50.9	52.7	57.9	61.9	64.8
	*20.7	*25.8	28.9	32.8	38.0	43.3	45.0	46.4	50.4	53.5	55.6
60 Minuten	18.0	27.9	33.7	41.0	50.9	60.8	64.0	66.6	73.9	79.7	83.8
	20.8	28.2	32.5	38.1	45.5	53.0	55.4	57.3	62.9	67.2	70.4
	*22.8	*28.4	31.6	35.9	41.5	47.2	49.1	50.5	54.8	58.1	60.6
90 Minuten	20.6	31.7	38.2	46.4	57.5	68.6	72.2	75.1	83.3	89.8	94.4
	23.7	(31.7)	36.3	42.4	50.3	58.3	60.9	63.0	68.8	73.6	77.0
	*25.7	*31.7	35.1	39.7	45.5	51.4	53.3	54.9	59.1	62.7	65.3

* - ÖKOSTRA-Wert ist größer/gleich dem MaxModN-Wert
() - Bemessungsniederschlag liegt am Rand oder außerhalb der Bandbreite
MaxModN - maximierte Modellniederschläge (HAO-Hydrologischer Atlas Österreichs (konvexives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert))
ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DWWK124, modifiziert)

Abbildung 2-6: Auszug aus dem Bemessungsniederschlag-Datenblatt für den Gitterpunkt 5214

In Anlehnung an den technischen Bericht zur Oberflächenentwässerung der Firma Geolith Consult (Weissenbrunner, 2017) ist für den Nachweis ein 20-minütiges Regenereignis (Dauerstufe) mit einer Wiederkehrzeit von 20 Jahren angesetzt worden.

Dieser hydraulische Bemessungsgrundsatz entspricht gemäß dem ÖWAV Regelblatt 45 (2015) einer Bemessung der Versickerungsanlage in Wohngebieten für außerordentliche Ereignisse und stellt dadurch höhere Schutzanforderungen in Bezug auf die Überflutungshäufigkeit der Anlage.

Für die Erstellung des Einzel-Modellregens Euler-Typ-II, über eine Wiederkehrzeit von 20 Jahren und für eine Dauer von 20 Minuten, musste der Bemessungsniederschlag gemäß dem ÖWAV Regeblatt 11 (2009) aus dem Datenblatt des hydrographischen Dienstes Österreich aufbereitet werden:

Erstellungsablauf des Einzel-Modellregen Euler-Typ-II:

1. Entnahme der Bemessungsniederschlagshöhen, ersichtlich in der Abbildung 2-7, aus dem Bemessungsniederschlags-Datenblatt des hydrographischen Dienstes in Österreich für den Gitterpunkt 5214.

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	7.9	10.3	11.7	13.4	15.8	18.2	18.9	19.6	21.3	22.7	23.7
	8.6	10.7	11.9	(13.4)	15.4	17.5	18.2	18.7	20.2	21.4	22.2
	*9.6	*11.2	*12.1	13.3	15.0	16.7	17.2	17.6	18.8	19.8	20.4
10 Minuten	9.9	14.3	16.9	20.2	24.7	29.1	30.5	31.7	35.0	37.6	39.4
	10.8	(14.3)	16.3	19.0	22.5	26.1	27.2	28.1	30.7	32.7	34.1
	*11.8	*14.3	15.7	17.6	20.2	22.8	23.5	24.1	26.0	27.4	28.4
15 Minuten	11.4	17.2	20.6	24.8	30.6	36.4	38.3	39.8	44.0	47.4	49.8
	12.6	16.9	19.5	22.7	27.1	31.6	33.0	34.2	37.5	40.1	41.9
	*13.7	16.7	18.4	20.7	23.7	26.8	27.8	28.7	31.0	32.8	34.1
20 Minuten	12.5	19.1	23.0	27.9	34.5	41.1	43.2	44.9	49.8	53.6	56.4
	13.8	18.8	21.8	25.6	30.6	35.7	37.3	38.6	42.4	45.3	47.4
	*15.1	18.6	20.7	23.4	27.0	30.6	31.7	32.7	35.4	37.5	38.9

Abbildung 2-7: Bemessungsniederschlagshöhen h [mm] gemäß dem ÖWAV Leitfaden „Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 9“ (2007) für den Gitterpunkt 5214

2. Differenzbildung der Niederschlagshöhen und Reihung der einzelnen berechneten Niederschlagshöhen (Δh – mm) vom Maximum zum Minimum in einem Zeitintervall von 5 min.

In der Tabelle 2-6 sind die berechneten Niederschlagshöhen in der Reihung vom Maximalwert bis zum Minimalwert für die einzelnen Zeitintervalle angeführt.

Tabelle 2-6: Reihung aller berechneten Niederschlagsdifferenzen (Δh – mm) vom Maximum zum Minimum in einem Zeitintervall von 5 min

D [min]	5	10	15	20
Δh [mm]	17,5	8,6	5,5	4,1

3. Neuordnung der Niederschlagswerte

Ein naturnaher Intensitätsverlauf soll mit einer Umstellung der Niederschlagsdifferenzen erreicht werden. Dafür wird die höchste Niederschlagsintensität mit dem 0,33-fachen der Modellregendauer multipliziert.

Die Gleichung 2-3 definiert, an welcher Stelle der Maximalwert der berechneten Niederschlagsdifferenzen anzuordnen ist.

$\Delta h_{max} = 0,33 * D$	Gleichung 2-3
-----------------------------	----------------------

Legende für die Gleichung 2-3:

Δh_{max} ... maximale Niederschlagshöhe [mm]

D ... Niederschlagsdauer [min]

4. Situierung der nächst kleineren Niederschlagswerte links vom Maximalwert bis zur Dauer von 0 min. Alle folgenden kleineren Niederschlagswerte werden rechts vom Maximalwert abfallend angeordnet und füllen den Zeitraum bis zum Modellregene auf.

Diese finale Anordnung der Niederschlagshöhen, aufgelistet in der Tabelle 2-7, stellt den Einzelmodellregen nach Euler-Typ-II für das vorhandene Projektgebiet dar.

Tabelle 2-7: Einzelmodellregen nach Euler-Typ-II

D [min]	5	10	15	20
Δh [mm]	8,6	17,5	5,5	4,1

In der Abbildung 2-8 sind die Niederschlagshöhen der einzelnen Zeitintervalle vor und nach der Aufbereitung aufgelistet.

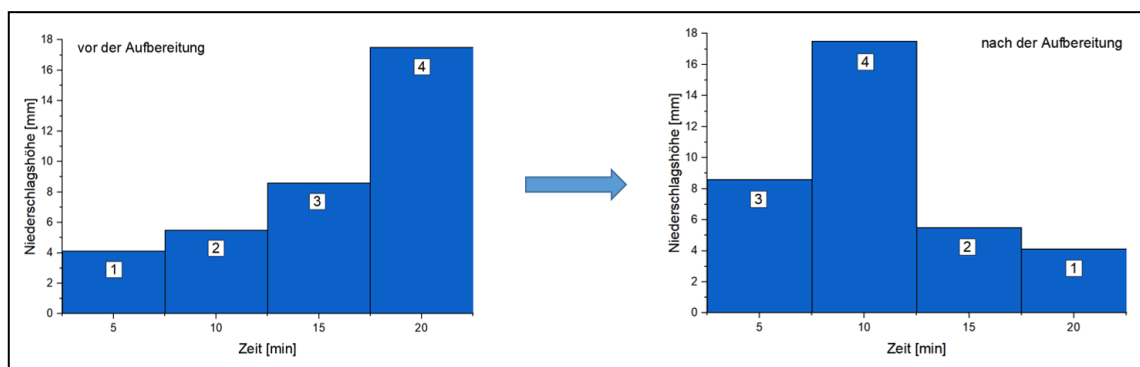


Abbildung 2-8: Niederschlagshöhe [mm] der einzelnen Zeitintervalle vor und nach der Aufbereitung

2.2.4 Niederschlagsdaten

Die Simulationssoftware PCSWMM benötigt für die Berechnung des Oberflächenabflusses Niederschlagsdaten. Die für das Modell verwendeten Niederschlagsdaten wurden an der Niederschlagsmessstation Graz-Universität, Stationsdetails siehe Tabelle 2-3, in einem Zeitintervall von fünf Minuten aufgezeichnet. Die Messreihe bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2006.

Laut den aufgezeichneten Niederschlagsdaten (ZAMG, 1996), zusammengefasst in der Tabelle 2-8, liegt die durchschnittliche Niederschlagssumme in Graz innerhalb dieser 10 Jahre bei 801 mm. Wobei im Jahr 2004 in Summe mit 901 mm der meiste und im Jahr 2001 in Summe mit 560 mm der geringste Niederschlag gefallen ist.

Tabelle 2-8: Monatssummen des Niederschlags in [mm] der Messstation Graz-Universität für die Jahre 1996 bis 2006

	Monatssumme des Niederschlags [mm]												Σ Jahr
	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	
1996	28	66	21	88	130	83	102	133	84	110	38	17	900
1997	27	2	20	33	41	167	179	52	60	19	88	74	762
1998	3	19	28	57	36	143	168	110	131	94	48	23	860
1999	9	9	29	75	118	118	195	196	40	20	41	46	896
2000	9	1	68	18	91	88	113	58	56	112	93	48	755
2001	30	22	50	57	52	99	56	24	141	16	8	5	560
2002	9	32	11	77	92	52	73	239	68	82	38	100	873
2003	27	2	4	25	31	92	118	114	61	96	52	39	661
2004	17	32	64	39	111	202	131	92	60	89	34	30	901
2005	5	44	24	61	49	99	165	239	103	15	36	49	889
2006	28	27	25	80	132	115	39	121	83	67	26	13	756
Ø	17	23	31	55	80	114	122	125	81	65	46	40	801

Im Mittel ist der Monat August mit 125 mm als niederschlagsstärkster Monat zu verzeichnen und der Monat Jänner mit 17 mm als geringster. Genauer betrachtet ist im August 2002 in Summe ein maximaler Niederschlag von 239 mm gefallen. Hingegen wurde im Jahr 2000 im Monat Februar in Summe der geringste Niederschlag von 1 mm gemessen.

Anhand der Tabelle 2-8 ist ebenso ersichtlich, dass im Durchschnitt über alle Jahre von Juni bis August der meiste Niederschlag gefallen ist.

Für die Implementierung der gemessenen Regenintensitäten in das Simulationsprogramm PCSWMM mussten keine weiteren Veränderungen an den Daten vorgenommen werden.

Zur Veranschaulichung ist in der Abbildung 2-9 der gemessene Niederschlag für das Jahr 2002 ersichtlich.

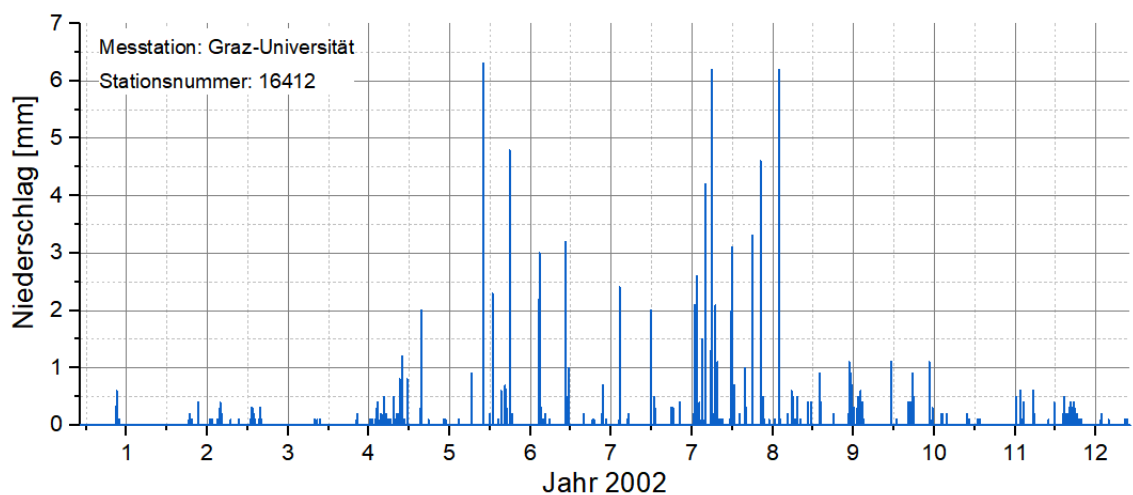


Abbildung 2-9: gemessener Niederschlag [mm] im Jahr 2002

2.2.5 Klimadaten

Für die Simulation des Prozesses der Verdunstung sind bestimmte Klimaeigenschaften innerhalb eines Untersuchungsgebiets erforderlich. Diese Klimadaten beinhalten Informationen über die Lufttemperatur, die Verdunstungsrate und die Windgeschwindigkeit.

Die maximale und minimale Lufttemperatur, dargestellt in Abbildung 2-10, und die Windgeschwindigkeit konnten dem Jahrbuch der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, 1996) entnommen werden. Dafür wurden die Tagesauswertungen für die Jahre 1996 – 2006 von der Station Graz Flughafen, Stationsdetails siehe Tabelle 2-9, herangezogen.

Tabelle 2-9: Stationsdaten der Messstelle Graz – Flughafen (ZAMG, 1996)

Stationsname	Seehöhe [m]	WGS 84 X [°]	WGS 84 Y [°]
Graz-Flughafen	340	15,44	46,9806

Der Maximalwert der Lufttemperatur, Gleichung 2-4, wird laut Erklärung zum Jahrbuch der ZAMG – Tagesauswertungen (2017) aus allen gemessenen maximalen Lufttemperaturen im Zeitraum von 19:01 Uhr MEZ des Vortages bis 19:00 Uhr MEZ des aktuellen Tages ermittelt (Zach-Hermann, 2017):

$$T_{max} = MAX(T_{19:01}, \dots, T_{19:00}) \quad \text{Gleichung 2-4}$$

Dieselbe Berechnung, Gleichung 2-5, wird für den Minimalwert der Lufttemperatur angewendet, hierbei wird aus allen gemessenen minimalen Lufttemperaturen im Zeitraum von 19:01 Uhr MEZ des Vortages bis 19:00 Uhr MEZ des aktuellen Tages die minimalste Lufttemperatur ermittelt (Zach-Hermann, 2017):

$$T_{min} = MIN(T_{19:01}, \dots, T_{19:00}) \quad \text{Gleichung 2-5}$$

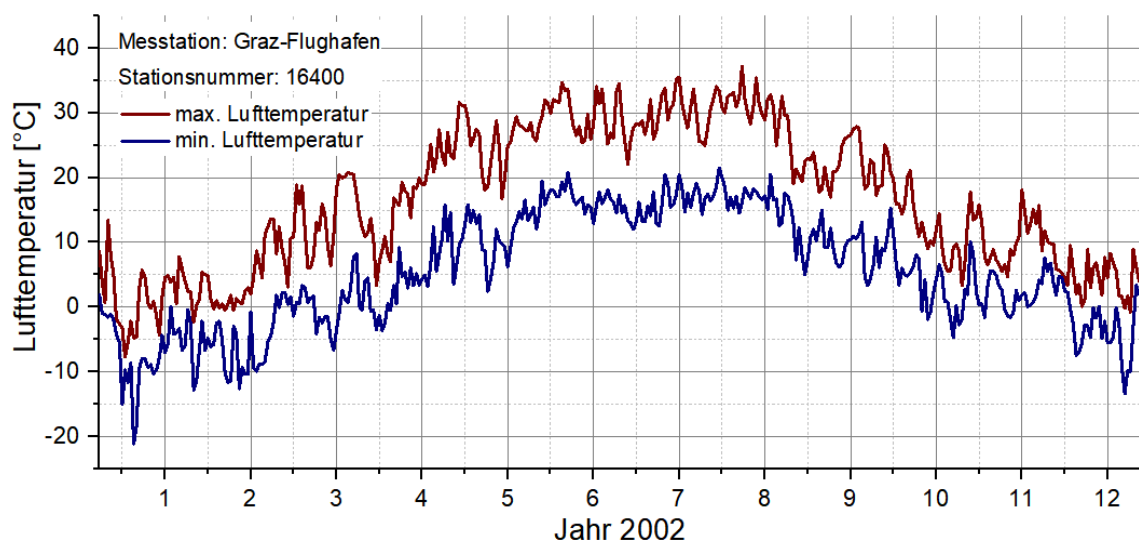


Abbildung 2-10: gemessene maximale und minimale Lufttemperatur [°C] im Jahr 2002

Für die täglichen realen Verdunstungsraten liegen in diesem Zeitraum keine aktuellen Messdaten vor. Diese können jedoch direkt im Simulationsprogramm PCSWMM anhand der Hargreaves-Methode aus den täglichen maximalen und minimalen Lufttemperaturen, die in dem Klimadatenblatt enthalten sind, berechnet werden (Rossman, 2015).

Für diese Hargreaves-Methode zur Berechnung der potentiellen Verdunstungsraten ist die Gleichung 2-6 (George H. Hargreaves & Zohrab A. Samani, 1985) maßgebend.

$$E = 0.0023 * \left(\frac{R_a}{\lambda} \right) * T_r^{\frac{1}{2}} * (T_a + 17.8) \quad \text{Gleichung 2-6}$$

Legende für die Gleichung 2-6:

E ... Verdunstungsrate [mm/Tag]

R_a ... Wasseräquivalent der eingehenden extraterrestrische Strahlung [MJm⁻²d⁻¹]

T_r ... durchschnittlicher Tagestemperaturbereich für einen Zeitraum von Tagen [°C]

T_a ... durchschnittliche Tagestemperatur für einen Zeitraum von Tagen [°C]

λ ... latente Verdunstungswärme [MJkg⁻¹]

Laut Hargreaves und Merkle (1998) muss für ein zufriedenstellendes Ergebnis T_r und T_a über einen Zeitraum von mindestens fünf Tagen gemittelt werden. PCSWMM verwendet daher ein Mittel dieser Variablen von sieben Tagen.

Die Windgeschwindigkeit bzw. die Windstärke wird im Jahrbuch von ZAMG in Beaufort angegeben und muss für die Verwendung in PCSWMM umgerechnet werden. Hierfür wird als Orientierung eine Umrechnungstabelle in der Erklärung zum Jahrbuch der ZAMG – Tagesauswertungen (2017) angeführt.

In der Abbildung 2-11 ist die gemessene Windgeschwindigkeit im Jahr 2002 grafisch dargestellt.

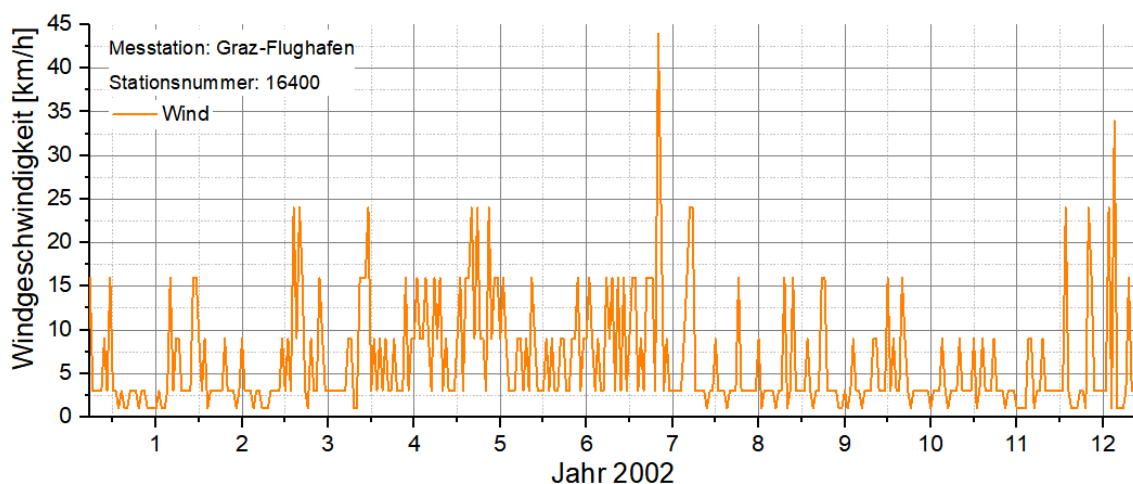


Abbildung 2-11: grafische Darstellung der gemessenen Windgeschwindigkeit [km/h] im Jahr 2002

2.3 Modellaufbau

In erster Linie war die Überlegung, welche Anlagen oder Maßnahmen für die Behandlung des Niederschlagswassers überhaupt für das Projektgebiet zum Einsatz kommen sollen. Um einen ausgeglichenen und zufriedenstellenden Wasserhaushalt herzustellen, ist es sinnvoll, naturnahe Bewirtschaftungssysteme mit unterschiedlicher Wirkungsweise auf die Wasserbilanz einzusetzen.

In Hinblick auf die wesentlichen Einflussfaktoren, beschrieben in Kapitel 1.5.1, sind nur geringe Einschränkungen für die Wahl der Bewirtschaftungsanlage nötig. Da es sich um ein Neubauprojekt in einem unbesiedelten Gebiet handelt, können die siedlungsstrukturellen Faktoren vernachlässigt werden. Laut dem geologischen und geotechnischen Gutachten der Firma Geolith Consult (Loizenbauer u. a., 2017) liegt der Grundwasserspiegel ca. 20 m unter der Geländeoberkante. Somit kann von keiner Störung oder Beeinflussung des Grundwassers bei einer eventuellen Versickerungsanlage ausgegangen werden. Anders sieht es hingegen bei den geogenen Einflussfaktoren aus: Aufgrund des kontaminierten Bodenmaterials bis zu einer Tiefe von 2,60 m unter GOK darf keine direkte Versickerung in den Untergrund stattfinden.

Unter Betrachtung dieses Gesichtspunktes zusammen mit dem Einfluss der Größe und der Nutzung jeder Teileinzugsfläche sind acht unterschiedliche Modellvariationen, in der Tabelle 2-10 angeführt, entstanden.

Tabelle 2-10: Überblick über Modelle mit den verwendeten LIDs

Modell	LID	Modell	LID
01	ohne	05	Speicherbecken
02	Gründach	06	Zisterne
03	Durchlässige Fläche	07	Durchlässige Fläche, Speicherbecken, Gründach, Zisterne, Sickerschacht
04	Durchlässige Fläche	08	Gründach, Sickerschacht

Mit diesen soll nun aufgezeigt werden, welchen Einfluss und welche Wirkungsweise naturnahe Bewirtschaftungssysteme für die Behandlung von Niederschlagswasser auf die Wasserbilanz ausüben. In zwei dieser Modelle, Modell 07 und Modell 08, ist eine Kombination aus verschiedenen Bewirtschaftungsmaßnahmen erstellt worden. Aber auch der Zustand ohne Verwendung dieser ist in einem Modell, Modell 01, veranschaulicht. Dieses Modell wird später für die Bewertung der Wasserbilanz als Referenz dienen. Bei den restlichen Simulationsmodellen, Modell 02 – 06, ist jeweils nur eine Maßnahme zur Behandlung des Niederschlagswassers zum Einsatz gekommen. Diese sollen zeigen, wie viel Regenwasser gespeichert und/oder verdunstet wird bei ihrer Anwendung.

Nachfolgend werden die einzelnen Simulationsmodelle näher beschrieben. Hierbei ist anzumerken, dass die in den Simulationsmodellen angeführten naturnahen Maßnahmen zur Bewirtschaftung des Niederschlagswassers ausschließlich zur Steigerung der Retention und der Verdunstung des Niederschlagswassers dienen. Außer der eingesetzten Sickerschächte sind alle weiteren Versickerungsmaßnahmen, wie Schotterrassen, wasserdurchlässiger Sportplatz und Speicherbecken, nach unten abgedichtet, um eine Einleitung des Niederschlagswassers in die kontaminierte Bodenzone I zu verhindern.

2.3.1 Modell 01 - Referenzmodell

Bei diesem Simulationsmodell, dargestellt in der Abbildung 2-12, sind keine Bewirtschaftungssysteme zum Einsatz gekommen. Der anfallende Niederschlag bildet einen Oberflächenabfluss, welcher direkt in das Kanalsystem eingeleitet wird.

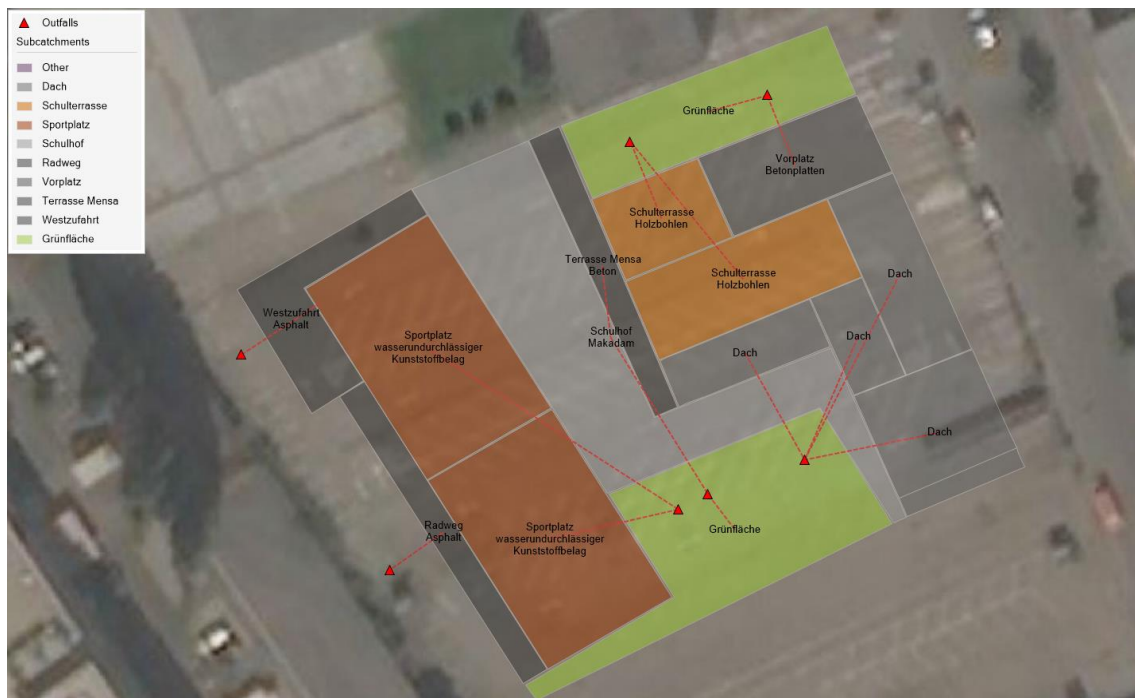


Abbildung 2-12: Simulationsmodell 01 – Referenzmodell (ohne LIDs)

2.3.2 Modell 02 – Gründach und Garten

In Abbildung 2-13 ersichtlich, sind bei dieser Modellvariante die vorhandenen Dachflächen mit extensiv begrünten Dächern und einem intensiv begrünten Garten ausgestattet worden.



Abbildung 2-13: Simulationsmodell 02 - Gründächer und Garten

2.3.3 Modell 03 - Schotterrasen

Für dieses Simulationsmodell, dargestellt in Abbildung 2-14, ist der Schulhof mit einem wasserdurchlässigen, nach unten abgedichteten, Schotterrasen ausgestattet worden.

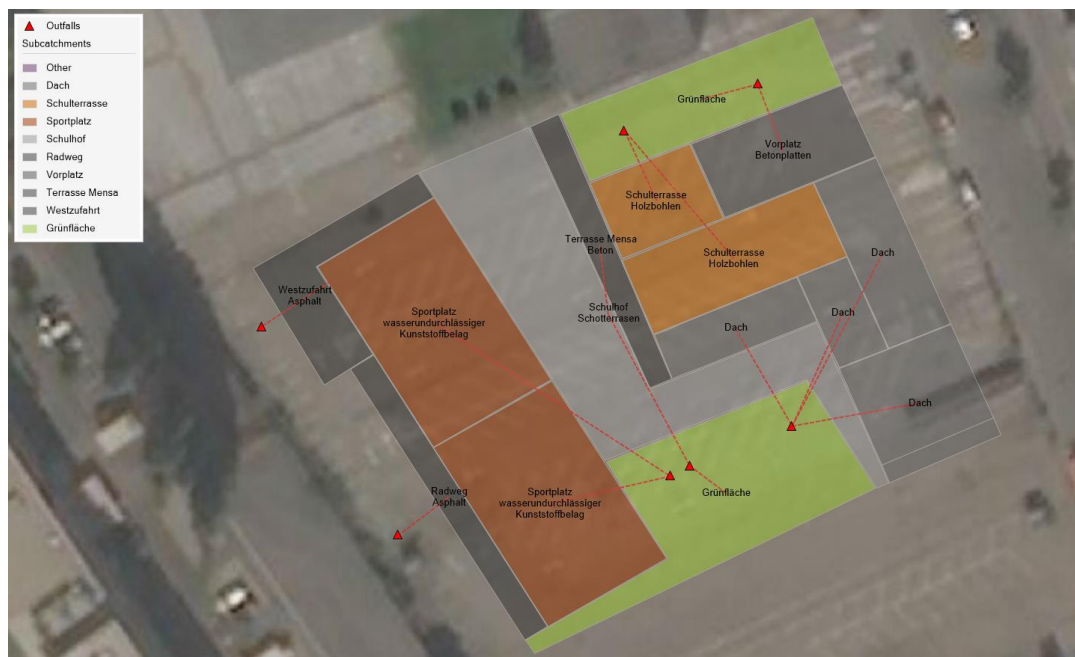


Abbildung 2-14: Simulationsmodell 03 - Schotterrasen

2.3.4 Modell 04 – wasserdurchlässiger Kunststoffbelag

Für dieses Modell, dargestellt in Abbildung 2-15, wurden die Sportplätze mit einem wasserdurchlässigen Belag gestaltet. Das anfallende Niederschlagswasser wird infiltriert und in einem darunterliegenden Auffangbecken gespeichert.

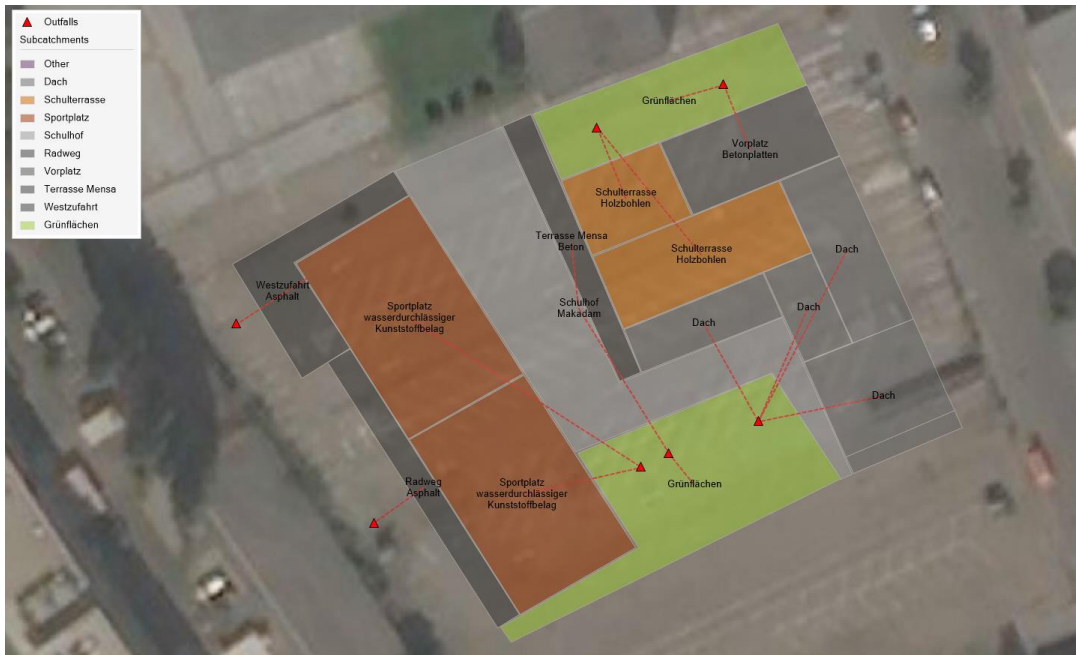


Abbildung 2-15: Simulationsmodell 04 - durchlässige Sportplätze

2.3.5 Modell 05 - Speicherbecken

Bei diesem Simulationsmodell, aufgezeigt in Abbildung 2-16, wird der Oberflächenabfluss in Speicherbecken eingeleitet. Diese haben die Funktion einer Beckenversickerung, mit dem Unterschied, dass sie unten abgedichtet sind.

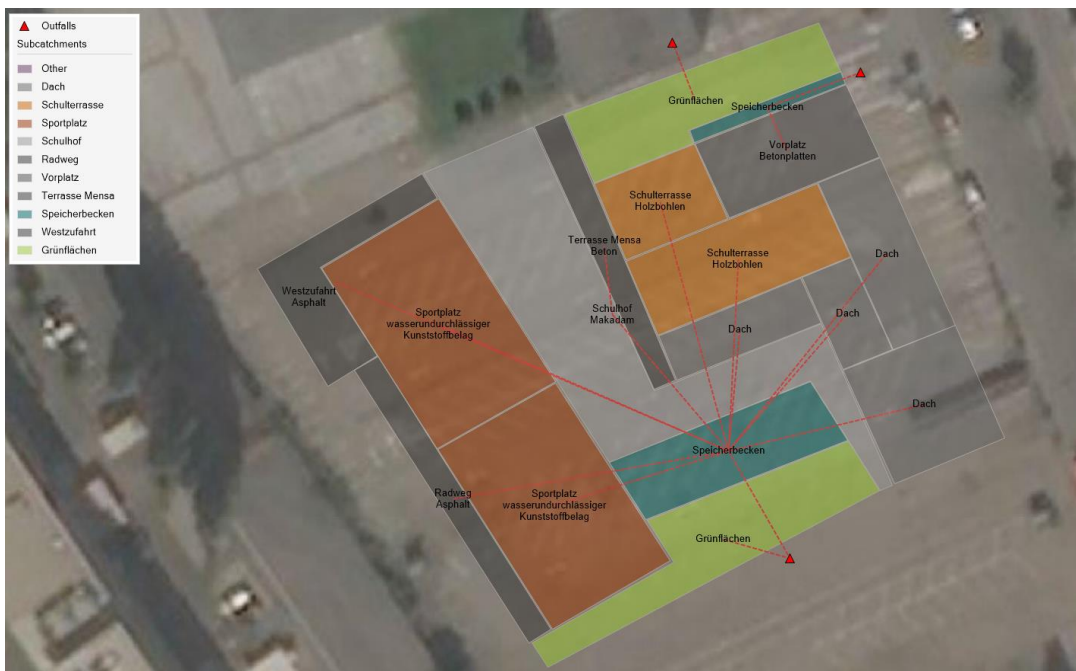


Abbildung 2-16: Simulationsmodell 05 - Speicherbecken

2.3.6 Modell 06 - Zisterne

Hier finden zwei Zisternen ihren Einsatz. Der Niederschlagsabfluss der Dächer und der Terrassenflächen wird darin eingeleitet und darin für den späteren ge-
brauch gespeichert. Die Abbildung 2-17 veranschaulicht dieses Modell.

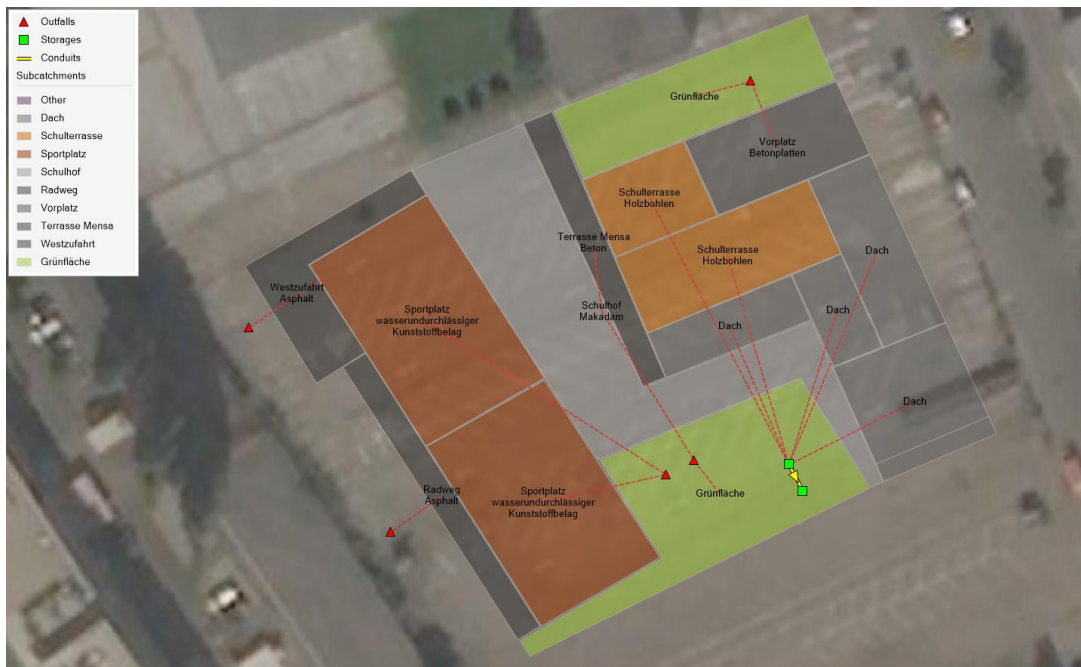


Abbildung 2-17: Simulationsmodell 06 - Zisterne

2.3.7 Modell 07 – kombinierte LIDs

Basierend auf den zuvor beschriebenen Simulationsmodellen ist bei dieser Variante eine Kombination von Maßnahmen für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers umgesetzt worden. Eine schematische Darstellung soll in der
Abbildung 2-18 aufgezeigt werden.

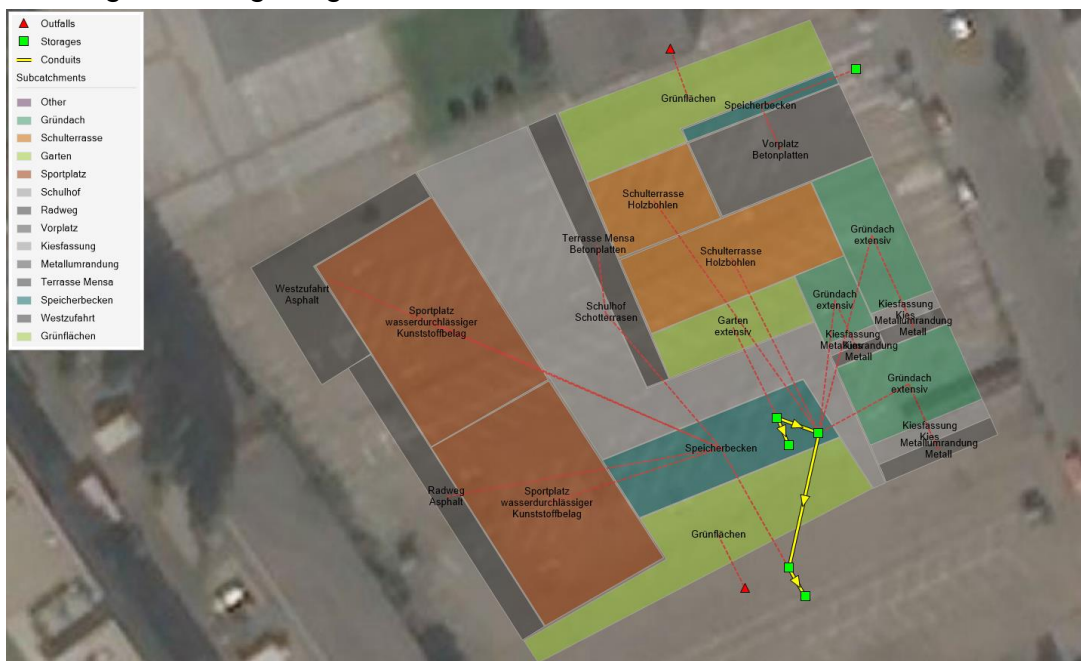


Abbildung 2-18: Simulationsmodell 07 - kombinierte LIDs

Das abfließende Niederschlagswasser der extensiv begrünten Dächer und der beiden Schulterrassen wird in einer Zisterne für den späteren Gebrauch in einer Regenwassernutzungsanlage gespeichert. Ein Notüberlauf in die Sickerschächte soll einen Überstau der Zisterne verhindern. Zwei Regentonnen fangen den Abfluss der Gartenfläche auf. Das überschüssige Wasser wird der Zisterne hinzugefügt. Der undurchlässige Kunststoffbelag der Sportplätze ist zu einem durchlässigen Kunststoffbelag mit Speicherfunktion umgestaltet worden. Der Schulhof wird mit einem wasserdurchlässigen Schotterrasen ausgestattet. Die Terrasse für die Mensa wird aus Betonsteinpflaster gestaltet und in den Schulhof entwässert. Der Oberflächen- und Drainageabfluss der restlichen Flächen wird in Speicherbecken eingeleitet. Sollte es trotz der vorhandenen Maßnahmen zu einem Abfluss kommen dienen Sickerschächte für die Einleitung des Wassers in den Untergrund. Auch hier wird das Wasser erst ab einer Tiefe von 2,7 m unter GOK in den Boden entwässert.

2.3.8 Modell 08 – geplantes Modell

Dieses Modell, angeführt in der Abbildung 2-19, wird von der Firma Geolith Consult in dem technischen Bericht zur Oberflächenentwässerung (Weissenbrunner, 2017) für den Bildungscampus Smart City Volksschule vorgeschlagen und entspricht dem Bebauungskonzept des zuständigen Planungsbüros.

Dabei sind die Dächer dieser Modellvariante mit einem extensiven Gründach ausgestattet. Ebenso ist eine Terrasse zu einem Pflanzgarten umfunktioniert worden. Sickerschächte sorgen dafür, dass der gesamte Abfluss in den Boden versickern kann. Die Schächte wurden so ausgelegt, dass erst ab einer Tiefe von 2,7 m unter GOK das Wasser in den Untergrund eingeleitet wird.



Abbildung 2-19: Simulationsmodell 08 - geplantes Modell

2.3.9 Modellierung der LIDs

Für die Modellierung solcher naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen gibt es im Simulationsprogramm PCSWMM einen eigenen LID (Low Impact Development) Editor. Dieser stellt acht verschiedene LID-Typen zur Verfügung:

- Bio-Retention-Cell
- Rain Garden
- Green Roof
- Infiltration Trench
- Permeable Pavement
- Rain Barrel
- Rooftop Disconnection
- Vegetative Swale

Den einzelnen LID-Typen können nach Tabelle 2-11 bis zu sechs unterschiedliche Process-Layer zugeordnet werden. Diese Layer enthalten Datenblätter für die genauere Beschreibung der vertikalen Schichten und dem Drainage-System des jeweiligen LIDs.

Tabelle 2-11: verfügbare Process-Layer zum Modellieren von LIDs

LID Type	Surface	Pave-ment	Soil	Storage	Drain	Drain Mat
Bio-Retention-Cell	x		x	x	o	
Rain Garden	x		x	o		
Green Roof	x		x			x
Infiltration Trench	x			x	o	
Permeable Pavement	x	x	o	x	o	
Rain Barrel				x	x	
Rooftop Disconnection	x				x	
Vegetative Swale	x					

Legende für die Tabelle 2-11:

x...muss genutzt werden

o... kann optional genutzt werden

Für die oben angeführten Simulationsmodelle wurden die LIDs Bio-Retention-Cell, Green Roof und Infiltration Trench verwendet:

Die Regentonne, die Zisterne und die Sickerschächte wurden unter zu Hilfe-nahme von Storage-Layern modelliert. Während die Regentonne und die Zisterne

den anfallenden Niederschlagsabfluss einfach nur speichern, wurde der Storage-Layer des Sickerschachtes so modelliert, dass das eingeleitete Niederschlagswasser gespeichert und in den Untergrund versickert wird. Für die Simulation dieses Versickerungsprozesses sind zwei Bodenparameter, in der Tabelle 2-12 aufgelistet, notwendig:

Tabelle 2-12: Bodenparameter für den Versickerungsprozess

	Bodenparameter
Conductivity [mm/h]	120
Suction head [mm]	49

Diese Bodenkennwerte für das Einzugsgebiet konnten mit Hilfe des geologischen und geotechnischen Gutachtens der Firma Geolith Consult (Loizenbauer u. a., 2017) bestimmt werden.

Die beiden Regentonnen haben jeweils einen Durchmesser von einem Meter und eine Höhe von 85 Zentimetern. Für die Entnahme des gespeicherten Niederschlagswassers ist eine Menge von 100 Liter innerhalb von 24 Stunden festgelegt worden.

Die Zisterne weist ein Fassungsvermögen von 100 Kubikmetern auf. Die Abmessungen betragen fünf Meter in der Länge, 4 Meter in der Breite und 5 Meter in der Höhe. Hier wird von einer täglichen Entnahme von 3.000 Litern innerhalb von 24 Stunden ausgegangen.

Mit Hilfe der Gleichung 2-7 ist der zugehörige Drainage-Koeffizient C [mm/h] für den Regentonnen- und Zisternenauslass berechnet worden.

$$C_{storage} = \frac{V_{Ent}}{A_{LID} * T} * 1000 \quad \text{Gleichung 2-7}$$

Legende für die Gleichung 2-7:

- $C_{storage}$... Drainage – Koeffizient für den Auslass [mm/h]
- V_{Ent} ... Entnahmevolumen der Regentonne oder Zisterne [m^3]
- A_{LID} ... Fläche der Regentonne oder Zisterne [m^2]
- T ... Auslasszeit [h]

Drainage-Koeffizienten für die Regentonne:

$$C_{barrel} = \frac{0,1}{1 * 24} * 1000 \approx 4 \text{ mm/h} \quad \text{Gleichung 2-8}$$

Drainage-Koeffizienten für die Zisterne:

$$C_{barrel} = \frac{3}{20 * 24} * 1000 \approx 6 \text{ mm/h} \quad \text{Gleichung 2-9}$$

Das extensiv begrünte Dach und der intensiv begrünte Garten sind mit dem Green Roof LID modelliert worden. Die gewählten Eigenschaftsparameter der einzelnen Process-Layer für dieses LID sind in der Tabelle 2-13 angeführt.

Tabelle 2-13: LID-Parameter für die extensiv begrünten Dächer und der intensiv begrünte Garten

Layer		Literatur			Extensiv	Intensiv
Surface	Berm height [mm]	0 - 76 ^[1]			30 ^[14]	30
	Vegetation volume [fraction]	0,1 - 0,2 ^[2]			0,1 ^[14]	0,1
	Surface roughness [Manning's n]	0,15 ^[13]	0,10 - 0,20 ^[4]	0,1 - 0,2 ^[5]	0,168 ^[14]	0,15
	Surface slope [percent]	0 - 57,5 ^[6]	3,4 - 57,5 ^[7]		8 ^[14]	2
Soil	Thickness [mm]	50 - 150 ^[2]	60 - 120 150 - 1500 ^[7]	60 - \geq 190 100 - \geq 1000 ^[8]	100 ^[14]	100
	Porosity [volume fraction]	0,45 - 0,6 ^[2]	0,3 - 0,7 ^[9]	0,437 - 0,475 ^[10]	0,41 ^[14]	0,45
	Field capacity [volume fraction]	0,3 - 0,5 ^[2]	0,1 - 0,42 ^[11]	0,062 - 0,378 ^[10]	0,29 ^[14]	0,3
	Wilting point [volume fraction]	0,05 - 0,2 ^[2]	0,05 - 0,3 ^[11]	0,024 - 0,265 ^[10]	0,02 ^[14]	0,05
	Conductivity [mm/h]	1016 - 2556 ^[2]	1,1 - 108,1 ^[11]	0,254 - 120 ^[10]	37,9 ^[14]	40
	Conductivity slope	30 - 60 ^[3]	40 ^[14]	5 - 15 ^[2]		50
Drainage Mat	Suction head [mm]	50,8 - 101,6 ^[2]	49 - 320 ^[10]	61,3 ^[14]	80	80
	Thickness [mm]	12,7 - 50,8 ^[2]	20 - 60 50 - 500 ^[7]	19 - 75 ^[12]	3,8 ^[14]	30
	Void fraction	0,2 - 0,4 ^[2]	0,1 - 0,36 ^[12]	0,41 ^[14]		0,4
	Roughness [Manning's n]	0,01 - 0,03 ^[2]	0,01 ^[14]		0,01	0,01

Für die Kiesfassung ist der Infiltration Trench zum Einsatz gekommen. Die gewählten Eigenschaftsparameter können der Tabelle 2-14 entnommen werden.

Tabelle 2-14: LID-Parameter für die Kiesfassung

Layer		Literatur			gewählt
Surface	Berm height [mm]	0 - 76 ^[1]			30
	Vegetation volume [fraction]	0 ^[1]		0 ^[2]	0
	Surface roughness [Manning's n]	0,012 - 0,03 ^[6]	0,022 - 0,030 ^[5]	0,025 - 0,045 ^[4]	0,025
	Surface slope [percent]	0 - 57,5 ^[6]	3,4 - 57,5 ^[7]		2
Storage	Thickness [mm]	Abhängig von Gründach			130
	Void ratio [voids/solids]	0,5 - 0,75 ^[3]	0,25 - 0,46 ^[15]		0,5
	Seepage rate [mm/h]	0			0
	Clogging factor	0			0
Underdrain	Drain coefficient [mm/h]	Gleichung 5-5 ^[1]			5
	Drain exponent	0,5 ^[1]			0,5
	Drain offset height [mm]	10 ^[1]			0

Das LID Bio-Retention-Cell findet im Speicherbecken, im Schotterrasen und im Sportplatz (wasserdurchlässiger Kunststoffbelag) seine Anwendung. Die gewählten Eigenschaftsparameter der einzelnen Process Layers unterscheiden sich für die genannten Anwendungsbereiche und sind in der Tabelle 2-15 für das Speicherbecken, in der Tabelle 2-16 für den Schotterrasen und in der Tabelle 2-17 für den wasserdurchlässigen Kunststoffbelag zusammengefasst.

Tabelle 2-15: LID-Parameter für die Speicherbecken

Layer		Literatur			gewählt
Surface	Berm hight [mm]	150 – 300 ^[1]			300
	Vegetation volume [fraction]	0,8 - 1 ^[1]	0,1 - 0,2 ^[2]		0,1
	Surface roughness [Manning's n]	0,15 ^[13]	0,10 - 0,20 ^[4]	0,1 - 0,2 ^[5]	0,15
	Surface slope [percent]	0 - 57,5 ^[6]	3,4 - 57,5 ^[7]		2
Soil	Thickness [mm]	600 - 1200 ^[1]	450 - 900 ^[2]		1200
	Porosity [volume fraction]	0,45 - 0,6 ^[1]	0,3 - 0,7 ^[9]	0,437 - 0,475 ^[10]	0,6
	Field capacity [volume fraction]	0,15 - 0,25 ^[1]	0,1 - 0,42 ^[11]	0,062 - 0,378 ^[10]	0,2
	Wilting point [volume fraction]	0,05 - 0,15 ^[1]	0,05 - 0,3 ^[11]	0,024 - 0,265 ^[10]	0,02
	Conductivity [mm/h]	50 - 140 ^[1]	1,1 - 108,1 ^[11]	0,254 - 120 ^[10]	70
	Conductivity slope	30 - 60 ^[3]	40 ^[14]	5 - 15 ^[2]	40
	Suction head [mm]	50,8 - 101,6 ^[2]	49 - 320 ^[10]	61,3 ^[14]	140
Storage	Thickness [mm]	150 - 920 ^[1]			920
	Void ratio [voids/solids]	0,2 - 0,4 ^[1]			0,4
	Seepage rate [mm/h]	0			0
	Clogging factor	0			0
Underdrain	Drain coefficient [mm/h]	Gleichung 5-5 ^[1]			0,1
	Drain exponent	0,5 ^[1]			0,5
	Drain offset height [mm]	10 ^[1]			0

Tabelle 2-16: LID-Parameter für den Schotterrassen

Layer		Literatur			gewählt
Surface	Berm hight [mm]	0 - 76 ^[1]			30
	Vegetation volume [fraction]	0 ^[1]	0 ^[2]		0
	Surface roughness [Manning's n]	0,012 - 0,03 ^[12]	0,022 - 0,030 ^[5]	0,025 - 0,045 ^[4]	0,025
	Surface slope [percent]	0 - 57,5 ^[6]	3,4 - 57,5 ^[7]		2
Soil	Thickness [mm]	150 - 250 ^[17]	200 - 300 ^[18]		250
	Porosity [volume fraction]	0,45 - 0,6 ^[1]	0,3 - 0,7 ^[9]	0,437 - 0,475 ^[10]	0,4
	Field capacity [volume fraction]	0,15 - 0,25 ^[1]	0,1 - 0,42 ^[11]	0,062 - 0,378 ^[10]	0,1
	Wilting point [volume fraction]	0,05 - 0,15 ^[1]	0,05 - 0,3 ^[11]	0,024 - 0,265 ^[10]	0,05
	Conductivity [mm/h]	50 - 140 ^[1]	1,1 - 108,1 ^[11]	0,254 - 120 ^[10]	30
	Conductivity slope	30 - 60 ^[3]	40 ^[14]	5 - 15 ^[2]	50
	Suction head [mm]	50,8 - 101,6 ^[2]	49 - 320 ^[10]	61,3 ^[14]	60
Storage	Thickness [mm]	150 - 920 ^[1]			50
	Void ratio [voids/solids]	0,2 - 0,4 ^[1]			0,25
	Seepage rate [mm/h]	0			0
	Clogging factor	0			0
NO Underdrain					

Tabelle 2-17: LID-Parameter für den wasserdurchlässigen Kunststoffbelag

Layer		Literatur			gewählt
Surface	Berm hight [mm]	0 - 76 ^[1]			30
	Vegetation volume [fraction]	0 ^[1]	0 ^[2]		0
	Surface roughness [Manning's n]	0,012 - 0,03 ^[12]	0,022 - 0,030 ^[5]	0,025 - 0,045 ^[4]	0,024
	Surface slope [percent]	0 - 57,5 ^[6]	3,4 - 57,5 ^[7]		2
Soil	Thickness [mm]	150 - 250 ^[17]	200 - 300 ^[18]		25
	Porosity [volume fraction]	0,45 - 0,6 ^[1]	0,3 - 0,7 ^[9]	0,437 - 0,475 ^[10]	0,4
	Field capacity [volume fraction]	0,15 - 0,25 ^[1]	0,1 - 0,42 ^[11]	0,062 - 0,378 ^[10]	0,1
	Wilting point [volume fraction]	0,05 - 0,15 ^[1]	0,05 - 0,3 ^[11]	0,024 - 0,265 ^[10]	0,05
	Conductivity [mm/h]	50 - 140 ^[1]	1,1 - 108,1 ^[11]	0,254 - 120 ^[10]	30
	Conductivity slope	30 - 60 ^[3]	40 ^[14]	5 - 15 ^[2]	50
	Suction head [mm]	50,8 - 101,6 ^[2]	49 - 320 ^[10]	61,3 ^[14]	60
Storage	Thickness [mm]	150 - 920 ^[1]			150
	Void ratio [voids/solids]	0,2 - 0,4 ^[1]			0,4
	Seepage rate [mm/h]	0			0
	Clogging factor	0			0
NO Underdrain					

Legende für die Tabelle 2-13 bis Tabelle 2-17:

[1]...(Rossman & Huber, 2016b)

[2]...(CHI, 2017)

[3]...(Rossman, 2015)

[4]...(Rossman & Huber, 2016a)

[5]...(ODOT, 2014)

[6]...(Stahr & Hinz, 2011)

[7]...(Riccabona u. a., 2010)

[8]...(Hestermann & Rongen, 2008)

[9]...(Scopus Nimmo, 2004)

[10]...(Rawls Walter J. u. a., 1983)

[11]...(Saxton & Rawls, 2006)

[12]...(ZinCo GmbH, 2014)

[13]...(McCuen, 1989)

[14]...(Krebs, 2016)

[15]...(Dysli, 2000)

[16]...(Engman, 1986)

[17]...(Kunze, 2017)

[18]...(LBV-SH, 2017)

Der Drainage-Koeffizient (drain coefficient) in [mm/h] für einen unterirdischen Wasserabfluss (underdrain) kann nach Gleichung 2-10 berechnet werden. Diese Gleichung beruht auf der Mannings-Gleichung. Dafür werden die Parameter für die Rauigkeit des Ausflussrohres, dessen Durchmesser, dessen Gefälle und die Fläche des LIDs benötigt.

$$C_{\text{under}} = \frac{\left(\frac{0,464}{n_{\text{pipe}}}\right) * S_{\text{pipe}}^{0,5} * D_{\text{pipe}}^{2,67}}{A_{\text{LID}}} * 1.097.280 \quad \text{Gleichung 2-10}$$

Legende für die Gleichung 2-10: C_{under} ... Drainage – Koeffizient [mm/h] n_{pipe} ... Rauigkeit des Drainagerohres [] S_{pipe} ... Gefälle des Drainagerohres [] A_{LID} ... Fläche des LIDs [ft²] D_{pipe} ... Durchmesser des Drainagerohres [ft]

2.4 Ermittlung der Wasserbilanzen

Die einzelnen Simulationsmodelle wurden hinsichtlich ihrer Wasserbilanz laut der allgemeinen Gleichung 2-11 ausgewertet. Dafür wurden aus dem Status Bericht vom Simulationsprogramm PCSWMM die erforderlichen Ergebnisdaten ausgelesen. Diese Daten umfassen den Gesamtniederschlag (Total Precipitation), die Verdunstungsverluste (Evaporation Loss), die Speicheränderung (Initial Storage, Final Storage) und den Oberflächenabfluss (Surface Runoff). Für die Bewertung der Speichermenge der Regentonne und der Zisterne ist das Gesamtzulaufvolumen (Total Inflow Volume) aus dem Status Bericht herangezogen worden.

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

Gleichung 2-11

Legende für die Gleichung 2-11:

P ... Niederschlag [mm]

R ... Oberflächenabfluss [mm]

ET ... Evapotranspiration [mm]

ΔS ... Speicheränderung [mm]

In der Gleichung 2-12 wird weiter die Zusammensetzung der Evapotranspiration genauer erläutert.

$$ET = E_{loss} + ET_{upper} + ET_{lower}$$

Gleichung 2-12

Legende für die Gleichung 2-12:

ET ... Evapotranspiration [mm]

E_{loss} ... Evaporation aus Oberflächenabfluss [mm]

ET_{upper} ... Evapotranspiration der oberen Bodenschicht [mm]

ET_{lower} ... Evapotranspiration der unteren Bodenschicht [mm]

Die Speicheränderung kann laut Gleichung 2-13 weiter in die Speichermenge, die Tiefenversickerung und dem Grundwasserabfluss aufgespalten werden.

$$\Delta S = \Delta S_{ini} - \Delta S_{fin} + I_{deep} + GW$$

Gleichung 2-13

Legende für die Gleichung 2-13:

ΔS ... Speicheränderung [mm]

ΔS_{ini} ... Speichermenge am Anfang [mm]

ΔS_{fin} ... Speichermenge am Ende [mm]

I_{deep} ... Tiefenversickerung [mm]

GW ... Grundwasserabfluss [mm]

Da jedoch eine Versickerung des Niederschlagswassers über einer Tiefe von 2,6 m unter GOK nicht erwünscht bzw. aufgrund der dort vorhandenen Bodenkontamination nicht zulässig ist, kann die Evapotranspiration in der oberen und unteren Bodenschicht (ET_{upper} und ET_{lower}) sowie die Tiefenversickerung (I_{deep}) und der Grundwasserabfluss (GW) vernachlässigt werden.

2.5 Kostenrechnung

Mit Hilfe der Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing (Costs)) werden die einzelnen Niederschlagsbehandlungsmaßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft.

Laut Heise (2010) soll folgende Definition die Lebenszykluskosten charakterisieren:

„Life Cycle Costing bezeichnet ein Instrumentarium zur Planung, Steuerung und Kontrolle der totalen Kosten eines bestimmten Kostenträgers über den gesamten Lebenszyklus. Im Mittelpunkt stehen dabei nicht nur einzelne Produkte, sondern auch Systeme und Projekte.“

In der Abbildung 2-20 sind die einzelnen Kostenstellen der LCC-Berechnung aufgelistet.

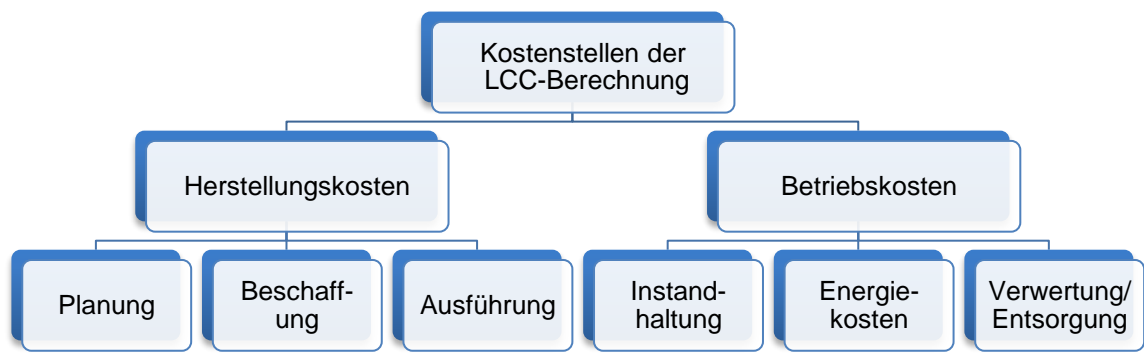


Abbildung 2-20: die einzelnen Kostenstellen der LCC-Berechnung

Ebenso Einfluss auf die Berechnung der Lebenszykluskosten nimmt die Nutzungsdauer der Bewirtschaftungsmaßnahme. Diese wird in den Betriebskosten veranschlagt.

Naturnahe Bewirtschaftungsanlagen sind meist in ihrer Anschaffung teurer, erweisen sich jedoch über ihre Nutzungsdauer hinweg, gegenüber zentralen Lösungsansätzen, in den meisten Fällen, als die wirtschaftlichste Lösung (Studi, 2013).

2.5.1 Kostenstellen

2.5.1.1 Herstellungskosten

Oberirdische Anlagen zur Behandlung des Niederschlagswassers, wie Flächenversickerung oder Muldenversickerung, fallen in der Regel kostengünstiger aus, als unterirdische Systeme. Aufgrund der verschiedenen Materialien bei der Herstellung können die Herstellungskosten sehr stark variieren. Bei Retentionsmaßnahmen sind die Herstellungskosten abhängig von der baulichen Ausführung der Anlage und des benötigten Speichervolumens (Muschalla u. a., 2014).

In der Tabelle 2-18 werden die Herstellungskosten für naturnahe NWB-Systeme anhand verschiedener Literaturnachweise aufgezeigt. Als Referenz bzw. zur Vergleichbarkeit werden die Herstellungskosten für ein konventionelles Kiesdach, eine Betonfläche und eine Asphaltfläche angeführt.

Tabelle 2-18: Übersicht der Herstellungskosten für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche

Bewirtschaftungsmaßnahme	Literatur			gewählt
Gründach extensiv	15 – 50 €/m ² [1]	12,5 – 25 €/m ² [2]	12,5 – 50 €/m ² [3]	25 €/m ²
Gründach intensiv	40 – 65 €/m ² [1]	55 – 65 €/m ² [2]	95 €/m ² [3]	60 €/m ²
Schotterrassen	23 €/m ² [1]	2,5 – 10 €/m ² [2]		15 €/m ²
Rasengittersteine	15 – 43 €/m ² [1]	10 – 100 €/m ² [2]		40 €/m ²
Betonsteinpflaster	Bis 50 €/m ² [1]	22,5 – 25 €/m ² [2]		25 €/m ²
Flächenversickerung allgemein	15 – 25 €/m ² [3]			20 €/m ²
Muldenversickerung	1,3 – 15 €/m ² A _{red} [1]	38 €/lfm [2]	1,3 – 7,5 €/m ² A _{red} [3]	7 €/m ² A _{red}
Beckenversickerung	5 – 6 €/m ² A _{red} [1]			5,5 €/m ² A _{red}
Rohr-Rigolen-Versickerung	3,5 – 24,5 €/m ² A _{red} [1]	1,25 – 12 €/m ² A _{red} [2]		12 €/m ² A _{red}
Mulden-Rigolen-Versickerung	4 – 43 €/m ² A _{red} [1]	12,5 – 27,5 €/m ² A _{red} [2]		20 €/m ² A _{red}
Sickerschacht	1250 €/Stk [1]	1000 – 2000 €/Stk [3]		1500 €/Stk
Regentonne	1300 l – 219 €/Stk [4]	650 l – 249 €/Stk [2]		219 €/Stk
Regenwasseremutzungsanlage	6 m ³ - 4900 – 5000 €/Stk [1]	400 – 900 €/m ³ [3]		650 €/m ³
Betonfläche 20cm	80 – 120 €/m ³ [2]			100 €/m ³
Asphaltfläche 20cm	13 – 30 €/m ³ [2]			22 €/m ³
Kiesdach	12 €/m ² [5]			12 €/m ²

Legende für die Tabelle 2-18:

[1]...(Herzer, 2004)

[2]...(Johnscher, 2016)

[3]...(Gantner, 2003)

[4]...(Hornbach Österreich, 2017)

[5]...(Schönemann, 2008)

2.5.1.2 Betriebskosten

Die Wartung und Instandhaltung von Bewirtschaftungsanlagen für das Niederschlagswasser bilden gemeinsam die Betriebskosten. Diese Tätigkeiten können wiederum gärtnerische Pflege der Anlagen, das Spülen von Rigolen, die Inspektion der Anlagen oder auch die Entfernung von Laub und Störstoffen beinhalten (Muschalla u. a., 2014).

Die Literaturrecherche für die Betriebskosten für jede einzelne Bewirtschaftungsmaßnahme kann der Tabelle 2-19 entnommen werden. Es werden ebenso wieder die Betriebskosten für ein konventionelles Kiesdach, eine Betonfläche und eine Asphaltfläche zum Vergleich angeführt.

Tabelle 2-19: Übersicht der Betriebskosten für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche

Bewirtschaftungsmaßnahme	Literatur			gewählt
Gründach extensiv	2 €/m ² a ^[2]	0,5 - 5 €/m ² a ^[3]		2 €/m ² a
Gründach intensiv	2 - 6 €/m ² a ^[2]	0,5 - 5 €/m ² a ^[3]		5 €/m ² a
Flächenversickerung allgemein	0,09 - 0,3 €/m ² a ^[1]	0,25 - 1,75 €/m ² a ^[2]	0,25 - 1,75 €/m ² a ^[3]	1 €/m ² a
Muldenversickerung	0,05 - 0,5 €/m ² a ^[1]	2,25 €/m ² a ^[3] [2]	0,25 - 1,75 €/m ² a ^[3]	1,75 €/m ² a
Beckenversickerung	4 €/m ² a			4 €/m ² a
Rohr-Rigolen-Versickerung	0,06 €/m ² A _{red} a ^[1]	10 - 25 €/l/m a ^[3]		0,06 €/m ² A _{red} a
Mulden-Rigolen-Versickerung	0,05 €/m ² A _{red} a ^[1]	15 €/l/m a + 0,5 €/m a ^[3]		0,05 €/m ² A _{red} a
Sickerschacht	0,05 €/m ² A _{red} a ^[1]	0,5 - 0,75 €/m ² A _{red} a ^[3]		0,05 €/m ² A _{red} a
Regenwassernutzungsanlage	0,45 - 0,6 €/m ² A _{red} a ^[1]	0,75 €/m ² A _{red} a ^[3]		0,6 €/m ² A _{red} a
Betonfläche 20cm	5 - 7 €/m ² a ^[2]			6 €/m ² a
Asphaltfläche 20cm	5 - 7 €/m ² a ^[2]			6 €/m ² a
Kiesdach	0,5 €/m ² a ^[5]			0,5 €/m ² a

Legende für die Tabelle 2-19:

[1]...(Herzer, 2004)

[2]...(Johnscher, 2016)

[3]...(Gantner, 2003)

[4]...(Hornbach Österreich, 2017)

[5]...(Schönemann, 2008)

Um die Betriebskosten über die gesamte Nutzungsdauer der Bewirtschaftungsanlage zu berechnen, wurde nach Gleichung 2-14 (DWA, 2012) ein Diskontierungsfaktor berücksichtigt.

$$DAKR = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n}$$

Gleichung 2-14

Legende für die Gleichung 2-14:

DAKR ... Diskontierungsfaktor []

n ... Nutzungsdauer [Jahre]

i ... Zinssatz []

In der Tabelle 2-20 ist der Diskontierungsfaktor abhängig von der Nutzungsdauer ersichtlich. Als Zinssatz wurde 3 Prozent über die gesamte Laufzeit gewählt.

Tabelle 2-20: Diskontierungsfaktor abhängig der Nutzungsdauer

Nutzungsdauer n	Zinssatz i	Diskontierungsfaktor DAKR
5	3%	4,58
10		8,53
15		11,94
20		14,88
25		17,41
30		19,60

2.5.1.3 Nutzungsdauer

Eine große Spannweite ist in der Nutzungsdauer der einzelnen NWB-Maßnahmen ersichtlich. Für eine Flächen- und Muldenversickerung kann eine Nutzungsdauer von 20 bis 80 Jahre angenommen werden. Mulden-Rigolen-Systeme oder Rohr-Rigolen-Systeme haben hingegen eine Nutzungsdauer von 20 bis 40 Jahren (Muschalla u. a., 2014). Generell ist für Versickerungsanlagen eine durchschnittliche Nutzungsdauer zwischen 20 und 30 Jahren anzusetzen (DWA, 2012).

Die Tabelle 2-21 fasst die eruierte Nutzungsdauer für einzelne Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zusammen.

Tabelle 2-21: Übersicht der Nutzungsdauer für naturnahe NWB-Maßnahmen, sowie für ein Kiesdach und eine Beton- und Asphaltfläche

Bewirtschaftungsmaßnahme	Literatur		gewählt
Gründach extensiv	25 – 35 Jahre ^[1]	Bis 40 Jahre ^[3]	30 Jahre
Gründach intensiv	25 – 35 Jahre ^[1]	Bis 40 Jahre ^[3]	30 Jahre
Flächenversickerung allgemein	20 – 50 Jahre ^[1]	20 – 80 Jahre ^[3]	40 Jahre
Muldenversickerung	20 – 80 Jahre ^[1]		50 Jahre
Beckenversickerung	20 – 80 Jahre ^[1]		50 Jahre
Rohr-Rigolen-Versickerung	25 – 40 Jahre ^[1]	20 – 40 Jahre ^[3]	30 Jahre
Mulden-Rigolen-Versickerung	25 – 40 Jahre ^[1]	15 – 40 Jahre ^[3]	30 Jahre
Sickerschacht	33 Jahre ^[1]	Bis 60 Jahre ^[3]	30 Jahre
Regentonne	10 Jahre		10 Jahre
Regenwassernutzungsanlage	50 – 90 Jahre ^[1]	20 – 75 Jahre ^[3]	60 Jahre
Betonfläche 20cm	25 – 30 Jahre ^[2]		25 Jahre
Asphaltfläche 20cm	11 – 16 Jahre ^[2]		15 Jahre
Kiesdach	10 – 30 Jahre ^[4]		20 Jahre

Legende für die Tabelle 2-21:

[1]...(Herzer, 2004)

[2]...(IZB, 2017)

[3]...(Gantner, 2003)

[4]...(ÖNORM B 3691, 2012)

3 Ergebnisse und Diskussion

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Auswertung, dem Vergleich und der anschließenden Diskussion der Ergebnisse der Wasserbilanzen der einzelnen Simulationsmodelle. Hierbei wurden ausschließlich die Simulationsergebnisse auf der Grundlage des Niederschlagskontinuums in Betracht gezogen.

Ebenso wird der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der gewählten Sickerschächte erbracht. Für diesen Nachweis ist sowohl die Langzeitsimulation als auch der Modellregen nach Euler-Typ-II bewertet worden.

Abschließend wurden die Herstellungs-, Betriebs- und Nutzungskosten der einzelnen Niederschlagsbehandlungsmaßnahmen berechnet und gegenübergestellt.

3.1 Berechnung der Wasserbilanzen

Die Wasserbilanz wurde zuerst anhand eines Referenzmodelles (Modell 01) berechnet. Bei diesem Referenzmodell ist komplett auf den Einsatz von Bewirtschaftungsanlagen verzichtet worden, um die Auswirkung des verwendeten LIDs in den weiteren Simulationsmodellen besser sichtbar zu machen.

Anschließend wurde je eine naturnahe Niederschlagsbehandlungsmaßnahme, sei es die Verwendung von Gründächern, durchlässig gestaltete Flächen oder Speicherbecken, in das Modell adaptiert. Bei diesen Simulationsmodellen ist erneut die Wasserbilanz ermittelt worden.

In den nachfolgenden Tabellen, Tabelle 3-1 bis Tabelle 3-6, sind die errechneten Wasserbilanzen für die Simulationsmodelle 01 bis 06 angeführt.

3.1.1 Aufstellung der Wasserbilanz für einzelne LID-Anwendungen

3.1.1.1 Modell 01 - Referenzmodell

Tabelle 3-1: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 01

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100,0
Evapotranspiration	3.413	39,8
Speicheränderung	12	0,1
Oberflächenabfluss	5.160	60,1

3.1.1.2 Modell 02 - Gründach und Garten

Tabelle 3-2: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 02

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	4.278	49,8
Speicheränderung	21	0,3
Oberflächenabfluss	4.286	49,9

3.1.1.3 Modell 03 - Schotterrasen

Tabelle 3-3: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 03

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	4.034	47,0
Speicheränderung Anfang	25	0,3
Oberflächenabfluss	4.526	52,7

3.1.1.4 Modell 04 - wasserdurchlässiger Kunststoffbelag

Tabelle 3-4: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 04

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	4.557	53,1
Speicheränderung	25	0,3
Oberflächenabfluss	4.003	46,6

3.1.1.5 Modell 05 - Speicherbecken

Tabelle 3-5: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 05

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	3.645	42,5
Speicheränderung	60	0,7
Oberflächenabfluss	4.880	56,8

3.1.1.6 Modell 06 - Zisterne

Tabelle 3-6: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 06

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	3.414	39,8
Speicheränderung	12	0,1
Zisterne	1.050	12,2
Oberflächenabfluss	4.109	47,9

3.1.2 Aufstellung der Wasserbilanz für kombinierte LID Anwendungen

Für das Modell 07, den kombinierten LIDs, und das Modell 08, dem geplanten Modell der Firma Geolith Consult, sind ebenso die Evapotranspiration, die Speicheränderung und der Oberflächenabfluss ermittelt worden.

Die Aufstellung dieser Wasserbilanzen kann der Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8 entnommen werden.

3.1.2.1 Modell 07 - kombinierte LIDs

Tabelle 3-7: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 07

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	6.048	70,5
Speicheränderung	85	1,0
Zisterne	724	8,4
Oberflächenabfluss	1.728	20,1

3.1.2.2 Modell 08 - geplantes Modell

Tabelle 3-8: Aufstellung der Wasserbilanz in [mm] und in [%] für das Modell 08

	[mm]	[%] von Niederschlag
Gesamtniederschlag	8.585	100
Evapotranspiration	4.272	49,8
Speicheränderung	21	0,2
Oberflächenabfluss	4.292	50,0

3.2 Ergebnisse der Wasserbilanzen

Die Wasserbilanzen, welche mit den eingesetzten LIDs erreicht wurden, sind mit der Wasserbilanz des Referenzmodells gegenübergestellt worden. In den unten angeführten Abbildungen, Abbildung 3-1 bis Abbildung 3-3, ist die ermittelte Änderung der Wasserbilanzen für die jeweiligen LIDs prozentual zusammengefasst:

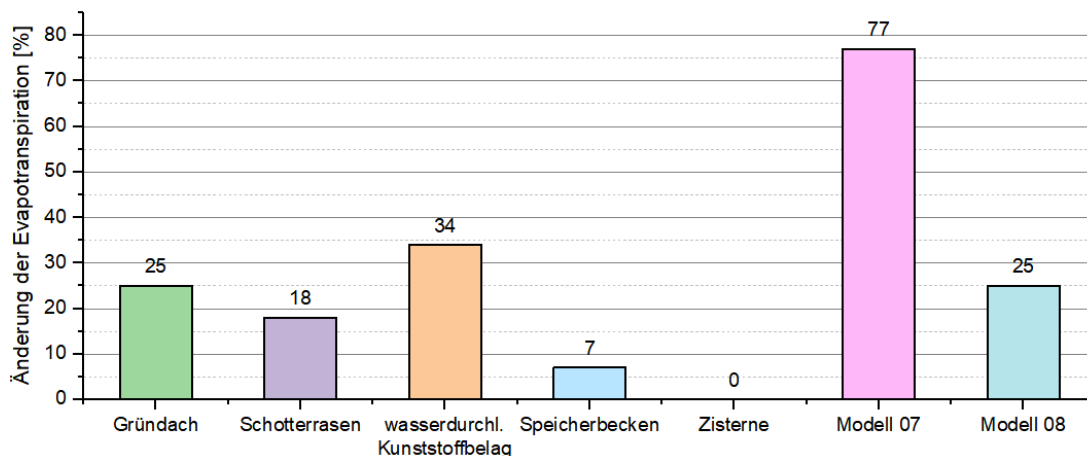


Abbildung 3-1: Änderung der Evapotranspiration in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell

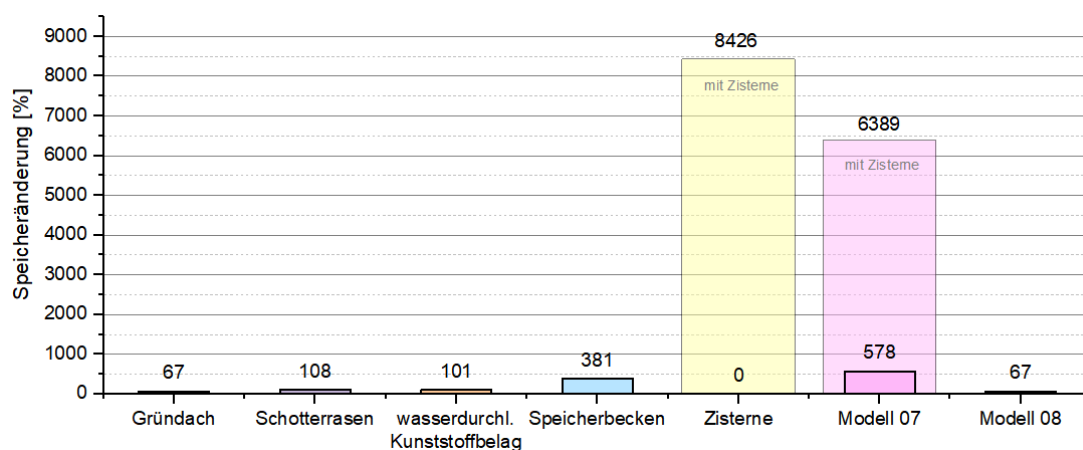


Abbildung 3-2: Änderung der Speicherung in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell

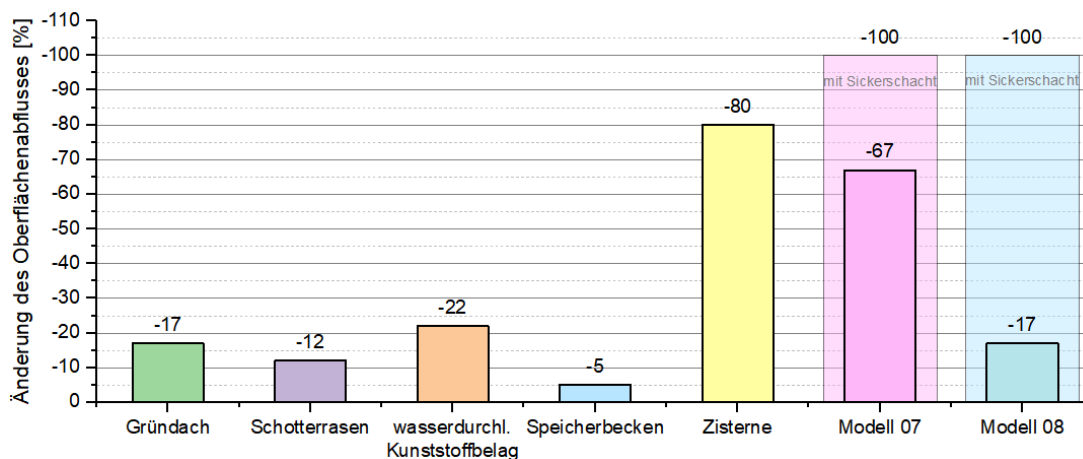


Abbildung 3-3: Änderung des Oberflächenabflusses in [%] der einzelnen LIDs und der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell

Mit dem Einsatz von Gründächern konnten 21 % der Flächen im Projektgebiet mit naturnahen Maßnahmen zur Behandlung von Niederschlagswasser gestaltet werden. Dabei ist eine Steigerung der Evapotranspiration um 25 % erzielt worden. Der Oberflächenabfluss nahm um 17 % ab. Eine deutliche Verbesserung wies die Speicheränderung auf. Diese erhöhte sich um 67 % zum Ursprungszustand.

Durch die Umsetzung eines durchlässigen Schotterrasens im Schulhof sank der Oberflächenabfluss um 12 %. Ein Anstieg zum Referenzmodell ist mit 18 % in der Evapotranspiration ersichtlich. Die Speicherung und Rückhaltung des Niederschlagswassers beläuft sich auf eine Erhöhung von 108 %.

Aufgrund der wasserdurchlässig gestalteten Sporthartplätze können 28 % der zuvor 100 % versiegelten Flächen durchlässig ausgeführt werden. Das führt zu einer Steigerung von 34 % in der Evapotranspiration und wirkt zunehmend positiv auf die Speicheränderung. Diese wird mit einem Zuwachs von 101 % verzeichnet. Der Oberflächenabfluss reduzierte sich dabei um 22 %.

Insgesamt wurde eine Fläche von 4.393 m², diese schließt alle Flächen des Einzugsgebietes ein, mit Hilfe von Speicherbecken entwässert. Die Becken benötigten dafür eine Fläche von 15 % der gesamten zu entwässernden Fläche. Aufgrund der ausgezeichneten Speicherleistung konnte eine beachtliche Speicheränderung von 381 % erzielt werden. Die Evapotranspiration steigerte sich um 7 % und der Oberflächenabfluss wurde um 5 % reduziert.

Die zwei Zisternen fingen innerhalb dieser zehn Jahre rund 10.500 m³ Niederschlagswasser von insgesamt 1.506 m² Dach- und Terrassenfläche auf. Das führt zu einer extremen Steigerung der Speicherleistung auf 8426 %. Aufgrund des unterirdischen Einbaus dieser Speichereinrichtung gibt es keine Änderung in Bezug auf das Ausgangsmodell in der Evapotranspiration. Eine positive Auswirkung dieser Maßnahmen ist auch im Oberflächenabfluss ersichtlich, welcher sich um 80 % reduzierte.

Beim Simulationsmodell 07, Kombination von unterschiedlichen LIDs, sind 936 m² Dachfläche mit Begrünung ausgeführt worden und zusätzliche 1.860 m² konnten mit einem durchlässigen Belag gestaltet werden. Zwei Speicherbecken sorgen für Retentionsraum und leiten das Niederschlagswasser gedrosselt in die Sickerschächte ein. Für dieses Modell konnte eine Steigerung der Evapotranspiration um 77 % erreicht werden. Durch den Einsatz von einer Zisterne und zwei Regentonnen ergab sich eine beachtliche Speicheränderung von 6389 % gegenüber dem Referenzmodell. Insgesamt wurde aufgrund dieser Maßnahmen ein Speichervolumen von 5670 m³ innerhalb von zehn Jahren erreicht. Die verwendeten Sickerschächte trugen dazu bei, dass der Oberflächenabfluss um 100 % reduziert werden konnte. Kommen keine Sickerschächte zum Einsatz würde der Oberflächenabfluss eine Reduktion um 67 % aufweisen. Ebenso ergäbe sich eine Speicheränderung von 578 %.

Aufgrund der eingesetzten Gründächer wird eine Steigerung der Evapotranspiration um 25 % im Modell 08 verzeichnet. Ebenso wie beim Modell zuvor, ist der komplette Oberflächenabfluss durch Sickerschächte zum Versickern gebracht worden. Dies ergab eine Reduzierung um 100 %. Ohne die Sickerschächte würde der anfallende Oberflächenabfluss um 17 % reduziert werden. Die Speicheränderung ergibt eine positive Änderung um 67 %.

3.3 Wirkungsweise der LIDs

Um die Wirkungsweise der eingesetzten naturnahen Behandlungsmaßnahmen in Bezug auf ihre Wasserbilanz vergleichen zu können, mussten die zuvor aufgestellten Ergebnisse gemäß der Gleichung 3-1 normiert werden. Für die Normierung ist die Fläche des Projektgebietes zur „über ein LID entwässernden“ Fläche in Verhältnis gestellt worden. Die Änderung der Wasserbilanzen sind anschließend mit dem Verhältniswert multipliziert und auf 100 m² zu entwässernde Fläche normiert worden (Johnscher, 2016).

$$N_{WB} = \frac{\frac{A_{LID}}{A_{ges}} * \Delta WB}{100 m^2}$$

Gleichung 3-1

Legende für die Gleichung 3-1:

N_{WB} ... normiertes Ergebnis der Wasserbilanz [mm/100 m²]

A_{ges} ... gesamte Fläche des Projektgebietes [m²]

A_{LID} ... Fläche des LIDs [m²]

ΔWB ... Änderung der Wasserbilanzen gegenüber Referenzmodell [mm]

Um ein besseres Verständnis für die Gleichung 3-1 zu erlangen ist ein Beispiel für die Normierung der Simulationsergebnisse angeführt. In diesem Beispiel wird das Ergebnis der Evaporation für das Modell 02 – Gründach normiert.

Beispiel für die Gleichung 3-1:

$A_{ges} = 4393 m^2$ (gesamte Fläche des Projektgebietes)

$A_{LID} = 936 m^2$ (Fläche der Gründächer)

$\Delta WB = 865 mm$ (Änderung der Evaporation gegenüber dem Referenzmodell)

$$N_{WB} = \frac{\frac{936}{4393} * 865}{100 m^2} = 1,84 mm/100 m^2$$

Gleichung 3-2

Der Vergleich der Wirkungsweise der einzelnen LIDs sind der Abbildung 3-4 bis Abbildung 3-6 zu entnehmen.

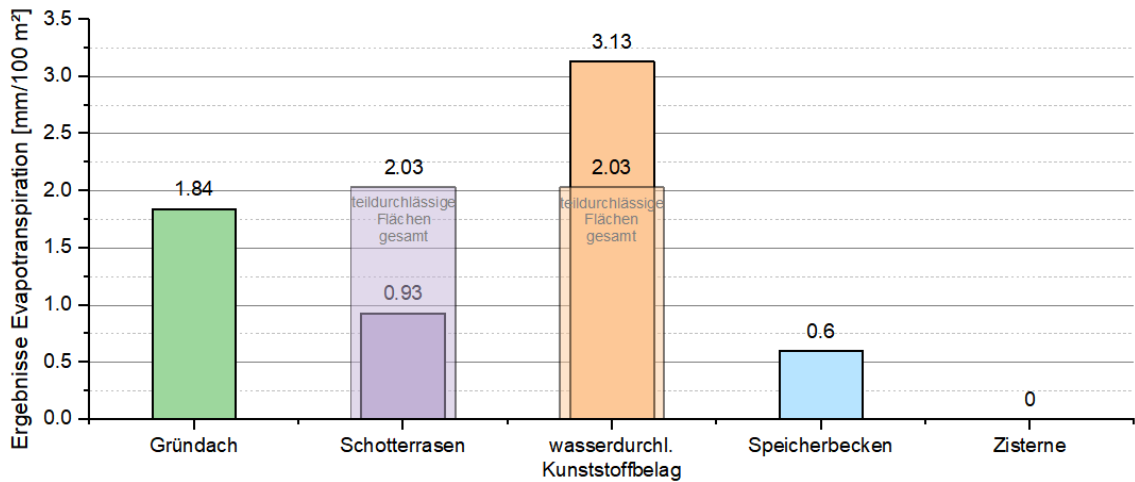


Abbildung 3-4: Ergebnisse der Wirkungsweise der Evapotranspiration in [mm/100 m²] für die einzelnen LID-Anwendungen

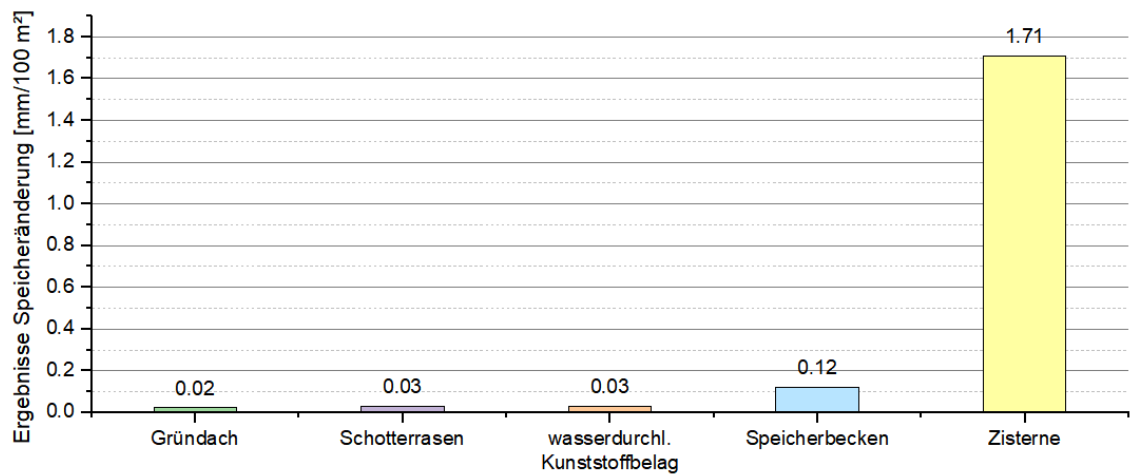


Abbildung 3-5: Ergebnisse der Wirkungsweise der Speicheränderung in [mm/100 m²] für die einzelnen LID-Anwendungen

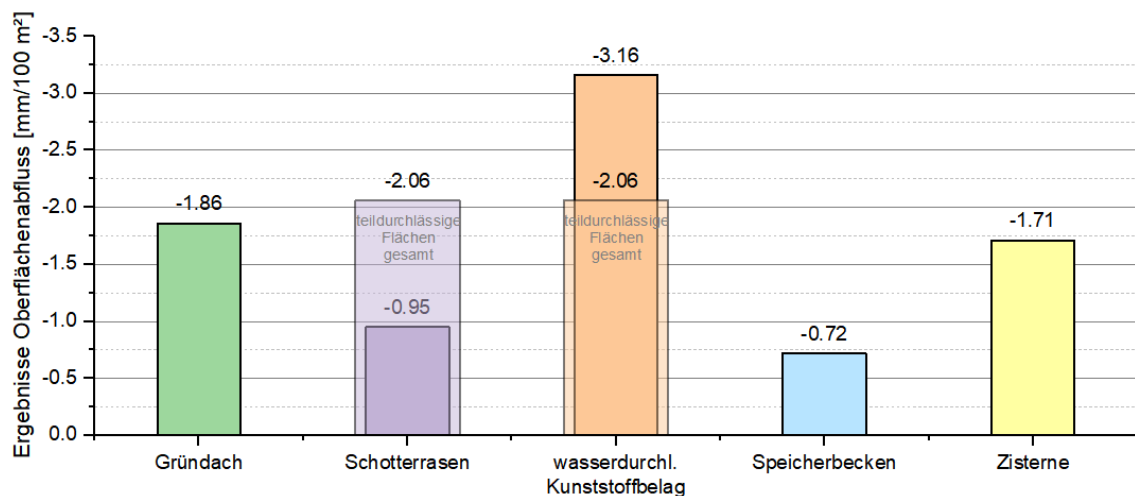


Abbildung 3-6: Ergebnisse der Wirkungsweise des Oberflächenabflusses in [mm/100 m²] für die einzelnen LID-Anwendungen

Mit dem Einsatz von extensiv und intensiv begrünten Dächern ist eine Steigerung der Evapotranspiration um $1,84 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ erreicht worden. Der Oberflächenabfluss konnte damit um $1,86 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ reduziert und die Speicheränderung um $0,02 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ erhöht werden.

Teildurchlässige Fläche lassen im Durchschnitt den Oberflächenabfluss um $2,06 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ sinken. Geht man näher auf die eingesetzten teildurchlässigen LIDs ein, kann durch den Schotterrasen eine Reduktion des Oberflächenabflusses von $0,95 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ und durch den wasserdurchlässig gestalteten Belag des Sportplatzes sogar $3,16 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ erreicht werden. Die Änderung der Speicherwirkung wird mit $0,03 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ verzeichnet. Die Evapotranspiration steigerte sich durchschnittlich um $2,03 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$. Aufgeteilt auf jede einzelne Anwendung ergibt das eine Steigerung der Evapotranspiration mit dem Schotterrasen um $0,93 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ und mit der wasserdurchlässigen Sportplatzfläche um $3,13 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$.

Durch die Errichtung von Speicherbecken ist das Wasser um $0,12 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ zurückgehalten worden. Die Evapotranspiration ergab eine Steigerung um $0,6 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$. Der Niederschlagsabfluss an der Oberfläche verzeichnete eine Verringerung von $0,72 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$.

Mit den Zisternen konnten insgesamt 10.500 m^3 Niederschlagswasser in 10 Jahren gespeichert werden. Diese führten zu einer Speicheränderung von $1,71 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$. Ebenfalls wurde der Oberflächenabfluss um $1,71 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ minimiert. Aufgrund des unterirdischen Einbaus der Zisterne ist keine Änderung in der Evapotranspiration ersichtlich.

Für die Beurteilung der Wirkungsweise der kombinierten Maßnahmen zur Behandlung des Niederschlagswassers sind die Simulationsergebnisse der Wasserbilanz für das Modell 07 normiert und in der Abbildung 3-7 gegenübergestellt worden.

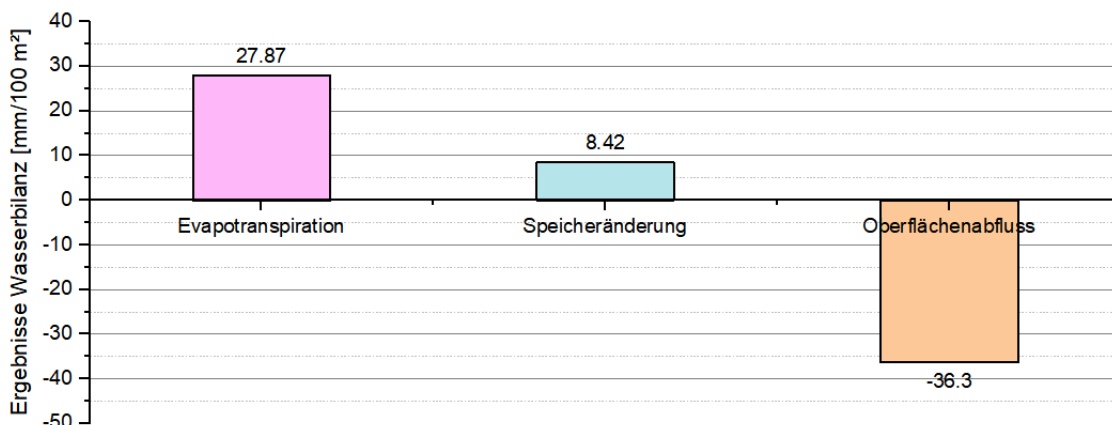


Abbildung 3-7: Ergebnisse der Wirkungsweise der Wasserbilanz in $[\text{mm}/100 \text{ m}^2]$ für die kombinierten LID-Anwendungen – Modell 07

Mit Hilfe von Gründächern, teildurchlässigen Flächen, Speicherbecken und Zisternen (Regentonnen und Zisterne) reduzierte sich der Oberflächenabfluss für das Einzugsgebiet um $36,3 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$. Aus den Ergebnissen des Modells 07 ist des Weiteren noch ersichtlich, dass die Speicherung und Rückhaltung von Niederschlagswasser eine Änderung von $8,42 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ aufzeigt. Aufgrund der eingesetzten naturnahen Maßnahmen ist die Verdunstungsleistung um $27,87 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ gestiegen.

Außer Acht gelassen wurde bei den angeführten Ergebnissen des Simulationsmodells 07, dass der anfallende Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers nach den Behandlungsmaßnahmen nicht abfließt, sondern in Sickerschächten zum Versickern gebracht wird. Dies würde eine Änderung im Oberflächenabfluss und in der Speicheränderung hervorrufen.

3.4 Diskussion der Ergebnisse

Das Einzugsgebiet im Ausgangszustand, also ohne Verwendung von naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftungsmaßnahmen, weist aufgrund seiner versiegelten Flächen einen Oberflächenabfluss von $60,1 \%$ auf. Befestigte und undurchlässig gestaltete Flächen bieten kaum Speicher- und Rückhaltungsmöglichkeiten für das Niederschlagswasser, was zu einer geringen Speicheränderung im Einzugsgebiet von nur $0,1 \%$ führt. Aufgrund der vorhandenen Grünflächen kann $39,8 \%$ des Niederschlags zum Verdunsten gebracht werden.

Mit dem Einsatz von naturnahen Maßnahmen zur Behandlung des Niederschlagswassers konnte der Zustand des Einzugsgebietes in Bezug auf die Wasserbilanz wesentlich verbessert werden. Die einzelnen LIDs bewirkten alle eine Reduktion des Oberflächenabflusses und zudem erreichten sie eine Verbesserung der Speicherwirkung. Mit Ausnahme der Zisterne ist die Evapotranspiration mit Hilfe der Bewirtschaftungsmaßnahmen gestiegen.

Der Aufbau eines Gründaches besteht im Überblick aus einer Vegetationsschicht, einer Substratschicht und einer Dränschicht. Aufgrund der vorwiegend verwendeten extensiv begrünnten Dächer mit einer Stärke von 10 cm , insgesamt 748 m^2 Dachfläche, ist nur eine geringe Speicherleistung von $0,02 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ erreicht worden. Zudem führte die gute Evapotranspirationsleistung von $1,84 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ dazu, dass, bevor das Niederschlagswasser überhaupt gespeichert werden konnte, es bereits schon wieder verdunstete. Aufgrund dem Verhältnis zwischen Speicherung und Verdunstung ergab sich eine Reduktion des Oberflächenabflusses von $1,86 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$.

Teildurchlässige Flächen wurden im Simulationsmodell aus einem 3-Schichten-Modell erstellt: Oberflächen-, Boden- und Speicherschicht. Der Anteil der Speicherung des Niederschlagswassers verhält sich ähnlich der dem Gründach und ist mit $0,03 \text{ mm}/100 \text{ m}^2$ zu verzeichnen. Dies ist ebenfalls wieder auf die gute Leistung der Verdunstung zurückzuführen. Das anfallende Niederschlagswasser

verdunstet im Durchschnitt mit 2,03 mm/100 m². Mit den teildurchlässig gestalteten Flächen kann die stärkste Reduktion des Oberflächenabflusses im Mittel von 2,06 mm/100 m² erzielt werden.

Die zwei Speicherbecken wurden auf einer Fläche von insgesamt 650 m² errichtet und entwässern alle Flächen des Einzugsgebietes. Ausgenommen der Zisterne ist mit dieser Maßnahme die geringste Evaporationsleistung von 0,6 mm/100 m² erreicht worden. Zudem fällt auch der Anteil des Oberflächenabflusses mit 0,72 mm/100 m² am schlechtesten aus. Die Speicheränderung hingegen verzeichnet eine positive Wirkung mit 0,12 mm/100 m² und ist somit, im Vergleich zum Gründach und zur teildurchlässigen Fläche, die beste Maßnahme in Bezug auf die Speicheränderung. Dies ist auf das verwendete Simulationsmodell zurückzuführen, welches mit einem zusätzlichen Speicherraum von großer Mächtigkeit gestaltet wurde. Dennoch fällt die Wirkungsweise des simulierten Speicherbeckenmodells insgesamt sehr schlecht aus. Mögliche Fehler können in der Verwendung von falschen Bodenparametern liegen.

Die Zisterne, mit ihrer Speicherleistung von 10.500 m³ gespeichertem Niederschlagswasser in 10 Jahren, sorgte für eine hervorragende Speicheränderung von 1,71 mm/100 m². Aufgrund des unterirdischen Einbaus, ist keine Änderung der Evapotranspiration ersichtlich. Den Abfluss an der Oberfläche konnte mit dem Einsatz der Zisterne um 1,71 mm/100 m² reduziert werden.

Zusammenfassend kann anhand der Simulationsergebnisse mit teildurchlässigen Flächen der Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet am besten reduziert werden. Ebenso bringt diese Maßnahme die stärkste Steigerung der Evapotranspiration. Mit dem Einsatz von Zisternen ist die beste Speicheränderung erzielt worden.

Im Umgang mit dem Niederschlagswasser ist jedoch meist die Verwendung von unterschiedlich kombinierten naturnahen Maßnahmen zielführend. Anhand des Simulationsmodells 07 kann aufgezeigt werden, dass die besten Ergebnisse in Bezug auf die Wasserbilanz tatsächlich in Kombination erreicht werden.

Vergleicht man die hier angeführten Ergebnisse der Wasserbilanzrechnung mit Simulationsergebnissen für naturnahe Behandlungsmaßnahmen von Niederschlagswasser aus anderen Fallstudien ((Johnscher, 2016),(Sieker, 2007)), so kommen diese zu einem ähnlichen Ergebnis.

3.5 Ergebnisse des hydraulischen Nachweises der Leistungsfähigkeit der Sickerschächte

3.5.1 Niederschlagskontinuum – Langzeitregenserie über 10 a

Simulationsmodell 07 Nachweis erfüllt: Ja Nein

Simulationsmodell 08 Nachweis erfüllt: Ja Nein

Der hydraulische Nachweis der Leistungsfähigkeit der Sickerschächte mit Hilfe der Langzeitregenserie konnte nur für das Simulationsmodell 07 erfüllt werden. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass einzelne Sickerschächte im Simulationsmodell 08 bis zu 655-mal in diesen 10 Jahren überstaut werden. Dies würde einer Überstauhäufigkeit von einmal in 0,015 Jahren entsprechen. Laut ÖNORM EN 752 (2008) ist jedoch nur eine Überstauhäufigkeit von einmal in drei Jahren zulässig. Demnach ist der hydraulische Nachweis für dieses Modell nicht erfüllt.

3.5.2 Einzelmodellregen – Euler-Typ-II mit Wiederkehrzeit von 20 a

Simulationsmodell 07 Nachweis erfüllt: Ja Nein

Simulationsmodell 08 Nachweis erfüllt: Ja Nein

Bei Anwendung des Einzelmodellregens nach Euler Typ II zeigt sich dasselbe Ergebnis für den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Sickerschächte. Auch hier kommt es beim Simulationsmodell 08 zu einem Überstau, hingegen beim Simulationsmodell 07 der Nachweis erfüllt wird.

3.5.3 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der beiden Nachweisverfahren zeigen, dass die Simulation mittels Einzelmodellregen nach Euler-Typ-II dem des Niederschlagskontinuum in seiner Aussage gleich kommt. Aufgrund der geringen Simulationsdauer eignet sich das Nachweisverfahren des Einzelmodellregens gut für Abschätzungen bzw. Vorbemessungen. Für eine bessere bzw. detailliertere Darstellung des Modells, sollte jedoch mit real gemessenen Daten, also mit Niederschlagskontinuen, simuliert werden, da mit dem Einzelmodellregen nicht immer alle Fragestellungen bezüglich dem Niederschlagsverhalten abgedeckt werden können. Es ist also zu empfehlen, wenn möglich, auf gemessene Langzeitregenserien über mehrere Jahre zurückzugreifen.

3.6 Berechnung der Lebenszykluskosten der ausgewählten Modelle

Um die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Modelle aufzeigen zu können, sind anhand der in Kapitel 2.5.1 angeführten Parameter, Tabelle 2-18, Tabelle 2-19 und Tabelle 2-21, die Herstellungs-, Betriebs- und Gesamtkosten für die jeweilig eingesetzten Maßnahmen berechnet worden. Für die Kostenaufstellung wurde das Modell 01 - Referenzmodell, das Modell 07 – kombinierte LIDs und das Modell 08 – geplantes Modell herangezogen. Das Modell 01 dient wieder als Referenz, um die wirtschaftlichen Auswirkungen der Behandlungsmaßnahmen aufzuzeigen.

Die Tabelle 3-9 zeigt die Lebenszykluskosten für die Umsetzung der NWB-Maßnahmen für die gewählten Modelle. Der Betrachtungszeitraum wurde auf eine Nutzungsdauer von 30 Jahren festgelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 3-9: Lebenszykluskosten für die Umsetzung der NWB-Maßnahmen für die gewählten drei Modelle

	Fläche	Anlage	Menge	Einheit	ND	Herstellkosten	Betriebskosten	Gesamtkosten	
Modell 01	Dachfläche	Kiesdach 10cm	936	[m ²]	20	€ 22.464,00	€ 10.954,79	€ 33.418,79	
	Terrasse Mensa	Betonfläche 20cm	126	[m ²]	25	€ 5.040,00	€ 16.626,60	€ 21.666,60	
	Schulhof	Asphaltfläche 20cm	660	[m ²]	15	€ 5.808,00	€ 94.548,45	€ 100.356,45	
							€ 33.312,00	€ 122.129,84	€ 155.441,84
	Fläche	Anlage	Menge	Einheit	ND	Herstellkosten	Betriebskosten	Gesamtkosten	
Modell 07	Dachfläche	Gründach ext.	748	[m ²]	30	€ 18.700,00	€ 29.322,26	€ 48.022,26	
	Dachfläche	Gründach int.	188	[m ²]	30	€ 11.280,00	€ 18.424,41	€ 29.704,41	
	Terrasse Mensa	Betonsteinpflaster	126	[m ²]	40	€ 3.150,00	€ 2.469,66	€ 5.619,66	
	Schulhof	Schotterrasen	660	[m ²]	40	€ 9.900,00	€ 12.936,29	€ 22.836,29	
							€ 43.030,00	€ 63.152,62	€ 106.182,62
		Speicherbecken		452	[m ²]	50	€ 6.248,00	€ 35.437,60	€ 41.685,60
		Speicherbecken		1136	[m ² A _{red}]				
		Regentonne		2	Stk	10	€ 1.314,00	€ 0,00	€ 1.314,00
		Regenwasser-nutzungsanlage		100	m ³	60	€ 65.000,00	€ 7.738,25	€ 12.738,25
		Regenwasser-nutzungsanlage		658	[m ² A _{red}]				
		Sickerschacht		3	Stk	30	€ 4.500,00	€ 354,77	€ 4.854,77
	Sickerschacht		362	[m ² A _{red}]					
						€ 120.092,00	€ 106.683,24	€ 226.775,24	
	Fläche	Anlage	Menge	Einheit	ND	Herstellkosten	Betriebskosten	Gesamtkosten	
Modell 08	Dachfläche	Gründach ext.	936	[m ²]	30	€ 23.400,00	€ 36.692,03	€ 60.092,03	
	Terrasse Mensa	Betonfläche 20cm	126	[m ²]	25	€ 5.040,00	€ 16.626,60	€ 21.666,60	
	Schulhof	Asphaltfläche 20cm	660	[m ²]	15	€ 5.808,00	€ 94.548,45	€ 100.356,45	
							€ 34.248,00	€ 147.867,07	€ 182.115,07
		Sickerschacht		13	Stk	30	€ 19.500,00	€ 699,74	€ 20.199,74
		Sickerschacht		714	[m ² A _{red}]				
						€ 53.748,00	€ 148.566,81	€ 202.314,81	

Legende für die Tabelle 3-9:

ND...Nutzungsdauer in Jahren

A_{red}...abflusswirksame Gesamtfläche

Gründach ext....extensives Gründach ≤ 15cm

Gründach int....intensives Gründach ≥ 25cm

3.6.1 Wirtschaftlichkeit

Anhand der zuvor ermittelten Herstell-, Betriebs- und Gesamtkosten, angeführt in der Tabelle 3-9 und den Ergebnissen der Wasserbilanz, können nun die naturnahen Maßnahmen zur Behandlung des Niederschlagswassers auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden. In der Tabelle 3-10 wird die Reduktion des Oberflächenabflusses durch die eingesetzten LIDs und ihren dazugehörigen Herstellungskosten abgebildet.

Tabelle 3-10: Reduktion des Oberflächenabflusses durch den Einsatz von LIDs und den dazugehörigen Herstellungskosten

LIDs	Reduktion des Oberflächenabflusses	Herstellungskosten
Gründach extensiv + intensiv	1,86 mm/100 m ²	32 €/m ²
Schotterrasen	0,93 mm/100 m ²	15 €/m ²
teildurchlässige Flächen	3,13 mm/100 m ²	20 €/m ²
Speicherbecken	0,72 mm/100 m ²	5,5 €/m ³ A _{red}
Zisterne	1,71 mm/100 m ²	650 €/m ³

Anhand der Tabelle 3-10 ist ersichtlich, dass aus den Simulationsergebnissen als wirtschaftlichste und effizienteste Maßnahme für die Behandlung des Niederschlagswassers teildurchlässige Flächen hervorgehen. Da jedoch ihre Herstellungsformen und dadurch auch ihre Herstellungskosten stark variieren können, kann diese Aussage nur auf dieses Projekt spezifisch festgehalten werden. Im Allgemeinen ist somit die Begrünung von Dachflächen als wirtschaftlichste Maßnahme zur Entwässerung der Oberflächen anzusehen.

Um jedoch eine qualitative Aussage bezüglich der Wirtschaftlichkeit der eingesetzten NWB-Maßnahmen in Kombination treffen zu können sind weitere Kostenvergleiche aufgestellt worden. Hierbei sind vorerst nur die Flächen gegenübergestellt worden, welche in allen drei Modellen vorhanden und somit auch 1:1 vergleichbar sind. Bei dieser Aufstellung wurden zusätzliche naturnahe Maßnahmen, wie zum Beispiel Speicherbecken oder Sickerschächte, nicht mit einbezogen.

Zur besseren Darstellung wurden die ermittelten Kostenstellen für die drei Modelle nochmals separat in der Tabelle 3-11 zusammengefasst. Diese Tabelle zeigt, um wie viel Prozent eine NWB-Maßnahme, gegenüber dem Referenzmodell Modell 01, teurer bzw. billiger in Bezug auf die Herstell-, Betriebs- und Gesamtkosten wäre.

Tabelle 3-11: prozentualer Kostenvergleich der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell Modell 01 bei einer Nutzungsdauer über 30 Jahre mit ausgewählten LIDs

Modell	Herstellkosten	Δ HK	Betriebskosten	Δ BK	Gesamtkosten	Δ GK
Modell 01	€ 33.312,00		€ 122.129,84		€ 155.441,84	
Modell 07	€ 43.030,00	+ 23 %	€ 63.152,62	- 93 %	€ 106.182,62	- 46 %
Modell 08	€ 34.248,00	+ 3 %	€ 147.867,07	+17 %	€ 182.115,07	+ 15 %

Legende für die Tabelle 3-11:

Δ HK...Differenz der Herstellkosten
 Δ GK...Differenz der Gesamtkosten

Δ BK...Differenz der Betriebskosten

Durch den Einsatz von unterschiedlichen naturnahen Bewirtschaftungsmaßnahmen im Einzugsgebiet, beschrieben durch das Simulationsmodell 07, stiegen die Herstellungskosten um 23 %. Bei dem geplanten Bewirtschaftungsmodell der Firma Geolith Consult, Modell 08, stiegen die Herstellungskosten nur um 3 %. Betrachtet man die Modelle jedoch über einen längeren Zeitraum, hier gewählt 30 Jahre, ergibt sich für das Modell 07 eine Ersparnis der Gesamtkosten von 46 %. Bei dem Modell 08 ist hingegen eine Steigerung der Gesamtkosten von 15 % ersichtlich. Aufgrund der durchschnittlich geringen Betriebskosten für Niederschlagsbehandlungsmaßnahmen, Modell 07 verweist konkret eine Reduktion von 93 % gegenüber dem Referenzmodell auf, ist deren Einsatz nicht nur eine naturnahe sondern auch eine wirtschaftliche Lösung.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der gesamten eingesetzten Bewirtschaftungsmaßnahmen in den einzelnen Simulationsmodellen ist in der Tabelle 3-12 die prozentuale Kostenänderung für die Simulationsmodelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell 01 aufgestellt. Welche Maßnahme für welches Modell und auf welcher Fläche eingesetzt wurde, kann der Tabelle 3-9 entnommen werden.

Tabelle 3-12: prozentualer Kostenvergleich der Modelle 07 und 08 gegenüber dem Referenzmodell Modell 01 bei einer Nutzungsdauer über 30 Jahre mit allen eingesetzten LIDs

Modell	Herstellkosten	Δ HK	Betriebskosten	Δ BK	Gesamtkosten	Δ GK
Modell 01	€ 33.312,00		€ 122.129,84		€ 155.441,84	
Modell 07	€ 120.092,00	+ 72 %	€ 106.683,24	- 14 %	€ 226.775,24	+ 31 %
Modell 08	€ 53.748,00	+ 38 %	€ 148.566,81	+18 %	€ 202.314,81	+ 23 %

Legende für die Tabelle 3-12:

Δ HK...Differenz der Herstellkosten

Δ BK...Differenz der Betriebskosten

Δ GK...Differenz der Gesamtkosten

In Bezug auf die Prüfung der Wirtschaftlichkeit der gesamten NWB-Maßnahmen im Simulationsmodell kann aufgezeigt werden, dass die Herstellungskosten für das Modell 07 um 72 % gegenüber dem Referenzmodell steigen. Beim Simulationsmodell 08 nehmen die Herstellungskosten, aufgrund dem Einsatz von Sickerschächten, um 38 % zu. Obwohl die Betriebskosten beim Modell 07 wieder gering ausfallen und sich um 14 % reduzieren, erhöhen sich die Gesamtkosten um 31 %. Beim Modell 08 wird eine Steigerung der Gesamtkosten um 23 % verzeichnet.

3.6.2 Kosteneinsparungen

Der Einsatz naturnaher Bewirtschaftungsanlagen für die Behandlung von Niederschlagswasser wird in vielen Städten und Gemeinden in Österreich gefördert. Nach der Förderungsrichtlinien für kommunale Siedlungswasserwirtschaft des Bundes (BMLFUW, 2016) und den Förderungsrichtlinien Siedlungswasserwirt-

schaft des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2016) sind sämtliche NWB-Maßnahmen, wie die Schaffung von Retentionsbecken für Regenwasser aus Siedlungsgebieten oder die Realisierung einer Regenwasserbehandlungsanlage, im Bundesland Steiermark für eine Förderung fähig (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2017).

Diese Förderung kann laut dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2017) unter anderem von Verbänden, Gemeinden und Genossenschaften beantragt werden und entspricht in Bezug auf die Bundesförderung 10 % bis 40 % der förderungsfähigen Investitionskosten und auf Landesebene 7 % bis 12 % der förderungsfähigen Investitionskosten.

Ebenso können Kosten bei der Nutzung von Niederschlagswasser eingespart werden. Regenwassernutzungsanlagen sind zwar in ihrer Anschaffung relativ teuer, rentieren sich aber meist schon nach wenigen Jahren (Sieker, 2001). Durch die Verwendung einer solchen Anlage für den Bildungscampus Smart City Graz Volksschule können sämtliche Toilette-Anlagen mit Niederschlagswasser versorgt werden. Anhand der Simulationsergebnisse, Kapitel 3, ist mit einem Speichervorrat von rund 560 m³ Niederschlagswasser in einem Jahr zu rechnen. Angesichts der benötigten Wassermenge pro Jahr für die Toilettenspülung ist diese Menge ausreichend, um eine Trinkwasserkosteneinsparung von 100 % im Jahr für die Toilette-Anlagen zu erzielen.

Die Berechnungsergebnisse für die benötigte Wassermenge pro Jahr und den Trinkwasserkosten sind der Tabelle 3-13 zu entnehmen. In der Berechnung sind die Investitions- und Betriebskosten der Regenwassernutzungsanlage unberücksichtigt geblieben.

Tabelle 3-13: Berechnung der Trinkwasserkosteneinsparung unter Verwendung einer Regenwassernutzungsanlage für die Volksschule Smart City Graz

	Einzelwerte	Angaben pro Jahr
Anzahl der Volksschulkinder	350 Kinder ^[1]	
Anzahl der Schultage pro Jahr	185 Tage/Jahr	
Wasserverbrauch WC-Spülung	6 L/ Kind und Tag ^[2]	388.500 L/Jahr
Trinkwasserkosten	2,01 €/100 L ^[3]	7.809 €/Jahr
Regenwassernutzungsanlage		557.000 L/Jahr
Trinkwasserersparnis		388.500 L/Jahr
Trinkwasserkostenersparnis		7.809 €/Jahr

Legende für die Tabelle 3-13:

[1]...(Stadtbaudirektion Graz, 2015); 700 Schüler insgesamt; angenommen: 350 NMS, 350 VS

[2]...(DIN 1989-1, 2002)

[3]...(Holding Graz GmbH, 2017)

Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen in den Simulationsmodellen 07 und 08 wird das Niederschlagswasser gespeichert und zurückgehalten. Der dennoch anfallende Oberflächenabfluss wird in Sickerschächte eingeleitet und zum Versickern gebracht. Aufgrund dieser Behandlung des Niederschlagswassers wird kein Regenwasser dem Kanalisationssystem zugeführt und der Kanalisationsbeitrag für angeschlossene Hofflächen und angeschlossene unbebaute Flächen entfällt zur Gänze. Dies würde eine weitere Kostenersparnis, dargestellt in Tabelle 3-14, von rund 15.400 € mit sich bringen.

Tabelle 3-14: Berechnung der Einsparung des Kanalisationsbeitrages unter Verwendung von NWB-Maßnahmen für die Volksschule Smart City Graz

Kanalisationsbeitrag pro Jahr	10,35 €/m ² angeschl. Hoffläche ^[1]
	2,07 €/m ² angeschl. unbeb. Fläche ^[1]
angeschlossene Hoffläche	1136 m ²
angeschlossene unbebaute Fläche	1751 m ²
Ersparnis des Kanalisationsbeitrages	15.382 €/Jahr

Legende für die Tabelle 3-14:

[1]...(Holding Graz GmbH, 2017)

Zusammenfassend kann der Einsatz von naturnahen Behandlungsmaßnahmen für das Niederschlagswasser in Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit durchaus positiv bewertet werden. Die hohen Anschaffungskosten können aufgrund der geringen Betriebskosten wieder ausgeglichen werden. Zudem besitzen NWB-Maßnahmen eine hohe Nutzungsdauer und können somit ohne größere Instandhaltungskosten viele Jahre eingesetzt werden. Einsparungen in den Herstellungskosten können durch Förderungen erzielt werden. Trink- und Abwassergebühren können ebenfalls mit dem Einsatz von naturnahen Bewirtschaftungsmaßnahmen eingespart werden.

4 Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick

Grünflächen und unbebaute Gebiete nehmen aufgrund der wachsenden Bevölkerungsdichte immer weiter ab. Der hohe Anteil an befestigten und undurchlässigen Flächen bietet dem anfallenden Niederschlag keine Möglichkeit zur Rückhaltung und fließt somit als Oberflächenabfluss, ohne weitere Verzögerung, direkt in das Kanalsystem ab. Dabei wird das vorhandene Kanalsystem zusätzlich mit zum Teil nur gering verschmutztem Wasser belastet, was wiederum bei Starkregenereignissen zu einer hydraulischen Überlastung führen kann. Durch das rasche Ableiten können zudem Abflussspitzen entstehen, welche bei der Einleitung in ein Fließgewässer eine Schädigung der Gewässerökologie hervorrufen. Versiegelte Flächen verhindern, dass Wasser in den Untergrund infiltriert wird und dass die Grundwasserspeicher mit dem Niederschlagswasser angereichert werden. Aufgrund der geringen bis nicht vorhandenen Speicherwirkung von befestigten Flächen, kann auch kein Niederschlagswasser verdunsten. Ein zunehmend wärmeres Stadtklima ist die Folge daraus.

Nachhaltige und naturnahe Entwässerungssysteme geben die Möglichkeit das anfallende Niederschlagswasser wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zuzuführen. Dabei wird darauf geachtet, einen natürlichen Fließprozess des Wassers zu verfolgen. Ziel einer naturnahen Bewirtschaftung ist das Entstehen eines Oberflächenabflusses möglichst zu vermeiden oder zumindest zu verringern und ihn nahe dem Entstehungsort, also dezentral, zu behandeln. Das Regenwasser wird je nach Behandlungsmaßnahme versickert, verdunstet, zurückgehalten, gespeichert oder gedrosselt abgeleitet.

Durch die Versickerung des Niederschlagswassers kommt es zu einer Grundwasserneubildung, welche somit die Gewährleistung des Trinkwassersbedarfs sicherstellt. Zur Minimierung des Hochwasserrisikos und zur Entschärfung der Abflussspitzen kann der anfallende Oberflächenabfluss gespeichert, zurückgehalten und zu einem späteren Zeitpunkt gedrosselt in einen Vorfluter oder ein Kanalsystem eingeleitet werden. Zudem fördert eine oberirdische Speicherung die Verdunstung. Um den Trinkwasserverbrauch im Haushalt zu reduzieren kann das Niederschlagswasser für Brauchwasserzwecke oder der Gartenbewässerung mit Einsatz einer Regenwassernutzungsanlage eingesetzt werden.

Es stehen viele Möglichkeiten für die dezentrale Bewirtschaftung von Niederschlagswasser bereit. Aber nicht jede Anlage ist für jede Situation bzw. jedes Einsatzgebiet geeignet, deshalb ist eine sorgfältige Betrachtung des Einzugsgebietes ausschlaggebend für die richtige Wahl der Behandlungsanlage. Zudem müssen die gesetzlichen Anforderungen und Richtlinien, für die Errichtung, die Bemessung und den Betrieb einer Bewirtschaftungsmaßnahme eingehalten werden. Soll zum Beispiel eine Versickerungsmaßnahme zum Einsatz kommen, ist

die Eignung der zu entwässernden Fläche und des Untergrundes zu prüfen. Ebenso sind Anforderungen an den Grundwasserschutz einzuhalten. Erheblich mit Schadstoffen belastete Oberflächenabflüsse müssen vor der Versickerung mit technischen Behandlungsmaßnahmen gereinigt werden.

Mit Hilfe von hydrodynamischer Simulationssoftware ist es möglich, die Wirkung von naturnahen Behandlungsmaßnahmen von Niederschlagswasser schon im Vorhinein in einem Einzugsgebiet zu simulieren und so die effizienteste Lösung zu finden.

Im Rahmen dieser Masterarbeit sind mit der Simulationssoftware PCSWMM, einem professionellen Softwaresystem für Regenwasserbewirtschaftung und Abwassermodellierung, unterschiedliche Entwässerungssysteme für das Projektgebiet Smart City Graz – Volksschule modelliert und in weitere Folge über eine Langzeitniederschlagsserie von zehn Jahren simuliert worden. In PCSWMM werden diese naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftungssysteme in Form von LIDs (Low Impact Development) nachgebildet. Die verwendeten LIDs sind jeweils separat im Einzugsgebiet angewendet worden, um die ermittelte Änderung der Wasserbilanzkomponenten eindeutig dem LID zuordnen zu können. Zum Einsatz kamen extensiv und intensiv begrünte Dächer, Speicherbecken, Zisternen und durchlässig gestaltete Flächen. Durch die Simulation dieser naturnahen Behandlungsmaßnahmen im Einzugsgebiet konnte eine Reduzierung des Oberflächenabflusses, eine Steigerung der Evaporation und eine positive Speicheränderung erzielt werden. Zu Demonstrationszwecken und mit dem Hintergrund, den Oberflächenabfluss soweit wie möglich zu minimieren, ist in zwei Modellvarianten eine Kombination aus unterschiedlichen LIDs realisiert worden.

Die Ergebnisse für die Wasserbilanz, welche aus den einzelnen Simulationsmodellen erworben werden konnten, sind jedoch projektspezifisch zu betrachten. Die Berechnungsergebnisse der Simulation für eine Bewirtschaftungsmaßnahme sind immer nur so genau, wie die hinterlegten Randbedingungen. Die gewählten Simulationsparameter in dieser Arbeit beruhen rein auf Literaturwerten, deshalb können mögliche Fehlerquellen nicht ausgeschlossen werden. Für eine detaillierte Betrachtung bzw. Simulation, welchen Einfluss naturnahe Maßnahmen zur Behandlung des Niederschlagswassers auf die Wasserbilanz nehmen, müssten Probemessflächen am Einzugsgebiet erstellt werden. Anhand dieser gemessenen Parameter kann eine Kalibrierung des Simulationsmodells durchgeführt werden.

Naturnahe Bewirtschaftungssysteme bringen eine Verbesserung der Wasserbilanz, jedoch sind sie in ihrer Anschaffung noch relativ teuer. Die Kostenaufstellung zeigt, dass, betrachtet man nur die Herstellkosten, die Kosten gegenüber einer versiegelten und befestigten Fläche fast doppelt so hoch ausfallen. Im Hinblick auf ihre Nutzungsdauer und den daraus resultierenden laufenden Betriebskosten erweisen sich solche Anlagen zur Behandlung des Niederschlagswassers

jedoch als sehr kostensparend. Zudem wird in Österreich der Einsatz von naturnahen Maßnahmen gefördert und durch die Speicherung und weitere Nutzung des Wassers können die Trinkwasserkosten ebenfalls reduziert werden. Durch die Reduzierung oder gar Vermeidung des Oberflächenabflusses kann der Kanalisationsbeitrag gesenkt werden.

Unter Betrachtung des nachhaltigen Schutzes der Umwelt und in Bezug auf die Verbesserung der Wasserbilanz ist die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers mit naturnahen Maßnahmen eine ökonomische, ökologische und, auf ihre Nutzungsdauer gesehen, eine wirtschaftliche Lösung und wird in nächster Zukunft eine zunehmend bedeutende Rolle in der Siedlungswasserwirtschaft spielen. Fakt ist aber auch, dass nicht immer eine dezentrale Maßnahme für die Behandlung des Regenwassers realisiert werden kann. Welches System wo am besten zum Einsatz kommt hängt vorwiegend von den örtlichen Randbedingungen ab. Wichtig ist aber, zu versuchen, das Abflussgeschehen und somit den Wasserhaushalt von bebauten oder besiedelten Flächen wieder an den ursprünglichen Wasserhaushalt einer unbebauten, natürlich gewachsenen Fläche anzunähern.

Für den Bildungscampus Smart City Graz – Waagner-Biro empfehle ich eine Kombination aus unterschiedlichen naturnahen Bewirtschaftungsmaßnahmen zu wählen, um einen ausgeglichenen Wasserhaushalt, in Bezug auf Speicherung, Verdunstung und Versickerung, zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- AAEV (1996) Allgemeine Abwasseremissionsverordnung. RIS - Rechtsinformationssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010977> (Zugegriffen 12. November 2017).
- AB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2011) Allgemeine Bedingungen für den Anschluss an den öffentlichen Kanal der Stadt Graz und für die Einleitung von Abwässern.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2017) Förderung - Regenwasserbewirtschaftung. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. [online] <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/12000876/107168336> (Zugegriffen 4. Dezember 2017).
- Amt der steiermärkischen Landesregierung (2016) Förderungsrichtlinien Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.
- Amt der steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.) (2012) Leitfaden für Oberflächenentwässerung 2.0.
- Amt der steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.) (2013) Regenwasserbewirtschaftungskonzept - Leitlinie.
- Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.) (2007) Oberflächenentwässerung - Leitfaden zum Umgang mit Niederschlagswässern aus Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächen.
- Assinger, C. (2012) Niederschlagswasserbewirtschaftung - Analyse, Möglichkeiten und Empfehlungen für Graz.
- Baisch, J. (2017) Wasserkreislauf. Institute Water for Africa. [online] <https://www.water-for-africa.org/de/hydrologie/articles/wasserkreislauf.html> (Zugegriffen 24. November 2017).
- BauG (1995) Steiermärkisches Baugesetz. RIS - Rechtsinformationssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000070> (Zugegriffen 12. November 2017).
- BENZ24 (2016) Regenwasser - Nutzung & Bewirtschaftung.
- BMLFUW (2016) Förderung kommunale Siedlungswasserwirtschaft. [online] https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/foerderungen/trinkwasser_abwasser/neueFRL.html (Zugegriffen 5. Dezember 2017).
- BMLFUW-QZV Chemie GW (2010) Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW. Ministerium für ein lebenswertes Österreich. [online] https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/planung/QZVChemieGW.html (Zugegriffen 12. November 2017).

- BMLFUW-QZV Chemie OG (2006) Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG. Ministerium für ein lebenswertes Österreich. [online] https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/planung/QZVChemieOG.html (Zugegriffen 12. November 2017).
- BMLFUW-WRRL (2000) Die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Ministerium für ein lebenswertes Österreich. [online] https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/plan_gewaesser_ngp/umsetzung_wasserrahmenrichtlinie/eu_wrrl.html (Zugegriffen 12. November 2017).
- Bullermann, M. & Sperfeld, D. (2004) Regenwassernutzung - Sparpotenzial im Unternehmen. Erneuerbare Energie - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE Dachverband. [online] http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=480&Itemid=113 (Zugegriffen 17. September 2017).
- Burkhardt, M., Zuleeg, S., Roger, V., Haag, R., Schmid, P., Hean, S., Bester, K., & Boller, M. (2009) *Diffuse Belastung von Regenabwasser durch organische Problemstoffe und offene Fragen zum Regenwasser-Management*,
- CHI (2017) LID control editor - PCSWMM Help. CHI - Computational Hydraulics Int. [online] <https://support.chiwater.com/77680/lid-control-editor> (Zugegriffen 26. September 2017).
- Chow, V. T. (1959) *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill, New York [u.a.].
- Diaz-Fierros T., F., Puerta, J., Suarez, J., & Diaz-Fierros V., F. (2002) Contaminant loads of CSOs at the wastewater treatment plant of a city in NW Spain. *Urban Water*, **4**(3), 291–299.
- DIN 1989-1 (2002) Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung.
- DWA (2012) Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenrechnung (KVR-Leitlinie).
- DWA-A 138 (2005) Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung - Arbeitsblatt DWA-A 138.
- Dysli, M. (2000) SN 670 010b. Coefficients caractéristiques des sols. *Strasse und Verkehr*, **86**(3), 93–94.
- eHYD (2008) eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs. eHYD - Hydrologischer Dienst in Österreich. [online] <http://ehyd.gv.at/#> (Zugegriffen 29. November 2017).
- Engman, T. (1986) Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-asce - J IRRIG DRAIN ENG-ASCE*, **112**.
- ERZ (2014) Retention und Versickerung im Liegenschaftsbereich der Stadt Zürich.

- Fitz, S. (2006) Grundlagen zum Thema Regenwasser. Wasserstadtplan Freiburg. [online] http://wasserstadtplan-freiburg.akwasser.de/regenn_grundlagen.php (Zugegriffen 20. Mai 2017).
- FLL (2008) „Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen (Dachbegrünungsrichtlinie)“. [online] https://www.fll.de/nc/news/einzelansicht.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=243&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=70ebf692943705012bd94300b5fb494d (Zugegriffen 25. November 2017).
- Gantner, K. (2003) Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden. [online] <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/771> (Zugegriffen 30. November 2017).
- GB-Holding Graz Services Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2011) Geschäftsbedingungen für Indirekteinleitungen in die öffentliche Kanalisationsanlage der Landeshauptstadt Graz.
- Geiger, Dreiseitl, & Stempleski (2009) *Neue Wege für das Regenwasser - Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten*, Oldenburg Industrieverlag.
- George H. Hargreaves & Zohrab A. Samani (1985) Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, **1**(2), 96–99.
- Graz-Präsidialabteilung, S. der L. G. (2017) Statistik: Graz in Zahlen. www.graz.at. [online] https://www.graz.at/cms/beitrag/10247456/7749761/Statistik_Graz_in_Zahlen.html (Zugegriffen 23. November 2017).
- Halbach, U. (2012) Ausgewählte Entwässerungssysteme für Ortschaften. Institut für Wasserwirtschaft Halbach. [online] http://www.institut-halbach.de/2003/06/einfuehrung-in-die-siedlungsentwaesserung/kanal_abb01/ (Zugegriffen 28. August 2017).
- Hammer, C. (2012) „Wetter und Klima - Kondensation, Wolkebildung, Niederschlag“
- Hargreaves, G. H. & Merkle, G. P. (1998) *Irrigation Fundamentals: An Applied Technology Text for Teaching Irrigation at the Intermediate Level*, Water Resources Publication.
- Heger, P. (2017) Grundwasserspiegel auf Rekord-Tief: Diese Probleme drohen. [wetter.com](http://www.wetter.com). [online] http://www.wetter.com/news/grundwasserspiegel-auf-rekord-tief-diese-probleme-drohen_aid_5899a087cebfc0f5658b45a6.html (Zugegriffen 14. November 2017).

- Herzer, P. (2004) Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau.
- Hestermann, U. & Rongen, L. (2008) „Flachdächer“ in Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2. Vieweg+Teubner, 193–246. [online] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-9486-1_2 (Zugegriffen 28. November 2017).
- Hofius, K. (2001) Abfluss - Lexikon der Geographie. spektrum. [online] <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/abfluss/10> (Zugegriffen 5. Jänner 2018).
- Holding Graz GmbH (2017) Wasserpreise, Abwassergebühren und Entgelte. Holding Graz - Kommunale Dienstleistungen GmbH. [online] <http://www.holding-graz.at/graz-wasserwirtschaft/gebuehrenentgeltepreise/wasserpreise.html> (Zugegriffen 3. Dezember 2017).
- Holding Graz Services Wasserwirtschaft (2012) „Wasserwirtschaft - Wir machen Graz lebenswert“
- Hornbach Österreich (2017) Regenwasser-Top-Tank 1300 Liter. Hornbach. [online] <https://www.hornbach.at/shop/Regenwasser-Top-Tank-1300-Liter/3870261/artikel.html> (Zugegriffen 1. Dezember 2017).
- Hüftling, G., Jäger-Katzmann, S., Muerth, P., Pendl, M., & Tributsch, I. (2009) „Logisch gedacht ist ökologisch bedacht“ - Ein Leitfaden für die Dachbegrünung.
- iStock, Z. geändert (2017) Child washing hands after bathroom. iStock. [online] <https://www.istockphoto.com/at/vektor/kind-h%C3%A4nde-waschen-gm478840030-67584073> (Zugegriffen 1. Dezember 2017).
- IZB (2017) Verkehrsflächen - Beton. beton.org. [online] <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OOB7AuBKle0J:https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/verkehrsflaechen/+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=at> (Zugegriffen 1. Dezember 2017).
- Johnscher, L. (2016) Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung - Auswirkungen auf den urbanen Wasserhaushalt.
- Kanalgesetz (1988) Kanalgesetz 1988. RIS - Rechtsinformationssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000938> (Zugegriffen 12. November 2017).
- Köppen, W. (1918) Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf.
- Krebs, G. (2016) *Spatial Resolution and Parameterization of an Urban Hydrological Model: Requirements for the Evaluation of Low Impact Development Strategies at the City Scale*, Aalto University. [online] <https://aalto-doc.aalto.fi:443/handle/123456789/20293> (Zugegriffen 12. März 2017).

- Kreis Siegen-Wittgenstein, Fachservice Umwelt (Hrsg.) (2013) Umgang mit Niederschlagswasser.
- Kunze, W. (2017) LKG Fachbegriffe. LKG - Ingenieurbüro für Bautechnik. [online] <http://www.elkage.de/src/public/showterms.php?id=1075> (Zugegriffen 4. Oktober 2017).
- LBV-SH (2017) Der Bau der Chaussee. Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein. [online] <http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/LBVSH/Aufgaben/Strassenbau/KielAltonaerChaussee/Bau/bauderchaussee.html;jsessionid=BDC2CB85E53AE725F7E9C2D6ADA3190B?nn=1270382> (Zugegriffen 4. Oktober 2017).
- LfU (Hrsg.) (2016) Naturnaher Umgang mit Regenwasser – Verdunstung und Versickerung statt Ableitung.
- Loizenbauer, Weissenbrunner, & Laschan (2017) Geologisch-Geotechnisches Gutachten - Projekt Neubau Bildungscampus Smart City Volksschule.
- Magistrat Graz (1999) Statistisches Jahrbuch 1999 der Landeshauptstadt Graz.
- Marsalek, J., Cisneros, B. J., Karamouz, M., Malmquist, P.-A., Goldenfum, J. A., & Chocat, B. (2008) *Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series - UNESCO-IHP*, CRC Press.
- Max-Planck-Institut für Meteorologie (2018) Wie entstehen Wolken und Niederschlag? Max-Planck-Institut für Meteorologie. [online] <https://www.mpi-met.mpg.de/kommunikation/fragen-zu-klima-faq/wie-entstehen-wolken-und-niederschlag/> (Zugegriffen 5. Jänner 2018).
- McCuen, R. H. (1989) *Hydrologic analysis and design*, Prentice Hall PTR.
- Muschalla, D. (2015) Hydrologie.
- Muschalla, D., Gruber, G., & Scheucher, R. (2014) ECOSTORMA - Handbuch - Ökologische und ökonomische Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung.
- Nehls, T., Menzel, M., & Wessolek, G. (2015) Depression storage capacities of different ideal pavements as quantified by a terrestrial laser scanning-based method. *Water Science & Technology*, **71**(6), 862–869.
- Nimmo, J. R. (2004) Encyclopedia of Soils in the Environment. Porosity and Pore Size Distribution., 295–303.
- ODOT (2014) APPENDIX A - HYDRAULIC ROUGHNESS (MANNING'S n) VALUES OF CONDUITS AND CHANNELS.
- ÖNORM B 2506-1 (2013) Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigte Flächen.

- ÖNORM B 3691 (2012) Planung und Ausführung von Dachabdichtungen - ÖNORM B 3691:2012 12 01.
- ÖNORM EN 752 (2008) Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.
- Optigrün (2017) Schichtaufbau | Der Dachbegrünung Ratgeber von www.optigruen.de. Optigrün international AG. [online] <http://www.dachbegruenung-ratgeber.de/dachbegruenung-material-und-einbau/schichtaufbau> (Zugegriffen 2. Dezember 2017).
- ÖWAV (2007) Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19.
- ÖWAV Regelblatt 9 (2008) Richtlinien für die Anwendung er Entwässerungsverfahren.
- ÖWAV Regelblatt 11 (2009) Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen.
- ÖWAV Regelblatt 35 (Hrsg.) (2003) Behandlung von Niederschlagswässern.
- ÖWAV Regelblatt 45 (2015) Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund.
- QZV-Chemie GW (2010) Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser. RIS - Rechtsinformationssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/Geltende-Fassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006738> (Zugegriffen 12. November 2017).
- Rawls Walter J., Brakensiek Donald L., & Miller Norman (1983) Green-ampt Infiltration Parameters from Soils Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, **109**(1), 62–70.
- Riccabona, C., Mezera, K., & Bednar, T. (2010) *Baukonstruktionslehre*, Manz [u.a.], Wien.
- Richtlinie 2000/60/EG (Hrsg.) (2000) EU-Wasserrahmenrichtlinie. [online] <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/wasser/eu-wrrl/> (Zugegriffen 12. November 2017).
- Rohde, F. & Loew, T. (2011) *Smart City: Begriff, Charakteristika und Beispiele*, Wiener Stadtwerke Holding AG.
- Rossmann, L. (2015) Storm Water Management Model - User's Manual Version 5.1.
- Rossmann, L. & Huber, W. (2016a) Storm Water Management Model Reference Manual - Volume I - Hydrology (Revised).
- Rossmann, L. & Huber, W. (2016b) Storm Water Management Model Reference Manual - Volume III – Water Quality.

- Samimi, C. & Strobel, B. E. (2003) Das Stadtklima von Erlangen unter Berücksichtigung kleinräumiger stadtklimatischer Strukturen. *Mitteilungen der Fränkischen Geographischen Gesellschaft*, **50/51**, 147–178.
- Saxton, K. E. & Rawls, W. J. (2006) Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, **70**(5), 1569–1578.
- Schönemann, S. (2008) Von der Investition zur Rendite - Kosten - Nutzen-Rechnungen von Dachbegrünungen.
- SENSW (2013) 02.13 Oberflächenabfluss, Versickerung, Gesamtabfluss und Verdunstung aus Niederschlägen.
- Sieker, F., Sieker, H., Bandermann, S., Huhn, V., & Stecker, A. (2003) *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten*, expert verlag.
- Sieker, H. (2007) Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung. UNITRACC.de. [online] <https://www.unitracc.de/aktuelles/artikel/dezentrale-regenwasserbewirtschaftung> (Zugegriffen 14. Dezember 2017).
- Sieker, H. (2001) *Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten*, Inst. für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Darmstadt.
- Skotnicki, M. & Sowiński, M. (2015) The influence of depression storage on runoff from impervious surface of urban catchment. *Urban Water Journal*, **12**(3), 207–218.
- Stadtbaudirektion Graz (2015) moreText_NEWS: Schulcampus WB | Smart City Graz. Smarter Schulcampus für 700 „smarte Kids“. [online] <http://www.smartcitygraz.at/moretexnews-schulcampus-wb/> (Zugegriffen 5. Dezember 2017).
- Stadtbaudirektion Graz (2017) Smart City Graz. Smart City Graz. [online] <http://www.smartcitygraz.at/> (Zugegriffen 20. November 2017).
- Stahr, M. & Hinz, D. (2011) „Gründachgestaltung“ in Sanierung und Ausbau von Dächern. Vieweg+Teubner, 611–628. [online] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-8137-3_15 (Zugegriffen 28. November 2017).
- STEK (2013a) Stadtentwicklungskonzept Graz 4.0.
- STEK (2013b) Stadtentwicklungskonzept Graz 4.0 - vertiefend.
- StROG (2010) Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010. RIS - Rechtssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000069> (Zugegriffen 12. November 2017).

- Studi (2013) Berechnung der Lebenszykluskosten. Umweltbundesamt. [online] <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/berechnung-der-lebenszykluskosten> (Zugegriffen 1. Dezember 2017).
- Suyama & Rollins (2007) Estimate the water needs of landscape plants. Salinity Management Guide. [online] http://www.salinitymanagement.org/Salinity%20Management%20Guide/ew/ew_2.html (Zugegriffen 24. November 2017).
- Thöming (2017) Regenwasserbewirtschaftung. Das Internetportal für Wasser und Abwasser, Universität Bremen - Institut für Umweltverfahrenstechnik. [online] <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/r/regenwasserbewirtschaftung.htm> (Zugegriffen 23. Mai 2017).
- VDI 3633 (2016) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Simulation und Optimierung.
- Wasserkreislauf im Kindergarten (2011) Nela forscht - Naturwissenschaft für Kinder. [online] <http://www.nela-forscht.de/2011/02/03/der-wasserkreislauf-im-kindergarten/> (Zugegriffen 2. Dezember 2017).
- Weissenbrunner (2017) Technischer Bericht zur Oberflächenentwässerung - Projekt Neubau Bildungscampus Smart City Graz.
- Wilke, S. (2013) Bodenversiegelung. Umweltbundesamt. [online] <http://www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/bodenversiegelung> (Zugegriffen 23. Mai 2017).
- WRG (1959) Wasserrechtsgesetz 1959. RIS - Rechtsinformationssystem. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> (Zugegriffen 12. November 2017).
- Zach-Hermann, S. (2017) Erklärung zum Jahrbuch der ZAMG - Tagesauswertung.
- ZAMG (1996) Jahrbuch — ZAMG. ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und geodynamik. [online] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch> (Zugegriffen 28. November 2017).
- ZAMG (1971) Klimadaten von Österreich 1971 - 2000. ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und geodynamik. [online] http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (Zugegriffen 20. November 2017).
- ZinCo GmbH (2014) Grundlagen Bautechnik - Genereller Überblick über die Technik genutzter Dachlandschaften.

Anhang

A.1. Simulationsergebnisse aus dem PCSWMM-Status Bericht

In der Abbildung A.1-1 bis Abbildung A.1-8 ist ein Auszug der Simulationsergebnisse der einzelnen Modelle aus den Status Berichten der Simulationssoftware PCSWMM ersichtlich. Diese Ergebnisdaten waren die Grundlage für die Aufstellung der Wasserbilanzen im Kapitel 3.

A1.1. Modell 01 - Referenzmodell

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.002	3.734
Total Precipitation	5.172	8584.300
Evaporation Loss	2.056	3412.705
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	3.109	5159.827
Final Storage	0.010	16.193
Continuity Error (%)	-0.008	

Abbildung A.1-1: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 01

A1.2. Modell 02 – Gründach und Garten

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.004	7.111
Total Precipitation	5.172	8584.300
Evaporation Loss	2.577	4277.632
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	2.465	4090.902
LID Drainage	0.118	195.465
Final Storage	0.017	27.869
Continuity Error (%)	-0.005	

Abbildung A.1-2: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 02

A1.3. Modell 03 - Schotterrasen

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.005	7.593
Total Precipitation	5.172	8584.300
Evaporation Loss	2.430	4033.621
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	2.727	4525.652
Final Storage	0.020	33.468
Continuity Error (%)	-0.010	

Abbildung A.1-3: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 03

A1.4. Modell 04 – wasserdurchlässiger Kunststoffbelag

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.004	6.473
Total Precipitation	5.172	8584.300
Evaporation Loss	2.745	4556.760
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	2.412	4003.353
Final Storage	0.019	31.512
Continuity Error (%)	-0.010	

Abbildung A.1-4: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 04

A1.5. Modell 05 – Speicherbecken

```

*****
Runoff Quantity Continuity      Volume      Depth
*****                          hectare-m    mm
*****                          -----
Initial LID Storage .....      0.004      6.240
Total Precipitation .....      5.206      8584.300
Evaporation Loss .....         2.211      3644.945
Infiltration Loss .....         0.000      0.000
Surface Runoff .....           0.071      117.578
LID Drainage .....             2.888      4762.303
Final Storage .....            0.040      66.190
Continuity Error (%) .....     -0.006
    
```

Abbildung A.1-5: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 05

A1.6. Modell 06 - Zisterne

```

*****
Runoff Quantity Continuity      Volume      Depth
*****                          hectare-m    mm
*****                          -----
Initial LID Storage .....      0.002      3.682
Total Precipitation .....      5.245      8584.300
Evaporation Loss .....         2.086      3413.902
Infiltration Loss .....         0.000      0.000
Surface Runoff .....           3.152      5158.785
Final Storage .....            0.010      15.979
Continuity Error (%) .....     -0.008
    
```

```

*****
Node Inflow Summary
*****
-----

```

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Time of Max Occurrence days hr:min	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error Percent
OUT-A10	OUTFALL	61.74	61.74	939 00:55	6.49	6.49	0.000
OUT-A11	OUTFALL	43.02	43.02	3093 00:20	7.79	7.79	0.000
OUT-A12	OUTFALL	12.33	12.33	3093 00:20	2.36	2.36	0.000
OUT-A13	OUTFALL	8.58	8.58	3093 00:20	1.64	1.64	0.000
OUT-A8	OUTFALL	26.23	26.23	939 00:55	2.75	2.75	0.000
Zisterne	STORAGE	57.06	57.06	3093 00:20	10.5	10.5	-0.010
Zisterne2	STORAGE	0.00	49.24	3093 00:20	0	3.84	0.020

Abbildung A.1-6: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 06

A1.7. Modell 07 – kombinierte LIDs

```

*****
Runoff Quantity Continuity      Volume      Depth
*****                          hectare-m    mm
*****                          -----
Initial LID Storage .....      0.005      8.640
Total Precipitation .....      5.172      8584.300
Evaporation Loss .....         3.644      6048.241
Infiltration Loss .....         0.000      0.000
Surface Runoff .....           0.510      847.280
LID Drainage .....             0.967      1604.594
Final Storage .....            0.056      93.157
Continuity Error (%) .....     -0.004
    
```

```

*****
Node Inflow Summary
*****
-----

```

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Time of Max Occurrence days hr:min	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error Percent
OUT-G1	OUTFALL	13.80	13.80	939 00:53	0.302	0.302	0.000
OUT-G2	OUTFALL	15.83	15.83	939 00:53	0.346	0.346	0.000
S1-Sickerschacht	STORAGE	0.65	13.53	3520 13:05	6.24	6.37	-0.374
S1-Sickerschacht2	STORAGE	0.00	21.76	3520 12:43	0	0.42	6.662
S2-Sickerschacht	STORAGE	4.25	4.25	3520 13:05	2.22	2.22	-0.000
SU-Regentonne	STORAGE	3.94	3.94	3095 18:11	0.1	0.1	-77.122
SU-Regentonne2	STORAGE	0.00	4.52	3095 18:13	0	0.407	-0.087
SU-Zisterne	STORAGE	25.42	25.42	3095 18:10	5.56	5.57	-0.089

Abbildung A.1-7: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 07

A1.8. Modell 08 – geplantes Modell

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial LID Storage	0.004	7.111
Total Precipitation	5.172	8584.300
Evaporation Loss	2.574	4272.389
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	2.465	4090.967
LID Drainage	0.121	200.822
Final Storage	0.017	27.878
Continuity Error (%)	-0.008	

Abbildung A.1-8: Ergebnisdaten aus dem Status Bericht für das Simulationsmodell 08

A.2. Niederschlagswasser als Unterrichtsmaterial

Dieser Anhang ist ein kleiner Exkurs in die Welt der Pädagogik. Aufgabe dieser Masterarbeit ist nicht nur den ökonomischen und ökologischen Nutzen von naturnahen Behandlungsmaßnahmen für Niederschlagswasser aufzuzeigen, sondern auch, wie das Niederschlagswasser als Unterrichtsmaterial genutzt werden kann.

Den zukünftigen Kindern der Volksschule des neuen Bildungscampus Smart City Graz soll ermöglicht werden, den Umgang mit dem Regenwasser in spielerischer, aber auch lehrreicher, Art und Weise erkunden zu können.

Nachfolgend werden einige Ideen angeführt, wie eine Integration des Niederschlagswassers im Schulalltag aussehen kann.

A.2.1. Den natürlichen Wasserkreislauf spielerisch lernen

Damit den Kindern überhaupt bewusst wird, warum die Bewirtschaftung von Regenwasser so notwendig ist für den Menschen und für die Umwelt, sollten sie auch dementsprechend darüber aufgeklärt werden. Eine Möglichkeit dieser Aufklärung könnte in Form von einer Informationstafel über den natürlichen Wasserkreislauf realisiert werden. Die Veranschaulichung und Gestaltung dieser Tafel, aufgezeigt in Abbildung A.2-1, sollte möglichst kindgerecht ausgeführt werden. Eine Umsetzung dieser Idee könnte wie folgt aussehen:

- Die Wolken werden aus Watte umgesetzt
- Bäume aus kleinen Ästen und als Begrünung Moos verwenden
- Der Boden könnte aus Sand, Kies, oder anderen Bodenmaterialien bestehen
- Sonnenstrahlen aus Strohhalmen, die das Wasser quasi „ansaugen“
- usw.

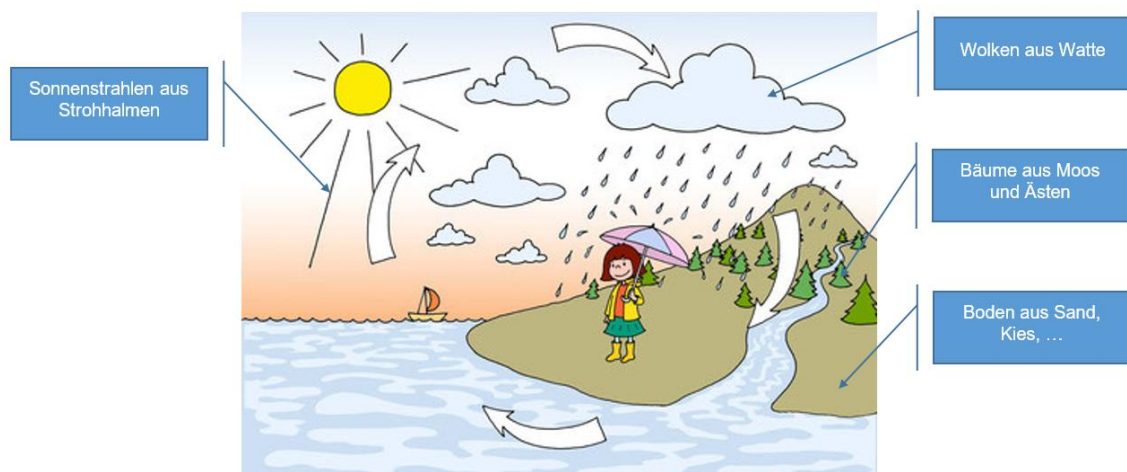


Abbildung A.2-1 mögliche Gestaltung einer Informationstafel über den natürlichen Wasserkreislauf (Wasserkreislauf im Kindergarten, 2011, mod.)

A.2.2. „Durchsichtige“ Wand in der Toiletten-Anlage

In der Toiletten-Anlage wird eine Wand „durchsichtig“ gestaltet – eine schematische Darstellung des Rohrleitungssystems, mit Trinkwasserleitung und Niederschlagswasserleitung, ist die Idee dahinter. Leitungen für das Trinkwasser werden zum Beispiel in der Farbe Blau dargestellt und die Leitungen für das Niederschlagswasser in der Farbe Grün. Eine mögliche Ausführung zeigt die Abbildung A.2-2.

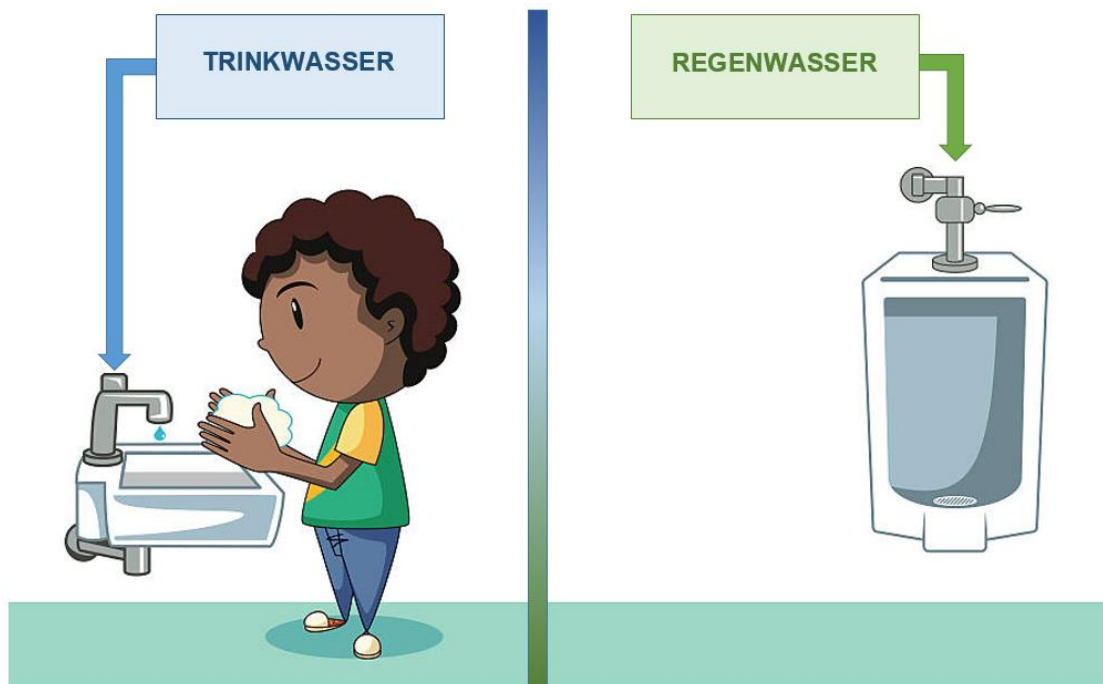


Abbildung A.2-2: schematische Darstellung der "durchsichtigen" Wand (iStock, 2017, mod.)

Die Volksschulkinder können dabei lernen, dass das Wasser fürs Händewaschen aus der blauen Leitung kommt, also Trinkwasser ist, hingegen für die WC-Spülung die grüne Leitung, also Niederschlagswasser, verwendet werden kann.

A.2.3. Garten-, Grünflächen- und Pflanzenbewässerung

Der Wasserabfluss von der Gartenfläche wird in einer Regentonne aufgefangen. Mit diesem gespeicherten Regenwasser kann der Garten selbst, die umliegenden Grünflächen und die vorhandenen Pflanzen im Bildungscampus bewässert werden. Als Nutzen dahinter soll aufgezeigt werden, wie viele Gießkannen voll mit Niederschlagswasser aus dieser Regentonne entnommen werden können, bevor Trinkwasser für die Bewässerung zum Einsatz kommt.

Aufgrund der Jahreszeiten und der dadurch unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten wird manchmal mehr und manchmal weniger, oder sogar kein Niederschlagswasser in der Regentonne gesammelt.

Die Kinder sollen lernen, dass nicht immer gleich viel Wasser zur Verfügung steht und die Niederschlagsmenge auch abhängig von der Jahreszeit ist.

Abbildung A.2-3 zeigt den Oberflächenabfluss in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge.

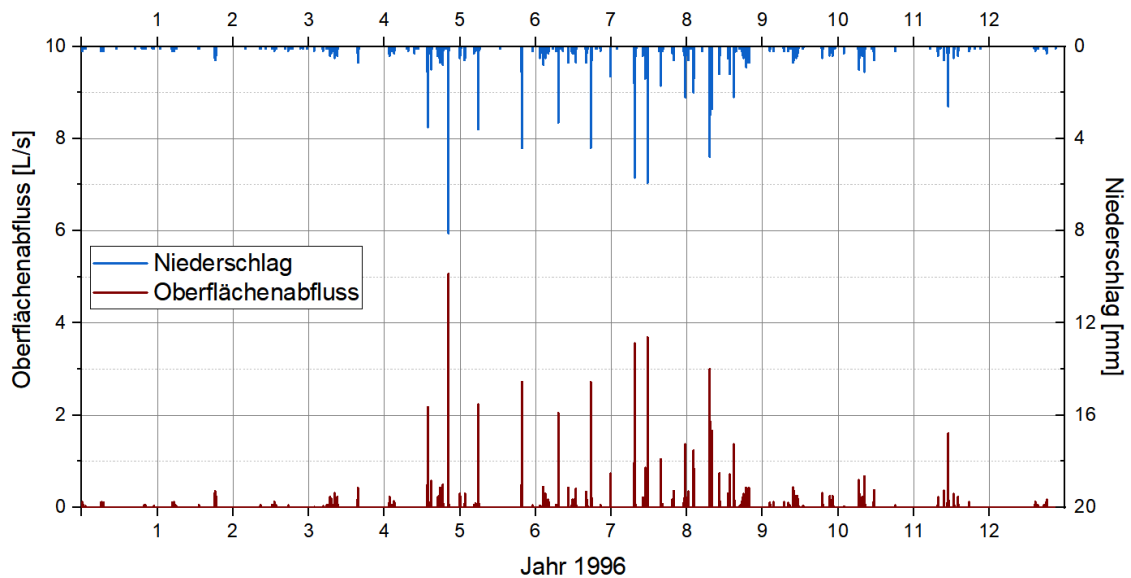


Abbildung A.2-3: Oberflächenabfluss [L/s] der Dachfläche 4 in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge [mm] für das Jahr 1996

A.2.4. Funktionsweise des Gründachs entdecken

Anhand einer realen Nachbildung eines Gründaches sollen die Kinder erforschen, wie schnell bzw. langsam das Niederschlagswasser durch die einzelnen Schichten sickert und wie viel davon gespeichert wird. In der Abbildung A.2-4 ist der Schichtaufbau eines Gründaches ersichtlich.

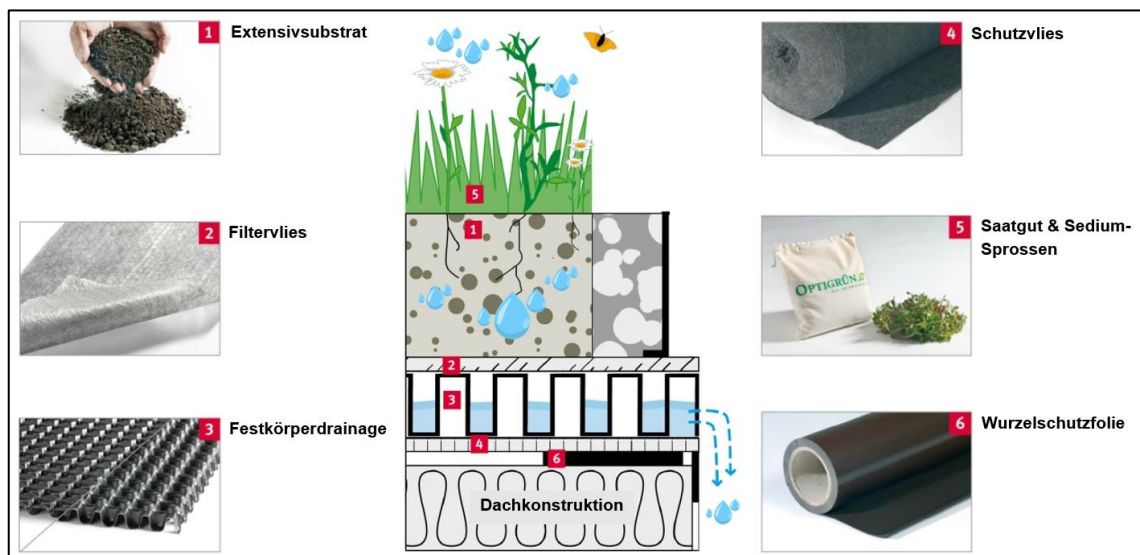


Abbildung A.2-4: Schichtaufbau eines Gründaches (Optigrün, 2017, mod.)

A.2.5. Versickerungsprozess hautnah miterleben

Das nicht gespeicherte und nicht genutzte Niederschlagswasser wird bei Starkregenereignissen über Sickerschächte in den Unterboden eingeleitet. Diese Sickerschächte verfügen über Schachteinlässe für die Wartung und Instandhaltung. Eine Abdeckung schließt die Einlässe. Um den Versickerungsprozess den Kindern näher zu bringen, könnte der Schachtdeckel durch eine speziell angefertigte, durchsichtige Kunststoffplatte ersetzt und eine Beleuchtungsanlage im Sickerschacht angebracht werden.

Diese genannten Ideen sind jedoch nur ein Ausschnitt von Möglichkeiten zur Veranschaulichung der Notwendigkeit von NWB-Maßnahmen und wie mit dem Niederschlagswasser umgegangen werden kann.