



Anika Stelzl, BSc

Regenwasserversickerung in Rohrgräben

Rechtliche und normative Rahmenbedingungen und bautechnische Anforderungen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur/In

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer/In:

Assoc.-Prof. DI Dr. Daniela Fuchs-Hanusch

DI Dr. Gerald Krebs

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, Mai 2019

Kontakt:
Anika Stelzl
anika.stelzl@gmail.com

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

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

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

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern Assoc.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Daniela Fuchs-Hanusch und Dipl.-Ing. Dr. Gerald Krebs bedanken, die mir bei der Erstellung der Arbeit zur Seite gestanden sind und immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatten. Die konstruktive Kritik und die Anmerkungen halfen mir sehr beim Erstellen dieser Arbeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei Christian Auer und Rudolf Stelzl (Tiroler Rohre), die das Erstellen dieser Arbeit durch die Machbarkeitsstudie erst ermöglicht haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei Tomas Stroisser (Stadt Graz – Grünraum und Gewässer), Christoph Bennerscheidt (EADIPS) und Björn Schouenborg (Research Institutes of Sweden) für die Bereitstellung wichtiger Unterlagen bedanken.

Ein großes Dankeschön gebührt auch meinen Eltern und meinen Brüdern, die mich während meiner ganzen Studienzzeit unterstützt haben und immer für mich da waren. Ohne die Unterstützung meiner Eltern wäre mein Studium nicht möglich gewesen. Ich danke euch von ganzem Herzen, dass ihr mir diese tolle Zeit ermöglicht habt und mich bei all meinen Entscheidungen unterstützt habt.

Herzlichst möchte ich mich auch bei David bedanken, der mich in der zeitintensiven und auch arbeitsintensiven Phase meines Lebens begleitet hat. Danke für die viele Geduld, die du für mich aufgebracht hast und dafür, dass du mir immer einen guten Rat gegeben hast.

Meinen Freunden, die mich die ganze Studienzzeit über begleitet haben, möchte ich ebenso danken. Es war eine echt unvergessliche Zeit und ich hätte mein Studium ohne eure Hilfe sicher nicht so gut abgeschlossen.

Kurzfassung

Die zunehmende Urbanisierung hat zur Folge, dass natürliche Flächen durch versiegelte Flächen ersetzt werden. Dieser Anstieg der bebauten Flächen führt zu einer Verringerung der Versickerung und der Verdunstung. Die Reduzierung der Versickerung von Niederschlagswasser wirkt sich negativ auf die Grundwasserneubildungsrate aus und die Verringerung der Verdunstung bewirkt den Rückgang der natürlichen Kühlung der Städte und den Anstieg der Umgebungstemperatur in der Stadt. Die vielen abflusswirksamen Flächen haben ebenfalls negative Auswirkungen auf die Kanalisation. Durch die Zunahme des Oberflächenabflusses kann es zur Überlastung der Kanalisation bei Regenereignissen und zu lokalen Überflutungen kommen, da der Großteil des Regenwassers in die Kanalisation eingeleitet wird.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze zur dezentralen und naturnahen Regenwasserbewirtschaftung entwickelt, um das Regenwasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückzuführen. Eine Möglichkeit bietet die Versickerung im Stockholmer System/Schwammstadt. Bei dieser Lösung wird der Boden durch sickerfähiges Material ersetzt und somit das Regenwasser versickert und verdunstet. Aufbauend auf dem Stockholmer System wurde das Boden-Rohr-System entwickelt. Beim Boden-Rohr-System wird das Regenwasser in den Rohrgraben von Wasserver- und -entsorgungsleitungen eingeleitet und anschließend versickert bzw. verdunstet.

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden die rechtlichen und normativen Grundlagen für die Behandlung und Versickerung von Niederschlagswasser erarbeitet. Ebenso werden alle rechtlichen Rahmenbedingungen, die für die Planung und Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems relevant sind, aufgezeigt. Schadstoffbelastungen und deren Entfernung aus dem Oberflächenabfluss sowie die Auswirkungen der Salzstreuung in den Wintermonaten wurden ausgearbeitet. Die Belastungen und die fachgerechte Verdichtung für die Herstellung des Systems werden ebenfalls in der Arbeit dargestellt. Zusätzlich wird ein kurzer Einblick in die Lastversuche, die in Schweden am Stockholmer System durchgeführt wurden, gegeben. Da bei der Planung und Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems mehrere Fachgebiete betroffen sind, wurden auch alle Beteiligten für dieses Projekt ausgearbeitet. Abschließend wurden vier schematische Querschnitte erstellt und erläutert sowie Einsatzbereiche für das System festgelegt, die zukünftig als Vorlage für weitere Projekte dienen können.

Schlüsselwörter:

Versickerung, Verdunstung, Schwammstadt, Stockholm-System, Wasserqualität, Boden-Rohr-System

Abstract

The world's current rapid and wide-spread urbanization results in the replacement of natural areas by sealed ones. Because of this, we are seeing a reduction in storm water seepage and evaporation, which in turn has a negative impact on groundwater formation rates. Furthermore, lower levels of evaporation causes cities' natural cooling abilities to decline and the temperature of surrounding environments to rise. Growth of build-up areas also has a negative impact on the sewage system. An increase in the storm water runoff area can cause sewers to overflow during rainfall and lead to local flooding, due to most of the rainwater entering into the sewer system.

Over the last few years, different approaches for decentralized and natural storm water management have been developed to allow storm water to return to the natural water cycle. One solution is the Stockholm System/sponge city's seepage. This solution involves replacing soil with a material that instead allows rainwater to seep through. Thus, the "Boden-Rohr-System" (soil-pipe-system) was developed. In this system, the storm water is precluded into the pipe trench. Afterwards the storm water is able to seep easily into the ground.

This master thesis elaborates the legal and normative basis for the treatment and seepage of storm water. All legal framework conditions that are relevant for the planning and implementation of a soil-pipe-system are discussed. As proof of concept, a system dealing with pollutant deposits and their removal from the surface runoff, as well as the effects of de-icing in the winter months, was developed. Consequently, the load strain and the proper compaction for the production of the system are presented in this thesis. A brief look at the load tests carried out on the Stockholm System in Sweden, along with other pertinent previous work regarding a soil-pipe-system, is also given. Finally, this thesis walks through the functionalities of four schematic cross-sections that were created and further application areas for the system, which can serve as a template for future projects.

Key words

seepage, evaporation, sponge city, Stockholm System, water quality, soil-pipe-system

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Regenwasserbewirtschaftung	4
1.3.1	Nutzung	4
1.3.2	Versickerung	5
1.3.3	Verdunstung	7
1.3.4	Behandlung	8
1.3.5	Rückhaltung und gedrosselte Ableitung	8
1.4	Stockholm-System	9
1.4.1	Deutschland	9
1.4.2	Schweden	10
1.4.3	China	11
1.4.4	Österreich	11
1.5	Boden-Rohr-System	15
2	Baurechtliche Grundlagen	19
2.1	EU-Wasserrahmenrichtlinie – EU-WRRL	20
2.2	Wasserrechtsgesetz - WRG	20
2.3	Abwasseremissionsverordnung	21
2.4	ÖWAV-Regelblatt 45 – <i>„Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund“</i>	21
2.5	ÖWAV-Regelblatt 35 – <i>„Behandlung von Niederschlagswässern“</i>	25
2.6	DWA-Arbeitsblatt 138	26
2.7	DWA-Merkblatt 153	26
2.8	ÖNORM B2506-1 – <i>„Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb“</i>	31
2.8.1	Unterirdische Sickerkörper	32
2.9	ÖNORM B2506-2 – <i>„Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 2: Qualitative</i>	

<i>Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen“</i>	33
2.10 <i>ÖNORM B2506-3 – „Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 3: Filtermaterialien“</i>	35
2.11 <i>ÖNORM B2503 – „Kanalanlagen-Planung, Ausführung, Prüfung, Betrieb“</i>	37
2.12 <i>ÖNORM B2533 – „Kordinierung von unterirdischen Einbauten-Planungsrichtlinien“</i>	37
2.13 <i>ÖNORM B2538 – „Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“</i>	37
2.14 <i>ÖNORM B5012 – „Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung“</i>	39
2.15 <i>ÖNORM B5016 – „Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrierwasserbaues“</i>	40
2.16 <i>ÖNORM EN1610 – „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“</i>	41
3 Bautechnische Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen	43
3.1 Bettungstypen	44
3.1.1 Einbettungsart nach ÖNORM B5012	44
3.1.2 Bettungstypen nach ÖNORM EN1610.....	46
3.2 Bodengruppen	47
3.3 Verfüllung des Rohrgrabens	48
3.3.1 Leitungszone.....	48
3.3.2 Hauptverfüllung.....	49
3.4 Verdichtung.....	50
3.5 Belastungen nach ÖNORM B5012	53
3.5.1 Erdlasten.....	53
3.5.2 Oberflächenlasten.....	55
3.5.3 Lastverteilung.....	59
3.5.4 Mindestsicherheit gegen Tragwerksversagen.....	59

3.6 Abstände	62
3.6.1 Abstände zu Gebäuden.....	62
3.6.2 Abstand zum Grundwasser	63
3.6.3 Abstände von unterirdischen Einbauten	64
3.6.4 Abstände zu Bepflanzungen.....	66
3.7 Maßnahmen gegen Verschlämmung.....	66
3.8 Niederschlagswasser und die dazugehörige Schadstoffbelastung in Abhängigkeit der Herkunftsflächen und deren Reinigungsmaßnahmen.....	67
3.8.1 Plätze, Geh- und Radwege	68
3.8.2 Straßen.....	70
3.9 Streusalzbelastung im Winter	72
3.10 Der Umgang mit unterirdischen Infrastrukturen	72
3.11 Hanglage.....	73
4 Lastversuche in Schweden	75
5 Verantwortliche und Beteiligte an der Umsetzung eines Boden- Rohr-Systems.....	79
5.1 Graz.....	79
5.2 Land Steiermark	80
6 Ergebnisse und Diskussion	83
7 Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick.....	89
Literaturverzeichnis	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: mäandrierender Graben Osnabrück (Schröder, 2016).....	10
Abbildung 1-2: Querschnitt Stockholmer Lösung (Embrém et al., 2009).....	11
Abbildung 1-3: Querschnitt Eggenberger Allee (freiland Umweltconsulting ZT GmbH, 2017)	12
Abbildung 1-4: Vorplatz Lend-Hotel.....	13
Abbildung 1-5: Aufbau Vorplatz Lend-Hotel (Studio Boden, 2018)	14
Abbildung 1-6: Schematische Darstellung des Boden-Rohr-Systems mit Verteilerschicht.....	15
Abbildung 1-7: Schematische Darstellung des Boden-Rohr-Systems mit durchlässigem Straßenaufbau	16
Abbildung 2-1: Gewässerpunkte für Gewässer mit normalen Schutzbedürfnissen (DWA, 2007)	27
Abbildung 2-2: Einfluss aus der Luft (DWA, 2007)	27
Abbildung 2-3: Stoffliche Belastung in Bezug auf ihre Herkunftsflächen (DWA, 2007)	28
Abbildung 2-4: Durchgangswerte bei Bodenpassagen (DWA, 2007).....	29
Abbildung 2-5: Durchgangswerte von bewachsenen Filterbecken (DWA, 2007)	29
Abbildung 2-6: Durchgangswerte für Sedimentationsanlagen (DWA, 2007)	30
Abbildung 2-7: Schematische Darstellung eines Sickerkörpers (ÖNORM B2506-1, 2013).....	32
Abbildung 2-8: Bauausführung von Bodenfiltern (ÖNORM B2506-2, 2012).....	34
Abbildung 2-9: Möglichkeiten zur Reinigung von Schadstoffen (ÖNORM B2506-2, 2012)	34
Abbildung 2-10: Waagrechte Pölzung (ÖNORM B2538, 2018).....	38
Abbildung 2-11: Ablaufdiagramm der Berechnung und des Nachweises (ÖNORM B5012, 2015).....	40
Abbildung 3-1: Verschiedene Einbettungsarten (ÖNORM B5012, 2015).....	45
Abbildung 3-2: Bettungstyp 1 nach ÖNORM EN1610	46
Abbildung 3-3: Bettungstyp 2 nach ÖNORM EN1610	46
Abbildung 3-4: Rohrgraben mit lotrechten Wänden (ÖNORM B2538, 2018).....	48
Abbildung 3-5: Zusammenhang von Verdichtungsklassen und Bauausführungsverfahren (ÖNORM B5012, 2015).....	51
Abbildung 3-6: Anwendungsbereich maschineller Verdichtungsgeräte (ÖNORM B2538, 2018).....	52
Abbildung 3-7: Gleichmäßig verteilte Oberflächenlast (ÖNORM B5012, 2015).....	55

Abbildung 3-8: Die Funktion zu p_T und der Überdeckungshöhe zu Gleichung 3-15 (ÖNORM B5012, 2015)	59
Abbildung 3-9: Mindestabstand zwischen Versickerungsanlage und Gebäude (DWA, 2005)	62
Abbildung 3-10: Grundwasserstand bei Entnahme und Versickerung (ÖNORM B2506-1, 2013)	63
Abbildung 3-11: Horizontale lichte Mindestabstände bei Parallelführung in m (ÖNORM B2533, 2004).....	64
Abbildung 3-12: Vertikale lichte Mindestabstände bei Querung in m (ÖNORM B2533, 2004)	65
Abbildung 3-13: Abstand zwischen Rohraußenkante und Bäumen	66
Abbildung 3-14: Schematische Darstellung eines Boden-Rohr-System in Kombination mit einem natürlichen Bodenfilter	69
Abbildung 3-15: Schematische Darstellung eines Boden-Rohr-Systems in Kombination mit einem technischen Bodenfilter	69
Abbildung 3-16: INNOLET Filtereinsatz für Straßenabläufe (Wallner und Neubert Gesellschaft m.b.H., 2016).....	71
Abbildung 4-1: Querschnitte für die Lastversuche (Rahman et al., 2017)	76
Abbildung 4-2: Entwicklung von Spurrillen während des HVS-Tests als Funktion der äquivalenten Standard-Achslast (ESAL) (Rahman et al., 2017)	77
Abbildung 4-3: Rillentiefe der einzelnen Querschnitte im HSV-Test bei unterschiedlichen Verkehrsklassen (Rahman et al., 2017).....	77
Abbildung 5-1: Organigramm Stadt Graz (Stadt Graz, 2019, mod.)	79
Abbildung 5-2: Organigramm der Abteilungen des Lands Steiermark (Scheiner, 2019, mod.)	80
Abbildung 6-1: Tabelle für Plätze, Geh- und Radwege	87
Abbildung 6-2: Tabelle für Straßen	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Inhaltsstoffe des Regenwasserabflusses von verschiedenen Herkunftsflächen (OEWAV, 2015)	22
Tabelle 2-2:	Kategorisierung der Niederschlagsabflüsse nach ihren Herkunftsflächen (OEWAV, 2015).....	23
Tabelle 2-3:	Entwässerungsanlagen zu den Herkunftsflächen (OEWAV, 2015)	24
Tabelle 2-4:	Anforderungen an die Versickerung von Regenwasser (OEWAV, 2003)	25
Tabelle 2-5:	Herkunftsklassen (ÖNORM B2506-3, 2018)	35
Tabelle 2-6:	Flächenverhältnis $A_s:A_{red}$ (ÖNORM B2506-3, 2018)	35
Tabelle 2-7:	Anforderungen an das Filtermaterial (ÖNORM B2506-3, 2018)	36
Tabelle 2-8:	Einteilung der Teilprüfungen (ÖNORM B2506-3, 2018).....	36
Tabelle 2-9:	Mindestgrabenbreite in Abhängigkeit der Grabentiefe (ÖNORM EN1610, 2015)	42
Tabelle 3-1:	Einteilung der Bodengruppen (ÖNORM B5012, 2015).....	47
Tabelle 3-2:	Prozentsatz der relativen Dichte D_{Pr} (ÖNORM B5012, 2015).....	50
Tabelle 3-3:	Mindestanforderung an die Verdichtung (FSV, 2010)	52
Tabelle 3-4:	Erddruckverhältnisse (ÖNORM B5012, 2015)	54
Tabelle 3-5:	Einbaubedingungen des Wandreibungswinkel Φ_t (ÖNORM B5012, 2015).....	55
Tabelle 3-6:	Beiwert D_{Tmod} für verschiedene Oberflächen (ÖNORM B5012, 2015).....	57
Tabelle 3-7:	Zusatzbelastung (ÖNORM B5012, 2015).....	58
Tabelle 3-8:	Mindestsicherheitsbeiwerte durch Bruch (ÖNORM B5012, 2015).....	60
Tabelle 3-9:	Mindestsicherheit bei Instabilität (ÖNORM B5012, 2015)	60
Tabelle 3-10:	Sicherheitsklasse in Bezug auf Mindestsicherheit (ÖNORM B5012, 2015).....	61
Tabelle 3-11:	Schwellenwerte von Schadstoffen (Bundeskanzleramt der Republik Österreich, 2016, mod.).....	67
Tabelle 3-12:	Schadstoffe und deren Herkunft (OEWAV, 2003; ÖNORM B2506-2, 2012).....	70
Tabelle 3-13:	Mittlere Konzentrationen von Straßenabflüssen mit DTV > 10000 Kfz/24h (OEWAV, 2003)	70
Tabelle 3-14:	Klassifikation der Hangneigung (Gruber et al., 2014).....	73
Tabelle 4-1:	Testbedingungen (Rahman et al., 2017).....	75

Tabelle 4-2: Schichtdicken für Structure 5 und 6 (Rahman et al., 2017, mod.)..... 78

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Abfilterbare Stoffe
Al	Aluminium
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf
CaCl ₂	Calciumchlorid
Cd	Cadmium
Cl	Chlor
Co	Cobalt
Cr	Chrom
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cu	Kupfer
dh	Das heißt
DN	Durchmesser
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
ESAL	Äquivalente Standard-Achslast
ET (1-4)	Einbettungstypen
EU	Europäische Union
Fe	Eisen
GF-UP	Ungesättigtes Polyester-bewehrtes Glas
HVS	Heavy vehicle simulator
i.B.	Individuelle Betrachtung
JDTV	Jährlicher durchschnittlicher Tagesverkehr
KW	Kohlenwasserstoff
Mn	Magnesium
NH ₄ ⁺	Ammonium
Ni	Nickel
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abwasserverband
ÖWAW	Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft
PAK	Kohlenwasserstoff
Pb	Blei
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC-U	Polyvinylchlorid-Hart
RB	Regelblatt
TOC	Gesamter organischer Kohlenwasserstoff
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z.B.	Zum Beispiel
Zn	Zink

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Durch zunehmende Urbanisierung werden Städte immer dichter bebaut. Die Vorteile der dichten Bebauung sind kürzere Wege, die Infrastrukturen werden kürzer und die Versorgung der Bevölkerung gestaltet sich einfacher. Diese dichte Verbauung bringt aber auch wesentliche Nachteile mit sich. Ein Nachteil ist die Zersiedelung, hier werden Flächen versiegelt, aber die Distanzen bleiben oft weitläufig. Ein negativer Aspekt ist, dass die Luftfeuchtigkeit in den Städten geringer ist als im angrenzenden Umland und es kommt zu einer geringeren Windzirkulation. Die vielen versiegelten Flächen heizen sich im Sommer extrem auf und speichern die Wärme. Dies führt zu einem Temperaturunterschied zwischen den Städten und dem angrenzenden ländlichen Bereich. Diese Temperaturunterschiede werden städtische Wärmeinseln (Urban Heat Island) genannt. (Förstner & Köster, 2018)

Durch die große Anzahl der versiegelten Flächen kommt es zu einer Verringerung der Versickerung und der Verdunstung, dies bringt eine Verschiebung des hydrologischen Gleichgewichtes mit sich. Die natürliche Wasserbilanz zwischen Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss verschiebt sich im städtischen Bereich. (Weiler & Jackisch, 2013) Laut Sieker (2019c) verdunsten in der natürlichen Umgebung bis zu 60% des Niederschlagswassers. Durch die Verdunstung des Niederschlagswassers wird die Umgebung natürlich gekühlt. In den dicht bebauten Städten kommt es zu einer geringen Verdunstung, wodurch keine natürliche Abkühlung zustande kommt.

Die geringe Versickerungsrate hat nicht nur negative Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss, sondern bewirkt auch eine Senkung der Grundwasserneubildungsrate, was langfristig negative Auswirkungen auf den Trinkwasservorrat im Grundwasser und auf die Seen und Flüsse, die durch das Grundwasser gespeist werden, hat. Ebenso bewirkt das fehlende Wasser im Boden eine Veränderung des Ökosystems im Boden. (Weiler & Jackisch, 2013)

Die vielen abflusswirksamen Flächen haben einen bedeutenden Einfluss auf die Kanalisation. Das Niederschlagswasser kann in den Städten nur zu einem sehr geringen Teil vor Ort versickert werden und muss daher in die Kanalisation eingeleitet werden. Bei Starkregenereignissen kann die Einleitung des Niederschlagswassers zu einer hydraulischen Überlastung der Kanalisation führen, was lokale Überflutungen zu Folge hat. (Weiler & Jackisch, 2013) Durch die großen Wassermassen kann es zu einer Überlastung der Mischwasserüberläufe kommen, was dazu führt, dass das verdünnte Schmutzwasser in ein Gewässer ein-

geleitet wird und so Schadstoffe ins Wasser gelangen. (Sieker, 2001) Die Einleitung des Schmutzwassers schadet dem Gewässer nachweislich. (Weiler & Jackisch, 2013)

Regenwasser gilt als wichtige Ressource und sollte daher fachgemäß behandelt werden. Um eine ordnungsgemäße Handhabung des Regenwassers garantieren zu können und um dem negativen Wandel entgegen zu wirken, wurden in den letzten Jahren verschiedene Ansätze zur Grünen Infrastruktur entworfen. Unter dem Begriff Grüne Infrastruktur werden unter anderem Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung verstanden. Diese Maßnahmen sollen zur Verringerung der Luftschadstoffe, des Abflussvolumens bei Starkregenereignissen und der damit verbundenen Emissionseinleitungen in Gewässer dienen. (US EPA, 2015)

Eine weitere Maßnahme, um Regenwasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückzuführen, ist das Stockholm-System. Bei diesem System wird der Mutterboden durch sickerfähiges Material ersetzt. Das Regenwasser wird auf der Oberfläche gesammelt, in das System eingeleitet und dann in den Untergrund versickert. Vorwiegend wurde das System in Kombination mit Bäumen erbaut, da der porenreiche Untergrund einen guten Lebensraum für die Wurzeln bietet.

Abgeleitet von dem oben genannten System ist die Idee entstanden, eine Abwandlung des Stockholm-Systems weitläufiger einzusetzen. Eine gute Möglichkeit für die Anwendung bietet der Rohrgraben, in dem Leitungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung liegen. Die Idee ist es, das Bettungsmaterial durch sickerfähiges Material zu ersetzen und so ein neues Boden-Rohr-System zu erschaffen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Niederschlagswasserversickerung im Rohrgraben zu erarbeiten. Hierzu werden bereits realisierte Projekte in Bezug auf die Stockholmer Lösung/Schwammstadt aufgezeigt. Es werden rechtliche und normative Grundlagen, die für die Planung und Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems maßgeblich sind, ermittelt. Ebenso wird auf die rechtlichen Grundlagen für den Umgang mit Regenwasser und dessen Versickerung eingegangen. Das Kapitel *Bautechnische Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen* beschäftigt sich mit Belastungen, Verdichtung und verschiedenen Bettungsmethoden. Ebenso wird auf das Thema Schadstoffe auf Oberflächen und die Entfernung dieser aus dem Oberflächenabfluss eingegangen. Einzuhaltende Mindestabstände, die für die Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems notwendig sind, werden ebenfalls im Zuge dieser Masterarbeit erarbeitet. Der Chlorideintrag in den Untergrund durch die Straßensalzung im Winter und dessen Auswirkungen sind ebenfalls Bestandteile dieser Arbeit. Einen kurzen Einblick in die Lastversuche, die in Stockholm am System durchgeführt wurden, wird ebenfalls geboten. Ein weiteres Ziel ist es, die Verantwortlichen und Beteiligten, die bei der Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems miteingebunden sind, zu ermitteln.

Zusammenfassend sind folgende Punkte Inhalt in dieser Masterarbeit:

- Rechtliche und normative Grundlagen für die Planung und die Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems
- Bautechnische Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen
- Lastversuche in Schweden
- Verantwortliche und Beteiligte an der Umsetzung und Planung

1.3 Regenwasserbewirtschaftung

Die konventionelle Regenentwässerung erfolgt zum Großteil über das „End-of-Pipe-Prinzip“. Hier wird das Regenwasser von den versiegelten Flächen gesammelt und über die Kanalisation zur Kläranlage oder in den Vorfluter geleitet. Die Entwässerung erfolgt mittels Misch- oder Trennverfahren. Durch diese Verfahren wird das Regenwasser schnellstmöglich von den versiegelten Flächen abgeleitet. Nachteilhaft ist die hydraulische und stoffliche Belastung der Fließgewässer, die bei Überlastung des Systems entsteht. (Sieker, 2019a) Bei der konventionellen Regenentwässerung kann das Regenwasser auch in Zwischenspeicher gespeichert werden. Hier kann das Regenwasser aber weder Versickern noch Verdunsten.

Da Regenwasser eine wichtige Ressource ist und der natürliche Wasserhaushalt gestärkt werden sollte, wurden Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung entwickelt. Mit Hilfe dieser Maßnahmen soll das Einleiten von Niederschlagswasser in die Kanalisation reduziert bzw. vermieden werden. Das anfallende Regenwasser sollte so gut wie möglich vor Ort behandelt werden.

Laut Sieker (2019b) gibt es sechs grundlegende Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung:

- *Nutzung*
- *Versickerung*
- *Verdunstung*
- *Behandlung*
- *Rückhaltung*
- *Gedrosselte Ableitung*

1.3.1 Nutzung

Die Nutzung von Regenwasser kann sowohl im privaten Bereich als auch für die Industrie von Vorteil sein.

1.3.1.1 Regenwassernutzung im privaten Bereich

Das Regenwasser wird von den Dächern in Zisternen geleitet und dort gespeichert. Über Pumpen wird das Regenwasser wieder entnommen und für die Spülung von Toilettenanlagen, Waschmaschinen und für die Bewässerung eingesetzt. Die Regenwassernutzung führt zu einer Einsparung von Trinkwasser von circa 30 Liter pro Einwohner am Tag. Diese Einsparung bewirkt, dass weniger Trinkwasser aus Grundwasser, Quellen oder Oberflächenwasser gewonnen werden muss. Der Niederschlagsabfluss wird ebenfalls durch die Regenwassernutzung reduziert. (Sieker, 2001)

Bei Fehllanschlüssen kann es zu einer Verunreinigung des Trinkwassers kommen, was gesundheitliche Bedenken aufwirft. (Sieker, 2001) Des Weiteren ist zu

erwähnen, dass es aktuell nicht wirtschaftlich ist, ein bestehendes Gebäude auf Regenwassernutzung umzurüsten, da die Kosten dafür zu hoch sind.

1.3.1.2 Regenwassernutzung für Gewerbe und Industrie

Die Funktionsweise der Regenwassernutzung im Industrie- und Gewerbebereich ist der im privaten Bereich sehr ähnlich. Durch den Einsatz von Regenwasser in der Produktion und zur Kühlung können Kosten eingespart werden. Betriebe können Regenwasser auch für den Brandschutz verwenden. (Mall GmbH, 2017)

Laut Mall-Umweltsysteme (2017) kann Regenwasser für folgende Einsatzgebiete genutzt werden:

- *Kühlkreisläufe/Prozesswässer*
- *Löschwasserbevorratung*
- *Verdunstungskühlung*
- *Kanalreinigung*
- *Metallwaschanlagen*
- *Bewässerung von Sportanlagen, Friedhöfen, Gärtnereien*
- *Fahrzeugwaschanlagen*

1.3.2 Versickerung

Niederschlagswasser, das mittels Versickerungsmaßnahmen behandelt wird, wird dem Grundwasser zugeführt. Versickerungsmaßnahmen können oberirdisch und unterirdisch erfolgen. Bei oberirdischen Versickerungsmaßnahmen kann das Niederschlagswasser ebenfalls verdunsten.

Wie im ÖWAV-Regelblatt 35 (2003) beschrieben wird, können die folgenden fünf Maßnahmen zur Versickerung eingesetzt werden.

1.3.2.1 Flächenversickerung

Bei der Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser von einer angrenzenden versiegelten Fläche auf eine Grünfläche geleitet. Da das Regenwasser auf den Grünflächen ohne Zwischenspeicher versickert wird, ist ein großer Flächenbedarf notwendig. Die Flächenversickerung kann nur für kleinere Verkehrsflächen mit einer geringen Belastung eingesetzt werden. (Bandermann, 2019)

Die Flächenversickerung weist bei Wiesenflächen eine gute Reinigungsleistung auf und ist einfach zu warten. Ebenso fallen bei dieser Versickerungsmethode nur geringe Herstellungskosten an. (Burger et al., 2009)

1.3.2.2 Muldenversickerung

Muldenversickerungen bietet eine kurzzeitige Speicherung des Regenwassers, wodurch das Wasser versickern und verdunsten kann und somit einen positiven

Einfluss auf die Wasserbilanz hat. Durch die Muldenversickerung wird der Direktabfluss verringert. Um einen zu langen Einstau der Mulde zu vermeiden, sollte diese maximal 30 cm tief sein. Die Muldenversickerung weist außerdem eine gute Reinigungsleistung auf. Als Nachteil ist der mittlere bis große Flächenbedarf zu nennen. (Sieker & Bander mann, 2019d ; HYDR.O., 2018)

1.3.2.3 Versickerungsbecken

Der Regenabfluss wird gesammelt und an einem zentralen Punkt versickert. Versickerungsbecken sind ähnlich der Muldenversickerung, sie weisen eine größere Einstautiefe und eine längere Einstauzeit auf. Bei Versickerungsbecken ist das Verhältnis der versiegelten Fläche zur versickerungsfähigen Fläche größer als 15. (Gantner, 2003)

Die Vorteile eines Versickerungsbeckens sind eine gute Reinigungsleistung, gute Wartungsmöglichkeiten und die Speichermöglichkeit. Der große Flächenbedarf, der Missbrauch als Müllkippe und die eventuelle Gefahr für spielende Kinder stellen wesentliche Nachteile von Versickerungsbecken dar. (HYDR.O. Geologen und Ingenieure GbR, 2018)

1.3.2.4 Schacht- und Rigolenversickerung

Bei der *Schachtversickerung* wird das Regenwasser unterirdisch in den Schacht eingeleitet, gespeichert und durch den durchlässigen Boden versickert. Der Vorteil der Schachtversickerung ist, dass oberirdisch kein Platz benötigt wird, die Versickerung auch bei einem gering durchlässigen Boden erfolgen kann und eine gute Kontrollmöglichkeit gegeben ist. Die große Einbautiefe und die geringe Reinigungsleistung zählen zu den Nachteilen. (Sieker & Bander mann, 2019c ; HYDR.O., 2018)

Die *Rigolenversickerung* kann auch bei einer schlechtdurchlässigen Oberbodenpassage verwendet werden, da das Regenwasser unterirdisch eingeleitet wird und dann versickert. Ein geringer Flächenbedarf und die Speichermöglichkeit im Rigolenvolumen sind maßgebende Vorteile. An der Oberfläche kommt es kaum zu einer Nutzungseinschränkung. Bei diesem System erfolgt jedoch keine Verdunstung und keine Reinigung durch die Oberbodenpassage, des Weiteren besteht keine Wartungsmöglichkeit und ein erhöhter Herstellungsaufwand. (Sieker & Bander mann, 2019b ; HYDR.O., 2018)

1.3.2.5 Mulden-Rigolensysteme

Mulden-Rigolensysteme werden eingesetzt, wenn der Boden schlechte Versickerungseigenschaften aufweist und wenn die Platzverhältnisse beschränkt sind. Die Rigole wird bei diesem System direkt unter der Mulde angeordnet. Es erfolgt eine gute Reinigungsleistung durch die belebte Bodenpassage. (Sieker & Bander mann, 2019a)

Überdies trägt das System zu einer guten Wasserbilanz bei, da das Regenwasser versickern und verdunsten kann.

1.3.3 Verdunstung

Die Verdunstung spielt im natürlichen Wasserhaushalt eine große Rolle. Die Verdunstung bringt wesentliche Vorteile mit sich, wie z.B. die natürliche Kühlung der Lufttemperaturen und der angrenzenden Oberflächentemperaturen. Die Verdunstung kann durch Retention mittels z.B. Gründächern und der Entsiegelung und dem Einsatz von durchlässigen Belägen verstärkt werden. Werden Versickerungsmaßnahmen wie die zuvor genannte Flächen- oder Muldenversickerung eingesetzt, kann das Niederschlagswasser ebenfalls verdunsten.

1.3.3.1 Gründächer

Gründächer haben einen positiven Einfluss auf den Urban Heat Island Effekt, durch Evapotranspiration wird Energie verbraucht und dadurch Wärme aus der Luft entfernt. Gründächer weisen eine geringere Dachtemperatur auf als herkömmliche Dächer, was sich wiederum positiv auf die Umgebungstemperatur auswirkt. Gründächer reduzieren nachweislich das Abflussvolumen, die Luftverschmutzung und filtern die Schadstoffe aus dem Niederschlagswasser heraus. (US EPA, 2014) Zusätzlich wird, neben den davor genannten Vorteilen, noch ein neuer Lebensraum für die Pflanzen- und Tierwelt geschaffen, zudem steigert ein Gründach die Lebensqualität über die Aufwertung des visuellen Eindrucks. (Sieker, 2001)

Bei der Herstellung fallen Mehrkosten an, verglichen mit einem herkömmlichen Dachaufbau, ebenso ist ein nachträglicher Umbau zu einem Gründach nicht bei allen Dächern durch die zusätzliche statische Belastung möglich. (Sommer, 2019b) Das Niederschlagswasser wird von einem Gründach nicht versickert und trägt daher nicht zur Grundwasserneubildungsrate bei.

1.3.3.2 Durchlässige Beläge

Entsiegelungsmaßnahmen können die Umwandlung von versiegelten Flächen in Grünflächen sein oder auch das Anbringen von durchlässigen Verkehrsbelägen.

Durch den Einsatz von durchlässigen Belägen wird das Abflussvolumen reduziert, es erfolgt eine Anreicherung des Grundwassers und Schadstoffe werden aus dem Niederschlagswasser gefiltert. Werden Vegetationsbeläge eingesetzt, kommt es auch zur Kühlung der Oberflächentemperaturen. (US EPA, 2015)

Damit das Niederschlagswasser vollständig abgeführt werden kann, müssen alle Schichten im Aufbau durchlässig gestaltet werden. Diese Bedingung führt dazu, dass durchlässige Straßenbeläge nur bei Straßen mit geringer Belastbarkeit eingesetzt werden können. (Leistner et al., 2018)

1.3.4 Behandlung

Die Behandlung von Niederschlagswasser spielt eine große Rolle bei der dezentralen Regenbewirtschaftung. Es darf durch die Versickerung von Regenwasser zu keiner Verschlechterung der Qualität des Grundwassers kommen.

Die dezentrale Behandlung von Niederschlagswasser kann durch zwei verschiedene Systeme erfolgen, durch Anlagen mit belebter Bodenzone und durch technische Anlagen. Der verschmutzte Stoffabfluss kann hier getrennt vom Schmutzwasser behandelt werden. (Sommer, 2019c)

Anlagen mit belebter Bodenzone haben den Vorteil, dass Grob- und Feinstoffe zurückgehalten werden können. Schwermetalle werden ebenfalls in der oberen Bodenzone aus dem Sickerwasser entfernt. Ein weiterer Vorteil ist die Langlebigkeit des Systems. Nach langjähriger Nutzung sind die Versickerungsfähigkeit und der neutrale pH-Wert der Bodenzone noch gegeben. (Sommer, 2019a)

Bei technischen Anlagen wird zwischen punktuellen Systemen und semizentralen Systemen unterscheiden. Bei punktuellen Systemen wird der Straßenablauf ersetzt und bei semizentralen Systemen werden mehrere Straßenabläufe zusammengefasst. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen technischen Anlagen, der Einsatzort und die Anforderungen an die Anlage sind hierbei maßgeblich für die Auswahl der Anlage. (Sommer, 2019d)

1.3.5 Rückhaltung und gedrosselte Ableitung

Die Ableitung des Niederschlagswassers ist dann erforderlich, wenn eine Versickerung oder eine anderweitige Verwendung nicht möglich ist. Hier erfolgt eine gedrosselte Einleitung in die Kanalisation oder in ein Gewässer.

Das Niederschlagswasser kann mittels Regenwasserrückhaltesystem zurückgehalten werden. Regenwasserrückhaltesysteme reduzieren die Zuflussspitzen zum Vorfluter und bewirken eine Verringerung des Spülstoßes, wodurch weniger Schadstoffe in das Gewässer gelangen. (OEWAV, 2003)

1.4 Stockholm-System

Der Begriff Stockholm-System beschreibt ein Bodensystem welches Niederschlagswasser aufnehmen und zwischenspeichern kann. Hier wird der Mutterboden durch sickerfähiges und porenreiches Material ersetzt. Durch dieses System muss das Niederschlagswasser nicht mehr in die Kanalisation eingeleitet werden, sondern kann direkt vor Ort versickert werden und trägt so zu einem besseren Grundwasserhaushalt bei.

Das System besteht aus unterschiedlichen Komponenten. Das Regenwasser wird meist an der Oberfläche gesammelt und in einen Schacht eingeleitet. In diesem Schacht sind Sickerrohre angeschlossen, die das Regenwasser in die Verteilerschicht leiten. Die Verteilerschicht befindet sich unter dem herkömmlichen Straßenaufbau und hat die Aufgabe, das Regenwasser flächendeckend über das gesamte System zu verteilen. Unter der Verteilerschicht befindet sich die dickere Sickerschicht. In dieser Schicht wird das Regenwasser gespeichert und kann in den Untergrund versickern. Die Sickerschicht wird mit grobkörnigem Material verfüllt, wodurch sich ein großer Anteil an Poren ergibt. Dieser Porenanteil bietet einen guten Lebensraum für Wurzeln. Ein Notüberlauf in die Kanalisation befindet sich ebenso im Einlaufschacht, um bei Starkregen gegebenenfalls Regenwasser, das nicht mehr aufgenommen werden kann, ableiten zu können. Eine Rückstauklappe verhindert das Eindringen von Schmutzwasser bei Starkregenereignissen. Die Anordnung von Schächten in einem regelmäßigen Abstand spielt bei diesem System eine wichtige Rolle. Diese Schächte dienen nicht nur dem Wassereintrag in den Untergrund, sondern garantieren auch die Luftzufuhr in den Untergrund. Durch die Luftzufuhr wird verhindert, dass es zum anaeroben Abbau im Untergrund kommt.

In Deutschland und China wird der Begriff Schwammstadt für dieses System verwendet. In Schweden und in Österreich hat sich bis jetzt der Begriff Stockholm-System durchgesetzt.

Das System wird in China anders umgesetzt als in Europa. In Europa wird das System in der Kombination mit Bäumen umgesetzt. Hier dient das System vorwiegend dem Baum und bietet ihm genügend Nährstoffe und Porenraum für das Wurzelwachstum.

Nachfolgend werden Beispiele aus Europa und China dargestellt.

1.4.1 Deutschland

Anfang der 1990er Jahre wurde in Deutschland, in Osnabrück, ein „Schwammstadt“-Projekt umgesetzt. Hier wurde der Platz *Die Große Domsfreiheit* neugestaltet. Bei dieser Neugestaltung wurde ein 3 m breiter mäandrierender Graben erstellt. Dieser Graben wurde mit einem Groblave-Feinboden-Gemisch ausgefüllt. Für die Groblave wurde eine Körnung von 100/150 mm eingesetzt und für

den Feinbodenanteil wurde ein standardisiertes, sandiges Untersubstrat verwendet. Das Gemisch wurde mittels Radlader in die Grube gefüllt und durch eine Rüttelwalze verdichtet. Es wurden 72 Bäume in Pflanzgruben mit 1,5 m Tiefe gepflanzt. Laut einem Bericht von Klaus Schröder entwickelten sich die Bäume nach zwei Vegetationsperioden prächtig. Des Weiteren sind keinerlei Auswerfungen und Absetzungen am Platz ersichtlich. Die Regenwasserentwässerung funktioniert rein nur über die Pflanzgruben, da es keine Regenwasserableitung für diesen Platz gibt. (Schröder, 2016)



Abbildung 1-1: mäandrierender Graben Osnabrück (Schröder, 2016)

1.4.2 Schweden

In Stockholm wurden bereits mehrere Projekte in Anlehnung an das Projekt in Deutschland umgesetzt. In der nachfolgenden Abbildung ist ein Querschnitt des Stockholm-Systems zu erkennen. Hier wurden die unteren 80 cm mit Skellet-Erde aufgefüllt, danach wurde eine 20 cm dicke, luftdurchlässige Tragschicht aus Schotter aufgebracht und darüber befindet sich der Belag. Es ist ein Schacht vorhanden, der den Luftaustausch und die Wasserzufuhr in den unteren Schichten gewährleistet. Der Baum wurde in einen Betonkasten gepflanzt und hat nach unten hin genügend Freiraum, wo er sich ausdehnen kann. Der Überlauf in die Kanalisation ist ein wichtiger Bestandteil dieses Systems, um bei einer Überlastung eine Ableitung des Niederschlagswassers garantieren zu können. (Embrém et al., 2009)

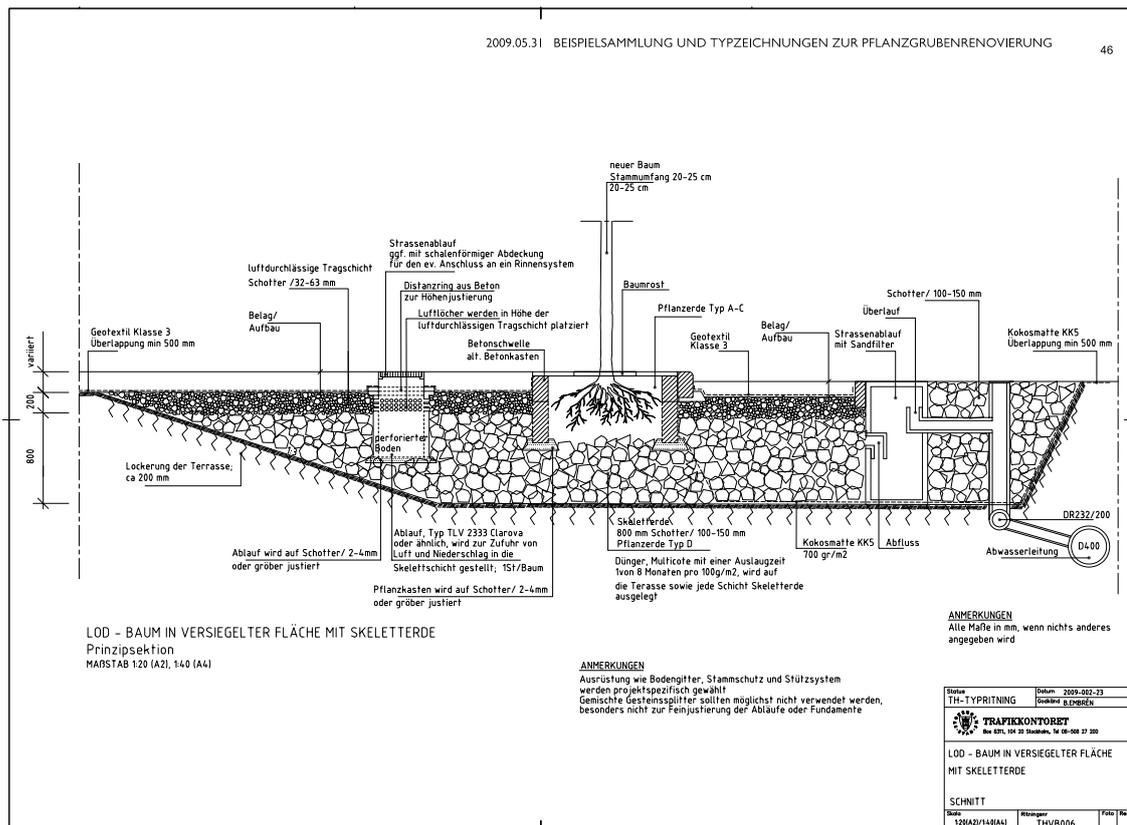


Abbildung 1-2: Querschnitt Stockholmer Lösung (Embrém et al., 2009)

1.4.3 China

In China nimmt das Schwammstadt-System eine ganz andere Dimension an als in den europäischen Städten. Es wurde das Schwammstadt-Programm gestartet, wo Städte und Wohnanlagen mit Filtrationsbecken, Speichern, Feuchtgebieten und durchlässigen Straßenbelägen geplant wurden. Hierzu wurden ganze Bodenpassagen mit speicherfähigem Substrat ausgetauscht. Dieses Substrat soll wie ein Schwamm wirken, das Regenwasser absorbieren und für die spätere Verwendung speichern. Diese Städte sollen bis zu 70% des anfallenden Niederschlagswassers aufnehmen können. (ÖWAW, 2017)

1.4.4 Österreich

In Graz sind vier Projekte nach dem Vorbild des Stockholm-Systems umgesetzt worden. Das erste Projekt ist die Eggenberger Allee. In der Abbildung 1-3 ist der Querschnitt im Haltestellenbereich dargestellt.

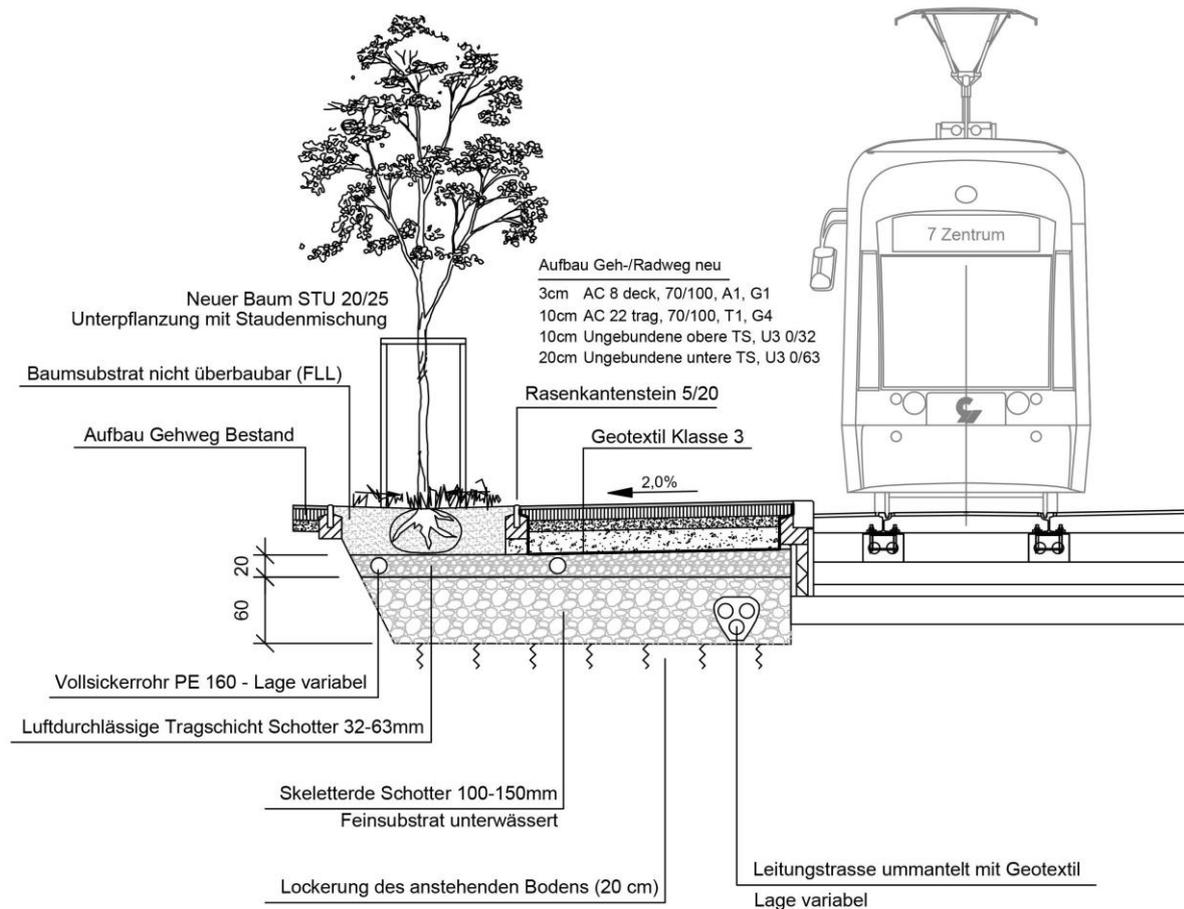


Abbildung 1-3: Querschnitt Eggenberger Allee (freiland Umweltconsulting ZT GmbH, 2017)

Wie zu erkennen ist, ist hier der Teil der Straßenbahnhaltestellen mit Substrat unterfüllt worden. Über einen Einlaufschacht wird das Niederschlagswasser gesammelt und über Vollsickerrohre in die 20 cm dicke Verteilerschicht geleitet. In der Verteilerschicht wird das Regenwasser gleichmäßig verteilt und versickert anschließend in den Schotter. Bei diesem System ist es wichtig, dass genügend Schächte platziert werden, um eine ausreichende Luftzufuhr zu gewährleisten. Wenn zu wenig Luft in den Untergrund gelangt, fängt das System an zu rotten und es kommt zu einem anaeroben Abbau. Im Sammelschacht befindet sich ein Überlaufrohr; falls das System eingestaut ist und es kein weiteres Niederschlagswasser mehr aufnehmen kann, wird das zusätzliche anfallende Wasser in den Kanal eingeleitet. (Stroisser & Stadtler, 2017)

Für die Herstellung wurde der Schotter (100-150 mm) in Schichten aufgebracht und mittels einer Vibrationsplatte verdichtet. Zwischen den Schotterschichten wurde das Feinsubstrat in einer Dicke von 3 cm aufgetragen und mit hohem Druck mittels Wasser in den Schotter unterspült. Um eine Verdichtung des Feinsubstrates zu verhindern, muss die oberste Schotterschicht nach dem Unterspülen sichtbar sein, bevor die nächste Schotterschicht aufgebracht wird. Für die Verteilerschicht wurde Splitt (32/63 mm) verwendet. Die Verteilerschicht wurde

ebenfalls verdichtet und die Vollsickerrohre werden verlegt. Eine Trennschicht aus Geotextil wurde zwischen Verteilerschicht und oberer Tragschicht ausgelegt. Zum Schluss wurde der Belag für den Geh- und Radweg verlegt. (freiland Umweltconsulting ZT GmbH, 2017)

Der Vorplatz des Lend-Hotels wurde ebenso nach dem Stockholm-System umgesetzt. Wie in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist, wird hier das Niederschlagswasser von den Betonflächen zu den Schächten und dem Schotterbereich geleitet. Von den Schächten wird das Regenwasser in die Verteilerschicht geleitet und versickert von dort aus. Das Niederschlagswasser, das sich am Schotterbereich ansammelt, wird ebenso versickert und dient zur Baumbe-wässerung.



Abbildung 1-4: Vorplatz Lend-Hotel

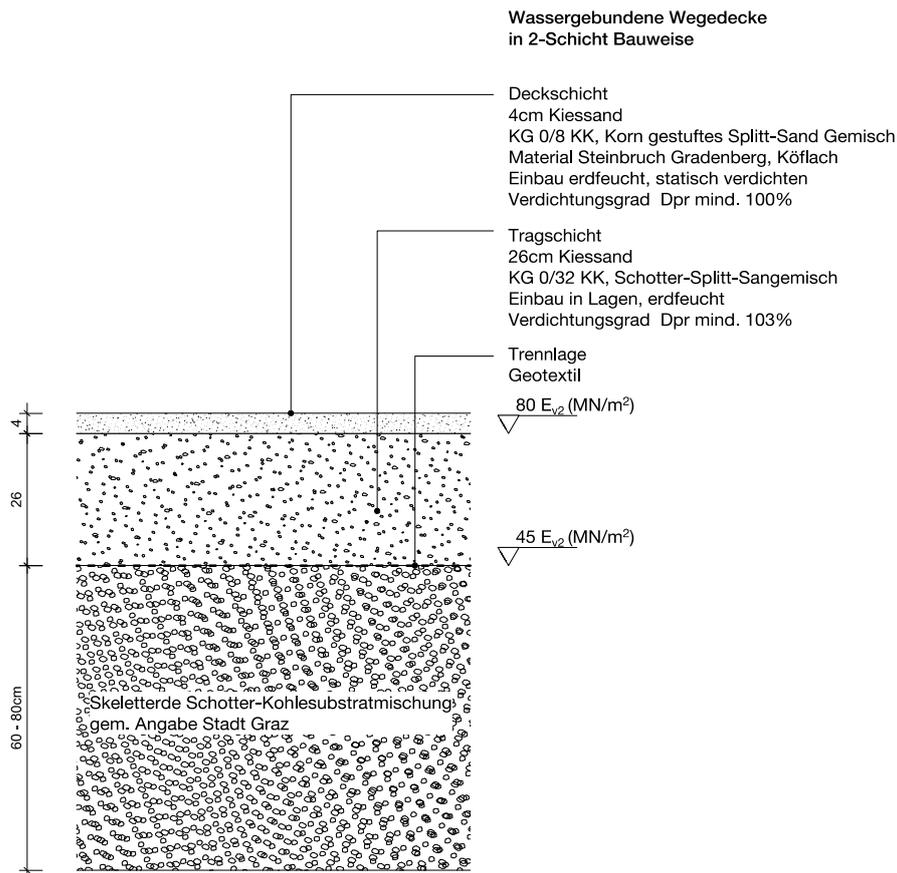


Abbildung 1-5: Aufbau Vorplatz Lend-Hotel (Studio Boden, 2018)

Wie in der obenstehenden Abbildung 1-5 ersichtlich, ist das System unter der Deckschicht mit einer 26 cm dicken Tragschicht ausgestattet. Darunter ist die Skelett-Erde angeordnet. Um ein Vermischen der beiden Systeme zu verhindern, ist eine Trennlage aus Geotextil angeordnet. Der wesentliche Unterschied zwischen den zwei Projekten in Graz ist die Herstellung. In Eggenberg wurde das Material nass verbaut und am Vorplatz des Lend-Hotels wurde das Material trocken verlegt.

1.5 Boden-Rohr-System

Bei dem Boden-Rohr-System, das in der Masterarbeit behandelt wird, handelt es sich um ein abgewandeltes Stockholm-System. Die Idee ist, den Graben, in dem die Leitungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (aber auch andere Leitungen wie z.B. der Telekom und der Fernwärme) liegen, als Retentionsraum für Regenwasser zu nutzen und das Regenwasser in den Untergrund versickern bzw. verdunsten zu lassen. Um den Rohrgraben als Sickeranlage nutzen zu können, wird das ursprüngliche Bettungsmaterial durch sickerfähiges Material ersetzt. Das Regenwasser wird an der Oberfläche gesammelt und in das System eingeleitet. Das Ziel ist es, Regenwasser zu speichern und zu versickern. Der Grundgedanke bei diesem neuen System ist, das Regenwasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückzuführen.

Grundsätzlich kann der Wassereintrag in das System auf zwei unterschiedliche Weisen geschehen. Zum einen kann das Wasser an der Oberfläche gesammelt werden und mittels Rohren in die Verteilerschicht einleiten werden, zum anderen kann der Straßenaufbau durchlässig gestaltet werden, so dass das Niederschlagswasser direkt versickern kann.

In der Abbildung 1-6 wird das Boden-Rohr-System mit dichtem Straßenaufbau schematisch dargestellt. Bei dieser Variante muss das Niederschlagswasser in der Verteilerschicht mittels Sickerrohren verteilt werden, um eine breitflächige Versickerung zu ermöglichen.

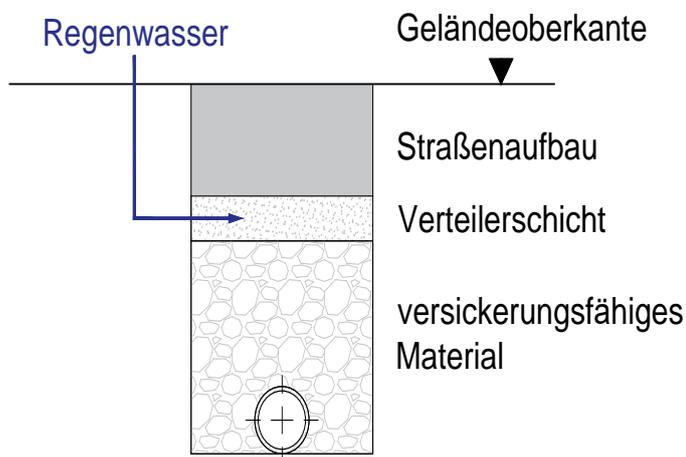


Abbildung 1-6: Schematische Darstellung des Boden-Rohr-Systems mit Verteilerschicht

Die Abbildung 1-7 zeigt das Boden-Rohr-System mit durchlässigem Straßenaufbau. Hier kann das Niederschlagswasser direkt versickern, ohne dass es zuvor gesammelt und eingeleitet werden muss.

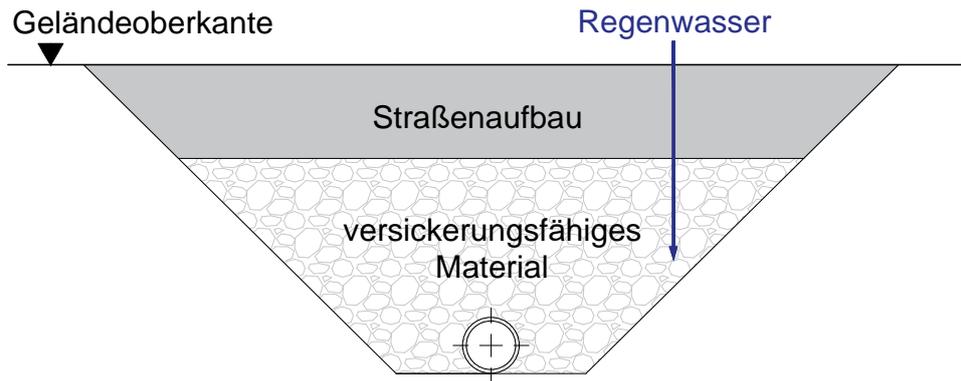


Abbildung 1-7: Schematische Darstellung des Boden-Rohr-Systems mit durchlässigem Straßenaufbau

Ein Vorteil, der sich durch dieses System ergibt, ist die Entlastung der Kanalisation und der damit verbundenen Schadstoffeinträge in ein Gewässer bei Starkregenereignissen, da das Regenwasser nicht mehr in die Kanalisation eingeleitet werden muss. Ein weiterer positiver Effekt ist die Reduzierung der Abflussspitzen und die Reduktion des Risikos von lokalen Überflutungen, die durch überlastete Kanäle ausgelöst werden. Die Anreicherung des Grundwassers und die damit verbundene Sicherstellung des Grundwasservorrates als Trinkwasser ist ein weiterer positiver Aspekt. Durch die Versickerung wird ein Schadstoffrückhalt erzielt und somit das Regenwasser gereinigt. Bei der Ausführung mit durchlässigen Belägen ist eine Verdunstung des Niederschlagswassers möglich. Der wesentliche Vorteil, den die Verdunstung mit sich bringt, ist die natürliche Kühlung der Oberflächen- und Lufttemperaturen in den Sommermonaten. Durch diese natürliche Kühlung kann auf anderweitige Systeme wie z.B. die Kühlung durch Sprühnebel in Einkaufsstraßen verzichtet werden.

Die naturnahen Regenwasserbewirtschaftungssysteme benötigen in ihrer Ausführung oft viel Platz und schränken die Benutzbarkeit der Oberfläche oft ein. Beim Boden-Rohr-System ist für die Umsetzung nur ein geringer Platzbedarf nötig und beim Einsatz der dichten Variante kommt es zu keinen Einschränkungen der Nutzung der Oberfläche.

Für die Umsetzung des Boden-Rohr-Systems fallen nur geringe Herstellungskosten an, da die Herstellung des Systems in die Erneuerungsplanung der Leitungen mit einplanen werden kann. Wenn der Rohrgraben für die Verlegung einer neuen Leitung geöffnet ist, kann das Boden-Rohr-System ohne großen Aufwand mit eingebaut werden. Der große Vorteil des Rohrgrabens ist, dass er sich auf öffentlichem Grund befindet und somit immer zugänglich ist.

Als potenzieller Nachteil kann die Einschränkung der Versickerung von Niederschlagswasser von verschmutzten Herkunftsflächen genannt werden. Nicht alle Niederschlagswässer können ohne Vorreinigung versickert werden, da dies zu

einer Verschlechterung der Grundwasserqualität führen würde. Wird der Oberflächenabfluss als nicht bzw. nur gering verschmutzt eingeteilt, kann das Boden-Rohr-System ohne Vorreinigung ausgeführt werden. Überschreiten allerdings die Schadstoffkonzentrationen die vorgegeben Schwellenwerte und wird die Oberfläche als verschmutzt eingestuft, muss das Niederschlagswasser vor der Versickerung gereinigt werden. Hierzu kann das Boden-Rohr-System mit einer Vorreinigung ausgestattet werden, um eine fachgemäße Reinigung des Niederschlagswassers garantieren zu können. Diese Vorreinigung kann mittels eingebauter Filter erfolgen.

Ein weiteres Problem ist der Eintrag von Chlorid in den Untergrund, durch die starke Straßensalzung in den Städten während der Wintermonate. Ebenfalls ist zu beachten, dass dieses System durch den großen Porenanteil eventuell nicht die gleichen Belastungen aushält, wie die herkömmliche Bettungsmethode. Der Einsatz bei Hanglagen kann ebenfalls als Nachteil angesehen werden, da ab einer gewissen Steigung die Gefahr von Erdrutschen gegeben ist.

Es ist darauf hinzuweisen, dass dieses Boden-Rohr-System grundsätzlich anders in der Herstellung ist als das angewandte System „Schwammstadt“ in China.

2 Baurechtliche Grundlagen

Die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser ist in Österreich an rechtliche Grundlagen gebunden. Der fachgerechte Umgang mit Niederschlagswasser wird in Richtlinien, Normen und Regelwerken festgehalten. Für die Einleitung von Niederschlagswasser in den Grundwasserkörper müssen gewisse Aspekte betrachtet werden, hierbei spielt die Wasserqualität eine wichtige Rolle. Daher sind für die Versickerung von Niederschlagswässern verschiedene rechtliche Grundlagen bindend.

Die Herstellung des Rohrgrabens und die Verdichtung des Verfüllmaterials wird ebenfalls mittels rechtlicher Grundlagen festgehalten, um eine fachgerechte Herstellung zu erzielen.

Rechtliche Rahmenbedingungen in Hinblick auf Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsleitungen sind für die Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems ebenfalls zu betrachten.

Es sind somit folgende Richtlinien für die Umsetzung und Planung eines Boden-Rohr-Systems maßgebend:

- EU-Wasserrahmenrichtlinie
- Wasserrechtsgesetz
- Abwasseremissionsverordnung
- ÖWAV-Regelblatt 35
- ÖWAV-Regelblatt 45
- DWA-Arbeitsblatt 138
- DWA-Merkblatt 153
- ÖNORM B2503
- ÖNORM B2506-1
- ÖNORM B2506-2
- ÖNORM B2506-3
- ÖNORM B2533
- ÖNORM B2538
- ÖNORM B5012
- ÖNORM B5016
- ÖNORM EN1610

2.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie – EU-WRRL

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) ist im Jahr 2000 in Kraft getreten und hat das Ziel, einen guten ökologischen und chemischen Zustand von Oberflächengewässern, einen guten chemischen und mengenmäßigen Zustand des Grundwassers sowie einen guten chemischen Zustand und ein gutes ökologisches Potenzial von künstlichen Gewässern zu erreichen. (Umweltbundesamt, 2019)

Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, die nachfolgenden Punkte zu erfüllen:

- „Verankerung von Umweltzielen für Oberflächengewässer und Grundwasser
- Umfassenden 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).“ (Umweltbundesamt, 2019)

Die EU-WRRL (2000) sieht folgende Umweltziele für Grundwasserkörper vor, die von den Mitgliedsstaaten eingehalten werden müssen:

- die Verhinderung bzw. Begrenzung von Schadstoffeintritt in den Grundwasserkörper und die Verhinderung einer Verschlechterung des Zustandes
- sie sind ebenfalls verpflichtet, das Grundwasser zu schützen, verbessern und zu sanieren, des Weiteren muss ein Gleichgewicht aus Grundwasserentnahme und -neubildungsrate gewährleistet werden.
- Die Verschmutzung, die durch menschliche Tätigkeiten entstanden ist, muss schrittweise reduziert werden.

2.2 Wasserrechtsgesetz - WRG

Mittels dem Wasserrechtsgesetz (WRG) wird die WRRL in nationales Recht überführt. (Umweltbundesamt, 2019) Es bildet die rechtliche Rahmenbedingung für alle Verordnungen und Wasserrechtsbescheide in Österreich.

Laut dem WRG (2003) erfolgt eine Einteilung in öffentliche und private Gewässer. Das Gesetz behandelt vorwiegend Themen zur Benutzung von Gewässern, den Schutz und die Reinhaltung von Gewässern und die Abwehr von Gefahren für ein Gewässer. §30 behandelt die nachhaltige Bewirtschaftung von Gewässern mit den Zielen, das Grundwasser zu schützen und so reinzuhalten, dass es als Trinkwasser genutzt werden kann, sowie Vermeidung der Verschmutzung im Grundwasser. Im WRG sind Umweltziele verankert, die für Oberflächenwässer,

Grundwässer und künstliche oder erheblich veränderte Oberflächenwässer eingehalten werden sollen. In §32 wird festgehalten, ab wann ein Vorhaben bewilligungspflichtig ist.

2.3 Abwasseremissionsverordnung

In der Abwasseremissionsverordnung (2018) wird die Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer geregelt. In der Verordnung wird festgehalten, dass nicht oder nur gering verschmutztes Niederschlagswasser zum natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt werden soll. Ist das Niederschlagswasser mit Schadstoffen belastet, die bei der Einleitung die Wasserbeschaffenheit des Gewässers verändern könnten, muss das Niederschlagswasser laut Verordnung vor der Einleitung gereinigt werden.

2.4 ÖWAV-Regelblatt 45 – „Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund“

Der österreichische Wasser- und Abwasserverband legt im Regelblatt 45 (2015) den Stand der Technik für *Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund* fest. Dieses Regelblatt dient Behörden, Sachverständigen, Betrieben und Planungsbüros, die sich mit Maßnahmen zur Versickerung von Niederschlagswassern befassen.

Dieses Regelblatt dient vorwiegend der Verhinderung bzw. Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen in das Grundwasser, um eine Verunreinigung und Verschmutzung des Grundwassers zu unterbinden. Auf den Winterdienst und den damit verbundenen Einsatz von Chloriden wird in dem Regelblatt nicht weiter eingegangen. Als rechtliche Grundlage für dieses Regelblatt dient das Unionsrecht, welches eine Erreichung bzw. Bewahrung eines guten chemischen und mengenmäßigen Zustandes des Grundwassers anstrebt. (OEWAV, 2015)

Laut dem Regelblatt 45 (2015) werden Niederschlagswässer nach ihrer Herkunftsfläche, wie beispielsweise Dachfläche, Fahrfläche und Parkplatz, untergliedert. Diese Unterteilung ist auf die unterschiedliche Nutzung der Flächen und die damit verbundene stoffliche Belastung zurückzuführen. Hierzu wurden Untersuchungen mit Schwellenwerten, die im Sinne von Umweltsqualitätsnormen festgelegt wurden, durchgeführt. Neben der Verunreinigung von spezifischen Flächen wurden auch atmosphärische Verunreinigungen wie Staub und Gase betrachtet.

Ob ein Niederschlagswasser versickert werden darf, hängt von den gelösten Inhaltsstoffen im Wasser ab. Typische Inhaltsstoffe für unterschiedliche Herkunftsflächen werden in der Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1: Inhaltsstoffe des Regenwasserabflusses von verschiedenen Herkunftsflächen (ÖEWAV, 2015)

Inhaltsstoffe	Atmosphärische Verunreinigung	Dachflächen			Fahr-, Park- und Stellflächen		
		Tondach, Gründach, Glasdach, zementgebundene Deckung	Folien-/Bitumenge-dichtete Dächer	Cu, Zn-Dächer	Rad- und Gehwege; nicht befahrene Flächen	Fahr-, Park- und Stellflächen für Pkw/Lkw	Parkflächen für Pkw > 1000 Parkplätze
Cu				x		x	x
Zn				x		x	x
Cd						x	x
Cr						x	x
Ni						x	x
Pb ¹	x			x			x
Ortho-phosphat	x						x
Cl					x	x	x
PAK	x		x			x	x
KW	x					x	x
NH ₄ ⁺	x						x
TOC						x	x
Pestizide			x		x ²	x ²	x ²

Legende zur Tabelle 2-1

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

Das ÖWAV RB 45 (2015) kategorisiert Niederschlagswasser nach dem Verschmutzungsgrad dessen Herkunftsfläche. Bei dieser Einteilung werden Herkunftsflächen in fünf Kategorien unterteilt. Die Einteilung der Flächentypen kann aus der Tabelle 2-2 entnommen werden.

Tabelle 2-2: Kategorisierung der Niederschlagsabflüsse nach ihren Herkunftsflächen (OEWAV, 2015)

Flächentyp	Art der Fläche
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen (Glas-, Grün-, Kies- und Tondächer, zementgebundene und kunststoffbeschichtete Deckungen), gering verschmutzt. • Alle anderen Dachflächenmaterialien und Terrassen (gering verschmutzt) mit einem Gesamtflächenanteil nicht größer als 200 m² projizierter Fläche. • Rad- und Gehwege. • Nicht befahrene Vorplätze und Zufahrten für Einsatzfahrzeuge.
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen und Terrassen, gering verschmutzt, die nicht dem Flächentyp F1 zugeordnet werden können. • Parkflächen für Pkw nicht größer als 20 Parkplätze bzw. 400 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt). • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellfläche inkl. Zufahrt) mit nicht häufigem Fahrzeugwechsel (Wohnhausanlagen, Mitarbeiterparkplätze bei Betrieben, Park-and-Ride-Anlagen und Parkplätzen mit ähnlich geringem Fahrzeugwechsel). • Fahrflächen mit einer JDTV bis 500Kfz/24h bzw. Gleisanlagen bis 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke
F3	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit häufigem Fahrzeugwechsel (z.B. Kundenparkplätze von Handelsbetrieben, wie z.B. Einkaufsmärkte). • Parkflächen für Pkw größer 75 Parkplätze und nicht größer als 1.000 Parkplätze. • Fahrflächen mit einer JDTV von 500 bis 15.000 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen größer 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecken. • 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. • 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
F4	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer 1.000 Parkplätze (z.B. Einkaufszentren). • Betriebliche Fahrflächen mit einer JDTV über 15.000 Kfz/24 h (Straßen mit in der Regel mehr als zwei Fahrstreifen). • Betriebliche Fahrflächen, Plätze und Flächen mit starker Verschmutzung z.B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen und Märkte.

F5	<ul style="list-style-type: none"> • Park- und Stellflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverluste oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Dachflächen, stark verschmutzt (z.B. in Industriezonen mit hohen Emissionen). • Sonstige Flächen, stark verschmutzt.
-----------	--

Der Tabelle 2-3 können die Entwässerungsanlagen für die verschiedenen Herkunftsflächen des Niederschlagswassers entnommen werden.

Tabelle 2-3: Entwässerungsanlagen zu den Herkunftsflächen (OEWAV, 2015)

Flächentyp	System mit mineralischem Filter	System mit Rasen	System mit Bodenfilter	System mit technischem Filter		
				Sickerschacht mit technischem Filter	technischer Filter in Mulden-/Rinnenform	technischer Filter in Beckenform
F1	M	x	x	x	x	x
F2	-	x	x	M	x	x
F3	-	-	x	i.B.	M	M
F4	-	-	x	i.B.	M	M
F5	-	-	i.B.	i.B.	i.B.	i.B.

Legende zur Tabelle 2-3

x ... Empfohlen

M ... Zulässig (Stellt die Mindestanforderung dar)

i.B. ... Zulässig nach individueller Beurteilung (wenn erforderliche Reinigungsleistung gegeben ist)

- ... nicht zulässig

Es ist daher auf eine ausreichende Reinigung des Niederschlagswassers zu achten. Auf die verschiedenen Arten der Reinigung wird in Kapitel 3 genauer eingegangen.

2.5 ÖWAV-Regelblatt 35 – „*Behandlung von Niederschlagswässern*“

Im ÖWAV-Regelblatt 35 (2003) werden die verschiedenen Behandlungsmethoden für Niederschlagswässer erläutert. Es wird auf die Qualität des Niederschlagsabflusses von verschiedenen Herkunftsflächen eingegangen. Durch die Versickerung von Regenwasser kann es zu einem Anstieg der Konzentrationen von Schadstoffen im Grundwasser kommen. In den ersten 30 cm der Bodenpassage wird durch Adsorption, biologischen Abbau, Fällung, Filtration, Ionenaustausch und Komplexierung ein Großteil der vorhandenen Schadstoffe im Sickerwasser zurückgehalten.

Im Regelblatt wird die nachfolgende Tabelle mit den Anforderungen an die Versickerung dargestellt.

Tabelle 2-4: Anforderungen an die Versickerung von Regenwasser (OEWAV, 2003)

Flächentyp	Anforderungen
F1	Die Versickerung über Oberbodenpassage ist anzustreben; die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage gilt aber als bedenklich.
F2	Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist anzustreben. Die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage kann in Ausnahmefällen toleriert werden, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist und eine geeignete Vorreinigung (z.B. Schlammfällung, 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.

Für die Flächentypen F1-F3 ist im Normalfall keine Vorbehandlung vor der Einleitung in ein Fließgewässer notwendig. Eine Vorbehandlung ist für die Flächentypen F4 und F5 anzustreben, da ein erhöhter Verunreinigungsgrad bei diesen Flächentypen vorkommt.

2.6 DWA-Arbeitsblatt 138

Die deutsche Vereinigung von Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. hat das DWA-Arbeitsblatt 138 „*Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*“ (2005) herausgebracht. Das Arbeitsblatt empfiehlt Niederschlagswasser örtlich zu versickern und somit die Einleitung in die Kanalisation zu verringern. Laut dem Arbeitsblatt können Niederschlagswasser nach ihren Stoffkonzentrationen eingeteilt werden in:

- *unbedenklich*
- *tolerierbar*
- *nicht tolerierbar*

Unbedenklich: Regenwasser, das als unbedenklich gilt, kann ohne Vorbehandlung versickert werden. Es besitzt einen so geringen Schadstoffanteil, dass es keine schädliche Verunreinigung oder Veränderung der Eigenschaft des Grundwassers hervorruft.

Tolerierbar: Tolerierbares Regenwasser kann unter geeigneter Vorbehandlung oder durch den Reinigungsprozess, der z.B. bei der Versickerung durch eine Bodenpassage passiert, versickert werden.

Nicht tolerierbar: Dieses Regenwasser muss einer geeigneten Vorbehandlung unterzogen oder in das Kanalsystem eingeleitet werden.

Im Vordergrund steht die Rückführung des Regenwassers in den natürlichen Wasserkreislauf. Eine Versickerung ist nur dann möglich, wenn keine Gefahr für das Grundwasser gegeben ist. Weißt ein Untergrund einen k_f -Wert kleiner als 1×10^{-6} auf, ist eine zusätzliche Ableitungsmöglichkeit bei Versickerungsmaßnahme mit einzuplanen. Der pH-Wert hat einen großen Einfluss auf die Löslichkeit und das Verhalten von Schwermetallen. In Deutschland liegt der pH-Wert für Niederschlagswasser vorwiegend im sauren Bereich. Der pH-Wert von Niederschlagsabfluss liegt wiederum im schwach sauren bis neutralen Bereich.

2.7 DWA-Merkblatt 153

Das DWA-Merkblatt 153 (2007) hat den Titel „*Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser*“. In diesem Merkblatt wird ein vereinfachtes Bewertungsverfahren erläutert, mit dem Ziel, die geeignete Regenwasserbehandlungsmaßnahme für die Reinigung von Niederschlagswasser vor dem Einleiten in ein Gewässer oder Grundwasser zu finden. Hierzu ist eine Einstufung des Gewässers notwendig. Das Gewässer kann in 13 verschiedene Typen eingestuft werden. Das Merkblatt unterscheidet hierbei Gewässer mit normalen Schutzbedürfnissen und Gewässer mit besonderen Schutzbedürfnissen. Die Punkte für die einzelnen Gewässertypen können der Abbildung 2-1 entnommen werden.

Gewässerpunkte			
Gewässertyp	Beispiele	Typ	Punkte
Meer	offene Küstenregion	G1	33
Fließgewässer	großer Fluss ($MQ > 50 \text{ m}^3/\text{s}$)	G2	27
	kleiner Fluss ($b_{Sp} > 5 \text{ m}$)	G3	24
	großer Hügel- und Berglandbach ($b_{Sp} = 1-5 \text{ m}$; $v \geq 0,5 \text{ m/s}$)	G4	21
	großer Flachlandbach ($b_{Sp} = 1-5 \text{ m}$; $v < 0,5 \text{ m/s}$)	G5	18
	kleiner Hügel- und Berglandbach ($b_{Sp} < 1 \text{ m}$; $v \geq 0,3 \text{ m/s}$)		
	kleiner Flachlandbach ($b_{Sp} < 1 \text{ m}$; $v < 0,3 \text{ m/s}$)	G6	15
stehende und gestaute Gewässer	abgeschlossene Meeresbucht großer See (über 1 km^2 Oberfläche) gestauter großer Fluss ($MQ > 50 \text{ m}^3/\text{s}$)	G7	18
	gestauter kleiner Fluss ¹⁾ Marschgewässer	G8	16
	gestauter großer Hügel- und Berglandbach ¹⁾	G9	14
	gestauter großer Flachlandbach ¹⁾ (siehe auch G24)	G10	12
	kleiner See, Weiher (unter 500 m^2 Oberfläche)	G11	10
	gestaute kleine Bäche ¹⁾		
Grundwasser	außerhalb von Trinkwassereinzugsgebieten	G12	10
	Karstgebiete ohne Verbindung zu Trinkwassergewinnungsgebieten (Nachweis erforderlich)	G13	8

1) Die Einstufung gestauter Gewässer erfolgt i. d. R. oberhalb der Stauwurzel

Abbildung 2-1: Gewässerpunkte für Gewässer mit normalen Schutzbedürfnissen (DWA, 2007)

Je nach örtlicher Begebenheit können verschieden starke Luftverschmutzungen auftreten. Die Verschmutzung kann in gelöster Form als saurer Regen oder in partikulärer Form als Ruß vorkommen. Um diese Belastung mit einbeziehen zu können, wird die Luftverschmutzung in diesem Merkblatt in drei Kategorien unterteilt. Die dazugehörigen Punkte können der Abbildung 2-2 entnommen werden.

Einfluss aus der Luft			
Luftverschmutzung	Beispiele	Typ	Punkte
gering	Siedlungsbereiche mit geringem Verkehrsaufkommen (durchschnittlicher täglicher Verkehr unter 5000 Kfz/24h)	L1	1
	Straßen außerhalb von Siedlungen		
mittel	Siedlungsbereiche mit mittlerem Verkehrsaufkommen (durchschnittlicher täglicher Verkehr 5000 bis 15000 Kfz/24h)	L2	2
stark	Siedlungsbereiche mit starkem Verkehrsaufkommen (durchschnittlicher täglicher Verkehr über 15000 Kfz/24h)	L3	4
	Siedlungsbereiche mit regelmäßigem Hausbrand (z. B. Holz, Kohle)		
	im Einflussbereich von Gewerbe und Industrie mit Staubemission durch Produktion, Bearbeitung, Lagerung und Transport	L4	8

Abbildung 2-2: Einfluss aus der Luft (DWA, 2007)

Die stoffliche Belastung der verschiedenen Herkunftsflächen wird im DWA-M153 (2007) wie folgt typisiert:

Belastung aus der Fläche			
Flächen- verschmutzung	Beispiele	Typ	Punkte
gering	Gründächer, Gärten, Wiesen und Kulturland mit möglichem Regenabfluss in das Entwässerungssystem	F1	5
	Dachflächen ¹⁾ und Terrassenflächen in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten	F2	8
	Rad- und Gehwege außerhalb des Spritz- und Sprühfahnenbereichs von Straßen (Abstand über 3 m)	F3	12
	Hofflächen und Pkw-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten wenig befahrene Verkehrsflächen (bis zu 300 Kfz/24h) in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten, z. B. Wohnstraßen		
mittel	Straßen mit 300 bis 5000 Kfz/24h, z. B. Anlieger-, Erschließungs-, Kreisstraßen	F4	19
	Hofflächen und Pkw-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel in Misch-, Gewerbe- und Industriegebieten ²⁾	F5	27
	Straßen mit 5000 - 15000 Kfz/24h, z. B. Hauptverkehrsstraßen		
stark	Pkw-Parkplätze mit häufigem Fahrzeugwechsel, z. B. von Einkaufszentren	F6	35
	Straßen und Plätze mit starker Verschmutzung, z. B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen, Reiterhöfe, Märkte		
	Straßen über 15000 Kfz/24h, z. B. Hauptverkehrsstraßen mit überregionaler Bedeutung, Autobahnen		
	stark befahrene Lkw-Zufahrten in Gewerbe-, Industrie oder ähnlichen Gebieten z. B. Deponien	F7	3) 45
	Lkw-Park- und Stellplätze		

1) kupfer-, zink- oder bleigedekte Dachflächen sind nach Abschnitt 5.3.2 zu regeln
 2) Umschlagflächen in Gewerbe- und Industriegebieten sind im Einzelfall zu regeln
 3) Versickerung nur mit Kontrollmöglichkeit nach der Reinigung zulässig

Abbildung 2-3: Stoffliche Belastung in Bezug auf ihre Herkunftsflächen (DWA, 2007)

Um eine annähernd ausreichende Reinigung des Regenwassers gewährleisten zu können, muss der Emissionswert $E \leq$ Gewässerpunktezahl G sein. Der Emissionswert E setzt sich aus der Abflussbelastung des Regenwassers B multipliziert mit dem Durchgangswert D der Behandlungsmaßnahmen zusammen.

$$E = B * D \qquad \text{Gleichung 2-1}$$

Der Durchgangswert kann für verschiedene Maßnahmen aus der Abbildung 2-4 entnommen werden. Wenn keine Behandlung erfolgt, ist $D=1$.

Durchgangswerte bei Bodenpassagen					
Beispiele	Typ	Flächenbelastung ¹⁾ $A_u : A_s$			
		a	b	c	d
Versickerung durch 30 cm bewachsenen Oberboden	D1	0,10	0,20	0,45	2)
Versickerung durch 20 cm bewachsenen Oberboden	D2	0,20	0,35	0,60	2)
Versickerung durch 10 cm bewachsenen Oberboden	D3	0,45	0,60	0,80	2)
Pflaster und Rasengittersteine mit bewachsenem Oberboden ³⁾					
Bodenpassage unter Mulden, Rigolen ³⁾ , Schächten o. Ä. durch flächenhaft durchgehende Deckschichten von mindestens <ul style="list-style-type: none"> 3 m Mächtigkeit, Durchlässigkeit $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s (z. B. Feinsand, schluffiger Sand, sandiger Schluff) 5 m Mächtigkeit, Durchlässigkeit $k_f = 10^{-3}$ bis 10^{-4} m/s (z. B. sandiger Kies, Grobsand, Mittelsand) 	D4	0,35	0,45	0,60	0,80
Flächenversickerung über durchlässige Beläge auf einem mindestens 30 cm dicken frostsicheren Oberbau, wie z. B. <ul style="list-style-type: none"> Pflaster mit nicht bewachsenen, durchlässigen Fugen poröse Deckbeläge (z. B. Dränbetonsteine) mit Brechsand gefüllte Gittersteine oder Waben 	D5	0,80	1,00		
Flächenversickerung <u>ohne</u> Berücksichtigung weiterer Bodenpassagen über <ul style="list-style-type: none"> geringere Deckschichten als in der Gruppe D4 genannt Rigolen, Versickerungsschächte, Schotterpackungen o. Ä. 	D6	1,00			
<p>1) Erläuterungen zur Flächenbelastung $A_u : A_s$ in den Spalten a bis d (Verhältnis der undurchlässigen Fläche A_u zur Sickerfläche A_s)</p> <p>a: $\leq 5:1$ in der Regel breitflächige Versickerung</p> <p>b: $> 5:1$ bis $\leq 15:1$ in der Regel dezentrale Flächen- und Muldenversickerung</p> <p>c: $> 15:1$ bis $\leq 50:1$ in der Regel zentrale Mulden- und Beckenversickerung</p> <p>d: $> 50:1$</p> <p>2) Bewachsener Oberboden dieser Mächtigkeit ist ohne unzulässig hohe Sandbeimischung für die vorgesehene hydraulische Belastung nicht ausreichend durchlässig. Eine Reduzierung der hydraulischen Belastung und damit eine Einstufung in die Spalte c ist durch ausreichende Regenrückhaltung möglich.</p> <p>3) Bei Pflaster- und Gittersteinen zählt als Versickerungsfläche der durchlässige Anteil, bei Rohr- und Rigolenversickerung ist die Flächenbelastung im Einzelfall zu ermitteln.</p>					

Abbildung 2-4: Durchgangswerte bei Bodenpassagen (DWA, 2007)

Durchgangswerte von bewachsenen Filterbecken mit Vorreinigung und Retentionsraum		
Beispiele	Typ	Wert
Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Trennsystem nach Merkblatt DWA-M 178	D11	0,15
Sedimentationsanlage ¹⁾ mit nachgeschaltetem Filterbecken ²⁾ aus 60 cm Sand der Körnung 0/2	D12	0,25
Sedimentationsanlage ¹⁾ mit nachgeschaltetem Filterbecken ²⁾ aus 60 cm Kiessand der Körnung 0/4	D13	0,30
<p>1) Filteranlagen erfordern zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit zusätzlich zum Stauraum im Filterbecken die Vorschaltung einer Sedimentationsanlage. Diese ist mindestens für eine Oberflächenbeschickung $q_A = 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ bei einer Regenspender $r_{\text{krit}} = 15 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ zu bemessen. Ihre Wirkung ist in den Durchgangswerten bereits enthalten.</p> <p>2) Filterbecken werden hydraulisch auf folgende Werte je m^2 Filterfläche bemessen: hydraulische Flächenbelastung $\leq 40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, Regenabfluss der Drossel $\leq 0,015 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2) = 0,015 \text{ mm/s} = 0,054 \text{ m/h}$</p>		

Abbildung 2-5: Durchgangswerte von bewachsenen Filterbecken (DWA, 2007)

Durchgangswerte von Sedimentationsanlagen					
Beispiele	Typ	kritische Regenabflussspende $r_{krit}^{1)}$			
		a	b	c	d
Anlagen mit maximal $9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Oberflächenbeschickung beim Bemessungsregen mit der Regenspende $r_{(15,1)}$, z. B. Abscheider für Leichtflüssigkeiten nach RiStWag (FGSV-514)	D21	2)	2)	2)	0,20
Anlagen mit Leerung und Reinigung nach Regenende und maximal $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Oberflächenbeschickung bei r_{krit} , z. B. Regenklärbecken ohne Dauerstau, hydrodynamische Abscheider	D22	0,50	0,40	0,35	2)
Anlagen mit maximal $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Oberflächenbeschickung und maximal $0,05 \text{ m/s}$ Horizontalgeschwindigkeit bei r_{krit} , z. B. trockenfallende, bewachsene Seitengräben oder Vegetationspassagen (Länge > 50 m)	D23	0,60	0,50	0,45	0,25
Anlagen mit Dauerstau oder ständiger Wasserführung und maximal $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Oberflächenbeschickung bei r_{krit} , z. B. Regenklärbecken, Teiche	D24	0,65	0,55	0,50	2)
Anlagen mit Dauerstau und maximal $18 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ Oberflächenbeschickung bei r_{krit} , z. B. Absetzanlagen vor Versickerungsbecken oder Regenrückhalteanlagen (siehe Abschnitt 7.4)	D25	0,80	0,70	0,65	0,35
Straßenabläufe für Nass-Schlamm	D26	2)	2)	2)	0,9
Standardstraßenabläufe	D27	2)	2)	2)	1,0
1) Erläuterungen zur kritischen Regenabflussspende r_{krit} in den Spalten a bis d a: $15 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ b: $30 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ c: $45 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ d: $r_{(15,1)}$ (Regenspende mit 15 min Regendauer und jährlicher Wiederkehr) 2) Die Bemessung dieser Anlagen ist für die angegebenen Regenabflussspenden unüblich					

Abbildung 2-6: Durchgangswerte für Sedimentationsanlagen (DWA, 2007)

Die Abflussbelastung B setzt sich aus der Verschmutzung der Fläche F_i und der Luftverschmutzung L_i zusammen.

$$B = \sum f_i(L_i + F_i) \quad \text{Gleichung 2-2}$$

mit

$$f_i = \frac{A_{u,i}}{\sum A_{u,i}} \quad \text{Gleichung 2-3}$$

mit:

$A_{u,i}$... unterschiedlich genutzte Flächen

f_i ... Anteil an der Gesamteinzugsfläche A_u

Wenn $B > G$ eintritt, sind Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung erforderlich.

2.8 ÖNORM B2506-1 – „Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb“

Laut der ÖNORM B2506-1 (2013) wird für die Dimensionierung von Sickeranlagen der Bemessungsniederschlag die abflusswirksame Gesamtfläche, die Durchlässigkeit des Bodens und der maßgebliche Grundwasserspiegel benötigt.

Als Bemessungsniederschlag soll ein 5-jährliches Regenereignis gewählt werden. Wenn große Beeinträchtigungen oder Schäden erwartet werden, muss die Jährlichkeit angepasst werden.

Die *abflusswirksame Gesamtfläche* setzt sich aus nachfolgender Formel zusammen:

$$A_{ent} = A_{red} + A_{va} \quad \text{Gleichung 2-4}$$

mit:

A_{ent} ... Abflusswirksame Gesamtfläche in m^2

A_{red} ... Entwässerungsfläche (Horizontalprojektion und Schlagregen betroffene Flächen) in m^2

A_{va} ... Berechnete Fläche von Versickerungsanlage in m^2

Weisen die Entwässerungsflächen unterschiedliche Abflussbeiwerte auf, müssen Teilflächen ermittelt werden mittels:

$$A_{red} = \sum (A_n * a_n) \quad \text{Gleichung 2-5}$$

mit:

A_n ... Horizontalprojektion der jeweiligen Teilfläche in m^2

a_n ... Jeweiliger Abflussbeiwert

der Zufluss zu Sickeranlage wird ermittelt durch

$$Q = \frac{r_{T(n)} * A_{red}}{10000} \quad \text{Gleichung 2-6}$$

mit:

Q ... Zufluss von A_{red} zur Sickeranlage in l/s

$r_{T(n)}$... Regenspende bezogen auf die Jährlichkeit und Regendauer in $l/(s*ha)$

Die Durchlässigkeit wird mittels k_f -Wert angegeben. Die Versickerungsrate pro Flächeneinheit q_v wird wie folgt berechnet:

$$q_v = v_f * \beta * D * \frac{A_s}{A_{ent}} * 60000 \quad \text{Gleichung 2-7}$$

mit:

q_v ... Versickerungsrate v_f ... Sickergeschwindigkeit in m/s

D ... Regendauer in min A_s ... gewählte/zur Verfügung stehende wirksame Sickerfläche

β ... Sicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung einer Verschlämmung, im Normalfall mit 0,5 anzusetzen

Die Speicherkapazität q_s und das Speichervolumen V_s werden nach der Gleichung 2-8 und 2-9 ermittelt:

$$q_s = q_r * q_v \quad \text{Gleichung 2-8}$$

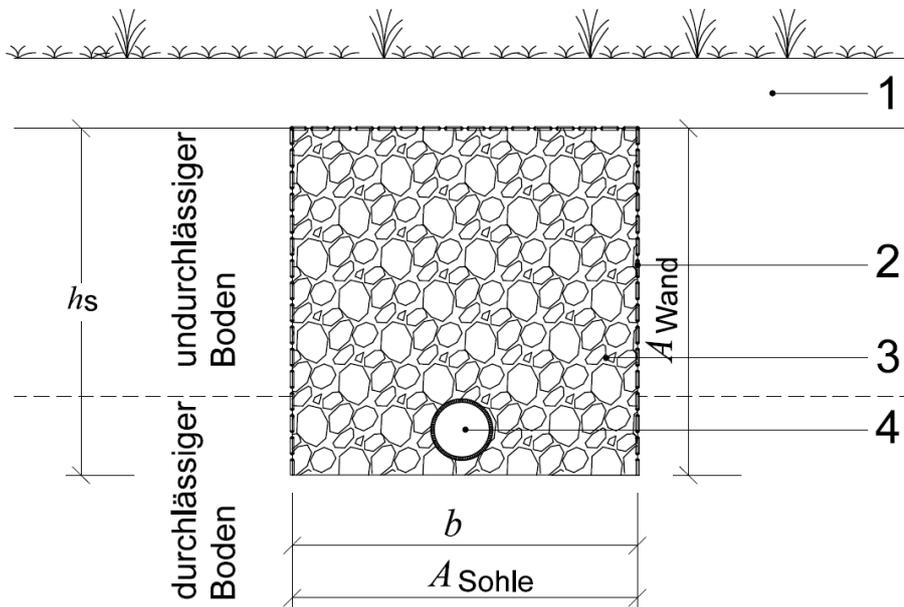
mit:

q_v ... Versickerungsrate q_r ... Regenhöhe in mm

$$V_s = \frac{q_s}{1000} * A_{ent} \quad \text{Gleichung 2-9}$$

2.8.1 Unterirdische Sickerkörper

In der nachfolgenden Abbildung wird ein schematischer unterirdischer Sickerkörper dargestellt.



Es bedeutet:

- 1 Überdeckung
- 2 Geotextil-Trenngewebe
- 3 Grobkies, zB 16/32 gewaschen
- 4 Drainagerohr zur besseren horizontalen Verteilung oder als Kontrolleitung, die in den Kontrollschächten ausmündet

h_s Stauhöhe, in m

b gewählte Grabenbreite, in m

A_{Wand} Wandfläche

A_{Sohle} Sohlfläche

Abbildung 2-7: Schematische Darstellung eines Sickerkörpers (ÖNORM B2506-1, 2013)

Bei unterirdischen Sickerkörpern setzt sich das Speichervolumen wie nachstehend zusammen:

$$V_s = A_{\text{Sohle}} * h_s * p \quad \text{Gleichung 2-10}$$

mit:

A_{Sohle} ... Sohlfläche h_s ... Stauhöhe

p ... Nutzbarer Porenanteil des Füllmaterials

„Bei anderen Sickersystemen oder der Kombination von angeführten Systemen (zB Mulden-Rigolen-System, Sickerbecken) ist eine gesonderte Dimensionierung durchzuführen, wobei der folgende Bemessungsgrundsatz Gültigkeit hat: ‚Erforderliches Speichervolumen ist gleich der Differenz aus zufließender Niederschlagsmenge zu Versickerungsmenge beim maßgebenden Regenereignis.‘“ (ÖNORM B2506-1, 2013)

2.9 ÖNORM B2506-2 – „Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen“

Im zweiten Teil der ÖNORM B2506-2 (2012) werden Reinigungsmöglichkeiten für Niederschlagswasser erläutert. Sie findet Anwendung für Dachflächen, befestigte Bodenflächen und Verkehrsflächen mit einer Belastung von 5000 DTV.

Salze und Taumittel können laut dieser Norm mit vertretbarem Aufwand nicht aus dem Abflusswasser entfernt werden.

In der ÖNORM werden Bodenfilter in zwei Kategorien eingeteilt:

- *Natürliche Bodenfilter*
- *Technische Bodenfilter*

Natürliche Bodenfilter bestehen aus der obersten belebten Bodenschicht. Eine flächendeckende Grünfläche ist ebenfalls Bestandteil des natürlichen Bodenfilters. Bei *Technischen Bodenfiltern* werden maximal 30 Massenprozent an technischen Stoffen dem Boden beigemischt, um die gleiche Reinigungsleistung des natürlichen Bodens zu erreichen. Bodenfilter müssen mit einer Mindestdicke von 30 cm ausgeführt werden. Bodenfilter können in drei verschiedenen Bauweisen ausgeführt werden, welche in der Abbildung 2-8 dargestellt sind.

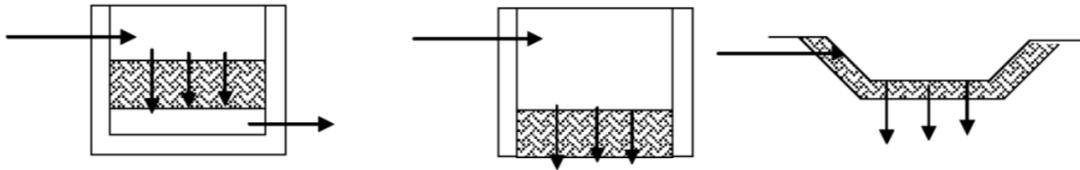


Abbildung 2-8: Bauausführung von Bodenfiltern (ÖNORM B2506-2, 2012)

Darüber hinaus werden Absetzanlagen, mechanische Filter und Absorptionsanlagen in dieser Norm behandelt.

Zum Einsatz als mechanische Filter können Geotextile und Sand- sowie Kiesfilter angewendet werden. Mechanische Filter sind für den Rückhalt von Fein- und Grobstoffen geeignet. In der Abbildung 2-9 werden Möglichkeiten zur Reinigung von Schadstoffen dargestellt.

Die Abbildung 2-9 zeigt die Möglichkeiten zur Reinigung von Schadstoffen.

Anlagenteile		Zu erwartende Schmutzstoffe				
		Kohlenwasserstoffe (Mineralöle)	Organische Verbindungen ^a	Metalle und unlösliche Metallverbindungen	Feinstoffe	Grobstoffe
Bodenfilter		+	+	+	+	+
Grobstoffabscheider	Einlaufgitter, Laubfänge, Rechen	-	-	-	-	+
	Siebe	-	-	-	+	+
Absetzanlagen (mit Tauchwand)	Sedimentationsanlagen	o	-	o	+	+
mechanische Filter	Sand- und Kiesfilter	-	-	o	+	+
	Geotextile; Vliese	-	-	o	+	+
Absorptionsanlagen	Aktivkohle	+	+	o	o	o
	Zeolithe	o	o	+	o	o
	Ölbindemittel	o	-	-	-	-
sonstige Anlagen	Mineralöl-Abscheideanlage mit Schlammfang	o	-	o	+	+
Es bedeutet: + geeignet zur Reinigung ohne zusätzliche Maßnahmen o geeignet zur Reinigung in Verbindung mit anderen Reinigungsmaßnahmen - ungeeignet						
^a sofern diese nicht den Fein- und Grobstoffen zugeordnet werden können						

Abbildung 2-9: Möglichkeiten zur Reinigung von Schadstoffen (ÖNORM B2506-2, 2012)

2.10 ÖNORM B2506-3 – „Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen-Teil 3: Filtermaterialien“

Im dritten Teil der ÖNORM B2506-3 (2018) werden die Anforderungen und die Prüfung zur Reinigung von Filtermaterialien behandelt. Ob ein Filtermaterial für die Reinigung geeignet ist, hängt von der Herkunftsfläche des Niederschlagswassers ab.

Hierzu teilt die ÖNORM B2506-3 Herkunftsflächen wie folgt ein:

Tabelle 2-5: Herkunftsclassen (ÖNORM B2506-3, 2018)

Herkunftsclassen	Herkunft
A	Befestigte Flächen (z.B. Straßenwässer)
B	Zinkdächer
C	Kupferdächer

Des Weiteren wird die Eignung vom Flächenverhältnis der Sickerfläche A_s zur Entwässerungsfläche A_{red} beeinflusst. Die nachfolgende Tabelle stellt die Flächenverhältnisse dar:

Tabelle 2-6: Flächenverhältnis $A_s:A_{red}$ (ÖNORM B2506-3, 2018)

Flächenverhältnis $A_s:A_{red}$						
1:15	1:30	1:50	1:100	1:150	1:200	1:250

Die Tabelle 2-7 zeigt die Anforderungen an Filtermaterialien, die in der Norm festgelegt sind.

Tabelle 2-7: Anforderungen an das Filtermaterial (ÖNORM B2506-3, 2018)

Eigenschaft	Anforderung
Infiltrationsrate	$\geq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^a$
Partikelretention	Rückhalt über 80%
Schwermetallrückhalt	Gemäß Tabelle 2-4 und 2-8
Mineralölrückhalt	Entfernungsrate über 95%
Änderung der Infiltrationsrate	Reduktion um maximal 50% des Ausgangswertes der Partikelprüfung 2 oder Reduktion um maximal 70% des Ausgangswertes der Partikelprüfung 2 bei größeren Flächenverhältnissen
Partikel-Remobilisierungsprüfung	Rückhalt über 80%
Schwermetallremobilisierung durch NaCl	Konzentration von Cu wenig als 50 µg/l plus Konzentrationswert der NaCl-Lösung Konzentration von Zn weniger als 500 µg/l plus Konzentrationswert der NaCl-Lösung
Säureneutralisationskapazität	pH-Wert über 6,0 während des Durchlaufs eines Wasservolumens von 42 l während einer Prüfdauer von 30 min

Legende zur Tabelle 2-7

^a ... Ansonsten ist das Filtermaterial ungeeignet

Die Eignung wird mithilfe eines Säulenversuches ermittelt, welcher im Labor durchzuführen ist. Für die Prüfung wird eine 4-Jahresfracht bei einem Jahresniederschlag von 720 mm angenommen. Die Prüfung ist in acht Teilprüfungen unterteilt, die in der Reihenfolge der nachstehenden Tabelle durchgeführt werden müssen:

Tabelle 2-8: Einteilung der Teilprüfungen (ÖNORM B2506-3, 2018)

Teilprüfung	Prüfungsgegenstand
1	Infiltrationsrate
2	Partikelretention I
3	Schwermetallrückhalt
4	Mineralölrückhalt
5	Partikelretention II
6	Bestimmung der Änderung der Infiltrationsrate und der Partikel-Remobilisierung
7	Remobilisierung von Schwermetallen
8	Säureneutralisationskapazität

2.11 ÖNORM B2503 – „Kanalanlagen-Planung, Ausführung, Prüfung, Betrieb“

Die ÖNORM B2503 (2017) ist für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Kanalanlagen ausgelegt. Kanalleitungen sollten auf öffentlichen Grund geführt werden und wenn möglich nicht überbaut werden. Desweiteren ist darauf zu achten, dass alle Kanalleitungen frostfrei verlegt werden. Die Herstellung des Kanalgrabens hat nach Vorgaben des Planers zu erfolgen. In der Leitungszone dürfen bei der Verfüllung keine Hohlräume in der Bettungszone entstehen und das vorgegebene Gefälle des Rohrgrabens muss eingehalten werden. Bei der Hauptverfüllung ist besonders Augenmerk auf das Entfernen des Verbaus zu legen. Um eine Lockerung der Verfüllung zu vermeiden, sollte der Verbau während des Verfüll-Fortschrittes gezogen werden. Vor der Wiederherstellung der Oberfläche muss der Verdichtungsgrad nachgewiesen werden.

2.12 ÖNORM B2533 – „Koordinierung von unterirdischen Einbauten-Planungsrichtlinien“

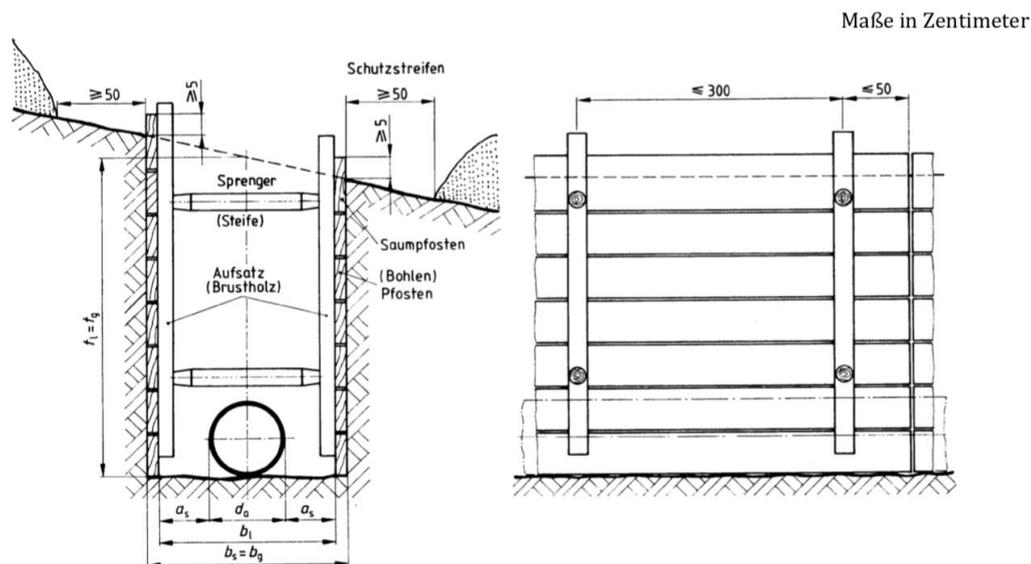
Die ÖNORM B2533 (2004) beschäftigt sich mit unterirdischen Einbauten und bietet zugleich eine Planungsrichtlinie. Bei unterirdischen Einbauten ist auf eine wirtschaftlich günstige Verlegung zu achten. Bei Grünflächen kommt es auf die Art der Bepflanzung an, ob sie für den Einbau von Leitungen geeignet sind oder nicht. Bei Baumbepflanzungen sind Grünflächen für den Leitungseinbau nur bedingt geeignet und nicht anzustreben, um Baumschäden bei nachträglichen Reparaturen zu vermeiden. Weiters ist zu beachten, dass Einbauten in Straßen den auftretenden Verkehrslasten standhalten können.

Wasserleitungen im städtischen Bereich sollen in der Fahrbahn (Fahrstreifen, Parkspur, Abstellstreifen oder Radweg) verlegt werden. Bei überbreiten Gehwegen ist eine Verlegung im Gehbereich erlaubt. Wasserleitungen sind vor großen Temperaturschwankungen, Stößen und Setzungen zu schützen. Abwasserleitungen sollten ebenfalls in der Fahrbahn eingebaut werden.

2.13 ÖNORM B2538 – „Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“

Die ÖNORM B2538 (2018) behandelt die Planung, den Bau und die Prüfung jeder Art von Leitungen (Zubringer-, Verteil- und Anschlussleitung) vom Wasserverteilungssystem. Bei der Planung der Trassenführung ist besonders darauf zu achten, dass die Trasse auf öffentlichen Grund geführt wird, um die Zugänglichkeit bei Schadensfällen gewährleisten zu können.

In der Norm wird die Herstellung eines Rohrgrabens definiert. Die Wände des Rohrgrabens müssen eine entsprechende Abböschung, in Bezug auf die Standfestigkeit des Materials, erfahren. Rohrgräben mit lotrechten Wänden (Künetten) (Abbildung 2-10), die tiefer als 1,25 m sind, müssen mit geeigneten Maßnahmen abgesichert werden. Erfährt die Künette anderweitige Einflüsse, wie z.B. Erschütterungen aus dem Straßenverkehr, dann ist diese bei einer geringeren Tiefe als 1,25 m zu sichern. Ein Schutzstreifen von 50 cm ist an beiden Rändern der Künette und des abgeböschten Rohrgrabens einzuhalten. Kann dieser Schutzgraben wegen Platzmangels nicht eingehalten werden, müssen zusätzliche Maßnahmen eingeführt werden, wie z.B. eine Verstärkung des Verbaus oder Saumpfosten. Die folgende Abbildung zeigt einen Rohrgraben mit waagrechter Pölung.



Legende:

a_s	seitlicher freier Arbeitsraum	d_a	Rohraußendurchmesser
b_g	Rohrgrabenbreite an der Grabensohle	b_s	Rohrgrabenbreite in der Höhe des Rohrscheitels
b_l	freie Arbeitsraumbreite in Höhe der Leitungstiefe		Leitungstiefe
		t_g	Grabentiefe

Abbildung 2-10: Waagrechte Pölung (ÖNORM B2538, 2018)

Bevor die Verfüllung erfolgt, muss die Rohrleitung überprüft werden. Die Einbettung der Rohrleitung und die Wiederverfüllung des Rohrgrabens muss laut ÖNORM B2538 (2018) folgende Anforderungen erfüllen:

- Beschädigungen an Rohrleitungen dürfen nicht entstehen
- Die Lage der Rohrleitung muss fixiert werden
- Setzungen dürfen nicht mehr als in einem vorgegebenen Ausmaß vorkommen

2.14 ÖNORM B5012 – „*Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung*“

Die ÖNORM B5012 (2015) stellt eine Anleitung für die statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen dar. Laut der Norm haben folgende Punkte einen Einfluss auf die statische Tragfähigkeit:

- *Vorhandene/geplante Scheitelüberdeckung*
- *Art des Verfüllmaterials für die verschiedenen Einbettungszonen*
- *Verdichtung des Verfüllmaterials in den einzelnen Einbettungszonen*
- *Schichtdicke des Verfüllmaterials beim Einbau*
- *Wassergehalt des Verfüllmaterials beim Einbau*
- *Bei der Verdichtung eingesetzte Energiemenge und -intensität, z.B. wenig Übergänge mit hoher Energie oder viele Übergänge mit geringer Energie*
- *Art des Grabenverbaus*
- *Zeitpunkt des Rückbaus des Grabenverbaus*
- *Verdichtung der Rohrwickel*
- *Bearbeitung des Bodens in der Auflagerzone und Aushubtiefe unter der Rohrsohle*
- *Wahl des Materials für die Auflagerzone; z.B. Verfüllmaterial der Leitungszone, Austauschmaterial oder Beton*

Die ÖNORM beinhaltet Berechnungsverfahren mit Beanspruchungen für Rohrleitungen aus allen Werkstoffen. In der Norm werden die folgenden Lastfälle betrachtet:

- *Bodenlast*
- *Oberflächenlast*
- *Verkehrslast*
- *Vorverformung*
- *Eigengewicht*
- *Wasser*

Es werden in der Norm Kurzzeit- und Langzeitnachweise geführt, wobei die Dauer der Lasteinwirkung eine wesentliche Rolle bei der statischen Berechnung und Bemessung hat. Für die Kurzzeitberechnung werden Anfangs- und/oder Kurzzeitwerte verwendet. Bei der Langzeitberechnung werden zwei verschiedene Bedingungen angesetzt. Zum einen werden manche Lasten, wie z.B. Verkehrslasten, als Kurzbelastungen angesetzt und somit Anfangs- und/oder Kurzzeitwerte berechnet. Zum anderen werden Berechnungen für Dauerbelastungen, wie z.B. für die Bodenbelastung, durchgeführt. Der genaue Ablauf für die ÖNORM B5012 kann der Abbildung 2-11 entnommen werden.

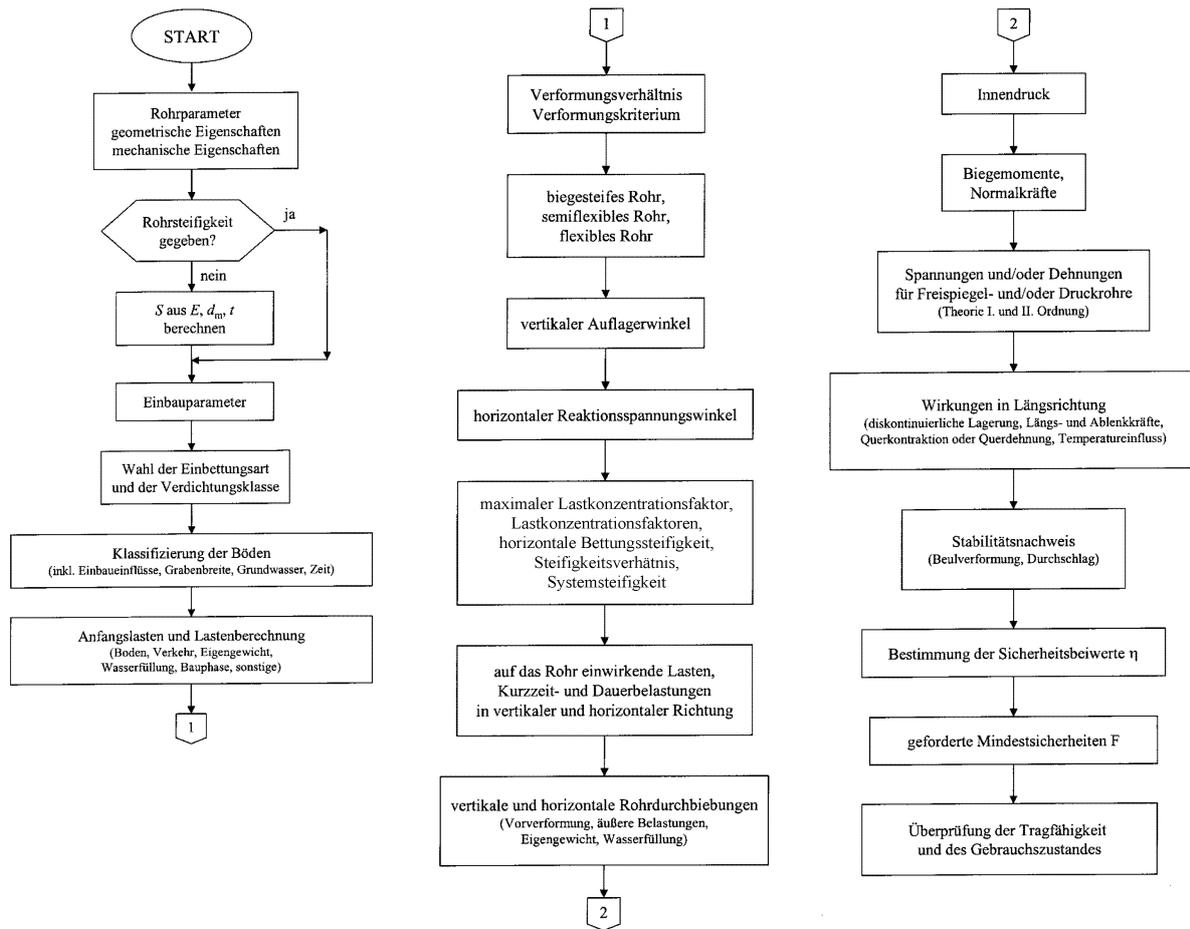


Abbildung 2-11: Ablaufdiagramm der Berechnung und des Nachweises (ÖNORM B5012, 2015)

2.15 ÖNORM B5016 – „Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrierwasserbaues“

Die ÖNORM B5016 (2018) befasst sich mit dem Thema Erdarbeiten. Sie wird für die Qualitätssicherung der Verdichtungsarbeiten bei Erdarbeiten in Rohrgräben eingesetzt. Um ein geeignetes Material für die Verfüllung zu ermitteln, sollte eine Beurteilung des Bodens erfolgen, hierzu sollten mittels Laborversuchen die Korngrößenverteilung und die Zustandsgrenzen nach Atterberg bestimmt werden, danach sollte der Boden einer Bodengruppe G_s (Tabelle 3-1) zugeordnet werden. Bei der Eignungsprüfung des Verfüllmaterials werden folgende Kennwerte laut ÖNORM B5016 (2018) ermittelt:

- die Kornverteilung
- das Größtkorn in mm
- die Schüttdichte ρ_{Sch}
- der Wassergehalt w und der optimale Wassergehalt w_{opt} , insbesondere bei bindigen Böden
- die Verdichtungsfähigkeit

In der ÖNORM B5016 (2018) werden folgende Größen, die einen Einfluss auf die Verdichtungsfähigkeit von Böden haben, aufgelistet:

- die Proctordichte ρ_{Pr}
- die Rütteldichte ρ_R
- die Schüttdichte ρ_{Sch}
- die lockerste Lagerung $\rho_{d,min}$
- die relative Verdichtungsfähigkeit D_f

Die Verdichtungsfähigkeit D_f gibt die Differenz zwischen lockerster und dichtester Lagerung an. Weist ein Material eine geringe Verdichtungsfähigkeit auf, ist es als Bettung für Rohrgräben gut geeignet.

Während der Arbeiten sind nach jeder Schüttzone Kontrollprüfungen zu Kornverteilung, Wassergehalt und Verdichtung durchzuführen. Diese Prüfungen können laut der ÖNORM B5016 (2018) mittels nachstehender Verfahren durchgeführt werden:

- dynamischer Lastplattenversuch
- statischer Lastplattenversuch
- Handpenetrometer
- Taschenpenetrometer
- Dichtebestimmung mit Ausstechzylinder
- Dichtebestimmung mit Ersatzverfahren
- Rammsondierung

Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren.

2.16 ÖNORM EN1610 – „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“

Baustoffe für die Leitungszone im Kanalgraben müssen laut ÖNORM EN1610 (2015) eine dauerhafte Stabilität und Tragfähigkeit sicherstellen. Der gewählte Baustoff darf weder das Rohr, das Grundwasser noch den Boden beeinträchtigen. Als Baustoff kann der vorliegende Boden verwendet werden, wenn er geeignet ist oder es muss ein Baustoff angeliefert werden. Nachfolgend werden Baustoffe laut ÖNORM EN1610 (2015) aufgelistet.

Körnig ungebundene Baustoffe (Granulat) können sein:

- Einkornmaterial(-kies)
- Material mit abgestufter Körnung
- Sand
- Korngemisch (All-In)
- Gebrochene Baustoffe

Gebundene Baustoffe sind:

- *Zementverfestigter Boden*
- *Stabilisierter Boden (z.B. mit Zement, Kalziumkarbonat)*
- *Leichtbeton*
- *Magerbeton*
- *Unbewehrter Beton*
- *Bewehrter Beton*
- *Selbstverdichtende Verfüllbaustoffe*

Die meisten oben genannten Baustoffe eignen sich auch für die Hauptverfüllung, mit Ausnahme des Einkornmaterials.

Bei der Herstellung des Leitungsgrabens müssen die Leitungszone und die Hauptverfüllung gegen die Grabenwand verdichtet werden. Im Allgemeinen sollten Setzungen vermieden werden. Die Leitungszone muss so ausgeführt werden, dass es zu keiner Verlagerung von Boden in die Leitungszone und umgekehrt kommt. Dies kann durch das Einsetzen von Geotextilen unterbunden werden. Bei der Grabensohle sollte mindestens die ursprüngliche Tragfähigkeit wiederhergestellt werden; tritt weicher Untergrund auf, muss dieser ersetzt werden. Die Hauptverfüllung muss laut Plananforderung hergestellt werden. Es sollten Oberflächensetzungen vermieden werden. Die Entfernung des Verbaus sollte fortschreiten, während der Herstellung der Leitungszone erfolgt. Die Verdichtung der Abdeckung direkt über dem Rohr sollte per Hand erfolgen, erst ab 300 mm über dem Rohrscheitel kann mit einer mechanischen Verdichtung gearbeitet werden. Die Mindestgrabenbreite muss wie in der Tabelle 2-9 dargestellt eingehalten werden.

Tabelle 2-9: Mindestgrabenbreite in Abhängigkeit der Grabentiefe (ÖNORM EN1610, 2015)

Grabentiefe [m]	Mindestgrabenbreite [m]
< 1,00	Keine Mindestbreite vorgegeben
$\geq 1,00 \leq 1,75$	0,80
$> 1,75 \leq 4,00$	0,90
> 4,00	1,00

3 Bautechnische Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden bautechnische Grundlagen und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen, die für die Umsetzung und Planung eines Boden-Rohr-Systems eine Rolle spielen, erläutert.

Es wird im Speziellen auf die verschiedenen Bettungstypen für Trinkwasserleitungen und Abwasserkanäle eingegangen. Da die Verdichtung und die Belastung bei diesem System eine große Rolle spielt, wird auch auf die verschiedenen Verdichtungsklassen eingegangen und die Berechnung für die verschiedenen Belastungstypen wird angeschnitten.

Für Versickerungsanlagen müssen Mindestabstände zu Gebäuden und dem Grundwasserkörper eingehalten werden. Ebenfalls müssen Mindestabstände zu Bepflanzungen und anderweitig eingebauten unterirdischen Leitungen eingehalten werden. Diese Mindestabstände gelten somit auch für das Boden-Rohr-System und werden im folgenden Kapitel erläutert.

Ein wichtiger Punkt ist der Oberflächenabfluss unterschiedlicher Herkunftsflächen und dessen Schadstoffbelastung. Um Niederschlagswasser von verschmutzten Flächen versickern zu können, werden verschiedene Reinigungsmöglichkeiten aufgelistet. Die Chlorid-Belastung durch den Einsatz von Streusalz in den Wintermonaten wird in einem eigenen Unterpunkt behandelt. In diesem Unterpunkt wird auf die Auswirkungen von Salz im Untergrund eingegangen. Damit das System eine lange Lebensdauer aufweist und es zu keiner Verschlammung kommt, wird der Einsatz von Trenngewebe erläutert.

Der Umgang mit unterirdischen Infrastrukturen, wie Tiefgaragen und U-Bahnen, spielt bei der Planung des Boden-Rohr-Systems eine wichtige Rolle. Bei Hanglagen müssen bei der Planung spezielle Aspekte berücksichtigt werden, um Verlässungen der darunter liegenden Gebäude und Erdbeben zu vermeiden.

Zusammenfassend werden folgende Unterpunkte in diesem Kapitel behandelt:

- Bettungstypen
- Verdichtung und Belastung
- Einzuhaltende Abstände zu Gebäuden und Grenzen
- Maßnahmen, um eine Verschlammung zu vermeiden
- Verschiedene Herkunftsflächen und ihre Reinigungsmöglichkeiten mittels Filter
- Streusalzbelastung im Winter
- Der Umgang mit unterirdischer Infrastruktur
- Hanglage

3.1 Bettungstypen

In diesem Kapitel werden die vier Einbettungsarten für Rohrleitungen nach der ÖNORM B5012 (2015) und die zwei Bettungstypen für Abwasserkanäle nach der ÖNORM EN1610 (2015) dargestellt.

3.1.1 Einbettungsart nach ÖNORM B5012

In der ÖNORM B5012 (2015) werden vier verschiedene Einbettungsarten von Rohren dargestellt. Die vier Arten werden in der Abbildung 3-1 auf der nächsten Seite dargestellt.

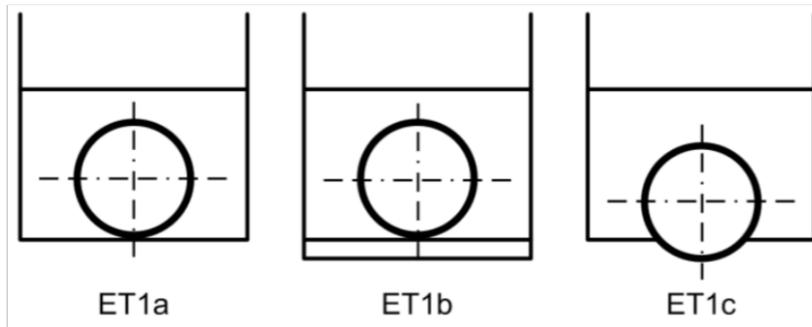
Die *Einbettungsart 1* wird in drei Unterkategorien eingeteilt, hier kann die Einbettung mit vorbehandelten oder ohne vorbehandelten Auflagern auf gewachsenen Boden erfolgen. In ET1a wird das Rohr direkt auf die unbehandelte Grabensohle verlegt. Im Fall ET1b wird die Grabensohle aufgelockert, auf die aufgelockerte Grabensohle wird das Rohr verlegt. In der ET1c wird die Grabensohle vorgeformt.

Bei der *Einbettungsart 2* (ET2) wird für die untere Auflagerzone dasselbe Material wie für die obere Auflagerzone und die Seitenverfüllung verwendet.

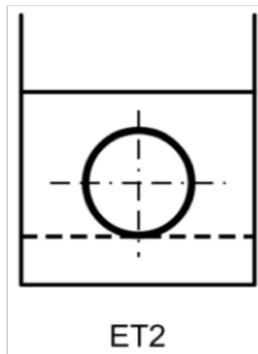
Die *Bettungsart 3* (ET3) ist ein Auflager auf Sand-Kies-Bett. Hier sind die Bodeneigenschaften in der Auflagerzone und der Seitenverfüllung unterschiedlich. Die Auflagerzone muss in Bezug auf die Bodeneigenschaften mindestens eine Abstufung besser als die Seitenverfüllung sein. Bei flexiblen Rohren darf die Auflagerzone nicht um mehr als zwei Abstufungen besser sein als die Seitenverfüllung.

Bei der *Einbettungsart 4* wird das Rohr auf einen Betonaufleger gelagert. Für flexible Rohre ist ein Betonaufleger nicht geeignet.

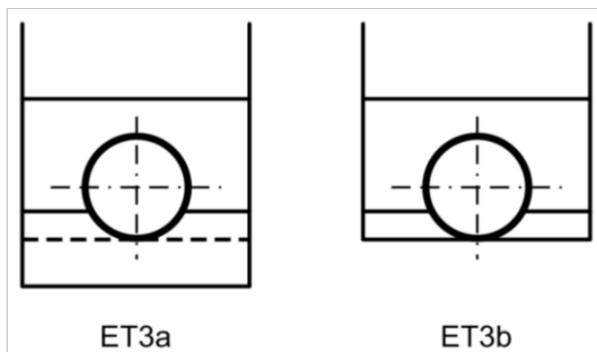
Einbettungsart 1:



Einbettungsart 2:



Einbettungsart 3:



Einbettungsart 4:

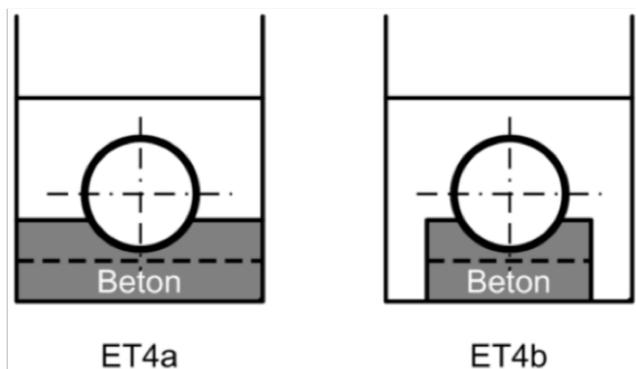


Abbildung 3-1: Verschiedene Einbettungsarten (ÖNORM B5012, 2015)

3.1.2 Bettungstypen nach ÖNORM EN1610

Für Abwasserkanäle sieht die ÖNORM EN1610 (2015) zwei verschiedene Bettungstypen vor. Der Bettungstyp 1 ist für jede Leitungszone, die eine Unterstützung auf der gesamten Rohrlänge erlaubt. Der Abstand a muss größer sein als 100 mm bei normalen Bodenbedingungen. Bei felsartigen Bodenbedingungen oder Fels muss der Abstand mindesten 150 mm betragen. Der Abstand b muss der statischen Berechnung entsprechen.

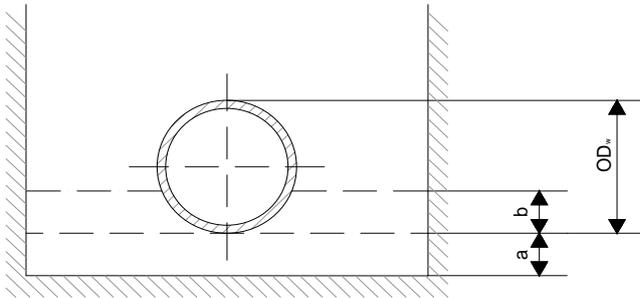


Abbildung 3-2: Bettungstyp 1 nach ÖNORM EN1610

Der Bettungstyp 2 wird bei relativ lockerem, gleichmäßigem, feinkörnigem Boden angewendet. Das Rohr wird direkt auf die vorgeformte Grabensohle gelegt. Der Abstand b muss der statischen Berechnung entsprechen.

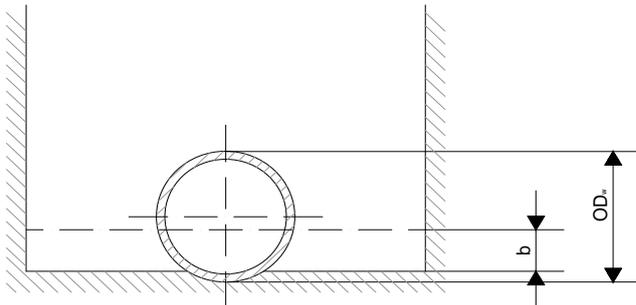


Abbildung 3-3: Bettungstyp 2 nach ÖNORM EN1610

3.2 Bodengruppen

In der ÖNORM B 5012 (2015) werden sieben verschiedene Bodengruppen definiert. Ob die vorhandene Bodenart für die Verfüllung geeignet ist, kann anhand der Tabelle 3-1 überprüft werden. Ist die vorhandene Bodenart als Verfüllung nicht geeignet, muss sie durch ein geeignetes Material ersetzt werden.

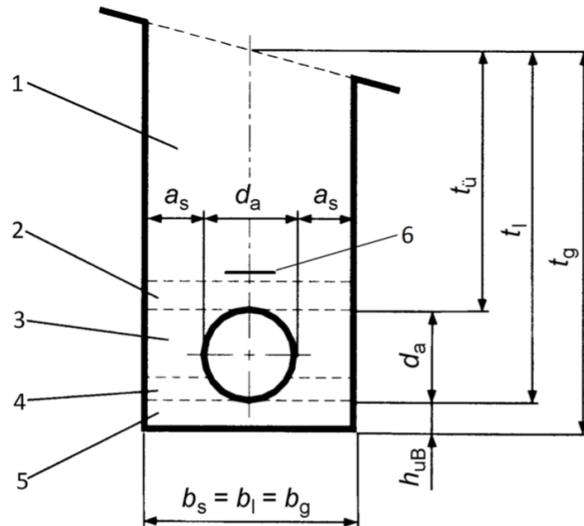
Tabelle 3-1: Einteilung der Bodengruppen (ÖNORM B5012, 2015)

Bodengruppe	Bodenart	Für die Verfüllung geeignet
Gruppe 1 ($G_s=1$)	Grobkörnige Böden, vorwiegend Kies, einkörniger Kies	Ja
Gruppe 2 ($G_s=2$)	Gut abgestufter Kies, Kies-Sand-Mischung, schwach gestufte Kies-Sand-Mischungen, grobkörnige Böden, hauptsächlich sandig, wie einkörniger Sand, gut abgestufter Sand, Sand-Kies-Mischung, schwach abgestufte Sand-Kies-Mischung	Ja
Gruppe 3 ($G_s=3$)	schwach bindige Mischböden mit höherem Feinanteil, wie schluffige Kies-Sand-Mischungen, tonige Kies-Sand-Mischungen, schluffiger Sand, toniger Sand	Ja
Gruppe 4 ($G_s=4$)	mäßig bindige Mischböden mit hohem Feinanteil, wie sehr schluffige Kies-Sand-Mischungen, sehr tonige Kies-Sand-Mischungen, sehr schluffiger bzw. toniger Sand, schluffiger oder toniger Feinsand, kaum formbarer Schluff	Ja
Gruppe 5 ($G_s=5$)	feinkörnige, bindige Böden wie anorganischer Schluff, sehr feiner Sand, Gesteismehl, schluffiger oder toniger Feinsand, anorganischer Ton, deutlich formbarer Ton	Ja
Gruppe 6 ($G_s=6$)	organische Böden wie gemischtkörnige Böden mit Humus- oder Kalkbeimischungen, organischer Schluff und organischer schluffiger Ton, organischer Ton, Ton mit organischen Beimischungen	Nein
Gruppe 7 ($G_s=7$)	organische Böden wie Torf, andere hochorganische Böden, Schlämme	Nein

Auf die Berechnung des Bodenmoduls wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

3.3 Verfüllung des Rohrgrabens

In der ÖNORM B2538 (2018) wird festgehalten, welche Anforderungen die Verfüllung im Rohrgraben zu erfüllen hat. Im Allgemeinen sind keine Setzungen erlaubt. Der Rohrgraben wird in die Leitungs- und Hauptverfüllungszone untergliedert. In der Abbildung 3-4 ist ein Rohrgraben mit lotrechten Wänden dargestellt.



Legende:

1	Hauptverfüllung, einschließlich Straßenkonstruktion, falls vorhanden	b_s	Rohrgrabenbreite in der Höhe des Rohrscheitels
2	Abdeckung	β	Böschungsneigung
3	Seitenverfüllung	d_a	Rohraußendurchmesser
4	obere Bettungsschicht	h_{uB}	Höhe der unteren Bettung
5	untere Bettungsschicht	t_g	Grabentiefe
6	Trassenwarnband	t_l	Leitungstiefe
a_s	seitlicher freier Arbeitsraum	$t_ü$	Überdeckungshöhe
b_g	Rohrgrabenbreite an der Grabensohle	b_s	Rohrgrabenbreite in der Höhe des Rohrscheitels
b_l	freie Arbeitsraumbreite in Höhe der Leitungsterkante (lichte Rohrgrabenbreite)		

Abbildung 3-4: Rohrgraben mit lotrechten Wänden (ÖNORM B2538, 2018)

3.3.1 Leitungszone

Die Leitungszone setzt sich aus der unteren und oberen Bettungsschicht, dem Bereich der Seitenverfüllung und dem Bereich der Abdeckung zusammen. In der Leitungszone sollte ein gut verdichtbares und geeignetes Material verwendet werden. Vorzugsweise wird das Bodenmaterial der Spalte 1 in der Abbildung 3-6 verwendet. Das Verfüllmaterial sollte laut ÖNORM B2538 (2018) keine Bestandteile aufweisen die größer sind als:

- 22 mm bei $DN \leq 200$
- 40 mm bei $DN > 200$

Die Verdichtung in der Leitungszone sollte mittels maschineller Geräte erfolgen, einzig für das Unterstopfen kann der Handstampfer herangezogen werden.

In Ausnahmefällen und unter Absprache mit dem Bauherrn und den Projektanten, kann ein größeres Größtkorn verwendet werden. Eine Abweichung ist z.B. bei Verkehrsflächen, die ausschließlich begehbar sind, erlaubt. Wird in der Leitungszone ein Rohr mit hoher Bruchsicherheit eingesetzt, ist ein Größtkorn bis zu 100 mm erlaubt. (ÖNORM B2538, 2018)

In der ÖNORM EN1610 (2015) gelten folgende Größtkorneinteilungen für Abwasserkanäle:

- 22 mm bei $DN \leq 200$
- 40 mm bei $DN > 200$ bis $DN \leq 600$
- 60 mm bei $DN > 600$

Bei $DN < 100$ sind die Herstellungsangaben zu berücksichtigen.

3.3.1.1 Untere Bettungssicht

Ob eine untere Bettungsschicht der Rohrleitung nötig ist, hängt vom Rohrwerkstoff, der Nennweite und der Eignung des Bodens in der Grabensohle ab. Wenn eine untere Bettungsschicht benötigt wird, sollte diese mindestens 10 cm plus 1/10 des Rohrdurchmessers aufweisen. Die Lagerung der Rohrleitung auf kantigen Fels ist nicht erlaubt. (ÖNORM B2538, 2018)

3.3.1.2 Obere Bettungsschicht und Bereich der Seitenverfüllung (Rohrbereich)

Die erforderliche Auflagerfläche wird durch Unterstopfen der Rohrleitung erfüllt. Um ein optimales Ergebnis zu erlangen, muss der Rohrbereich beidseitig gleichzeitig verfüllt und verdichtet werden. Wird die Bodengruppe $G_s 1$ verwendet, ist keine Verdichtung notwendig. (ÖNORM B2538, 2018)

3.3.1.3 Abdeckung

Die Abdeckung muss im verdichteten Zustand mindestens 30 cm aufweisen. Von direkten Verdichtung bis 30 cm über dem Rohrscheitel und dem Scheitelbereich ist abzuraten. (ÖNORM B2538, 2018)

3.3.2 Hauptverfüllung

Im Bereich der Hauptverfüllung ist laut ÖNORM B2538 (2018) ein Verfüllungsmaterial zu verwenden, das die Anforderungen an den Verdichtungsgrad erfüllt. Vorwiegend werden grobkörnige und/oder gemischtkörnige Böden verwendet, die ebenfalls in der Spalte 1 in der Abbildung 3-6 aufgelistet sind. Damit der erforderliche Verdichtungsgrad erreicht wird, werden Verdichtungsgeräte eingesetzt. Die Anzahl der Übergänge kann der Abbildung 3-6 entnommen werden.

3.4 Verdichtung

In der ÖNORM B5012 (2015) werden drei verschiedene Verdichtungsklassen angeführt, die im Zusammenhang mit den davor genannten Einbettungsart definiert werden. Die drei Verdichtungsklassen sind

- *Verdichtungsklasse W (gut verdichtetes Material)*
- *Verdichtungsklasse M (mäßig gut verdichtetes Material)*
- *Verdichtungsklasse N (unverdichtetes, dh geschüttetes Material)*

Die Verdichtung muss so ausgeführt werden, dass die Proctordichte erfüllt ist. Die Mindestwerte der Proctordichte werden in der nachstehenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 3-2: Prozentsatz der relativen Dichte D_{Pr} (ÖNORM B5012, 2015)

Verdichtungsklasse	Verfüllmaterial-Bodengruppe G_s			
	1	2	3 + 4	5
N – Keine	100	90	87	85
M – Mäßig	100	95	90	88
W - Gut	100	97	95	92

Die Verdichtung kann mittels unterschiedlicher Geräte durchgeführt werden. In der Abbildung 3-5 wird die Anzahl der Übergänge in Bezug auf die Verdichtungsklassen für die unterschiedlichen Geräte angegeben. Ebenso wird die maximale Schichtdicke nach der Verdichtung für die verschiedenen Bodengruppen und die Mindestdicke über dem Rohrscheitel aufgelistet. Um die Mindestwerte für die Verdichtung erreichen zu können, muss die Anzahl der Übergänge eingehalten werden. (ÖNORM B5012, 2015)

Verdichtungsgerät	Anzahl an Übergängen für Verdichtungs-klassen		Maximale Schichtdicke nach Verdichtung für Bodengruppe (siehe Anhang A)				Mindestdicke über Rohr-scheitel vor Verdichtung (Sicherheitszone)
			m				
	W (Gut)	M (Mäßig)	1	2	3 + 4	5	m
Fuß- oder Handstampfer min. 15 kg	3	1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Rüttelstampfer min. 70 kg	3	1	0,30	0,25	0,20	0,15	0,30
Platten-Rüttler							
min. 50 kg	4	1	0,10	–	–	–	0,15
min. 100 kg			0,15	0,10	–	–	0,15
min. 200 kg			0,20	0,15	0,10	–	0,20
min. 400 kg			0,30	0,25	0,15	0,10	0,30
min. 600 kg			0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Rüttelwalze							
min. 15 kN/m	6	2	0,35	0,25	0,20	–	0,60
min. 30 kN/m			0,60	0,50	0,30	–	1,20
min. 45 kN/m			1,00	0,75	0,40	–	1,80
min. 65 kN/m			1,50	1,10	0,60	–	2,40
Doppelrüttelwalze							
min. 5 kN/m	6	2	0,15	0,10	–	–	0,20
min. 10 kN/m			0,25	0,20	0,15	–	0,45
min. 20 kN/m			0,35	0,30	0,20	–	0,60
min. 30 kN/m			0,50	0,40	0,30	–	0,85
Schwerstgerät mit drei Walzen (kein Rütteln) min. 50 kN/m							
	6	2	0,25	0,20	0,20	–	1,00

Abbildung 3-5: Zusammenhang von Verdichtungsklassen und Bauausführungsverfahren (ÖNORM B5012, 2015)

Der Verdichtungsgrad erfährt eine Verringerung, wenn der Verbau erst nach der Verdichtung entfernt wird.

In der ÖNORM B2538 (2018) wird eine Abbildung für den Anwendungsbereich maschineller Verdichtungsgeräte dargestellt. Aus dieser nachstehenden Abbildung können die Anzahl der Übergänge und die erforderlichen Schütthöhen entnommen werden.

Geräteart und Einsatzbereich	Masse (Dienstgewicht)	Bodengruppen gemäß ÖNORM B 4400-1:2010 bzw. gemäß ÖNORM B 5012:2015					
		Spalte 1		Spalte 2		Spalte 3	
		grobkörnige Böden (Gr,E; Gr,W; Gr,I; Sa,E; Sa,W; Sa,I) und gemischtkörnige Böden (sf Gr; cl Gr; sl Sa; cl Sa) nicht bindig		gemischtkörnige Böden (si Gr; cl Gr; si Sa; cl Sa) bindig		feinkörnige Böden (Si,L; Si,M; Cl,M; Cl,L) bindig	
		GS 2 und GS 3		GS 4		GS 5	
		Schütthöhe	Anzahl der Übergänge oder Einsatzzeit	Schütthöhe	Anzahl der Übergänge oder Einsatzzeit	Schütthöhe	Anzahl der Übergänge oder Einsatzzeit
kg	cm	cm	cm	cm	cm		
Für die Leitungszone (LZ): leichte Verdichtungsgeräte							
Druckluft- und Vibrationstamper – leicht	bis 25	bis 15	2 bis 4	bis 15	2 bis 4	bis 10	2 bis 4
Druckluft- und Vibrationstamper – mittel	25 bis 60	20 bis 40	2 bis 4	15 bis 30	3 bis 4	10 bis 30	2 bis 4
Explosionsstamper – leicht	bis 100	20 bis 30	3 bis 4	15 bis 25	3 bis 5	20 bis 30	3 bis 5
Rüttelplatten – leicht	bis 100	bis 20	3 bis 5	bis 15	4 bis 6	–	–
Rüttelplatten – mittel	100 bis 300	20 bis 30	3 bis 5	15 bis 25	4 bis 6	–	–
Vibrationswalzen – leicht	bis 600	20 bis 30	4 bis 6	15 bis 25	5 bis 6	–	–
Anbauverdichter (Breite kleiner 0,4 m)	–	20 bis 40	5 s bis 12 s	30 bis 40	5 bis 12	–	–
Oberhalb der Leitungszone ab 1 m über Rohrscheitel: mittlere und schwere Verdichtungsgeräte							
Vibrationsstamper – mittel	25 bis 60	20 bis 40	2 bis 4	15 bis 30	2 bis 4	10 bis 30	2 bis 4
Vibrationsstamper – schwer	60 bis 200	40 bis 50	2 bis 4	20 bis 40	2 bis 4	20 bis 30	2 bis 4
Explosionsstamper – mittel	100 bis 500	20 bis 40	3 bis 4	25 bis 35	3 bis 4	20 bis 30	3 bis 5
Explosionsstamper – schwer	über 500	30 bis 50	3 bis 4	30 bis 50	3 bis 4	30 bis 40	3 bis 5
Rüttelplatten – mittel	300 bis 750	30 bis 50	3 bis 5	20 bis 40	3 bis 5	–	–
Vibrationswalzen – mittel	600 bis 8000	20 bis 50	4 bis 6	20 bis 40	5 bis 6	–	–
Anbauverdichter (Breite 0,4 m bis 0,75 m)	–	30 bis 75	5 bis 12	30 bis 70	5 bis 12	30 bis 40	8 bis 15
Anbauverdichter (Breite größer 0,75 m)	–	50 bis 100	5 bis 12	50 bis 100	5 bis 12	40 bis 60	8 bis 15
Die angegebenen Schütthöhen beziehen sich auf den Proctorwassergehalt und sind bei abweichendem Wassergehalt entsprechend zu reduzieren.							

Abbildung 3-6: Anwendungsbereich maschineller Verdichtungsgeräte (ÖNORM B2538, 2018)

In der RVS 08.03.01 (2010) wird festgelegt, dass mindestens der *dynamische Verformungsmodul* E_{vd} oder der *Verdichtungsgrad* D_{Pr} oder der *statische Verformungsmodul* E_{v1} nach der Verdichtung des Untergrundes und der Schüttung zu erreichen sind. Die Mindestwerte, die erreicht werden müssen, sind in der Tabelle im Anschluss dargestellt:

Tabelle 3-3: Mindestanforderung an die Verdichtung (FSV, 2010)

Tiefenbereich	E_{vd} [MN/m ²]	E_{v1} [MN/m ²]	D_{Pr} [%]	Δ_{FDVK} [%]	SD_{FDVK} [%]
Unterbauplanum	38	35	100	≤ 5 (0)	≤ 20
Ab 1 m unter Unterbauplanum	24 (26)	20	99	≤ 5 (0)	≤ 20
Ab Dammaufstandsfläche (einschl. Bodenauswechslung)	18 (16)	15 (7,5)	97 (95)	≤ 5 (0)	≤ 20 *
Hinterfüllung	38	35	100		

Legende zur Tabelle 3-3

* ... Für Dammaufstandsflächen auf natürlich anstehenden Böden ist der Grenzwert der Standardabweichung nicht anzuwenden, der Wert ist jedoch aufzuzeichnen und zu dokumentieren.

E_{vd} ... Dynamischer Verformungsmodul des dynamischen Lastplattenversuchs mittels des leichten Fallgewichtsgerät

E_{v1} ... Statischer Verformungsmodul des statischen Lastplattenversuches aus der Erstbelastungskurve zwischen den Laststufen $p_1 = 0,1 \text{ MN/m}^2$ und $p_2 = 0,2 \text{ MN/m}^2$

D_{Pr} ... Erzielter Verdichtungsgrad [%], bezogen auf die Proctordichte ρ_{Pr}

Δ_{FDVK} ... Verdichtungszuwachs der dynamischen Messwerte der Flächendeckenden Dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK) zwischen zwei aufeinander folgenden Überfahrten auf derselben Walzspur.

SD_{FDVK} ... Standardabweichung des Mittelwertes der dynamischen Messwerte der FDVK auf dem jeweiligen Prüffeld

Klammerwerte sind für bindige Böden

3.5 Belastungen nach ÖNORM B5012

Nachstehend werden die Berechnungen für die Lasten nach der ÖNORM B5012 (2015) angegeben. Für die Anfangslasten werden Berechnungsverfahren für die vertikalen Spannungen erläutert.

3.5.1 Erdlasten

Als erster Schritt ist der vertikale Erddruck p_s zu bestimmen.

$$p_s = \gamma_s * (h - h_w) + \gamma_{s,w} * h_w \quad \text{Gleichung 3-1}$$

mit:

p_s ... vertikaler Erddruck [kN/m²]

γ_s ... Wichte des Bodens [kN/m³]

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

h_w ... Höhe des Wasserspiegels über Rohrscheitel [m]

$\gamma_{s,w}$... Wichte des Bodens unter Auftrieb [kN/m³]

$$p_{s,v} = \kappa_s * p_s \quad \text{Gleichung 3-2}$$

mit:

$p_{s,v}$... vertikaler Erddruck in Rohrscheitelhöhe im Graben ohne Rohr [kN/m²]

κ_s ...

p_s ... vertikaler Erddruck [kN/m²]

„Der Beiwert κ_β wird zuerst mit der Annahme vertikaler Grabenwände (κ_{90} für 90°) berechnet und muss dann für Gräben mit geböschten Wänden, falls vorhanden, mit folgender Formel angepasst werden.“ (ÖNORM B5012, 2015)

$$\kappa_\beta = 1 - \frac{\beta}{90} + \left(\frac{\beta}{90}\right) * \kappa_{90} \quad \text{Gleichung 3-3}$$

mit:

κ_β ... Beiwert für Siloeffekt an schrägen Grabenwänden

κ_{90} ... Beiwert für Siloeffekt an vertikalen Grabenwänden

β ... Böschungswinkel der Grabenwand [°]

$$\kappa_{90} = \frac{1 - e^{-Z1}}{Z1} \quad \text{Gleichung 3-4}$$

mit:

e ... Euler'sche Zahl ($e \approx 2,72$)

$Z1$... Zwischenvariabel

κ_{β} kann laut der ÖNORM B5012 (2015) mit 1,0 angenommen werden, wenn folgende Bedingungen eintreffen:

- Bei Langzeitberechnungen, ausgenommen wenn der Siloeffekt während der gesamten Langzeitberechnung vorhanden ist.
- Wenn das Rohr in einem Graben der die Bedingung $b \geq 4 \cdot d_e$ erfüllt eingebaut ist.
- Wenn der Wandreibungswinkel Φ_t null ist
- Bei schlechten Bodenbedingungen
- Wenn der Bodenmodul des anstehenden Bodens geringer als der Boden-
gruppe der Verfüllung in der Hauptverfüllung ist.

$$Z1 = 2 * \left(\frac{h}{b}\right) * K_1 * \tan\Phi_t \quad \text{Gleichung 3-5}$$

mit:

$Z1$... Zwischenvariabel

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

b ... Grabenbreite in Rohrscheitelhöhe zwischen gewachsenem Boden oder Verbau

K_1 ... Erddruckverhältnis in der Wiederverfüllungszone über dem Rohr (kann der Tabelle 3-4 entnommen werden)

Φ_t ... Reibungswinkel zwischen Grabenwand und Verfüllmaterial [°]

Die Erddruckverhältnisse für die Verdichtungsklassen in Abhängigkeit der Bodengruppe können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 3-4: Erddruckverhältnisse (ÖNORM B5012, 2015)

Bodengruppe	Erddruckverhältnis K1 , K2 für Verdichtungsklassen		
	W	M	N
$G_s = 1$	0,4	0,4	0,4
Nicht bindig ($G_s=2$ und 3)	0,5	0,4	0,1
Bindig ($G_s=4$ bis 7)	0,7	0,6	0,2

Der Wandreibungswinkel Φ_t hängt von den folgenden drei Einbaubedingungen in der Tabelle 3-5 ab:

Tabelle 3-5: Einbaubedingungen des Wandreibungswinkel Φ_t (ÖNORM B5012, 2015)

Einbaubedingungen	Wandreibungswinkel Φ_t [°]
I1	$2 \cdot \Phi_i / 3$
I2	$1 \cdot \Phi_i / 3$
I3	0

Legende zur Tabelle 3-5

I1 ... guter direkter Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden

I2 ... geringer Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden, z.B. Verbau wird während der Verfüllung schrittweise entfernt.

I3 ... kein definierbarer Kontakt zwischen Überschüttungsmaterial und gewachsenem Boden, z.B. Verbau wird nach der Verfüllung entfernt.

3.5.2 Oberflächenlasten

3.5.2.1 Auf begrenzte Fläche einwirkende Oberflächenlast

Die gleichmäßige Oberflächenlast wird im nachfolgenden Bild dargestellt.

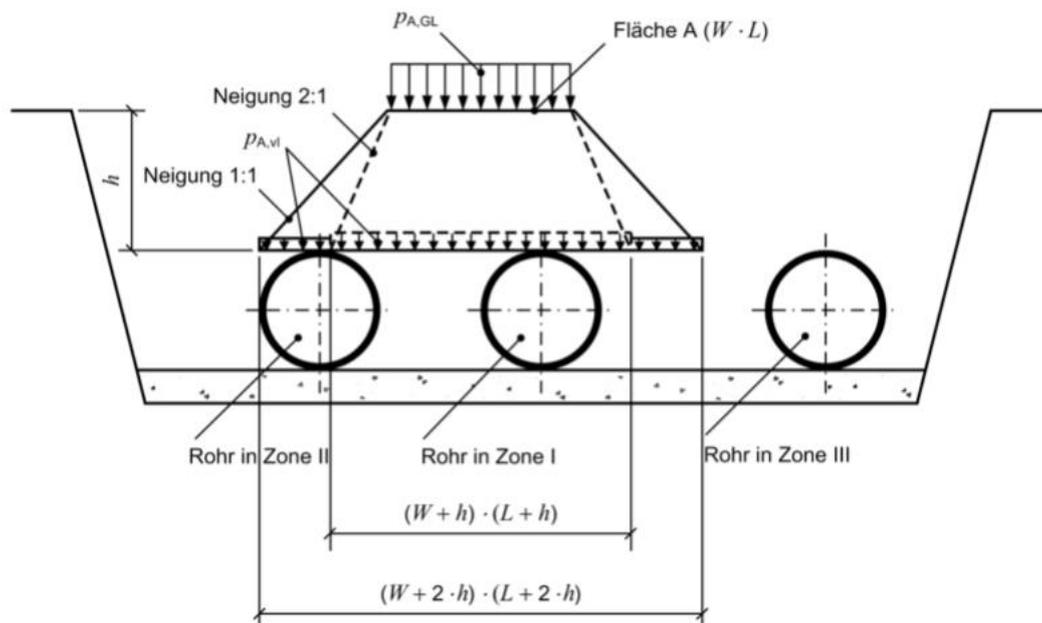


Abbildung 3-7: Gleichmäßig verteilte Oberflächenlast (ÖNORM B5012, 2015)

Die Oberflächenlast $p_{a,vi}$, die über die Fläche A gleichmäßig verteilt ist, wird wie folgt für die unterschiedlichen Zonen berechnet:

Zone I:

$$p_{A,vl} = \frac{W * L * p_{A,GL}}{(W + h) * (L + h)} \quad \text{Gleichung 3-6}$$

Zone II:

$$p_{A,vl} = \frac{W * L * p_{A,GL}}{(W + 2h) * (L + 2h)} \quad \text{Gleichung 3-7}$$

mit:

$p_{a,vl}$... auf das Rohr einwirkender vertikaler Druck infolge begrenzter Oberflächenlasten [kN/m²]

W ... Breite des Lastbereichs der begrenzten Oberflächenlast

L ... Länge des Lastbereichs der begrenzten Oberflächenlast [m]

$p_{A,GL}$... Last der begrenzten Oberflächenlast auf Bodenhöhe pro Flächeneinheit [kN/m²]

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

Zone III:

$$p_{A,vl} = 0 \quad \text{Gleichung 3-8}$$

Wenn das Rohr in Zone III liegt, erfährt es keine Einwirkung der Oberflächenlast. Wenn die Oberflächenlast eine Verkehrslast ist, muss die Belastung $p_{A,vl}$ mit dem zugehörigen dynamischen Beiwert erweitert werden. (ÖNORM B5012, 2015)

3.5.2.2 Unbegrenzte Oberflächenlast

Die Berechnung der gleichmäßig verteilten unbegrenzten Oberflächenlast wird nachstehend beschrieben.

$$p_{A,vu} = \kappa_{a,\beta} * p_{A,GL} \quad \text{Gleichung 3-9}$$

mit:

$p_{a,vu}$... auf das Rohreinwirkender vertikaler Druck infolge unbegrenzter Oberflächenlasten [kN/m²]

$\kappa_{a,\beta}$... relativer Beiwert für Siloeffekt an geböschten Grabenwänden

$p_{A,GL}$... Last der begrenzten Oberflächenlast auf Bodenhöhe pro Flächeneinheit [kN/m²]

„Der entsprechende Beiwert $\kappa_{a,\beta}$ wird zuerst mit der Annahme vertikaler Grabenwände ($\beta=90^\circ$) berechnet und muss dann für Gräben mit geböschten Wänden, falls vorhanden, mit folgender Formel angepasst werden.“ (ÖNORM B5012, 2015)

$$\kappa_{a,\beta} = 1 - \frac{\beta}{90} + \left(\frac{\beta}{90}\right) * \kappa_{a,90} \quad \text{Gleichung 3-10}$$

mit:

$\kappa_{a,\beta}$... relativer Beiwert für Siloeffekt an geböschten Grabenwänden

$\kappa_{a,90}$... relativer Beiwert für Siloeffekt an vertikalen Grabenwänden

β ... Böschungswinkel der Grabenwand [°]

$$\kappa_{\alpha,90} = e^{-Z1} \quad \text{Gleichung 3-11}$$

mit:

e ... Euler'sche Zahl ($e \approx 2,72$)

$Z1$... Zwischenvariable

$$Z1 = 2 * \left(\frac{h}{b}\right) * K_1 * \tan\Phi_t \quad \text{Gleichung 3-12}$$

mit:

$Z1$... Zwischenvariable

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

b ... Grabenbreite in Rohrscheitelhöhe zwischen gewachsenem Boden oder Verbau

K_1 ... Erddruckverhältnis in der Wiederverfüllungszone über dem Rohr (kann der Tabelle 3-4 entnommen werden)

Φ_t ... Reibungswinkel zwischen Grabenwand und Verfüllmaterial [°]

κ_β kann mit 1,0 angesetzt werden, wenn die Bedingungen wie in Kapitel 3.5.1 Erdlasten beschrieben eintreten.

3.5.2.3 Straßenverkehrslasten

Verkehrslasten sind Kurzzeitbedingungen und werden mit der unten stehenden Formel berechnet. Die Berechnung kann ab einer Mindestüberdeckungshöhe von $h = 0,5$ m angewendet werden. (ÖNORM B5012, 2015)

$$p_{T,v} = f_{Verkehr} * D_{Tmod} * p_T \quad \text{Gleichung 3-13}$$

mit:

$p_{T,v}$... vertikaler Druck von Verkehrslasten in Rohrscheitelebene [kN/m²]

p_T ... effektive Verkehrslast in einer Tiefe h unter Bodenoberfläche [kN/m²]

$f_{Verkehr}$... Korrekturfaktor für Straßenverkehrslasten unter Berücksichtigung der Lastverteilung über dem Rohr

D_{Tmod} ... Abminderungsfaktor für Verkehrslastspannung infolge Lastverteilung

Der Beiwert D_{Tmod} wird in der ÖNORM B5012 (2015) mit den folgenden drei Werten festgelegt:

Tabelle 3-6: Beiwert D_{Tmod} für verschiedene Oberflächen (ÖNORM B5012, 2015)

Beiwert D_{Tmod}	Oberfläche
0,6	Steifer Oberbau (z.B. Betonfahrbahn)
0,8	Nachgiebiger Oberbau (z.B. Asphaltfahrbahn)
1,0	Nicht befestigtes Planum

Legende zur Tabelle 3-6

D_{Tmod} ... Abminderungsfaktor für Verkehrslastspannung infolge Lastverteilung

$$f_{\text{Verkehr}} = 1 - \frac{0,9}{0,9 + Z2} \quad \text{Gleichung 3-14}$$

mit

$$Z2 = \frac{4 * h^2 + h^6}{1,1 * d_m^{0,67}} \quad \text{Gleichung 3-15}$$

$$d_m = 0,5 * (d_e + d_i) \quad \text{Gleichung 3-16}$$

mit:

Z2 ... Zwischenvariable

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

d_m ... mittlerer Rohrdurchmesser [mm]

d_e ... Rohraußendurchmesser [mm]

d_i ... innerer Rohrdurchmesser [mm]

$$p_{T'} = 82,6 * h^{-1,25} \quad \text{Gleichung 3-17}$$

mit:

p_{T'} ... effektive Verkehrslast in einer Tiefe h unter Bodenoberfläche [kN/m²]

h ... Scheitelüberdeckung, Höhe der Wiederverfüllzone [m]

Weisen die Verkehrsflächen pro Fahrrichtung mehrere Fahrstreifen auf und liegt die Überdeckung zwischen 1,25 m und 8,0 m, muss die Verkehrslast um einen Beiwert, der in der Tabelle 3-7 zu sehen ist, erhöht werden. Zwischenwerte müssen linear interpoliert werden.

Tabelle 3-7: Zusatzbelastung (ÖNORM B5012, 2015)

Überdeckung h [m]	Zusatzbelastung [kN/m ²]
1,25	0,0
1,50	6,0
2,00	9,0
3,00	9,0
8,00	0,0

In der Abbildung 3-8 wird der dynamische Einfluss in Bezug auf die Gleichung 3-15 dargestellt.

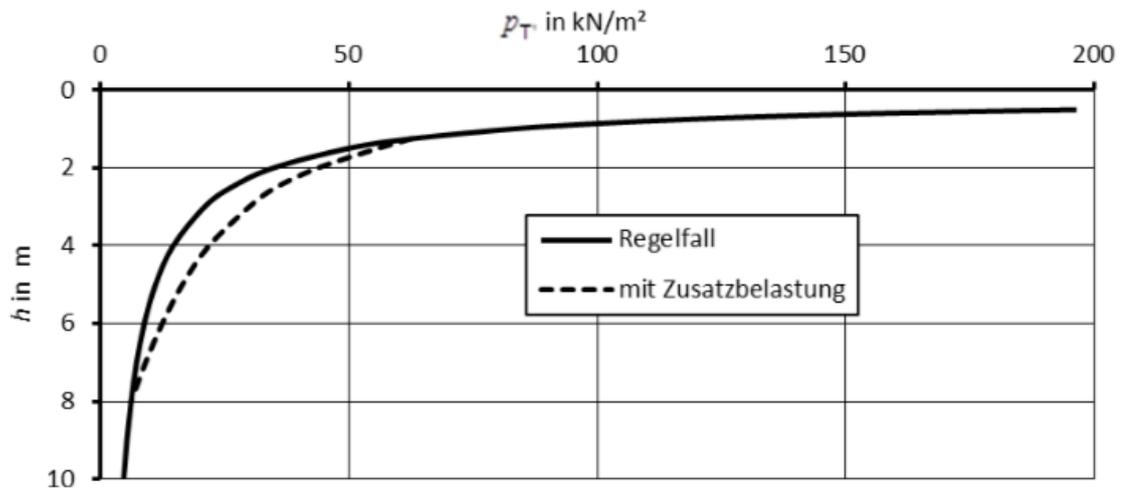


Abbildung 3-8: Die Funktion zu p_T und der Überdeckungshöhe zu Gleichung 3-15 (ÖNORM B5012, 2015)

Für die Lastberechnung müssen die Bodenparameter ebenfalls bestimmt werden.

3.5.3 Lastverteilung

Die Lastverteilung spielt eine wichtige Rolle für das statische Verhalten des Rohres.

Vertikale Lasten treten über die gesamte Rohrbreite gleichmäßig verteilt auf. Der Auflagerdruck, der durch die Auflagerung am Boden entsteht, resultiert in einer Vertikalspannung, die gleichmäßig über den Winkel α_v verteilt ist. Erfolgt die Auflagerung auf Beton, ergeben sich Radialspannungen. Horizontale Lasten können sich aus verformungsunabhängigen Horizontalspannungen und dem horizontalen Bettungsreaktionsdruck zusammensetzen. Diese können in Kombination oder vereinzelt auftreten. Verformungsunabhängige Horizontalspannungen sind gleichmäßig verteilt und der horizontale Bettungsreaktionsdruck parabelförmig über den Winkel α_h . Der äußere Wasserdruk wird in zwei Teile aufgeteilt, in den konstanten Druckanteil und den hydrostatischen Druckanteil, unter der Annahme eines Wasserstandes bei Rohrscheitelhöhe. (ÖNORM B5012, 2015)

3.5.4 Mindestsicherheit gegen Tragwerksversagen

Es können die zwei Versagensformen, Bruch und Instabilität, auftreten. Damit das Boden-Rohr-System eingesetzt werden kann, muss der erforderliche Sicherheitsbeiwert η_R , für zwei verschiedene Sicherheitsklassen größer oder gleich dem erforderlichen Sicherheitsbeiwert $F_{S,R}$ sein. (ÖNORM B5012, 2015)

$$\eta_R \geq F_{S,R}$$

Gleichung 3-18

mit:

η_R ... Sicherheitsbeiwert

$F_{S,R}$... erforderlicher Sicherheitsbeiwert

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mindestsicherheitsbeiwerte durch Bruch angegeben.

Tabelle 3-8: Mindestsicherheitsbeiwerte durch Bruch (ÖNORM B5012, 2015)

Rohrmaterial	$F_{S,R}$	
	Sicherheitsklasse A	Sicherheitsklasse B
	$p_f=10^{-5}$	$p_f=10^{-3}$
Beton	2,2	1,5
Gusseisen	1,4	1,0
PE; PP; PVC-U	1,4	1,2
Stahl	1,7	1,4
Stahlbeton	1,7	1,4
Stahlfaser	2,0	1,5
Steinzeug	2,2	1,6
Ungesättigtes Polyester bewehrtes Glas (GF-UP)	2,0	1,5

Legende zur Tabelle 3-7

p_f ... Ausfallwahrscheinlichkeit

Die Tabelle 3-9 zeigt die Mindestsicherheit bei Instabilität für alle Rohrmaterialien.

Tabelle 3-9: Mindestsicherheit bei Instabilität (ÖNORM B5012, 2015)

Für alle Rohrmaterialien	$F_{S,I}$	
	Sicherheitsklasse A	Sicherheitsklasse B
	$p_f=10^{-5}$	$p_f=10^{-3}$
Für vertikale Lasten ohne äußeren Wasserdruck	2,5	2,2
Für vertikale Lasten und äußeren Wasserdruck	2,0	1,8
Bei Berücksichtigung der Vorverformung, allgemein	1,5	1,4

Die zwei Sicherheitsklassen werden wie folgt in der ÖNROM B5012 (2015) bestimmt:

Tabelle 3-10: Sicherheitsklasse in Bezug auf Mindestsicherheit (ÖNORM B5012, 2015)

Sicherheitsklasse A (Normalfall)	Sicherheitsklasse B (Sonderfall)
Gefahr für Mensch und für Gebäude	Keine Gefahr für Mensch und für Gebäude
Gefahr der Grundwasserverseuchung	Keine Gefahr der Grundwasserverseuchung
Größere Betriebsunterbrechung	Kleinere Betriebsunterbrechung
Ernsthafte finanzielle Auswirkungen	Kleinere finanzielle Auswirkungen

3.6 Abstände

Für die Umsetzung des Boden-Rohr-Systems sind Mindestabstände zu Gebäuden, Grundwasser, Bepflanzungen und anderen unterirdischen Einbauten einzuhalten.

3.6.1 Abstände zu Gebäuden

Versickerungsanlagen dürfen keine Gefahr für angrenzende Gebäude darstellen. Um dies zu gewährleisten, müssen Mindestabstände eingehalten werden. Laut dem Arbeitsblatt 138 (2005) hängt der Abstand von der Art und der Tiefe der Unterkellerung ab. Hierzu werden die Gebäude in die folgenden drei Arten eingeteilt:

Bei *Gebäuden mit wasserdruckhaltender Abdichtung* ist unter Berücksichtigung der Auftriebssicherheit und der Lastabtragungsbereiche kein Mindestabstand einzuhalten.

Bei *Gebäuden ohne wasserdruckhaltender Abdichtung* ist von einer Platzierung der Versickerungsanlage in Nähe des Verfüllbereiches bzw. der Baugrube abzuraten. Das 1,5 fache der Baugrubentiefe sollte als Mindestabstand zwischen Versickerungsanlage und Gebäude nicht unterschritten werden. Der Mindestabstand wird in der untenstehenden Abbildung dargestellt:

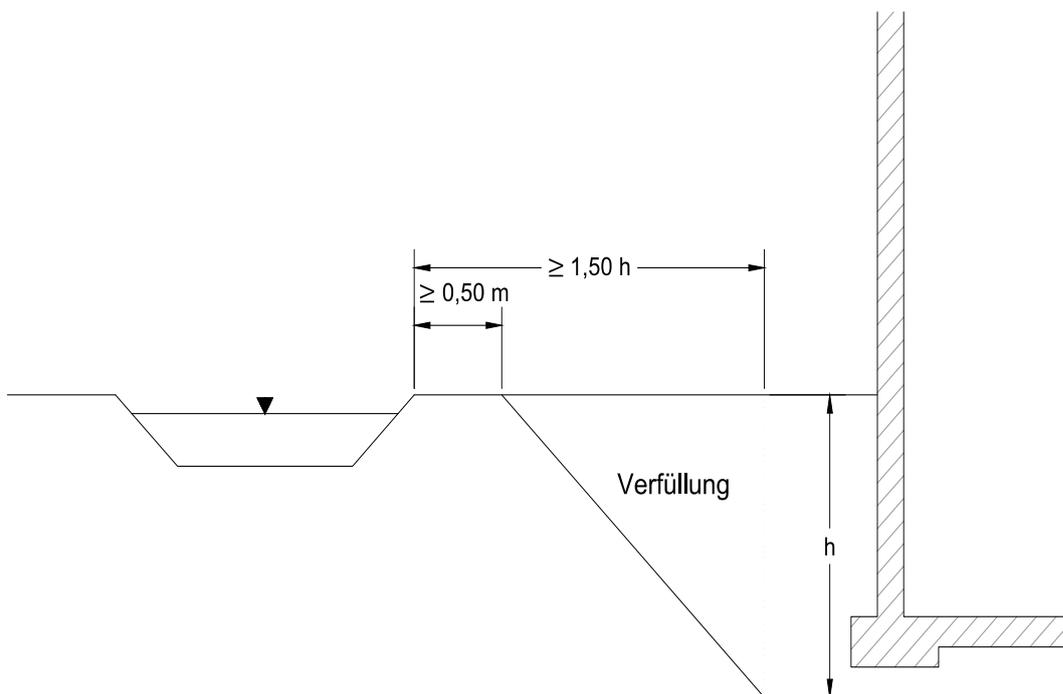


Abbildung 3-9: Mindestabstand zwischen Versickerungsanlage und Gebäude (DWA, 2005)

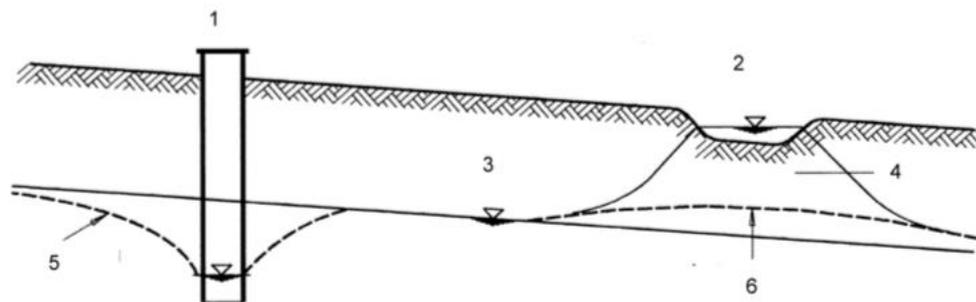
Ist die Böschungskante nicht bekannt, sollte die Böschung mit 1:1 angenommen werden. Diese Annahme befindet sich im sicheren Bereich. Die Versickerungsanlage sollte zusätzlich 50 cm von der Böschungsoberkante entfernt sein, damit garantiert werden kann, dass kein Sickerwasser in den Böschungsbereich gelangt.

Nicht unterkellerte Gebäude werden mit demselben Prinzip wie Gebäude ohne wasserdruckhaltende Abdichtung behandelt, nur dass Anstelle der Baugrubentiefe die Tiefe des Fundamentes für die Berechnung des Mindestabstandes herangezogen wird. (DWA, 2005)

3.6.2 Abstand zum Grundwasser

In der ÖNORM B2506-1 (2013) wird ein Mindestabstand von 1 m zwischen der Sickeranlage und dem höchsten Grundwasserspiegel angestrebt.

Sind Grundwasserentnahmestellen vorhanden, ist darauf zu achten, dass der Sickerbereich nicht im Einzugsgebiet der Entnahmestelle ist und somit die Entnahmestelle beeinträchtigen könnte.



Es bedeutet:

- 1 Brunnen
- 2 Sickeranlage
- 3 ungestörter Grundwasserspiegel
- 4 Sickerbereich
- 5 Absenkung
- 6 Aufhöhung

Abbildung 3-10: Grundwasserstand bei Entnahme und Versickerung (ÖNORM B2506-1, 2013)

Liegt die Entnahmestelle grundwasserstromabwärts ist ein Sicherheitsabstand einzuhalten. Dieser Sicherheitsabstand ist von der Sicker- und Grundwasser-Fließgeschwindigkeit abhängig. In die Abstandbemessung fließen laut der ÖNORM B2506-1 (2013) folgende Faktoren ein:

- *Bodendurchlässigkeit*
- *Schichtung und Schichtungsneigung des Untergrundes*
- *Fundamentierungstiefe und Bauausführung des Gebäudes*
- *Grundwasser-Flurabstand und -gefälle*
- *Tiefe der Sickeranlage*

3.6.3 Abstände von unterirdischen Einbauten

In der ÖNORM B2533 (2004) sind Mindestabstände definiert, die bei unterirdischen Einbauten eingehalten werden müssen. In den folgenden zwei Abbildungen können die Mindestabstände bei Parallelführung und bei Querung in Meter entnommen werden.

Telekommunikationskabel	¹⁾ 0,1										
Erdungsanlagen (ausgenommen Blitzschutz)	0,3	—									
Energiekabel (bis einschließlich 30 kV), Steuer-, Messkabel	²⁾ 0,2	—	^{3,4)} —								
Energiekabel (über 30 kV)	²⁾ 0,5	²⁾ 0,3	^{3,4)} —	^{3,4)} —							
Maste, Tragwerksfundamente	²⁾ 0,8	—	²⁾ 0,8	²⁾ 0,8	—						
Gasleitung aus metallischen Werkstoffen	⁵⁾ 0,3	⁵⁾ 0,3	^{2,5)} 0,3	²⁾ 0,5	⁵⁾ 0,3	^{1,5)} 0,3					
Gasleitung aus nichtmetallischen Werkstoffen	0,3	0,3	²⁾ 0,3	²⁾ 0,5	0,3	0,3	¹⁾ 0,3				
Wasserleitung	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	¹⁾ 0,4			
Fernwärmeleitung	0,3	0,3	⁷⁾ 0,3	⁷⁾ 1,0	0,3	0,4	0,4	0,4	¹⁾ 0,4		
Abwasserleitung	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	¹⁾ 0,4	
	Telekommunikationskabel	Erdungsanlagen (ausgenommen Blitzschutz)	Energiekabel (bis einschließlich 30 kV) Steuer-, Messkabel	Energiekabel (über 30 kV)	Maste Tragwerksfundamente	Gasleitung aus metallischen Werkstoffen	Gasleitung aus nichtmetallischen Werkstoffen	Wasserleitung	Fernwärmeleitung	Abwasserleitung	
¹⁾ Bei mehreren Leitungen eines Einbautenträgers darf der Abstand untereinander den vorgegebenen Wert unterschreiten. ²⁾ Bei Unterschreitung dieser Abstände sind besondere mechanische Schutzmaßnahmen zu treffen (gemäß ÖVE L 1, L 11 (siehe auch ÖVE/ÖNORM E 8111 und ÖVE/ÖNORM EN 50341), L 20). Bei Näherungen in verschiedenen Tiefenlagen sind die erforderlichen Maßnahmen einvernehmlich zwischen den Einbautenträgern festzulegen. ³⁾ Bei gemeinsamer Verlegung ist der Abstand im Einvernehmen zwischen den Einbautenträgern festzulegen. Kabel bis 1 kV sind von Kabeln über 1 kV durch einen lichten Abstand von mindestens 0,1 m zu trennen. ⁴⁾ Bei nachträglicher Verlegung ist ein Mindestabstand von 0,3 m bei Energiekabeln über 1 kV bis 30 kV und von 0,5 m bei Energiekabeln über 30 kV einzuhalten und das Einvernehmen mit dem Einbautenträger der bestehenden Kabelanlage herzustellen. ⁵⁾ bei Gasleitungen ab DN 250 mindestens 0,4 m ⁶⁾ bei Gasleitungen ab DN 400 mindestens 0,5 m ⁷⁾ Eine Unterschreitung dieses Abstandes ist nur dann möglich, wenn einvernehmlich Zusatzmaßnahmen zur thermischen Abschirmung der Energiekabel vorgenommen werden.											

Abbildung 3-11: Horizontale lichte Mindestabstände bei Parallelführung in m (ÖNORM B2533, 2004)

Telekommunikationskabel	¹⁾ 0,1										
Erdungsanlagen (ausgenommen Blitzschutz)	0,3	—									
Energiekabel (bis einschließlich 30 kV) Steuer-, Messkabel	²⁾ 0,2	—	²⁾ 0,2								
Energiekabel (über 30 kV)	²⁾ 0,5	0,3	²⁾ 0,5	²⁾ 0,5							
Maste, Tragwerksfundamente	—	—	—	—	—						
Gasleitung aus metallischen Werkstoffen	0,2	²⁾ 0,2	0,3	0,5	—	¹⁾ 0,2					
Gasleitung aus nichtmetallischen Werkstoffen	0,2	0,2	0,3	0,5	—	0,2	¹⁾ 0,2				
Wasserleitung	0,2	0,2	0,3	0,5	—	0,2	0,2	¹⁾ 0,2			
Fernwärmeleitung	0,2	0,2	0,3	³⁾ 1,0	—	0,2	0,2	0,2	¹⁾ 0,2		
Abwasserleitung	0,2	0,2	0,3	0,5	—	0,2	0,2	0,2	0,2	¹⁾ 0,2	
	Telekommunikationskabel	Erdungsanlagen (ausgenommen Blitzschutz)	Energiekabel (bis einschließlich 30 kV) Steuer-, Messkabel	Energiekabel (über 30 kV)	Maste, Tragwerksfundamente	Gasleitung aus metallischen Werkstoffen	Gasleitung aus nichtmetalli- schen Werkstoffen	Wasserleitung	Fernwärmeleitung	Abwasserleitung	
¹⁾ Bei mehreren Leitungen eines Einbauträgers darf der Abstand untereinander unterschritten werden. ²⁾ Bei Unterschreitung dieser Abstände sind besondere mechanische Schutzmaßnahmen zu treffen (gemäß ÖVE L 1, L 11 (siehe auch ÖVE/ÖNORM E 8111 und ÖVE/ÖNORM EN 50341), L 20). Bei Näherungen in verschiedenen Tiefenlagen sind die erforderlichen Maßnahmen einvernehmlich zwischen den Einbauträgern festzulegen. ³⁾ Eine Unterschreitung dieses Abstandes ist nur dann möglich, wenn einvernehmlich Zusatzmaßnahmen zur thermischen Abschirmung der Energiekabel vorgenommen werden.											

Abbildung 3-12: Vertikale lichte Mindestabstände bei Querung in m (ÖNORM B2533, 2004)

3.6.4 Abstände zu Bepflanzungen

Laut ÖNORM B2533 (2004) sollten Leitungsgräben wenn möglich nicht mit Bäumen bepflanzt werden, um Baumschäden bei späteren Reparaturen zu vermeiden. Im Allgemeinen sollte nach der ÖNORM B2503 (2017) ein Abstand von 5 m von der Kanalausenkante bis zur Pflanzengrube bei der Neupflanzung eines Baumes gewählt werden.

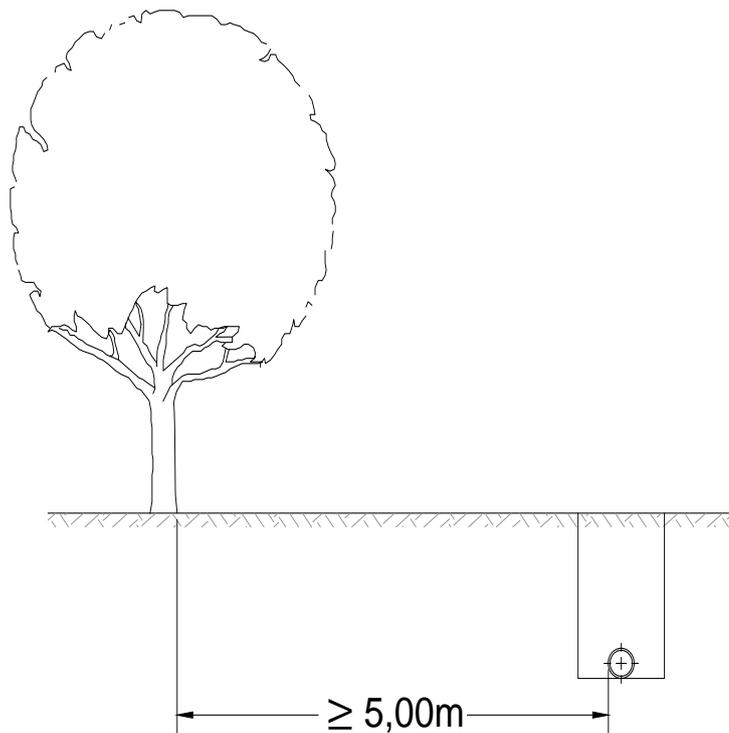


Abbildung 3-13: Abstand zwischen Rohraußenkante und Bäumen

3.7 Maßnahmen gegen Verschlammung

In der ÖNORM B2506-1 (2013) wird für unterirdische Sickerkörper der Einsatz von Trenngewebe als Maßnahme gegen Verschlammung vorgeschlagen. Das Trenngewebe wird seitlich und oberhalb des Verfüllmaterials, verlegt und vermeidet somit die Verschlammung.

Um eine Verschlammung und eine Verlegung der Sickeranlage zu vermeiden, können auch Absetzanlagen zum Einsatz kommen. Der Vorteil einer Absetzanlage ist, dass alle absetzbaren Stoffe (Erde, Schlamm, Streusplitt) zurückgehalten werden und nicht in den Versickerungskörper eingeleitet werden. Ebenfalls wird die Belastung von organischen Bestandteilen und von Schwermetallen reduziert. Absetzanlagen werden vor allem bei unterirdischen Sickerkörpern die unzugänglich sind verwendet. (ÖNORM B2506-1, 2013)

3.8 Niederschlagswasser und die dazugehörige Schadstoffbelastung in Abhängigkeit der Herkunftsflächen und deren Reinigungsmaßnahmen.

Im Zuge dieser Masterarbeit werden verschiedene Reinigungsmöglichkeiten von Niederschlagswasser erarbeitet. Da die Verbauung des Boden-Rohr-Systems vorwiegend unter Verkehrsflächen stattfinden wird, erfolgt eine Unterteilung der Flächen in nicht befahrene Plätze, Geh- und Radwege und befahrene Straßen.

Auf die Belastung von Streusalz wird im Kapitel 3.9 eingegangen, sie wird daher in diesem Kapitel nicht behandelt.

In der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (2016) sind Schwellenwerte für Konzentrationen festgelegt, die noch keine Verschlechterung des Grundwassers mit sich bringen. Diese Schwellenwerte werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3-11: Schwellenwerte von Schadstoffen (Bundeskanzleramt der Republik Österreich, 2016, mod.)

	Schwellenwert	Einheit
Blei	9	µg/l
Cadmium	4,5	µg/l
Clorid	180	mg/l
Chrom	45	µg/l
Kupfer	1800	µg/l
KW-index	100	µg/l
Nickel	18	µg/l
PAK	0,09	µg/l
Pestizide _{gesamt}	0,50	µg/l

Bei der Versickerung von Niederschlagswässern müssen die obengenannten Schwellenwerte eingehalten werden. Es darf durch die Versickerung zu keiner Verschlechterung der Wasserqualität im Grundwasser kommen. Treten höhere Konzentrationen im Oberflächenwasser auf, muss das Wasser vor der Versickerung gereinigt werden.

Für die Reinigung können laut ÖWAV-RB 35 (2003) verschiedene Arten an Filtern eingesetzt werden. Die drei gängigsten Filter sind:

- *Mineralische Filter*
- *Bodenfilter*
- *Technische Filter*

Mineralische Filter bestehen aus anorganischen Stoffen wie z.B Kies. Bei diesen Systemen erfolgt vorwiegend eine mechanische Reinigung. (OEWAV, 2015)

Systeme mit *Bodenfilter* bestehen aus Bestandteilen eines natürlich gewachsenen Bodens, hier erfolgt ein Abbau von anorganischen und organischen Inhaltsstoffen. Die Bodenpassage muss mindestens 30 cm aufweisen, um eine ausreichende Reinigungsleistung zu erbringen. (OEWAV, 2003 ; OEWAV, 2015)

Technische Filter können mittels natürlichen oder künstlichen Substraten versehen werden. (OEWAV, 2003) Im ÖWAV-RB 45 (2015) wird der technische Bodenfilter bei den technischen Filtern eingeteilt. Verschiedene Firmen bieten unterschiedliche technische Filter an.

3.8.1 Plätze, Geh- und Radwege

Nicht befahrene Plätze, Geh- und Radwege gelten als gering verschmutzte Flächen, da die Schadstoffe in einer so geringen Konzentration auftreten, dass sie keinerlei Einfluss auf die Beschaffenheit des Grundwasserkörpers haben. Ebenfalls können sich durch Tierkot, Abfälle und Laub höhere Konzentrationen an abfilterbaren Stoffen, CSB, BSB₅, Stickstoff und Phosphor ergeben. (OEWAV, 2003)

Befindet sich neben dem Boden-Rohr-System eine Grünfläche, die mit Pflanzenschutzmittel behandelt wird, ist das Auftreten von Pestiziden im Niederschlagsabfluss ebenfalls möglich.

Laut dem ÖWAV-RB 45 (2015) werden Geh- und Radwege sowie nicht befahrene Plätze in die Kategorie des Flächentyps F1 eingeteilt. In der nachstehenden Liste werden Reinigungsverfahren aufgezählt, die für die Reinigung von Niederschlagswasser des Flächentyps F1 geeignet sind:

- Systeme mit mineralischem Filter
- Systeme mit Bodenfilter
- Systeme mit technischem Filter

Wird das Boden-Rohr-System in Kombination mit einem Bodenfilter eingesetzt, kann zwischen einem natürlichen und technischen Bodenfilter gewählt werden. Beim Einsatz des natürlichen Bodenfilters ist eine Grünfläche erforderlich. Hier muss das Regenwasser an der Oberfläche gesammelt werden und in die Grünfläche eingeleitet werden. Hier ist es ratsam, den Bodenfilter mit horizontalem Auslauf zu gestalten und danach das gereinigte Niederschlagswasser in das Boden-Rohr-System einzuleiten. In der Abbildung 3-14 wird der schematische Ablauf des natürlichen Bodenfilters in Kombination mit dem Boden-Rohr-System dargestellt.

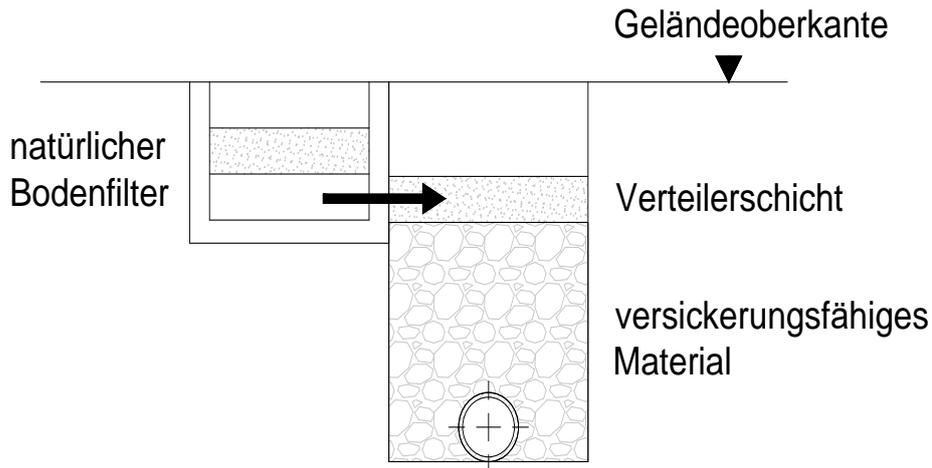


Abbildung 3-14: Schematische Darstellung eines Boden-Rohr-System in Kombination mit einem natürlichen Bodenfilter

Wird der technische Bodenfilter angewendet, kann gegebenenfalls mit durchlässigen Belägen gearbeitet werden. Der technische Bodenfilter kann unter dem Belag angeordnet und mittels vertikalen Auslaufs gestaltet werden. Dadurch kann das Niederschlagswasser flächenhaft in das Boden-Rohr-System versickern. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Skizze der Kombination des technischen Bodenfilters und des Boden-Rohr-Systems.

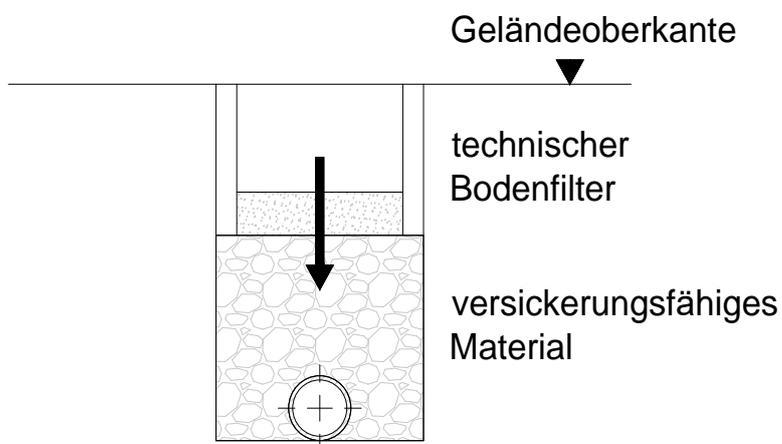


Abbildung 3-15: Schematische Darstellung eines Boden-Rohr-Systems in Kombination mit einem technischen Bodenfilter

3.8.2 Straßen

Auf Verkehrsflächen treten deutlich höhere Schadstoffkonzentrationen auf als auf Geh- und Radwegen. Die mittleren Konzentrationen sind so hoch, dass eine Versickerung ohne Vorreinigung nicht mehr möglich ist. Die Tabelle 3-12 zeigt typische Schadstoffe und ihre Herkunft.

Tabelle 3-12: Schadstoffe und deren Herkunft (OEWAV, 2003; ÖNORM B2506-2, 2012)

Herkunft	Schmutz- und Schadstoff
Verbrennungsrückstände	Kohlenwasserstoffe (z.B. PAK), Metalle (Pb, Zn, Ni), Feinstoffe (Ruß)
Bremsabrieb	Metalle (Cu, Cd), Feinstoffe (z.B. Asbest)
Reifenabrieb	Gummi (Ruß, Schwefel), Metalle (Zn, Cd, Pb)
Straßenabrieb	organische Verbindungen (z.B. Bitumen, Teer, KW), Metalle (z.B. von Markierungsfarben)
Tropfverluste	Kohlenwasserstoffe (z.B. Treibstoff, Schmiermittel, Oxygenate), Metalle (Pb, Ni, Zn)
Korrosion, Verschleiß	Al, Cu, Fe, Co, Mn
Wartungsarbeiten, Unterhaltungsarbeiten	organische Verbindungen (z.B. Bitumen), Grob- und Feinstoffe (z.B. Streusplitt), Tenside
Winterdienst	Salze und Auftaumittel, Grob- und Feinstoffe (z.B. Streusplitt)
Störfälle	Löschmittel, Bindemittel
Ladegutverluste	

Im ÖWAV-RB 35 (2003) ist die Tabelle 3-13 aufgeführt, in der die mittleren Konzentrationen von Straßenabflüssen mit 10000 DTV erläutert werden.

Tabelle 3-13: Mittlere Konzentrationen von Straßenabflüssen mit DTV > 10000 Kfz/24h (OEWAV, 2003)

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

Laut dem ÖWAV-RB 45 (2015) können Verkehrsflächen in unterschiedliche Flächentypen eingeteilt werden. Verkehrsflächen mit einem JDTV bis 500 Kfz/24 h

werden dem Flächentyp F2 zugeteilt und Verkehrsflächen mit einem JDTV zwischen 500 und 15 000 Kfz/24 h dem Flächentyp F3. Weisen Verkehrsflächen einen DTV von über 15 000 Kfz/24 h auf, werden sie dem Flächentyp F4 zugewiesen. Das Regelblatt sieht für den Flächentyp F2 Reinigungsmöglichkeiten durch Bodenfilter und technische Filter vor. Für den Flächentyp F3 sind Bodenfilter geeignet. Technische Filter können eingesetzt werden, wenn sie die erforderliche Reinigungsleistung erzielen. Niederschlagswasser vom Flächentyp F4 kann ohne Vorbehandlung nicht mehr versickert werden.

Die Firma Wallner und Neubert Gesellschaft m.b.H. (2016) stellt verschiedenste Reinigungsmöglichkeiten für Regenwasser her. Der Filtereinsatz INNOLET ist speziell für Niederschlagswasser vom Straßenverkehr entworfen worden. Die Reinigung erfolgt über Filtration und Absorption der Schadstoffe. Im Filter ist ein spezielles Filtersubstrat enthalten, das den Rückhalt von Schwermetallen, PAK und AFS garantiert. In der folgenden Abbildung wird ein Querschnitt des Filtereinsatzes dargestellt.

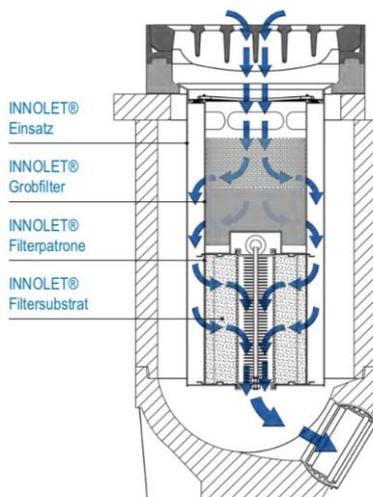


Abbildung 3-16: INNOLET Filtereinsatz für Straßenabläufe (Wallner und Neubert Gesellschaft m.b.H., 2016)

Mall Umweltsysteme bietet den Mall Substratfilter ViaPlus an. Dieser Substratfilter kann bei Verkehrsflächen mit hohem Verkehrsaufkommen und einer Fläche bis zu 3000 m² angewendet werden. Er bietet eine gute Reinigungsleistung und findet vor allem seinen Einsatz zur Reinigung von Niederschlagswässern, die direkt z.B. in das Gewässer geleitet werden. Der Substratfilter ist mit drei Reinigungsstufen ausgestattet. Das ViaPlus Modell ist in verschiedenen Ausbaustufen erhältlich. Ein wesentlicher Nachteil des ViaPlus Modells ist die Größe, das Modell für eine Anschlussfläche von 3000 m² weist einen Innendurchmesser von 3000 mm auf. (König, 2019)

Werden Filter wie die zwei oben genannten Systeme verwendet, muss das Niederschlagswasser auf der Oberfläche gesammelt werden und in die Filter eingeleitet werden.

Es können aber auch andere Filter für die Reinigung eingesetzt werden, wie z.B. der Aktivkohlefilter. Aktivkohlefilter können ebenfalls für die Entfernung von organischen Schadstoffen und gelösten Schwermetallen von Verkehrsflächen aus dem Niederschlagswasserabfluss eingesetzt werden. Aktivkohlefilter eignen sich gut für den Rückhalt von Mineralölkohlenwasserstoffen. (Vesting, 2018)

3.9 Streusalzbelastung im Winter

In den Wintermonaten tritt eine erhöhte Konzentration an Chlorid im Niederschlagsabfluss auf, dies ist auf den Einsatz von Streusalz als Taumittel zurückzuführen. In Österreich wird zur Straßensalzung ein Gemisch aus NaCl und CaCl₂ verwendet. Bei diesem Gemisch liegt der Chloridgehalt bei circa 60%. Der Eintrag von NaCl in den Untergrund führt zu Vegetationsschäden am Straßenrand. Durch den Eintrag erfolgt ein Austausch der Ca- und Mg-Ionen durch Na-Ionen. Durch den großen Na-Ionen Anteil verzögert sich die Versickerung, da die Na-Ionen einen negativen Einfluss auf die Durchlässigkeit haben. (Atanasoff et al., 2011) Durch den Eintrag von Chlorid in den Untergrund kann es zur Remobilisierung von bereits gebundenen Schwermetallen im Boden kommen. (Wolfram et al., 2014)

Vereinfacht kann gesagt werden, dass durch den Eintrag von Salz im Boden Poren verschlammte werden, was zu einem Sauerstoff- und Wassermangel im Untergrund führen kann. Die Verschlämmung kann zu einer Wasserstauung führen, wodurch der Wegtransport des Niederschlagswassers nur mehr erschwert oder gar nicht mehr gewährleistet ist. (Embrém et al., 2009)

Laut der ÖNORM B2506-2 (2012) können Salze und Taumittel mit vertretbarem Aufwand nicht aus dem Abflusswasser entfernt werden.

Laut A. Vesting (2018) geschieht die Remobilisierung von Schadstoffen nur in einem geringen Ausmaß, wenn Aktivkohle als Filtermaterial zum Einsatz kommt.

3.10 Der Umgang mit unterirdischen Infrastrukturen

Gerade im städtischen Bereich kommen unterirdische Infrastrukturen wie z.B. Tiefgaragen oder U-Bahnen häufiger vor. Durch unterirdische Infrastrukturen wird der Einsatz des Boden-Rohr-Systems zum Teil unterbunden.

Befindet sich die unterirdische Infrastruktur (ohne wasserdruckhaltende Schicht) seitlich des Boden-Rohr-Systems, sind die gleichen Bedingungen bezüglich der Abstände einzuhalten wie bei Gebäuden, dh mindestens das 1,5-fache der Baugrubentiefe. Bei unterirdischen Infrastrukturen mit wasserdruckhaltender Schicht geht keine Gefahr vom Boden-Rohr-System aus.

Wenn unterirdische Infrastrukturen vorhanden sind, muss gesondert geprüft werden, ob ein Boden-Rohr-System angewendet werden kann. Es ist darauf zu achten, dass durch das Boden-Rohr-System keine Schäden an unterirdischen Infrastrukturen entstehen.

3.11 Hanglage

Bei Einsatz einer Versickerungsanlage in Hanglage kann es bei schlechter Bodenqualität zu Vernässungen des Untergrundes und der unterliegenden Gebäude sowie zu Erdbeben und Quellaustritten kommen. (Dachroth, 2017)

Im ECOSTORMA-Handbuch (2014) ist die folgende Tabelle 3-14 bezüglich der Hangneigung angegeben:

Tabelle 3-14: Klassifikation der Hangneigung (Gruber et al., 2014)

Klassifikation der Hangneigung		
Bereich	Bezeichnung	Auswirkung auf NWB-Maßnahme
0 – 2%	flach geneigt	Bau der Anlage ohne Einschränkungen
2 – 8%	mäßig geneigt	Länge der Anlage in Richtung der Hangneigung mit 3 und 10 m begrenzt
8 – 14%	stark geneigt	Bau der Anlage nur noch hangparallel möglich
> 14%	steil geneigt	Bau der Anlage nur mit besonderen Maßnahmen

Ab einer Hangneigung von 20% treten Hangrutschungen durch Vernässung vermehrt auf. Bei Hangneigungen ab 30% ist von der Versickerung von Niederschlagswasser ganz abzuraten. (Burda, 2011)

4 Lastversuche in Schweden

In Schweden sind Lastversuche an zehn verschiedenen aufgebauten Querschnitten durchgeführt worden. Bei diesen Tests wurde die Spurrillenfestigkeit einer durchlässigen Betonpflasterung getestet. Die Tests wurden mittels eines Simulators für schwere Fahrzeuge (HVS) durchgeführt. Die Spurrillentiefe für jede Struktur wurde als Funktion der Anzahl der Raddurchgänge gemessen. Die Anzahl der Raddurchgänge wurde in die Standardachslast von 100 kN umgerechnet. Die Testgrube weist eine Länge von 15 m, eine Breite von 5 m und eine Tiefe von 1,2 m auf. Pro Durchlauf werden immer zwei Querschnitte gleichzeitig getestet. Die Anfangsbelastung beträgt 30 kN und wurde im Laufe des Versuches auf bis zu 60 kN erhöht. Eine Belastung von 60 kN entspricht circa der Achslast eines Lkws mit zwölf Tonnen. Während des Versuches wird in zwei Schritten das Grundwasser angehoben. In der Tabelle 4-1 werden die Testbedingungen aufgezeigt, die während der Versuchsreihe gelten. (Rahman et al., 2017)

Tabelle 4-1: Testbedingungen (Rahman et al., 2017)

Anzahl der Raddurchgänge	Radlast	Feuchtigkeitszustand	Radgeschwindigkeit	Reifendruck
0 – 500	30 kN	Natürliche Feuchtigkeit	12 km/h	800 kPa
500 - 59000	40kN			
59000 - 145000	60kN			
145000 - 350000	60kN	Grundwasser 30 cm unter der Oberfläche des Unterbaus		
350000 - 420000	60kN	Grundwasser bis zur Hälfte der Unterbauschicht		

In der Abbildung 4-1 werden die zehn verschiedenen Querschnitte, die getestet worden sind, dargestellt. Ebenso sind einige Ähnlichkeiten zwischen den Structure 5 und 6 und dem angewendeten Beispiel in Graz zu erkennen. Als Standardquerschnitt wird Structure 3 für die Versuche herangezogen. (Rahman et al., 2017)

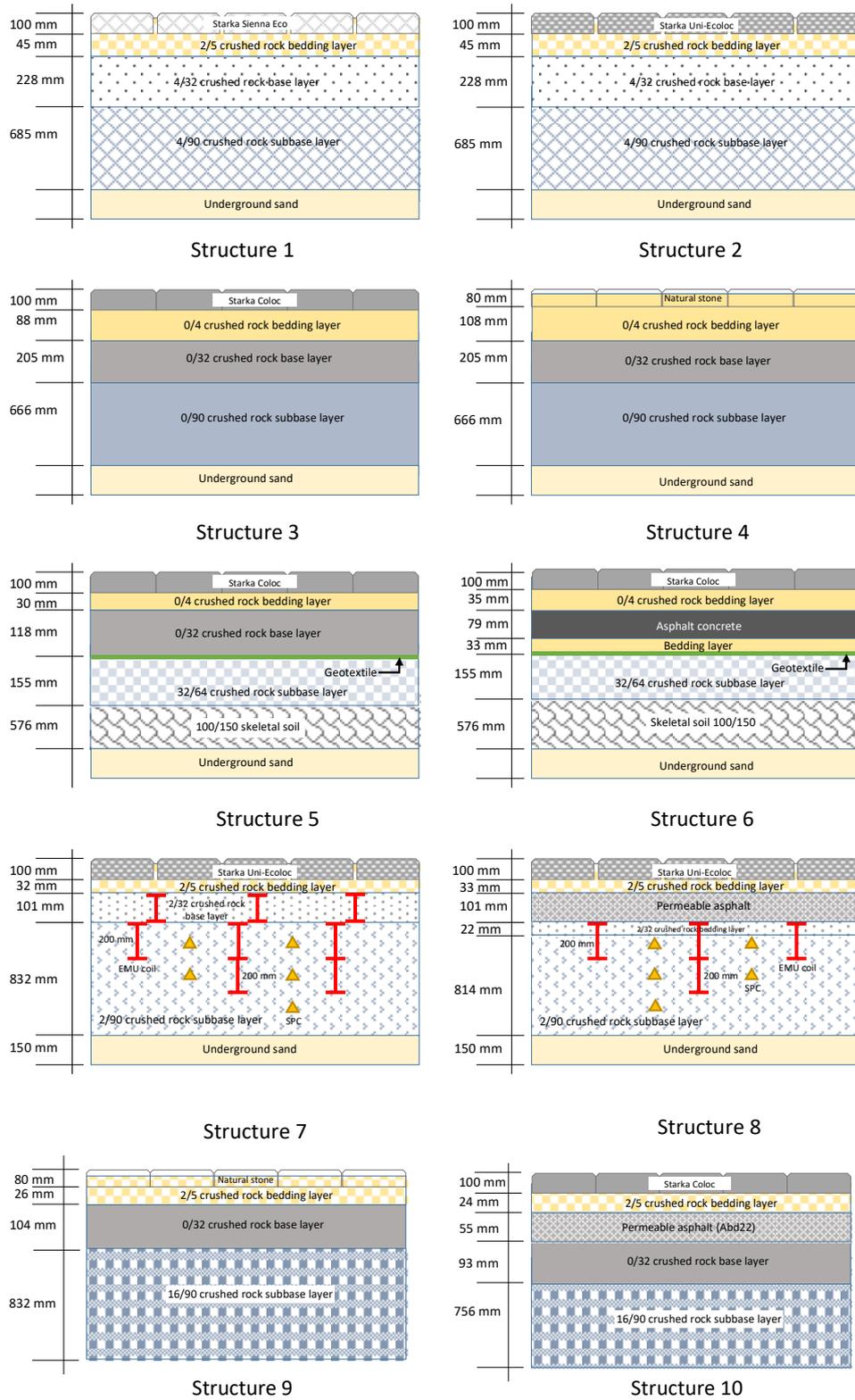


Abbildung 4-1: Querschnitte für die Lastversuche (Rahman et al., 2017)

Die Ergebnisse der Belastung werden in der Abbildung 4-2 mittels einen Plots dargestellt. Im Plot wird die Spurrillentiefe zur Standarddachlast für die jeweiligen Querschnitte aufgezeigt. (Rahman et al., 2017)

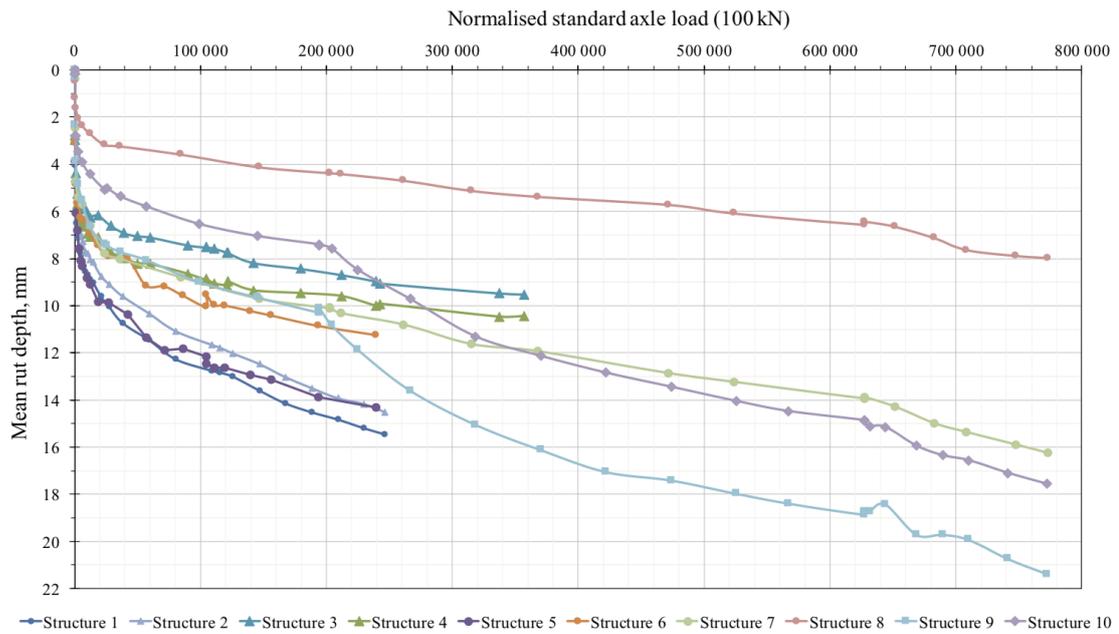


Abbildung 4-2: Entwicklung von Spurrillen während des HVS-Tests als Funktion der äquivalenten Standard-Achslast (ESAL) (Rahman et al., 2017)

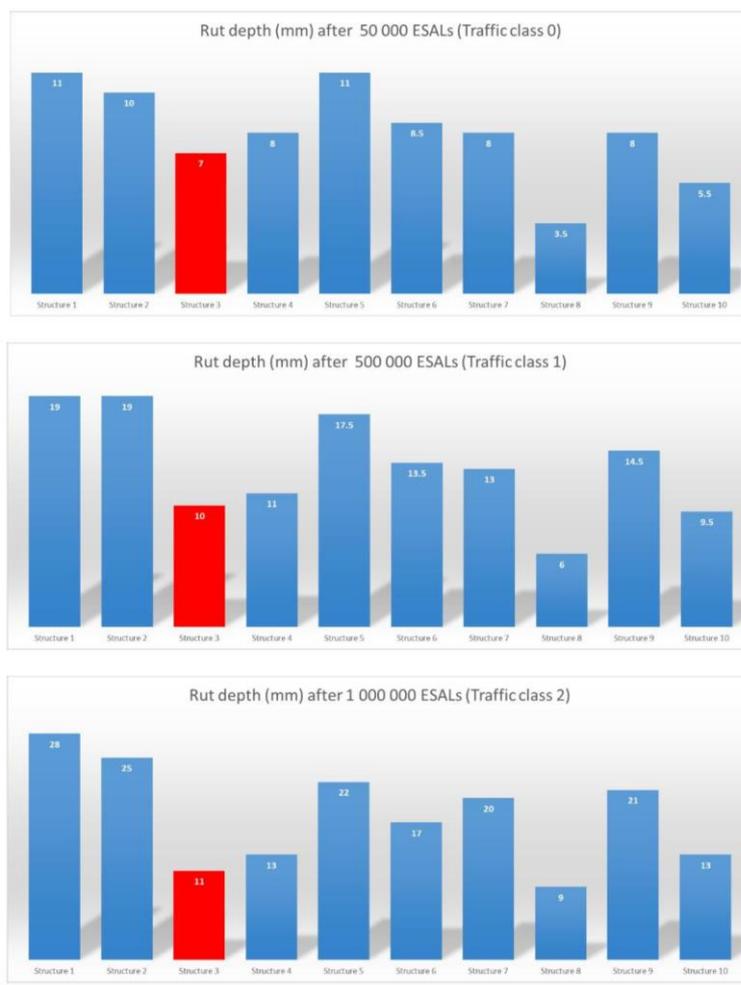


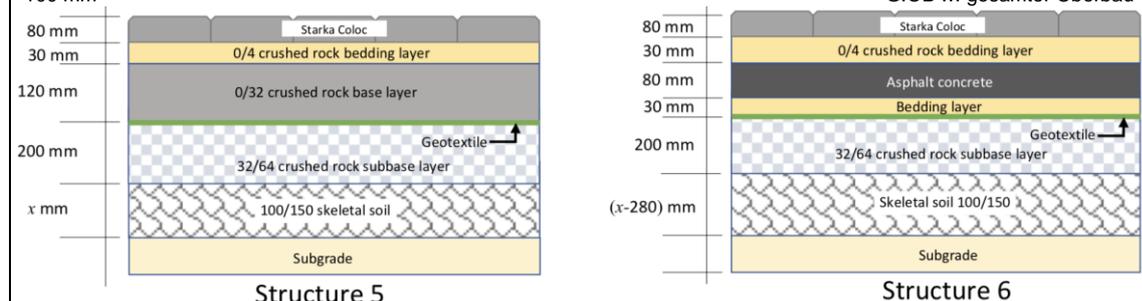
Abbildung 4-3: Rillentiefe der einzelnen Querschnitte im HSV-Test bei unterschiedlichen Verkehrsklassen (Rahman et al., 2017)

Die Abbildung 4-3 zeigt die entstandenen Spurrillentiefen bei den einzelnen Querschnitten, die bei unterschiedlichen Verkehrsklassen entstehen. Der rote Balken markiert hierbei den Standardquerschnitt 3. Eine deutliche Schwankung der Spurrillentiefe ist bei den einzelnen Querschnitten zu erkennen. (Rahman et al., 2017) Der Unterschied in den Spurrillentiefen bei Structure 5 und 6 ist darauf zurückzuführen, dass bei Structure 6 eine Tragschicht aus Asphalt eingebaut wurde, welche eine bessere Tragleistung aufweist. Für die einzelnen Querschnitte sind Tabellen erstellt worden, in denen die erforderlichen Schichtdicken bezogen auf die Verkehrsklassen aufgelistet sind. In der Tabelle 4-2 sind die Dicken für die Querschnitte 5 und 6 dargestellt. Die Herstellung von durchlässigen Querschnitten, ohne weitere Untersuchungen und Analysen, wird für die Verkehrsklassen 3 und 4 nicht empfohlen. (Rahman et al., 2017)

Tabelle 4-2: Schichtdicken für Structure 5 und 6 (Rahman et al., 2017, mod.)

Klimazone 1-6, zerkleinertes Material in der Verstärkungsschicht									
Verkehr	Zulässige Anzahl von Standardachsen	0	0	<50 000	50 000 – 500 000	500 000 – 1 000 000	1 000 000– 2 500 000	2 500 000 – 5 000 000	
	Verkehrsklassen	G*	GC	0*	1	2	3	4	
Oberbau	Dicke [mm]								
	Pflasterstein	50	60	80	80	80	80**	80**	
	Bettung	30	30	30	30	30	30	30	
	Ungebundene Tragschicht (0/32)				120	120	120	120	
	Ungebundene Tragschicht (32/64)	G.OB	200	200	200	200	200	200	
	Skeletterde (100/150)	1	0	0	0	122.5	175	332.5	437.5
		2	0	122.5	122.5	262.5	367.5	507.5	612.5
3		140	122.5	122.5	420	507.5	612.5	700	
4		175	122.5	122.5	472.5	577.5	717.6	822.5	
5		245	297.5	297.5	700	805	1015	1190	

Wenn 80 mm Asphalt anstelle der 0/31 ungebundene Tragschicht verwendet werden, kann die Dicke des Skeletterde um 280 mm reduziert werden. * eigene Definition des schwedischen Betonbodens ** der empfohlene Dicke am Grundstein beträgt G.OB ... gesamter Oberbau



5 Verantwortliche und Beteiligte an der Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems

Für die Planung und Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems ist das Zusammenspiel von mehreren Stakeholdern wichtig. Für ein besseres Verständnis, wie weitläufig das System in verschiedene Fachabteilungen fällt, wird am Beispiel Graz eine Liste der Beteiligten erstellt, des Weiteren werden die beteiligten Abteilungen des Landes Steiermark aufgelistet, die für die Planung und Umsetzung eine wichtige Rolle spielen.

5.1 Graz

Das Haus Graz wird in die Holding und die Magistrat-Abteilung untergliedert. In der Abbildung 5-1 werden die einzelnen Abteilungen aufgezeigt, die bei der Planung und Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems beteiligt sind. (Stadt Graz, 2019)

Magistrat	Holding
Bau- und Anlagenbehörde A17	Wasserwirtschaft
Umweltamt A23	Straßenerhaltung
Stadtbaudirektion A10	
Straßenamt A10/1	
Abt. für Grünraum und Gewässer A10/5	
Stadtplanungsamt A14	

Abbildung 5-1: Organigramm Stadt Graz (Stadt Graz, 2019, mod.)

Die Holding Graz Wasserwirtschaft ist für alle Aufgabenbereiche, die in Bezug auf die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung entstehen, verantwortlich. Die Neu- und Erneuerungsplanung der Leitungen fällt ebenfalls in das Aufgabengebiet der Holding Wasserwirtschaft. Daher würden die Umsetzung und Planung für ein Boden-Rohr-System zum größten Teil in den Aufgabenbereich der Holding Graz Wasserwirtschaft fallen.

Das Stadtplanungsamt sollte vorrauschauend planen und im Flächenwidmungsplan gegebenenfalls Flächen für das Boden-Rohr-System vormerken.

Die Abteilung für Grünraum und Gewässer sowie das Straßenamt sollten in der Planungsphase mit der Holding Graz Wasserwirtschaft in engem Kontakt stehen, um eine bestmögliche Koordinierung der anstehenden Projekte zu ermöglichen.

5.2 Land Steiermark

Die Planung und Umsetzung des Boden-Rohr-Systems betreffen nicht nur die Abteilungen der Stadt Graz, sondern auch das Land Steiermark. Das Amt der steirischen Landesregierung wird auf siebzehn Abteilungen aufgeteilt. Die fünf Abteilungen, die maßgeblich an der Planung und dem Bau eines Boden-Rohr-Systems beteiligt sind, werden in der Abbildung 5-2 in einem Organigramm dargestellt.

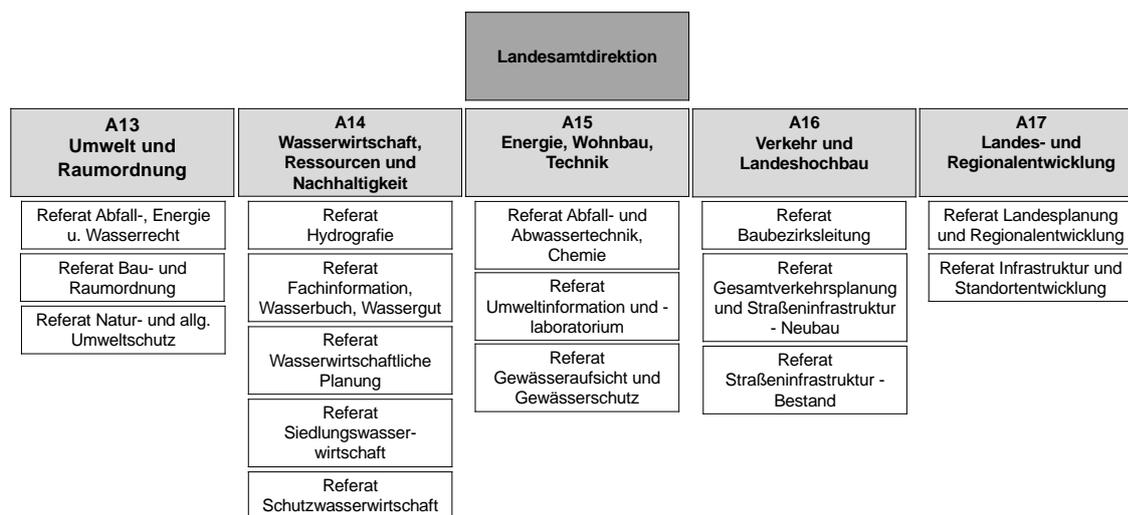


Abbildung 5-2: Organigramm der Abteilungen des Lands Steiermark (Scheiner, 2019, mod.)

In der Abteilung 13 werden alle Bereiche bezüglich Abfall-, Energie und Wasserrecht, Bau- und Raumordnung sowie die Bereiche Natur- und allgemeiner Umweltschutz bearbeitet. (Stübinger, 2019) In Bezug auf das Boden-Rohr-System spielt diese Abteilung eine wichtige Rolle, da die Themenbereiche Wasserrecht und Umweltschutz für die Planung eine wichtige Rolle spielen.

In der Abteilung 14 sind folgende Referate für die Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems von Bedeutung: Hydrografie, Fachinformation, Wasserbuch, Wassergut, Wasserwirtschaftliche Planung, Siedlungswasserwirtschaft und Schutzwasserwirtschaft. (Land Steiermark, 2019a) Für Förderungen ist das Referat Siedlungswasserwirtschaft zuständig. Es kann eine Förderung für Regenwasserbewirtschaftung beantragt werden. (Land Steiermark, 2019c)

Die Gewässeraufsicht und den Gewässerschutz übernimmt die Abteilung 15. Ebenso fallen die Themengebiete Abfall-, und Abwassertechnik, Chemie und Umweltinformation und -laboratorium in dessen Aufgabengebiet. (Umgeher, 2019)

Bundesstraßen fallen in den Zuständigkeitsbereich des Landes Steiermark, daher ist auch die Abteilung 16 für Verkehr und Landeshochbau mit den Referaten Baubezirksleitung, Gesamtverkehrsplanung und Straßeninfrastruktur – Neubau

und Straßeninfrastruktur – Bestand bei der Planung des Boden-Rohr-Systems mit einzubeziehen. (Haselwander, 2019) Beim Um- oder Neubau von Straßen, in denen sich eine Wasserleitung befindet, sollten die beteiligten Abteilungen, die für die Umsetzung eines Boden-Rohr-Systems von Bedeutung sind, gleich in der Planungsphase mit einbezogen werden, um damit wertvolle Planungs- und Bauzeit zu sparen.

Die Abteilung 17 behandelt Themen wie Landesplanung, Regionalentwicklung, Raumforschung und Raumordnungskataster. (Land Steiermark, 2019b) Hier sollte die Planung des Boden-Rohr-Systems recht früh in die Raumplanung mit einbezogen werden.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass es sich empfiehlt, eine frühe Zusammenarbeit der einzelnen Abteilungen anzustreben, um eine schnelle Planung und Umsetzung erzielen zu können. Das System umfasst eine weite Bandbreite von zuständigen Abteilungen, daher sind eine vorrausschauende Planung und ein gut funktionierendes Baumanagement zu empfehlen, um den Prozess schnell abwickeln zu können.

6 Ergebnisse und Diskussion

Damit ein Boden-Rohr-System umgesetzt werden kann, müssen einige Bedingungen erfüllt sein. Die Ergebnisse der Bedingungen werden nachfolgend diskutiert. Ebenso wurden vier schematische Querschnitte mit Tabellen erstellt, um die Bedingungen für die Umsetzung des Boden-Rohr-Systems besser darstellen zu können.

Die Wahl des Bettungstyps ist auf das gewählte Rohrmaterial abzustimmen und muss für jedes Projekt gesondert gewählt werden. Die unterschiedlichen Bettungstypen sind im Kapitel 3.1 ersichtlich. Da für die Verfüllung grobkörniges und sehr porenreiches Material verwendet wird, kann das verwendete Material der Bodengruppe 1 bzw. der Bodengruppe 2 zugeordnet werden. Da dieses Material ein größeres Größtkorn aufweist, als die zugelassene Größtkornangabe bezogen auf den Rohrdurchmesser in den ÖNORMen B2538 und EN1610, muss für den Leitungsbereich ein anderes Material mit kleinerem Größtkorn verwendet werden, um Schäden an der Rohrleitung zu vermeiden und eine ordnungsgemäße Lagerung des Rohres zu garantieren. Wenn die Verkehrsfläche unbefahren ist, kann ein größeres Größtkorn unter Absprache mit dem Bauherren verwendet werden. Wenn in den Herstellerangaben des Rohrherstellers angegeben ist, dass ein Größtkorn größer als in der angegebenen Norm erlaubt ist und keine Schäden am Rohr entstehen können, darf auch hier unter Absprache mit dem Bauherrn von der Größtkorn-Vorgabe abgewichen werden. Die Bodengruppen sind im Kapitel 3.2 erläutert und die Anforderungen an die Verfüllung sind im Kapitel 3.3 aufgelistet.

Durch die Zuordnung der Verfüllung zur einer bestimmten Bodengruppe ergeben sich für die Verdichtung einzuhaltende Übergangswerte, die für die gewählte Verdichtungsmethode eingehalten werden müssen. (siehe Kap. 3.4) Wird über dem Boden-Rohr-System eine Straße errichtet, muss das statische Verformungsmodul für das Unterbauplanum eingehalten werden.

Die Belastungen (Kapitel 3.5) sind für jedes Projekt unterschiedlich und können daher nicht immer gleich angenommen werden. Die Belastungen bei nicht befahrenen Plätzen, Geh- und Radwegen sind eher gering und stellen für den Einsatz des Boden-Rohr-Systems im Normalfall keine Probleme dar. Bei Straßen müssen gegebenenfalls die Tragschichten verstärkt werden, um eine bessere Tragleistung zu erhalten. Dies kann z.B. mittels einer Asphalttragschicht erfolgen. In der Abbildung 4-1 ist der Querschnitt 6 mit einer Asphalttragschicht ausgestattet. Bei den Lastversuchen in Stockholm werden für die verschiedenen Strukturen unterschiedliche Dicken für den Oberbau empfohlen, um den Lasten standzuhalten. Weitere Details zu den Lastversuchen können dem Kapitel 4 entnommen werden. Aus den schwedischen Lastuntersuchung ist vorerst einmal ableitbar, dass das Boden-Rohr-Systems bei Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen

nicht eingesetzt werden kann. Des Weiteren ist der Verschmutzungsgrad bei Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen stark erhöht und eine Versickerung ohne Vorreinigung nicht mehr möglich.

Der Mindestabstand von 1 m zum höchsten Grundwasserstand muss eingehalten werden, um eine Verschlechterung der Qualität des Grundwassers durch das versickernde Wasser zu vermeiden. Weitere Mindestabstände sind im Kapitel 3.6 ersichtlich. Im Bereich von Grundwasserschongebieten können generelle Versickerungsverbote existieren. In diesen Bereichen kann kein Niederschlagswasser versickert werden, da eine Verschlechterung der Qualität des Grundwassers besteht.

Da sich das porenreiche, sickertfähige Material auch sehr gut als Wurzellesensraum anbietet, muss bei der Planung darauf geachtet werden, dass genügend Abstand zwischen Rohr und Baum eingehalten wird. In der Abbildung 3-13 ist der Abstand zwischen Rohraußenkante und Pflanzengrube ersichtlich. Dennoch ist zu empfehlen, das Rohr vom Wurzelbereichs zu trennen, um erstens bei späteren Reparaturen den Baum nicht zu beschädigen und zweitens um zu verhindern, dass durch Wurzeln Schäden an den Wasserleitungen entstehen. Die Abtrennung könnte z.B. durch ein Vlies oder durch andere bauliche Maßnahmen erfolgen.

Der Einsatz von Trenntextilien ist für das Boden-Rohr-System von hoher Bedeutung. Wird auf den Einsatz von Trenntextilien zwischen dem Boden-Rohr-System und dem Unterbau der Verkehrsfläche verzichtet, könnte es zu einer Verschlammlung des Systems kommen, was wiederum die Lebensdauer des Systems einschränkt. Der genaue Einsatz von Trenntextilien wird im Kapitel 3.7 erläutert.

Da laut den vorhandenen Normen das Niederschlagswasser von unbefahrenen Plätzen, Geh- und Radwegen rechtlich ohne Vorbehandlung versickert werden kann, macht der Einsatz des Boden-Rohr-Systems meines Erachtens dort sehr viel Sinn. Meine Empfehlung für den Einsatz bei unbefahrenen Verkehrsflächen wäre die komplett durchlässige Variante, da hier das Niederschlagswasser auch verdunsten kann und so in den Sommermonaten zur natürlichen Kühlung der Umgebungstemperaturen beiträgt. Es kann auch eine Kombination der beiden Varianten zum Einsatz kommen, um eine Verdunstung bei der Ausführung zu gewährleisten. Wenn dennoch die dichte Variante gewählt wird, kann die Verdunstung über z.B. einen Grünstreifen mit Bäumen erzielt werden.

Eine Möglichkeit zur Reinigung bietet die Verteilerschicht. Wird diese im Boden-Rohr-System dick genug ausgebildet und gegebenenfalls mit Substanzen versehen, kann sie als Filter dienen. Die verschiedenen Reinigungsmöglichkeiten für Plätze, Geh- und Radwege sind im Kapitel 3.8.1 aufgelistet.

Beim Einsatz des Boden-Rohr-System unter Straßen macht die durchlässige Variante meiner Meinung nach bei kleineren Parkplätzen oder bei schwachbefahrenen Wohnstraßen Sinn. Jedoch muss vor dem Einsatz für jede Straße begutachtet werden, ob das Niederschlagswasser versickert werden kann. (Kapitel 3.8.2) Wird die dichte Variante eingesetzt, muss das Wasser an der Oberfläche gesammelt werden und mit Verteilerrohren in das System eingeleitet werden. Der Vorteil dieser Variante ist, dass Filtereinsätze in den Sammelschächten platziert werden können und so das Niederschlagswasser vor der Einleitung in das System gereinigt wird.

Meiner Meinung nach macht der Einsatz unter Straßen nur dort einen Sinn, wo keine großen und teuren Filteranlagen für die Reinigung notwendig sind. Daher muss auch hier für jedes Projekt gesondert abgestimmt werden, ob der Einsatz des Boden-Rohr-Systems sinnvoll ist.

Da laut den Normen und Regelblättern das Thema Salz nicht behandelt wird, kann das Niederschlagswasser mit gelösten Salzen rein rechtlich ohne Behandlung versickert werden. Da aber die negativen Auswirkungen auf den Boden durch den Eintrag von Taumitteln nachgewiesen ist, sollte der Chlorideintrag in den Untergrund bei der Planung berücksichtigt werden. Die Auswirkungen können im Kapitel 3.9 nachgelesen werden. Eine Möglichkeit, um eine zu hohe Konzentration von Chlorid im Untergrund zu vermeiden, wäre die Spülung des Systems, um somit die Konzentration zu verdünnen. Der Einsatz von alternativen Streumitteln an den Plätzen und Straßen, wo ein Boden-Rohr-System vorhanden ist, ist eine weitere Möglichkeit, um den Chlorideintrag in den Boden zu minimieren. Auch eine Abschottung des Systems in den Wintermonaten, wo Taumittel zum Einsatz kommen, kommt als Maßnahme in Frage. Durch die Abschottung wird das Niederschlagswasser in den Wintermonaten in die Kanalisation eingeleitet. Da Starkregenereignisse meist in den Sommermonaten auftreten, wird das Boden-Rohr-System in den Wintermonaten nicht zwangsläufig als Retentionsraum benötigt. Die Zugabe von Aktivkohle in den Boden würde die Remobilisierung von schon gebundenen Schwermetallen verhindern, die durch die Versickerung von salzhaltigem Wasser aktiviert werden.

Befindet sich eine vorhandene oder geplante unterirdische Infrastruktur direkt unter der Trassenführung, die für das Boden-Rohr-System gedacht ist, ist der Versickerungsweg zum Grundwasser unterbunden und das Sickerwasser kann nicht vollständig versickern. Hier empfiehlt sich eine abgewandelte Lösung des Boden-Rohr-Systems als reiner Retentionsraum, Niederschlagswasser kann bei Starkregenereignissen zwischengespeichert und danach gedrosselt abgeleitet werden.

Soll das System bei einer Neigung des Geländes zum Einsatz kommen, müssen gesonderte Maßnahmen wie Trennbauwerke eingesetzt werden. Durch Trennbauwerke wird garantiert, dass das Niederschlagswasser durch die Einleitung in tiefere Bodenschichten versickert werden kann, dadurch wird verhindert, dass der Oberflächenabfluss den Hang entlang abfließt. Sind Gebäude ohne wasserdruckhaltende Schicht unter dem System angeordnet, kann es zu nassen Kellern kommen. Ebenso besteht die Gefahr von Hangrutschungen durch Vernässung des Untergrundes. Ist die Hanglage zu steil, ist von einem Einsatz des Boden-Rohr-Systems abzuraten. Aus der Tabelle 3-14 kann die Klassifikation der Hangneigung und den dazugehörigen Maßnahmen entnommen werden.

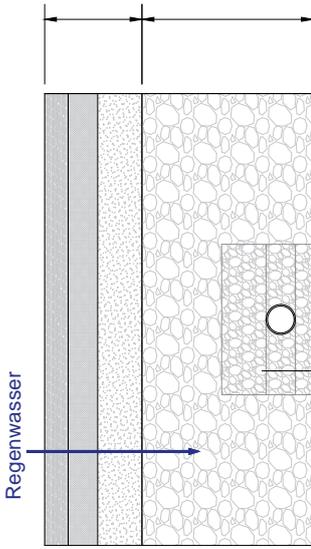
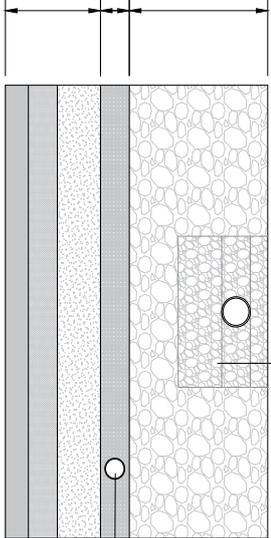
Auf den folgenden zwei Seiten werden vier Querschnitte dargestellt. In der Abbildung 6-1 werden zwei schematische Querschnitte für nichtbefahrene Plätze, Geh- und Radwege dargestellt. Bei der durchlässigen Variante wird die Verdunstung des Niederschlagswassers zugelassen. Bei dieser Ausführung ist darauf zu achten, dass der gesamte Oberbau durchlässig gestaltet wird, um eine vollständige Versickerung zu ermöglichen. Treten geringere Belastungen auf, kann gegebenenfalls der statische Verformungsmodul für die Verdichtung vermindert werden. Diese Verminderung muss mit den Bauherren und für die jeweilige Baustelle abgesprochen werden.

Abbildung 6-2 zeigt ebenfalls zwei schematische Querschnitte für ein Boden-Rohr-System unter einer Straße. Wie bei der oben erwähnten durchlässigen Variante, muss auch hier der komplette Straßenoberbau durchlässig gestaltet werden. Die durchlässige Variante bei Straßen macht meines Erachtens nur bei kleineren Parkplätzen und sehr schwach befahrenen Straßen Sinn, wo Niederschlagswasser ohne große Reinigungsmaßnahme versickert werden darf. Hier kann allerdings ohne Reinigung nicht mehr versickert werden, daher ist der Einsatz von Filtern notwendig. Eine mögliche Variante wäre die Zugabe von Substraten in den Aufbau, um die gewünschte Reinigungsleistung zu erzielen. In Graz wurde Aktivkohle hinzugefügt, diese eignet sich nicht nur für den Baumwachs-tum, sondern auch für den Rückhalt von Schwermetallen. Bei der dichten Variante ist die Reinigung des Niederschlagswassers leichter, da Filteranlagen im Sammelschacht platziert werden können.

<p>Platz, Geh- und Radweg durchlässig</p>	<p>Platz, Geh- und Radweg dicht</p>
Verdunstung	Ja
Wasserqualität des Oberflächenabflusse	Nein
Einsatz von Filter notwendig	OK
System Wintertauglich	Nein
Verdichtung	Ja*
Leitungszone Größtkorn	<p>t. RVS 08.03.01 muss der statische Verformungsmodul Ev1 für das Unterbauplanum mit 35 MN/m² eingehalten werden ggf. bei geringerer Belastung Abminderung möglich</p> <p>22 mm bei DN ≤ 200 40 mm bei DN > 200 bis DN ≤ 600 60 mm bei DN > 600</p>
Leitungszone Abmessung	<p>Bei unbefahrenen Flächen ist ein Größtkorn bis 100 mm zulässig Wenn der Rohrersteller größere Größtkorn-Angaben hat, ist eine Abweichung ebenfalls erlaubt</p> <p>Untere Bettungsschicht 10cm + 1/10 DN Abdeckung nach Verdichtung min. 30 cm</p>
Abstand zum Grundwasser	min. 1m zwischen Grundwasserhöchststand und der Unterkante des Boden-Rohr-Systems
Trennvlies	Notwendig unter Straßenaufbau

* rechtlich gibt es keine Einschränkungen für die Versickerung von Niederschlagswasser mit gelösten Salzen.

Abbildung 6-1: Tabelle für Plätze, Geh- und Radwege

<p>Straße durchlässig</p>  <p>Regenwasser</p> <p>Straßenaufbau Geotextil Skeletterde 100-150</p> <p>Leitungszone</p>	<p>Straße dicht</p>  <p>Straßenaufbau Geotextil Verteilerschicht 32-63 Skeletterde 100-150</p> <p>Sickerrohr</p> <p>Leitungszone</p>
Verdunstung	Nein
Wasserqualität des Oberflächenabflusses	verschmutzt (Verschmutzungsgrad von JDTV abhängig)
Einsatz von Filter notwendig	Ja, mittels dem vorhandenen JDTV der Straße den geeigneten Filter auswählen
System Wintertauglich	Ja*
Verdichtung	<p>lt. RVS 08.03.01 muss der statische Verformungsmodul Ev1 für das Unterbauplanum mit 35 MN/m² eingehalten werden</p> <p>Sickerkörper nach Angaben der ÖNORM B2538 verdichten</p> <p>22 mm bei DN ≤ 200 40 mm bei DN > 200 bis DN ≤ 600 60 mm bei DN > 600</p>
Leitungszone Größtkorn	<p>Wenn der Rohrhersteller größere Größtkorn-Angaben hat, ist eine Abweichung des Größtkorns erlaubt</p> <p>Untere Bettungsschicht 10cm + 1/10 DN</p> <p>Abdeckung nach Verdichtung min. 30 cm</p>
Leitungszone Abmessung	min. 1m zwischen Grundwasserhöchststand und der Unterkante des Boden-Rohr-Systems
Abstand zum Grundwasser	min. 1m zwischen Grundwasserhöchststand und der Unterkante des Boden-Rohr-Systems
Trennvlies	Notwendig unter Straßenaufbau

* rechtlich gibt es keine Einschränkungen für die Versickerung von Niederschlagswasser mit gelösten Salzen.

Abbildung 6-2: Tabelle für Straßen

7 Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick

Grünflächen werden im städtischen Bereich durch die zunehmende Urbanisierung mit versiegelten Flächen ersetzt. Dies bewirkt eine Verschiebung des natürlichen Wasserkreislaufs. Von den versiegelten Flächen wird das Niederschlagswasser direkt in die Kanalisation eingeleitet und kann nicht mehr auf natürliche Weise versickern. Die Einleitung des Niederschlagswassers hat zur Folge, dass das Grundwasser nicht mehr durch versickerndes Regenwasser angereichert wird und so die Sicherstellung der Grundwasserneubildungsrate nicht mehr gegeben ist. Des Weiteren wird bei Starkregenereignissen die Kanalisation mit zum Teil nur gering verschmutztem Wasser gefüllt, was eine hydraulische Überlastung des Kanalsystems und damit verbundene lokale Überflutungen bei Starkregen mit sich bringt. Bei der Überlastung des Kanalsystems kommt es zu einer Entleerung des Kanals über Mischwasserüberläufe, wo das Mischwasser direkt in ein Gewässer eingeleitet wird. Durch die Einleitung des Mischwassers kommt es zu einem Schadstoffeintrag im Gewässer. Die dicht bebauten Städte unterbinden die Verdunstung des Wassers im Boden ganz, was die Erhöhung der Umgebungstemperaturen zur Folge hat. Mit Hilfe der Verdunstung können Städte auf natürliche Weise gekühlt werden, da bei der Verdunstung Energie aus der Umgebung gezogen wird und so die Temperaturen in der Umgebung sinken.

Da Regenwasser eine wichtige Ressource ist und das Grundwasser für unser Trinkwasservorkommen eine wichtige Rolle spielt, kann das Regenwasser mit Hilfe von naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsmethoden wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugefügt werden. Die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung bietet vor allem Methoden zur Nutzung von Regenwasser, Versickerung, Vermeidung von Oberflächenabfluss und der Ableitung.

Eine neue Alternative zu den herkömmlichen Regenwasserbewirtschaftungsmethoden ist der Einsatz des Boden-Rohr-Systems. Bei diesem System wird das Verfüllmaterial des Rohrgrabes mit sickerfähigem Material ersetzt. Dadurch kann Regenwasser in den Rohrgraben eingeleitet werden und in den Untergrund versickern. Der Vorteil des Systems ist, dass es sehr flächendeckend eingesetzt werden kann und es durch den Einsatz keinerlei Einschränkungen der Nutzung an der Oberfläche gibt. Zusätzlich kann das Boden-Rohr-System als Retentionsraum genutzt werden und stellt somit auch eine Maßnahmen zum Hochwasserschutz dar.

Das Boden-Rohr-System kann in zwei verschiedenen Varianten ausgeführt werden. Bei der ersten Variante wird ein dichter Oberbau verwendet, bei der das Regenwasser auf der Oberfläche gesammelt wird und mittels Rohren in die Verteilerschicht eingeleitet. Bei der zweiten Variante wird der Oberbau durchlässig

gestaltet, so kann das Regenwasser direkt in den Untergrund versickern. Bei der zweiten Variante kommt es zur Verdunstung des Niederschlagswassers, was wesentliche Vorteile mit sich bringt. Eine Kombination der beiden Varianten ist ebenfalls möglich. Um eine bessere Verdunstung zu erreichen, können Grünstreifen mit z.B. Bäumen mit eingeplant werden. Bei der Herstellung des Systems ist darauf zu achten, dass die Mindestabstände zwischen Sickerkörper und Grundwasser eingehalten werden. Bei der Planung muss auf angrenzende Gebäude geachtet werden, um eine Vernässung der Keller bei Gebäuden ohne wasserdruckhaltende Schicht zu vermeiden. Bei der Herstellung ist darauf zu achten, dass die Verdichtung ordnungsgemäß durchgeführt wird. Das Boden-Rohr-System kann flächendeckend eingesetzt werden und im Zuge der Rohrverlegung bzw. der Erneuerung von Leitungen umgesetzt werden.

In Bezug auf die Wasserqualität des Oberflächenabflusses wurde eine Einteilung in zwei Kategorien getroffen, und zwar in nichtbefahrene Plätze, Geh- und Radwege und in Straßen. Der Oberflächenabfluss von nichtbefahrenen Plätzen, Geh- und Radwegen weist keinerlei stärkere Verschmutzungen auf, die eine aufwendige Reinigung beanspruchen. Wird das Boden-Rohr-System unter einer Straße eingesetzt, muss das Abflusswasser mittels eines Filters gereinigt werden.

Der Einsatz des Boden-Rohr-Systems unter Plätzen, Geh- und Radwegen ist zu empfehlen, da keine Verunreinigung des Grundwassers zu befürchten ist und keine aufwendigen Reinigungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Bei der durchlässigen Ausführung können Städte durch die Verdunstung natürlich gekühlt werden, wodurch der Einsatz von anderweitigen Kühlmethoden eingespart werden kann. Bei mäßig befahrenen Straßen ist der Einsatz in Kombination mit einem Filter ebenso zu empfehlen, jedoch bei stark befahrenen Straßen, wo ein großer, teurer Filter eingebaut werden muss, ist der Einsatz des Boden-Rohr-Systems zu überdenken. In Bezug auf die Belastbarkeit ist ebenso vom Einsatz unter stark befahrenen Straßen abzuraten.

In den Wintermonaten ist die Versickerung des Regenwassers rechtlich zulässig, da in den Normen auf die Straßensalzung nicht eingegangen wird. Meine Empfehlung wäre dennoch der Einsatz von alternativen Streumitteln oder die Abschottung des Systems in den Wintermonaten, um den Salzeintrag in den Untergrund zu vermeiden, da der Untergrund durch die Salzung nachweislich beeinträchtigt wird.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass das Boden-Rohr-System eine gute Alternative zur herkömmlichen Regenwasserbewirtschaftung ist und auch im direkten Vergleich mit naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsmethoden sehr gut abschneidet. Durch das System wird der natürliche Wasserkreislauf wieder aufgenommen und die Ressource Wasser fachgerecht behandelt. Ich bin der

Meinung, dass das System zukünftig vermehrt eingesetzt werden wird, um ein nachhaltige und naturnahe Regenwasserbewirtschaftung im städtischen Bereich zu erhalten.

Die genaue Ausführung der verschiedenen Einsatzbereiche des Systems wird in einer nachfolgenden Masterarbeit von Alexander Posch erarbeitet.

Literaturverzeichnis

- Atanasoff K., Bergthaler W., Klenner M.-F., Kühnert M., Lindner B., & Stundner W. (2011) *Leitfaden Versickerung Chloridbelasteter Strassenwässer*, BMVIT, Wien.
- Bandermann S. (2019) Flächenversickerung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/flaechenversickerung-155.html> (Accessed February 6, 2019).
- Bundeskanzleramt der Republik Österreich (2018) RIS - Allgemeine Abwasseremissionsverordnung - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 08.02.2019. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010977> (Accessed February 8, 2019).
- Bundeskanzleramt der Republik Österreich (2016) RIS - Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 03.03.2019. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006738> (Accessed March 3, 2019).
- Bundeskanzleramt der Republik Österreich (2003) RIS - Wasserrechtsgesetz 1959 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 08.02.2019. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> (Accessed February 9, 2019).
- Burda J. (2011) Versickerung bei Gefälle | Josefs Regenwasser Blog. [online] <http://www.ebook-tipp.eu/regenwasserversickerung/versickerung-bei-gefalle> (Accessed March 7, 2019).
- Burger R., Capano D., Kainz M., & Peintner A. (2009) Regenwasserversickerung. [online] <http://62.40.143.62/Umweltberatung/Uploads/Regenwasserversickerung.pdf>.
- Dachroth W. (2017) *Handbuch der Baugeologie und Geotechnik*, Springer Verlag GmbH Deutschland, Wilhelmsfeld, Deutschland.
- DWA (2005) *Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- DWA (2007) *Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser August 2007*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- Embrém B., Alvem B.-M., Ståhl Ö., & Orvesten A. (2009) *Pflanzengruben in der Stadt Stockholm*, Stadt Stockholm, Stockholm.

- EU-Parlament und Rat (2000) Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), BMLFUW. [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20140101&from=EN> (Accessed February 12, 2019).
- Förstner U. & Köster S. (2018) *Umweltschutztechnik*, Springer Vieweg, Berlin.
- freiland Umweltconsulting ZT GmbH (2017) *Regelquerschnitt Baumstandort*, freiland Umweltconsulting ZT GmbH, Graz.
- FSV (2010) *RVS 08.03.01 - Erdarbeiten*, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr (FSV), Wien.
- Gantner K. (2003) Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden. [online] <https://depositonce.tu-berlin.de//handle/11303/771> (Accessed February 14, 2019).
- Gruber G., Muschalla D., & Scheucher R. (2014) *ECOSTORMA- Handbuch Ökologische und Ökonomische Massnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Haselwander V.-L. S. Eva (2019) Abteilung 16 Verkehr und Landeshochbau. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74967336/DE/> (Accessed March 24, 2019).
- HYDR.O. Geologen und Ingenieure GbR (2018) Regenwasserversickerung. [online] <http://www.geoling.de/wp-content/uploads/2018/03/regenwasser.pdf> (Accessed February 14, 2019).
- König K. W. (2019) *Ratgeber Regenwasser: Ratgeber für Kommunen und Planungsbüros*, Mall Umweltsysteme, Donaueschingen.
- Land Steiermark (2019a) A14 Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74836586/DE/> (Accessed March 24, 2019).
- Land Steiermark (2019b) Abteilung 17 Landes- und Regionalentwicklung. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74837988/DE/> (Accessed March 24, 2019).
- Land Steiermark (2019c) Förderung - Regenwasserbewirtschaftung. www.wasserwirtschaft.steiermark.at. [online] <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/12000876/107168336> (Accessed March 24, 2019).
- Leistner P., Kaufmann A., Koehler M., Würth M., Hofbauer W. K., Dittrich S., Maier S., Gordt A., & Jäger M. (2018) *Bauphysik urbaner Oberflächen*, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & KG, Berlin. [online] <http://doi.wiley.com/10.1002/bapi.201800009> (Accessed January 24, 2019).

- Mall GmbH (2017) : Regenwassernutzung Großanlagen. [online] <https://www.mall-umweltsysteme.at/de/produkte/regenwasserbewirtschaftung/regenwassernutzung-grossanlagen.html> (Accessed February 14, 2019).
- OEWAV (2003) *ÖWAV - Regelblatt 35 - Behandlung von Niederschlagswässern*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2015) *ÖWAV - Regelblatt 45 - Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- ÖNORM B2503 (2017) *Kanalanlagen - Planung, Ausführung, Prüfung, Betrieb*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B2506-1 (2013) *Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B2506-2 (2012) *Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B2506-3 (2018) *Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 3: Filtermaterialien*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B2533 (2004) *Koordinierung unterirdischer Einbauten- Planungsrichtlinien*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B2538 (2018) *Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B5012 (2015) *Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen für die Wasserversorgung und die Abwasser-Entsorgung*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM B5016 (2018) *Erdarbeiten für Rohrleitungen des Siedlungs- und Industrierwasserbaues - Qualitätssicherung der Verdichtungsarbeiten*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖNORM EN1610 (2015) *Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen*, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Vienna, Austria.
- ÖWAW (2017) *Wasser 4.0*, Springer Verlag Wien, Wien.

- Rahman S., Simonsen E., & Hellman F. (2017) *Swedish Design Tables for Permeable Block Pavements*, Research Institutes of Sweden, Stockholm.
- Scheiner V.-L. S. Markus (2019) Organigramm Land Steiermark. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74837418/DE/> (Accessed March 22, 2019).
- Schröder K. (2016) Unverdichtbares Substrat: Abhilfe für die Bäume. B_I MEDIEN. [online] <https://hanseatischer-ausschreibungsdienst.de/artikel-8801-gb-unverdichtbares-substrat.bi> (Accessed March 3, 2019).
- Sieker H. (2001) *Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten*, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland.
- Sieker H. (2019a) Konventionelle Regenentwässerung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/umgang-mit-regenwasser/article/konventionelle-regenentwaesserung-68.html> (Accessed March 13, 2019).
- Sieker H. (2019b) Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/article/massnahmen-der-dezentralen-regenwasserbewirtschaftung-58.html> (Accessed January 18, 2019).
- Sieker H. (2019c) Verdunstung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/article/verdunstung-144.html> (Accessed January 24, 2019).
- Sieker H. & Bandermann S. (2019a) Mulden-Rigolen-Elemente. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/mulden-rigolen-elemente-168.html> (Accessed February 6, 2019).
- Sieker H. & Bandermann S. (2019b) Rigolen. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/rigolen-185.html> (Accessed February 6, 2019).
- Sieker H. & Bandermann S. (2019c) Sickerschächte. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/sickerschaechte-158.html> (Accessed February 6, 2019).
- Sieker H. & Bandermann S. (2019d) Versickerungsmulden. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/versickerungsmulden-156.html> (Accessed February 6, 2019).

- Sommer H. (2019a) Belebte Bodenzone. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbehandlung/article/belebte-bodenzone-237.html> (Accessed March 13, 2019).
- Sommer H. (2019b) Dachbegrünung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/verdunstung/article/dachbegruenung-186.html> (Accessed January 24, 2019).
- Sommer H. (2019c) Dezentrale Regenwasserbehandlung. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbehandlung/article/dezentrale-regenwasserbehandlung-207.html> (Accessed March 13, 2019).
- Sommer H. (2019d) Technische Anlagen. Sieker. [online] <https://www.sieker.de/de/fachinformationen/regenwasserbehandlung/article/technische-anlagen-238.html> (Accessed March 13, 2019).
- Stadt Graz S. der L. G. (2019) Organigramm + Geschäftseinteilung - Stadtportal der Landeshauptstadt Graz. www.graz.at. [online] <https://www.graz.at/cms/beitrag/10023703/7743948> (Accessed April 14, 2019).
- Stroisser T. & Stadtler M. (2017) Optimierung von Baumstandorten im innerstädtischen Raum - Erfahrungen mit dem Stockholm-System in der Eggenberger Allee.
- Stübinger V.-L. S. Peter (2019) Abteilung 13 Umwelt und Raumordnung. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74834965/DE/> (Accessed March 24, 2019).
- Studio Boden (2018) *Regelaufbau Wassergebundene Wegdecke*, Studio Boden, Graz.
- Umgeher V.-L. S. Marco (2019) Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik. www.verwaltung.steiermark.at. [online] <https://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74967208/DE/> (Accessed March 24, 2019).
- Umweltbundesamt (2019) EU-Wasserrahmenrichtlinie. www.umweltbundesamt.at. [online] <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/eu-wrrl/> (Accessed February 9, 2019).
- US EPA O. (2015) Performance of Green Infrastructure. US EPA. [online] <https://www.epa.gov/green-infrastructure/performance-green-infrastructure> (Accessed January 12, 2019).
- US EPA O. (2014) Using Green Roofs to Reduce Heat Islands. US EPA. [online] <https://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands> (Accessed January 24, 2019).

- Vesting A. (2018) *Entwicklung und Evaluation eines dezentralen Behandlungssystems zum Rückhalt von organischen Spurenstoffen und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen*, Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum, Bochum.
- Wallner und Neubert Gesellschaft m.b.H. (2016) INNOLET Filtereinsatz für Straßenabläufe. [online] http://www.pwn.at/downloads/kat-de/Broschuere_INNOLET-Strassenablauf.pdf.
- Weiler M. & Jackisch N. (2013) Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung - Problematik. [online] <http://www.naturnahe-regenwasserbewirtschaftung.info/index.php?page=warum> (Accessed January 15, 2019).
- Wolfram G., Römer J., Hörl C., Stockinger W., Ruzicska K., & Munteanu A. (2014) *Chlorid-Studie. Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna, mit besonderer Berücksichtigung der Biologischen Qualitätselemente im Sinne der EU-WRRRL*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.