



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

Masterarbeit

Regenwassermanagement in der Stadt – Multifunktionales Straßenbegleitgrün in Form von Ansaaten

verfasst von

Stefan RIEDENBAUER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Oktober 2021

Betreut von:

Priv.Do^z.ⁱⁿ Dipl.-Ing.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Ulrike Pitha

Dipl.-Ing. Oliver Weiss

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Wien, 18.10.2021

Stefan RIEDENBAUER, BSc (eigenhändig)

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich im Rahmen dieser Masterarbeit und in meinem Studium unterstützt und mir ermöglicht haben mich weiterzubilden.

Bei Priv.Doz.ⁱⁿ Dipl.-Ing.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Ulrike Pitha und Dipl.-Ing. Oliver Weiss möchte ich mich bedanken für die Betreuung bei der Erstellung dieser Masterarbeit.

Ein Dankeschön gilt auch meiner Kommilitonin Nadine Werner für die Mithilfe bei den Feldaufnahmen an den Versuchsstandorten und die Anregung neuer Ideen.

Großer Dank gebührt meiner Freundin Anna, die mich meine gesamte Studienzeit begleitet und unterstützt hat. Danke für den Beistand und die Kraft, die du mir gegeben hast, wenn es anstrengend wurde.

Abschließend möchte ich besonders meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Elisabeth und Richard danken, die mir meine gesamte Ausbildung ermöglicht und mich jederzeit unterstützt und motiviert haben.

Vielen Dank für Alles!

Kurzfassung

Klimawandelbedingte Extremwetterereignisse bringen neue Herausforderungen für das Regenwassermanagement von Städten. Das SAVE-Projekt wurde zur Entwicklung nachhaltiger dezentraler Maßnahmen für das integrierte Regenwassermanagement gegründet.

Das Ziel dieser Masterarbeit war es herauszufinden, welche Substrate für den Einbau in begrünten städtischen Sickerflächen geeignet sind. Die Abtestung nützt der Weiterentwicklung städtischer Versickerungsanlagen.

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden die entwickelten Substrate ein- und zweischichtig (Speicheraufbau) eingebaut und mit drei Saatgutmischungen begrünt.

In zwei Themenblöcken wurden die geo- und vegetationstechnischen Indikatoren der Substrate und der Vegetation abgetestet und analysiert. Die Daten wurden durch monatliche Bonituraufnahmen, einer Frequenzanalyse, Biomasseerhebungen, Tragfähigkeitsmessungen mit dynamischer Lastplatte und Infiltrationsmessungen mit Doppelring-Infiltrometer gewonnen. Zusätzlich wurden Bodenparameter durch ein kontinuierliches Onlinemonitoring erhoben. Die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren der Vegetation und der Substrate wurden analysiert und verglichen. In Form der Gesamtmatrix wurden die Ergebnisse bewertet und zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Entwicklungen der Vegetation hinsichtlich Deckungsgrad, Wuchshöhe, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz und Biomasse. Ebenso zeigen die geotechnischen Ergebnisse unterschiedliche Ausprägungen der Tragfähigkeit, der Infiltrationsrate sowie des Bodenwassergehalts. Nicht alle entwickelten Substrate eignen sich für Versickerungsmaßnahmen mit Ansaatbegrünungen. Die SAVE-Substrate performten hinsichtlich der vegetationstechnischen Eigenschaften besser als die Referenzsubstrate Wiener Baumsubstrat und Oberboden. Die SAVE-Substrate Kombi und Perlit sind sowohl im ein- als auch im zweischichtigen Einbau zu empfehlen.

Schlüsselwörter: Regenwassermanagement, Versickerungsmaßnahmen, Sickerflächen, Substrat, Saatgut

Abstract

Urban rainwater management is confronted with new challenges due to extreme weather events caused by climate change. The SAVE project was founded to develop new methods, for especially engineered soils and their planting for integrated rainwater management.

The aim of this master thesis was to find out which engineered soils are suitable for installation in green urban drainage areas. The testing is useful for the further development of urban infiltration systems.

The developed engineered soils were installed in one and two layers (storage structure) and greened with three seed mixtures.

The geotechnical and vegetation-related indicators of the soils and vegetation were tested and analyzed. The data were obtained through discrete measurements in the form of monthly ratings of the vegetation, a frequency analysis, recurring biomass surveys, load-bearing capacity measurements using a dynamic load plate and infiltration measurements with a double-ring infiltrometer. In addition, the monitoring was supplemented by continuous online monitoring of soil parameters. The results of the individual indicators of the vegetation and the engineered soils were analyzed and compared. Furthermore, the results were evaluated and summarized in the overall matrix.

The results show different developments in vegetation in terms of degree of cover, height of growth, grass/herb ratio, vitality, inflorescence and biomass. The geotechnical results also show different characteristics of the load-bearing capacity, the infiltration rate and the soil water content. Not all engineered soils are suitable for rainwater infiltration systems with seed greening. In terms of their vegetation-related properties, the SAVE substrates performed better than the reference soils Wiener Baums substrat and topsoil. The SAVE substrates Kombi and Perlit are recommended for both one and two-layer installation.

Key words: rainwater management, infiltration systems, drainage areas, engineered soils, seedmix

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Forschungsfragen	3
1.3 Ziel	4
1.4 Aufbau der Arbeit	4
1.5 Forschungsarbeiten in Zusammenhang	5
2 Nachhaltiges Regenwassermanagement	6
2.1 Schutz vor Überflutungen	7
2.2 Gewässerschutz.....	7
2.3 Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt	8
2.3.1 Wasserbilanz.....	8
2.3.2 Versiegelung	10
2.4 Versickerungsanlagen.....	12
2.4.1 Vorgaben zu Ausführung und Dimensionierung von Versickerungsanlagen	13
2.4.2 Versickerungsmöglichkeiten mit Ansaaten	14
2.5 Boden und Substrat.....	18
2.5.1 Bodenmatrix	20
2.5.2 Bodenwasser	23
2.5.3 Bodenluft.....	26
2.6 Straßenbegleitgrün.....	26
2.6.1 Anforderungen und Funktionen des Straßenbegleitgrüns.....	27
2.6.2 Grenzen für die Anwendung von Ansaaten	31
2.6.3 Saatgutvarianten für Straßenbegleitbegrünung im Siedlungsbereich bzw. Versickerungsanlagen.....	32

2.6.4	Pflanzenarten – Saatgut.....	33
2.6.5	Pflege und Maßnahmen	36
2.7	Begriffsbestimmungen.....	40
2.8	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	43
2.8.1	Gesetze.....	43
2.8.2	Richtlinien und Normen	45
3	Versuchsaufbau – Material und Methoden	49
3.1	Versuchsstandort	49
3.1.1	Substratvarianten SAVE-Projekt.....	52
3.1.2	Saatgutvarianten SAVE-Projekt	53
3.1.3	Substrat-Saatgutkombinationen Kuchelauer Hafenstraße – Sickermulde 4.....	56
3.2	Indikatoren	57
3.3	Methoden zur Erhebung der Daten	58
3.3.1	Tragfähigkeitsmessung	58
3.3.2	Infiltrationsmessung	60
3.3.3	Bodenwassergehaltsmessung.....	61
3.3.4	Bonitur.....	62
3.3.5	Frequenzaufnahme – detaillierte Aufnahme	65
3.3.6	Biomasseerhebung	66
3.4	Monitoringplan.....	67
3.5	Methoden zur Auswertung der Daten	68
3.5.1	Auswertung der Messergebnisse	68
3.5.2	Auswertung der Korrelationsanalysen	69
3.5.3	Bewertungsschema Ergebnismatrix	69
4	Ergebnisse	75
4.1	Ergebnisse der Messungen.....	75
4.1.1	Ergebnisse Tragfähigkeitsmessung.....	75
4.1.2	Ergebnisse Infiltrationsmessung.....	79
4.1.3	Ergebnisse Bodenwassergehaltsmessungen	83

4.1.4	Ergebnisse Bonitur	87
4.1.5	Ergebnisse Frequenzanalyse	105
4.1.6	Ergebnisse Biomasseerhebung.....	109
4.2	Ergebnisse der Korrelationsanalysen	113
4.2.1	Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Substratvariante	113
4.2.2	Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Bodenwassergehalt.....	115
4.2.3	Korrelationsanalyse Vitalität – Substratvariante.....	116
4.2.4	Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt	118
4.2.5	Korrelationsanalyse Infloreszenz – Substratvariante	119
4.2.6	Korrelationsanalyse Infloreszenz – Bodenwassergehalt.....	120
4.3	Ergebnismatrix	123
5	Diskussion.....	129
6	Schlussfolgerung.....	136
7	Limitationen und Ausblick.....	144
8	Zusammenfassung.....	145
9	Abbildungsverzeichnis.....	148
10	Diagrammverzeichnis	148
11	Tabellenverzeichnis.....	149
12	Literaturverzeichnis	151
13	Anhang.....	159
14	Lebenslauf.....	163

1 Einleitung

Angesichts der Klimaveränderungen und der daraus resultierenden Auswirkungen wird das Leben im Siedlungsgebiet zusehends schwieriger. Ein Anstieg an Hitze- und Dürreperioden sowie eine Änderung von extremen Niederschlagsereignissen sind zu erwarten. In mehreren Klimastudien werden regionale Unterschiede prognostiziert. Während für manche Regionen Dürreperioden und eine Abnahme von Hochwässern vorausgesagt werden, ist in anderen Regionen mit einer Zunahme von Extremniederschlägen und Hochwassersituationen zu rechnen (AMON et al. 2014). Die Expert*innen sind sich einig, dass Klimaextreme in Zukunft zunehmen werden. Temperaturmaxima, Windauswirkungen und Niederschlagsereignisse werden an Intensität zunehmen. Boden stellt die Grundlage des Lebens für Pflanzen und Tiere dar. Der Boden setzt den größten Teil des Stoffumsatzes der Natur um (ERMER et al. 1996). Durch die Fähigkeit Stoffe aufzunehmen, umzusetzen und zu speichern nimmt der Boden eine zentrale Stellung im Naturhaushalt ein (ERMER et al. 1996). Insbesondere für den Wasserkreislauf ist der Boden von hoher Bedeutung. Bewachsener Boden dient dem klimatischen Ausgleich und als Filter für die Grundwasserneubildung, welche vom Niederschlag abhängig ist. Diese Funktionen können städtische Böden durch die anthropogenen Veränderungen nicht oder nur sehr stark eingeschränkt erfüllen. Die lebenswichtigen natürlichen Anforderungen an den Boden sind in der Stadt durch zusehende Abtragung, Verdichtung und Versiegelung abhandengekommen. Der Boden ist für die Stadt unserer Zeit hauptsächlich Grundlage für Gebäude und Straßen (ERMER et al. 1996). Die Veränderung der Leistungsfähigkeit des Bodens in der Stadt wird durch das Wachstum von Ballungszentren verstärkt. Stadt- und Siedlungslandschaften erfahren große Bevölkerungszuwächse und sind mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Zur oben erwähnten Veränderung des Klimas kommen die Leistungsveränderung des Bodens und des Kanalnetzes hinzu. Da die derzeitige Situation des Regenwassermanagements in vielen Städten durch den steigenden Druck am Leistungsmaximum ist, sind neue Lösungen im Umgang mit Regenwasser gefordert.

Die Veränderungen des Bodens im Stadtgebiet, gepaart mit der Veränderung des Wetters insbesondere des Niederschlagsverhaltens, erfordern einen neuen Umgang mit Regenwasser. Die Anpassung des Regenwassermanagements in Städten ist eine unumgängliche Forderung, um die Auswirkungen der steigenden Klimaextreme in den Griff zu bekommen.

1.1 Problemstellung

Für eine nachhaltige Stadtentwicklung hat städtisches Grün in Verbindung mit Wasser eine besondere Bedeutung. Wasser wirkt sich positiv auf das lokale Klima und das Wohlbefinden der Menschen aus (MENKE 2016). Im Gegensatz zur Natur nimmt der Anteil des verdunstenden Regenwassers in der Stadt ab. Durch steigende Versiegelungsraten wird immer mehr anfallendes Regenwasser über die Oberfläche und die Kanalisation abgeleitet und somit weniger Wasser dem Boden zugeführt. Die dadurch geringer werdende Verdunstungs- und Versickerungsleistung von Regenwasser in der Stadt hat negative Folgen für den Wasserhaushalt und das Mikroklima (DEINHAMMER et al. 2018). Dem gegenüber stehen die künftigen Auswirkungen des Klimawandels. Klimaszenarien prognostizieren eine Zunahme von Hitzewellen, Trockenperioden und Starkregenereignissen. Die Jahresdurchschnittstemperatur in Wien könnte laut Klimaszenarien bis 2100 um +3,8 °C steigen (CHIMANI et al. 2016). Die erwarteten vermehrt auftretenden Starkniederschläge, aufgrund von Klimaveränderungen, stellt Städte vor neue Herausforderungen. Die Kanalisation kann die Probleme von zunehmenden Starkregenereignissen allein nicht lösen. Der Ausbau von Kanalisation und Kläranlagen ist weder technisch möglich noch wirtschaftlich bzw. ökologisch sinnvoll (DEINHAMMER et al. 2018).

Die künftige Freiraumgestaltung, insbesondere die verwendeten Materialien und Pflanzen, sind in Zusammenhang mit einem nachhaltigen Wassermanagement zu sehen (MENKE 2016). Die Potenziale von integrativem Regenwassermanagement für die Stadt sind bekannt. Damit die künftigen klimawandelbedingten Aufgaben mit Hilfe der Grün- und Freiraumplanung gelöst werden können, wird Forschung im Bereich von Methoden und Materialien zur Wasserspeicherung benötigt.

SAVE-Projekt

Aufgrund der vielfältigen Herausforderungen im Zusammenhang mit nachhaltigem Regenwassermanagement ist in Wien das Projekt SAVE (Straßen-Abwasserlösungen für Vegetation und Entwässerungssysteme) entstanden. Projektbeteiligte sind die Stadt Wien mit mehreren Magistratsabteilungen und die Universität für Bodenkultur Wien. Beteiligte Abteilungen der Stadt Wien sind die MA 22, die MA 28, die MA 42, die MA 45, die MA 48 die MD-BD-Stadtbaudirektion und Wien Kanal (OLESKO 2021). Die Universität für Bodenkultur ist mit dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) sowie dem Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) im Projekt vertreten. Die Finanzierung des Projektes erfolgt durch Wien Kanal und die Magistratsabteilung MA 48. Die Projektinhalte umfassen die Entwicklung von geeigneten

Substrat- und Vegetationskombinationen und deren Abtestungen im Labor und an Versuchsstandorten (siehe Kapitel 3.1) in Wien. Die Erhebungen der einzelnen Indikatoren der Substrate und der Vegetation erfolgt durch die Institute der BOKU. Das IBLB erforscht die Entwicklung der Vegetation und des Substrates als Pflanzenstandort. Der Fokus des SIG liegt auf der Testung des Niederschlagswassers hinsichtlich Zuflussmengen, chemischer Belastung und der Auswirkung auf das Grundwasser. Ziel des Forschungsprojekts ist die Erarbeitung interdisziplinärer Lösungen für das nachhaltige Regenwassermanagement der Stadt Wien.

1.2 Forschungsfragen

Um das Thema des Regenwassermanagements in der Stadt anhand von linien- und flächengebundenen Systemen mit Ansaatbegrünungen bearbeiten zu können, sollen folgende Fragen in dieser Arbeit in zwei Themenblöcken beantwortet werden. Die Fragestellungen sind anhand von geotechnischen und vegetationstechnischen Aspekten in je zwei Forschungsfragen mit zugehörigen Unterfragen unterteilt. Der Themenblock Substratvarianten umfasst die geotechnischen und der Themenblock Vegetationsvarianten umfasst die vegetationstechnisch relevanten Forschungsfragen.

Themenblock Substratvarianten

Welche Unterschiede in den Substratvarianten der Sickermulde gibt es hinsichtlich der messbaren Bodengrößen Tragfähigkeit, Infiltrationsrate und volumetrischer Bodenwassergehalt?

- Entsprechen die Substratvarianten dem aktuellen Stand der Technik von Sickerflächen nach ÖNORM B 2506-1, RVS 04.04.11 bzw. FLL 2005?

Welche Unterschiede gibt es von den geotechnischen Ergebnissen des Jahres 2020 zu den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Themenblock Vegetationsvarianten

Welche Unterschiede gibt es hinsichtlich der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Wuchshöhe, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz, Frequenz der Einzelart und Biomasse zwischen den getesteten Saatgutmischungen auf den verschiedenen Substratvarianten der Sickermulde?

- Welche Pflanzenarten der verschiedenen Saatgutmischungen dominieren die Vegetation der Versuchsflächen im Jahr 2020?

Inwiefern unterscheiden sich die vegetationstechnischen Ergebnisse des Jahres 2020 von den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Wie hängen die Entwicklungen der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Vitalität und Infloreszenz mit der Substratvariante oder dem Bodenwassergehalt zusammen?

1.3 Ziel

Ziel der Masterarbeit ist die Auseinandersetzung mit den im SAVE-Projekt (Straßen-Abwasserlösungen für Vegetation und Entwässerungssysteme) entwickelten Substrat- und Saatgutvarianten. Dabei soll herausgefunden werden, welche Substrate für den Einbau in begrünten städtischen Sickerflächen geeignet sind. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Grünflächen mit Ansaaten. Die Varianten sollen hinsichtlich geotechnischer und vegetationstechnischer Gesichtspunkte analysiert und verglichen werden. Der Vergleich der Ergebnisse aus dem Monitoring der Vegetationsperioden 2018 bis 2020 soll Aufschluss über die Verwendbarkeit der Substrate und Saatgutmischungen geben. Abschließend soll ein Ranking der verschiedenen Varianten und eine Empfehlung erstellt werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil der Masterarbeit steht die Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen im Vordergrund. Nachhaltiges Regenwassermanagement und dessen technische und ökologische Aspekte sind beschrieben. Der rechtliche Rahmen und die technischen Vorgaben sind erläutert. Im empirischen Teil der Arbeit folgt die Darstellung der Erhebung und Aufbereitung der relevanten Daten. Nach der Beschreibung der verwendeten Materialien, Methoden und des Versuchsortes liegt das Hauptaugenmerk auf der Durchführung des Monitorings und den anschließenden Analysen der Ergebnisse des Monitorings. Die Ergebnisse, welche die Vegetation betreffen, sind in den Unterkapiteln Bonitur, Biomasseerhebung und Frequenzanalyse dargestellt. Die Ergebnisse aus den Substratabtestungen sind in den Unterkapiteln Infiltrationsmessung, Tragfähigkeitsuntersuchung und Bodenfeuchteanalyse nachzulesen. Die Zusammenhänge der Teilergebnisse der einzelnen Aufnahmen sind anhand von Korrelationsanalysen untersucht. Im Rahmen der Darstellung der Ergebnisse und Diskussion sowie der Schlussfolgerung gilt es, die Erkenntnisse abschließend kritisch zu betrachten und zusammenzufassen.

1.5 Forschungsarbeiten in Zusammenhang

In Zusammenhang mit dem SAVE-Projekt sind am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) sowie am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) mehrere Arbeiten veröffentlicht. Ergebnisse zu ähnlichen Fragestellungen sind in den Masterarbeiten von Katharina Lübke, Elisabeth Olesko und Nadine Werner nachzulesen.

2 Nachhaltiges Regenwassermanagement

Um das Thema des nachhaltigen Regenwassermanagements näher betrachten und die Substrate und Saatgutmischungen abtesten zu können, ist ein theoretisches Grundlagenwissen nötig. Diese Grundlagen zu nachhaltigem Regenwassermanagement, die Anforderungen an die Substrate und die Vegetation sowie die regenwasser-, verkehrs-, vegetationstechnischen und gesetzlichen Vorgaben an Sickerflächen und deren Bepflanzung sind im folgenden Kapitel dargestellt.

Bedeutung von nachhaltigem Regenwassermanagement

Unsere Gesellschaft stellt das Thema Nachhaltigkeit immer mehr in den Vordergrund. In allen Aspekten, sei es ökonomisch, ökologisch oder sozial, ist ein nachhaltiger Umgang mit den Ressourcen gefordert. GRIMM und ACHLEITNER (2010) stellen klar, dass für eine Umsetzung des ökologischen Prinzips alle Energie- und Stoffströme Berücksichtigung finden müssen und der Wasserhaushalt darum ein wichtiger Bestandteil des Nachhaltigkeitskonzeptes ist. Die kommunalen Abwassereinrichtungen stoßen immer häufiger an ihre Leistungsgrenzen. Somit ist auch im Bereich des kommunalen Regenwassermanagements ein Umdenken und vor allem ein Umsetzen hin zu nachhaltigen Lösungen gefordert. Maßnahmen des passiven und aktiven Hochwasserschutzes sowie Landnutzungsänderungen können zur Verringerung des Hochwasserrisikos führen (AMON et al. 2014). Nachhaltiges Regenwassermanagement vereint die Vorteile des städtischen Kanalnetzes und dezentraler Maßnahmen. Die Einbeziehung öffentlicher Grünräume in das System der Regenwasserbewirtschaftung bringt mehrere positive Effekte mit sich. Grüne Infrastruktur dient der Regenwasserspeicherung und wirkt sich auf das lokale Klima aus (MENKE 2016). In Siedlungen stellt die Kombination aus wirtschaftlich sinnvoller Regenwassernutzung und dezentraler Niederschlagsversickerung einen wirkungsvollen Ausgleich für den gestörten urbanen Wasserhaushalt dar (GÖBEL et al. 2007). Nach Regenfällen ist der Scheitelabfluss verzögert. Dadurch stellen Maßnahmen des integrierten Regenwassermanagements einen verbesserten Überflutungsschutz sicher.

Ein nachhaltiges Regenwassermanagement ist die Voraussetzung für die Erreichung der übergeordneten Ziele der Regenwasserbewirtschaftung. Die in der ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) definierten Ziele von Entwässerungssystemen sind öffentliche Gesundheit und Sicherheit, Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung. Die Ziele sind gemäß KLEIDORFER et al. (2019) in drei Kategorien einzuteilen. Diese Kategorien sind Schutz vor Überflutungen, Gewässerschutz sowie die Annäherung an die natürliche Wasserbilanz. In den folgenden Unterkapiteln sind die Ziele und deren Aspekte genauer behandelt.

2.1 Schutz vor Überflutungen

Höhere Versiegelungsraten führen zu höheren Abflussraten über das Kanalsystem. Die in den Städten existierenden Kanalanlagen sind immer mehr mit den zunehmenden Niederschlagsmengen überfordert. Als Folge steigen kanalindizierte Überflutungen an. Diese Überflutungen bringen Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit sowie wirtschaftliche Risiken mit sich. Zu den wirtschaftlichen Folgen gemäß ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) zählen Schadenskosten an Gebäuden bzw. Anlagen sowie Ausfallszeiten der Wirtschaft jeglicher Art.

Durch das Entwässerungssystem ist Niederschlagswasser zum Schutz der Öffentlichkeit abzuführen. Die Gefährdung durch Überflutung ist nach Vorgaben der ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) so gering wie möglich zu halten. Die Niederschlagswässer im Planungsgebiet sind, ohne Schäden an Leben von Mensch und Tier sowie Gegenständen anzurichten, abzuleiten. Auch Unterlieger des Planungsgebietes sind zu berücksichtigen und schadlos zu halten (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

2.2 Gewässerschutz

Durch den Klimawandel vermehrt auftretende Starkregenereignisse stellen eine Gefahr für die Oberflächengewässer aufgrund von Entlastungsbauwerken der Kanalisation dar. Hydraulische Stoßbelastungen und damit eingeleitete Schmutzfrachten in die Oberflächengewässer sind die Folge von Starkregenereignissen. Die Belastung der Gewässer durch Verschmutzungen ist zu vermeiden. Nachhaltige Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen stellen, durch verzögerte und daraus resultierende verminderte Mischwasserraten in die Gewässer, das Ziel des Gewässerschutzes sicher (KLEIDORFER et al. 2019).

Der Schutz der Oberflächengewässer zielt laut ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) auf die Minimierung der Auswirkungen von Niederschlagswässern auf die Wasserqualität sowie die Gewässerökologie ab.

Die Filtereigenschaften des Bodens (siehe Kapitel 2.5.2) tragen im erweiterten Sinn ebenso zum Gewässerschutz bei. Der Grundwasserkörper muss genauso wie die Oberflächengewässer vor Verunreinigungen geschützt bleiben. Der Einfluss von Versickerungsmaßnahmen auf das Grundwasser ist gemäß ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) zu berücksichtigen. GRIMM (2010) unterstreicht ebenfalls, dass Niederschlagswasser nicht ungefiltert in das Grundwasser gelangen darf um Verunreinigungen vorzubeugen.

Nach Angaben in der ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) verhindert die Sicherung der Gewässerreinheit die Ausbreitung von Krankheiten und die Kontamination von Trinkwasserquellen.

2.3 Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt

Neben den oben genannten Aspekten ist für die nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung die Berücksichtigung der Wasserbilanz und die Annäherung an natürliche Verhältnisse wichtig (KLEIDORFER et al. 2019).

Ziel der nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung ist die Rückhaltung der Niederschlagswässer am Anfallsort und die unmittelbare Einbringung in den Untergrund und in die Atmosphäre. Im Prinzip soll aus einem Siedlungsgebiet nach Bebauung nicht mehr Wasser abfließen als vor der Bebauung (GRIMM und ACHLEITNER 2010). Dezentrale Lösungen sollen den Auswirkungen der ohnehin hohen Verdichtungs- und Versiegelungsraten im Siedlungsgebiet entgegenwirken, um hohe Abflussspitzen und Abflussvolumina zu vermeiden.

2.3.1 Wasserbilanz

Die Wasserbilanz stellt die Vorgänge der Niederschlagswässer im Bodenwasserkreislauf dar. Die Wasserbilanzkomponenten sind Niederschlag, Verdunstung, Interzeption, Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und Abfluss.

$$\text{Niederschlag} = \text{Verdunstung} + \text{Interzeption} + \text{Versickerung bzw. Grundwasserneubildung} + \text{Oberflächenabfluss}$$

Die Wasserbilanz natürlicher Gebiete unterscheidet sich maßgeblich von der Wasserbilanz im urbanen Raum. Während aufgrund der hohen Versiegelungsraten in Siedlungsgebieten hohe Abflussraten auftreten, weisen natürliche Einzugsgebiete nur geringe Oberflächenabflussraten auf. Auch die Grundwasserneubildung sowie die Evapotranspiration treten in sehr geminderter Form auf. Natürliche Böden und deren Vegetation sind in der Lage große Mengen an Wasser zu verdunsten (KLEIDORFER et al. 2019).

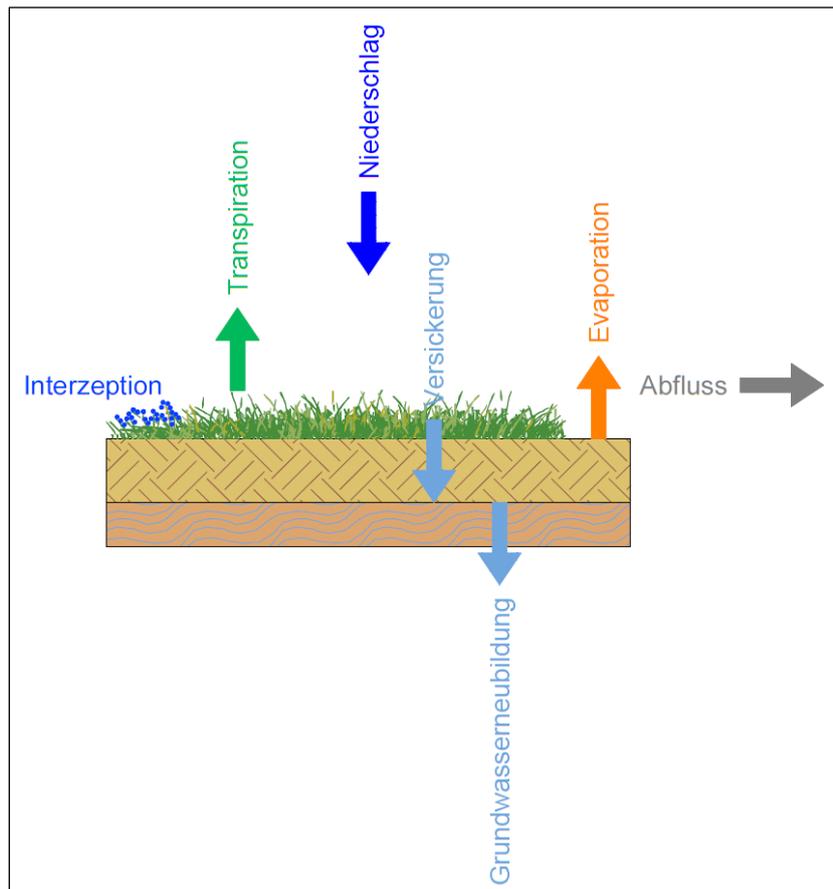


Abbildung 1: Wasserbilanz (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach KLEIDORFER et al. 2019)

I. Niederschlag

Niederschlag bezeichnet alle Formen von Wasser welches aus der Atmosphäre auf der Erdoberfläche z.B. Regen, Schnee etc. auftrifft (FANK et al. 2020).

II. Verdunstung

Der Verdunstungsvorgang setzt sich aus Evaporation und Transpiration zusammen. Verdunstung beschreibt den Übergang von Wasser in die Atmosphäre als gasförmige Phase. Das Kleinklima eines Gebietes hängt von der Verdunstung ab. Zunehmende Versiegelung des Untergrundes führt zu reduzierten Verdunstungsraten (GÖBEL et al. 2007).

IIa. Evaporation

Evaporation ist die Bodenverdunstung. Sie ist abhängig von der Bodenart (FANK et al. 2020). Das Bodenwasser verdunstet bei der Transpiration aus dem Porensystem des Bodens.

IIb. Transpiration

Als Transpiration ist die Atmung der Pflanzen und somit das Verdunsten des Wassers aus den Pflanzenteilen definiert. Die Transpiration ist beeinflusst von der Pflanzenart und der Pflanzenentwicklung (FANK et al. 2020).

IIc. Interzeption

Niederschlagswasser, welches z.B. als Regen oder Schnee zeitweise an Pflanzenteilen hängenbleibt und nicht direkt bis zum Boden gelangt, ist als Interzeption bekannt. Interzeptionswasser verdunstet oder rinnt als Stammwasser bis zum Boden (FANK et al. 2020).

III. Versickerung

Versickerung ist „das Eindringen von Wasser in den Untergrund bzw. Unterbau“ (FLL 2005, 9). Oberflächenwasser tritt im Vorgang der Versickerung in den Boden ein. Sickerwasser bildet den Zufluss zum Grundwasser und erhält somit den Grundwasserpegel. Die versickernde Wassermenge entspricht der Grundwasserneubildung (FANK et al. 2020).

IV. Oberflächenabfluss

Oberflächenabfluss tritt auf, wenn Niederschlagswasser nicht mehr in den Boden infiltrieren kann und an der Geländeoberfläche abfließen muss (FANK et al. 2020). Der Oberflächenabfluss soll aus den oben genannten Gründen so gering wie möglich sein.

Oberflächenabfluss tritt in zwei Fällen auf. Sättigungsabfluss beginnt nach vollständiger Sättigung aller Poren mit Wasser. Horton-Abfluss findet statt, wenn das Bodensystem nicht das gesamte Wasser sofort aufnehmen kann, weil die Infiltrationsrate zu gering für das vorhandene Wasser ist (FANK et al. 2020).

2.3.2 Versiegelung

Die Be- und Überbauung von wertvollem Boden mit harten Materialien an der Oberfläche ist als Bodenversiegelung bekannt. Zu den Versiegelungsvorgängen zählen jene Veränderungen der Bodenoberfläche, welche den Oberflächenabfluss vergrößern (FLL 2005). Bodenversiegelung führt zu Veränderungen oder Zerstörung des Bodens und dessen Bodenfunktionen. Die Bodenversiegelung nimmt starken Einfluss auf das Mikroklima und den Wasserhaushalt (MATHEY et al. 2011). Die Versiegelung des Bodens hindert das Niederschlagswasser in den Erdboden zu gelangen. Speicher-, Transpirations- und

Versickerungsraten erfahren eine Minderung und der Oberflächenabfluss steigt. Durch hohe Versiegelungsraten entsteht Stauwasser welches in großen Mengen problematisch ist.

In Abbildung 2 ist die Änderung der Wasserhaushaltsgrößen einer Siedlung mit zunehmender Bebauung ohne Versickerungsmaßnahmen abgebildet. Die linke Seite spiegelt natürliche Verhältnisse wider. Im Naturzustand verdunsten ca. 65 % des Niederschlags, ca. 13 % fließen ab und ca. 22 % versickern und kommen der Grundwasserneubildung zu. Mit zunehmender Versiegelung steigt der Oberflächenabfluss auf bis zu ca. 70 %, die Verdunstung sinkt auf ca. 30 % und die Grundwasserneubildung kommt zum Erliegen. Dem großen Oberflächenabfluss und der damit in Verbindung stehenden Absenkung des Grundwasserspiegels können Versickerungsanlagen entgegenwirken (GÖBEL et al. 2007).

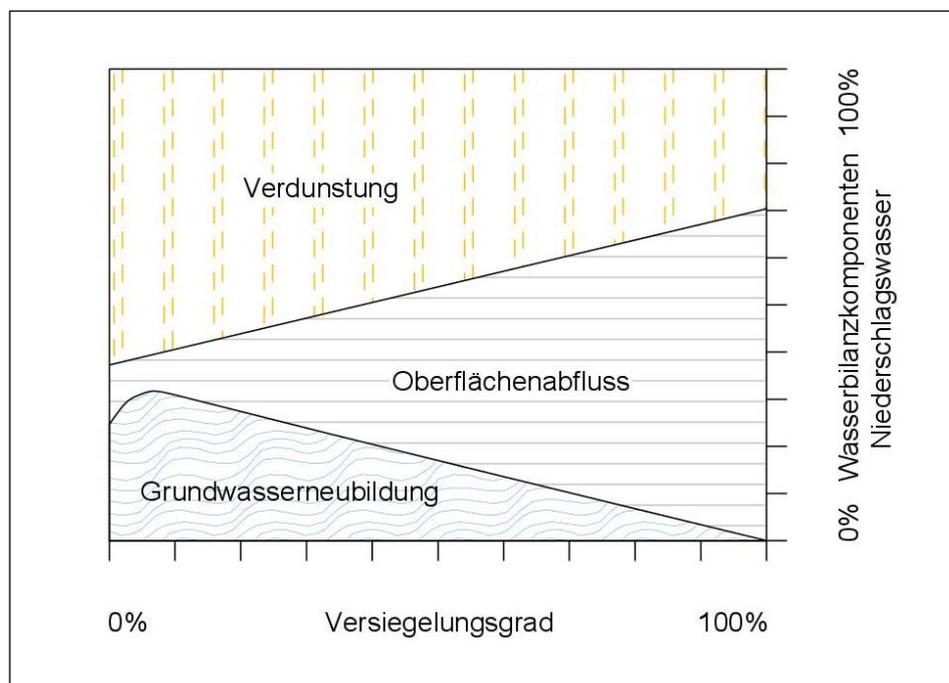


Abbildung 2: Veränderung der Wasserbilanzgrößen nach Versiegelung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach DWA 2007)

Die Bodenversiegelung innerhalb eines Gebietes ist anhand des Versiegelungsgrades abzulesen. Der Versiegelungsgrad gibt den prozentuellen Anteil versiegelter und teilversiegelter Flächen an der Bezugsfläche an (MATHEY et al. 2011).

Im Gegensatz zur Versiegelung steht die Entsiegelung. Entsiegelungsmaßnahmen verbessern die Wasserdurchlässigkeit des Oberbaues. Dadurch resultiert ein verringerter Oberflächenabfluss und ein positiver Effekt auf den natürlichen Wasserhaushalt und das Mikroklima (FLL 2005).

2.4 Versickerungsanlagen

Versickerung per se ist ein natürlicher Vorgang des Bodenwasserkreislaufes. Niederschlagswasser dringt in den Boden ein und gelangt in tiefere Bodenschichten bis zum Grundwasser. Die Wasserwirtschaft macht sich diesen Vorgang zunehmend zu Nutze und bringt Niederschlagswasser mittels Versickerungsanlagen wieder in den natürlichen Wasserhaushalt ein. In der Wasserwirtschaft kommen zum Teil auch verschiedene Systeme mit Versickerungsvarianten und Ableitungen zum Einsatz (BORGWARDT et al. 2000).

Der Begriff der entwässerungstechnischen Versickerung meint die gezielte Einleitung der Oberflächenabflüsse von befestigten Siedlungs- oder Verkehrsflächen in dafür ausgerichtete bodengebundene Anlagen (BORGWARDT et al. 2000). Die wichtigste Maßnahme des nachhaltigen Regenwassermanagements im öffentlichen Bereich stellt die Versickerung des Niederschlagswassers von Verkehrsflächen dar (HUHN und STECKER 1997). Versickerungsmaßnahmen zählen zu den technischen Entwässerungsverfahren (BORGWARDT et al. 2000). Versickerungsanlagen kommen zur Bewirtschaftung von anfallendem Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten zum Einsatz. Das Konzept der Versickerung sieht die Zwischenspeicherung des zur Versickerung vorgesehenen Wassers unmittelbar am Entstehungsort und dessen langsame Abgabe in den Boden vor (MATZINGER et al. 2017). Dadurch kommt es zu einer Vermeidung, Verringerung oder Drosselung von Niederschlagswasserabflüssen (BORGWARDT et al. 2000). Gemäß BORGHARDT et al. (2017) sind unter anderem folgende positive Auswirkungen durch Versickerungsanlagen zu verzeichnen:

- Reduzierung von Oberflächenabflüssen
- Entschärfung von Hochwassersituationen
- Verbesserte Reinigungsleistungen von Kläranlagen aufgrund fehlender Stoßbelastungen
- Hebung der Gewässergüte bzw. Freihalten von Belastungen für umliegende Oberflächengewässer
- Kosteneinsparung für etwaige Neubauprojekte, Sanierung, Reparatur und Unterhalt der Kanalisation und Kläranlagen

Oberflächigen Versickerungsvarianten über begrünte und belebte Oberbodenschichten ist nach Möglichkeit, aufgrund der Reinigungsleistung, der Vorzug gegenüber anderen Versickerungsanlagen zu geben (BORGWARDT et al. 2000). Ob Oberflächenwasser von Verkehrsflächen zur Versickerung über Pflanzflächen geeignet sind, hängt stark von der Verkehrsbelastung und vom Winterdienst ab. Wenig verunreinigte Straßenwässer taugen zur Zuführung zum Grundwasser. Maßgeblich durch Auftausalze, Mineralöle, Schwermetalle etc. verunreinigte Oberflächenwässer sind ohne Behandlung örtlich nicht zu versickern. Eine

Ableitung und Behandlung stark verunreinigter Straßenwässer sind gemäß RVS 04.04.11: 2020-09-05 zum Schutz von Pflanzen, Boden und Gewässer nötig (FSV 2020a).

Bei dezentralen Versickerungsanlagen kommen die Niederschlagswässer eines Grundstückes zur Versickerung. Im Gegensatz dazu stehen zentrale Versickerungsanlagen. Zentrale Versickerungsanlagen sammeln die Niederschlagswässer mehrerer Grundstücke und versickern diese Abflüsse gemeinsam (GÖBEL et al. 2007).

2.4.1 Vorgaben zu Ausführung und Dimensionierung von Versickerungsanlagen

Versickerungsanlagen kommen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung im Siedlungsraum seit mehr als 30 Jahren zum Einsatz. Die Anforderungen an Versickerungsmaßnahmen und ihre technischen Beschreibungen sind in einschlägigen Gesetzestexten und normierten Regelwerken vielfach beschrieben (MATZINGER et al. 2017).

Die Vorgaben zur Dimensionierung beziehen sich auf die klimatischen Bedingungen, die örtlichen Bodenverhältnisse und die zu entwässernden Flächen (MATZINGER et al. 2017). Bei der Dimensionierung von Sickeranlagen sind Sickeranlagen ohne Speichervolumen (z.B. teilversiegelte Oberflächenbefestigung und Flächenversickerung) und Sickeranlagen mit Speichervolumen (z.B. Sickermulden) zu unterscheiden. Die Sickerleistung von Sickeranlagen ohne Speichervolumen muss mindestens dem Zufluss des Bemessungsregenereignisses entsprechen. Die Bemessung bei Sickeranlagen mit Speichervolumen dient der Definition des benötigten Speichervolumens. Das Bemessungsregenereignis ist nach Vorgaben in der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (AS1 2013a) von den Projektant*innen zu wählen, zumindest jedoch ein 5-jährliches Regenereignis.

Das wichtigste Kriterium für dezentrale Regenbewirtschaftungssysteme stellt der Flächenbedarf dar (HUHN und STECKER 1997). Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen setzen eine Verfügbarkeit an Freifläche voraus. Der mindeste Flächenbedarf von Sickeranlagen mit Ansaatbegrünungen im Verhältnis zur entwässerten Fläche reicht von 20 % bei Muldenversickerung, bis über 50 % bei Flächenversickerung. Mit steigendem Speichervolumen und Sickerbeiwert ist eine Flächenreduktion möglich (KLEIDORFER et al. 2019).

Sickeranlagen dürfen gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 nicht in das Einzugsgebiet von Grundwassergewinnungsanlagen, d.h. Brunnen, fallen. Weiters sind Versickerungsanlagen in unmittelbarer Nähe von Fundamenten, Kellern, Leitungskanälen oder Ähnlichem, aufgrund

der Gefahr von Vernässungen unzulässig (ASI 2013a). Ein Mindestabstand von 1,5-facher Kellersohlentiefe ist einzuhalten (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

Als Vorgabe für den Flurabstand, das heißt den Abstand zum Grundwasser, ist zu beachten, dass der tiefste Punkt der Sickeranlage mindestens 1,00 m vom höchsten maßgeblichen Grundwasserstand entfernt ist. Die Vorgaben zum freien Sickerraum sind einzuhalten. Bei geringem Flurabstand bzw. hohem Grundwasserspiegel ist nach ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 die Ausführung von Sickeranlagen ohne Eingriff in die Geländeoberfläche durch das Schütten flacher Dämme möglich (ASI 2013a).

Bei Versickerungsanlagen an Verkehrsflächen gilt es gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) eine Verdichtung der Sickerflächen durch Befahren zu verhindern. Durch das Begehen von Versickerungsanlagen besteht ebenfalls die Gefahr der Verdichtung. Dies ist bei der Freigabe von Versickerungsflächen als Erholungsflächen zu beachten (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

2.4.2 Versickerungsmöglichkeiten mit Ansaaten

Im folgenden Kapitel sind die Möglichkeiten zur Versickerung von straßenbedingten Niederschlagswässern in Zusammenhang mit Ansaaten thematisiert. Im Stadtgebiet stehen mehrere Versickerungsbauwerke und auch Kombinationen von Versickerungsanlagen zur Verfügung. Ansaatbegrünungen kommen bei den Versickerungsvarianten teilversiegelte Oberflächenbefestigung, Flächenversickerung und Muldenversickerung zum Einsatz.

I. Teilversiegelte Oberflächenbefestigung

Beläge mit offenporiger Struktur oder dauerhaften Fugen sind als teilversiegelte Oberflächen zu bezeichnen. Versickerung über teilversiegelte Oberflächen stellt eine Möglichkeit dar, anfallendes Niederschlagswasser zwischenzuspeichern und verzögert in den Boden einsickern zu lassen (BORGWARDT et al. 2000). Die Zwischenspeicherung kann im Gegensatz zu anderen Versickerungsmöglichkeiten nur in sehr geringen Mengen erfolgen. Besonders hervorzuheben sind Rasengittersteine als teilversiegelte Oberflächenbefestigung kombiniert mit Begrünung. Pflasterdecken und Plattenbeläge sind wegen ihrer geringeren Tragfähigkeit nicht bei höher belasteten Straßen einsetzbar. Aufgrund der gestalterischen Möglichkeiten und der Versickerungsfähigkeit von Niederschlagswässern kommen Pflasterbefestigungen in Städten vielfach zur Anwendung (BORGWARDT et al. 2000). Verdichtungen oder Verschlammungen der Fugenmaterialien, als Folge einer längerfristigen Nutzung, sind zu berücksichtigen (GRIMM und ACHLEITNER 2010). In Abbildung 3 ist das schematische Versickerungsverhalten von teilversiegelten Oberflächen veranschaulicht. Alternative Beläge zu Asphalt tragen zur teilweisen Beibehaltung bzw. Wiederherstellung der

natürlichen Bodenfunktion bei (MATZINGER et al. 2017). Teilversiegelte Oberflächen sind nicht zur Versickerung von großen anfallenden Niederschlagsmengen gedacht. Sie leisten trotzdem einen wertvollen Beitrag zur Verminderung des Abflussbeiwertes (GRIMM und ACHLEITNER 2010). Die Materialien zur Flächenbefestigung müssen den Vorgaben der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) zufolge frostbeständig und gemäß gewünschter Belastung tragfähig sein.

Als teilversiegelte Oberflächenbefestigungen zählen (MATZINGER et al. 2017):

- Rasengittersteine
- Pflasterbeläge
- Porenpflaster
- Sickerpflaster

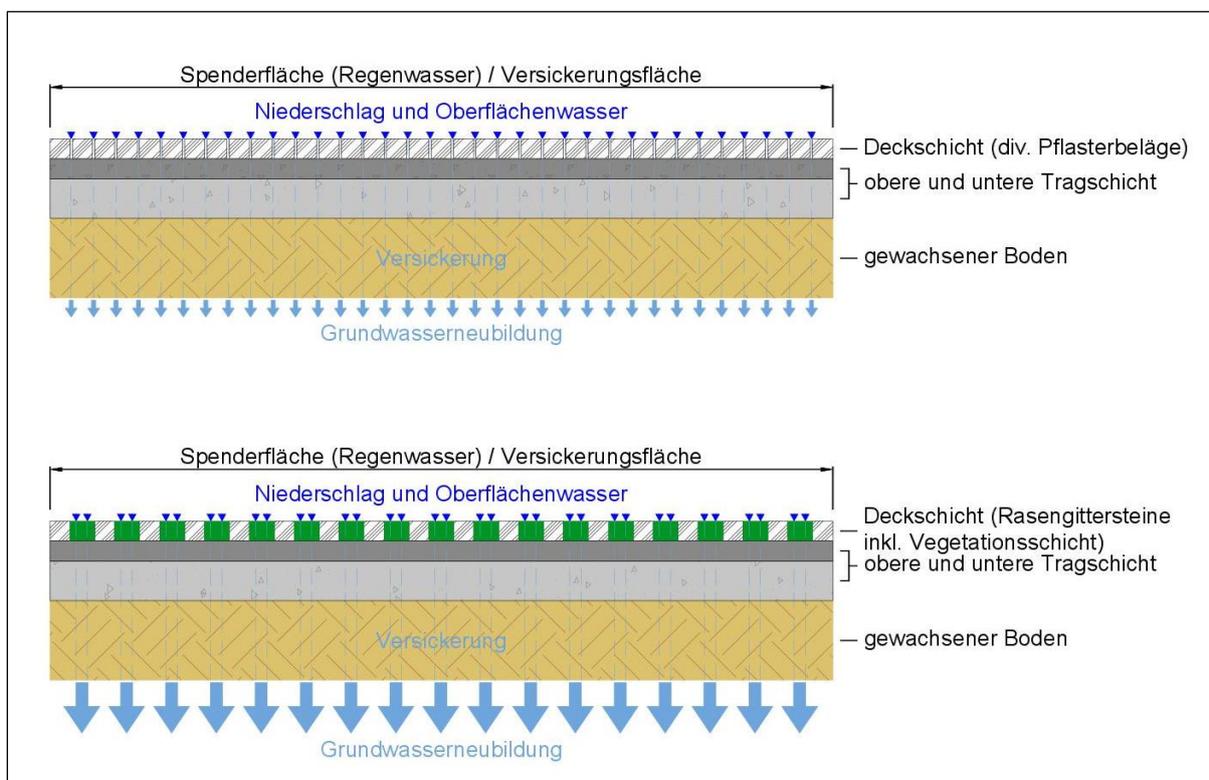


Abbildung 3: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Versiegelte Verkehrsflächen tragen zu einem vermehrten Abfluss von Niederschlägen bei und führen somit zunehmend zur Überlastung der Mischwasserkanalisationen in der Stadt (BORGWARDT et al. 2000). Durch diesen Umstand sollte das Ziel aller im Stadtbau beteiligten Akteur*innen das Vorantreiben der Flächenentsiegelung möglichst vieler innerörtlicher Flächen sein. Flächenentsiegelungen wirken dem Niederschlagsabfluss entgegen und entlasten dadurch die Kanalisation. Bei Verkehrsflächen empfiehlt sich die Anwendung von teildurchlässigen Bodenbelägen. Mit geeigneten Maßnahmen zur

Entsiegelung können befestigte und versiegelte Verkehrsflächen in Grünflächen oder (teil-) durchlässige Oberflächen umgewandelt werden (MATZINGER et al. 2017).

II. Flächenversickerung auf Grünflächen

Die Flächenversickerung (siehe Abbildung 4) stellt die einfachste Ausführungsform von Versickerungsanlagen dar. Das anfallende Niederschlagswasser angrenzender versiegelter Flächen versickert ohne Einstau auf der dafür vorgesehenen Fläche (MATZINGER et al. 2017). Bei Flächenversickerungsanlagen erfolgt die seitliche Entwässerung befestigter Flächen auf flächig versickerungsfähigen Oberflächenmaterialien. Das Niederschlagswasser versickert unmittelbar ohne temporäre Zwischenspeicherung. Dies bedeutet einen höheren Platzbedarf als andere Versickerungsanlagen (BORGWARDT et al. 2000). Retentionsvolumen sind bei dieser Form der Versickerung nicht zu berücksichtigen (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

Die Zuleitung des zu versickernden Oberflächenabflusses von angrenzenden Flächen soll linienförmig über die gesamte angrenzende Länge erfolgen, punktförmige Einleitungen sind gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) zu vermeiden.

Bei Gefahr einer potenziellen Verunreinigung durch grundwassergefährdende Stoffe ist eine Deckschicht mit Funktion eines Bodenfilters als Voraussetzung für eine geschlossene Gründecke auszuführen. Die Dicke der Deckschicht hat bei normgerechter Ausführung nach ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) mindestens 30 cm zu betragen.

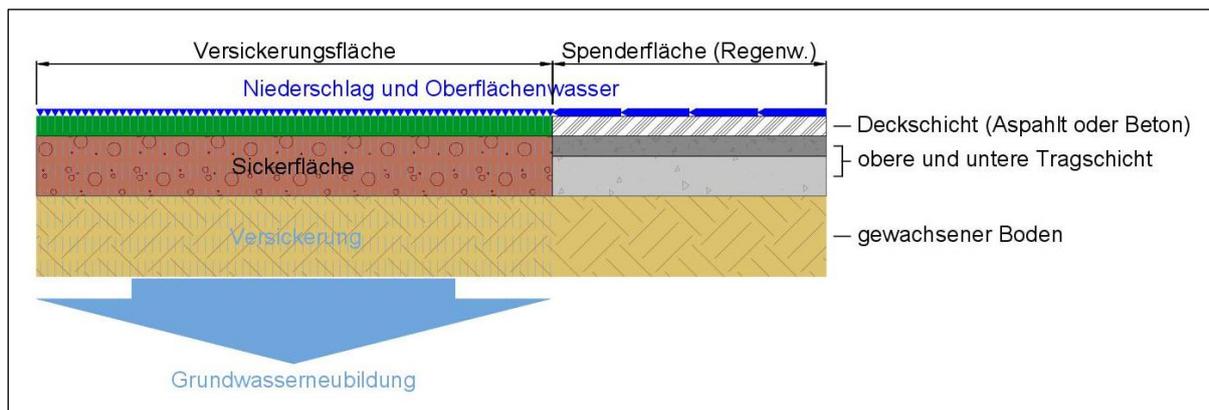


Abbildung 4: Flächenversickerung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

III. Muldenversickerung

Sickermulden (siehe Abbildung 5) haben laut RVS 04.04.11: 2020-09-05, im Gegensatz zu Straßengraben, den Zweck der Reinigung und Versickerung von Straßenabwässern (FSV 2020a). Mulden kommen zur Entwässerung von Wegen, Straßen und Hofflächen zum Einsatz. Gut durchlässige Böden sind die Voraussetzung für die Muldenversickerung

(MATZINGER et al. 2017). Je nach örtlichen Gegebenheiten können Form und Ausgestaltung variieren, eine gute Eingliederung in die Landschaft sollte jedoch allenfalls das Ziel der Planung sein. Flache Formen empfehlen sich bei Nutzungen als Grünflächen, bei größeren Höhenunterschieden im Gelände sind mehrere Mulden in Form von Kaskaden vorzuziehen. Die Mindesttiefe sollte laut ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) zum Schutz vor Verschlammung 20 cm betragen. Die in der Regel 20 - 30 cm tiefe Mulde soll das anfallende Regenwasser zwischenspeichern (MATZINGER et al. 2017). Um ein Stehenbleiben des Wassers in der Muldenmitte zu verhindern, ist in der Muldensohle ein Muldengefälle auszubilden. Das Muldengefälle sollte gemäß RVS 03.08.65: 2012-11-12 bei begrünten Mulden aufgrund der Erosionsgefahr 0 - 4 % nicht überschreiten (FSV 2012). Die Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers führt zu einem geringeren Platzbedarf als Flächenversickerung (BORGWARDT et al. 2000). Die Mindestbreite von straßenbegleitenden Versickerungsmulden soll 1,00 m betragen (GRIMM und ACHLEITNER 2010). Ein weiterer Vorteil neben Flächensparnis besteht gegenüber flächigen Versickerungsanlagen im höheren Stoffrückhalt für verschmutzte Niederschlagswässer (GÖBEL et al. 2007).

Sickermulden sind gemäß RVS 04.04.11: 2020-09-05 in Bodenfiltermulden und Rasenmulden zu unterteilen. Bodenfiltermulden haben genaue Vorgaben zum Filteraufbau und zur Filterzusammensetzung. Dem gegenüber stehen Rasenmulden ohne definierten Filteraufbau und -zusammensetzung, jedoch mit einer vorgeschriebenen Deckschicht aus 10 cm humosem Oberboden (FSV 2020a).

Die Oberfläche ist aufgrund der Filterwirkung mit einer geschlossenen Vegetationsdecke zu versehen. Die Vegetationsdecke ist vorrangig als Wiese oder Rasen auszuführen. Gehölzpflanzungen ergeben ein schönes Landschaftsbild, sie werden in der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) jedoch wegen des Laubfalles und der Verdrängung des Grasbewuchses nicht empfohlen. Beim Einsatz von natürlichen Bodenfiltern ist gemäß ÖNORM B 2506-2: 2012-11-15 (ASI 2012 b) ein flächendeckender Grünbewuchs mittels Rasenmischung gefordert.

Der zu versickernde Oberflächenabfluss ist bestenfalls linienförmig über die gesamte Böschungsschulter einzuleiten. Bei punktförmigen Zuläufen sind die Böschungen gegen Auskolkung zu sichern. Überläufe müssen nach ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) so hoch gesetzt sein, dass das gesamte Speichervolumen zum Tragen kommt.

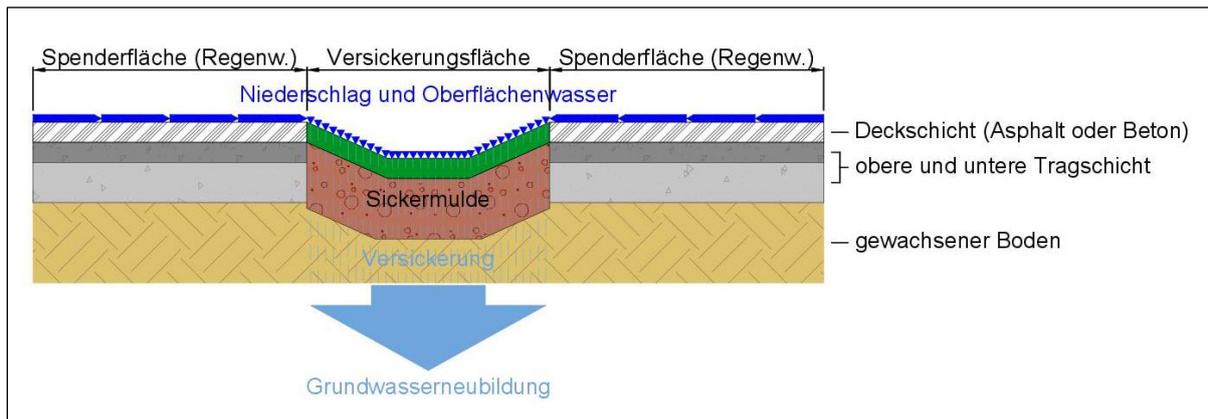


Abbildung 5: Muldenversickerung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

2.5 Boden und Substrat

Böden oder Substrate sind im allgemeinen Verständnis ein Drei-Phasen-Gemisch. Böden sind komplexe Systeme aus einer festen, einer flüssigen und einer gasförmigen Phase (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Mineralische und organische Substanzen bilden ein Gerüst in welchem Bodenwasser, Bodenluft und Bodenorganismen zu finden sind. Für Pflanzen dient der Boden als Standort und versorgt diese mit lebenswichtigem Wasser, Luft und Nährstoffen. (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Der Boden bietet Pflanzenwurzeln den nötigen Raum zum Verankern und Versorgen mit Wasser, Nährstoffen und Sauerstoff (LEWANDOWSKI und VETTER 2009).

Böden entstehen durch Prozesse der Natur. Für die Entwicklung von Böden aus Gesteinen sind natürliche Vorgänge verantwortlich. Bodenbildende Prozesse sind Verwitterung, Zersetzung und Humifizierung, Gefügebildung und Verlagerung. Böden entstehen einerseits aus den Wechselwirkungen der Lithosphäre, der Atmosphäre, der Hydrosphäre und der Biosphäre. Andererseits stehen Böden ständig in Beziehung mit den umgebenden Materialien und tragen dadurch auch den größten Teil des Stoffumsatzes der Landschaft (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

Im geologischen Sinn ist das Substrat das Material, das den Boden bildet, z.B. Sand oder Lehm (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Substrate sind im Garten- und Landschaftsbau Mischungen aus verschiedenen organischen und mineralischen Komponenten (SCHINDLER et al. 2015). Nach Definition in der ÖNORM L 1210: 2007-03-01 (ASI 2007, 4) ist ein Substrat eine „Mischung aus organischen oder mineralischen Materialien zur Bodenverbesserung oder als Vegetationstragschicht für Pflanzen“. Substrate sind künstlich hergestellte Böden, welchen mineralische Zuschlagstoffe und/oder andere Beimengungen beigefügt sind. Zuschlagstoffe sind gemäß ÖNORM L 1210: 2007-03-01 Gerüstbaustoffe zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften oder Bodenhilfsstoffe zur Beeinflussung der

biologischen oder chemischen Eigenschaften des Substrates (ASI 2007). Als Beimengungen kommen zumeist Torf, Kompost und Kokosfasern zum Einsatz. Die mineralischen Zuschlagstoffe sind häufig Perlite, Kalk und Ton (SCHINDLER et al. 2015).

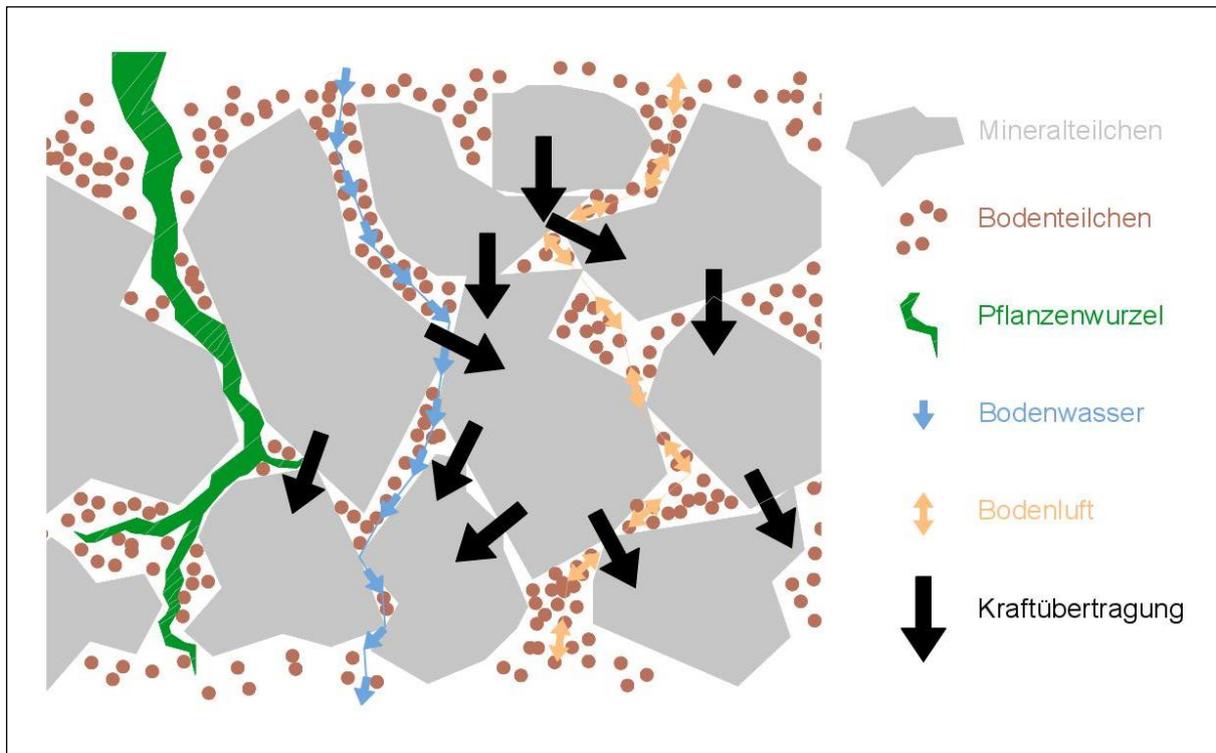


Abbildung 6: Funktionsweise von Substraten (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach GRABOSKY et al. 1998)

Substrate sind laut ÖNORM L 1111: 2019-11-15 je nach Anwendungsbereich in Kategorien eingeteilt und auf den Anwendungszweck abzustimmen z.B. Pflanzsubstrat, Filtersubstrat oder Teichsubstrat (ASI 2019a). In Abbildung 6 sind die grundlegenden Funktionen von Substraten zu sehen. Substrate sollen das Pflanzenwachstum unterstützen.

Substrate eignen sich zur Bodenverbesserung. Sie fungieren als Vegetationstragschicht und bieten somit den Nährboden für Pflanzen. Die Vegetationstragschicht ist laut ÖNORM L 1210: 2007-03-01 (ASI 2007,5) jener „Bereich des Bodens, in welchem die Pflanzen wurzeln“. Dabei ist gemäß ÖNORM L 1111: 2019-11-15 zu beachten, dass die eingesetzten Materialien zur Verbesserung der Bodenstruktur keine negativen Auswirkungen auf Pflanzen haben dürfen und frei von keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzen sein müssen (ASI 2019a). Die Vegetationstragschicht muss nach ÖNORM L 1210: 2007-03-01 das Pflanzenwachstum unterstützen und die Anforderungen hinsichtlich Durchwurzelbarkeit, Wasserspeicherfähigkeit, Wasserdurchlässigkeit, Nährstofftransformation und Durchlüftung erfüllen (ASI 2007).

Structural Soils sind Substrate welche, mehr als nur die Anforderung des Pflanzenwachstums erfüllen können und sollen. Sie sollen den mechanischen Belastungen im Dauersiedlungsraum standhalten können sowie modernen technischen Anforderungen entsprechen. Die in diesem Zusammenhang genannten technischen Substrate bestehen zumeist aus gebrochenem Schotter, wenig Anteil an Tonlehm und Zuschlagstoffen, um die gewünschten Eigenschaften zu erhöhen (GRABOSKY et al. 1998).

In den folgenden Unterkapiteln sind die drei Phasen des Bodens und deren entscheidende Eigenschaften für Versickerung und Bepflanzung beschrieben.

2.5.1 Bodenmatrix

Die Bodenmatrix bildet die feste Phase des Bodens. Sie besteht aus der mineralischen und organischen Substanz. Die gesamte organische Substanz im Boden ist als Humus zu bezeichnen. Humus sind die Ausscheidungen und Rückstände abgestorbener Bodenorganismen und ist somit eine wichtige Nährstoffquelle für Pflanzen (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Die Bodenart, z.B. Kies, Sand, Schluff oder Ton, ist gekennzeichnet durch die Korngrößenverteilung des mineralischen Bodens. Das Bodengefüge, welches die räumliche Aufteilung der festen Bodenbestandteile und die Hohlräume beschreibt (EPPEL-HOTZ et al. 2016), ist durch die Bodenart bestimmt. Beim Boden erfolgt die Unterscheidung in Grobboden (Bodenskelett) mit Korndurchmessern > 2 mm und Feinboden mit Korndurchmessern < 2 mm. Ebenso wie Humus ist auch der Grobboden eine Nährstoffquelle, die stetig Nährstoffe freisetzt. Das Bodenskelett bestimmt den nutzbaren Wurzelraum. Von der Korngrößenzusammensetzung sind die Porengrößenverteilung und das Porenvolumen abhängig (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Das Porensystem im Boden lässt sich in drei funktionale Gruppen unterteilen: Grob-, Mittel- und Feinporen (siehe Tabelle 1). Pflanzenwurzeln, Bodenwasser und Bodenluft bewegen sich im Porenraum. Dadurch steht der Porenraum in engem Zusammenhang mit den Prozessen des Bodenwasserhaushaltes, Stoffhaushaltes und Wärmehaushaltes (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

Tabelle 1: Porengruppen (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach EPPEL-HOTZ et al. 2016)

Poren	Äquivalentdurchmesser [mm]	pF-Wert	Bodenwasserzustand	Bodenluftkapazität
grob	>50	<1,8	Sicker- und Haftwasser	viel
mittel	50 bis 0,2	1,8 bis 4,2	pflanzennutzbare Wasserspeicherung	wenig
fein	<0,2	>4,2	nicht pflanzenverfügbar	keine

Verdichtung und Tragfähigkeit des Bodens

Der Boden stellt die Grundlage für Bautätigkeiten aller Art dar. Für die Standfestigkeit von Bauwerken sind eine möglichst hohe Verdichtung und Tragfähigkeit anzustreben. Eine mangelnde Tragfähigkeit des Untergrundes kann zu schwerwiegenden Bauschäden führen. Anspruchsvolle Erdbaumaßnahmen erfordern die Überwachung der Einbauqualität, um Unter- bzw. Überverdichtung des Bodens zu verhindern (LEOPOLDSEDER 2017). Die Ermittlung der Verdichtung erfolgt im Normalfall mittels Proctorversuch. Dem gegenüber stehen die Bestrebungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft, möglichst wenig Verdichtung im Siedlungsraum zu erzielen. Die Verdichtung des Bodens ist nicht allein entscheidend. Für die Beurteilung der Standfestigkeit des Bodens ist die Tragfähigkeit als weiteres Qualitätskriterium heranzuziehen. Die Tragfähigkeit des Bodens ist mittels statischem Lastplattenversuch oder mittels dynamischem Plattendruckversuch (siehe Kapitel 3.3.4) zu ermitteln. Als Maß für die Tragfähigkeit steht der Verformungsmodul. Der statische Verformungsmodul (E_{v1} , E_{v2}) bzw. der dynamische Verformungsmodul (E_{vd}) ist eine Kennzahl für die Verformung des Bodens unter Druckbelastung (LEOPOLDSEDER 2017).

Im Fall einer Verwendung von versickerungsfähigen Materialien im Wegebau oder Parkplatzbau müssen die Flächen je nach Belastungsklasse die Mindestwerte der Tabelle 2 einhalten (FLL 2005).

Tabelle 2: Bodenmechanische Anforderungen von Verkehrsflächen (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach FLL 2005)

Belastungsklasse	Beispiel	Frostsicher Ev2 [MN/m ²]	Frostempfindlich h Ev2 [MN/m ²]
V1 - Verkehrsflächen mit starker Belastung	<ul style="list-style-type: none"> • befahrbare Zuwege, • PKW-Parkplätze, • Grundstückszufahrten, etc. 	80	45
V2 - Verkehrsflächen mit geringfügiger Belastung	<ul style="list-style-type: none"> • Fuß- und Radwege, • Plätze mit vorrangiger Nutzung durch Fußgänger, • Abstellflächen für Fahrräder, • gelegentliche Nutzung für Versorgungs- bzw. Wartungsfahrzeuge, • belastete Multifunktionsflächen, etc. 	60	35
V3 - Verkehrsflächen mit sehr geringer Belastung	<ul style="list-style-type: none"> • Fußwege im privaten Bereich, • Terrassen, etc. 	-	-

Der Verdichtung des Bodens wirken Bodentiere und Kleinstlebewesen entgegen. Durch Graben und Zersetzen führen Bodentiere und Mikroorganismen im Substrat Lockerungen herbei. Bodenlockerungen resultieren in verminderten Tragfähigkeitswerten und sind im Bauwesen eigentlich nicht gewünscht. Sie sind für das Pflanzenwachstum jedoch förderlich. Pflanzen wurzeln in gelockerten Böden besser und kommen einfacher an Nährstoffe (ERMER et al. 1996).

2.5.2 Bodenwasser

Als Bodenwasser ist das gesamte im Bodenkörper vorkommende Wasser anzusehen, welches als Niederschlag, Grundwasser, Überflutungswasser oder Kondensation der Bodenluft in den Boden dringt (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Dem Bodenwasser kommt aufgrund seiner jahreszeitlichen Schwankungen eine besondere ökologische Bedeutung zu. Das Bodenwasser nimmt in Bezug auf dezentrale Versickerung Einfluss auf die Grundwasserneubildung, den Grundwasserschutz, das Filterpotenzial und das Pflanzenwachstum (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

Der Wassergehalt beschreibt den Anteil des Wassers im Porenraum. Im Normalfall ist der Wassergehalt entweder als volumetrischer Wassergehalt bzw. gravimetrischer Wassergehalt in Prozent oder als Grad der Sättigung ausgedrückt. Für Feld- und Laborstudien ist die Verwendung des volumetrischen Wassergehalts (VWC) üblich. Der volumetrische Wassergehalt ist als Anteil des Volumens an Bodenwasser im betrachteten Gesamtbodenvolumen definiert (RAVIV und LIETH 2008).

Folgend sind die wichtigsten Aspekte des Bodens in Zusammenhang mit Bodenwasser erläutert.

Durchlässigkeit des Bodens - Infiltration

Die Wasserdurchlässigkeit ist ein Kennwert für die Stauvernässung. Der aktuelle Wassergehalt und die Porengrößenverteilung des Bodens beeinflussen die Durchlässigkeit des Bodens (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Die Durchlässigkeit des Bodens kann durch den Durchlässigkeitsbeiwert k_f nach Darcy ausgedrückt werden. Der k_f -Wert gibt die Durchlässigkeit als Eigenschaft einer Bodenschicht an. Der k_f -Wert ist als die Durchflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit durch einen Stoff mit Poren in Abhängigkeit zum hydraulischen Gefälle definiert (BORGWARDT et al. 2000). Die Sickergeschwindigkeit v_f ist gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) dem Durchlässigkeitsbeiwert gleichzusetzen und gilt als konstant.

Die Bestimmung des k_f -Wertes erfolgt mittels Sickerversuchen (siehe Kapitel 3.3.2) oder bei Kenntnis der Bodenart mittels Entnahme aus der Literatur. Die genaue Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes kann nur im gesättigten Boden erfolgen, da die teilweise Füllung des Porenraumes mit Luft die Durchflussgeschwindigkeit verringert (BORGWARDT et al. 2000). In Tabelle 3 sind die typischen Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Sickergeschwindigkeiten je Bodenart aufgelistet. Mit steigender Korngröße steigt die Sickerfähigkeit des Bodens.

Tabelle 3: Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Sickergeschwindigkeiten je Bodenart (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach ASI 2013a)

Bodenart	k_f bzw. v_f			
	m/s	mm/min	Durchfluss- geschwindigkeit	Filterwirkung
Kies	10^{-1} bis 10^{-3}	6000 bis 60		gering
Sandiger Kies	10^{-3} bis 10^{-4}	60 bis 6		
Mittelsand	10^{-3} bis 10^{-5}	60 bis 0,6		
Humoser Oberboden	10^{-3} bis 10^{-6}	60 bis 0,06		
Schluffiger Sand	10^{-5} bis 10^{-7}	0,6 bis 0,006		
Schluff	10^{-6} bis 10^{-9}	0,06 bis 0,00006		
Toniger Schluff	10^{-7} bis 10^{-11}	0,006 bis 0,0000006		

Die für eine Versickerung vorgesehenen Böden oder Substrate müssen einen Durchlässigkeitsbeiwert k_f zwischen 5×10^{-3} und 5×10^{-6} m/s aufweisen. Bodenarten mit höheren Werten sind aufgrund der fehlenden mechanischen Reinigung des Sickerwassers auszuschließen (BORGWARDT et al. 2000). Als Untergrenze für die Eignung als sickerfähigem Untergrund gilt der Grenzwert der RVS 04.04.11: 2020-09-05 für die Wasserdurchlässigkeit von 5×10^{-6} m/s (FSV 2020b). Böden mit geringerem k_f -Wert sind für den Einbau in Versickerungsanlagen aufgrund der hydraulischen Leistung ungeeignet. Im hochrangigen Straßennetz (Bundesstraßen A und S, Hauptstraßen A und B) gilt es den k_f -Grenzwert der RVS 04.04.11: 2020-09-05, von 1×10^{-5} m/s nicht zu unterschreiten (FSV 2020a).

Filterwirkung des Bodens

Der Boden wirkt als größter Puffer und Filter von Niederschlagswässern. Deshalb ist der Boden bei der Neubildung des Grundwassers und dessen Qualität von entscheidender Bedeutung. Böden besitzen die Fähigkeit Stoffe verschiedenster Art zu akkumulieren. Böden können Schadstoffe wie Schwermetalle und organische Verunreinigungen speichern und

biologisch abbauen (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Der Bodenfilter soll verunreinigtes Niederschlagswasser zum Schutz des Grundwassers reinigen. Der Filter ist für den Rückhalt und Abbau von organischen und anorganischen Verunreinigungen da. Die Wirkung des Bodenfilters wird laut RVS 04.04.11: 2020-09-05 durch physikalisch-chemische, mikrobiologische und pflanzenphysiologische Prozesse erzielt (FSV 2020a). Die Reinigungsleistung des Bodens hängt von der Mächtigkeit und der Bodenart ab. Gut geeignete Sickermaterialien (siehe Tabelle 3) sind fein- bis grobsandige Böden (GRIMM und ACHLEITNER 2010).

Zwei Arten von Bodenfiltern sind zu unterscheiden. Die zwei Arten von Bodenfiltern für Regenwasserversickerungsanlagen sind laut ÖNORM EN ISO 22282-5: 2012-10-01 (ASI 2012a) natürliche und technische Bodenfilter. Oberboden wird demnach als natürlicher Bodenfilter angesehen. Neben der Verwendung von natürlich gewachsenem Boden besteht die Möglichkeit zur Verwendung von technischen Filtern. Technische Filter bestehen, wie in der RVS 04.04.11: 2020-09-05 beschrieben, aus natürlichen und/oder künstlichen Substraten (FSV 2020a). Kann der natürliche Bodenfilter die an ihn gestellten Anforderungen nicht erfüllen, so ist mittels Zugabe von technischen Stoffen die Leistungsfähigkeit des Substrates zu verbessern. Die Beimengung der Filtermaterialien darf gemäß ÖNORM EN ISO 22282-5: 2012-10-01 (ASI 2012a) 30 Ma% jedoch nicht überschreiten.

Maßgeblich für einen funktionierenden Bodenfilter ist eine ausreichende Kontaktzeit des Sickerwassers. Bodenfilter für Versickerungsanlagen des hochrangigen Straßennetzes dürfen laut RVS 04.04.11: 2020-09-05 für den Rückhalt der Schadstoffe einen maximalen Durchlässigkeitsbeiwert von 1×10^{-4} m/s haben (FSV 2020a). Im Umkehrschluss bedeutet eine möglichst lange Kontaktzeit für die Grundwasserqualität positive Auswirkungen, für den Hochwasserschutz jedoch negative Effekte.

Die Reinigungsfunktion der obersten Bodenfilterschicht besteht durch Schadstoffeintrag, Einschlämmung von Feinstanteilen und Erschöpfung der Sorptionsfähigkeit nur über eine begrenzte Zeitspanne. Ein Tausch der Filterschicht hat bei Versagen der Filterfunktion zu erfolgen (FLL 2005).

Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und Welkepunkt

Als Feldkapazität F_k ist jener Wasseranteil zu bezeichnen, welchen ein gesättigter Boden nach zwei bis drei Tagen im gesamten Porenkörper gegen die Schwerkraft halten und speichern kann (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Für Pflanzen ist die nutzbare Feldkapazität nF_k des effektiven Wurzelraumes von großer Bedeutung. Sie stellt ein Maß für die pflanzenverfügbare Wassermenge dar (ERMER et al. 1996). Pflanzen benötigen eine hohe nutzbare Feldkapazität von Böden als Voraussetzung für eine gleichmäßige

Wasserversorgung (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Die Saugspannung hängt vom Porendurchmesser ab. Die nutzbare Feldkapazität umfasst den Saugspannungsbereich pF von 1,8 bis 4,2, welcher in den Mittelporen vorherrscht. Wasser in Grobporen, in welchen die Saugspannung unter 1,8 liegt, kann der Boden nicht gegen die Erdanziehung zurückhalten. Wasser in Feinporen mit einer Saugspannung von über 4,2 ist im Boden so stark gebunden, dass Pflanzen davon nicht ziehen können. Dieser Wasseranteil ist als Totwasser zu bezeichnen. Ab dem Erreichen des permanenten Welkepunktes, das heißt ab einem pF -Wert von 4,2, zeigen Pflanzen infolge des Wassermangels irreversible Welkeerscheinungen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

2.5.3 Bodenluft

Bodenluft stellt die gasförmige Phase des Bodensystems dar. Die Bodenporen können einerseits mit Wasser oder andererseits mit Luft gefüllt sein. Der im Normalzustand gaserfüllte Porenraum über der Grundwasserzone stellt die Aerationzone dar (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

Luftkapazität

Für das Pflanzenwachstum ist der Lufthaushalt besonders wichtig. Ein Mangel an Bodenluft durch Staunässe beeinträchtigt die Atmung der Pflanzenwurzeln. Sauerstoffmangel im Boden stoppt das Wurzelwachstum. Eine andauernde Übersättigung des Bodens mit Wasser und das daraus resultierende Fehlen von Bodenluft führt zum Wurzeltod (RAVIV und LIETH 2008). Für das Pflanzenwachstum ist eine Vernässung durch die richtige Wahl des Substrates zu verhindern (BASTIAN und SCHREIBER 1994). Die Geschwindigkeit des Gasaustausches zwischen Substrat und Atmosphäre spielt eine große Rolle für die Sauerstoffverfügbarkeit für die Wurzeln im Boden. Die luftgefüllte Porosität stellt das Maß für die Luftkapazität dar. Sie entspricht dem mit luftgefüllten Porenvolumen bei Feldkapazität. Die luftgefüllte Porosität sollte 10 % des Bodenvolumens nicht unterschreiten. Das Unterschreiten des Grenzwertes von 10 % Bodenluft wirkt wachstumsmindernd (RAVIV und LIETH 2008).

2.6 Straßenbegleitgrün

Als Straßenbegleitgrün sind „*alle straßenbegleitenden Grünflächen, die durch das Begrünen einer zuvor vegetationslosen Fläche mit dauerhafter Vegetation durch Ansaat, Pflanzung oder spezielle ingenieurbioologische Bauweisen entstanden sind*“ zu sehen (RÜMLER 1981, 30). Zum Straßenbegleitgrün von Innerortsstraßen zählen Längselemente wie Inseln und

Grünflächen am Fahrbahnrand. Die Straßengrünflächen erhöhen innerstädtisch die Aufenthaltsqualität und die ästhetische Raumqualität. Straßenbegleitbegrünungen bieten besonders in der Stadt große ökologische Vorteile. Die Begrünung des Straßenraumes hat, wie in der RVS 04.04.11: 2020-09-05 angegeben, positive Wirkungen auf das Kleinklima, den Wasserhaushalt und die ökologische Vielfalt (FSV 2020a).

2.6.1 Anforderungen und Funktionen des Straßenbegleitgrüns

Das Straßenbegleitgrün hat aus verschiedenen Hinsichten eine Vielzahl an Funktionen zu erfüllen. Die Begrünung hat den Ansprüchen der Straßenbautechnik, der Landschaftsgestaltung und des Umweltschutzes zu entsprechen (RÜMLER 1981).

Die Anforderungen an Saatgutmischungen unterscheiden sich je nach Anwendungsort. Der Fokus auf die Funktionen der Begrünungsmaßnahmen liegt in der freien Landschaft bzw. landwirtschaftlicher Nutzflächen wesentlich anders als im Siedlungsbereich.

Gestaltung

Im Siedlungsbereich sind gestalterische Ansprüche kombiniert mit Regenwasserrückhaltung und/oder Sicherungsmaßnahmen von hoher Bedeutung (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Mittels ästhetischer Gestaltung von Straßenbegleitbegrünungen lassen sich Straßen in die Umgebung optisch gut eingliedern.

Sicherung

Die Straßenbegleitbegrünung hat in Bezug auf Sicherung zwei Aufgaben zu erfüllen. Durch die Straßenbegleitbegrünung ist die Standsicherheit des Straßenkörpers sowie die Verkehrssicherheit zu gewährleisten.

I. Standsicherheit des Straßenkörpers

Einerseits ist die Standsicherheit des Straßenkörpers sicherzustellen. Dabei hat die Begrünung die Sicherung der Seitenräume der Straße sowie der Entwässerungsanlagen zu gewährleisten. Durch eine flächendeckende Begrünung kann die Straßenbegleitbegrünung angreifenden Kräften der Erosion entgegenwirken (RÜMLER 1981). Insbesondere Kräuter und Wildkräuter sind wichtig für die Böschungssicherung. Kräuter dringen mit ihren Wurzeln tief in das Erdreich ein und können dadurch die Standfestigkeit der Böschung erhöhen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

II. Verkehrssicherheit

Andererseits kann die Straßenbegleitbegrünung einen Schutz für Verkehrsteilnehmer bieten. Von der Fahrbahn abirrende Fahrzeuge sollen durch Pflanzungen und/oder weitläufige begrünte Auslaufflächen Schutz finden (RÜMLER 1981). Weiters dient die Straßenbegleitbegrünung der optischen Fixierung des Blickes der Verkehrsteilnehmer. Somit fällt die Orientierung und das Verfolgen der Straßenführung leichter, was einen positiven Effekt für die Verkehrssicherheit darstellt (RÜMLER 1981). Durch die Straßenbegleitbegrünung erfolgt eine optische Führung der Verkehrsteilnehmer. Grünflächen neben Verkehrsanlagen geben laut RVS 04.04.11: 2020-09-05 auch bei widrigen Witterungsverhältnissen Aufschluss über den Verlauf der Straße (FSV 2020a).

Umweltschutz

Pflanzen stehen in engen Wirkungsbeziehungen mit ihrer Umwelt. Die Vegetation besitzt wertvolle klimatologische Eigenschaften im Gegensatz zu anderen befestigten Oberflächen. Die positiven Auswirkungen auf das Klima sind durch einen geringeren Wärmeeindringkoeffizienten des Bodens, die Wasserspeicherung in Boden und Biomasse, die Steigerung der Evapotranspiration sowie die Erhöhung des latenten turbulenten Wärmestroms zu erklären (MATHEY et al. 2011). In Tabelle 4 sind die klimatischen und lufthygienischen Wirkungen je Bodenbedeckung aufgelistet. Im Vergleich weisen die begrünten Bodenoberflächen (Wiesen/ Staudenfluren, Rasen, ruderale Pioniervegetation) positivere Auswirkungen auf das Klima als befestigte Oberflächen (versiegelte und teilversiegelte Flächen) auf.

Tabelle 4: Klimatische und lufthygienische Wirksamkeit von Bodenbedeckung und Vegetationsstrukturen
 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021 nach PIERKES et al. 1994 in ERMER et al. 1996)

		Umweltwirkung				
		Temperaturabsenkung	Kaltluftentstehung	Evapotranspiration	Windbremsung	Staubbindung
Bodenbedeckung	Versiegelte Flächen	keine	--	--	--	--
	Teilversiegelte Flächen	-- bis -	-	-	--	--
	Offene Böden	o*	o*	o*	--	-
	Ruderales Pioniervegetation (geringe Deckung)	+	+	-	-	- bis o
	Rasen	++	++	o	-	o
	Wiesen/Staudenfluren	++	++	+	o	+
		-- sehr gering; - gering; o mittel; + hoch; ++ sehr hoch; * in Anhängigkeit von der Bodenfeuchte				

I. Temperaturabsenkung und Kaltluftentstehung

Die nächtliche Kaltluftproduktion hängt stark von der Bodenbedeckung ab. Die Abkühlungsrate wird von der Bodenfeuchte, dem Bewuchs, der Bestandshöhe und Bestandsdichte sowie der Bodenbeschaffenheit, Geländeform und Exposition bestimmt. Grüne unversiegelte Flächen weisen hohe Kaltluftproduktionsraten auf. Grünflächen wie Rasen- oder Wiesenbestände sind aufgrund von schnell entstehenden Kaltluftschichten gute Kaltluftspender in der Stadt (MATHEY et al. 2011).

II. Luftfeuchte

Die Verdunstung und die Temperaturminderung lassen die relative Luftfeuchtigkeit in Grünflächen steigen. Die Luftfeuchte von Begrünungen ist von der Verdunstungsleistung und

dem Abflussverhalten der Fläche abhängig. Die Vegetationsart bestimmt die Verdunstungsleistung bezogen auf die Niederschlagsmenge. Unversiegelte unbewachsener Boden verdunstet bis zu 29 %, bei Rasen beträgt die Verdunstungsleistung 58 % (MATHEY et al. 2011).

III. Lichtreflexion

Grünflächen haben eine niedrigere Albedo als versiegelte Flächen mit helleren Oberflächen, wie z.B. Beton (WEIHS et al. 2018). Der Reflexionskoeffizient von einem grünen Pflanzenbestand beträgt zwischen 0,1 und 0,4. Dieser Koeffizient gibt das Verhältnis zwischen reflektierter zu eingestrahelter Energie an (LEWANDOWSKI und VETTER 2009). Die verminderte Reflexion des auf Grünflächen anfallenden Lichtes ist im Straßenverkehr von Vorteil. Das Straßenbegleitgrün kann somit die Verminderung der Blendwirkung erwirken und die Verkehrssicherheit erhöhen (RÜMLER 1981).

IV. Sedimentations- und Haftwirkung

Stark zunehmende Luftverschmutzungen durch Feinstaub in Siedlungsgebieten ergeben Risiken für die menschliche Gesundheit. Pflanzen können Luftpartikel an ihrer Oberfläche binden. Durch die Bindung des Staubes an der Pflanzenoberfläche erfolgt die Entfernung des Staubes aus der Luft (SEMPEL et al. 2013). Die Sedimentations- und Haftwirkung von Rasenflächen wirkt gegen die Ausbreitung von verkehrsbedingten Luftverunreinigungen (RÜMLER 1981). Somit besitzen Pflanzen eine luftreinigende Wirkung. Windberuhigte Zonen in Bodennähe erzielen nicht so hohe Sedimentationsraten wie breitere Gehölzstreifen, sie erzielen dennoch Ablagerungen von Schadstoffen in Form von Aerosolen und Stäuben (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

V. Minderung der Schallausbreitung

Aufgrund des höchsten Schallpegels bei tiefen Frequenzen erfährt Verkehrslärm unabhängig vom Vegetationstyp z.B. Gehölze oder Wiese eine relativ hohe Dämpfung durch Pflanzen. Diese hohe Schallminderung gilt jedoch nicht für Lärm in höheren Frequenzbereichen (BASTIAN und SCHREIBER 1994).

VI. Artenvielfalt

Durch die intensive Nutzung der Kulturlandschaft ist ein Großteil der natürlichen und buntblühenden Pflanzen ganz verschwunden oder auf kleine Randflächen verdrängt worden. Die Bedeutung von farbigen und artenreichen Pflanzenbeständen für den Artenschutz steigt. Straßen- und Wegränder stellen gute Standorte für ästhetische und biologisch wertvolle

Pflanzengesellschaften dar ohne Flächenverluste für intensive Nutzungen. Zudem ist eine vielseitige Vegetation die Voraussetzung für eine artenreiche Fauna. Für viele Insekten und Tiere stellen Wiesengesellschaften die Lebensgrundlagen dar. Durch die Begrünung von Banketten, Böschungen und anderen Flächen in Verbindung mit Verkehrsflächen bildet das Straßenbegleitgrün ein Netzwerk von hoher ökologischer Bedeutung. Die wichtigsten Aspekte für die Artenvielfalt sind die Funktion als Nahrungsquelle, als Rückzugsort für Kleintiere, als Artenreservoir und als Leitlinienfunktion für die Ausbreitung von Flora und Fauna. Als direkte Nahrungsquelle für blütenbesuchende Insekten sind artenreiche Wiesenbestände mit Kräutern von hoher Wichtigkeit. Unter anderem sind Wildbienen, Hummeln, Schlupfwespen, pollenfressende Käfer, Schwebfliegen sowie Tag- und Nachtfalter auf blütenreiche Bestände angewiesen. Auch Vögel und Kleintiere profitieren entweder direkt oder indirekt von einer vielfältigen Pflanzengesellschaft aus Gräsern und Kräutern. Insekten sind auch für das Fortbestehen der Wiesengesellschaft und weiterer Tiere von Bedeutung. Einerseits sichern die Insekten durch Bestäubung den Bestand an Wildkräutern und andererseits stellen Insekten selbst für insektenfressende Vögel und Kleinsäuger die Nahrung dar (GILGEN 1983).

VII. Aufnahme und Reinigung von Oberflächenwässern

Grünflächen neben Verkehrsanlagen können einen Teil des natürlichen Wasserhaushaltes unterstützen. Laut ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) nehmen Grünflächen Straßenwässer auf und reinigen diese durch Versickerung auf Böschungen und angeschlossenen Sickermulden. Ansaatflächen dienen als Retentionsflächen und sind für die Regenwasserrückhaltung und Versickerung von hoher Bedeutung. Durch einen stabilen Aufwuchs der Begrünung kommt es zu verringerten Fließgeschwindigkeiten im Oberflächenabfluss und zur Reduzierung von Hochwasserspitzen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

2.6.2 Grenzen für die Anwendung von Ansaaten

Für die Entwicklung von Wiesenansaaten ist eine möglichst geringe Belastung wichtig. Flächen mit hohem Nutzungsdruck und Anforderungen an die Betretbarkeit sind für eine Begrünung mit Wiesensaatgut ungeeignet. Wiesenartige Ansaaten sollten möglichst ungestört wachsen können (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Aus Gründen der Verkehrssicherheit sollten Begrünungen im Bereich von Kreuzungen die Sichtachse nicht beeinträchtigen. Die Wuchshöhe sollte in sensiblen Bereichen 70 cm nicht übersteigen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Auf die Belastung mit Problemunkräutern oder durch massenhaft wachsende und aussamende Ruderalpflanzen ist zu achten. Stark belastete Flächen sind nur mit sehr großem Aufwand zu pflegen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Wiesenansaat können die Ansprüche an eine geordnete Gestaltung und die Anforderungen an die Blütezeit im Gegensatz zu Staudenbepflanzungen nur begrenzt erfüllen. Die optische Erscheinung und die Struktur einer Ansaat ist immer durch den Zufall gegeben (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass Wiesenansaat mehr Blütenpracht hervorbringen als Rasenansaat.

Bei wenig befahrenen Straßen besteht die Gefahr des seitlichen „Einwachsens“ der Vegetation in die Straßenrandzonen. Die Wurzeln von Pflanzen mit unterirdischen Ausläufern können unter die Fahrbahndecke wachsen und den Belag durchstoßen. Somit kann es bei falscher technischer Ausführung des Randabschlusses durch die Ansaat zu Beschädigungen des Belages und zu verringerten Straßenbreiten kommen (GILGEN 1983).

2.6.3 Saatgutvarianten für Straßenbegleitbegrünung im Siedlungsbereich bzw. Versickerungsanlagen

Für Flächenbegrünungen durch Ansaat stehen die Saatgutarten Rasenansaat und blütenreiche Ansaat zur Verfügung. Rasenansaat bestehen nur aus Gräsern, blütenreiche Ansaat sind mehrjährige Mischungen mit Kräuteranteil.

I. Rasen

Rasenbegrünungen stellen den Regelfall der Begrünungsvarianten dar. Rasenansaat bieten eine immergrüne und meist stark durchwurzelte Vegetationsdecke. Rasenflächen sind optisch einheitlich monotone Flächen, welche meist aufgrund von funktionalen Gründen den Vorzug vor anderen Begrünungsvarianten bekommen. Rasenflächen sind einfach zu pflegen. Dem Vorteil der relativ einfachen Pflege steht aber die hohe Anzahl an Schnittmaßnahmen gegenüber. Reine Rasenbestände bestehen aus Gräsern. Durch das Fehlen von Kräutern und Leguminosen sowie die häufigen Schnitte und das damit verbundene Abführen des Mahdgutes besitzen Rasenflächen kaum ökologischen Wert (EPPEL-HOTZ 2019).

II. Blütenreiche Ansaat

Eine weitere Saatgutvariante sind blütenreiche mehrjährige Mischungen. Dem Gräseranteil sind bei Blumenrasen- und Blumenwiesenmischungen Kräuter und Leguminosen in gewissen Anteilen beigefügt, um das Blühbild zu verändern. Blumenrasen sind „niedrig

wachsende schnitt- und trittresistente Gräser-Kräuterbestände als Alternative zum Gebrauchsrasen im Siedlungsbereich“ (ÖAG 2000, 8). Blumenwiesen sind „blütenreiche, von Gräsern und Kräutern dominierte Pflanzengesellschaften, die ein- bis dreimal jährlich gemäht werden“ (ÖAG 2000, 8). Die Blütenbestände dienen als zusätzliche Nektar- und Futterquellen für Schmetterlinge, Bienen und andere Insekten (EPPEL-HOTZ 2019). Die Kräuter und Leguminosen tragen „zur floristischen Bereicherung und ökologischen Stabilisierung artenarmer Grasansaat bei“ (FLL 2019, 11). Ökologisch gesehen sind blütenreiche Ansaaten wertvolle Alternativen zu reinen Rasenbeständen. Optisch punkten Blumenwiesen mit ihren attraktiven Blütenständen. Blütenreiche Ansaaten wie Kräuterrasen sind trockenheitsverträglicher und sind zur Benutzung geeignet (FLL 2019). Der Pflegeaufwand begrenzt sich, je nach Saatgutmischung, auf ein bis zwei Schnitte und Kontrollgänge auf Gehölz- sowie Dauerunkräuter pro Jahr. Dadurch sind Wiesenmischungen auch im Kostenvergleich im Vorteil gegenüber Rasenmischungen (EPPEL-HOTZ 2019).

2.6.4 Pflanzenarten – Saatgut

Die Pflanzenarten der jeweiligen Saatgutvarianten müssen gewisse Voraussetzungen hinsichtlich Umwelteinwirkungen erfüllen. In diesem Kapitel sind die wichtigsten Standortbedingungen beschrieben.

I. Trockener Standort mit zeitweiliger Überstauung

Für Versickerungsanlagen sind gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) Pflanzen zu wählen, welche zeitweilige Überstauung vertragen. Die Sickeranlagen sind laut RVS 04.04.11: 2020-09-05 so zu bemessen, dass die Entleerungszeit für das Bemessungsereignis maximal 24 Stunden beträgt (FSV 2020a). Das heißt, die Pflanzen müssen eine zeitweise Überstauung von mindestens einem Tag aushalten können. Aufgrund der schnellen Entleerungszeiten von funktionierenden Versickerungsanlagen handelt es sich dabei eher um trockene Standorte. Die Arten sollten grundsätzlich trockenheitsresistent sein und ohne Zusatzbewässerung am Standort überleben, jedoch einen gelegentlichen Einstau von bis zu 24 Stunden tolerieren können (EPPEL-HOTZ 2019).

II. Salzverträglichkeit

Der Einsatz von auftauenden Streumitteln im Winterdienst ermöglicht den Eintrag von Salzen in die Grünflächen, was mehrere unerwünschte Folgen mit sich bringt. Erhöhte Salzkonzentrationen haben in der Regel negative Auswirkungen auf Begrünungen und die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft. Im schlimmsten Fall sind Salzkonzentrationen am Straßenrand so hoch, dass sich halophile Pflanzengesellschaften bilden (ÖAG 2000).

Das verfügbare Bodenwasser hängt vom Salzgehalt ab. Durch das Salz im Boden ist das Bodenwasser stärker gebunden (EPPEL-HOTZ et al. 2016) und somit schwerer für Pflanzen verfügbar. Als Maximalwert des Salzgehalts gilt 150 mg/10 g für die Vegetationstragschicht (FLL 2008). Pflanzen benötigen bei hohen Salzgehalten die Auswaschung der Salzbelastung aus der durchwurzeltten Zone durch Niederschlagswässer, was wiederum negative Folgen für den Gewässerschutz mit sich bringt. Oftmals ist ein temporär erhöhter Salzgehalt auf die Verwendung von Frischkomposten in den Substraten zurückzuführen (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Die Beimengung von Kompost, Klärschlamm oder Torf als Bestandteile des Bodenfilters für Versickerungsanlagen ist jedoch laut ÖNORM EN ISO 22282-5: 2012-10-01 (ASI 2012a) nicht zulässig, um Verunreinigungen des Grundwassers zu verhindern.

Wichtig für das Pflanzenwachstum sowie die Grundwasserqualität ist gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) die, wenn nötig, geringstmögliche Ausbringung von Tausalzen im Bereich von Versickerungsanlagen.

III. Schadstoffbelastung

Die Atmosphäre an Straßenräumen ist durch die Abgase des Kraftverkehrs verändert. In der Luft befinden vor allem NO_x, PAHs, SO₂ und Rußpartikel. Der Boden ist durch Asphalt und Gummiabrieb belastet (ÖAG 2000).

IV. Beeinträchtigung durch Schneeräumung

Die Beeinträchtigung durch den mechanischen Druck des feuchten und verdichteten Schneematerials sowie die Einbringung von Straßenstaub, Splitt und Auftaumitteln in die Begrünungsfläche sind zu berücksichtigen (ÖAG 2000).

Saatgut

Am Saatgutsektor gibt es mehrere Varianten an Saatmischungen: ein-, zwei- und mehrjährige Mischungen. Einjährige Mischungen bestehen aus einjährigen Blumen, welche jedes Jahr einer erneuten Aussaat bedürfen. Das gewöhnliche Stadtgrün besteht aus zweijährigen Mischungen, deren Lebensdauer nach zwei bis drei Jahren endet. Für dauerhafte Begrünungen wie für Versickerungsanlagen kommen nur mehrjährige Saatmischungen in Frage. Mehrjährige Saatmischungen bilden bei richtiger Pflege sehr stabile Bestände (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Die Saatgutmischungen sind auf die jeweiligen Standorte und Anwendungsbereiche abzustimmen. Der Anwendungsort entscheidet über den zulässigen Einsatz verschiedener Arten. Um der Gefahr der Florenverfälschung zu entgehen (EPPEL-HOTZ et al. 2016) und den naturschutzrechtlichen Anforderungen nachzukommen, ist im Freiland nur heimisches

Saatgut zulässig. Aus ökologischen wie auch ökonomischen Gründen empfiehlt es sich, standortgerechtes Saatgut zu verwenden. Standortgerechtes Saatgut im weiteren Sinne erfüllt drei Kriterien. Erstens erfüllen die Pflanzenarten die ökologischen Amplituden des Standortes. Zweitens muss standortgerechtes Saatgut aus heimischen Pflanzenarten bestehen. Drittens soll das Saatgut aus einem möglichst hohen Maß an regionalem Saatgut bestehen (ÖAG 2000). Im Siedlungsbereich dürfen auch nicht-heimische Pflanzen Anwendung finden. Zur Minimierung der Einkreuzungsgefahr gebietsfremder Flora in die heimische Flora ist die Verwendung von gebietseigenem Saatgut für Flächen mit Kontakt zu Flächen der freien Natur z.B. Randlagen im Siedlungsbereich zu empfehlen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

In den Onlinedatenbanken vieler Saatguthersteller sind Saatgutmischungen für verschiedene Anwendungsgebiete zu finden. Die Pflanzenarten der folgenden Tabelle 5 sind in den meisten Saatgutmischungen für Straßenbegleitbegrünungen bzw. Versickerungsanlagen enthalten und können einen Anhaltspunkt für die Erstellung geeigneter Saatmischungen geben.

Tabelle 5: geeignete Arten (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach KÄRTNER SAATBAU E.GEN. o.J., RIEGER-HOFMANN GMBH o.J., SAATEN ZELLER GMBH & CO.KG. o.J.)

	Gräser	Kräuter + Leguminosen
Anteil von bis	50%-100%	0%-50%
Anteil Mittelwert	77%	23%
Art	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Medicago lupulina</i>
	<i>Lolium perenne</i>	<i>Leontodon hispidus</i>
	<i>Poa pratensis</i>	<i>Centaurea jacea</i>
	<i>Cynosurus cristatus</i>	<i>Lotus corniculatus</i>
	<i>Festuca rubra rubra</i>	<i>Galium album</i>
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	<i>Achillea millefolium</i>
	<i>Bromus erectus</i>	<i>Sanguisorba minor</i>
	<i>Festuca nigrescens</i>	<i>Prunella vulgaris</i>
	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Plantago lanceolata</i>
	<i>Festuca rubra trichophylla</i>	<i>Silene vulgaris</i>
	<i>Phleum pratense</i>	<i>Centaurea cyanus</i>
	<i>Festuca questfalica</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>
	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Pimpinella saxifraga</i>
	<i>Briza media</i>	<i>Galium verum</i>
	<i>Arrhenatherum elatius</i>	<i>Leontodon autumnalis</i>
	<i>Festuca ovina</i>	<i>Leucanthemum vulgare</i>
	<i>Festuca rubra</i>	<i>Anthemis tinctoria</i>
<i>Poa angustifolia</i>	<i>Papaver rhoeas</i>	
<i>Holcus lanatus</i>	<i>Silene dioica</i>	

	<i>Festuca ovina duriuscula</i>	<i>Cichorium intybus</i>
	<i>Poa compressa</i>	<i>Salvia pratensis</i>
	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Daucus carota</i>
	<i>Festuca rupicola</i>	<i>Knautia arvensis</i>
		<i>Potentilla verna</i>
		<i>Campanula rotundifolia</i>
		<i>Clinopodium vulgare</i>
		<i>Dianthus carthusianorum</i>
		<i>Plantago media</i>
		<i>Trifolium pratense</i>
		<i>Hypochaeris radicata</i>
		<i>Onobrychis viciifolia</i>
		<i>Hypericum perforatum</i>
		<i>Thymus pulegioides</i>
		<i>Betonica officinalis</i>
		<i>Trifolium repens</i>
		<i>Lychnis flos cuculi</i>
		<i>Origanum vulgare</i>
		<i>Tragopogon pratensis</i>
		<i>Crepis biennis</i>
		<i>Centaurea scabiosa</i>
		<i>Pastinaca sativa</i>
		<i>Achillea millefolium</i>
		<i>Petrorhagia saxifraga</i>
		<i>Trifolium dubium</i>
		<i>Calendula officinalis</i>
		<i>Bupthalmum salicifolium</i>
		<i>Bellis perennis</i>
		<i>Malva moschata</i>
		<i>Leucanthemum ircutianum/vulgare</i>
		<i>Matricaria chamomilla</i>
		<i>Veronica chamaedrys</i>
		<i>Trifolium campestre</i>
		<i>Prunella grandiflora</i>
		<i>Dianthus deltoides</i>
		<i>Carum carvi</i>
		<i>Anthemis nobilis</i>
		<i>Salvia nemoralis</i>
		<i>Ajuga reptans</i>

2.6.5 Pflege und Maßnahmen

In diesem Kapitel sind die Pflegemaßnahmen für Ansaaten im Bereich von Straßenbegleitbegrünungen im Siedlungsgebiet und Versickerungsanlagen erläutert.

Für die bestmögliche Koordination, einen möglichst geringen ökonomischen Einsatz der zur Verfügung stehenden Ressourcen und möglichst geringe Eingriffe in das ökologische System sind laut RVS 12.05.11: 2019-03-27 Pflegekonzepte gemäß ÖNORM L 1120 zu erstellen (FSV 2019). Bei besonders umfangreichen oder wartungsintensiven Versickerungsanlagen ist ein Wartungsplan vorgesehen. Der Wartungsplan soll Wartungs- und Kontrollintervalle sowie durchzuführende Maßnahmen enthalten. Die durchgeführten Kontrollgänge und Maßnahmen sind nach Vorbild der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) im Kontrollbuch zu dokumentieren.

Anwuchs-bzw. Entwicklungspflege und Erhaltungspflege

Die Maßnahmen der Anwuchs- und Entwicklungspflege sollen die Begrünung in der Anfangsphase der Neupflanzung unterstützen. Die Anwuchs- und Entwicklungspflege ist meist durch intensivere Arbeiten gekennzeichnet. Beim Anwachsen ist die Versorgung mit Wasser sicherzustellen. Etwaige Schnittmaßnahmen und Kontrollen der Pflanzflächen sind durchzuführen. An die Anwuchs- und Entwicklungsphase schließt die Erhaltungsphase. Die Erhaltungspflegearbeiten dienen der Aufrechterhaltung des Pflanzenbestandes. Die natürliche Entwicklung, die Aufrechterhaltung der vorgesehenen Funktionen und die Benutzersicherheit sind laut RVS 12.05.11: 2019-03-27 mit der Erhaltungspflege sicherzustellen (FSV 2019).

Neben den wiederkehrenden Pflegemaßnahmen der Erhaltungspflegephase bedürfen Versickerungsanlagen einer regelmäßigen Kontrolle und Wartung. Die optische Kontrolle sollte gemäß ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) mindestens halbjährlich und nach außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen erfolgen.

I. Schnittmaßnahmen

Die wichtigste Pflegemaßnahme für Rasen- oder Wiesenflächen ist die Mahd. Mäharbeiten zielen laut RVS 12.05.11: 2019-03-27 auf die Verdichtung der Rasennarbe zum Schutz von Oberflächenerosion ab. Rasen- oder Wiesenschnitte tragen zusätzlich zur Unterbindung von unerwünschtem Aufwuchs von Problemunkräutern und Gehölzen bei (FSV 2019).

Die Mäharbeiten sind nur bei trockenem oder abtrocknendem Gras durchzuführen. In Hitzeperioden sind nach Vorgaben der RVS 12.05.11: 2019-03-27 Schnittarbeiten von Rasen- und Wiesenflächen zu unterlassen (FSV 2019).

Die Schnitthäufigkeit richtet sich grundsätzlich nach der Saatmischung, dem Standort und der Witterung (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Der Tabelle 6 sind empfohlene Schnitthäufigkeiten gemäß ÖNORM L 1120: 2016-07-01 (ASI 2016a) zu entnehmen. Rasen- oder Wiesenbestände in Extensivpflegezonen mit wenig Wichtigkeit für die Verkehrs- und

Betriebssicherheit sind gemäß RVS 12.05.11: 2019-03-27 mindestens einmal pro Jahr zu mähen (FSV 2019). Blumenwiesenbestände benötigen am wenigsten Schnitte. Eine Blumenwiese bedarf zwei Schnitte pro Jahr. Der erste Schnitt ist nach der Vollblüte ab Mitte Juni nötig. Das Abwarten der Vollblüte ist die Voraussetzung der Selbstaussaat einjähriger Blumen für die Folgejahre. Der zweite Mahdengang sollte im Spätherbst erfolgen (AUSTROSAAT o.J.). Ansaaten in Intensivpflegezonen mit hohem Augenmerk auf Verkehrssicherheit, Funktion und Ästhetik sind in der Regel öfter als einmal zu mähen. In der Definition der RVS 12.05.11: 2019-03-27 zählen zur Intensivpflegezone die Bankettflächen, Sichträume an Verkehrsflächen in Kreuzungsbereichen und Entwässerungseinrichtungen wie Mulden und Straßengräben (FSV 2019).

Die Schnitthöhe soll je nach Funktionstyp und Gebrauch zwischen 2 – 10 cm betragen. Die Schnitthöhe ist mit 4 – 6 cm zu empfehlen, wobei nicht mehr als 50 % der Aufwuchshöhe zu entfernen sind (FLL 2008).

Zur Vermeidung zusätzlichen Nährstoff-Eintrages ist das Schnittgut zu entfernen. Durch das Abführen des Schnittgutes bleibt laut RVS 12.05.11: 2019-03-27 eine „eher kräuterreiche Vegetation, welche mehr Schutz vor Oberflächenerosion bietet“ (FSV 2019, 12) erhalten.

Tabelle 6: Rasenschnitt (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach ASI 2016a)

Rasentypen	Schnitthäufigkeit pro Jahr in Abhängigkeit der Funktion	Schnitthöhe [cm]
Landschaftsrassen	1 ⁽⁰⁾ bis 4	5 bis 10
Gebrauchsrassen	6 bis 20	3 bis 8
Spielrasen	6 bis 20	3 bis 5
Zierrassen	über 20	2 bis 3
⁽⁰⁾ Mehrjährige Intervalle möglich		

Ein Reinigungsschnitt, auch Vormahd genannt, ist dann durchzuführen, wenn nach der Ansaat durch eine beigemengte Art bzw. Unkräuter mehr als 50 % des Bodens bedeckt sind (ÖAG 2000). Dieser Schnitt sollte vor der Blüte bzw. Samenreife erfolgen. Auch hier ist das Schnittgut zu entfernen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

II. Kontrolle und Entfernung von unerwünschtem Aufwuchs

Die Pflanzflächen sind jährlich auf unerwünschten Aufwuchs zu kontrollieren und gegebenenfalls Maßnahmen gegen die Ausbreitung unerwünschter Pflanzen zu setzen.

Gehölzsämlinge und Problemunkräuter sind zu entfernen (EPPEL-HOTZ et al. 2016). Unerwünschte Pflanzen sind samt ihrer Wurzeln durch mechanische Eingriffe (Jäten) zu entnehmen. Bei der Entnahme des unerwünschten Aufwuchses soll nach Empfehlung in der ÖNORM L 1120: 2016-07-01 das Bodengefüge möglichst ungestört bleiben (ASI 2016a).

Bei starkem Wuchs von unerwünschten Beikräutern, wo ein Entfernen per Handarbeit nicht mehr möglich ist, ist ein Reinigungs- oder Schröpfschnitt durchzuführen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Maßnahmen zur Bekämpfung invasiver Neophyten sind auf jede Pflanzenart individuell abzustimmen. Behördliche Auflagen und Vorgaben sind gemäß RVS 12.05.11: 2019-03-27 rechtzeitig umzusetzen (FSV 2019). Zu beachten ist, dass eine Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch natürliche Sukzession keinen Mangel darstellt (FLL 2008).

III. Kontrolle und Entfernung von Falllaub

Falllaub aus der Umgebung ist umgehend zu entfernen. Insbesondere Bereiche von Überläufen sind aufgrund der Gefahr von Verstopfungen von Falllaub freizuhalten. Überläufe, Einlaufgitter und Rechen sind laut ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) regelmäßig, jedenfalls nach größeren Regenereignissen, zu kontrollieren und freizuräumen.

IV. Kontrolle und Entfernung von Abfall

Abfälle wie Flaschen, Dosen, Papier, etc. sind zu entsorgen. Um Mäharbeiten nicht zu behindern und weitere Verschmutzungen des Erdreichs und Grundwassers zu vermeiden, sind nach ÖNORM L 1120: 2016-07-01 Abfälle ordnungsgemäß abzuführen (ASI 2016a).

V. Kontrolle und Behebung von oberflächlichen Erosionsschäden

Beim Auftreten von Erosionsschäden sollte nach Empfehlung in der RVS 12.05.11: 2019-03-27 zuerst die Behebung der Schadensursache und danach die Wiederherstellung der Vegetationsdecke erfolgen (FSV 2019).

I. Nachsaat

Kahlstellen sind durch Nachsaat als Schutz vor Oberflächenerosion zu begrünen. Besonders wichtig für die Entscheidung über eine erforderliche Nachsaat ist die Entwicklung bei der

Abnahme. Ein abnahmefähiger Zustand ist laut ÖNORM B 2241: 2013-06-01 (ASI 2013b) bei 60 % Deckungsgrad erreicht. In der Richtlinie für standortgerechte Begrünungen ist schon eine Nachsaat zu veranlassen, wenn nach einem halben Jahr 75 % Deckung nicht erreicht ist (ÖAG 2000). Die Vorgaben der ÖNORM L 1120: 2016-07-01 sehen vor, dass das Saatgut und die Saatechnik gemäß Pflegeziel zu wählen ist und die Ansaat, wie in ÖNORM L 1111 gefordert, durchzuführen ist (ASI 2016a).

II. Bewässerung

Eine Bewässerung ist nur in Fällen der Fertigstellungspflege notwendig. Das Saatgut ist zu wässern, wenn ausreichende Bodenfeuchtigkeit fehlt und eine Verwehung oder Vertrocknung gekeimten Saatgutes zu verhindern ist (FLL 2008). Nach der Anwuchspflege für die Begrünung ist gewöhnlich keine Bewässerung nötig. Rasenflächen überstehen Trockenperioden im Regelfall gut und regenerieren schnell. Ist jedoch die Grünfläche in einem schlechten Allgemeinzustand, kann laut RVS 12.05.11: 2019-03-27 eine Wassergabe gegen das Absterben der Vegetation Abhilfe schaffen (FSV 2019). Bei der Notbewässerung ist auf eine Ausbringung in möglichst kleinen Tropfen und eine gleichmäßige Durchfeuchtung der Vegetationstragschicht zu achten (FLL 2008).

III. Düngung, Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung

Eine Düngung ist im Normalfall nicht notwendig. Düngemittel können ungewünschte Erscheinungen mit sich bringen. Die durch die Düngung eingebrachten Nährstoffe steigern die Schnittgutmengen und fördern das Wachstum unerwünschter Pflanzen (EPPEL-HOTZ et al. 2016).

Der Einsatz von Pflanzenschutz- oder Schädlingsbekämpfungsmitteln ist bei Versickerungsanlagen aufgrund der Vorgaben der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) gänzlich untersagt.

2.7 Begriffsbestimmungen

Zur besseren Verständlichkeit sind in diesem Kapitel die präzisen Definitionen der verwendeten Fachbegriffe dargestellt.

Ansaat: „Maßnahmen zur Erzielung eines Pflanzenbestandes durch Ausbringen von Samen“ (ÖNORM B 2241: 2013-06-01 (ASI 2013b, 5)).

Begrünung: „Herstellung von Vegetation aus vorwiegend Gräsern und Kräutern“ (ÖNORM L 1113: 2014-04-01 (ASI 2014, 4)).

Boden, natürlich: „Boden ist die oberste Schicht der Erdkruste, die durch Umwandlung mineralischer und organischer Substanzen und unter Einfluss vielfältiger Verlagerungsprozesse entsteht“ (BROCKHAUS o.J. a).

„oberster Bereich der Erdkruste, der durch Verwitterung, Um- und Neubildung (natürlich oder anthropogen bedingt) entstanden ist und weiter veränderbar ist“ (ÖNORM L 1111: 2019-11-15 (ASI 2019a, 5)).

Boden, künstlich hergestellt: „Böden, die aus natürlichem Bodenmaterial (Aushubmaterial, auch Gestein), aus organischem oder technogenem Material (zB Schutt, Asche, Schlamm, biogene oder industrielle Abfälle) hergestellt wurden sowie Böden mit deutlichen Anzeichen einer tiefreichenden Bodenbearbeitung (zB Rigolböden)“ (ÖNORM L 1050: 2016-03-15 (ASI 2016b, 14)).

Bodenfilter: „Aus Bestandteilen eines natürlich gewachsenen Bodens bestehender Filter, der zum Rückhalt und/oder Abbau von organischen und anorganischen Inhaltsstoffen geeignet und flächendeckend dauerhaft begrünt ist. Die Reinigungswirkung basiert auf physiko-chemischen, mikrobiologischen und pflanzenphysiologischen Prozessen“ (RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a, 3)).

Bodenhilfsstoffe: „Stoffe ohne wesentlichen Gehalt an aufnehmbaren Nährstoffen für die Pflanze, die den Boden biotisch, chemisch oder physikalisch beeinflussen, um seinen Zustand oder die Wirksamkeit von Düngemitteln zu verbessern“ (ÖNORM L 1113: 2014-04-01 (ASI 2014, 4)).

Bodenwasserhaushalt: „durchschnittliche Wasserversorgung eines Standortes, die sich aus der Summe aller herein- und hinausgehenden Wasserflüsse sowie der Änderung des Wasservorrats, bezogen auf ein definiertes Bodenvolumen, als Funktion der Zeit ergibt. Der Wassergehalt verändert sich durch Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Wasser und durch Reaktion im Boden in Abhängigkeit von Bewuchs, Witterungsverlauf und hydrologischer Situation sowie von Ort, Zeit und Bodentiefe. Die Wasserhaushaltsgleichung beschreibt die herein- und hinausgehenden Wasserflüsse“ (ÖNORM L 1050: 2016-03-15 (ASI 2016b, 7)).

Entwässerungsgraben (Straßengraben): „Linienförmige Vertiefung im Gelände neben einer Straße zur Ableitung des Oberflächenwassers“ (RVS 03.08.67: 2007-05-01 (FSV 2007, 2)).

Entwässerungsmulde: „Konkav geformte Bodensenke zur Reinigung, Versickerung und Ableitung von Straßenwässern“ (RVS 04.04.11: 2011-01-01 (FSV 2011, 5)).

Oberbau: „Bauwerk, das sich auf einer Aufschüttung befindet“ (ÖNORM EN 16907: 2019-03-15 (ASI 2019b, 12)).

Oberboden: „Oberer Mineralbodenbereich, der mit organischer Substanz angereichert ist“ (RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a, 5)).

Porenvolumen: „mit Luft und Wasser gefüllte Hohlräume im Boden“ (ÖNORM L 1050: 2016-03-15 (ASI 2016b, 16)).

Sickerraum, freier: „Abstand von der Filterunterkante der Sickeranlage zum maßgebenden Grundwasserstand“ (RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a, 3)).

Standort: „Wuchsort der Pflanze mit der Gesamtheit der einwirkenden biotischen und abiotischen Umweltfaktoren“ (ÖNORM L 1113: 2014-04-01 (ASI 2014, 5)).

Starkregen, Starkniederschlag: „Hohe Niederschlagsmengen innerhalb relativ kurzer Zeit. ... Starkniederschläge lassen sich in flächige und kleinräumige Ereignisse unterteilen. Flächige Starkniederschläge werden durch Tiefdruckgebiete oder Staueffekte an Gebirgen ausgelöst (oft auch in Kombination) und können über das ganze Jahr hinweg beobachtet werden. Konvektion (also Niederschlag in Form von Schauern und Gewittern) ist dagegen der Auslöser für kleinräumige Starkniederschläge, diese kommen daher hauptsächlich während des Sommerhalbjahres (April bis September) vor“ (ZAMG, o.J.).

Stauwasser: „oberflächennahes Wasser, das durch eine gering durchlässige Schicht am Versickern gehindert wird“ (ÖNORM L 1050: 2016-03-15 (ASI 2016b, 18)).

Straßenwasser: „Wasser, das auf der Fahrbahn (Fahrfläche und befestigter Seitenstreifengem RVS 03.03.31) anfällt“ (RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a, 5)).

Streumittel, -gut: „Mittel mit abstumpfender und/oder auftauender Wirkung zur Erhöhung der Griffigkeit bei winterlicher Straßenglätte“ (RVS 12.04.16: 2017-11-01 (FSV 2017, 2)).

Substrat: „Mischung aus organischen oder mineralischen Materialien zur Bodenverbesserung oder als Vegetationstragschicht für Pflanzen“ (ÖNORM L 1111: 2019-11-15 (ASI 2019a, 7)).

Unterbau: „notwendige Veränderungen des Untergrundes zum Höhenausgleich oder zur Verbesserung der Tragfähigkeit“ (ÖNORM L 1111: 2019-11-15 (ASI 2019a, 7)).

Untergrund: „gewachsener oder geschütteter Boden unterhalb der Straßenbefestigung“ (BROCKHAUS o.J. b).

Vegetationstragschicht: „Bereich des Bodens, in welchem die Pflanzen wurzeln, in der Regel im Bereich des Oberbodens sowie in Teilbereichen des Unterbodens“ (ÖAG 2000, 10).

„Schicht, die auf Grund ihrer physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften die Fähigkeit besitzt, als Pflanzenstandort zu dienen“ (ÖNORM L 1050: 2016-03-15 (ASI 2016b, 20)).

Verdichtung, Bodenverdichtung: „die Verringerung des Hohlraumvolumens ... im Boden, zum Teil auf einzelne Bodenhorizonte beschränkt. ... Bodenverdichtung erschwert die Bewegung des Bodenwassers sowie das Eindringen und die Ausbreitung der Wurzeln“ (BROCKHAUS o.J. c).

Versiegelung, Bodenversiegelung: „die menschlichen Eingriffe (z. B. die Abdichtung oder Auffüllung des Bodens), mit denen die Infiltration von Niederschlag in den Boden unterbrochen oder behindert und dadurch die Grundwasserbildung verhindert wird. Allgemeiner betrachtet schränkt Versiegelung den Austausch zwischen Böden (Pedosphäre), Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre ein oder unterbindet ihn völlig, z. B. durch Bebauung“ (BROCKHAUS o.J. d).

Wasser, oberirdisches (Oberflächenabfluss): Niederschlagswasser, das von einer Oberfläche in eine Abwasserleitung, einen Entwässerungskanal oder aufnehmendes Gewässer abfließt“ (ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017, 14)).

Wasserbilanz: „quantitative Gegenüberstellung von Komponenten des Wasserkreislaufs einschließlich der Vorratsänderung des Wassers in einem Gebiet, während eines anzugebenden Zeitabschnittes“ (ÖNORM B 2400: 2016-03-01 (ASI 2016c, 7)).

2.8 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtlichen und normierten Rahmenbedingungen von Planung, Bau und Instandhaltung bzw. Pflege von Versickerungsanlagen und Straßenbepflanzungen sind im folgenden Kapitel erläutert. Die Betrachtung des rechtlichen bzw. normierten Rahmens bezieht sich auf bau- und wasserrechtliche sowie vegetationstechnische Vorgaben.

2.8.1 Gesetze

Die hier erwähnten Rechtsmaterien bilden den Rahmen für Niederschlagsbewirtschaftung, Bau und Betrieb von begrünten Versickerungsanlagen sowie Straßenbegleitbegrünungen. Die wesentlichen Bestimmungen kommen aus dem Wasserrecht, Baurecht und Naturschutzrecht. Eine klare Abtrennung bzw. Wiedergabe der wichtigsten Gesetze ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Wasserrecht

Hinsichtlich Wasserbehandlung und Wasserqualität in Europa und insbesondere in Österreich gelten die Bestimmungen der folgenden Gesetze mit allen zugehörigen Rechtsvorschriften in den geltenden Fassungen:

- WRRL 2000/60/EG: EU-Wasserrahmenrichtlinie
- GWRL 2006/118/EG: Grundwasserrichtlinie
- WRG 1959: Wasserrechtsgesetz

Baurecht

Für Bauvorhaben in Österreich gelten die nachfolgenden Gesetze und Verordnungen. Das Baurecht ist in Österreich durch die Bauordnungen der neun Bundesländer geregelt und unterliegt den Landesgesetzgebungen. Die Regelungen der Bundesländer sind (BMDW 2021):

- Burgenland
 - Burgenländisches Baugesetz 1997
 - Burgenländische Bauverordnung 2008
 - Burgenländisches Raumplanungsgesetz
- Kärnten
 - Kärntner Bauordnung 1996
 - Kärntner Gemeindeplanungsgesetz 1995
- Niederösterreich
 - Niederösterreichische Bauordnung 2014
 - Niederösterreichisches Raumordnungsgesetz 2014
- Oberösterreich
 - Oberösterreichische Bauordnung 1994
 - Oberösterreichisches Raumordnungsgesetz 1994
- Salzburg
 - Baupolizeigesetz 1997
 - Bautechnikgesetz 2015
 - Bautechnikverordnung
 - Bebauungsgrundlagengesetz
 - Salzburger Ortsbildschutzgesetz 1999
 - Salzburger Raumordnungsgesetz 2009
- Steiermark
 - Steiermärkisches Baugesetz
 - Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010

- Tirol
 - Tiroler Bauordnung 2018
 - Tiroler Raumordnungsgesetz 2016
- Vorarlberg
 - Vorarlberger Baugesetz
 - Vorarlberger Gesetz über die Raumplanung
- Wien
 - Bauordnung für Wien
 - Nebengesetze zur Wiener Bauordnung

Naturschutzrecht

Ebenso wie beim Baurecht ist auch die Naturschutzgesetzgebung und deren Vollzug in der Kompetenz der neun Bundesländer.

2.8.2 Richtlinien und Normen

Die folgenden Richtlinien und Normen stellen die Rahmenbedingungen für Straßenbegleitgrün und nachhaltiges Regenwassermanagement dar.

ÖNORMEN

Das Austrian Standards Institut gibt seit 1920 als unabhängige und neutrale Plattform nationale Normen in allen Bereichen heraus. Austrian Standards ist das österreichische Mitglied des Europäischen Komitees für Normung (CEN) und der Internationalen Organisation für Normung (ISO) (ASI o.J.).

Die wesentlichen Normen sind:

- ÖNORM B 2506-1 (2013-08-01): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb
- ÖNORM B 2506-2 (2012-11-15): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 2: Qualitative Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen
- ÖNORM B 2506-3 (2018-07-15): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 3: Filtermaterialien - Anforderungen und Prüfmethode
- ÖNORM B 4417 (2018-05-01): Geotechnik – Untersuchung von Böden – Statischer Lastplattenversuch

- ÖNORM B 4422-2 (2002-06-01): Erd- und Grundbau – Untersuchung von Böden; Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit – Feldmethoden für oberflächennahe Schichten
- ÖNORM B5102 (2021-01-01): Reinigungsanlagen für Regenwasser von Verkehrs- und Abstellflächen (Verkehrsflächen-Sicherungsschächte)
- ÖNORM EN 752 (2017-07-01): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement
- ÖNORM EN ISO 17892-11 (2021-04-15): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019)
- ÖNORM EN ISO 22282-5 (2012-10-01): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 5: Infiltrometerversuche (ISO 22282-5:2012)
- ÖNORM L 1050 (2016-03-15): Boden als Pflanzenstandort – Begriffe und Untersuchungsverfahren
- ÖNORM L 1111 (2019-11-15): Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung
- ÖNORM L 1112 (2010-09-01): Anforderungen an die Bewässerung von Grünflächen
- ÖNORM L 1120 (2016-07-01): Gartengestaltung und Landschaftsbau – Grünflächenpflege Grünflächenerhaltung
- ÖNORM L 1210 (2007-03-01): Anforderungen für die Herstellung von Vegetationstragschichten

Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS)

Die Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV) bestimmt in Österreich die Richtlinien und Vorschriften für den Aufbau von Straßen- und Verkehrswegen. Die sogenannten Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) werden von der FSV am neuesten Stand der Technik gehalten und herausgegeben.

Für die Themen Straßenbegrünung und Versickerungen sind folgende Richtlinien maßgebend:

- RVS 03.04.12 (2020-03-01): Planung und Entwurf von Innerortsstraßen
- RVS 03.08.65 (2012-11-12): Straßenentwässerung
- RVS 03.10.11 (2019-03-27): Planung und Anlage von Grünflächen
- RVS 04.04.11 (2020-09-05): Gewässerschutz an Straßen
- RVS 08.03.04 (2008-06-09): Verdichtungsnachweis mittels dynamischen Lastplattenversuches

- RVS 08.18.01 (2020-05-01): Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen
- RVS 12.05.11 (2019-03-27): Grünflächenpflege

ÖWAV Regelblätter

Der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) setzt sich als gemeinnütziger Verein für die Erreichung der nachhaltigen Ziele der Wasser- und Abfallwirtschaft in Österreich ein (ÖWAV o.J.).

Zur Unterstützung der Durchsetzbarkeit der Ziele gibt der ÖWAV die eigens erstellten ÖWAV-Regelwerke, Leitfäden und Merkblätter heraus. Maßgeblich für Versickerungsvorhaben sind folgende Regelblätter.

- ÖWAV Regelblatt 9 (2008): Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren
- ÖWAV Regelblatt 11 (2009): Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen
- ÖWAV Regelblatt 35 (2019): Einleitung von Niederschlagswässern in Oberflächengewässer
- ÖWAV Regelblatt 45 (2015): Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund

Richtlinie für standortgerechte Begrünungen

Die Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft (ÖAG) ist ein gemeinnütziger Verein mit dem Ziel der Verbreitung von Fachwissen in der landwirtschaftlichen Praxis (ÖAG o.J.).

Hierfür hat die ÖAG eine Richtlinie für Begrünungen herausgegeben:

- Richtlinie für standortgerechte Begrünungen (2000)

FLL-Regelwerke

Die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) ist ein 1975 gegründeter Verein welcher sich als Wirtschaftsnetzwerk der Grünen Branche sieht. Fachexperten erarbeiten in 65 Ausschüssen die FLL-Regelwerke, Branchenempfehlungen und Fachberichte. Die von der FLL herausgegebenen Regelwerke und Empfehlungen sind als Normwerke der Grünen Branche angesehen (FLL o.J.).

Entscheidende Werke für das Thema dieser Arbeit sind:

- Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung (2005)

- Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen (2018)

3 Versuchsaufbau – Material und Methoden

Nach den theoretischen Grundlagen zum nachhaltigen Regenwassermanagement auf Versickerungsflächen mit Saatgutmischungen im vorhergehenden Kapitel folgt in diesem Kapitel der Versuchsaufbau mit den benötigten Materialien und Methoden. Der Versuchsstandort, die Substrat- und Saatgutvarianten sowie die Aufnahme- und Auswertungsmethoden der Daten sind in den folgenden Unterkapiteln genau erläutert.

3.1 Versuchsstandort

Das SAVE-Projekt ist auf drei Versuchsstandorte in Wien (siehe Abbildung 7) aufgeteilt. Die Standorte sind unterschiedlich hinsichtlich ihrer Ausgestaltung. Je Standort sind die Substrat-Vegetationskombinationen anders zusammengestellt. Die Flächen sind mit den verschiedenen SAVE-Substraten und mit unterschiedlichen Baumarten oder Saatgutmischungen bepflanzt. Aus den heterogenen Versuchsorten ergeben sich je Standort auch unterschiedliche Fragestellungen.

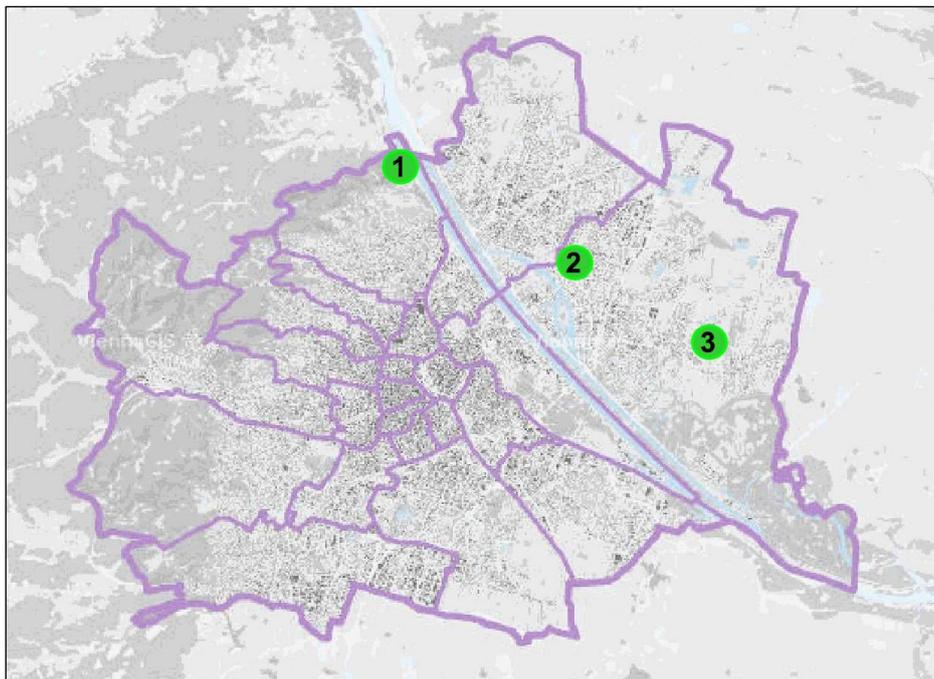


Abbildung 7: SAVE-Versuchsstandorte (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach Stadt Wien – ViennaGIS)

1. Kuchelauer Hafenstraße, 19. Bezirk
 - a. Sickermulde mit Ansaaten (SM4)
 - b. Sickermulde mit Baumpflanzungen (SM8)
2. Attemsgasse, 22. Bezirk
 - a. Baumscheiben

3. Edith-Piaf-Straße, 22. Bezirk

a. Sickermulde mit Baumpflanzungen

Diese Masterarbeit geht auf den Standort 1 (Kuchelauer Hafestraße, Sickermulde 4) ein. Die Fragestellungen der Standorte 2 (Attemsgasse) und 3 (Edith-Piaf-Straße) sind aufgrund der fehlenden Ansaatbegrünungen nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Kuchelauer Hafestraße, Sickermulde 4

Die Saatgutabtestungen des SAVE-Projektes befinden sich am Standort Kuchelau, im 19. Wiener Gemeindebezirk im Norden Wiens. Die Sickermulde 4 dient als längsverlaufende Entwässerungsanlage der direkt südwestlich angrenzenden Kuchelauer Hafestraße (siehe Abbildung 9). Die Mulde ist als klassische Sickermulde mit Ansaatbegrünung ausgeführt (siehe Abbildung 8). Die Länge der Mulde beträgt 130,00 m. Der Querschnitt (siehe Abbildung 10) hat eine Breite von 1,50 - 3,55 m. Die nordöstliche Begrenzung stellt eine Hecke dar. Der Zufluss des Niederschlagswassers erfolgt über die gesamte Länge der Sickermulde. Die Böschungen auf beiden Seiten sind im Verhältnis 1:3 geneigt. Die „Heckenböschung“ ist süd-westlich exponiert, die „Straßenböschung“ ist nord-östlich exponiert. Die Tiefe der Mulde beträgt ca. 30 cm. Die Substrate sind ein- bzw. zweischichtig (bei Speichersubstraten) eingebaut. Einschichtige Substrataufbauten besitzen eine Dicke von 30 cm, zweischichtige Varianten sind in Summe 80 cm stark. Die gesamte Sickermulde ist somit aufgeteilt in zehn Substratvarianten (siehe Kapitel 3.1.1), welche wiederum zu je drei Saatgutvarianten (siehe Kapitel 3.1.2) geteilt sind. Die Messgeräte der kontinuierlichen Onlineüberwachung sind in zwei Betonschächten mit Stromanschluss untergebracht. Am nördlichen Ende der Mulde befindet sich ein Notüberlauf.

Die einzelnen Versuchspartellen sind ca. 3,00 – 4,00 m mal der Breite der Mulde groß. Die Versuchflächen am Standort Kuchelauer Hafestraße wurden im Sommer 2018 hergestellt. Der Einbau der Substrate und der Messeinrichtungen sowie die Ansaat der Vegetation erfolgte durch die Stadt Wien unter Aufsicht durch die Universität für Bodenkultur Wien (LÜBKE 2019).



Abbildung 8: Kuchelauer Hafenstraße Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

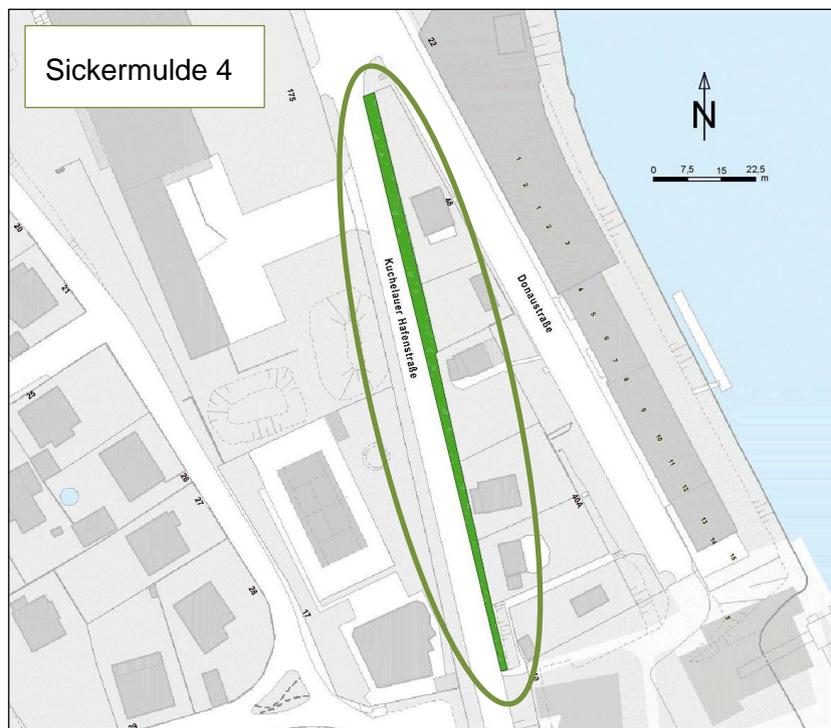
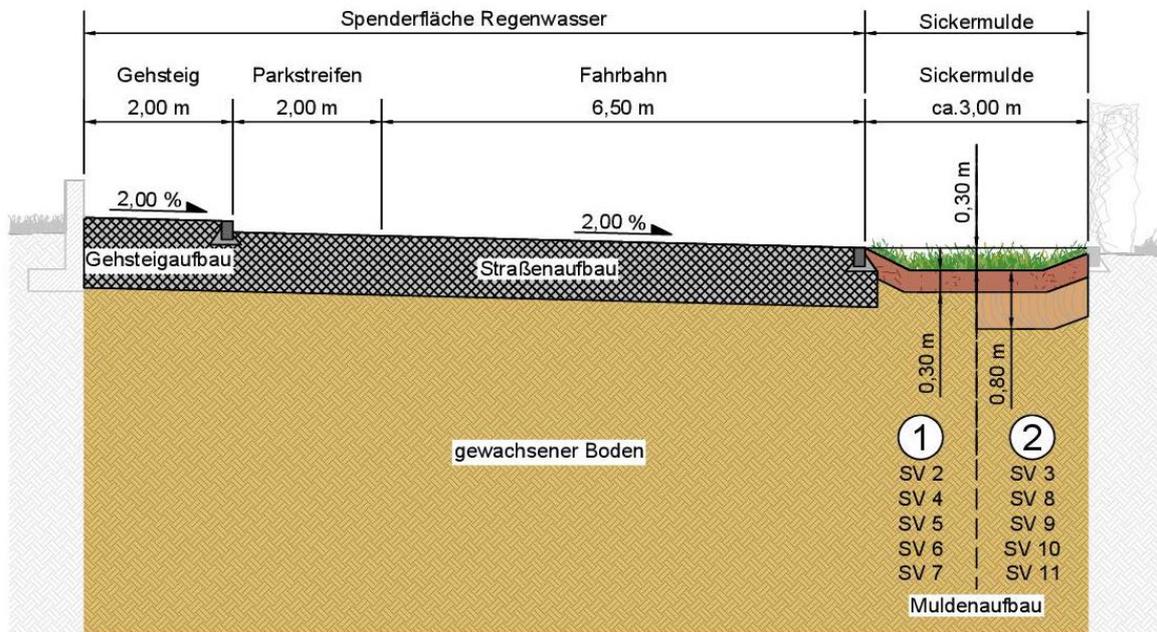


Abbildung 9: Lageplan Kuchelauer Hafenstraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach Stadt Wien – ViennaGIS)

Querschnitt Kuchelauer Hafenstraße - Sickermulde 4



- 1) Einschichtiger Aufbau
- 2) Zweischichtiger Aufbau (Speichersubstrat)

Abbildung 10: Querschnitt Kuchelauer Hafenstraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

3.1.1 Substratvarianten SAVE-Projekt

Im Zuge des SAVE-Projektes kommen verschiedene Substratkombinationen zur Abtestung. Um die Ergebnisse der Messungen in Relation setzen zu können, sind neben den eigens für das Forschungsprojekt entwickelten SAVE-Substraten auch das Wiener Baums substrat und der gewöhnliche Oberboden als Substratvarianten eingebaut.

Die Substratvarianten unterscheiden sich in der Zusammensetzung und den Anteilen der Bodenhilfsstoffe. Die Substrate setzen sich laut KOS (2017) wie folgt zusammen:

- SaPf.Perlit = Blähton, Granulit, Kompost, Perlit
- SaPf.Zeolith = Blähton, Granulit, Kompost, Zeolith
- SaPf.Kombi = Blähton, Granulit, Kompost, Perlit, silikatischer Sand, Zeolith
- SaPf.Kalk = Blähton, Dolomit, Kompost, Perlit, Zeolith
- SaSp. = Blähton, Perlit, Stützkorn, Zeolith

WBS.O = Granulit, Kompost

WBS.U = Granulit

a.B. = anstehender Boden

Die verschiedenen Substrate sind ein- bzw. zweischichtig eingebaut. Der Tabelle 7 sind die Aufbauten der Substratvarianten der Sickermulde 4 zu entnehmen.

Tabelle 7: Substratvarianten Kuchelauer Hafestraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Variantenbez.	Substratvariante	Aufbauvariante	Abkürzungen
SV 2	Oberboden anstehender Boden	+ einschichtig	Oberboden/a.B.
SV 5	SAVE Pflanzsubstrat anstehender Boden	Zeolith + einschichtig	SaPf.-Zeolith/a.B.
SV 6	SAVE Pflanzsubstrat anstehender Boden	Kombi + einschichtig	SaPf.-Kombi/a.B.
SV 7	SAVE Pflanzsubstrat anstehender Boden	Kalk + einschichtig	SaPf.-Kalk/a.B.
SV 4	SAVE Pflanzsubstrat anstehender Boden	Perlit + einschichtig	SaPf.-Perlit/a.B.
SV 9	SAVE Pflanzsubstrat SAVE Speichersubstrat	Zeolith + zweischichtig	SaPf.-Zeolith/SaSp.
SV 10	SAVE Pflanzsubstrat SAVE Speichersubstrat	Kombi + zweischichtig	SaPf.- Kombi/SaSp.
SV 3	Wr. Baums substrat Oberbausubstrat + Wr. Baums substrat Unterbausubstrat	+ zweischichtig	WBS. O/WBS. U
SV 8	SAVE Pflanzsubstrat SAVE Speichersubstrat	Perlit + zweischichtig	SaPf.-Perlit/SaSp.
SV 11	SAVE Pflanzsubstrat SAVE Speichersubstrat	Kalk + zweischichtig	SaPf.- Kalk/SaSp.

3.1.2 Saatgutvarianten SAVE-Projekt

Die Vegetation der Sickermulde 4 bilden drei verschiedene Saatgutvarianten. Die Varianten sind Standardrasenmischung der Stadt Wien (S), SAVE-Blumenrasenmischung (BR) und SAVE-Blumenwiesenmischung (BW). Die drei Varianten des Versuches unterscheiden sich

in der Zusammensetzung des Saatgutes. In den folgenden Tabelle 8 bis 10 sind die genauen Zusammensetzungen der Saatgutmischungen nachzulesen.

Tabelle 8: Standardrasenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Standardrasen (S)	
Art	Anteil
Gräser	100,00%
<i>Lolium perenne</i>	50,00%
<i>Poa pratensis</i>	45,00%
<i>Festuca rubra</i>	5,00%

Tabelle 9: SAVE-Blumenrasenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Blumenrasenmischung (BR)	
Art	Anteil
Gräser	80,00%
<i>Festuca ovina duriuscula</i>	10,00%
<i>Festuca questfalica</i>	10,00%
<i>Festuca nigrescens</i>	10,00%
<i>Poa pratensis</i>	10,00%
<i>Festuca rubra rubra</i>	5,00%
<i>Festuca rubra trichophylla</i>	5,00%
<i>Festuca arundinacea</i>	5,00%
<i>Agrostis capillaris</i>	5,00%
<i>Cynodon dactylon</i>	5,00%
<i>Cynosurus cristatus</i>	5,00%
<i>Lolium perenne</i>	5,00%
<i>Poa compressa</i>	5,00%
Leguminosen	5,00%
<i>Medicago lupulina</i>	3,00%
<i>Lotus corniculatus</i>	1,50%
<i>Trifolium repens</i>	0,50%
Kräuter	15,00%
<i>Achillea millefolium</i>	2,00%
<i>Sanguisorba minor</i>	1,50%
<i>Anthemis nobilis</i>	1,00%
<i>Leucanthemum vulgare</i>	1,00%
<i>Pimpinella saxifraga</i>	1,00%
<i>Salvia nemoralis</i>	1,00%

<i>Thymus pulegioides</i>	1,00%
<i>Centaurea jacea</i>	0,75%
<i>Prunella vulgaris</i>	0,75%
<i>Bellis perennis</i>	0,50%
<i>Galium album</i>	0,50%
<i>Leontodon autumnalis</i>	0,50%
<i>Leontodon hispidus</i>	0,50%
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	0,50%
<i>Plantago media</i>	0,50%
<i>Potentilla verna</i>	0,50%
<i>Ajuga reptans</i>	0,50%
<i>Veronica chamaedrys</i>	0,50%
<i>Silene vulgaris</i>	0,50%

Tabelle 10: SAVE-Blumenwiesenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Blumenwiesenmischung (BW)	
Art	Anteil
Gräser	76,00%
<i>Poa pratensis</i>	10,00%
<i>Bromus erectus</i>	7,00%
<i>Festuca arundinacea</i>	7,00%
<i>Festuca pratensis</i>	7,00%
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5,00%
<i>Festuca guestfalica</i>	5,00%
<i>Festuca nigrescens</i>	5,00%
<i>Festuca rubra rubra</i>	5,00%
<i>Festuca rubra trichophylla</i>	5,00%
<i>Agrostis capillaris</i>	5,00%
<i>Cynosurus cristatus</i>	5,00%
<i>Lolium perenne</i>	5,00%
<i>Dactylis glomerata</i>	5,00%
Leguminosen	6,00%
<i>Medicago lupulina</i>	1,50%
<i>Lotus corniculatus</i>	1,00%
<i>Anthyllis vulneraria</i>	1,00%
<i>Onobrychis viciifolia</i>	1,00%
<i>Vicia villosa</i>	1,00%
<i>Trifolium pratense</i>	0,50%
Kräuter	18,00%
<i>Achillea millefolium</i>	1,00%
<i>Sanguisorba minor</i>	1,00%
<i>Anthemis nobilis</i>	0,50%
<i>Bellis perennis</i>	0,50%

<i>Centaurea jacea</i>	0,50%
<i>Galium album</i>	0,50%
<i>Leontodon autumnalis</i>	0,50%
<i>Leontodon hispidus</i>	0,50%
<i>Leucanthemum vulgare</i>	0,50%
<i>Pimpinella saxifraga</i>	0,50%
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	0,50%
<i>Plantago lanceolata</i>	0,50%
<i>Potentilla verna</i>	0,50%
<i>Prunella vulgaris</i>	0,50%
<i>Salvia nemoralis</i>	0,50%
<i>Ajuga reptans</i>	0,50%
<i>Veronica chamaedrys</i>	0,50%
<i>Silene vulgaris</i>	0,50%
<i>Carum carvi</i>	0,50%
<i>Cichorium intybus</i>	0,50%
<i>Daucus carota</i>	0,50%
<i>Papaver rhoeas</i>	0,50%
<i>Centaurea cyanus</i>	0,50%
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,50%
<i>Agrostemma githago</i>	0,50%
<i>Matricaria chamomilla</i>	0,50%
<i>Dianthus deltoides</i>	0,50%
<i>Knautia arvensis</i>	0,50%
<i>Lychnis flos cuculi</i>	0,50%
<i>Lychnis viscaria</i>	0,50%
<i>Calendula officinalis</i>	0,50%
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	0,50%
<i>Campanula patula</i>	0,50%
<i>Thymus pulegioides</i>	0,50%

3.1.3 Substrat-Saatgutkombinationen Kuchelauer Hafenstraße – Sickermulde 4

Aus den zehn Substratvarianten gepaart mit den drei Saatgutvarianten ergeben sich 30 verschiedene Kombinationen für die Versuchsdurchführung. Da das Referenzsubstrat Oberboden zweimal in der Mulde zur Anwendung kommt, sind 33 Versuchsfelder zur Aufnahme der Daten entstanden. In Abbildung 11 ist die Anordnung der Versuchsfelder im Längsschnitt dargestellt. Im Zuge des Monitorings sollen alle Versuchsfelder in der Sickermulde 4 zur Untersuchung kommen.

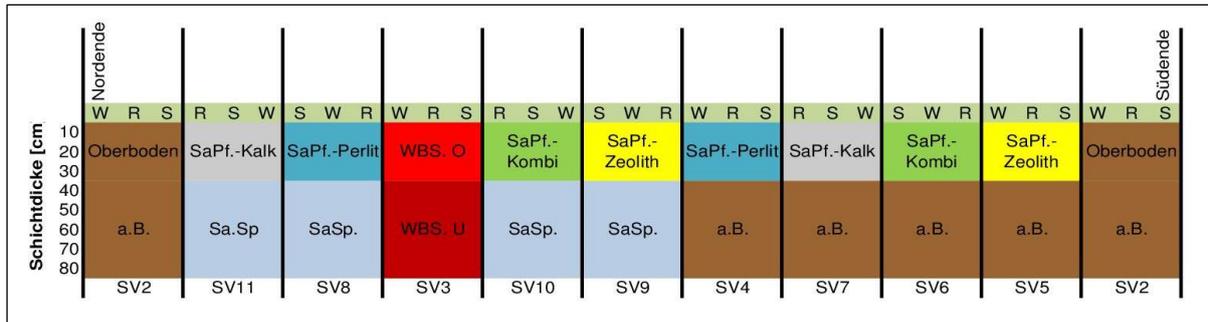


Abbildung 11: Substrat-Saatgutkombinationen KH SM4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

3.2 Indikatoren

Die folgenden Indikatoren sind durch die Methoden des Monitorings zu erheben.

Indikatoren Substrate

Die Substrate besitzen verschiedene Eigenschaften, welche durch In-situ-Untersuchungen und eine Onlineüberwachung zu überprüfen sind. Die folgenden Indikatoren sind beim Substratmonitoring zu bestimmen:

- Infiltrations- und Sickerleistung
- Tragfähigkeit
- Kennwerte des Substrates
 - Bodenwassergehalt
 - Bodentemperatur
 - Bodenleitfähigkeit

Indikatoren Vegetation

Die Indikatoren der Ansaatvegetation sind während der Vegetationsperiode in regelmäßigen Abständen durch In-situ-Untersuchungen aufzunehmen. Die folgenden Indikatoren des Vegetationsmonitorings sind zu eruieren:

- Deckungsgrad
- Wuchshöhe
 - Wuchshöhe der Einzelart
 - Wuchshöhe der Gesellschaft
- Frequenz
- Gräser/Kräuter-Verhältnis

- Vitalität
- Infloreszenz

3.3 Methoden zur Erhebung der Daten

Dieses Kapitel beinhaltet die Theorie der einzelnen Messungen und Berechnungen, welche zur Beantwortung der Forschungsfragen notwendig sind. Im Vordergrund stehen die Beschreibungen der Versuchsdurchführung der Feldversuche und der Auswertungsschritte der erhobenen Daten. Die nötigen Messinstrumente sind den folgenden Beschreibungen der Versuchsdurchführungen angehängt. Die Messgrößen sind in zwei Kategorien zu teilen:

- Vegetationsaufnahmen
- Substratmessungen.

Aufnahmen und Datenerfassung

Bei den Aufnahmen der Substrat- und Vegetationseigenschaften und Kennwerte ist Protokoll zu führen. Die In-situ Aufnahmen sind mit geeigneten Mitteln, z.B. handschriftliche Aufnahmebögen, zu protokollieren. Daten der händischen Erfassung sind zur besseren Auswertung nach den Aufnahmen am Computer in Excellisten zu speichern. Fotos sind zur besseren Nachvollziehbarkeit mit geeignetem Filenamen abzuspeichern und zu archivieren.

Wetter- und Substratdaten sind mit eingebauten Sensoren zu erheben. Die Datenspeicherung des kontinuierlichen Monitorings erfolgt durch das SIG online. Excel-Auszüge der Online-Rohdaten stellt das SIG bereit.

3.3.1 Tragfähigkeitsmessung

Die Tragfähigkeit dient als Qualitätskriterium für Böden, welche Lasteinwirkungen aus Verkehrsbeanspruchungen standhalten müssen. Für die Messung der Tragfähigkeit kommen im Erdbau zwei Verfahren zum Einsatz, der statische Plattendruckversuch und der dynamische Lastplattenversuch. Durch die Versuche ergeben sich die Werte des Verformungsmoduls E_{v1} und E_{v2} bzw. E_{vd} , welche beim statischen bzw. dynamischen Versuch anders ausfallen. Die Ergebnisse der zwei Verfahren sind durch Umrechnung annäherbar jedoch nicht exakt vergleichbar (LEOPOLDSEDER 2017).

Dynamischer Plattendruckversuch

Der dynamische Plattendruckversuch gibt Aufschluss über die Verformbarkeit des Bodens unter kurzzeitiger Lasteinwirkung. Der dynamische Lastplattenversuch ist im Gegensatz zum

statischen Plattendruckversuch eine Art Schnellverfahren. Der dynamische Lastplattenversuch taugt, aufgrund der kurzen Versuchsdauer, für die rasche Durchführung einer großen Anzahl an Untersuchungen (LEOPOLDSEDER 2017).

Bei Versuchsdurchführung gemäß RVS 08.03.04 (2008-06-09) ist die Lastplatte mit dem Durchmesser von 300 mm eben und möglichst horizontal auf der Prüffläche, ohne Zusatzverdichtung bzw. Auflockerung, zu positionieren. Lose Bodenteile sind zu entfernen. Die Messungen sind nicht über gefrorenem oder stark aufgeweichtem Boden durchzuführen. Die Belastungsvorrichtung (leichtes Fallgewicht) ist zentrisch auf die Lastplatte aufzusetzen und das elektronische Messgerät ist mit der Platte zu verbinden. Die Führungsstange ist lotrecht zu halten und das Fallgewicht von 10 kg darauf muss frei beweglich sein. Die Lastplatte muss ebenso frei beweglich bleiben, darf jedoch keine seitlichen Bewegungen ausführen. Vor der eigentlichen Messung sind drei Vorbelastungsstöße durchzuführen. Unmittelbar danach sind drei Messstöße durchzuführen und die Maximalsetzungen der Platte in Millimeter sind zu dokumentieren (s_{1max} , s_{2max} , s_{3max}). Für die Auswertung des Versuches ermittelt das elektronische Messgerät automatisch den Mittelwert s_{max} der drei Stöße. Zur Berechnung des dynamischen Verformungsmodules $E_{vd\ m}$ sind in der RVS 08.03.04: 2008-06-09 die folgenden Annahmen getroffen, die maximale Bodennormalspannung σ_{max} beträgt $0,1\text{ MN/m}^2$ und der Plattenradius r beträgt $0,15\text{ m}$ (FSV 2008). Die Berechnung des Verformungsmodules $E_{vd\ m}$ erfolgt ebenfalls im elektronischen Messgerät mit folgender Formel:

$$\begin{aligned} \text{Dynamischer Verformungsmodul } E_{vd\ m} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right] \\ = 1,5 * \text{Radius der Lastplatte } r * \frac{\text{mittlere Bodennormalspannung } \sigma_{max}}{\text{Mittelwert der Maximalsetzungen } s_{max}} \end{aligned}$$

Die Umrechnung geforderter E_{v1} Mindestwerte zu E_{vd} Werten kann gemäß RVS 08.03.04: 2008-06-09 (FSV 2008) für bindige als auch für nichtbindige Böden mit folgenden Formeln erfolgen:

bindige Böden: $E_{vd} = 10 + \frac{4}{5} * E_{v1}$

nichtbindige Böden ($E_{v1} \geq 25\text{ MN/m}^2$): $E_{vd} = 10 + \frac{4}{5} * E_{v1}$

nichtbindige Böden ($E_{v1} < 25\text{ MN/m}^2$): $E_{vd} = \frac{6}{5} * E_{v1}$

Beim SAVE-Projekt erfolgt die Messung der Tragfähigkeit jeder Substrat-Saatgutkombination zwei Mal pro Vegetationsperiode.

Messinstrumente

- leichtes Fallgewichtsgerät (10 kg)
- Lastplatte (Durchmesser 300 mm)
- elektronisches Messgerät
- Prüfprotokoll (siehe Anhang C)

3.3.2 Infiltrationsmessung

Die Infiltrationsmessung dient der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von verschiedenen Materialien. Als In-situ-Bestimmungsmethode für das Versickerungsvermögen des Baugrundes an der Oberfläche oder in geringen Tiefen kommen Infiltrationsversuche zur Anwendung. Infiltrationsversuche sind einfache Versuche zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes. Die Dauer des Versuches hängt von der Durchlässigkeit des Bodens ab und kann nach Angaben in der ÖNORM B 2506-2: 2012-11-15 (ASI 2012b) von einigen Minuten bis zu einigen Tagen betragen.

Doppelring-Infiltrationsmeter

Die Durchführung des offenen Doppelring-Infiltrationsversuches erfolgt laut ÖNORM EN 12616: 2013-10-15 (ASI 2013c). Bei der Versuchsvorbereitung sind zwei starre, formstabile und an den Unterseiten angespitzte Ringe koaxial in den Untergrund zu drücken. Die Eindringtiefe der Ringe in den Baugrund muss mindestens 25 mm betragen. Der Durchmesser des Innenringes muss 150 mm und der Durchmesser des Außenringes muss 300 mm betragen. Nach dem Einbau der Ringe erfolgt die vollständige Sättigung des Bodens. Anschließend an die Sättigung des Bodens folgen drei Messungen der Infiltration. Als Versuchsmedium fungiert reines Wasser. In den Ringen ist eine hydraulische Druckhöhe (Anfangsstautiefe) von 30 mm aufzubringen. Die Druckhöhen sind mit einer fix positionierten Messskala z.B. Gliedermaßstab zu messen. Die Messung muss unmittelbar nach Befüllung des Infiltrationsmeters beginnen. Die Zeit des Versickerns von 25 mm Druckhöhe im Innenring ist manuell mittels Zeitmessgerät z.B. Stoppuhr oder Handy-App zu messen und zu protokollieren. Versuche welche länger als 20 Minuten dauern sind gemäß ÖNORM EN 12616: 2013-10-15 abubrechen und die versickerte Höhe ist zu notieren (ASI 2013c). Die Infiltrationsrate I ist dem Durchlässigkeitswert k_f gleichzusetzen und wie folgt zu berechnen:

$$\text{Infiltrationsrate } I \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\text{Absinken des Wasserspiegels } F_w}{\text{Zeit für das Absinken des Wasserspiegels } t}$$

$$\text{Durchlässigkeitsbeiwert } k_f \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\text{Länge der Fließstrecke } l}{\text{Zeit für das Absinken des Wasserspiegels } t}$$

Messinstrumente

- Innenring (Durchmesser ≥ 150 mm)
- Außenring (Durchmesser $\geq 2 \cdot$ Durchmesser Innenring; ≥ 300 mm)
- Geräte zum Einbau der Ringe (Gummihammer)
- Messskala (Gliedermaßstab)
- Wasserzufluss (Gießkanne, Kanister)
- Zeitmessgerät, mit Anzeige in Sekunden (Stoppuhr, Handy-App, etc.)
- Messprotokoll (siehe Anhang D)

3.3.3 Bodenwassergehaltmessung

Im Phasengemisch des Bodens befindet sich Wasser, welches für das Pflanzenwachstum entscheidend ist. Für viele Forschungsbereiche ist die Messung des Bodenwassergehaltes und des Matrixpotenziales wichtig. Der Anteil des Wassers am Gesamtvolumen ist durch den volumetrischen Wassergehalt (VWC) gekennzeichnet. Die Messung des Bodenwassergehaltes im ungestörten Boden kann kostengünstig über den Einsatz von Sensoren erfolgen (FANK et al. 2020).

Die Bestandteile der Messsysteme sind Sensoren zur Messung physikalischer Größen und angeschlossenen Datenloggern. Häufig bestehen Bodenwassermessstellen aus Sensoren zur Messung des Wasseranteils, Bodenmatrix und Bodentemperatur. Am Markt befindet sich eine Vielfalt an unterschiedlichen Sensoren zur Überwachung des Bodenwassers. (NOLZ et al. 2020). Die Datenlogger lesen die Messwerte der Sensoren in regelmäßigen Abständen aus und speichern diese. Im Regelfall erfolgt eine Datenspeicherung der Sensormessungen im Intervall von zehn Minuten.

Die Messung des Wasseranteils erfolgt zumeist durch Messung der dielektrischen Eigenschaft des Wassers im Boden. Durch die Kalibrierfunktion gelingt dabei die Herstellung einer Beziehung zwischen einem elektronischen Messwert und dem Wasseranteil. Dabei sind je nach Sensor verschiedene Messprinzipien in Anwendung z.B. TDR oder FDR (NOLZ et al. 2020). Bei der Kalibrierung der Sensoren ist zu bedenken, dass die Messungenauigkeit nicht konstant über den gesamten Messbereich verteilt ist. Die Ungenauigkeit steigt mit zunehmender Austrocknung bzw. Sättigung (NOLZ et al. 2020).

Wasseranteilssensoren können alle natürlichen Bedingungen, von komplett trocken bis gesättigt, erfassen. Der Messbereich ist vom Boden abhängig, liegt in der Regel jedoch zwischen 0 - 50 %, bezogen auf das Gesamtvolumen (NOLZ et al. 2020).

Die Messung des Bodenwassergehalts erfolgt beim SAVE-Projekt mit Sensoren welche direkt in den Substraten eingebaut und durch Kabelleitungen mit den Datenloggern in den Schächten verbunden sind. Die Sensoren sind unter der ersten Substratschicht in einer Tiefe von 25 – 30 cm vergraben. Die Sensoren befinden sich in den Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 3 (WBS. O/WBS. U), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.), SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) und SV 2 (Oberboden/a.B.).

Die Bodensensoren nehmen zusätzlich die elektrische Leitfähigkeit sowie die Bodentemperatur auf. Die Betreuung und Wartung des Messsystems für die bodenphysikalischen Eigenschaften sowie die Bereitstellung der Rohdatenfiles übernimmt das SIG.

Messinstrumente

- Sensoren (SOIL SENSOR TEROS12)
- Datenlogger (METER EM60)
- Software zur Auslese und Auswertung der Daten
- Cloudspeicher

3.3.4 Bonitur

Die Bonitur dient der Aufnahme der wichtigsten pflanzlichen Merkmale. Eine Bonitur kommt in der Landwirtschaft zur Messung, Abschätzung und Beurteilung von bestimmten Merkmalen am Phänotyp einer Pflanze zur Anwendung (MINOL o.J.). Gemäß der Bonitur-Anleitung des Vegetations-Teams (2012) des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau soll die Bonitur monatlich während der Vegetationszeit erfolgen. Dabei hat der Aufnahmeumfang alle Versuchsflächen zu enthalten. Mittels der Bonitur sind die Indikatoren Gesamtdeckungsgrad, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz und Wuchshöhe je Pflanzengesellschaft zu ermitteln (IBLB VT-TEAM 2012). Die Aufnahmen sind auf dem eigens dafür konzipierten Bonitur-Aufnahmebogen zu protokollieren. Beim SAVE-Projekt ist die Bonitur je Substrat-Saatgutkombination durchzuführen. Die einzelnen Indikatoren der Bonitur und deren Aufnahmeverfahren sind in den folgenden Unterkapiteln dargestellt.

Deckungsgrad

Bei der Bonitur ist der Gesamtdeckungsgrad jeder einzelnen Versuchsfläche aufzunehmen. Der Deckungsgrad einer Vegetation drückt den prozentuellen Anteil ihrer senkrechten Projektion auf den Boden im Verhältnis zur Aufnahme­fläche aus (IBLB VT-TEAM 2012, 1). Die Aufnahme erfolgt mittels visueller Schätzung des Deckungsgrades in 5 %-Schritten. 0 % bedeuten keine Vegetation, 100 % bedeuten vollkommene Deckung und kein Boden sichtbar. Bei der Deckungsschätzung ist der Schätzfehler zu berücksichtigen (TRAXLER 1997). Abweichende Schätzwerte von mehreren Schätzpersonen sind dabei zu diskutieren und gemeinsam festzulegen (IBLB VT-TEAM 2012).

Zur Beurteilung des Deckungsgrades sind den Normen folgende Mindestdeckungsgrade zu entnehmen. Der geforderte mindeste Deckungsgrad für Landschaftsrassen gemäß ÖNORM B 2241: 2013-06-01 beträgt 60 % auf der horizontalen Projektionsfläche (ASI 2013b). Um den Deckungsgrad in Relation zu setzen scheint der Vergleich mit Sportrasenflächen als oberstes Qualitätsmaß sinnvoll. Für Sportrasenflächen mit Naturrasen gemäß ÖNORM B 2606-1: 2021-03-15 gilt die Mindestdeckung von 95 % (ASI 2021). Zur Interpretation taugen nur starke Deckungsveränderungen oder langfristige Trends (TRAXLER 1997).

Messinstrumente:

- Schätzpersonal (geschult und kalibriert)
- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

Wuchshöhe

Das Wuchsverhalten der Pflanzengesellschaft und der einzelnen Arten ist durch Messung der Wuchshöhe aufzunehmen. Pro Quadratmeter Versuchsfläche ist ein Messpunkt z.B. Knoten, Kabelbinder etc. auf einer diagonal gespannten Messschnur anzubringen. Die Verteilung der Messpunkte auf der Schnur erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Die Schnur ist bei jeder Versuchsfläche gleich zu spannen. An den Markierungen der Schnur sind mittels Lot und Gliedermaßstab die Höhe der darunter wachsenden Pflanzen zu messen. Im Bonitur-Aufnahmebogen sind die Wuchshöhen in cm-Schritten zu dokumentieren (IBLB VT-TEAM 2012).

Messinstrumente:

- Messschnur mit Markierungen (Kabelbinder) der Aufnahmepunkte
- Gliedermaßstab
- Lot
- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

Frequenz – einfache Methode

Neben der Wuchshöhe ist entlang der Messschnur die Pflanzenart, deren Wuchshöhe zu messen ist, zu erfassen. Die einfache Frequenzmethode gibt einen groben Aufschluss über die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft, sie ist jedoch nicht gleichzusetzen mit der wesentlich aufwendigeren Frequenzanalyse. Zusätzlich zur Bonitur erfolgt eine genaue Aufnahme der Frequenz mittels eigener Frequenzaufnahme (siehe Kapitel 3.3.5) um die genaue Zusammensetzung der Vegetation zu erforschen.

Messinstrumente:

- Messschnur mit Markierungen (Kabelbinder) der Aufnahmepunkte
- Lot
- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

Gräser/Kräuter-Verhältnis

Der Anteil von Gräsern und Kräutern an der Zusammensetzung der Vegetation ist durch das Gräser/Kräuter-Verhältnis anzugeben. Die Ermittlung erfolgt, analog zur Schätzung des Deckungsgrades, visuell in 5 %-Schritten. Die Gräser/Kräuter-Anteile sind zu diskutieren und festzulegen. Die Schätzwertanteile von Gräsern bzw. Kräutern müssen in Summe 100 % ergeben z.B. 55 % Gräser und 45 % Kräuter. Zur Betrachtung kommt die gesamte Vegetation jeder Versuchsfläche (IBLB VT-TEAM 2012).

Messinstrumente:

- Schätzpersonal (geschult und kalibriert)
- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

Vitalität

Die Vitalität beschreibt vor allem die Lebenskraft eines Organismus oder einer Pflanzengesellschaft. Sie äußert sich darin, wie gut sich ein Organismus an die Umgebung anpassen kann. Die Vitalität beschreibt, wie erfolgreich die Pflanzen unter den vorherrschenden Umweltbedingungen gedeihen und überleben können (KLUG 2005). Sie gibt ein Maß für die Anpassungsfähigkeit eines Organismus an die gegebene Situation an (IBLB VT-TEAM 2012). Die Vitalität von Pflanzen kann kurzfristig schwanken, da sich Wetterbedingungen unmittelbar auf Pflanzen auswirken (KLUG 2005). Miteinzubeziehen in die Bewertung sind jedenfalls die Wüchsigkeit, Farbe, Dichte und der Gesamtzustand der Begrünung. Die Vitalität je Versuchsfläche ist gemäß folgendem 5-stufigen Vitalitätsschlüssel anzugeben und zu dokumentieren.

Vitalitätsstufen:

- 1 = üppig
- 2 = wüchsig
- 3 = durchschnittlich
- 4 = kümmerlich
- 5 = teilweise abgestorben

Messinstrumente:

- Schätzpersonal (geschult und kalibriert)
- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

Infloreszenz

Die Infloreszenz beschreibt den Blütenstand der Pflanzen. Aus der Infloreszenz ist das Vermehrungsvermögen einer Pflanzengesellschaft abzuleiten (IBLB VT-TEAM 2012). Je mehr Blüten in der Vegetation vorhanden sind, desto höher ist die Chance der Pflanzengemeinschaft sich zu vermehren. Mit der Infloreszenzaufnahme erfolgt eine Bewertung und Einteilung nach Infloreszenzstufen jeder Versuchsfläche. Dabei ist die Anzahl der Blütenstände je Versuchsfläche zu ermitteln. Es ist jede Form von Blütenständen zu zählen. Zusammengesetzten Blütenstände z.B. Korbblüte, Ähre, etc. sind als eine Blüte anzusehen.

Infloreszenzstufen:

- 1 = viele Blüten (>20)
- 2 = zahlreiche Blüten (11 bis 20)
- 3 = wenige Blüten (4 bis 10)
- 4 = einzelne bis rare Blüten (1 bis 3)
- 5 = keine Blüten (0)

Messinstrumente:

- Bonitur-Aufnahmebogen (siehe Anhang A)

3.3.5 Frequenzaufnahme – detaillierte Aufnahme

Die Frequenz einer Art setzt sich aus der Menge und Verteilung zusammen. Die Frequenz stellt bei geeigneter Aufnahme einen objektiven, jedoch schwierig zu interpretierenden, Indikator dar. Die Frequenz gibt die Wahrscheinlichkeit, eine Art in einer definierten Fläche

zu finden, an (TRAXLER 1997). Zur Aufnahme der Frequenz stehen zwei Arten von Aufnahmemethoden zur Verfügung: Flächenmethoden und Punktmethoden.

$$\text{Frequenz } f[\%] = \frac{\text{Anzahl Anwesenheit der Art } X}{\text{Gesamtzahl}} * 100$$

Mittels der Formel lässt sich die Frequenz als prozentueller Anteil einer Art in einer Stichprobe ermitteln (TRAXLER 1997).

Punkt-Quadrat-Methode

Zur Aufnahme der Frequenz kommt die Punkt-Quadrat-Methode, auch Punkt-Berühr-Methode genannt (TRAXLER 1997), zum Einsatz. Sie dient der punktförmigen Erfassung der Arten in der Versuchsfläche. Die nötigen Berührungspunkte gibt ein höhenverstellbarer Aufnahmerahmen vor. Im Aufnahmerahmen sind Drähte in einem Raster gespannt. Das Rastermaß auf der X-Achse sowie auf der Y-Achse beträgt 10 cm. Der Aufnahmerahmen hat die Maße 30x100 cm, wodurch sich 44 Kreuzungspunkte ergeben. An diesen Kreuzungspunkten ist ein Lot abzulassen und die Art der darunter befindlichen Pflanze zu ermitteln. Die Aufnahme erfolgt als Schnitt mittig durch die Sickermulde, wobei der Rahmen in Abschnitten von der straßenseitigen Böschung über die Muldensohle bis hin zur heckenseitigen Böschung zu verschieben ist.

Die Frequenzanalyse ist primär zur Untersuchung der tatsächlichen Zusammensetzung der Vegetation da. Zusätzlich kann sie bei gleichzeitiger Messung der Wuchshöhen auch zur Messung der Wuchshöhen der Einzelarten dienen (analog zu Wuchshöhe Kapitel 3.3.4).

Messinstrumente:

- Aufnahmerahmen (10x10 cm Raster)
- Lot
- Frequenz-Aufnahmebogen
- Gliedermaßstab (zur Messung der Wuchshöhen)

3.3.6 Biomasseerhebung

Die Standortfaktoren Einstrahlung, Temperatur, Wasser, Boden und Nährstoffe, sowie Humusproduktion sind maßgeblich für die Biomassebildung (LEWANDOWSKI und VETTER 2019). Die Biomasseproduktion steht in direktem Zusammenhang mit den Standortfaktoren, deswegen zählt sie zu den aussagekräftigsten Indikatoren. Die Biomasse lässt einen

direkten Vergleich der Pflanzvolumina zu (TRAXLER 1997). Durch den Vergleich gleicher Vegetation auf unterschiedlichen Substraten lassen sich Aussagen über die Substrate als Pflanzstandorte treffen.

Die Trockenbiomasse besteht aus ca. 90 % Kohlenstoff und Sauerstoff, zu ca. 6 % aus Wasserstoff und zu ca. 4 % aus weiteren Pflanzennährstoffen. Der als „Motor des Pflanzenwachstums“ (LEWANDOWSKI und VETTER 2019, 44) bekannte und wichtigste Pflanzennährstoff für die Ertrags- und Qualitätsbildung ist Stickstoff.

Die Biomasseerhebung erfolgt durch Mahd der einzelnen Versuchsflächen mit Sammlung des Mahdgutes. Mittels einer Präzisionswaage erfolgt die Ermittlung des Gewichts des frischen Schnittgutes. Die anschließende Trocknung des Schnittgutes findet im Trockenschrank des Labors bei 75° C statt. Die erneute Masseermittlung des trockenen Schnittgutes folgt nach zwei Wochen.

Die gezielte Mahd der Ansaaten ist auf die Saatgutmischung abgestimmt. Im Zuge des SAVE-Projektes kommt es zur Analyse der Biomasse der Saatgutvariante Blumenrasen (R). Die Biomasseerhebung und -analyse läuft je Substratvariante differenziert nach Böschung straßenseitig (nord-ostexponiert), Sohle und Böschung heckenseitig (süd-westexponiert) ab.

Messinstrumente:

- Rasenmäher mit Schnittgutfangkorb
- Papiersäcke (zur Schnittgutaufbewahrung)
- Trockenschrank
- Präzisionswaage
- Aufnahmebogen (siehe Anhang B)

3.4 Monitoringplan

Das Monitoring der Versuchsflächen ist in zwei Arten der Überwachung geteilt. Einerseits sind punktuelle Vor-Ort-Messungen und andererseits ein kontinuierliches Onlinemonitoring Teil der Arbeit. Die In-situ Aufnahmen während der Vegetationsperiode beinhalten die monatliche Bonitur, die Frequenzaufnahmen, die Biomasseerhebung sowie die Tragfähigkeitsmessungen und die Infiltrationsmessungen (siehe Kapitel 3.3). Das Onlinemonitoring ausgewählter Bodenparameter und Wetterdaten erfolgt mittels ständiger Sensoren und Messeinrichtungen am Versuchsstandort. In Tabelle 11 sind die Messzeitpunkte für das Jahr 2020 angeführt.

Tabelle 11: Monitoringplan 2020 KH SM4 (Quelle: RIEDENBAUER 2021)

Monitoringplan	Kuchelauer Hafenstraße Sickermulde 4							
Aufnahmejahr 2020	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
Vegetationsmonitoring								
Bonitur ⁽¹⁾	x	x	x	x	x	x	x	x
Frequenzaufnahme ⁽¹⁾					x			
Biomasseerhebung ⁽¹⁾			x		x			x
Substratmonitoring								
Tragfähigkeit ⁽¹⁾		x						x
Infiltration ⁽¹⁾		x						x
Bodenwassergehalt ⁽²⁾	x	x	x	x	x	x	x	x
<p>⁽¹⁾ Diskrete Vor-Ort-Messungen</p> <p>⁽²⁾ Kontinuierliches Onlinemonitoring</p>								

3.5 Methoden zur Auswertung der Daten

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt nach der Erhebung der Daten. Die Datenauswertung läuft computergestützt ab. Für die Datenanalyse kommen Microsoft Excel und das Statistikprogramm SPSS zur Anwendung.

3.5.1 Auswertung der Messergebnisse

Die Einzelergebnisse der Messgänge sind zu den Ergebnissen je Vegetationsperiode zusammenzufassen und auszuwerten. Dabei ist die Betrachtung der Vegetationsperiode 2020 und eine vergleichende Betrachtung der Jahre 2018 bis 2020 vorteilhaft. Die Aufbereitung der Einzelergebnisse erfolgt mittels Microsoft Excel. Die Daten der Einzelmessergebnisse sind in Tabellen und ergänzend in Diagrammen darzustellen. Die Datenauswertung erfolgt anhand der Tabellen händisch. Zur tabellarischen Auswertung

kommen textliche Beschreibungen. Zur einfachen Lesbarkeit sind die höchsten bzw. niedrigsten Messwerte je Indikator durch einen Farbcode zu kennzeichnen. Ein kräftiges Grün soll den Höchstwert aller Messungen je Indikator angeben. Ein farbtintensives Orange soll den niedrigsten Wert je Indikator angeben. Zudem sind durch ein helles Grün die Höchstwerte bzw. durch ein helles Orange die niedrigsten Werte der anderen Saatgutmischungen anzuzeigen.

Die Reihenfolge der Substrat- bzw. Saatgutvarianten in den Tabellen kommt aufgrund der tatsächlich vorkommenden Aneinanderreihung in der Versuchsfläche zustande.

Bodenwassergehaltsauswertung

Für die Auswertung des Bodenwassergehalts sind die Datensätze der Jahre 2019 und 2020 heranzuziehen.

Für die Analyse des Bodenwassergehalts sind die Messwerte in sieben Bereiche des Bodenwassergehalts zu teilen. Die Unterteilung erfolgt in Schritten je 5 Vol-%. Sieben Schritte sind aufgrund der durch KOS (2017) ermittelten maximalen Wasserkapazitätsraten der Substrate sinnvoll. Durch die Einteilung der Messwerte in Kategorien kann die prozentuelle Verteilung der Messwerte je Bodenwassergehaltsbereich über den gesamten Beobachtungszeitraum erfolgen und Aussagen über die Dynamik des Bodenwassergehalts getroffen werden. Eine quantitative Analyse der Werte gibt Aufschluss über die durchschnittliche Wasserkapazität in den Substraten in den Jahren 2019 bis 2020.

Zusätzlich zur Gesamtbetrachtung des Bodenwassergehalts sind einzelne charakteristische Regenereignisse zu analysieren. Dafür ist das Verhalten der einzelnen Substrate durch Analyse des Bodenwassergehalts grafisch ähnlich einer Ganglinie darzustellen und zu interpretieren.

3.5.2 Auswertung der Korrelationsanalysen

Mittels dem Statistikprogramm SPSS erfolgt die Analyse auf Korrelationen zwischen einzelnen Indikatoren und der Substratvariante bzw. dem Bodenwassergehalt. Vermutete Zusammenhänge zwischen den Ausprägungen der Vegetation und den Substratvarianten oder dem Bodenwassergehalt sind dadurch zu verifizieren oder auszuschließen.

3.5.3 Bewertungsschema Ergebnismatrix

Jeder Indikator erhält zur Bewertung drei Kategorien (siehe Tabelle 12), welche die Erfüllung der Vorgaben aus der Fachliteratur sowie den geltenden Normen widerspiegeln. Die Punkte

reichen von 1 Punkt für unzureichende bzw. geringe Erfüllung der Vorgaben bis 3 Punkte, wenn die höchsten Anforderungen erfüllt wurden. Die Punkte der jeweiligen Erfüllung der Vorgaben sind mit der Gewichtung (siehe Tabelle 15) zu multiplizieren. Daraus lassen sich die Teilergebnisse des geotechnischen Ergebnisses und des vegetationstechnischen Ergebnisses pro Substrat-Saatgutkombination errechnen. In der Gesamtmatrix sind die Punkte der Teilergebnisse aufsummiert und ein Ranking lässt sich ableiten.

Tabelle 12: Punktaufteilung Bewertungsschema (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Erfüllung der Indikatorvorgaben	Punkte
unzureichend	1 Punkt
ausreichend	2 Punkte
gut	3 Punkte

Geotechnische Vorgaben

Die geotechnischen Vorgaben belaufen sich auf Grenzwerte für die Infiltration, die Tragfähigkeit sowie den Bodenwassergehalt.

Bei den geotechnischen Vorgaben ist das Hauptaugenmerk auf die Infiltrationsfähigkeit zu legen. Die Vorgaben für sickerfähige Oberflächen ist in verschiedener Fachliteratur (siehe 2.5.2) allgemeingültig mit dem Bereich zwischen $5 \cdot 10^{-6}$ m/s und $5 \cdot 10^{-3}$ m/s angegeben. Um die Bereiche klarer zu definieren, sind bei der Einteilung der Kategorien die Grenzwerte für das hochrangige Straßennetz heranzuziehen. In die Kategorie gut fallen gemäß RVS 04.04.11 alle Werte zwischen $1,1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Die unteren Grenzwerte der Tragfähigkeit für Versickerungsflächen mit Verkehrsbelastung gibt die FLL 2005 mit 45 MN/m² bei starker Verkehrsbelastung und mit 35 MN/m² bei geringer Verkehrsbelastung an. Die Tragfähigkeitsmessungen sind in der geotechnischen Gesamtbewertung geringfügig zu berücksichtigen. Da die Versuchsflächen nicht für das Befahren bzw. Bebauen vorgesehen sind, ist die Tragfähigkeit nicht entscheidend für die Gesamtbewertung.

Die Bodenwassergehaltmessungen wurden nicht bei jeder Teilfläche durchgeführt. Der volumetrische Bodenwassergehalt in den Teilflächen der Substratvarianten SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp) und SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp) wurde in der Versuchsplanung nicht

berücksichtigt. Aufgrund der fehlenden Werte kann die Bodenwassergehaltsanalyse nicht in die Gesamtbewertung genommen werden.

In Tabelle 13 sind die maßgebenden Bewertungskategorien der geotechnischen Ergebnisse nachzulesen.

Tabelle 13: geotechnische Vorgaben (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Erfüllung der Indikatorvorgaben	Infiltration [m/s]	Tragfähigkeit [MN/m ²]	Bodenwassergehalt [%]
unzureichend	< 5*10 ⁻⁶ > 5*10 ⁻³	< 35	nicht in allen Substratvarianten gemessen
ausreichend	5*10 ⁻⁶ bis 1*10 ⁻⁵ 1,1*10 ⁻⁴ bis 4,9*10 ⁻³	35 bis 45	nicht in allen Substratvarianten gemessen
gut	1,1*10 ⁻⁵ bis 1*10 ⁻⁴	> 45	nicht in allen Substratvarianten gemessen

Vegetationstechnische Vorgaben

Die vielfältigen Vorgaben hinsichtlich der Vegetation beziehen sich auf den Deckungsgrad, die Wuchshöhe, das Gräser/Kräuter-Verhältnis, die Vitalität, die Infloreszenz und die Biomasse.

Der mindeste Deckungsgrad von Ansaatflächen ist durch die ÖNORM B 2241 mit 60 % vorgegeben. Als oberes Qualitätskriterium ist die Mindestdeckung von 95 % für Sportflächen aus der ÖNORM B 2606-1 anzunehmen.

Die Wuchshöhe kann für die Bewertung in der Gesamtmatrix aufgrund der unterschiedlichen Mahdintervalle der Saatgutvarianten nicht herangezogen werden.

Das Gräser/Kräuterverhältnis kann wegen eines Fehlers bei der Ausbringung der Saatgutmischungen zu Beginn des Versuches (LÜBKE 2019) nicht als aussagekräftig erachtet und nicht in die Gesamtwertung genommen werden.

Die Vitalitätsstufen der Bonituranleitung des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau VT-Teams sind folgendermaßen in die Bewertung zu nehmen: Die Vitalitätsstufen 1 (üppig) und 2 (wüchsig) stellen die beste Kategorie dar und sind mit gut zu bewerten. Die Vitalitätsstufe 3 (durchschnittlich) stellt die Kategorie ausreichend dar und die

Vitalitätsstufen 4 (kümmerlich) und 5 (teilweise abgestorben) sind zur Kategorie unzureichend zusammenzufassen.

Die Grenzwerte der Infloreszenz sind ebenfalls gemäß der Infloreszenzstufen der Bonituranleitung einzuteilen. Die Infloreszenzstufe 1 (viele Blüten) stellt die Kategorie gut dar. Die Infloreszenzen 2 (zahlreiche Blüten) und 3 (wenige Blüten) sind als ausreichend zu bewerten. Die Stufen 4 (einzelne bis rare Blüten) sowie die Stufe 5 (keine Blüten) sind als unzureichend einzustufen.

Die Biomasse ist nur in der Saatgutvariante Blumenrasen zu erheben und ist aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit mit den Saatgutmischungen Standardrasen und Blumenwiese nicht in der Gesamtbewertung zu berücksichtigen.

Die Bewertungskategorien je vegetationstechnischem Indikator sind der Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: vegetationstechnische Vorgaben (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Erfüllung der Indikatorvorgaben	Deckungsgrad [%]	Wuchshöhe [cm]	Gräser/Kräuter-Verhältnis	Vitalität	Infloreszenz	Biomasse
unzureichend	< 60	unterschiedliche Mahdzeitpunkte	unterschiedliche Zusammensetzung der Saatgutmischungen	3,5 bis 5	4 bis 5	nicht in allen Saatgutvarianten gemessen
ausreichend	60 bis 95	unterschiedliche Mahdzeitpunkte	unterschiedliche Zusammensetzung der Saatgutmischungen	2,5 bis 3,4	2 bis 3	nicht in allen Saatgutvarianten gemessen
gut	> 95	unterschiedliche Mahdzeitpunkte	unterschiedliche Zusammensetzung der Saatgutmischungen	1 bis 2,4	1	nicht in allen Saatgutvarianten gemessen

Gewichtung

Um die Relevanz der einzelnen Indikatoren in die Mastermatrix einfließen zu lassen, sind die Punkte der Indikatoren zu gewichten. Eine Gewichtung von 3 stellt eine hohe Relevanz dar, bei einer Gewichtung eines Indikators von 0 ist der Indikator nicht in die Gesamtbewertung zu nehmen. Die Gewichtung stellt sozusagen einen Multiplikationsfaktor für die Punkte dar. Die Gewichtungen je Indikator sind in der Tabelle 15 enthalten.

Tabelle 15: Gewichtung der Indikatoren (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Indikator		Gewichtung
geo. Indikator	Infiltration	3
	Tragfähigkeit	1
	Bodenwassergehalt	0
veg. Indikator	Deckungsgrad	3
	Wuchshöhe	0
	Gräser/Kräuter-Verhältnis	0
	Vitalität	2
	Infloreszenz	1
	Biomasse	0

Aufgrund der Problemstellung sind die Indikatoren nach der Relevanz geordnet. Da für das Regenwassermanagement die Infiltration am wichtigsten ist, ist dieser Indikator mit der Gewichtung 3 bewertet. Neben der Infiltration ist für Substrate eine hohe Tragfähigkeit gewünscht. Da es sich bei der Versuchsfläche jedoch um eine nicht befahrene oder anderweitig genutzte Fläche handelt, ist der Indikator Tragfähigkeit mit 1 zu gewichten. Der Bodenwassergehalt ist aufgrund teilweise fehlender Daten nicht in die Gesamtbewertung zu nehmen.

Der wichtigste vegetationstechnische Indikator ist der Deckungsgrad, dieser ist mit einer Gewichtung von 3 in die Wertung zu nehmen. Die Vitalität ist mit 2 und die Infloreszenz mit 1 zu gewichten.

4 Ergebnisse

Das Kapitel veranschaulicht die Ergebnisse zur Beantwortung der zu Beginn gestellten Forschungsfragen. Die Ergebnisse stammen aus den Auswertungen der Aufnahmen der Vegetationsperiode 2020. Nach der Darstellung der Vegetationsperiode 2020 folgt der Vergleich mit den Daten aus den Jahren 2018 und 2019. Zum Themenblock Substrate gehören die Auswertungen der Tragfähigkeitsmessung, der Infiltrationsmessung und der Bodenwassergehaltsanalyse. Dem Themenblock Vegetation sind die Ergebnisse der Bonitur, Frequenzaufnahme und der Biomasseerhebung zuzuordnen. Danach folgen die Ergebnisse aus den Korrelationsanalysen. Abschließend sind die Einzelergebnisse in der Ergebnismatrix zusammengefasst.

4.1 Ergebnisse der Messungen

Die folgenden Ergebnisse spiegeln die direkt ermittelten Ergebnisse der Vegetationsperiode 2020 und den Vergleich der Jahre 2018 bis 2020 wider.

4.1.1 Ergebnisse Tragfähigkeitsmessung

Die Tragfähigkeit der Substrate wurde im Jahr 2020 einmal im Frühling und einmal im Herbst je Teilfläche mittels dynamischen Plattendruckversuchs gemessen. In Tabelle 16 sind die Werte der Aufnahmen im Mai bzw. im November nachzulesen. Als Werte für das Jahr 2020 wurde aus den Einzelwerten das Jahresmittel gezogen.

Die höchste Tragfähigkeit wies 2020 die Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) auf. Alle drei Saatgutvarianten erreichten auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) die Höchstwerte in ihrer Kategorie, Standardrasen erreichte 11,1 MN/m², Blumenwiese 8,4 MN/m² und Blumenrasen 8,2 MN/m². Am wenigsten Tragfähigkeit wies die Kombination aus Blumenwiesenmischung und Substrat SV 2 (Oberboden/a.B.) mit 4,1 MN/m² auf. Blumenrasen erzielte auf SV8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) mit 11,1 MN/m² die geringste Tragfähigkeit. Die Standardrasenmischung hatte auf den Substratvarianten SV 2 (Oberboden/a.B.) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) die geringsten gemessenen Werte im Mittel mit 4,3 MN/m².

Tabelle 16: Tragfähigkeit 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Tragfähigkeit [MN/m ²]					
Kuchelauer Hafen 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	Dynamischer EV [MN/m ²]		
			Mai	November	Ø
1.1	SV 2	S	5,1	3,5	4,3
1.2		BR	5,5	3,5	4,5
1.3		BW	5	3,2	4,1
2.1	SV 5	S	5,3	5,2	5,3
2.2		BR	7,6	7,2	7,4
2.3		BW	7,9	5,6	6,8
3.1	SV 6	BR	5,9	4,1	5,0
3.2		BW	5,6	4	4,8
3.3		S	6	5,7	5,9
4.1	SV 7	BW	6,2	6	6,1
4.2		S	6,8	5,4	6,1
4.3		BR	6,2	4,9	5,6
5.1	SV 4	S	5,7	4,2	5,0
5.2		BR	5,3	4,8	5,1
5.3		BW	5	4,6	4,8
6.1	SV 9	BR	5,4	5,2	5,3
6.2		BW	6	5,6	5,8
6.3		S	5,5	5	5,3
7.1	SV 10	BW	5,8	3,8	4,8
7.2		S	5,6	3,9	4,8
7.3		BR	5,3	4	4,7
8.1	SV 3	S	13	9,1	11,1
8.2		BR	8,5	7,9	8,2
8.3		BW	8,9	7,8	8,4
9.1	SV 8	BR	4,6	3,7	4,2
9.2		BW	6,6	3,9	5,3
9.3		S	4,7	3,8	4,3
10.1	SV 11	BW	7,9	6,2	7,1
10.2		S	6,2	5,5	5,9
10.3		BR	6,6	5,3	6,0
11.1	SV 2	S	4,4	4,3	4,4
11.2		BR	7,5	3,3	5,4
11.3		BW	4,6	3,6	4,1

Die Tabelle 17 veranschaulicht die Tragfähigkeitswerte der Substrate der Jahre 2018 bis 2020. Die Werte der unterschiedlichen Substrate veränderten sich im Laufe der Jahre. Die geringsten Werte wies in allen drei Jahren SV 2 (Oberboden/a.B.) auf. Die höchsten und somit besten Werte aus Sicht des Straßenbaues wurden auf SV 3 (WBS. O/WBS. U)

gemessen. Hinsichtlich des Pflanzenwachstums konnten SV 2 (Oberboden/a.B.) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) mit der geringsten Verdichtung überzeugen.

Im Jahr 2019 konnten 28 Teilflächen die Tragfähigkeit gegenüber dem Jahr 2018 erhöhen. Vier Teilflächen wiesen 2019 eine verringerte Tragfähigkeit gegenüber dem Vorjahr auf. Die höchsten Tragfähigkeitszunahmen fanden auf SV 3 statt. In den Teilflächen der Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) und SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.) waren geringfügig weniger Tragfähigkeiten als 2018 zu messen.

Im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 sind elf Steigerungen und 21 Minderungen der Tragfähigkeit zu vernehmen. Die Substratvarianten SV 2 (Oberboden/a.B.), SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) und SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.) konnten im Jahr 2020 erneut an Tragfähigkeit dazugewinnen. Alle anderen Substratvarianten verloren gegenüber dem Jahr 2019 an Tragfähigkeit.

Seit Beginn der Messungen im Jahr 2018 konnten die Substratvarianten SV 2 (Oberboden/a.B.), SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) mit Ausnahme der Standardrasensaat, SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) ihre Tragfähigkeit bis Ende der Aufnahmen 2020 erhöhen. Bei den Substratvarianten SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.-Kombi/SaSp.), SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit Ausnahme der Standardrasensaat, SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.-Kalk/SaSp.) exklusive Blumenwiesenmischung waren verminderte Tragfähigkeitswerte zu messen.

Tabelle 17: Vergleich Tragfähigkeit 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Tragfähigkeit [MN/m ²]					
Kuchelauer Hafen 2018 - 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	Dynamischer EV [MN/m ²]		
			2018	2019	2020
1.1	SV 2	S	3,8	4,0	4,3
1.2		BR	3,8	4,1	4,5
1.3		BW	3,8	3,9	4,1
2.1	SV 5	S	6,4	5,3	5,3
2.2		BR	6,4	7,1	7,4
2.3		BW	6,4	6,2	6,8
3.1	SV 6	BR	4,8	4,8	5,0
3.2		BW	4,8	4,6	4,8
3.3		S	4,8	4,7	5,9
4.1	SV 7	BW	5,2	6,3	6,1
4.2		S	5,2	7,4	6,1
4.3		BR	5,2	7,5	5,6
5.1	SV 4	S	4,0	5,4	5,0
5.2		BR	4,0	4,7	5,1
5.3		BW	4,0	5,7	4,8
6.1	SV 9	BR	5,9	6,5	5,3
6.2		BW	5,9	6,9	5,8
6.3		S	5,9	6,9	5,3
7.1	SV 10	BW	5,2	5,2	4,8
7.2		S	5,2	6,3	4,8
7.3		BR	5,2	5,5	4,7
8.1	SV 3	S	9,3	16,7	11,1
8.2		BR	9,3	11,6	8,2
8.3		BW	9,3	16,1	8,4
9.1	SV 8	BR	4,4	4,8	4,2
9.2		BW	4,4	4,9	5,3
9.3		S	4,4	4,6	4,3
10.1	SV 11	BW	6,1	8,7	7,1
10.2		S	6,1	6,5	5,9
10.3		BR	6,1	6,2	6,0
11.1	SV 2	S	3,8	4,7	4,4
11.2		BR	3,8	4,0	5,4
11.3		BW	3,8	4,2	4,1

4.1.2 Ergebnisse Infiltrationsmessung

Die Messungen der Infiltration erfolgten im Jahr 2020 zweimal (Frühling und Herbst). Die Messungen wurden mit dem Doppelring-Infiltrimeter auf jeder Teilfläche durchgeführt. In Tabelle 18 sind die Infiltrationsraten jeder Substrat-Saatgutkombination ersichtlich. Die Infiltrationsraten ergaben sich aus dreifach durchgeführten Infiltrationsmessungen und Mittelung der Werte jeder Kombination.

Die Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass die drei Saatgutvarianten auf Substrat SV 2 (Oberboden/a.B.) im Jahr 2020 die geringsten Infiltrationswerte aufwiesen. Der Standardrasen brachte auf SV 2 (Oberboden/a.B.) den geringsten Wert von $2,8 \cdot 10^{-7}$ m/s zusammen. Die Blumenrasenmischung hatte auf SV 2 (Oberboden/a.B.) die Infiltrationsrate von $9,7 \cdot 10^{-7}$ m/s und die Blumenwiesenmischung hatte $1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Die höchste Infiltrationsrate wurde beim Blumenrasen auf SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) mit $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s gemessen. Das Blumenwiesensaatgut erreichte den höchsten Wert von $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s in SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.). Bei den Standardrasenmischungen hatte ebenfalls SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) den höchsten Wert von $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Tabelle 18: Infiltrationsrate 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infiltrationsrate [m/s]					
Kuchelauer Hafen 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	Ø Durchlässigkeitsbeiwert		
			Mai	November	Ø
1.1	SV 2	S	2,8E-07	2,8E-07	2,8E-07
1.2		BR	8,3E-07	1,1E-06	9,7E-07
1.3		BW	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06
2.1	SV 5	S	2,2E-04	2,2E-04	2,2E-04
2.2		BR	1,7E-04	1,9E-04	1,8E-04
2.3		BW	2,5E-04	2,9E-04	2,7E-04
3.1	SV 6	BR	1,1E-04	8,4E-05	9,7E-05
3.2		BW	1,1E-04	6,7E-05	8,9E-05
3.3		S	3,4E-05	1,0E-04	6,9E-05
4.1	SV 7	BW	1,9E-04	3,0E-04	2,4E-04
4.2		S	1,9E-04	2,4E-04	2,1E-04
4.3		BR	3,0E-04	2,1E-04	2,5E-04
5.1	SV 4	S	7,3E-05	7,8E-05	7,6E-05
5.2		BR	7,4E-05	1,5E-04	1,1E-04
5.3		BW	1,3E-04	4,3E-05	8,6E-05
6.1	SV 9	BR	1,4E-04	2,4E-04	1,9E-04
6.2		BW	2,6E-04	1,5E-04	2,0E-04
6.3		S	1,5E-04	2,3E-04	1,9E-04
7.1	SV 10	BW	5,0E-05	4,4E-05	4,7E-05
7.2		S	2,7E-05	8,6E-05	5,7E-05
7.3		BR	8,2E-05	7,9E-05	8,0E-05
8.1	SV 3	S	3,2E-05	8,9E-05	6,1E-05
8.2		BR	1,4E-05	1,0E-05	1,2E-05
8.3		BW	3,6E-06	6,3E-05	3,4E-05
9.1	SV 8	BR	9,4E-05	1,2E-04	1,1E-04
9.2		BW	2,9E-05	8,4E-05	5,7E-05
9.3		S	1,9E-05	5,0E-05	3,4E-05
10.1	SV 11	BW	1,3E-04	2,4E-04	1,9E-04
10.2		S	1,8E-04	2,7E-04	2,3E-04
10.3		BR	3,4E-04	2,3E-04	2,9E-04
11.1	SV 2	S	2,2E-06	1,3E-05	7,4E-06
11.2		BR	1,9E-06	2,5E-06	2,2E-06
11.3		BW	5,6E-07	2,8E-06	1,7E-06

Die Infiltrationsrate wurde in den Jahren 2018 bis 2020 ermittelt. In Tabelle 19 sind die Jahresdurchschnittswerte je Teilfläche abzulesen. Im Jahr 2018 hatte die Blumenwiesenmischung auf SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) die größte Infiltrationsrate, gefolgt von der Blumenrasenmischung und dem Standardrasensaatzgut auf SV 5 (SaPf.-

Zeolith/a.B.). Am wenigsten Wasser wurde 2018 in der Substratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) versickert. 2019 konnten nur die Standardrasenmischung und der Blumenrasenmischung auf SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) sowie die Standardrasenmischung auf SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) die Infiltrationsleistung gegenüber dem Vorjahr erhöhen. Die höchste Infiltrationsrate bei den Blumenwiesenmischungen hatte 2019 SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), wobei sich die Infiltrationsrate wie bei den restlichen Teilflächen gegenüber dem Jahr 2018 verschlechterte.

Der Vergleich der Jahre 2019 und 2020 zeigt, dass die Infiltration in 23 Teilflächen gegenüber dem Vorjahr gesteigert wurde. Zehn Teilflächen wiesen 2020 eine geringere Versickerungsrate auf als 2019. Die Blumenrasenmischung auf SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) konnte 2020 mit der höchsten Infiltrationsleistung überzeugen. Die höchste Infiltration der Standardrasenmischungen war ebenfalls auf SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) zu finden. Das Blumenwiesensaatgut auf SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) hatte die größte Versickerungsrate ihrer Kategorie. Die geringsten Infiltrationsraten im Jahr 2020 gelang den Ansaaten auf SV 2 (Oberboden/a.B.).

Tabelle 19: Vergleich Infiltrationsrate 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infiltrationsrate [m/s]					
Kuchelauer Hafen 2018 - 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	Ø Durchlässigkeitsbeiwert		
			2018	2019	2020
1.1	SV 2	S	6,8E-06	4,2E-07	2,8E-07
1.2		BR	3,5E-06	4,2E-07	9,7E-07
1.3		BW	5,6E-06	8,3E-09	1,1E-06
2.1	SV 5	S	2,2E-04	1,4E-04	2,2E-04
2.2		BR	2,8E-04	2,5E-04	1,8E-04
2.3		BW	2,8E-04	2,6E-04	2,7E-04
3.1	SV 6	BR	5,0E-05	8,2E-05	9,7E-05
3.2		BW	7,3E-05	2,3E-05	8,9E-05
3.3		S	5,1E-05	2,1E-05	6,9E-05
4.1	SV 7	BW	2,2E-04	1,2E-04	2,4E-04
4.2		S	1,9E-04	3,0E-04	2,1E-04
4.3		BR	1,8E-04	2,9E-04	2,5E-04
5.1	SV 4	S	8,8E-05	9,3E-05	7,6E-05
5.2		BR	7,4E-05	5,1E-05	1,1E-04
5.3		BW	8,8E-05	4,9E-05	8,6E-05
6.1	SV 9	BR	2,1E-04	1,7E-04	1,9E-04
6.2		BW	2,0E-04	1,1E-04	2,0E-04
6.3		S	2,1E-04	1,9E-04	1,9E-04
7.1	SV 10	BW	9,4E-05	5,7E-05	4,7E-05
7.2		S	8,9E-05	4,9E-05	5,7E-05
7.3		BR	1,1E-04	6,6E-05	8,0E-05
8.1	SV 3	S	6,3E-05	3,6E-05	6,1E-05
8.2		BR	6,9E-05	1,7E-05	1,2E-05
8.3		BW	6,3E-05	1,3E-05	3,4E-05
9.1	SV 8	BR	9,2E-05	5,3E-05	1,1E-04
9.2		BW	9,4E-05	4,9E-05	5,7E-05
9.3		S	7,9E-05	5,1E-05	3,4E-05
10.1	SV 11	BW	3,1E-04	2,1E-04	1,9E-04
10.2		S	1,8E-04	1,5E-04	2,3E-04
10.3		BR	1,6E-04	1,4E-04	2,9E-04
11.1	SV 2	S	1,4E-05	4,6E-08	7,4E-06
11.2		BR	1,5E-05	1,8E-07	2,2E-06
11.3		BW	2,0E-05	3,1E-07	1,7E-06

4.1.3 Ergebnisse Bodenwassergehaltsmessungen

Die Wassergehaltsmessung erfolgte kontinuierlich mit einer Online Datenaufzeichnung. Die Messwerte wurden seit 2019 alle zehn Minuten genommen. Die folgenden Ergebnisse stammen aus den kontinuierlichen Messungen der Jahre 2019 bis 2020.

Die Auslese der Rohdaten wurde vom Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserversorgung und Gewässerschutz (SIG) durchgeführt. Die Datenaufbereitung und -analyse der vom SIG bereitgestellten Rohdaten, erfolgte anschließend in Microsoft Excel.

Für die Analyse des volumetrischen Bodenwassergehalts und zur Vergleichbarkeit der Substrate wurden die Messwerte in sieben Klassen des Bodenwassergehalts geteilt. Der Bereich des Bodenwassergehalts von 0 - 35 Vol-% wurde in Klassen zu je 5 Vol-% geteilt. Sieben Klassen ergeben sich aus den maximalen Wasserkapazitätsraten gemäß KOS (2017). Durch die Einteilung in die volumetrischen Bodenwassergehaltsklassen konnten die Substrate einfacher verglichen werden. Nach der Einteilung in die Klassen ließen sich die prozentuellen Verteilungen der Klasse des Bodenwassergehalts je Substratvariante errechnen. Die prozentuelle Verteilung der Messwerte je volumetrischem Bodenwassergehaltsbereich über den gesamten Beobachtungszeitraum ist der Tabelle 20 zu entnehmen. Die Werte der Tabelle geben die prozentuellen Anteile in den sieben Klassen des Bodenwassergehalts an.

Der volumetrische Bodenwassergehalt der Substratvarianten SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) bewegte sich über die meiste Zeit im sehr geringen Bereich des Bodenwassergehalts von 0 - 5 Vol-%. Der Bodenwassergehalt der Substrate SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) und SV 3 (WBS. O/WBS. U) betrug zum größten Teil der Zeit zwischen 5 - 10 Vol-%. SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) lag vorwiegend im Bereich zwischen 10 - 15 Vol-%. Den höchsten Bodenwassergehalt hatte SV 2 (Oberboden/a.B.) mit größtenteils 15 - 20 Vol-% zu verzeichnen.

Bei den Substratvarianten SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) mit den zweischichtigen Speicheraufbauten wurden tendenziell höhere volumetrische Bodenwassergehalte gemessen als bei den einschichtigen Substratvarianten.

Tabelle 20: Bodenwassergehalt 2019 - 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Bodenwassergehalt								
Kuchelauer Hafen 2019 - 2020								
Abschnitt	SV	Werte in Bodenwassergehaltbereich [%]						
		0-5 [Vol-%]	5-10 [Vol-%]	10-15 [Vol-%]	15-20 [Vol-%]	20-25 [Vol-%]	25-30 [Vol-%]	30-35 [Vol-%]
1	SV 2	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.
2	SV 5	43,706	46,818	9,453	0,021	0,001	0,001	nicht möglich
3	SV 6	33,220	30,787	30,148	5,569	0,263	0,011	0,002
4	SV 7	49,816	40,472	9,380	0,332	0,001	0,000	nicht möglich
5	SV 4	45,684	23,744	22,884	7,676	0,010	0,001	0,001
6	SV 9	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.
7	SV 10	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.	nicht gemess.
8	SV 3	43,058	53,557	3,289	0,069	0,011	0,016	nicht möglich
9	SV 8	39,859	24,602	24,297	10,883	0,357	0,002	0,001
10	SV 11	9,916	23,398	32,435	28,593	5,642	0,016	nicht möglich
11	SV 2	7,508	9,328	32,206	45,159	5,799	0,000	0,000

Das Jahr 2020 war feuchter als das Jahr 2019. Dies spiegelt sich in den durchschnittlichen Bodenwassergehalten wider. In Tabelle 21 ist der Vergleich der Aufnahmejahre 2019 und 2020 ersichtlich. In sechs von acht Versuchsflächen wurde 2020 durchschnittlich ein höherer Wassergehalt gemessen.

Tabelle 21: Vergleich Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Bodenwassergehalt [Vol-%]			
Kuchelauer Hafen 2019-2020			
Abschnitt	SV	Ø April – November	
		2019	2020
1	SV 2	nicht gemessen	nicht gemessen
2	SV 5	3,468	5,496
3	SV 6	5,850	6,683
4	SV 7	3,647	3,450
5	SV 4	5,631	5,605
6	SV 9	nicht gemessen	nicht gemessen
7	SV 10	nicht gemessen	nicht gemessen
8	SV 3	4,129	4,892
9	SV 8	5,675	4,367
10	SV 11	9,192	11,605
11	SV 2	12,229	13,546

In Tabelle 22 sind die maximale Sättigung der Substratvarianten sowie die Anzahl der Messwerte mit maximaler Sättigung je Substrat angegeben. Da die Messauflösung der Sensoren zehn Minuten betrug, konnte die Zeit berechnet werden, in welcher die Substrate im Zeitraum von 2019 bis 2020 vollgesättigt waren. Die Zeiten mit übersättigtem Substrat waren generell über die zwei Betrachtungsjahre sehr gering. SV 2 (Oberboden/a.B.) und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) waren einmal im Betrachtungszeitraum zehn Minuten, SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.) war 20 Minuten und SV 3 (WBS. O/WBS. U) war insgesamt 90 Minuten lange vollgesättigt. Das heißt, dass die Sickerfähigkeit der genannten Substrate in dieser kurzen Zeitspanne der Niederschlagsereignisse nicht ausreichend ist.

Tabelle 22: Übersättigung 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Übersättigung				
Kuchelauer Hafen 2019 - 2020				
Abschnitt	SV	Sättigung		
		Maximale Sättigung Substrat [Vol-%]	Werte mit maximaler Sättigung	Zeit in übersättigtem Substrat [min]
1	SV 2	nicht gemessen	nicht gemessen	nicht gemessen
2	SV 5	27,570	0	0,00
3	SV 6	31,110	2	20,00
4	SV 7	29,700	0	0,00
5	SV 4	34,880	1	10,00
6	SV 9	nicht gemessen	nicht gemessen	nicht gemessen
7	SV 10	nicht gemessen	nicht gemessen	nicht gemessen
8	SV 3	27,960	9	90,00
9	SV 8	34,880	0	0,00
10	SV 11	29,700	0	0,00
11	SV 2	31,670	1	10,00

Aufgrund der großen Datenmengen ist neben der Gesamtbetrachtung die Analyse einzelner Regenereignisse sinnvoll. In Diagramm 1 sind die Bodenwassergehalte der gemessenen Substratvarianten nach einem Starkregenereignis am 07.06.2019 dargestellt. Während des Regenereignisses fielen innerhalb von 30 Minuten 22,2 mm Niederschlag, was in etwa einem dreijährigen Starkregenereignis für den Standort entspricht.

SV 3 (WBS. O/WBS. U) hatte zu Beginn des Regenereignisses am 07.06.2019 keinen Wassergehalt mehr, die restlichen Substrate hatten einen Restwassergehalt von 4 - 12 %. Beim Regen wurden alle Substrate auf ihr Maximum bis über Feldkapazität gefüllt. Zu sehen ist, dass die Substratvarianten mit Speicheraufbau das Wasser länger im Boden halten können. SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) hält das Wasser direkt nach einem Regenereignis am längsten zurück. In SV 3 (WBS. O/WBS. U) versickert das Wasser am schnellsten. Das Referenzsubstrat SV 2 (Oberboden/a.B.) spricht sehr langsam auf das Regenereignis an.

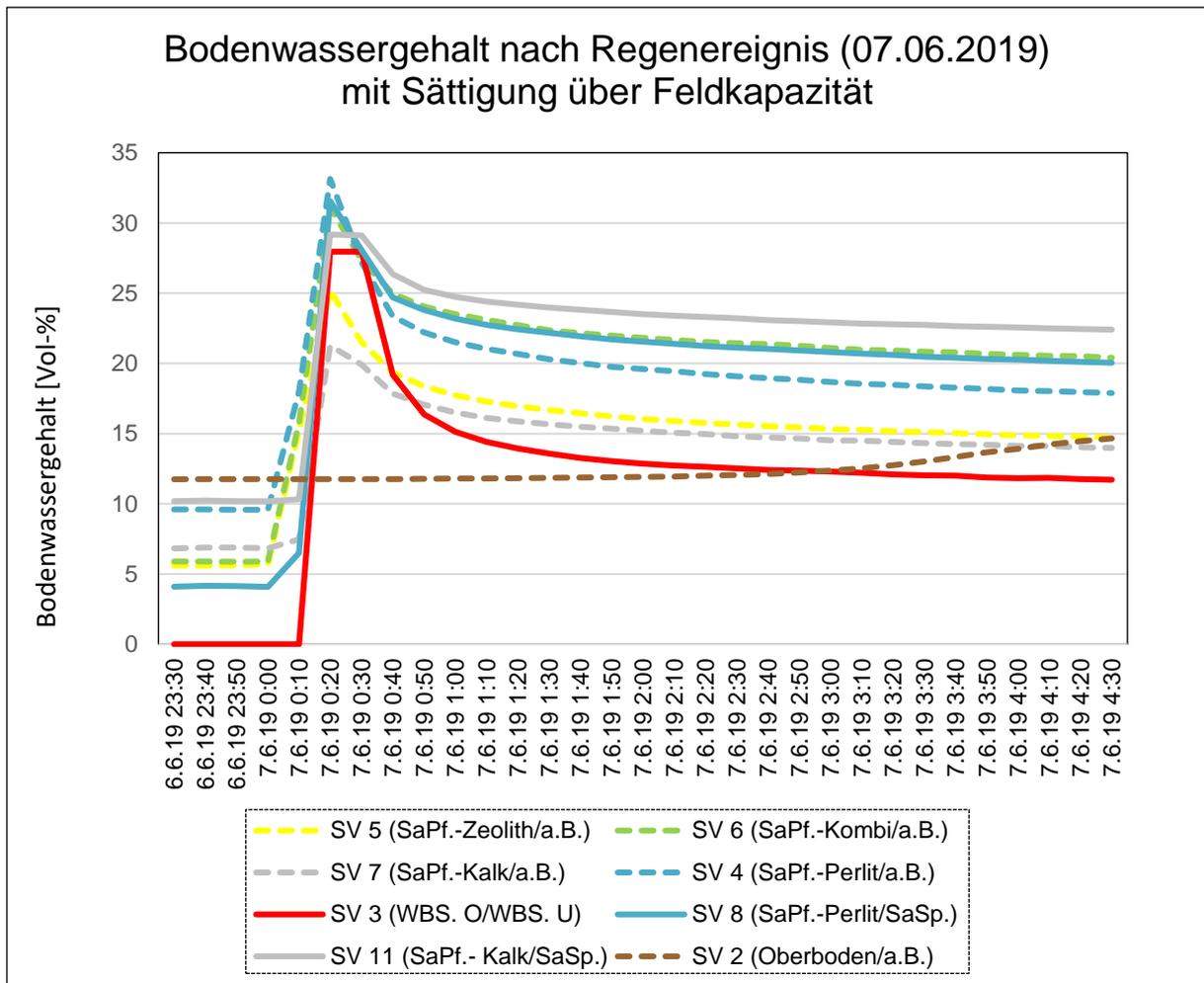


Diagramm 1: Bodenfeuchtigkeit nach Regenereignis (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

4.1.4 Ergebnisse Bonitur

Die Ergebnisse der monatlichen Bonitur sind aufgeteilt in Deckungsgrad, Wuchshöhe, Frequenz, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität und Infloreszenz. Zur einfacheren Vergleichbarkeit sind die Daten in Tabellenform je Substrat-Saatgutkombination aufgelistet. Die folgenden Unterkapitel handeln die Teilergebnisse der Bonituraufnahmen ab.

Deckungsgrad

Der Deckungsgrad je Substrat-Saatgutkombination gibt an, wie viele Prozente der Sickermulde je Teilfläche von Vegetation bedeckt ist. Die Einzelergebnisse der Aufnahmen von April bis November 2020 sind in der Tabelle 23 ersichtlich. Der Mittelwert aus den Einzelergebnissen je Monat ist in der rechten Spalte angegeben.

Den insgesamt höchsten Deckungsgrad im Jahr 2020 erzielten SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) und SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) jeweils mit der Saatgutmischung Blumenwiese, die durchschnittliche Deckung belief sich dabei je auf 97 %. Mit 45 % erzielte SV 3 (WBS. O/WBS. U) die geringste Deckung aller Teilflächen mit der Standardrasenmischung. Mit der Saatgutmischung Blumenwiese wurden auf fast allen Substratvarianten die höchsten Deckungsgrade erzielt. Die geringste Deckung bei den Blumenwiesenansaaten erreichte SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 62 %. Den höchsten Wert der Deckung bei der Saatgutmischung Blumenrasen erreichte SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) mit 96 %, die geringste Blumenrasen-Deckung besitzt SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 55 %. Bei der Standardrasenmischung wurde der höchste Wert ebenfalls in der Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) mit 90 % erreicht.

Tabelle 23: Deckungsgrad 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Deckungsgrad [%]											
Kuchelauer Hafen 2020											
Abschnitt	SV	Saatgut	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Ø
1	SV 2	S	65	80	70	80	80	80	80	80	77
		BR	75	75	75	95	95	95	95	95	88
		BW	80	70	70	90	95	95	95	95	86
2	SV 5	S	55	65	60	85	75	80	80	80	73
		BR	55	60	60	85	70	75	80	85	71
		BW	80	70	60	90	85	85	85	85	80
3	SV 6	BR	70	80	80	90	95	90	95	95	87
		BW	90	90	90	85	90	90	95	95	91
		S	70	80	75	90	85	90	90	95	84
4	SV 7	BW	85	90	85	95	95	85	95	95	91
		S	80	80	85	95	85	80	90	90	86
		BR	80	70	75	85	65	75	75	80	76
5	SV 4	S	60	65	70	70	60	70	70	75	68
		BR	60	65	65	65	60	65	70	70	65
		BW	95	95	95	100	95	95	100	100	97
6	SV 9	BR	70	75	70	95	85	85	95	95	84
		BW	85	80	85	95	100	100	100	100	93
		S	65	70	70	85	65	75	90	85	76
7	SV 10	BW	85	100	95	100	95	100	100	100	97
		S	85	95	90	95	70	90	98	95	90
		BR	90	95	95	100	95	95	95	100	96
8	SV 3	S	30	35	20	50	45	50	65	65	45
		BR	40	45	40	60	65	60	65	65	55
		BW	40	55	50	65	65	70	75	75	62
9	SV 8	BR	90	95	90	90	100	90	100	95	94
		BW	75	95	85	100	95	95	98	95	92
		S	70	80	85	85	85	85	85	85	83
10	SV 11	BW	90	95	95	100	95	95	90	90	94
		S	70	75	75	85	70	75	75	75	75
		BR	85	85	85	95	95	90	95	90	90
11	SV 2	S	55	65	65	75	70	80	85	85	73
		BR	75	75	80	90	90	90	90	90	85
		BW	70	75	75	95	90	90	95	90	85

In Abbildung 12 und in Abbildung 13 sind die Substratvarianten SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) und SV 3 (WBS. O/WBS. U) bildlich gegenübergestellt. Die Aufnahmen stammen vom 15.09.2020. Bei SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) sind kaum Bodenflächen zu sehen, bei SV 3 (WBS. O/WBS. U) sind vermehrt Bodenflächen zu sehen.



Abbildung 12: Fotostrecke SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) (Quelle: RIEDENBAUER, 2020)



Abbildung 13: Fotostrecke SV 3 (WBS. O/WBS. U) (Quelle: RIEDENBAUER, 2020)

In der Tabelle 24 sind die durchschnittlichen Deckungsgrade je Teilfläche der Jahre 2018 bis 2020 zu sehen.

In der Vegetationsperiode 2020 konnten alle Saatgutvarianten den Deckungsgrad der Vorjahre übertreffen und mehr Bodenfläche bedecken. Der mittlere Zuwachs aller Teilflächen im Jahr 2020 beträgt +30 % gegenüber dem Jahr 2019. Der größte Zuwachs einzeln betrachtet gelang der Blumenwiesenmischung auf SV 3 (WBS. O/WBS. U).

In den Jahren 2018, 2019 und 2020 erzielte die Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die höchsten Deckungsgrade und die Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) die geringsten Deckungsgrade.

Tabelle 24: Vergleich Deckungsgrad 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Deckungsgrad [%]					
Kuchelauer Hafen 2018-2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	2018	2019	2020
1	SV 2	S	69	74	77
		BR	71	70	88
		BW	66	70	86
2	SV 5	S	46	62	73
		BR	33	46	71
		BW	40	66	80
3	SV 6	BR	55	71	87
		BW	74	81	91
		S	63	75	84
4	SV 7	BW	71	76	91
		S	65	76	86
		BR	50	70	76
5	SV 4	S	56	66	68
		BR	45	59	65
		BW	75	72	97
6	SV 9	BR	31	59	84
		BW	51	73	93
		S	43	69	76
7	SV 10	BW	76	86	97
		S	44	75	90
		BR	86	89	96
8	SV 3	S	9	23	45
		BR	6	25	55
		BW	7	23	62
9	SV 8	BR	74	83	94
		BW	65	85	92
		S	39	67	83
10	SV 11	BW	60	80	94
		S	43	62	75
		BR	76	86	90
11	SV 2	S	65	54	73
		BR	70	64	85
		BW	55	61	85

Wuchshöhe

Im Zuge der Bonitur wurde die durchschnittliche Wuchshöhe je Teilfläche ermittelt. Pro Monat wurde die Wuchshöhe der Vegetation an zwölf Messpunkten aufgenommen und gemittelt. In Tabelle 25 sind die gemessenen Werte je Teilfläche und Saatgutvariante zu sehen. Zur einfacheren Vergleichbarkeit sind die gemittelten Werte der Vegetationsperiode

2020 je Saatgutmischung angegeben. In der rechten Spalte ist die größte gemessene Wuchshöhe der Saatgutmischungen je Teilfläche aufgelistet.

In der Vegetationsperiode 2020 erreichte die Blumenwiesenmischung auf der Substratvariante SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) die höchste Wuchshöhe von durchschnittlich 31,5 cm. Die Blumenwiesenmischung auf SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) erreicht die geringste Wuchshöhe dieser Kategorie mit durchschnittlich 25,6 cm. Die Blumenrasenmischung wuchs auf SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.) 24,9 cm und auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) 15,4 cm. Auf den Teilflächen der Standardrasenmischung wurden im Schnitt im höchsten Fall auf SV 4 (SaPf.- Perlit/a.B.) 22,1 cm und im niedrigsten Fall auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) 12,4 cm gemessen.

Die höchste gemessene Wuchshöhe von 95,0 cm wurde in Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) von der Blumenrasenmischung erreicht. Die Vegetation der Standardrasenmischung auf SV 2 (Oberboden/a.B.) wurde maximal 44,0 cm hoch. Die Blumenwiesen- und Blumenrasenmischung erreichten auf dem Großteil der Substrate ähnliche maximale Wuchshöhen. Die Standardrasenmischung blieb auf allen Substratvarianten niedriger als die beiden anderen Saatgutmischungen.

Tabelle 25: Wuchshöhe 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Wuchshöhe [cm]										
Kuchelauer Hafen 2020										
Abschnitt	SV	Saatgut	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Ø	max.
1	SV 2	S	27,7	19,4	20,4	15,4	24,2	12,1	19,9	55
		BR	15,0	26,3	26,6	23,8	21,2	13,9	21,1	60
		BW	18,4	23,8	29,1	34,4	26,8	32,8	27,6	71
2	SV 5	S	17,2	23,1	22,2	18,4	16,1	11,4	18,1	57
		BR	27,6	19,5	22,3	17,3	16,5	12,0	19,2	64
		BW	23,6	32,0	34,3	27,3	20,4	22,6	26,7	61
3	SV 6	BR	21,9	30,4	34,3	30,0	19,5	13,5	24,9	74
		BW	16,5	39,8	29,2	23,3	24,3	23,8	26,2	61
		S	13,4	25,1	22,0	18,3	15,5	12,0	17,7	53
4	SV 7	BW	27,6	33,1	36,1	24,8	16,7	15,6	25,6	68
		S	22,4	23,3	17,8	13,3	20,9	9,8	17,9	50
		BR	18,8	24,6	24,7	20,2	23,9	9,8	20,3	68
5	SV 4	S	15,7	32,4	25,5	33,7	15,9	9,7	22,1	58
		BR	15,8	30,0	30,6	27,5	20,5	9,6	22,3	61
		BW	21,1	31,3	33,1	32,1	25,1	18,4	26,8	62
6	SV 9	BR	23,3	31,4	27,5	27,9	22,6	10,8	23,9	60
		BW	15,2	39,2	32,8	30,8	29,7	22,8	28,4	61
		S	10,8	26,1	18,5	15,9	21,5	11,3	17,3	50
7	SV 10	BW	17,2	39,8	33,5	32,0	23,3	25,8	28,6	57
		S	18,8	29,4	18,4	19,7	18,8	11,7	19,5	46
		BR	12,2	29,8	26,9	29,5	30,6	11,3	23,4	95
8	SV 3	S	15,5	12,3	11,8	15,4	12,8	6,9	12,4	34
		BR	22,6	17,8	15,1	13,4	16,9	6,6	15,4	62
		BW	24,7	35,4	22,0	21,4	36,2	19,8	26,6	66
9	SV 8	BR	12,5	21,9	29,6	31,0	25,8	10,5	21,9	74
		BW	15,3	34,9	31,8	30,3	36,8	31,3	30,0	72
		S	24,0	18,7	18,5	14,7	18,9	10,2	17,5	57
10	SV 11	BW	23,5	32,6	33,5	42,4	29,3	27,4	31,5	87
		S	18,1	15,0	17,1	10,9	20,0	9,5	15,1	60
		BR	15,7	29,9	29,3	29,0	22,5	9,5	22,6	88
11	SV 2	S	12,0	17,1	16,9	14,6	17,5	10,2	14,7	44
		BR	13,3	27,8	28,4	23,8	23,2	8,3	20,8	65
		BW	24,7	28,7	36,5	31,4	28,0	24,8	29,0	74

In der Tabelle 26 sind die mittleren Wuchshöhen der Vegetationsperioden von 2018 bis 2020 veranschaulicht. Alle Saatgutvarianten auf den 33 Teilflächen konnten die Wuchshöhe im Jahr 2020 steigern. Die Zunahme der Wuchshöhe des Jahres 2020, im Vergleich zum Jahr 2019, beträgt über alle Teilflächen gemittelt 9,0 cm. Die größte Zunahme der Wuchshöhe war von der Blumenwiesenmischung auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 19,0 cm zu verzeichnen. Die geringste durchschnittliche Wuchshöhenzunahme wurde beim Standardrasensaatgut auf SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.) mit 1,0 cm gemessen.

Die höchsten Werte wurden während der drei Untersuchungsjahre in SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) gemessen, die geringsten in SV 3 (WBS. O/WBS. U).

Tabelle 26: Vergleich Wuchshöhe 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Wuchshöhe [cm]					
Kuchelauer Hafen 2018-2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	2018	2019	2020
1	SV 2	S	14	10	20
		BR	13	10	21
		BW	11	18	28
2	SV 5	S	8	17	18
		BR	5	16	19
		BW	5	22	27
3	SV 6	BR	11	12	25
		BW	12	15	26
		S	8	10	18
4	SV 7	BW	10	15	26
		S	8	10	18
		BR	11	13	20
5	SV 4	S	8	11	22
		BR	12	12	22
		BW	13	17	27
6	SV 9	BR	3	10	24
		BW	9	16	28
		S	7	10	17
7	SV 10	BW	13	15	29
		S	11	10	19
		BR	13	14	23
8	SV 3	S	3	4	12
		BR	2	6	15
		BW	1	8	27
9	SV 8	BR	10	18	22
		BW	10	21	30
		S	7	10	18
10	SV 11	BW	11	21	31
		S	8	9	15
		BR	16	14	23
11	SV 2	S	8	9	15
		BR	9	11	21
		BW	8	14	29

Gräser/Kräuter-Verhältnis

Mit jeder Bonituraufnahme wurde das Gräser-Kräuter-Verhältnis je Teilabschnitt aus Substrat- und Saatgutkombination aufgenommen. Die Verhältnisse der 33 Teilflächen in der Sickermulde 4 wurden von April bis November 2020 monatlich geschätzt. In Tabelle 27 sind die monatlichen Verhältnisse der Vegetationsperiode 2020 und der Jahresdurchschnitt zu sehen.

Der höchste Gräseranteil wurde in der Vegetationsperiode 2020 in der Substratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) mit der Standardrasenmischung mit 88 % erreicht. Der höchste Kräuteranteil war in SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) mit der Blumenrasenmischung mit 87 % zu verzeichnen.

Die Blumenwiesenmischung brachte höhere Kräuteranteile als die Blumenrasen- oder Standardrasenmischung hervor. Mit der Saatgutvariante Blumenwiese wuchsen auf fast allen Substratvarianten die höchsten Kräuteranteile. Lediglich auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) war mehr Kräuteranteil in der Vegetation der Blumenrasenmischung, im Gegensatz zur Blumenwiesenmischung, zu erkennen. Die Standardrasenmischung ließ im Schnitt die höchsten Gräseranteile erkennen.

Tabelle 27: Gräser/Kräuter-Verhältnis 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Gräser / Kräuter - Verhältnis [%]																				
Kuchelauer Hafen 2020																				
Abschnitt	SV	Saatgut	Apr.		Mai		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Okt.		Nov.		Ø	
			G	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	K
1	SV 2	S	90	10	80	20	90	10	95	5	85	15	85	15	90	10	90	10	88	12
		BR	50	50	65	35	60	40	25	75	25	75	65	35	30	70	35	65	44	56
		BW	30	70	45	55	40	60	20	80	15	85	30	70	10	90	20	80	26	74
2	SV 5	S	50	50	55	45	55	45	30	70	25	75	50	50	25	75	30	70	40	60
		BR	50	50	65	35	60	40	35	65	35	65	60	40	50	50	55	45	51	49
		BW	40	60	45	55	40	60	30	70	10	90	75	25	20	80	20	80	35	65
3	SV 6	BR	50	50	70	30	60	40	35	65	20	80	45	55	30	70	45	55	44	56
		BW	20	80	30	70	30	70	15	85	10	90	10	90	15	85	15	85	18	82
		S	40	60	40	60	40	60	15	85	20	80	55	45	40	60	45	55	37	63
4	SV 7	BW	10	90	25	75	20	80	10	90	10	90	10	90	10	90	10	90	13	87
		S	40	60	45	55	45	55	20	80	20	80	35	65	40	60	40	60	36	64
		BR	30	70	70	30	70	30	40	60	40	60	40	60	45	55	45	55	48	53
5	SV 4	S	40	60	65	35	65	35	35	65	45	55	55	45	50	50	50	50	51	49
		BR	30	70	55	45	60	40	15	85	30	70	50	50	40	60	40	60	40	60
		BW	10	90	35	65	30	70	10	90	10	90	15	85	10	90	15	85	17	83
6	SV 9	BR	45	55	65	35	65	35	20	80	30	70	50	50	35	65	45	55	44	56
		BW	30	70	40	60	45	55	10	90	20	80	20	80	25	75	25	75	27	73
		S	50	50	55	45	55	45	15	85	35	65	55	45	50	50	55	45	46	54
7	SV 10	BW	15	85	30	70	30	70	5	95	15	85	10	90	15	85	15	85	17	83
		S	75	25	85	15	75	25	30	70	50	50	60	40	60	40	65	35	63	38
		BR	10	90	25	75	25	75	5	95	10	90	15	85	10	90	30	70	16	84
8	SV 3	S	90	10	90	10	95	5	80	20	90	10	90	10	80	20	80	20	87	13
		BR	50	50	65	35	65	35	15	85	50	50	70	30	60	40	75	25	56	44
		BW	45	55	50	50	55	45	10	90	35	65	50	50	40	60	45	55	41	59
9	SV 8	BR	15	85	35	65	30	70	40	60	20	80	40	60	20	80	30	70	29	71
		BW	30	70	40	60	40	60	30	70	30	70	30	70	35	65	35	65	34	66
		S	85	15	80	20	80	20	40	60	50	50	80	20	60	40	75	25	69	31
10	SV 11	BW	15	85	30	70	25	75	10	90	15	85	25	75	25	75	30	70	22	78
		S	20	80	85	15	85	15	45	55	70	30	75	25	70	30	75	25	66	34
		BR	15	85	35	65	30	70	5	95	10	90	20	80	15	85	60	40	24	76
11	SV 2	S	75	25	70	30	80	20	45	55	50	50	65	35	50	50	50	50	61	39
		BR	50	50	60	40	55	45	40	60	40	60	45	55	30	70	50	50	46	54
		BW	35	65	50	50	35	65	25	75	30	70	30	70	25	75	25	75	32	68

In der Tabelle 28 sind die durchschnittlichen Gräser/Kräuter-Verhältnisse der Jahre 2018 bis 2020 zu sehen. In der Vegetationsperiode 2018 wurde der höchste Gräseranteil auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit der Standardrasenmischung und der höchste Kräuteranteil auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) aufgezeichnet. Im Jahr 2019 brachte die Standardrasenmischung auf

SV 2 (Oberboden/a.B.) den höchsten Gräseranteil und SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.) den höchsten Kräuteranteil hervor. Auch in der Vegetationsperiode 2020 war auf der Teilfläche SV 2 (Oberboden/a.B.) mit Standardrasenmischung der höchste Gräseranteil zu verzeichnen.

Tabelle 28: Vergleich Gräser/Kräuter-Verhältnis 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Gräser / Kräuter - Verhältnis [%]								
Kuchelauer Hafen 2018 -2020								
Abschnitt	SV	Saatgut	2018		2019		2020	
			Gräser	Kräuter	Gräser	Kräuter	Gräser	Kräuter
1	SV 2	S	97	3	94	6	88	12
		BR	48	53	61	39	44	56
		BW	43	58	45	55	26	74
2	SV 5	S	30	70	37	63	40	60
		BR	28	73	54	46	51	49
		BW	25	75	19	81	35	65
3	SV 6	BR	58	43	64	36	44	56
		BW	29	71	19	81	18	82
		S	50	50	39	61	37	63
4	SV 7	BW	43	58	38	63	13	87
		S	40	60	39	61	36	64
		BR	61	39	50	50	48	53
5	SV 4	S	35	65	34	67	51	49
		BR	63	38	47	54	40	60
		BW	43	58	28	73	17	83
6	SV 9	BR	55	45	50	50	44	56
		BW	14	86	14	86	27	73
		S	11	89	25	75	46	54
7	SV 10	BW	10	90	14	86	17	83
		S	75	25	68	33	63	38
		BR	28	73	17	83	16	84
8	SV 3	S	98	2	86	14	87	13
		BR	70	30	48	52	56	44
		BW	55	45	51	49	41	59
9	SV 8	BR	14	86	20	80	29	71
		BW	20	80	26	74	34	66
		S	53	48	77	23	69	31
10	SV 11	BW	33	68	21	79	22	78
		S	65	35	59	41	66	34
		BR	40	60	18	83	24	76
11	SV 2	S	75	25	72	28	61	39
		BR	35	65	50	50	46	54
		BW	48	53	48	52	32	68

Vitalität

Die Vitalität der Ansaaten wurde im Zuge des SAVE-Projektes auf einer Werteskala von 1 bis 5 (siehe Vitalität Kapitel 3.3.4) mit Zwischenpunkten bewertet. In Tabelle 29 ist die Vitalität je Teilfläche und Monat ersichtlich. Die rechte Spalte gibt die durchschnittlichen Vitalitätswerte der Vegetationsperiode 2020 an.

Nach der Erhebung der monatlichen Vitalitätswerte des Jahres 2020 wurden die Durchschnittswerte der Teilflächen über den gesamten Monitoringzeitraum ermittelt. 18 Teilflächen fallen im Schnitt in die Kategorie 2 (wüchsig), 13 Flächen wurden mit 3 (durchschnittlich) und zwei Teilflächen mit 4 (kümmerlich) bewertet.

Die besten Vitalitätswerte erreichten in der Aufnahme phase 2020 die Blumenwiesenmischung auf SV 2 (Oberboden/a.B.) und die Blumenrasenmischung auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.). Die besten Werte mit 1,8 sind der Kategorie wüchsig zuzuordnen. Der höchste Wert bei der Standardrasenmischung wurde auf SV 2 (Oberboden/a.B.) mit 2,2 erzielt, diese Bewertung entspricht ebenfalls der Kategorie wüchsig. Die schlechtesten Werte in der Vitalitätsbeurteilung, in allen drei Saatgutvarianten, wurden auf der Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) erzielt. Das Standardrasensaatzgut auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) wurde durchschnittlich mit 4,3 bewertet, das in die Kategorie kümmerlich einzustufen ist.

Tabelle 29: Vitalität 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Vitalität											
Kuchelauer Hafen 2020											
Abschnitt	SV	Saatgut	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Ø
1	SV 2	S	3	2,5	2,5	1	2	2	2,5	2	2,2
		BR	2	3	2,3	1	1,5	2	1,5	3	2,0
		BW	2	3	2,5	1	1	2	1,5	1,5	1,8
2	SV 5	S	3	4	3	1	1,5	2,5	2	3	2,5
		BR	4	4	3,5	1	2	3	3	3	2,9
		BW	3	4	3,5	1	1,5	2	2	2,5	2,4
3	SV 6	BR	3	3	2,5	1	1,5	2	1,5	3	2,2
		BW	1	4	4,5	1	2	1,5	2,5	2,5	2,4
		S	2	4	3	2	2	2,5	2,5	3	2,6
4	SV 7	BW	2,5	2,5	2	1	1,5	1,5	2	2,5	1,9
		S	3	3	2,5	1	2	2,5	2,5	3	2,4
		BR	3	4	4	1	2,5	3	3	3	2,9
5	SV 4	S	3	4	4	1	2,5	3	3	2,5	2,9
		BR	3	3,5	3	2	2,5	2,5	3	2,5	2,8
		BW	3	3,5	3,5	1	1	1,5	1,5	2	2,1
6	SV 9	BR	4	3	3	2	2	2,5	2	3	2,7
		BW	2	3	2,5	1	1,5	1,5	1	2,5	1,9
		S	3	3,5	3,5	1	2	3	2,5	3	2,7
7	SV 10	BW	2	3	3	1	2	2	2	2	2,1
		S	3	3,5	2,5	2	3	2,5	2	3	2,7
		BR	2	2	2	1	2	1,5	1	3	1,8
8	SV 3	S	5	5	5	4	4	4	4	3,5	4,3
		BR	5	4,5	4,5	2	3	3,5	3,5	3,5	3,7
		BW	4	3,5	3,5	2	3	3	4	3	3,3
9	SV 8	BR	2	2,5	1,5	1	1,5	2,5	1,5	2,5	1,9
		BW	2	2,5	2	1	1,5	2,5	1,5	2	1,9
		S	3	3	3	1	2	2,5	3	3	2,6
10	SV 11	BW	2	2	2	1	1,5	2,5	2	2,5	1,9
		S	3	4	3	3	3	3	3	3,5	3,2
		BR	2,5	3,5	3	1	1	2,5	1,5	3	2,3
11	SV 2	S	3	4	3,5	2	2,5	3	3	3	3,0
		BR	3	2,5	2	1	1,5	3	2	3	2,3
		BW	2	3,5	2,5	1	1	2	2	2	2,0

Die Vitalitätswerte der einzelnen Vegetationsperioden 2018 bis 2020 sind in der Tabelle 30 aufgelistet. Im Jahr 2018 wurden die Blumenrasenmischung und die Blumenwiesenmischung auf Substratvariante SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) mit 1,8 am besten bewertet. 2019 besaß die Blumenwiesenmischung auf den Substraten SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) mit 1,4 die beste Bewertung. 2020 konnte die Blumenwiesenmischung auf SV 2

(Oberboden/a.B.) und die Blumenrasenmischung auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) positiv mit einer Bewertung von 1,8 überzeugen. Die durchwegs schlechtesten Bewertungen der Vitalität in allen drei Vegetationsperioden wiesen die Ansaaten auf Substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U) auf. Die Variante SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit Standardrasen stellte jeweils die schlechteste aller Optionen dar.

Im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 fallen eine Verschlechterung von 24 Vitalitätswerten, eine Verbesserung von sechs Werten und drei gleichbleibende Werte auf. Im Durchschnitt fiel die Vitalität der Ansaaten im Jahr 2020 um 0,3 Punkte schlechter als im Jahr 2019 aus.

Tabelle 30: Vergleich Vitalität 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Vitalität					
Kuchelauer Hafen 2018-2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	2018	2019	2020
1	SV 2	S	2,1	2,8	2,2
		BR	1,8	2,3	2,0
		BW	1,9	2,1	1,8
2	SV 5	S	1,9	1,9	2,5
		BR	1,8	2,4	2,9
		BW	2,0	1,7	2,4
3	SV 6	BR	2,1	2,2	2,2
		BW	1,5	1,5	2,4
		S	1,3	1,7	2,6
4	SV 7	BW	1,6	1,4	1,9
		S	1,6	2,1	2,4
		BR	1,9	2,1	2,9
5	SV 4	S	1,3	1,9	2,9
		BR	1,3	1,9	2,8
		BW	1,3	1,4	2,1
6	SV 9	BR	2,6	2,5	2,7
		BW	1,5	1,7	1,9
		S	2,0	2,3	2,7
7	SV 10	BW	1,3	1,9	2,1
		S	2,1	2,4	2,7
		BR	1,3	1,5	1,8
8	SV 3	S	3,9	3,9	4,3
		BR	3,8	3,7	3,7
		BW	3,8	3,3	3,3
9	SV 8	BR	1,0	1,8	1,9
		BW	1,0	1,9	1,9
		S	2,3	2,9	2,6
10	SV 11	BW	1,4	1,5	1,9
		S	2,5	3,0	3,2
		BR	1,5	1,5	2,3
11	SV 2	S	3,0	2,9	3,0
		BR	2,3	1,8	2,3
		BW	2,5	2,4	2,0

Infloreszenz

Die Infloreszenz gibt die Vermehrungsfähigkeit der Vegetation an. Dazu wurden im Zuge der Bonitur die Anzahl der Blüten je Teilfläche gezählt und die Teilflächen in Kategorien von 1 bis 5 (siehe Infloreszenz Kapitel 3.3.4) eingeteilt. Als Blüte und somit einmalig gezählt wurden auch zusammengesetzte Blütenstände z.B. Ähren. Die Kategorie 1 stellte die besten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Vermehrung, Kategorie 5 die schlechtesten Voraussetzungen dar. Tabelle 31 zeigt die Infloreszenzstufen der einzelnen Substrat-

Saatgutkombinationen nach Aufnahmemonat und die daraus gemittelten Infloreszenzstufen für das Jahr 2020.

Die Durchschnittswerte des Jahres 2020 innerhalb der 33 Teilflächen ergaben 28 Einstufungen in die Kategorie 2 (zahlreiche Blüten), viermal Kategorie 3 (wenige Blüten) und einmal Bewertung 4 (einzelne bis rare Blüten).

Die beste Infloreszenz wurde 2020 für die Blumenwiesenmischung auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) mit durchschnittlich 1,5 Punkten ermittelt. Beim Blumenwiesensaatgut wurde auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) die geringste Infloreszenz mit 2,3 erhoben. Die höchste Infloreszenz mit 2,0 Punkten beim Blumenrasensaatgut wurde auf den Substratvarianten SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.-Kalk/SaSp.) ermittelt. Die geringste Infloreszenz bei Blumenrasen wurde auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 2,8 erreicht. Das beste Substrat hinsichtlich Infloreszenz für Standardrasenflächen stellte 2020 SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.) mit einer Bewertung von 1,9 dar. Die geringste Infloreszenz war in der Vegetationsperiode 2020 bei Standardrasen auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 4,1 zu verzeichnen.

Das Substrat mit den meisten Blütenständen und somit das beste Substrat für blütenreiche Bestände stellte 2020 die Substratvariante SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) dar. Die im allgemeinen schlechtesten Werte mit den wenigsten Blüten basieren auf dem Substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U).

Tabelle 31: Infloreszenz 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infloreszenz											
Kuchelauer Hafen 2020											
Abschnitt	SV	Saatgut	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Ø
1	SV 2	S	5	3	3	2	2	3	2	4	3,0
		BR	5	1	1	1	2	2	3	5	2,5
		BW	5	1,5	1	1	1	1	1	1	2
2	SV 5	S	5	1	1	2	1	1	2	4	2,1
		BR	5	2	2	1	1	1	2	5	2,4
		BW	5	1	1	1	1	1	3	3	2,0
3	SV 6	BR	5	1	1	1	1	3	3	4	2,4
		BW	5	2	1	1	1	1	2	2	1,9
		S	5	1	1	1	1	2	1	4	2,0
4	SV 7	BW	5	1	1	1	1	1	3	3	2,0
		S	5	1,5	1	1	1	1	2	5	2,2
		BR	5	1	1	1	1	2	2	5	2,3
5	SV 4	S	5	2	1	1	2	1	2	4	2,3
		BR	5	1	1	1	2	2	2	5	2,4
		BW	5	2	1	1	1	1	3	2	2,0
6	SV 9	BR	5	1	1	1	1	2	3	4	2,3
		BW	5	1	1	1	1	1	2	2	1,8
		S	5	1	1	1	1	1	1	4	1,9
7	SV 10	BW	5	2	1	1	1	1	3	1	1,9
		S	5	2	2	1	1	1	1	5	2,3
		BR	5	1	1	1	1	2	2	5	2,3
8	SV 3	S	5	5	5	3	3	3	4	5	4,1
		BR	5	1,5	1	1	2	3	4	5	2,8
		BW	5	2	1	1	2	1	4	2	2,3
9	SV 8	BR	5	1	1	1	1	2	1	4	2,0
		BW	5	1	1	1	1	1	1	1	1,5
		S	5	3	1	1	1	2	1,5	4	2,3
10	SV 11	BW	5	1	1	1	1	1	2	2	1,8
		S	5	2	2	1	1	2	2	5	2,5
		BR	5	1	1	1	1	1	1	5	2,0
11	SV 2	S	5	1	1	1	1	2	2	3	2,0
		BR	5	2	1	1	1	2	2	4	2,3
		BW	5	2	1	1	1	1	1	2	1,8

In der Tabelle 32 ist der Vergleich der durchschnittlichen Infloreszenzstufen je Teilfläche in den Jahren 2018 bis 2020 zu sehen.

In den Jahren 2018 und 2019 konnten jeweils mehrere Substrat-Saatgutvarianten die besten Infloreszenzerggebnisse liefern. 2018 erreichten sowohl das Blumenwiesen- als auch das Blumenrasensaatgut auf den Substratvarianten SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-

Kalk/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.) und SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die beste Bewertung von 1,0. 2019 war die Benotung höher, mit der Bestnote von 1,4 schnitten die Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) ab. 2020 erreichte die Substratvariante SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) die beste Bewertung von durchschnittlich 1,5 Punkten. Das Standardrasensaatgut auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) hatte im Vegetationsjahr 2018 keine Vermehrungsfähigkeit und wurde mit 5 benotet. 2019 wurde die Standardrasenmischung auf Substratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) mit 3,9 am schlechtesten bewertet. SV 3 (WBS. O/WBS. U) brachte auch 2020 am wenigsten Blüten hervor und wurde am schlechtesten bewertet.

Die besten Entwicklungen der Infloreszenz gelangen den Ansaaten auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.). Die Vegetationsformen auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) sind kaum vermehrungsfähig und wurden in den drei Jahren im Schnitt am schlechtesten benotet.

Ab dem Jahr 2018 konnte die Infloreszenz auf den meisten Teilflächen gehalten bzw. gesteigert werden. Im Jahr 2019 waren 17 Steigerungen der Kategorie, 14 mal die gleiche Kategorie und zwei Verschlechterungen gegenüber dem Jahr 2018 zu verzeichnen. Das Jahr 2020 brachte gegenüber dem Jahr 2019 auf den 33 Teilflächen zwei Verbesserungen der Infloreszenzstufen, 20 gleichbleibende Einstufungen und elf Verschlechterungen.

Tabelle 32: Vergleich Infloreszenz 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infloreszenz					
Kuchelauer Hafen 2018 - 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	2018	2019	2020
1	SV 2	S	3,8	3,9	3,0
		BR	2,5	2,4	2,5
		BW	2,5	1,6	1,7
2	SV 5	S	2,3	1,5	2,1
		BR	3,3	2,4	2,4
		BW	2,0	1,4	2,0
3	SV 6	BR	2,8	1,8	2,4
		BW	1,0	1,6	1,9
		S	2,0	2,1	2,0
4	SV 7	BW	1,0	1,4	2,0
		S	2,5	1,8	2,2
		BR	1,5	1,4	2,3
5	SV 4	S	2,5	1,9	2,3
		BR	2,3	1,9	2,4
		BW	1,8	1,5	2,0
6	SV 9	BR	3,3	2,0	2,3
		BW	1,0	1,4	1,8
		S	2,5	1,8	1,9
7	SV 10	BW	1,0	1,4	1,9
		S	2,8	1,9	2,3
		BR	1,0	1,9	2,3
8	SV 3	S	5,0	3,4	4,1
		BR	4,8	2,8	2,8
		BW	4,5	2,4	2,3
9	SV 8	BR	1,3	1,4	2,0
		BW	1,3	1,4	1,5
		S	3,0	2,8	2,3
10	SV 11	BW	1,3	1,4	1,8
		S	3,0	2,4	2,5
		BR	1,3	1,5	2,0
11	SV 2	S	3,0	2,5	2,0
		BR	2,8	2,0	2,3
		BW	2,5	2,0	1,8

4.1.5 Ergebnisse Frequenzanalyse

Die Frequenzanalyse wurde einmal in der Vegetationsperiode 2020 durchgeführt. Dabei wurden die Pflanzenarten und als Zusatzinformation deren Wuchshöhen aufgenommen. Anhand der Frequenzanalyse ließ sich die Hauptart jeder Teilfläche und deren Wahrscheinlichkeit des Antreffens in der Fläche bestimmen. In Tabelle 33 sind die dominierenden Pflanzenarten samt ihrer Frequenz angegeben. Die Arten wurden mit den

ursprünglich verwendeten Saatgutmischungen verglichen und analysiert, ob sie angesät wurden oder eingewandert sind.

Bei der Frequenzaufnahme 2020 wurde *Achillea millefolium* als häufigste Pflanze in den Teilflächen ausgemacht. *Achillea millefolium* kam in 14 Teilflächen als Hauptart vor, wobei ihre Frequenz als Hauptart zwischen 17 und 55 % betrug. *Achillea millefolium* war dabei in vier Teilflächen eingewandert. In sechs Teilflächen war *Lolium perenne* als Hauptart zu finden, ihre Frequenz in diesen Fällen betrug zwischen 16 und 59 %. *Lolium perenne* wurde auf allen Teilflächen ihres Vorkommens angesät. Ebenfalls sechsmal hatte *Trifolium repens* die höchste Frequenz in den Teilflächen. *Trifolium repens* wurde mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 18 und 47 % vorgefunden. *Trifolium repens* wurde fünfmal angesät und ist einmal aus einer Nebenfläche eingewandert. *Trifolium pratense* als Hauptart konnte in zwei Teilflächen einwandern und wurde in einer Teilfläche angesät, die Frequenz belief sich dabei im Jahr 2020 zwischen 34 und 41 %. *Lotus corniculatus* wurde auf allen drei Teilflächen mit Vorkommen als Hauptart angesät. Dabei konnte *Lotus corniculatus* eine Frequenz von 21 bis 36 % erreichen. *Festuca rubra rubra* setzte sich als Hauptart in der Teilfläche SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit der Frequenz von 28 % als eingewanderte Art durch.

Nicht alle Arten der jeweiligen Saatgutmischungen waren im Jahr 2020 in den Teilflächen vorzufinden. Die Frequenzanalyse brachte nur einen Teil der angesäten Arten zum Vorschein. Einige Gräser-, Kräuter- und Leguminosenarten wurden von anderen Pflanzen der Vegetationsschicht verdrängt und konnten sich nicht nachhaltig etablieren.

Tabelle 33: Frequenzanalyse dominierende Art 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Frequenzanalyse - dominierende Pflanzenart						
Kuchelauer Hafen 2020						
Abschnitt	SV	Saatgut	Pflanzenart	Frequenz [%]	Ø Wuchshöhe	Aufkommen
1	SV 2	S	<i>Lolium perenne</i>	59	21	Angesät
		BR	<i>Lolium perenne</i>	39	28	Angesät
		BW	<i>Trifolium pratense</i>	36	23	Angesät
2	SV 5	S	<i>Achillea millefolium</i>	25	22	Eingewandert
		BR	<i>Lolium perenne</i>	16	20	Angesät
		BW	<i>Achillea millefolium</i>	37	34	Angesät
3	SV 6	BR	<i>Achillea millefolium</i>	31	34	Angesät
		BW	<i>Achillea millefolium</i>	35	34	Angesät
		S	<i>Trifolium pratense</i>	41	18	Eingewandert
4	SV 7	BW	<i>Achillea millefolium</i>	46	36	Angesät
		S	<i>Achillea millefolium</i>	21	22	Eingewandert
		BR	<i>Trifolium repens</i>	28	20	Angesät
5	SV 4	S	<i>Achillea millefolium</i>	28	27	Eingewandert
		BR	<i>Trifolium repens</i>	18	19	Angesät
		BW	<i>Achillea millefolium</i>	43	41	Angesät
6	SV 9	BR	<i>Lolium perenne</i>	22	28	Angesät
		BW	<i>Achillea millefolium</i>	30	36	Angesät
		S	<i>Achillea millefolium</i>	17	22	Eingewandert
7	SV 10	BW	<i>Achillea millefolium</i>	55	36	Angesät
		S	<i>Lolium perenne</i>	22	20	Angesät
		BR	<i>Trifolium repens</i>	37	23	Angesät
8	SV 3	S	<i>Festuca rubra rubra</i>	28	10	Eingewandert
		BR	<i>Trifolium repens</i>	21	11	Angesät
		BW	<i>Lotus corniculatus</i>	21	42	Angesät
9	SV 8	BR	<i>Trifolium repens</i>	45	24	Angesät
		BW	<i>Achillea millefolium</i>	41	37	Angesät
		S	<i>Trifolium pratense</i>	34	14	Eingewandert
10	SV 11	BW	<i>Achillea millefolium</i>	27	35	Angesät
		S	<i>Lolium perenne</i>	24	13	Angesät
		BR	<i>Achillea millefolium</i>	31	28	Angesät
11	SV 2	S	<i>Trifolium repens</i>	27	11	Eingewandert
		BR	<i>Lotus corniculatus</i>	24	37	Angesät
		BW	<i>Lotus corniculatus</i>	36	39	Angesät

Mit den ermittelten Pflanzenarten wurde das Gräser/Kräuter/Leguminosen-Verhältnis ermittelt, welches in Tabelle 34 ersichtlich ist.

Den größten tatsächlichen Gräseranteil erreichte im Jahr 2020 die Standardrasensaart auf dem Substrat SV 2 (Oberboden/a.B.) mit 90 % Anteil an der Vegetation. Die meisten Kräuter

kamen auf SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) in der Blumenwiesenmischung, mit einem Anteil von 92 % vor. Der höchste Anteil mit 47 % an Leguminosen war in der Blumenwiese auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) zu finden.

Tabelle 34: Frequenzanalyse 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Gräser / Kräuter / Leguminosen - Verhältnis [%]					
Kuchelauer Hafen 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	August		
			Gräser	Kräuter	Leguminosen
1	SV 2	S	90	10	0
		BR	43	30	27
		BW	4	59	37
2	SV 5	S	21	68	11
		BR	26	60	14
		BW	12	85	3
3	SV 6	BR	26	66	8
		BW	15	63	22
		S	20	29	51
4	SV 7	BW	1	92	7
		S	15	63	22
		BR	21	48	31
5	SV 4	S	22	74	4
		BR	23	50	27
		BW	3	62	35
6	SV 9	BR	43	38	19
		BW	9	86	5
		S	14	77	9
7	SV 10	BW	8	91	1
		S	44	33	23
		BR	3	55	42
8	SV 3	S	32	62	6
		BR	34	35	31
		BW	24	60	16
9	SV 8	BR	8	45	47
		BW	17	71	12
		S	22	37	41
10	SV 11	BW	6	89	5
		S	50	50	0
		BR	3	85	12
11	SV 2	S	12	44	44
		BR	15	64	21
		BW	18	79	3

4.1.6 Ergebnisse Biomasseerhebung

Im Zuge der Biomasseerhebung wurde die prozentuelle Trockenmasse des Blumenrasensaatgutes erhoben. Dafür wurden die Blumenrasenflächen dreimal im Jahr gemäht und das Schnittgut wurde getrennt nach Straßenböschung, Sohle und Heckenböschung gesammelt. Die straßenseitige Böschung ist Richtung Nord-Osten exponiert, die heckenseitige Böschung ist in Richtung Süd-Westen geneigt. Die Beschickung der Sickermulde mit Regenwasser erfolgt über die straßenseitige Böschung. Die Heckenböschung ist durch den angrenzenden Heckenzaun und Bäume auf den Privatgrundstücken durch ein Blätterdach überschirmt. Im Labor wurden die Frischmasse und die Trockenmasse bestimmt und der prozentuelle Trockenmasseanteil errechnet. In Tabelle 35 sind die ermittelten Trockensubstanzwerte aufgelistet.

Tabelle 35: Biomasse 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Biomasse [%]								
Kuchelauer Hafen 2020								
Abschnitt	SV	Bereich	Saatgut	Trockensubstanz [%]			Mittel [%]	Mittel gesamte Mulde [%]
				Jun.	Aug.	Nov.		
1	SV 2	Straße	BR	19	9	12	14	15
		Sohle	BR	20	8	12	13	
		Hecke	BR	27	15	15	19	
2	SV 5	Straße	BR	28	19	19	22	23
		Sohle	BR	32	12	14	19	
		Hecke	BR	44	20	19	28	
3	SV 6	Straße	BR	19	14	13	15	19
		Sohle	BR	23	12	10	15	
		Hecke	BR	41	19	16	26	
4	SV 7	Straße	BR	18	15	19	18	22
		Sohle	BR	20	14	23	19	
		Hecke	BR	33	25	30	29	
5	SV 4	Straße	BR	17	10	13	13	21
		Sohle	BR	18	11	17	15	
		Hecke	BR	30	46	32	36	
6	SV 9	Straße	BR	25	13	16	18	21
		Sohle	BR	25	14	11	17	
		Hecke	BR	45	23	16	28	
7	SV 10	Straße	BR	16	11	11	12	15
		Sohle	BR	19	9	10	13	
		Hecke	BR	22	27	12	21	
8	SV 3	Straße	BR	32	26	19	26	27
		Sohle	BR	32	28	20	27	
		Hecke	BR	38	28	18	28	
9	SV 8	Straße	BR	16	13	10	13	14
		Sohle	BR	15	12	8	12	
		Hecke	BR	27	18	11	18	
10	SV 11	Straße	BR	21	17	11	16	18
		Sohle	BR	21	19	11	17	
		Hecke	BR	25	24	13	20	
11	SV 2	Straße	BR	27	19	13	20	18
		Sohle	BR	18	18	10	15	
		Hecke	BR	22	22	14	19	

Bei allen Substratvarianten wurde die höchste prozentuelle Trockenmasse im Bereich der süd-westexponierten Heckenböschung ausgemacht. Über alle Substratvarianten hinweg hatte die Heckenböschung im Schnitt 25 % Trockenmasse. Die Trockenmasse der Sohle und der nord-ostexponierten Straßenböschung belief sich jeweils auf durchschnittlich 17%.

SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) hatte die im Schnitt höchste und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) die geringste Trockenmasse bei der Heckenböschung. Im Sohlenbereich wurde die höchste Trockenmasse bei SV 3 (WBS. O/WBS. U) und die geringste Trockenmasse bei SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) gemessen. Bei der Straßenböschung wurde 2020 auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) die meiste und auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die wenigste prozentuelle Trockensubstanz ermittelt.

Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) hatte über den gesamten Muldenquerschnitte die höchste prozentuelle Trockensubstanz mit 27 %. SV 8 hatte mit 14 % Trockenmasse am wenigsten Substanz.

In Tabelle 36 sind die prozentuellen Biomassen des Blumenrasensaatgutes je einzelner Teilfläche getrennt nach Bereich und gemittelt dargestellt.

Im Jahr 2018 hatte der Blumenrasen auf SV 2 (Oberboden/a.B.) die meiste Trockensubstanz und SV 3 (WBS. O/WBS. U) die geringste Trockenmasse. 2019 brachte SV 3 (WBS. O/WBS. U) die meiste und SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die geringste Trockensubstanz auf die Waage. Im Jahr 2020 wurde wieder die größte prozentuelle Trockenmasse durch die Vegetation auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) erzeugt, SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) hatte die geringste Trockenmasse.

Tabelle 36: Vergleich Biomasse 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Biomasse [%]									
Kuchelauer Hafen 2018-2020									
Abschnitt	SV	Bereich	Saatgut	Trockensubstanz [%]					
				2018	gesamte Mulde 2018	2019	gesamte Mulde 2019	2020	gesamte Mulde 2020
1	SV 2	Straße	BR	57	49	30	28	14	15
		Sohle	BR	32		24		13	
		Hecke	BR	58		31		19	
2	SV 5	Straße	BR	23	23	27	33	22	23
		Sohle	BR	32		25		19	
		Hecke	BR	14		48		28	
3	SV 6	Straße	BR	30	27	23	29	15	19
		Sohle	BR	30		25		15	
		Hecke	BR	20		39		26	
4	SV 7	Straße	BR	33	26	21	26	18	22
		Sohle	BR	34		19		19	
		Hecke	BR	12		37		29	
5	SV 4	Straße	BR	37	31	17	24	13	21
		Sohle	BR	36		18		15	
		Hecke	BR	19		36		36	
6	SV 9	Straße	BR	24	23	24	28	18	21
		Sohle	BR	25		24		17	
		Hecke	BR	21		37		28	
7	SV 10	Straße	BR	34	33	21	20	12	15
		Sohle	BR	37		17		13	
		Hecke	BR	27		24		21	
8	SV 3	Straße	BR	5	6	39	40	26	27
		Sohle	BR	13		36		27	
		Hecke	BR	1		46		28	
9	SV 8	Straße	BR	38	36	29	30	13	14
		Sohle	BR	34		28		12	
		Hecke	BR	38		31		18	
10	SV 11	Straße	BR	40	33	27	24	16	18
		Sohle	BR	32		22		17	
		Hecke	BR	26		23		20	
11	SV 2	Straße	BR	17	29	30	26	20	18
		Sohle	BR	36		20		15	
		Hecke	BR	33		27		19	

4.2 Ergebnisse der Korrelationsanalysen

Der Zusammenhang zwischen Vegetationsentwicklung und der Substratvariante bzw. dem Bodenwassergehalt wurde mittels des Statistikprogrammes IBM SPSS Statistics 26 analysiert. Die Indikatoren Deckungsgrad, Vitalität und Infloreszenz wurden auf einen linearen Zusammenhang mit Substratvariante sowie dem Bodenwassergehalt überprüft. Als Datengrundlage wurden die zwei Vegetationsperioden 2019 und 2020 verwendet.

4.2.1 Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Substratvariante

Der Zusammenhang des Deckungsgrades sowie der Substratvariante wurde, aufgrund der nominalen Skala der Substratvarianten und der metrischen Skala des Deckungsgrades, mittels einer Kreuztabelle (siehe Tabelle 37) mit dem Eta-Koeffizienten als Korrelationsmaß untersucht. Der Eta-Koeffizient η ergab 0,671 (siehe Tabelle 38) bei der abhängigen Variable „Deckungsgrad“, dadurch ließ sich η^2 mit 0,450 berechnen. Das heißt 45,0 % Varianz der abhängigen Variable „Deckungsgrad“ sind durch die Substratvariante erklärbar. Die Substratvariante ist somit ein wesentlicher Faktor für die Entwicklung des Deckungsgrades. Es wurde ein monotoner Zusammenhang nachgewiesen.

Tabelle 37: Kreuztabelle Deckungsgrad – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Deckungsgrad * Substratvariante Kreuztabelle													
Anzahl													
		Substratvariante											Gesamt
		SV 2	SV 5	SV 6	SV 7	SV 4	SV 9	SV 10	SV 3	SV 8	SV 11	SV2	
Deckungsgrad	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
	10	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	20	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	6
	25	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
	30	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	4
	35	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5
	40	0	0	0	0	1	1	0	7	0	0	2	11
	45	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	4
	50	0	2	0	0	0	0	0	3	0	1	6	12
	55	1	5	1	1	3	2	1	1	2	1	4	22
	60	3	10	3	1	9	4	0	2	3	3	1	39
	65	5	4	2	4	8	4	0	7	1	2	5	42
	70	7	5	5	4	11	10	3	1	5	3	5	59
	75	8	3	5	9	2	5	6	2	3	7	10	60
	80	13	7	8	13	1	3	0	0	1	2	2	50
	85	1	7	5	8	1	9	7	0	9	8	2	57
	90	1	1	11	3	0	1	8	0	10	10	8	53
	95	9	0	8	5	8	4	15	0	10	9	2	70
98	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	
100	0	0	0	0	3	4	7	0	3	1	0	18	
Gesamt		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	528

Tabelle 38: Ergebnisse Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Richtungsmaße			
			Wert
Nominal- bzgl. Intervallmaß	Eta	Deckungsgrad abhängig	,671
		Substratvariante abhängig	,378

4.2.2 Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Bodenwassergehalt

Die Korrelation des Deckungsgrades mit dem durchschnittlichen Bodenwassergehalt des Monats wurde untersucht. In Diagramm 2 ist die Streuung der einzelnen Werte ersichtlich. Da es sich um zwei metrisch skalierte Variablen handelt, wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient verwendet. In Tabelle 39 wurde ein geringer signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bodenwassergehalt und dem Deckungsgrad nachgewiesen. Mit steigendem durchschnittlichem Bodenwassergehalt je Substratvariante steigt auch der Deckungsgrad. Die hohe Streuung der Punkte um die Anpassungslinie, sowie das geringe Bestimmtheitsmaß R^2 von 3,0 % zeigen jedoch, dass der Effekt sehr gering ist.

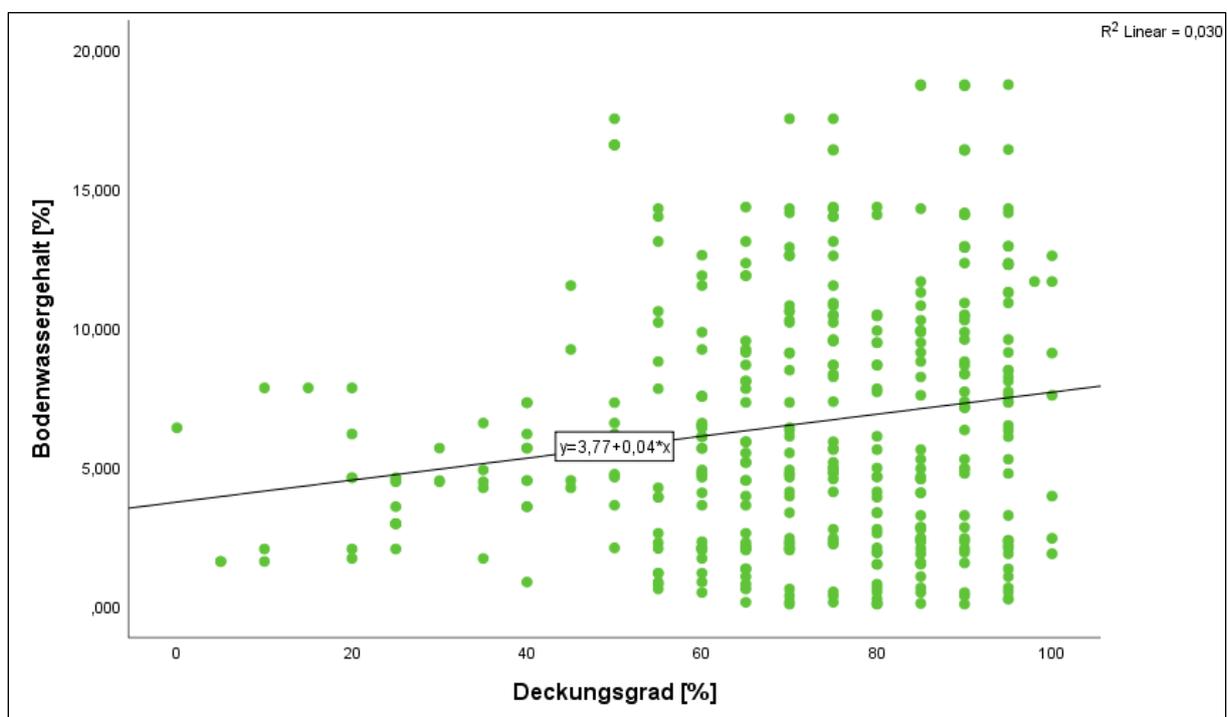


Diagramm 2: Streuung Deckungsgrad – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Tabelle 39: Ergebnisse Korrelationsanalyse Deckungsgrad – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Korrelationen			
		Bodenwassergehalt	Deckungsgrad
Bodenwassergehalt	Korrelation nach Pearson	1	,172**
	Signifikanz (2-seitig)		,001
	N	384	384
Deckungsgrad	Korrelation nach Pearson	,172**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,001	
	N	384	528
** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.			

4.2.3 Korrelationsanalyse Vitalität – Substratvariante

Zur Überprüfung eines Zusammenhangs zwischen der Vitalität und der Substratvariante wurde eine Korrelationsanalyse mittels χ^2 -Test durchgeführt. Die Verteilung der Vitalitätswerte je Substratvariante ist der Tabelle 40 zu entnehmen. Aufgrund der nicht erfüllten Voraussetzung der erwarteten Häufigkeit je Zelle von mindestens fünf Werten, wurde auf den Exakten Test nach Fischer zurückgegriffen.

Wegen der Signifikanz des Exakten Tests nach Fischer (siehe Tabelle 41) ist die Nullhypothese zur Unabhängigkeit der Variablen zu verwerfen. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Substratvariante und der Vitalität der darauf wachsenden Vegetationsschicht. Durch den χ^2 -Test lässt sich die Stärke der Korrelation jedoch nicht bestimmen.

Tabelle 40: Kreuztabelle Vitalität – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Vitalität * Substratvariante Kreuztabelle													
Anzahl													
		Substratvariante											Gesamt
		SV 2	SV 5	SV 6	SV 7	SV 4	SV 9	SV 10	SV 3	SV 8	SV 11	SV 2	
Vitalität	1,0	4	8	13	12	10	7	11	0	8	13	7	93
	1,5	6	5	6	5	7	3	3	0	8	2	3	48
	2,0	17	14	8	7	7	15	16	3	9	7	11	114
	2,3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2,5	9	3	8	10	11	8	6	2	14	9	8	88
	3,0	9	11	10	11	8	10	10	9	7	13	13	111
	3,5	2	2	0	1	3	3	2	9	1	2	4	29
	4,0	0	5	2	2	2	2	0	15	0	1	2	31
	4,5	0	0	1	0	0	0	0	4	0	1	0	6
	5,0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	7
Gesamt		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	528

Tabelle 41: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität –Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Chi-Quadrat-Tests									
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Monte-Carlo-Signifik. (2-seitig)			Monte-Carlo-Signifik. (1-seitig)		
				Signifik.	99%-Konfidenzint.		Signifik.	99%-Konfidenzint.	
					Unterg.	Oberg.		Unterg.	Oberg.
Chi-Quadrat nach Pearson	244,374 ^a	90	,000	,000 ^b	,000	,000			
Likelihood-Quotient	201,253	90	,000	,000 ^b	,000	,000			
Exakter Test nach Fisher	173,533			,000 ^b	,000	,000			
Zusammenhang linear-mit-linear	6,739 ^c	1	,009	,010 ^b	,007	,012	,005 ^b	,003	,006
Anzahl der gültigen Fälle	528								
a. 66 Zellen (60,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,09.									
b. Basierend auf 10000 Stichprobentabellen mit dem Startwert 2000000.									
c. Die standardisierte Statistik ist 2,596.									

4.2.4 Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt

Das Diagramm 3 zeigt die Streuung der Vitalität in Zusammenhang mit dem durchschnittlichen Bodenwassergehalt je Aufnahmemonat. Die Punkte des Streudiagrammes liegen zufällig verteilt. Daraus ist grafisch abzulesen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Variablen „Vitalität“ und „Bodenwassergehalt“ besteht. Das äußerst geringe Bestimmtheitsmaß R^2 gibt ebenso Aufschluss über eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit eines linearen Zusammenhangs beider Variablen.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind in Tabelle 42 aufgelistet. Aufgrund der ordinalen Skala der Vitalität und der metrischen Skala des Bodenwassergehalts wurden die Rangkorrelationskoeffizienten Kendalls-Tau-b τ_b und Spearmans Roh ρ berechnet. Die durch die Ableitung der grafischen Darstellung der Verteilung vermutete geringe Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhangs wurde durch die Korrelationsberechnungen bestätigt. Der Zusammenhang des Bodenwassergehalts mit der Vitalität ist jedoch weder bei Kendalls-Tau-b noch bei Spearmans Roh signifikant. Es besteht bei beiden Berechnungen ein marginal positiver Zusammenhang der Variablen, welcher zu vernachlässigen ist.

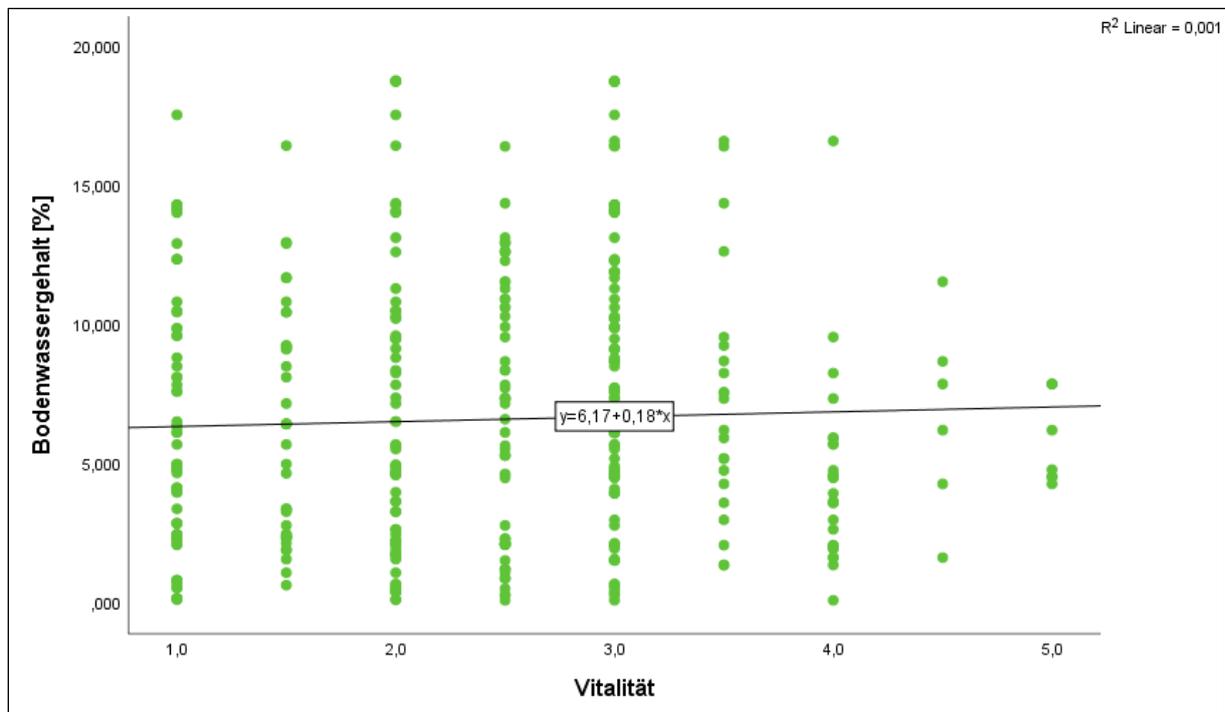


Diagramm 3: Streuung Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Tabelle 42: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Korrelationen				
			Bodenwassergehalt	Vitalität
Kendall-Tau-b	Bodenwassergehalt	Korrelationskoeffizient	1,000	,037
		Sig. (2-seitig)	.	,320
		N	384	384
	Vitalität	Korrelationskoeffizient	,037	1,000
		Sig. (2-seitig)	,320	.
		N	384	528
Spearman-Rho	Bodenwassergehalt	Korrelationskoeffizient	1,000	,056
		Sig. (2-seitig)	.	,271
		N	384	384
	Vitalität	Korrelationskoeffizient	,056	1,000
		Sig. (2-seitig)	,271	.
		N	384	528

4.2.5 Korrelationsanalyse Infloreszenz – Substratvariante

Eine Korrelationsanalyse für die Variablen „Infloreszenz“ und der „Substratvariante“ wurde mittels χ^2 -Test durchgeführt. Der χ^2 -Test wurde wegen der nominalen Skala der Substratvariante und der ordinalen Skala der Infloreszenz angewendet. Die Verteilung der Häufigkeiten der Infloreszenz je Substratvariante ist in der Tabelle 43 aufgelistet. Es wurde ein Exakter Test nach Fischer berechnet, weil die Voraussetzung der erwarteten Häufigkeit je Zelle von mindestens fünf Werten nicht erfüllt wurde.

Die Signifikanz des Exakten Tests nach Fischer (siehe Tabelle 44) ist höher als das angegebene Signifikanzniveau von 5 %. Darum ist die Nullhypothese beizubehalten. Die Infloreszenz ist unabhängig von der Substratvariante. Es besteht kein signifikanter Zusammenhang beider Variablen.

Tabelle 43: Kreuztabelle Infloreszenz – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infloreszenz * Substratvariante Kreuztabelle													
Anzahl													
		Substratvariante											Gesamt
		SV 2	SV 5	SV 6	SV 7	SV 4	SV 9	SV 10	SV 3	SV 8	SV 11	SV2	
Infloreszenz	1	18	28	29	33	27	32	30	14	32	31	26	300
	2	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
	2	9	8	7	3	10	4	7	7	3	7	10	75
	3	7	3	2	2	2	3	2	4	2	0	1	28
	4	3	4	5	4	3	6	3	10	5	3	4	50
	5	10	5	5	5	6	3	6	12	5	7	7	71
Gesamt		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	528

Tabelle 44: Ergebnisse Korrelationsanalyse Infloreszenz – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Chi-Quadrat-Tests									
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Monte-Carlo-Signifik. (2-seitig)			Monte-Carlo-Signifik. (1-seitig)		
				Signifik.	99%-Konfidenzint.		Signifik.	99%-Konfidenzint.	
					Unterg.	Oberg.		Unterg.	Oberg.
Chi-Quadrat nach Pearson	62,045 ^a	50	,118	,107 ^b	,099	,115			
Likelihood-Quotient	63,775	50	,091	,113 ^b	,105	,121			
Exakter Test nach Fisher	58,707			,077 ^b	,070	,084			
Zusammenhang linear-mit-linear	,022 ^c	1	,882	,887 ^b	,878	,895	,443 ^b	,430	,456
Anzahl der gültigen Fälle	528								

a. 33 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,36.

b. Basierend auf 10000 Stichprobentabellen mit dem Startwert 624387341.

c. Die standardisierte Statistik ist -,148.

4.2.6 Korrelationsanalyse Infloreszenz – Bodenwassergehalt

Auch für die Infloreszenz und den monatlich durchschnittlichen Bodenwassergehalt wurde eine Korrelationsanalyse gemacht. Die Streuung der Punkte der Infloreszenz-

Bodenwassergehaltspaare in Diagramm 4 ist sehr groß. Die Punkte des Streudiagrammes liegen zufällig verteilt. Das geringe Bestimmtheitsmaß R^2 gibt eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit eines linearen Zusammenhangs beider Variablen an.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind der Tabelle 45 zu entnehmen. Es wurden die Rangkorrelationskoeffizienten Kendalls-Tau-b τ_b und Spearmans Roh ρ berechnet, weil die Infloreszenz eine ordinale und der Bodenwassergehalt eine metrische Skala besitzt. Die Ergebnisse der Korrelationsberechnungen ergaben keinen Zusammenhang des Bodenwassergehalts mit der Infloreszenz. Der Zusammenhang ist weder bei Kendalls-Tau-b, noch bei Spearmans Roh signifikant nachweisbar. Der äußerst kleine negative Zusammenhang ist zu vernachlässigen.

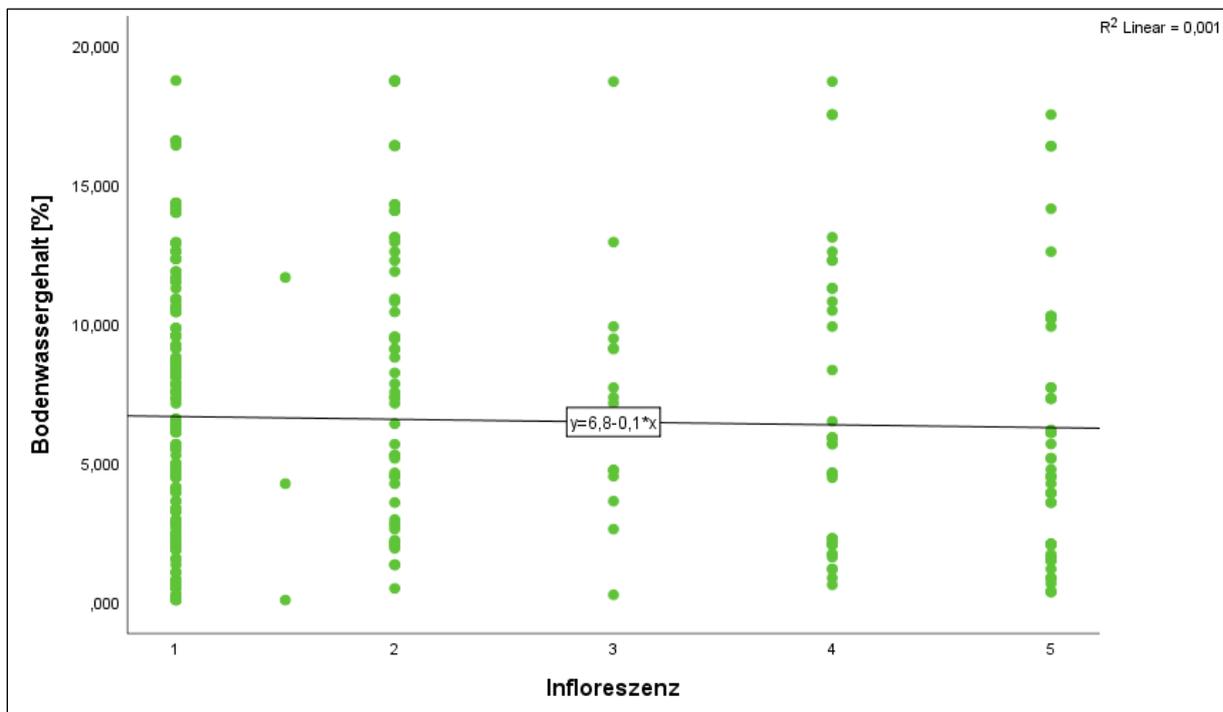


Diagramm 4: Streuung Korrelationsanalyse Infloreszenz – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Tabelle 45: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Korrelationen				
			Bodenwassergehalt	Infloreszenz
Kendall-Tau-b	Bodenwassergehalt	Korrelationskoeffizient	1,000	-,012
		Sig. (2-seitig)	.	,763
		N	384	384
	Infloreszenz	Korrelationskoeffizient	-,012	1,000
		Sig. (2-seitig)	,763	.
		N	384	528
Spearman-Rho	Bodenwassergehalt	Korrelationskoeffizient	1,000	-,015
		Sig. (2-seitig)	.	,765
		N	384	384
	Infloreszenz	Korrelationskoeffizient	-,015	1,000
		Sig. (2-seitig)	,765	.
		N	384	528

4.3 Ergebnismatrix

Die Mastermatrix stellt die Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse der Indikatoren dar. Sie setzt sich aus den gewerteten Ergebnissen der Substrate, sowie der Vegetation zusammen. Um die Indikatoren in ein Ergebnis zusammenziehen zu können, wurden die Einzelergebnisse in Punkte umgewandelt. Die Indikatoren wurden je nach Relevanz und Wirkungsgrad anhand der Fachliteratur gewichtet. Das genaue Bewertungsschema ist in Kapitel 3.5.3 nachzulesen.

Für die geotechnische Bewertung der Substrate und Saatgutvarianten wurden die Ergebnisse gesammelt und in die Tabelle 46 eingetragen. Die Punkte der Spalte Gesamtergebnis geben Auskunft über die geotechnische Performance der Substrat-Ansaatkombinationen im Jahr 2020.

Tabelle 46: Mastermatrix - geotechnische Ergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Mastermatrix - geotechnische Ergebnisse												
Kuchelauer Hafen - 2020												
Abschnitt	SV	Substratvariante	Saatgut	geotechnische Parameter			Infiltrationsrate		Tragfähigkeit		Bodenwassergehalt April - November [%]	Gesamtergebnis
				Durchlässigkeit [m/s]	Durchlässigkeitbeiwert	Dynamischer EV [MN/m ²]	Dynamischer EV [MN/m ²]	Ø	Ø			
1	SV 2	Oberboden	S	2,8E-07	Ø	4,3	Ø	nicht gem.	Ø	4,0		
			BR	9,7E-07	4,5	4,0						
			BW	1,1E-06	4,1	4,0						
2	SV 5	SaPf.-Zeolith	S	2,2E-04	5,3	7,4	5,5	Ø	7,0			
			BR	1,8E-04	6,8	7,0						
			BW	2,7E-04	6,8	7,0						
3	SV 6	SaPf.-Kombi	BR	9,7E-05	5,0	10,0	6,7	Ø	10,0			
			BW	8,9E-05	4,8	10,0						
			S	6,9E-05	5,9	10,0						
4	SV 7	SaPf.-Kalk	BW	2,4E-04	6,1	7,0	3,5	Ø	7,0			
			S	2,1E-04	6,1	7,0						
			BR	2,5E-04	5,6	7,0						
5	SV 4	SaPf.-Perlit	S	7,6E-05	5,0	10,0	5,6	Ø	7,0			
			BR	1,1E-04	5,1	10,0						
			BW	8,6E-05	4,8	10,0						
6	SV 9	SaPf.-Zeolith/SaSp.	BR	1,9E-04	5,3	7,0	nicht gem.	Ø	7,0			
			BW	2,0E-04	5,8	7,0						
			S	1,9E-04	5,3	7,0						
7	SV 10	SaPf.-Kombi/SaSp.	BW	4,7E-05	4,8	10,0	nicht gem.	Ø	10,0			
			S	5,7E-05	4,8	10,0						
			BR	8,0E-05	4,7	10,0						
8	SV 3	WBS. O./WBS. U.	S	6,1E-05	11,1	10,0	4,9	Ø	10,0			
			BR	1,2E-05	8,2	10,0						
			BW	3,4E-05	8,4	10,0						
9	SV 8	SaPf.-Perlit/SaSp.	BR	1,1E-04	4,2	7,0	4,4	Ø	10,0			
			BW	5,7E-05	5,3	10,0						
			S	3,4E-05	4,3	10,0						
10	SV 11	SaPf.-Kalk/SaSp.	BW	1,9E-04	7,1	7,0	11,6	Ø	7,0			
			S	2,3E-04	5,9	7,0						
			BR	2,9E-04	6,0	7,0						
11	SV 2	Oberboden	S	7,4E-06	4,4	7,0	13,5	Ø	4,0			
			BR	2,2E-06	5,4	4,0						
			BW	1,7E-06	4,1	4,0						

Die Substratvarianten SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 10 (SaPf.-Kombi/SaSp.), SV 3 (WBS. O./WBS. U) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) schnitten bei den geotechnischen Indikatoren sehr gut ab. Die genannten Substratvarianten erreichten die Punkthöchstzahl von zehn. Die Teilflächen des Referenzsubstrates erreichten jeweils vier Punkte und schnitten somit schlechter als die SAVE-Substrate ab. Die Infiltrationsraten

waren hauptsächlich für das geotechnische Ergebnis der Substrate verantwortlich. Da keine der Substratvarianten eine hohe Tragfähigkeit erreichte, ist dieser Indikator nicht ausschlaggebend für das Gesamtergebnis. Der Bodenwassergehalt wurde aufgrund fehlender Werte nicht in die Punktwertung genommen.

In Tabelle 47 sind die Ergebnisse der vegetationstechnischen Indikatoren zusammengefasst. Die Spalte Gesamtergebnis drückt das Verhalten der Vegetation in den einzelnen Substraten aus. Die Blumenwiesenmischung auf SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) sowie die Blumenwiesen- und die Blumenrasenmischung auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) erzielten die besten vegetationstechnischen Ergebnisse. Die beiden Varianten erreichten mit 17 Punkten das beste vegetationstechnische Ergebnis. Die Standardrasenmischung auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) erreichte mit sechs Punkten die geringste Punkteanzahl. Ausschlaggebend für die Gesamtbewertung war hauptsächlich das Ergebnis des Deckungsgrades. Die Punkte der Vitalitätsbewertung und der Infloreszenz brachte geringfügige Unterschiede im Ranking. Die Wuchshöhe und die Biomasse wurden nicht in die Bewertung genommen, zum Vergleich mit den Jahren 2018 und 2019 jedoch in der Gesamtergebnismatrix angeführt.

Tabelle 47: Mastermatrix - vegetationstechnische Ergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Mastermatrix - vegetationstechnische Ergebnisse Kuchelauer Hafen - 2020													
Abschnitt	SV	Substratvariante	Saatgut	Vegetationstechnische Indikatoren									
				Ø Deckungsgrad [%]	Ø Verhältnis [%]		Ø Vitalität	Ø Infloreszenz	Ø Wuchshöhe [cm]	Ø Biomasse [%]	Gesamtergebnis		
					Gräser	Kräuter					Trockensubstanz		
1	SV 2	Oberboden	S	77	88	12	2,2	3	20			14,0	
			BR	88	44	56	2,0	3	21		46	14,0	
			BW	86	26	74	1,8	2	28			14,0	
2	SV 5	SaPf.-Zeolith	S	73	40	60	2,5	2	18			12,0	
			BR	71	51	49	2,9	2	19		69	12,0	
			BW	80	35	65	2,4	2	27			14,0	
3	SV 6	SaPf.-Kombi	BR	87	44	56	2,2	2	25		56	14,0	
			BW	91	18	82	2,4	2	26			14,0	
			S	84	37	63	2,6	2	18			12,0	
4	SV 7	SaPf.-Kalk	BW	91	13	87	1,9	2	26			14,0	
			S	86	36	64	2,4	2	18			14,0	
			BR	76	48	53	2,9	2	20		66	12,0	
5	SV 4	SaPf.-Perlit	S	68	51	49	2,9	2	22			12,0	
			BR	65	40	60	2,8	2	22		64	12,0	
			BW	97	17	83	2,1	2	27			17,0	
6	SV 9	SaPf.-Zeolith/SaSp.	BR	84	44	56	2,7	2	24		63	12,0	
			BW	93	27	73	1,9	2	28			14,0	
			S	76	46	54	2,7	2	17			12,0	
7	SV 10	SaPf.-Kombi/SaSp.	BW	97	17	83	2,1	2	29			17,0	
			S	90	63	38	2,7	2	19			12,0	
			BR	96	16	84	1,8	2	23		46	17,0	
8	SV 3	WBS. O./WBS. U.	S	45	87	13	4,3	4	12			6,0	
			BR	55	56	44	3,7	3	15		81	7,0	
			BW	62	41	59	3,3	2	27			12,0	
9	SV 8	SaPf.-Perlit/SaSp.	BR	94	29	71	1,9	2	22		43	14,0	
			BW	92	34	66	1,9	2	30			14,0	
			S	83	69	31	2,6	2	18			12,0	
10	SV 11	SaPf.-Kalk/SaSp.	BW	94	22	78	1,9	2	31			14,0	
			S	75	66	34	3,2	3	15			12,0	
			BR	90	24	76	2,3	2	23		54	14,0	
11	SV 2	Oberboden	S	73	61	39	3,0	2	15			12,0	
			BR	85	46	54	2,3	2	21		54	14,0	
			BW	85	32	68	2,0	2	29			14,0	

Mit dem geotechnischen und dem vegetationstechnischen Ergebnis ließ sich das Gesamtergebnis bestimmen. In Tabelle 48 ist das gesammelte Gesamtergebnis der Substratvarianten ersichtlich.

Tabelle 48: Mastermatrix – Gesamtergebnis 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Mastermatrix - Gesamtergebnis						
Kuchelauer Hafen - 2020						
Abschnitt	SV	Substratvariante	Saatgut	geo. Gesamtergebnis	veg. Gesamtergebnis	ges. Gesamtergebnis
1	SV 2	Oberboden	S	4,0	14,0	18,0
			BR	4,0	14,0	18,0
			BW	4,0	14,0	18,0
2	SV 5	SaPf.-Zeolith	S	7,0	12,0	19,0
			BR	7,0	12,0	19,0
			BW	7,0	14,0	21,0
3	SV 6	SaPf.-Kombi	BR	10,0	14,0	24,0
			BW	10,0	14,0	24,0
			S	10,0	12,0	22,0
4	SV 7	SaPf.-Kalk	BW	7,0	14,0	21,0
			S	7,0	14,0	21,0
			BR	7,0	12,0	19,0
5	SV 4	SaPf.-Perlit	S	10,0	12,0	22,0
			BR	7,0	12,0	19,0
			BW	10,0	17,0	27,0
6	SV 9	SaPf.-Zeolith/SaSp.	BR	7,0	12,0	19,0
			BW	7,0	14,0	21,0
			S	7,0	12,0	19,0
7	SV 10	SaPf.-Kombi/SaSp.	BW	10,0	17,0	27,0
			S	10,0	12,0	22,0
			BR	10,0	17,0	27,0
8	SV 3	WBS. O./WBS. U.	S	10,0	6,0	16,0
			BR	10,0	7,0	17,0
			BW	10,0	12,0	22,0
9	SV 8	SaPf.-Perlit/SaSp.	BR	7,0	14,0	21,0
			BW	10,0	14,0	24,0
			S	10,0	12,0	22,0
10	SV 11	SaPf.-Kalk/SaSp.	BW	7,0	14,0	21,0
			S	7,0	12,0	19,0
			BR	7,0	14,0	21,0
11	SV 2	Oberboden	S	7,0	12,0	19,0
			BR	4,0	14,0	18,0
			BW	4,0	14,0	18,0

Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) erreichte sowohl mit der Blumenwiesen- als auch mit der Blumenrasenmischung die 27 Punkte. Ebensoviele Punkte erreichte die Kombination aus Blumenwiesenmischung und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.). Am wenigsten Punkte erreichte die Standardrasenmischung auf SV 3 (WBS. O./WBS. U) mit 16 Punkten..

Der Vergleich der Gesamtergebnisse aus den Jahren 2018 bis 2020 ist in Tabelle 49 ersichtlich. Die Blumenrasenmischung auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) konnte in jeder Vegetationsperiode die meisten Punkte erreichen und geht somit als Testsieger hervor. Zusammengefasst performten die Substratvarianten in allen drei Monitoringjahren SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 4 (SaPf.- Perlit/a.B.) am besten.

Tabelle 49: Vergleich Gesamtergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Mastermatrix - Gesamtergebnis						
Kuchelauer Hafen SM 4 2018-2020						
Abschnitt	SV	Substratvariante	Saatgut	2018	2019	2020
1	SV 2	Oberboden	S	20,0	15,0	18,0
			BR	18,0	18,0	18,0
			BW	21,0	18,0	18,0
2	SV 5	SaPf.-Zeolith	S	18,0	21,0	19,0
			BR	18,0	18,0	19,0
			BW	18,0	22,0	21,0
3	SV 6	SaPf.-Kombi	BR	21,0	24,0	24,0
			BW	25,0	24,0	24,0
			S	24,0	24,0	22,0
4	SV 7	SaPf.-Kalk	BW	22,0	22,0	21,0
			S	21,0	21,0	21,0
			BR	18,0	22,0	19,0
5	SV 4	SaPf.-Perlit	S	21,0	24,0	22,0
			BR	21,0	21,0	19,0
			BW	24,0	24,0	27,0
6	SV 9	SaPf.-Zeolith/SaSp.	BR	16,0	16,0	19,0
			BW	19,0	22,0	21,0
			S	18,0	21,0	19,0
7	SV 10	SaPf.-Kombi/SaSp.	BW	25,0	25,0	27,0
			S	21,0	24,0	22,0
			BR	22,0	24,0	27,0
8	SV 3	WBS. O./WBS. U.	S	16,0	17,0	16,0
			BR	16,0	17,0	17,0
			BW	16,0	19,0	22,0
9	SV 8	SaPf.-Perlit/SaSp.	BR	25,0	25,0	21,0
			BW	25,0	25,0	24,0
			S	21,0	22,0	22,0
10	SV 11	SaPf.-Kalk/SaSp.	BW	22,0	22,0	21,0
			S	16,0	19,0	19,0
			BR	22,0	21,0	21,0
11	SV 2	Oberboden	S	22,0	13,0	19,0
			BR	24,0	18,0	18,0
			BW	19,0	18,0	18,0

5 Diskussion

In diesem Kapitel ist eine kritische Reflexion der erhobenen Ergebnisse im Zusammenhang mit der Literatur dargestellt.

Tragfähigkeitsmessung

Die geringeren Tragfähigkeiten im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 hängen wahrscheinlich mit Bodenlockerungen durch Bodentierchen zusammen. ERMER et al. (1996) schreibt, dass Bodentiere und Kleinstlebewesen durch ihre Aktivitäten in der Erdkruste entgegen der Bodenverdichtung wirken. Diese Lockerung ist für die Vegetationsschicht aus Sicht der Pflanzen ein durchaus positives Zeichen, da die Bodenlockerung das Wurzelwachstum erleichtert.

Die geringen Tragfähigkeiten aller Substratvarianten lassen ein Befahren durch Fahrzeuge in keinem Fall zu. Die Substratvarianten taugen gemäß FLL (2005) lediglich als Verkehrsflächen mit sehr geringer Belastung (siehe Tabelle 2). Das heißt, für Verkehrswege sind die Substrate maximal als Fußwege im privaten Bereich zugelassen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Substrate in der Sickermulde nicht als befestigte Straßenoberflächen eingebaut wurden.

Infiltrationsrate

Im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 sind die Infiltrationsraten leicht gestiegen. Der Anstieg der Sickerfähigkeit ist wahrscheinlich, wie auch im Punkt Tragfähigkeit, auf die von ERMER et al. (1996) beschriebene Bodenlockerung durch Bodentierchen zurückzuführen. Die FLL erwähnt (2005) eine zu erwartende Einschlammung von Feinstanteilen, welche die Sickerleistung beeinträchtigen würde. Eine verringerte Infiltrationsrate konnte aufgrund der relativ neuen Anlage nach zweieinhalb Jahren noch nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen wurden mit den in der ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01 (ASI 2013a) und der RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a) vorgegebenen Grenzwerten verglichen und analysiert. Die Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.-Kombi/SaSp.), SV 3 (WBS. O/WBS. U), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.-Kalk/SaSp.) liegen innerhalb der Grenzwerte der Normungen. Die Teilflächen der Substratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) erreichten nicht die von BORGWARDT et al. (2000) und der oben erwähnten Normung geforderte Mindestsickerrate von 5×10^{-6} m/s.

Tabelle 50: Infiltrationsrate gemäß RVS 04.04.11 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

Infiltrationsrate [m/s]					
Kuchelauer Hafen 2020					
Abschnitt	SV	Saatgut	Ø Durchlässigkeits- beiwert	Bodenfilterwirkung gem. RVS 04.04.11	
				Sickerleistung	Filterwirkung
1.1	SV 2	S	2,8E-07	zu wenig	ausreichend
1.2		BR	9,7E-07	zu wenig	ausreichend
1.3		BW	1,1E-06	zu wenig	ausreichend
2.1	SV 5	S	2,2E-04	ausreichend	zu wenig
2.2		BR	1,8E-04	ausreichend	zu wenig
2.3		BW	2,7E-04	ausreichend	zu wenig
3.1	SV 6	BR	9,7E-05	ausreichend	ausreichend
3.2		BW	8,9E-05	ausreichend	ausreichend
3.3		S	6,9E-05	ausreichend	ausreichend
4.1	SV 7	BW	2,4E-04	ausreichend	zu wenig
4.2		S	2,1E-04	ausreichend	zu wenig
4.3		BR	2,5E-04	ausreichend	zu wenig
5.1	SV 4	S	7,6E-05	ausreichend	ausreichend
5.2		BR	1,1E-04	ausreichend	zu wenig
5.3		BW	8,6E-05	ausreichend	ausreichend
6.1	SV 9	BR	1,9E-04	ausreichend	zu wenig
6.2		BW	2,0E-04	ausreichend	zu wenig
6.3		S	1,9E-04	ausreichend	zu wenig
7.1	SV 10	BW	4,7E-05	ausreichend	ausreichend
7.2		S	5,7E-05	ausreichend	ausreichend
7.3		BR	8,0E-05	ausreichend	ausreichend
8.1	SV 3	S	6,1E-05	ausreichend	ausreichend
8.2		BR	1,2E-05	ausreichend	ausreichend
8.3		BW	3,4E-05	ausreichend	ausreichend
9.1	SV 8	BR	1,1E-04	ausreichend	zu wenig
9.2		BW	5,7E-05	ausreichend	ausreichend
9.3		S	3,4E-05	ausreichend	ausreichend
10.1	SV 11	BW	1,9E-04	ausreichend	zu wenig
10.2		S	2,3E-04	ausreichend	zu wenig
10.3		BR	2,9E-04	ausreichend	zu wenig
11.1	SV 2	S	7,4E-06	zu wenig	ausreichend
11.2		BR	2,2E-06	zu wenig	ausreichend
11.3		BW	1,7E-06	zu wenig	ausreichend

Zusätzlich war es interessant herauszufinden, ob die Substratvarianten auch bei Grünflächen im hochrangigen Straßennetz Anwendung finden dürfen. In Tabelle 50 sind die Substratvarianten mit Eignung für das hochrangige Straßennetz gekennzeichnet. Die Infiltrationsleistung der Substrate SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 10

(SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 3 (WBS. O/WBS. U) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) weisen beste Eigenschaften für den Einsatz als sickerfähige Substrate auf. Die Sickerleistung und/oder die Filterwirkung mancher Substrate entsprechen nicht den Vorgaben für das hochrangige Straßennetz.

Alle SAVE-Substrate erfüllen jedoch die von BORGWARDT et al. (2000) beschriebenen allgemeinen Anforderungen an sickerfähige Oberflächen. Somit können alle getesteten Substrate mit Ausnahme der Referenzsubstratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) zumindest im Ortsgebiet als Sickerflächen verwendet werden.

Bodenwassergehalt

In der RVS 04.04.11: 2020-09-05 (FSV 2020a) wird bei der Bemessung der Sickermulde auf eine Entleerungszeit von maximal 24 Stunden hingewiesen. Da die Substrate bei der Bodenwassermessung kaum Zeit in vollgesättigtem Substrat aufwiesen, ist davon auszugehen, dass die Überstauungszeit der Sickermulde weniger als die geforderten maximalen 24 Stunden betrug. Aus dieser Sicht sind alle getesteten Substratvarianten gut geeignet für den Einbau in Sickermulden.

Zur Vermeidung von Oberflächenabflüssen und zum Schutz vor Überflutungen müssen Versickerungsanlagen laut ÖNORM EN 752: 2017-07-01 (ASI 2017) sowie GRIMM und ACHLEITNER (2010) ausreichend sickerfähig sein. Das Abflussverhalten der SAVE-Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.), SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) und speziell des Wiener Baumsubstrates SV 3 (WBS. O/WBS. U) nach einem Regenereignis ist sehr gut (siehe Diagramm 1). Die Substrate sind im Falle eines starken Regenereignisses gut sickerfähig, sodass das anfallende Wasser schnell in den Erdkörper aufgenommen wird. Die SAVE-Substrate sowie das Wiener Baumsubstrat sind wenige Minuten nach vollständiger Sättigung erneut aufnahmefähig für Oberflächenwasser. Der Bodenwassergehalt des Referenzsubstrates SV 2 (Oberboden/a.B.) steigt hingegen nur langsam an und bleibt länger auf einem hohen Niveau bestehen.

Die SAVE-Substratvarianten mit Speicheraufbau hatten tendenziell höhere Verweilzeiten in höheren Bodenwassergehaltsbereichen. Dies spiegelte sich auch in den Deckungsgrad- und Vitalitätswerten wider. Das heißt, für die Pflanzen sind jene Substratvarianten besser, welche das Bodenwasser länger halten können.

Deckungsgrad

Die vollständige Deckung der Oberfläche stellt laut RÜMLER (1981) ein wichtiges Kriterium für die Standsicherheit von Straßen- und Infrastrukturbauten dar. Erodierende Kräfte können laut RÜMLER (1981) bei einer geschlossenen Vegetationsdecke keine Schäden am Bodensubstrat anrichten. Den höchsten Deckungsgrad der unterschiedlichen Saatgutvarianten erreichte die Blumenwiesenmischung, gefolgt von der Blumenrasenmischung und der Standardrasenmischung. Zusätzlich zum höchsten Deckungsgrad kommt bei der Blumenwiese der höchste Anteil an Kräutern, welcher laut EPPEL-HOTZ et al. (2016) mit der tiefen Verwurzelung im Erdreich ebenfalls für eine Erhöhung der Standsicherheit sorgt. Die Blumenwiesenmischung ist hinsichtlich des Deckungsgrades als beste Saatgutvariante zu empfehlen.

Der Deckungsgrad aller Teilflächen der SAVE-Substrate SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.), SV 11 (SaPf.-Kalk/SaSp.) sowie des Referenzsubstrates SV 2 (Oberboden/a.B.) belief sich zwischen 65 – 97 %, das heißt der abnahmefähige Zustand von mindestens 60 % gemäß ÖNORM B 2241: 2013-06-01 (ASI 2013b) der Vegetation wurde erreicht. Lediglich die Saatgutmischungen Standardrasen und Blumenrasen auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) erreichten weniger als 60 % Deckung, hier wäre eine Nachsaat nötig.

Da durch die Korrelationsanalysen nachgewiesen wurde, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Substratvariante mit dem Deckungsgrad, sowie ein geringer signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bodenwassergehalt und dem Grad der Deckung besteht, ist zu erwähnen, dass SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) die besten Ergebnisse lieferten. In SV 3 (WBS. O/WBS. U) versickerte das Wasser demzufolge am schnellsten, was einen negativen Einfluss auf den Deckungsgrad hatte.

Wuchshöhe

In der Sickermulde wurden die höchsten Wuchshöhen in den Teilflächen der Saatgutvariante Blumenwiese vorgefunden. Die Wuchshöhe der Saatgutmischung Blumenrasen war geringfügig niedriger als jene der Blumenwiese. Die niedrigsten Werte waren bei der Standardrasenmischung zu verzeichnen. Dieser Umstand ist der Pflegeintensität geschuldet. Der Standardrasen wurde nach den Vorgaben der ÖNORM L 1120: 2016-07-01 (ASI 2016a) und der RVS 12.05.11: 2019-03-27 (FSV 2019) am häufigsten geschnitten, gefolgt von der Blumenrasenmischung und der Blumenwiese.

Die Blumenwiese ist eine pflegeextensive Saatgutvariante, sie erhält mit wenig Aufwand ihren Bestand. Sie ist unter den Saatgutvarianten mit nur zwei Schnitten jährlich die

ökonomischste Variante. Die in der ÖNORM L 1120: 2016-07-01 (ASI 2016a) und der RVS 12.05.11: 2019-03-27 (FSV 2019) geforderte geringe Anzahl von zwei Mahdgängen deckt sich mit den Angaben des Saatgutherstellers AUSTROSAAT (o.J.).

Die maximale Wuchshöhe einzelner Pflanzenindividuen in den Teilflächen überstieg die in der Literatur von EPPEL-HOTZ et al. (2016) beschriebene maximale Wuchshöhe in sensiblen Verkehrsbereichen von 70 cm. Bei sensiblen Kreuzungspunkten sollte die Standardrasenmischung Einsatz finden oder die Mahdintervalle optimiert werden, um beste Sichtverhältnisse beibehalten zu können.

Gräser/Kräuter-Verhältnis

Der Vergleich der Ergebnisse der Bonitur im Punkt Gräser/Kräuter-Verhältnis lässt auf eine Veränderung der Vegetation schließen. Eine Tendenz der Veränderung der Vegetation von Gräsern hin zu Kräutern ist zu erkennen. Das Jahresdurchschnittsverhältnis von Gräsern zu Kräutern betrug im Jahr 2018 45/55, im Jahr 2019 43/57 und im Jahr 2020 41/59. Pro Jahr ist eine Verschiebung der Gräseranteile um -2,0 % im Gegensatz zum Vorjahr zu verzeichnen. Diese Veränderung ist gegensätzlich zu den analysierten Saatgutmischungen zu sehen (siehe Kapitel 2.6.4). Ein hoher Kräuteranteil bringt laut EPPEL-HOTZ et al. (2016) einen hohen Durchwurzelungsgrad mit sich, was wiederum eine hohe Erosionsstabilität bedeutet. Der leicht ansteigende Trend der Kräuteranteile bedeutet somit eine höhere Widerstandskraft gegen Erosion, welche zusätzlich durch steigende Deckungsgrade verstärkt wird.

Entgegen der Standardsaatgutmischung, welche keine Kräuteranteile enthält, wurden in den Versuchsfeldern des Standardrasens Kräuter und Leguminosen wahrgenommen. Dies ist gemäß den Schilderungen von LÜBKE (2019) wahrscheinlich auf einen Fehler bei der Ausbringung des Saatgutes im Jahr 2018 zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Bonitur hinsichtlich Gräser/Kräuter-Verhältnis konnten durch die Auswertung der Frequenzanalyse bestätigt werden.

Vitalität

Die Vitalität zeigt laut KLUG (2005) an, wie gut die Pflanzen mit den Umweltbedingungen zurechtkommen. Die Schwankungen der einzelnen Monatswerte, besonders sichtbar in den heißen Sommermonaten Juli und August, sind auf kurzfristige Veränderungen der Witterung zurückzuführen. Auch KLUG beschreibt (2005), dass sich Wetterbedingungen direkt auf die Vitalität von Pflanzen auswirken können. Der wichtigste Faktor der Umweltbedingungen ist in diesem Fall das Substrat. Die eigens für das SAVE-Projekt entwickelten Substrate und das Referenzsubstrat aus gewachsenem Boden brachten über die gesamte Versuchsdauer sehr

gute bis gute Vitalitätswerte hervor. Einzig die Vitalität der Saatgutvarianten auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) hinkt den anderen Saatgutmischungen hinterher. Der Bodenwassergehalt hat laut der Korrelationsanalyse keinen signifikanten bzw. nur einen untergeordneten Einfluss auf die Vitalität.

Infloreszenz

Die Veränderung der Infloreszenz gegenüber dem Jahr 2019 fällt geringfügig negativ aus. Jedoch war im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2018 trotzdem eine positive Entwicklung zu beobachten. Von einem stabilen Bestand der Vegetation ist auszugehen.

Die Blumenwiesenmischung hatte auf allen Teilflächen die beste Infloreszenz, gefolgt von der Blumenrasenmischung und der Standardrasenmischung. Diese Rangfolge spiegelt exakt das Schnittverhalten der Saatgutvarianten wider. Gemäß den Vorgaben zur Schnitthäufigkeit der ÖNORM L 1120: 2016-07-01 (ASI 2016a) (siehe Tabelle 6) wurden die Saatgutvarianten gemäht. Am wenigsten häufig wurde die Blumenwiese gemäht, welche über die längste Zeit die beste Infloreszenz hatte. Der Blumenrasen wurde jeden zweiten Monat gemäht und der Standardrasen wurde monatlich gemäht.

Pflanzbestände mit großer Blütenpracht haben laut GILGEN (1983) einen ökologischen Mehrwert für Insekten. Dieser Umstand wird durch die Verwendung der Blumenwiesenmischung begünstigt.

Mit der Blütenpracht kann auch dem von EPPEL-HOTZ et al. (2016) geforderten Gestaltungsaspekt durch Straßenbegleitbegrünung folgegeleistet werden. Diese Behauptung kann durch die positiven Meldungen von Passant*innen und Anrainer*innen bestätigt werden. Anrainer*innen der Kuchelauer Hafestraße haben die Blumenwiesen- und Blumenrasenbestände aufgrund des Vorkommens von *Leucanthemum vulgare* (Margeriten) im Laufe der Untersuchungszeit geschätzt.

Zu hinterfragen ist die Aussagekraft der Infloreszenzzählung, da in der Bonituranleitung zwar die absoluten Zahlen für Blüten angegeben sind, jedoch keine Größenangabe der aufzunehmenden Fläche gegeben ist. Da die Versuchsflächen in der Sickermulde 4 annähernd gleich groß sind, ist ein Vergleich untereinander sinnvoll. Der Vergleich der Infloreszenz mit anderen unterschiedlich großen Flächen ist nicht durchführbar.

Frequenzanalyse

Die Standardrasenmischung besitzt wenig Strukturstabilität. Die Einwanderung von Pflanzenarten aus Nebenflächen war im Jahr 2020 in der Standardrasenmischung ungewöhnlich häufig wahrzunehmen. In acht von elf Teilflächen waren eingewanderte Pflanzenarten mit der höchsten Frequenz vorzufinden. Dieser Umstand darf laut EPPEL-

HOTZ et al. (2016) im Stadtgebiet außer Acht gelassen werden, im Siedlungsgebiet mit angrenzendem Freiland muss jedoch auf die Gefahr der Florenverfälschung hingewiesen werden.

Biomasseerhebung

Nach TRAXLER (1997) ist durch die Biomasseerhebung ein direkter Vergleich der Pflanzvolumina möglich. Auch LEWANDOWSKI und VETTER (2019) geben an, dass die Biomasse direkt mit den Standortfaktoren zusammenhängen. Die prozentuelle Trockenmasse in der untersuchten Form gibt den relativen Wert zur Ausgangsmasse an. Eine Vegetation mit viel Wasseranteil in den grünen Pflanzenteilen hat demnach eine geringe prozentuelle Trockenmasse. Durch die Trocknung verlieren Pflanzenteile, welche viel Wasser speichern können, viel Masse und weisen dadurch eine geringe prozentuelle Biomasse auf. Die meiste prozentuelle Trockenbiomasse wurde auf den trockensten Standorten gefunden, dies deckt sich mit den Aussagen in der Literatur. Eine hohe prozentuelle Trockenbiomasse heißt nicht gleich gute Vitalität. Beim Vergleich der Vitalität mit der Biomasse fällt auf, dass SV 3 (WBS. O/WBS. U) eine hohe Trockenbiomasse aufweist, jedoch die schlechtesten Vitalitätswerte besitzt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die vitalsten Vegetationsflächen, mit den größten Pflanzvolumina, am meisten Wasser in der Blattmasse besitzen. Über alle Bereiche hinweg hatte die Heckenböschung die höchsten Trockenmassen. Da sowohl TRAXLER (1997) als auch LEWANDOWSKI und VETTER (2019) beschreiben, dass die Biomasse direkt vom Standort abhängig ist, lässt sich aus den Messergebnissen schließen, dass die heckennahe Böschung (süd-westexponiert) heißer und trockener ist als die Sohle oder die Straßenböschung (nord-ostexponiert).

6 Schlussfolgerung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Abtestung der SAVE-Substrate hinsichtlich geotechnischer und vegetationstechnischer Eigenschaften. Nach der ausführlichen Darstellung und Diskussion der Ergebnisse folgt in diesem Kapitel die Beantwortung der konkret gestellten Forschungsfragen dieser Masterarbeit.

Themenblock Substratvarianten

Welche Unterschiede in den Substratvarianten der Sickermulde gibt es hinsichtlich der messbaren Bodengrößen Tragfähigkeit, Infiltrationsrate und volumetrischer Bodenwassergehalt?

Die Substrate zeigten unterschiedlich ausgeprägte Entwicklungen in den messbaren Bodengrößen Tragfähigkeit, Infiltrationsrate und Bodenwassergehalt.

Die höchste Tragfähigkeit wurde bei der Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) gemessen. Bei den SAVE-Substraten wurden gegenüber dem Referenzsubstrat SV 2 (Oberboden/a.B.), welches die niedrigsten Werte aufwies, höhere Tragfähigkeiten ermittelt. Die getesteten SAVE-Substratvarianten haben Tragfähigkeitswerte im Mittelfeld aufgewiesen. Im Schnitt lagen die Tragfähigkeitswerte der SAVE-Substrate zwischen 4,2 und 7,4 MN/m². Diese Verteilung der Werte veränderte sich seit Beginn der Messungen im Jahr 2018 bis zum Jahr 2020 nicht.

Die Ergebnisse der Messung der Infiltration des Jahres 2020 zeigen, dass die Substratvariante SV 2 (Oberboden/a.B.) die geringsten Infiltrationswerte aufwies. Die höchste Infiltrationsrate wurde auf SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) mit $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s ermittelt.

Die Analyse des volumetrischen Bodenwassergehalts ergab leichte Unterschiede zwischen den Versuchsflächen mit einschichtigem Einbau und den Versuchsflächen mit zweischichtigem Einbau (Speicheraufbau). Die Substratvarianten mit Speicheraufbau konnten den Bodenwassergehalt länger auf einem höheren Niveau halten. Sie versickerten das Wasser langsamer in tiefere Bodenschichten. Das Wiener Baums substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U) gab das Bodenwasser nach Regenereignissen am schnellsten in tiefere Schichten weiter.

- Entsprechen die Substratvarianten dem aktuellen Stand der Technik von Sickerflächen nach ÖNORM B 2506-1, RVS 04.04.11 bzw. FLL 2005?

In der aktuellen Einbausituation erreichten die Substratvarianten nicht die geforderten Vorgaben der Tragfähigkeit gemäß FLL (2005). Die Tragfähigkeitsmindestanforderungen für das Befahren der Flächen wurde von keiner Substratvariante erfüllt. Hierbei muss jedoch

erwähnt werden, dass das Befahren dieser Flächen nicht vorrangiges Ziel des SAVE-Projektes ist.

Die Vorgaben der ÖNORM B2506-1 erfüllten alle eigens entwickelten SAVE-Substrate SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) sowie das Wiener Baumsubstrat SV 3 (WBS. O/WBS. U). Das Referenzsubstrat SV 2 (Oberboden/a.B.) ist zum Einbau in Versickerungsbauwerken, wegen der geringen Versickerungsleistung, nicht geeignet. Die höchsten Anforderungen der RVS 04.04.11 für das hochrangige Straßennetz hinsichtlich Infiltrationsrate erreichten die Substratvarianten SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 3 (WBS. O/WBS. U) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.).

Welche Unterschiede gibt es von den geotechnischen Ergebnissen des Jahres 2020 zu den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Hinsichtlich Tragfähigkeit gab es keinen gravierenden Unterschied zwischen den Ergebnissen des Jahres 2020 und den Ergebnissen der Jahre 2018 und 2019. Die Tragfähigkeitswerte nahmen tendenziell im Laufe der Jahre ab. In jedem der Versuchsjahre wurden die höchsten Tragfähigkeitswerte auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) und die niedrigsten Werte auf SV 2 (Oberboden/a.B.) gemessen.

Die Infiltrationsleistung der Substratvarianten SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) wurde im Jahr 2020 gegenüber den Vergleichsjahren geringfügig gesteigert. Bei allen anderen Substratvarianten wurden geringere Versickerungsraten gegenüber dem Jahr 2018 gemessen.

Im Jahr 2020 wurde durch die Sensoren durchschnittlich mehr Bodenwassergehalt in den Substraten aufgezeichnet als im Vergleichsjahr 2019.

Themenblock Vegetationsvarianten

Welche Unterschiede gibt es hinsichtlich der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Wuchshöhe, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz, Frequenz der Einzelart und Biomasse zwischen den getesteten Saatgutmischungen auf den verschiedenen Substratvarianten der Sickermulde?

Die Saatgutmischungen entwickelten sich hinsichtlich der vegetationstechnischen Indikatoren unterschiedlich. Je nach Indikator gab es unterschiedlich ausgeprägte Entwicklungen der Vegetation auf den verschiedenen Substratvarianten.

Die Blumenwiesenmischung erzielte bezüglich des Pflanzenindikators Deckungsgrad auf den meisten Substratvarianten die höchsten Werte gefolgt von der Blumenrasen- und der Standardrasenmischung. Der höchste durchschnittliche Deckungsgrad im Jahr 2020 betrug 97 % der geringste 45 %. In der dritten Vegetationsperiode brachten die Kombinationen aus Blumenwiesenmischung und Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) sowie mit SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) mit 97 % durchschnittlicher Deckung die besten Ergebnisse. Alle Saatgutmischungen konnten auf der Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die besten Deckungsgrade erzielen.

Die Vegetation erreichte 2020 im Schnitt eine Wuchshöhe von 12,4 cm – 31,5 cm. Die Vegetation der Blumenwiesenmischung auf der Substratvariante SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) wuchs mit 31,5 cm durchschnittlich am höchsten. Die geringste Wuchshöhe von 12,4 cm wurden in den Teilflächen der Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) gemessen. Die absolut höchste Wuchshöhe aller Teilflächen von 95,0 cm wurde bei der Blumenrasenmischung in der Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) gemessen.

Die Ergebnisse in Bezug auf das Gräser/Kräuter-Verhältnis aus der monatlichen Bonitur konnten durch die Frequenzanalyse validiert werden. Die Standardrasenmischung auf SV 2 (Oberboden/a.B.) hatte mit 90 % den höchsten Gräseranteil aller Teilflächen. Der höchste Kräuteranteil mit 92 % wurde in der Blumenwiesenmischung auf SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.) aufgenommen. Den höchsten Anteil an Leguminosen hatte die Blumenwiesenmischung auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) zu verzeichnen.

Die Vegetation der Blumenrasenmischung auf SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) und die Blumenwiesenmischung auf SV 2 (Oberboden/a.B.) erreichten die besten Ergebnisse der Vitalität im Jahr 2020. Die Vitalitätswerte aller Saatgutvarianten auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) konnten nicht überzeugen. Die Bewertungen der Vegetation auf den SAVE-Substratvarianten und auf den Teilflächen des Referenzsubstrates SV 2 (Oberboden/a.B.) lagen durchwegs in den Kategorien 2 (wüchsig) und 3 (durchschnittlich). Im Gegensatz zu den guten Bewertungen der SAVE-Substrate hinkten die Vitalitätswerte der Vegetation auf dem Wiener Baums substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit Bewertungen bis zu Kategorie 4 (kümmerlich) hinterher.

Die meisten Blütenstände und somit besten Werte der Infloreszenz wurden in der Vegetationsperiode 2020 bei der Blumenwiesenmischung auf SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) mit durchschnittlich 1,5 Punkten ermittelt. Die geringste Infloreszenz wurde beim Standardrasen auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 4,1 aufgenommen. Allgemein stellte 2020 die Substratvariante SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) die beste Grundlage für blütenreiche Bestände dar. Die Vegetation auf dem Wiener Baums substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U) brachte kaum Blüten hervor.

Die höchste prozentuelle trockene Biomasse wurde im Jahr 2020 bei Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 27 % gemessen. SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) hatte am wenigsten relative Trockenbiomasse mit 14 %.

- Welche Pflanzenarten der verschiedenen Saatgutmischungen dominieren die Vegetation der Versuchsflächen im Jahr 2020?

Die Pflanzenarten *Achillea millefolium*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Lotus corniculatus* sowie *Festuca rubra rubra* konnten sich jeweils in den verschiedenen Substrat- und Saatgutvarianten als Hauptarten durchsetzen. Die Vegetationszusammensetzungen waren teils sehr unterschiedlich mit Frequenzwahrscheinlichkeiten der Hauptarten von 21 % - 59 %. Aufgrund der Vegetationsveränderung mancher Teilflächen konnten sich aus Nebenflächen eingeflogene Pflanzenarten als Hauptarten durchsetzen. Ebenso waren nicht alle der ursprünglich angesäten Arten pro Saatgutvariante in den Teilflächen vorzufinden.

Inwiefern unterscheiden sich die vegetationstechnischen Ergebnisse des Jahres 2020 von den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Beim Deckungsgrad gab es auf jeder Teilfläche einen Zuwachs. Alle Saatgutvarianten hatten einen höheren Deckungsgrad vorzuweisen als in den Vorjahren. Im Schnitt wurde 2020 um 30 % mehr Bodenfläche bedeckt als 2019. In allen Vegetationsperioden erzielte die Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) die höchsten Deckungsgrade. 2018, 2019 und 2020 hatte Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) die geringsten Deckungsgrade.

Die gemittelte Wuchshöhe aller Teilflächen war im Jahr 2020 höher als in den Jahren 2018 und 2019. Die mittlere Zunahme der Wuchshöhe betrug 9,0 cm. Den größten Zuwachs im Vergleich mit dem Jahr 2019 erreichte die Blumenwiesenmischung auf SV 3 (WBS. O/WBS. U) mit 19,0 cm, der geringste Zuwachs von 1,0 cm gelang dem Standardrasensaatgut auf SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.). Die höchsten Wuchshöhen aller drei Untersuchungsjahre wurden in SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) gemessen, die geringsten in SV 3 (WBS. O/WBS. U).

Die Zusammensetzung der Vegetation in den Teilflächen veränderte sich über die Jahre von 2018 bis 2020. Die Anteile verschoben sich generell von Gräsern hin zu Kräutern.

Bei der Vitalität war in den meisten Fällen das Halten der Vitalitätsstufe aus dem Vorjahr bzw. in wenigen Fällen ein leichter Abfall der Vitalität in die nächste Kategorie zu beobachten. Im Schnitt fiel das Ergebnis der Vitalität um 0,3 Punkte schlechter als im Jahr 2019 aus.

Die Infloreszenz wurde seit dem Jahr 2018 auf den meisten Teilflächen gehalten bzw. gesteigert. Im Jahr 2020 war die Infloreszenz jedoch nicht ganz so gut wie im Vorjahr 2019. Ein klarer Trend bei der Infloreszenz war nicht zu erkennen. Lediglich die Standardrasenmischung hatte nie die besten Infloreszenzbewertungen. Sowohl die Blumenwiesen- als auch die Blumenrasenmischung auf den Substratvarianten SV 5 (SaPf.-Zeolith/a.B.), SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.), SV 7 (SaPf.-Kalk/a.B.), SV 9 (SaPf.-Zeolith/SaSp.), SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.), SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.) und SV 11 (SaPf.- Kalk/SaSp.) konnten in den Jahren 2018 bis 2020 jeweils höchste Bewertungen erzielen.

Die Analyse der Biomasseerhebung ließ einen leichten Trend erahnen. Im Jahr 2018 hatte die Blumenrasenmischung auf dem Wiener Baums substrat SV 3 (WBS. O/WBS. U) noch die geringste Trockenbiomasse. In den Jahren 2019 und 2020 verbesserte sich jedoch der Biomassewert auf SV 3 (WBS. O/WBS. U). Die höchste prozentuelle Trockenmasse erzeugte SV 3 (WBS. O/WBS. U).

Wie hängen die Entwicklungen der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Vitalität und Infloreszenz mit der Substratvariante oder dem Bodenwassergehalt zusammen?

Die Substratvariante weist einen signifikanten Zusammenhang mit dem Deckungsgrad auf. Durch die Korrelationsanalyse wurde ein Zusammenhang der Bodendeckung mit der Substratvariante nachgewiesen. Auch die Vitalität korreliert mit der Substratvariante. Zwischen der Infloreszenz und der Substratvariante wurde kein Zusammenhang ermittelt.

Zwischen dem Bodenwassergehalt und dem Deckungsgrad wurde durch die Korrelationsanalyse ein geringer signifikanter Zusammenhang nachgewiesen. Der Bodenwassergehalt machte jedoch nur einen Bruchteil der Varianz des Deckungsgrades aus. Bei der Vitalität und der Infloreszenz wurde kein signifikanter Zusammenhang mit dem Bodenwassergehalt nachgewiesen.

Empfehlung

Abschließend kann folgende Empfehlung auf Basis der Gesamtbetrachtung der Ergebnisse gegeben werden. Nicht alle Substrate, welche grundsätzlich für die Bepflanzung in Städten entwickelt wurden, eignen sich gleichermaßen für Versickerungsmaßnahmen mit Ansaaten.

Im Jahr 2020 brachten die Substrate SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) die besten Ergebnisse (siehe Diagramm 5), gefolgt von SV 6 (SaPf.-Kombi/a.B.) und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.). Die Substratvariante SV 3 (WBS. O/WBS. U) konnte 2020 nicht überzeugen und eignet sich nicht als Substratvariante für Versickerungsflächen mit Ansaatbegrünungen.

Die zweischichtigen Einbauvarianten der SAVE-Substrate mit Speichersubstrat sind den einschichtigen Einbauvarianten aufgrund höherer Gesamtbewertungen vorzuziehen.

Die Substratvarianten Kombi und Perlit hatten sowohl im einschichtigen als auch im Speicheraufbau die besten Punktebewertungen und sind zu empfehlen. Demzufolge haben Blähton, Granulit, Kompost, Perlit, sowie silikatischer Sand und Zeolith als Bodenhilfsstoffe sowohl geotechnische als auch vegetationstechnische positive Eigenschaften. Diese Bodenhilfsstoffe sind für Substrate von Versickerungsflächen zu empfehlen.

Als Saatgutmischung ist aufgrund mehrerer ausschlaggebender Punkte die Saatgutvariante Blumenwiese zu empfehlen. Die Blumenwiesenmischung ist sowohl die ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltigste Variante der Saatgutmischungen. Die Blumenwiese wies auf den meisten Versuchsflächen den höchsten Deckungsgrad, die höchste Vitalität und den höchsten Kräuteranteil auf. All diese Indikatoren zeigen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Erosionskräfte an. Dazu kommt mit den meisten Blüten die höchste Infloreszenz auf allen Versuchsflächen. Dies lässt auf ein großes Reproduktionspotenzial zurückschließen. Zusätzlich kommen die Blütenstände als Futterquelle den Insekten und als Gestaltungselement den Menschen zugute. Ein wesentlicher Punkt ist die Bewirtschaftung. Die Blumenwiese muss nur zweimal jährlich gemäht werden. Sie ist dadurch die ökologischste und auch die ökonomischste Variante.

Versickerungsanlagen mit Ansaatbegrünungen anzuraten. Auf Platz zwei befindet sich die Kombination aus Blumenwiese und SV 4 (SaPf.-Perlit/a.B.) und den dritten Rang belegt die Zusammenstellung aus Blumenwiese und SV 8 (SaPf.-Perlit/SaSp.).

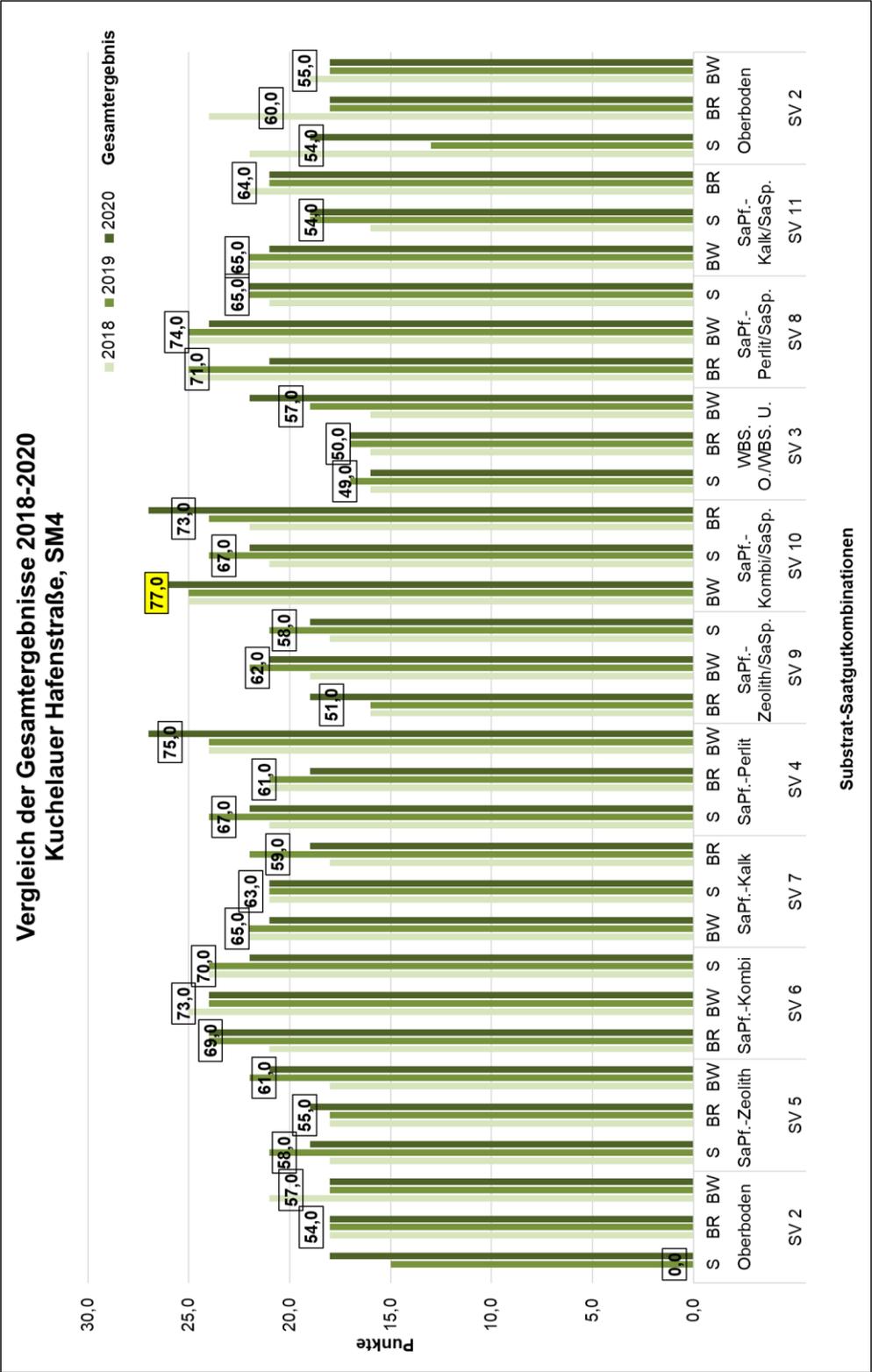


Diagramm 6: Vergleich der Gesamtergebnisse 2018-2019 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)

7 Limitationen und Ausblick

In diesem Kapitel sind die limitierenden Faktoren bzw. aufgetretenen Probleme sowie der Ausblick erörtert.

Die Aufnahmen wurden in allen drei Vegetationsperioden von verschiedenen Studenten durchgeführt. Die Zuverlässigkeit der einzelnen Aussagen hätte durch Aufnahmen derselben Person noch präzisiert werden können. Im Speziellen sind die Aufnahmeergebnisse der Bonitur, welche geschätzt wurden, kritisch zu hinterfragen und zu interpretieren. Zusätzlich ist die Kommunikation der Projektbeteiligten von hoher Wichtigkeit für einen reibungslosen Projektablauf, um danach zuverlässige Aussagen treffen zu können.

Die Jahre 2018 und 2019 waren niederschlagsärmer als das Jahr 2020. Dies behinderte womöglich die Entwicklung in der Anwuchsphase.

Der Bodenwassergehalt wurde durch das Institut für Siedlungswasserbau, Industriebewirtschaft und Gewässerschutz (SIG) nicht in jeder Versuchsfläche gemessen. Dadurch konnte dieser für das Pflanzenwachstum nicht unwesentliche bodenphysikalische Parameter nicht in der Gesamtmatrix berücksichtigt werden. Für weiterführende Untersuchungen wäre eine Nachrüstung der fehlenden Versuchsflächen anzuraten.

Die Performance der Substrate hinsichtlich Bepflanzung mit Staudenkonzepten wäre in Folgeprojekten oder weiterführenden Forschungsarbeiten abzutesten, um das Verwendungsgebiet der entwickelten Substrate im Stadtgebiet noch zu erweitern.

Um die erhobenen Daten und Aussagen validieren und weiterführende Aussagen treffen zu können, sollte das Monitoring weitergeführt und zusätzlich, wenn möglich zu einem späteren Zeitpunkt, erneut aufgenommen werden.

Aus ökologischer Sicht wären mehr Ausführungen von Versickerungsanlagen solcher Art wünschenswert, sind aber leider noch zu wenig erforscht. Die Forschung an neuen Lösungen dezentraler Versickerungsanlagen soll unbedingt weiter vorangetrieben werden.

8 Zusammenfassung

Städtische Siedlungsräume sind immer mehr Druck durch das Wachstum der Bevölkerung ausgesetzt. Als Folge des Siedlungsdrucks und des Platzanspruches werden städtische Böden verändert und versiegelt. Dieser Umstand bringt negative Auswirkungen für den natürlichen Wasserhaushalt mit sich. Die Versiegelung großräumiger Flächen verändert das Verdunstungs- und Abflussverhalten ganzer Landschaftsteile. Viele Kanalnetze stoßen dadurch bereits an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Hinzu kommt die klimawandelbedingte Veränderung der Wetterereignisse. Regionale Hitze- und Dürreperioden gepaart mit extremen Niederschlagsereignissen lassen gewohnte Systeme kollabieren. Die Auswirkungen des Klimawandels erfordern neue Lösungswege im Umgang mit Regenwasser. Nur ein nachhaltiges Regenwassermanagement in Städten kann die Lösung dieses Problems sein. Dezentrale Versickerungsanlagen stellen als zusätzliche Maßnahmen zur Bewältigung der Probleme überlasteter Kanalisationen sinnvolle Erweiterungen des Systems dar.

Die Stadt Wien hat gemeinsam mit der Universität für Bodenkultur Wien das Problem erkannt und 2017 das SAVE-Projekt (Straßen Abwasserlösungen für Vegetation- und Entwässerungssysteme) zur Entwicklung nachhaltiger dezentraler Maßnahmen für das integrierte Regenwassermanagement ins Leben gerufen. Das SAVE-Projekt dient zur Untersuchung eigens entwickelter Substratvarianten für Versickerungsmaßnahmen in Kombination mit Bepflanzung.

Das Ziel dieser Masterarbeit war die Auseinandersetzung mit den im SAVE-Projekt entwickelten Substrat- und Saatgutvarianten. Für das Forschungsprojekt war es dabei wichtig, die Eignung der Substrate für den Einbau in begrünten städtischen Sickerflächen herauszufinden. Der Fokus lag hierbei auf Grünflächen mit Ansaaten. Die wesentlichen Indikatoren der Substrate und der Vegetation wurden abgetestet und analysiert. Geteilt in zwei Themenblöcke wurden die geotechnischen und vegetationstechnischen Fragestellungen dieser Masterarbeit beantwortet. Die Forschungsfragen waren:

Welche Unterschiede in den Substratvarianten der Sickermulde gibt es hinsichtlich der messbaren Bodengrößen Tragfähigkeit, Infiltrationsrate und volumetrischer Bodenwassergehalt?

- Entsprechen die Substratvarianten dem aktuellen Stand der Technik von Sickerflächen nach ÖNORM B 2506-1, RVS 04.04.11 bzw. FLL 2005?

Welche Unterschiede gibt es von den geotechnischen Ergebnissen des Jahres 2020 zu den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Welche Unterschiede gibt es hinsichtlich der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Wuchshöhe, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz, Frequenz der Einzelart und Biomasse zwischen den getesteten Saatgutmischungen auf den verschiedenen Substratvarianten der Sickermulde?

- Welche Pflanzenarten der verschiedenen Saatgutmischungen dominieren die Vegetation der Versuchsflächen im Jahr 2020?

Inwiefern unterscheiden sich die vegetationstechnischen Ergebnisse des Jahres 2020 von den Ergebnissen der Forschungsperioden 2018 und 2019?

Wie hängen die Entwicklungen der Pflanzenindikatoren Deckungsgrad, Vitalität und Infloreszenz mit der Substratvariante oder dem Bodenwassergehalt zusammen?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen mit den konkreten Unterfragen wurden im Zuge des Monitorings Daten erhoben. Die Daten wurden durch diskrete Vor-Ort-Messungen in Form von monatlichen Bonituraufnahmen, einer Frequenzanalyse, wiederkehrenden Biomasseerhebungen, Tragfähigkeitsmessungen mittels dynamischer Lastplatte und Infiltrationsmessungen mit Doppelring-Infiltrimeter gewonnen. Zusätzlich wurde das Monitoring durch ein kontinuierliches Onlinemonitoring ausgewählter Bodenparameter ergänzt. Die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren der Vegetation und der Substrate wurden analysiert und mit den Daten der Vegetationsperioden 2018 und 2019 verglichen. Weiters wurden die Ergebnisse in einer Gesamtbewertung in Form der Gesamtmatrix zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Entwicklungen der Vegetation hinsichtlich Deckungsgrad, Wuchshöhe, Gräser/Kräuter-Verhältnis, Vitalität, Infloreszenz und Biomasse. Die geotechnischen Ergebnisse beinhalten die Daten der Tragfähigkeit, der Infiltrationsrate und des Bodenwassergehalts der Substrate. Nicht alle Substrate, welche für die Bepflanzung in Städten entwickelt wurden, eignen sich gleichermaßen für Versickerungsmaßnahmen mit Ansaaten. Die SAVE-Substrate performten hinsichtlich ihrer vegetationstechnischen Eigenschaften durchwegs besser als die Referenzsubstrate Wiener Baumsubstrat und Oberboden. Die geotechnischen Eigenschaften des Wiener Baumsubstrates waren etwas besser als die Ergebnisse der SAVE-Substrate und des gewöhnlichen Oberbodens. Die Tragfähigkeitswerte des Wiener Baumsubstrates waren höher als die Werte der SAVE-Substrate. Die Vorgaben der derzeitigen Normung zur Infiltrationsleistung wurden von allen SAVE-Substratvarianten erfüllt. Als bestes Substrat aus zusammengefasster vegetationstechnischer und geotechnischer Sicht erwies sich die Substratvariante SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.). Die beste Saatgutvariante stellte, aufgrund ökologischer, ökonomischer und ästhetischer Gründe, die Blumenwiesenmischung dar.

Die neuen Erkenntnisse über die Substrate sollen der Weiterentwicklung von dezentralen Versickerungsmaßnahmen des nachhaltigen Regenwassermanagements in Städten dienen. Das neugewonnene Wissen kann zur Lösung der Probleme, verursacht durch den steigenden Druck auf Siedlungsgebiete und die Veränderung des Klimas, beitragen. Gerade das Problem der großen versiegelten Flächen durch Verkehrsflächen und deren problematisches Oberflächenabflussverhalten kann durch Straßenbegleitbegrünungen in Form von Ansaatflächen gelöst werden.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserbilanz (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach KLEIDORFER et al. 2019)	9
Abbildung 2: Veränderung der Wasserbilanzgrößen nach Versiegelung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach DWA 2007)	11
Abbildung 3: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	15
Abbildung 4: Flächenversickerung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	16
Abbildung 5: Muldenversickerung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	18
Abbildung 6: Funktionsweise von Substraten (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach GRABOSKY et al. 1998)	19
Abbildung 7: SAVE-Versuchsstandorte (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach Stadt Wien – ViennaGIS).....	49
Abbildung 8: Kuchelauer Hafestraße Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	51
Abbildung 9: Lageplan Kuchelauer Hafestraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021, verändert nach Stadt Wien – ViennaGIS)	51
Abbildung 10: Querschnitt Kuchelauer Hafestraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	52
Abbildung 11: Substrat-Saatgutkombinationen KH SM4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	57
Abbildung 12: Fotostrecke SV 10 (SaPf.- Kombi/SaSp.) (Quelle: RIEDENBAUER, 2020)....	90
Abbildung 13: Fotostrecke SV 3 (WBS. O/WBS. U) (Quelle: RIEDENBAUER, 2020).....	90

10 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Bodenfeuchtigkeit nach Regenereignis (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	87
Diagramm 2: Streuung Deckungsgrad – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	115
Diagramm 3: Streuung Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	118
Diagramm 4: Streuung Korrelationsanalyse Infloreszenz – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	121

Diagramm 5: Gesamtergebnis 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	142
Diagramm 6: Vergleich der Gesamtergebnisse 2018-2019 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	143

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Porengruppen (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach EPPEL-HOTZ et al. 2016).....	21
Tabelle 2: Bodenmechanische Anforderungen von Verkehrsflächen (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach FLL 2005)	22
Tabelle 3: Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Sickergeschwindigkeiten je Bodenart (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach ASI 2013a)	24
Tabelle 4: Klimatische und lufthygienische Wirksamkeit von Bodenbedeckung und Vegetationsstrukturen (Quelle: RIEDENBAUER, 2021 nach PIERKES et al. 1994 in ERMER et al. 1996)	29
Tabelle 5: geeignete Arten (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach KÄRTNER SAATBAU E.GEN. o.J., RIEGER-HOFMANN GMBH o.J., SAATEN ZELLER GMBH & CO.KG. o.J.).....	35
Tabelle 6: Rasenschnitt (Quelle: RIEDENBAUER 2021, verändert nach ASI 2016a)	38
Tabelle 7: Substratvarianten Kuchelauer Hafestraße - Sickermulde 4 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	53
Tabelle 8: Standardrasenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	54
Tabelle 9: SAVE-Blumenrasenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	54
Tabelle 10: SAVE-Blumenwiesenmischung (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	55
Tabelle 11: Monitoringplan 2020 KH SM4 (Quelle: RIEDENBAUER 2021).....	68
Tabelle 12: Punktaufteilung Bewertungsschema (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	70
Tabelle 13: geotechnische Vorgaben (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	71
Tabelle 14: vegetationstechnische Vorgaben (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	73
Tabelle 15: Gewichtung der Indikatoren (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	74
Tabelle 16: Tragfähigkeit 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	76
Tabelle 17: Vergleich Tragfähigkeit 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	78

Tabelle 18: Infiltrationsrate 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	80
Tabelle 19: Vergleich Infiltrationsrate 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	82
Tabelle 20: Bodenwassergehalt 2019 - 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	84
Tabelle 21: Vergleich Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	85
Tabelle 22: Übersättigung 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	86
Tabelle 23: Deckungsgrad 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	89
Tabelle 24: Vergleich Deckungsgrad 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	91
Tabelle 25: Wuchshöhe 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	93
Tabelle 26: Vergleich Wuchshöhe 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	94
Tabelle 27: Gräser/Kräuter-Verhältnis 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	96
Tabelle 28: Vergleich Gräser/Kräuter-Verhältnis 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	97
Tabelle 29: Vitalität 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	99
Tabelle 30: Vergleich Vitalität 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	101
Tabelle 31: Infloreszenz 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	103
Tabelle 32: Vergleich Infloreszenz 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	105
Tabelle 33: Frequenzanalyse dominierende Art 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	107
Tabelle 34: Frequenzanalyse 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	108
Tabelle 35: Biomasse 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	110
Tabelle 36: Vergleich Biomasse 2018-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	112
Tabelle 37: Kreuztabelle Deckungsgrad – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	114
Tabelle 38: Ergebnisse Korrelationsanalyse Deckungsgrad - Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	114
Tabelle 39: Ergebnisse Korrelationsanalyse Deckungsgrad – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	116
Tabelle 40: Kreuztabelle Vitalität – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	117
Tabelle 41: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität –Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	117

Tabelle 42: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	119
Tabelle 43: Kreuztabelle Infloreszenz – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	120
Tabelle 44: Ergebnisse Korrelationsanalyse Infloreszenz – Substratvariante 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	120
Tabelle 45: Ergebnisse Korrelationsanalyse Vitalität – Bodenwassergehalt 2019-2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	122
Tabelle 46: Mastermatrix - geotechnische Ergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	124
Tabelle 47: Mastermatrix - vegetationstechnische Ergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	126
Tabelle 48: Mastermatrix – Gesamtergebnis 2020 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	127
Tabelle 49: Vergleich Gesamtergebnisse (Quelle: RIEDENBAUER, 2021)	128
Tabelle 50: Infiltrationsrate gemäß RVS 04.04.11 (Quelle: RIEDENBAUER, 2021).....	130

12 Literaturverzeichnis

- AMON, B., BLAMAUER, B., ESSL, F., GAUBE, V., HABERSACK, H., JANDL, R., KLIK, A., LEXER, M., RAUCH, W., TAPPEINER, U., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. (2014): Land- und Forstwirtschaft, Wasser, Ökosysteme und Biodiversität. In: AUSTRIAN PANEL ON CLIMATE CHANGE (APCC)., Hrsg. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien: Austrian Academy of Science Press, 771-856. [Online am: 29.07.2021: <http://www.jstor.org/stable/j.ctv8pzcq7.20>].
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (o.J.): Wer wir sind. Wien [Online am 12.03.2021: <https://www.austrian-standards.at/de/wir-unser-netzwerk/wer-wir-sind>].
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2007): Anforderungen für die Herstellung von Vegetationstragschichten (ÖNORM L 1210: 2007-03-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2012a): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche Teil 5: Infiltrationsversuche (ÖNORM EN ISO 22282-5: 2012-10-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2012b): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 2: Qualitative Anforderungen an

- Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen (ÖNORM B 2506-2: 2012-11-15). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2013a): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 1: Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb (ÖNORM B 2506-1: 2013-08-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2013b): Gartengestaltung und Landschaftsbau - Werkvertragsnorm (ÖNORM B 2241: 2013-06-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2013c): Sportböden – Bestimmung der Wasserinfiltrationsrate (ÖNORM EN 12616: 2013-10-15). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2014): Begrünung mit Wildpflanzensaatgut (ÖNORM L 1113: 2014-04-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2016a): Gartengestaltung und Landschaftsbau – Grünflächenpflege, Grünflächenerhaltung (ÖNORM L 1120: 2016-07-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2016b): Boden als Pflanzenstandort – Begriffe und Untersuchungsverfahren (ÖNORM L 1050: 2016-03-15). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2016c): Hydrologie – Hydrographische Begriffe und Zeichen (ÖNORM B 2400: 2016-03-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2017): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement (ÖNORM EN 752: 2017-07-01). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2019a): Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung (ÖNORM L 1111: 2019-11-15). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2019b): Erdarbeiten Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln (ÖNORM EN 16907-1: 2019-03-15). Wien: ASI.
- ASI – AUSTRIAN STANDARDS INSTITUT (2021): Sportplatzbeläge – Teil 1: Naturrasenspielfelder (ÖNORM B 2606-1: 2021-03-15). Wien: ASI.
- AUSTROSAAT – AUSTROSAAT ÖSTERREICHISCHE SAMENZUCHT- U. HANDELS AG (o.J.): Pflege einer Blumenwiese. Wien [Online am 02.09.2021: <https://www.austrostaat.at/Tipps-Themen/Blumenwiese/Pflege-einer-Blumenwiese/Pflege-einer-Blumenwiese.htm>].
- BASTIAN, O., SCHREIBER, K.F. (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Jena, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- BROCKHAUS (o.J. a): Boden. In: Brockhaus online. [Online am 11.08.2021: <https://brockhaus-1at->

1f8jbt7r600bd.pisces.boku.ac.at/ecs/permalink/DA2F926506DE6C14BAB7F2FFD03B4E6A.pdf].

BROCKHAUS (o.J. b): Untergrund. In: Brockhaus online. [Online am 11.08.2021: <http://brockhaus-1at-1f8jbt7r601bf.pisces.boku.ac.at/ecs/enzy/article/untergrund-strassenbau>].

BROCKHAUS (o.J. c): Bodenverdichtung. In: Brockhaus online. [Online am 11.08.2021: <http://brockhaus-1at-1f8jbt7r601bf.pisces.boku.ac.at/ecs/enzy/article/bodenverdichtung-bodenkunde>].

BROCKHAUS (o.J. d): Bodenversiegelung. In: Brockhaus online. [Online am 11.08.2021: <http://brockhaus-1at-1f8jbt7r601bf.pisces.boku.ac.at/ecs/enzy/article/versiegelung-bodenschutz>].

BORGWARDT, S., GERLACH, A., KÖHLER, M. (2000): Versickerungsfähige Verkehrsflächen: Anforderungen, Einsatz und Bemessung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

CHIMANI, B., HEINRICH, G., HOFSTÄTTER, M., KERSCHBAUMER, M., KIENBERGER, S., LEUPRECHT, A., LEXER, A., PEßENTEINER, S., POETSCH, M., SALZMANN, M., SPIEKERMANN, R., SWITANEK, M., TRUHETZ, H. (2016): Klimaszenarien für das Bundesland Wien bis 2100. Wien: MAGISTRAT DER STADT WIEN - WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG MA 22 (Hrsg.).

DEINHAMMER, A.V., FABISCH, M., HÄRTEL, C., HERNDL, R., LEHMANN, T., MARKOUSCHEK, G., RUPP, F., SCHRENK, C., WAGNER, C., WALSER, S., ZEININGER, J., ZOUFAL, W. (2018): Oberflächenentwässerung. Leitfaden für die Bauplanung. Empfehlungen für Wien. Wien: MAGISTRAT DER STADT WIEN - MAGISTRATSDIREKTION, GESCHÄFTSBEREICH BAUTEN UND TECHNIK (Hrsg.).

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser (Merkblatt DWA-M 153). Hennef: DWA.

EPPEL-HOTZ, A., FELGER, D., HENNE, S., HÜTTENMOSER, B., JAUGSTETTER, B., KRAUSE, G., MARZINI, K., MURER, E., SCHMIDT, C., SCHMIDT, S., SCHULTE, A., SEMMLER, R.; VESER, J. (2016): Pflegereduzierte Grünflächen - Attraktive und wirtschaftliche Lösungen mit Stauden und Ansaaten. Mering: Forum Verlag Herkert GmbH.

EPPEL-HOTZ, A. (2019): Pflanzen für Versickerung und Retention. Veitshöchheimer Berichte, 186 (2), 73-85.

- ERMER, K., HOFF, R., MOHRMANN, R. (1996): Landschaftsplanung in der Stadt. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH.
- FANK, J., KAMMERER, G., KUDERNA, M., MURER, E., STUMPP, C. (2020): Erfassung physikalischer Größen der ungesättigten Zone. In: BUNDESAMT für LANDWIRTSCHAFT, REGIONEN UND TOURISMUS., Hrsg. Wasser im Boden. Sammelband zur quantitativen Erfassung und Auswertung bodenphysikalischer Größen anlässlich 25 Jahre Bodenwasserbeobachtung. Wien: BUNDESAMT für LANDWIRTSCHAFT, REGIONEN UND TOURISMUS, 18-41.
- FLL – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (o.J.): Die FLL. Bonn [Online am 07.05.2021: <https://www.fll.de/die-fll/die-fll>].
- FLL – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (2005): Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung. Bonn: FLL.
- FLL – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (2008): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen. Bonn: FLL.
- FLL – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (2019): Regel-Saatgut-Mischungen Rasen - RSM Rasen 2019. Bonn: FLL.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2007): Verkehrssichere Durchlässe und Weganschlüsse (RVS 03.08.67: 2007-05-01). Wien: FSV.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2008): Verdichtungsnachweis mittels dynamischen Lastplattenversuches (RVS 08.03.04: 2008-06-09). Wien: FSV.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2011): Gewässerschutz an Straßen (RVS 04.04.11: 2011-01-01). Wien: FSV.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2012): Strassenentwässerung (RVS 03.08.65: 2012-11-12). Wien: FSV.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2017): Streumittel (RVS 12.04.16: 2017-11-01). Wien: FSV.

- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2019): Grünflächenpflege (RVS 12.05.11: 2019-03-27). Wien: FSV
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2020a): Gewässerschutz an Straßen (RVS 04.04.11: 2020-09-05). Wien: FSV.
- FSV – ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE SCHIENE VERKEHR (2020b): Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen (RVS 08.18.01: 2020-05-01). Wien: FSV.
- GILGEN, H. (1983): Strassenrand und Strassenböschung : Naturnahe Pflege. SBN-Merkblatt Nr. 3. Zofingen: Schweizerischer Bund für Naturschutz (Hrsg.).
- GÖBEL, P., COLDEWEY, W., DIERKES, C., KORIES, H., MEßER, J., MEIßNER, E. (2007): Impacts of green roofs and rain water use on the water balance and groundwater levels in urban areas. *Grundwasser* 12, 189–200. <https://doi-10.1002/d2vh041c.pisces.boku.ac.at/10.1007/s00767-007-0032-y>.
- GRABOSKY, J., BASSUK, N.L., URBAN, J., TROWBRIDGE, P. (1998): Structural Soil: An Innovative Medium Under Pavement that Improves Street Tree Vigor. ASLA Proceedings Annual Conference, 183-185.
- GRIMM, K., ACHLEITNER, M. (2010): Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete: Leitfaden für die Planung. St.Pölten: AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG – GRUPPE WASSER (Hrsg.).
- GRIMM, K., (2010): Integratives Regenwassermanagement: Motivenbericht. Wien: MAGISTRAT DER STADT WIEN - WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG MA 22 (Hrsg.).
- HUHN, V., STECKER, A. (1997): Alternative stormwater management concept for urban and suburban areas. *Water Science and Technology*, 36 (8-9): 295–300. <https://doi.org/10.2166/wst.1997.0682>.
- IBLB VT-TEAM – INSTITUT FÜR INGENIEURBIOLOGIE UND LANDSCHAFTSBAU VEGETATIONSTECHNIK-TEAM (2012): Bonitur-Anleitung. Wien: Universität für Bodenkultur.
- KÄRTNER SAATBAU E.GEN. (o.J.): Unser Saatgut. Klagenfurt am Wörthersee [Online am 21.05.2021: www.saatbau.at/saatgut/begrueung/].
- KLEIDORFER, M., ZEISL, P., ERTL, T., SIMPERLER, L., KRETSCHMER, F., STÖGLEHNER, G., HIMMELBAUER, P., MUSCHALLA, D., KREBS, G., LEIMGRUBER, J. (2019): Leitfaden Regenwasserbewirtschaftung. Entwicklung

flexibler Adaptierungskonzepte für die Siedlungsentwässerung der Zukunft: Praxisleitfaden aus dem Projekt Flexadapt. Wien: BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.).

KLUG, P. (2005): Vitalität und Entwicklungsphasen bei Bäumen. ProBaum, 1, 1-4.

KOS, B. (2017): Untersuchungen zu Baumsubstraten und Straßenbäumen mittels ausgewählter geotechnischer und vegetationstechnischer Methoden im Rahmen des „SAVE“-Projekts der Stadt Wien - Laborversuche und Analyse von Baumsubstraten (mittels Korngrößenverteilung, Wasserkapazität und Porenvolumen); Experteninterviews zu Straßenbäumen; Grundlagen für mögliche zukünftige Entwicklung. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.

LEOPOLDSEDER, T. (2017): Verfahren zur Prüfung der Bodenverdichtung. NEUE LANDSCHFT, 03/2017, 25-29.

LEWANDOWSKI I., VETTER A. (2009): Biomasseentstehung. In: KALTSCHMITT M., HARTMANN H., HOFBAUER H. (Hrsg.) Energie aus Biomasse. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi-10.1007/978-3-540-85095-3_2

LÜBKE, K. (2019): Dezentrales Regenwassermanagement in der Stadt : multifunktionale Sickerflächen = Decentralized urban rainwater management: multifunctional infiltration areas. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.

MATHEY, J., RÖßLER, S., LEHMANN, I., BRÄUER, A., GOLDBERG, V., KURBUHN, C., WESTBELD, A. (2011): Noch wärmer, noch trockener? : Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel ; Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3508 821 800) "Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel". Bonn: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH.

MINOL, K., (o.J.): Bonitur. In: Lexikon A-Z. [Online am 31.05.2021: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/bonitur>].

MATZINGER, A., RIECHEL, M., REMY, C., SCHWARZMÜLLER, H., ROUAULT, P., SCHMIDT, M., OFFERMANN, M., STREHL, C., NICKEL, D., SIEKER, H., PALLASCH, M., KÖHLER, M., KAISER, D., MÖLLER, C., BÜTER, B., LEßMANN, D., VON TILS, R., SÄUMEL, I., PILLE, L., WINKLER, A., BARTEL, H., HEISE, S., HEINZMANN, B., JOSWIG, K., REHFELD-KLEIN, M., REICHMANN, B. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.

- MENKE, P., 2016: Grüne Infrastruktur -; Konzepte und Strategien zur Förderung eines Bewusstseins für den Wert von Stadtgrün. Standort. Berlin, 40(2), 117. <https://doi.org/10.1007/s00548-016-0424-2>.
- NOLZ, R., LEITINGER, G., HUBER, L., MARKART, G. ELLER, M., KOGELBAUER, I., KOHL, B., NIEDERTSCHEIDER, K., CHALUPKA, A., FANK, J., HERNDL, M. (2020): Messsysteme. In: BUNDESAMT für LANDWIRTSCHAFT, REGIONEN UND TOURISMUS., Hrsg. Wasser im Boden. Sammelband zur quantitativen Erfassung und Auswertung bodenphysikalischer Größen anlässlich 25 Jahre Bodenwasserbeobachtung. Wien: BUNDESAMT für LANDWIRTSCHAFT, REGIONEN UND TOURISMUS, 42-59.
- OLESKO, E. (2021): Dezentrale Versickerungsmöglichkeiten von Niederschlagswasser in urbanen Gebieten. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.
- ÖAG – ÖSTERREICHISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR GRÜNLAND UND VIEHWIRTSCHAFT (2000): Richtlinie für standortgerechte Begrünungen. Ein Regelwerk im Interesse der Natur. Irdning: Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (Hrsg.).
- ÖAG – ÖSTERREICHISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR GRÜNLAND UND VIEHWIRTSCHAFT (o.J.): Ziele und Leistungen. [Online am 23.05.2021: <https://gruenland-viehwirtschaft.at/der-verein/aufgaben-und-zielsetzung.html>].
- BMDW – BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALISIERUNG UND WIRTSCHAFTSSTANDORT (2021): Baurecht und Bauordnungen. [Online am 17.06.2021: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/Seite.2260200.html].
- ÖWAV – ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (o.J.): Wir über uns. [Online am 24.05.2021: <https://www.oewav.at/ÖWAV/Wir-über-uns>].
- PIERKES, B., HEMEIER, M., AUHAGEN, A., SIEMEN, W. (1994): Fertigstellung der Großsiedlung Hellersdorf unter ökologischen Aspekten. Baustein 1: Ermittlung der ökologischen Situation der Großsiedlung. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen. Berlin.
- RAVIV, M., LIETH, J.H. (2008): Soilless culture : theory and practice. London, Elsevier, 579. ISBN: 978-0-444-52975-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52975-6.X5001-1>.
- RIEGER-HOFMANN GMBH (o.J.): Standorte im Stadt- und Siedlungsbereich. Blaufelden-Raboldshausen [Online am 21.05.2021: <https://www.rieger-hofmann.de/sortiment>].

shop/mischungen/begrueenungen-fuer-den-stadt-und-siedlungsbereich/uebesicht.html].

RÜMLER, R. (1981): Strassenbegleitgrün = Végétation de bordure des routes = Roadside verdure. *Anthos*, 20(3), 30-34.

SAATEN ZELLER GMBH & CO.KG. (o.J.): Blumenwiese – nichtregionale Mischung. Eichenbühl-Guggenberg [Online am 21.05.2021: <https://www.saatenzeller.de/nichtregionale-mischungen/blumenwiese>].

SCHINDLER, U., MÜLLER, L., EULENSTEIN, F. (2015): Vereinfachte Methode zur Messung und Bewertung hydraulischer Kennwerte von Blumenerden und Substraten im Gartenbau. In: *Journal für Kulturpflanzen*, 67(6), 224-230. DOI 10.5073/jfk.2015.06.02.

SEMPEL, F., GORBACHEVSKAYA, O., MEWIS, I., ULRICHS, C. (2013): Modellversuch zur Feinstaubbindung: extensive Dachbegrünung vs. Schotterdach. *Gesunde Pflanzen*, 65(3), 113–118. DOI 10.1007/s10343-013-0305-6.

TRAXLER, A. (1997): Handbuch des Vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, angewandte Projekte Teil A: Methoden. Umweltbundesamt (Hrsg.) Monographien Band 89A.

WEIHS, P., ZAMINI, S., KRISPEL, S., OSWALD, S., PEYERL, M., REVESZ, M., SCHNEIDER, A., TRIMMEL, H. (2018): Optimierung reflektierender Materialien und Photovoltaik im Stadtraum bezüglich Strahlungsbilanz und Bioklimatik. PVOPTI-Ray. Projektbericht. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (Hrsg.) Nachhaltig Wirtschaften, 18.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (o.J.): Starkniederschlag. Wien [Online am 13.08.2021: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/starkniederschlag>].

13 Anhang

Anhang A: Aufnahmebogen Bonitur

SAVE									
Bonitur (monatlich) - Kuchelauer Hafen, Sickermulde 4									
Aufnahmenummer:			Datum:			Wetter:			
Vitalitätsstufen:			Infloreszenzstufen:			Bearbeiter:			
1 = üppig			1 = viele Blüten (<20)			○ Oliver Weiss			
2 = wüchsig			2 = zahlreiche Blüten (11 bis 20)			○ Stefan Riedenbauer			
3 = durchschnittlich			3 = wenige Blüten (4 bis 10)			○ Nadine Werner			
4 = kümmerlich			4 = einzelne bis rare Blüten (1 bis 3)						
5 = teilweise abgestorben			5 = keine Blüten (0)						
Nr.	Substrat	Ansaat	Frequenz	Höhe	Deckung	Gräser:Kräuter	Vitalität	Infloreszenz	Anmerkung
1	SV1_Oberboden_1	S							
2	SV1_Oberboden_1	S							
3	SV1_Oberboden_1	S							
4	SV1_Oberboden_1	S							
5	SV1_Oberboden_1	S							
6	SV1_Oberboden_1	S							
7	SV1_Oberboden_1	S							
8	SV1_Oberboden_1	S							
9	SV1_Oberboden_1	S							
10	SV1_Oberboden_1	S							
11	SV1_Oberboden_1	S							
12	SV1_Oberboden_1	S							
13	SV1_Oberboden_1	R							
14	SV1_Oberboden_1	R							
15	SV1_Oberboden_1	R							
16	SV1_Oberboden_1	R							
17	SV1_Oberboden_1	R							
18	SV1_Oberboden_1	R							
19	SV1_Oberboden_1	R							
20	SV1_Oberboden_1	R							
21	SV1_Oberboden_1	R							
22	SV1_Oberboden_1	R							
23	SV1_Oberboden_1	R							
24	SV1_Oberboden_1	R							
25	SV1_Oberboden_1	W							
26	SV1_Oberboden_1	W							
27	SV1_Oberboden_1	W							
28	SV1_Oberboden_1	W							
29	SV1_Oberboden_1	W							
30	SV1_Oberboden_1	W							
31	SV1_Oberboden_1	W							
32	SV1_Oberboden_1	W							
33	SV1_Oberboden_1	W							
34	SV1_Oberboden_1	W							
35	SV1_Oberboden_1	W							
36	SV1_Oberboden_1	W							

Anhang C: Prüfprotokoll; Dynamischer Lastplattenversuch

Dynamischer Lastplattenversuch			
gemäß RVS 08.03.04			
Datum:	Wetter, Temperatur:		
Projekt: SAVE	Prüfperson:		
Standort:	Gerätehersteller: Zorn		
Bauteil:	Datum der letzten Kalibrierung: Juli 2002		
Setzungen			
Prüfpunkt	s1max 1. Messstoß	Evdm	Bemerkungen:
Lage	s2max 2. Messstoß	s/v	
Substrat	s3max 3. Messstoß	smax Setzung i.M.	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	
	mm	MN/ qm	Bemerkungen:
	mm	ms	
	mm	mm	

Blatt 1/

14 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Stefan Riedenbauer, BSc
Geburtsdatum: 08.01.1994
Geburtsort: Wien
Staatsangehörigkeit: Österreich
Anschrift: Neulerchenfelder Straße 81/19
A-1160 Wien
Telefonnummer: 0664/9521222
E-Mail: riedi9@gmx.at



Ausbildung/Berufserfahrung

2000 – 2002 VS Landsteinergasse Wien
2002 – 2004 VS Bad Waltersdorf
2004 – 2008 Realschule Bad Waltersdorf
2008 – 2013 HTBLuVA Pinkafeld/Bautechnik, Tiefbau
2010 & 2011 Praktikum Fa. WeitzerBau, als Hilfsarbeiter am Bau
2012 Praktikum Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Johann Rauer, als technischer Angestellter
2014 – 2018 Bachelorstudium BOKU Wien, Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur
Seit 2016 Fa. IAT GmbH, als Bautechniker
Seit 2018 Masterstudium BOKU Wien, Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur
Abgeleiteter Präsenzdienst

Zusatzqualifikationen

Führerscheinklassen A, B, C, E, F
Sprachen Deutsch (Muttersprache)
Englisch (Maturaniveau)
Italienisch (Grundkenntnisse)
EDV-Kenntnisse MS-Office
AutoCAD, BricsCAD
Auer Success