

Diploma Thesis

Investigation of permeable pavements for P&R facilities

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Untersuchung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten von P&R-Anlagen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Luca Angelini

Matr.Nr.: 01027455

unter der Anleitung von

Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Straßenwesen
Technische Universität Wien,
Gusshausstraße 28/230/3, A-1040 Wien

Wien, im Februar 2023



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die mich während meiner Studienzeit und während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit unterstützt, begleitet und motiviert haben.

Als erstes widme ich meinen Dank der Forschungsgesellschaft Straße - Schiene – Verkehr die mich auf das Thema meiner Diplomarbeit „Untersuchung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten von P&R-Anlagen“ gebracht haben und mich beim Verfassen der Arbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko, der meine Diplomarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Außerdem bedanke ich mich bei der ÖBB Infrastruktur AG, besonders bei Dipl.-Ing. Dietmar Zierl und Dipl.-Ing. Jürgen Stern, die mir Inputs und Debatten zu dem Thema gegeben haben. Ihre Ideen haben maßgebend dazu beigetragen, dass diese Arbeit in dieser Form vorliegt.

Ein besonderer Dank gilt allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen meiner Befragung, ohne deren Mithilfe diese Diplomarbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrem informativen Input und ihren interessanten Antworten auf meine Fragen.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während meiner gesamten Studienzeit begleitet und bedingungslos unterstützt haben. Ohne ihre Mithilfe wäre es mir nicht möglich gewesen, eine derartige Ausbildung zu genießen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Die klimatisch bedingten Veränderungen haben künftig Auswirkungen auf sämtliche Weltregionen. So kommt es auch in Österreich häufiger zu extremen Wetterereignissen. Die Anzahl und Intensität von Niederschlägen nehmen zu, während gleichzeitig extreme Hitzewellen auftreten. Dieses Phänomen wird sich in den kommenden Jahren voraussichtlich verschärfen, folge dessen müssen die daraus resultierenden negativen Wirkungen auf die gebaute Umwelt reduziert und entsprechende Anpassungen bzw. Maßnahmen an den Klimawandel gesetzt werden. Die Reduktion der Flächenversiegelung von (Verkehrs-)Infrastrukturanlagen ist dabei ein wesentlicher Schritt. Die vorliegende Diplomarbeit, welche im Rahmen der Forschungstätigkeit des Instituts für Verkehrswissenschaften - Forschungsbereich Straßenwesen und in Kooperation mit der ÖBB Infrastruktur AG erarbeitet wurde, knüpft an dieser Stelle an und untersucht innovative und bestehende versickerungsfähige Straßenaufbauten, welche Oberflächenwasser am Ort ihres Auftretens in größerem Umfang versickern lassen.

Auf Grundlage von relevanten wasserrechtlichen Gesetzen und technischen Richtlinien, sowie die Untersuchung von Planungshinweisen für P&R-Anlagen, werden Anforderungen an den Stand der Technik entsprechenden versickerungsfähigen Straßenaufbauten herausgearbeitet und verglichen.

Die unterschiedlichen konstruktiven Straßenaufbauten, offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen, das Prinzip der Schwammstadt, TTE-Bauweise mit Begrünung, PU-Asphalt am Beispiel Terraway und verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen, werden in Bezug auf ihre Instandhaltungsmaßnahmen, die Gewährleistung der nachhaltigen technischen Funktionen der gesamten Lebenskosten der Anlage inklusive Berücksichtigung der Materialtrennung und Wiederverwendbarkeit bei Anlagenreinvestition und ihrer Ökobilanz bewertet. Basierend auf der Literaturrecherche und den Ergebnissen aus den Interviews mit ExpertInnen aus den Bereichen Geotechnik, Straßenbau und Landschaftsplanung wurde ein Kriterienkatalog, welcher eine schnelle und ökonomische Überprüfung der Produktqualität von versickerungsfähigen Straßenaufbauten unter vorwiegend technischen Aspekten, erarbeitet.

Der offenporige Asphalt ist eine gängige Methode, um versickerungsfähige Straßenaufbauten herzustellen und liegt bei der Auswertung nach den definierten ökologischen und ökonomischen Kriterien im Mittelfeld. Im Unterschied zum offenporigen Asphalt weist der PU-Asphalt am Beispiel Terraway erhöhte Nettoherstellungskosten und den schlechtesten ökologischen Rucksack auf, jedoch ist die Lebensdauer deutlich höher. Die TTE-Bauweise erzielt den geringsten ökologischen Rucksack, hat jedoch bei der Lebensdauer und folglich den Betriebskosten seine Schwächen. Die Variante verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen liegt ebenfalls, wie der offenporige Asphalt, im Mittelfeld. Das Prinzip der Schwammstadt, welches vom konstruktiven Aufbau ähnlich der verkürzten Kfz-Abstellfläche ist, hat einerseits die höchsten Nettoherstellungskosten andererseits ist durch die Pflanzung von Bäumen die Attraktivität und die Lebensqualität für Mensch und Tier signifikant gesteigert.

Diese Diplomarbeit bietet eine Entscheidungshilfe, um die jeweils optimale Versickerungsvariante im Bereich der Niederschlagsversickerung von P&R-Anlagen zu ermitteln und leistet dadurch einen Beitrag, die Lebens- und Umweltqualität in Städten und Ballungszentren nachhaltig zu sichern und zu steigern.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

The future climate will have an impact on all regions of the world. The ice of the polar ice caps is melting and sea levels are rising. In Austria, extreme weather events and increasing precipitation are occurring more frequently, while at the same time extreme heat waves are occurring. This phenomenon is expected to intensify in the coming years, as a result of which we will have to adapt to climate change.

Reducing land sealing is an essential step. This is the starting point of this diploma thesis "Investigation of permeable pavements for P&R facilities", which was developed within the framework of the research activities of the Institute of Transport Sciences - Road Research Department and in cooperation with ÖBB Infrastruktur. The research deals with the development of innovative and existing infiltration-capable road structures, which allow surface water to infiltrate to a greater extent at the point of occurrence.

The research results of relevant water laws and technical guidelines, as well as the investigation of planning guidelines for P&R facilities, form the basis for the second part of the thesis, in which the requirements for state-of-the-art infiltration-capable road structures are elaborated and the different structures are compared.

Within the scope of this diploma thesis the different constructive road superstructures, porous asphalt with adjacent vegetated seepage strips, the principle of the sponge city, TTE construction with vegetation, PU asphalt using the example of Terraway and shortened motor vehicle parking area with adjacent vegetated seepage strips, are evaluated with regard to their maintenance measures, the guarantee of the sustainable technical functions of the total life cycle costs of the system including consideration of material separation and reusability for system reinvestment and their life cycle assessment. Based on the literature research and the results of the interviews with experts from the fields of geotechnical engineering, road construction and landscape planning, a catalog of criteria, which allows a quick and economical examination of the product quality of infiltration-capable road structures under predominantly technical aspects, was developed.

The aim of this diploma thesis is to be an aid, based on different local conditions, to determine the optimal infiltration variant in the field of precipitation infiltration of P&R facilities. In times of global climate change, the quality of life and environment in cities and urban agglomerations should be sustainably secured and increased.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
1.1	State of the art der Flächenversiegelung	11
1.2	Regenwassermanagement allgemein	15
1.2.1	Wasserkreislauf vor und nach der Versiegelung.....	15
1.2.2	Methoden zur Niederschlagswasserversickerung.....	16
2	Wasserrechtliche Gesetze für Infrastrukturausbauten.....	18
2.1	Internationale Rechtsvorschriften (EU-Ebene)	19
2.1.1	Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG).....	19
2.1.2	Grundwasserrichtlinie (GWRL, 2006/118/EG)	19
2.1.3	Hochwasserrichtlinie (HWRL, 2007/60/EG)	19
2.2	Nationale Rechtsvorschriften	19
2.2.1	Wasserrechtsgesetz 1959.....	19
2.2.2	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung 1996 (AAEV)	20
2.2.3	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW)	21
2.2.4	Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG)	21
2.2.5	Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG)	22
2.3	Regelungen im Bundesland.....	22
2.4	Normen, Regelwerke und Richtlinien.....	22
2.4.1	ÖNORM B 2506-2	23
2.4.2	ÖWAV Regelblatt 45.....	24
3	Planungshinweise für P&R Anlagen	26
3.1	Systemkomponenten	26
3.2	Anforderungen an P&R- und B&R-Anlagen und das ÖPNV-Angebot.....	28
3.3	Entwurfsempfehlungen.....	29
3.3.1	Lage und Einbinden in das Verkehrswegnetz.....	29
3.3.2	Bauformen und Entwurf der Anlagen	30
4	Versickerungsfähige Straßenaufbauten	32
4.1	Offenporiger Asphalt.....	35
4.1.1	Konstruktiver Aufbau	35
4.1.2	Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen	38
4.1.3	Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten	38
4.2	Prinzip der Schwammstadt.....	39
4.2.1	Konstruktiver Aufbau	39

4.2.2	Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen	42
4.2.3	Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten	42
4.3	TTE-Bauweise	43
4.3.1	Konstruktiver Aufbau	43
4.3.2	Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen	46
4.3.3	Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten	46
4.4	PU-Asphalt am Beispiel Terraway	47
4.4.1	Konstruktiver Aufbau	47
4.4.2	Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen	49
4.4.3	Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten	49
4.5	Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen	50
4.5.1	Konstruktiver Aufbau	50
4.5.2	Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen	53
4.5.3	Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten	53
4.6	Ökobilanzen der versickerungsfähigen Straßenaufbauten	54
4.7	Kostenbewertung	55
4.7.1	Nettoherstellungskosten	56
4.7.2	Betriebskosten.....	56
4.7.3	Rückbau- und Recyclingkosten.....	57
4.8	Kriterienkatalog.....	58
5	Forschungsergebnisse	61
5.1	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse	61
5.2	Beantwortung der Forschungsfragen.....	63
5.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf.....	65
	Literaturverzeichnis.....	66
	Abbildungsverzeichnis.....	68
	Tabellenverzeichnis.....	69
	Anhang	70

1 Einleitung

1.1 State of the art der Flächenversiegelung

Seit Beginn der Messgeschichte waren 13 der 15 wärmsten Jahre nach der Jahrtausendwende zu verzeichnen. In Österreich gab es Anfang des 20. Jahrhunderts noch zwei Tage mit über 30 Grad im Jahr, jedoch ist diese Zahl auf bereits 15 Tage im Jahr 2019 angestiegen. Laut Prognosen werden 30 Hitzetage bis zum Jahre 2030 erwartet und bis Ende des Jahrhunderts werden 50 Tage pro Jahr vermutet. Hitzeperioden werden häufiger und stärker [1].

Die Auswirkungen des Klimawandels werden in den nächsten Jahren zunehmend auch in Österreich spürbar sein. Längere Hitzetage belasten vor allem ältere Menschen und können den menschlichen Organismus beeinträchtigen und bis zum Tod führen. Die Hitzebelastung wird vor allem in Großstädten und in urbanen Regionen signifikant spürbar sein. Bebauung und erhöhte Emissionen gegenüber dem Umland führen zu einem veränderten Lokalklima, welches auch als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird (siehe Abbildung 1). Die Parameter betreffen, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Strahlung, jedoch auch Immissionsgrößen, wie zum Beispiel Lärm und die Luftqualität. Die städtische Wärmeinsel ist ein typisches Phänomen, welches in unseren Großstädten zu beobachten ist. Die Messung des Stadtklimas erfolgt durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland, wobei die Maximalwerte bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen in der Nacht erreicht werden. Die Lufttemperatur wird stark durch die reduzierte Vegetation, der erhöhten Energie- bzw. Wärmespeicher und den künstlichen Oberflächen beeinflusst. Die Differenz kann in Großstädten bis zu 10 Grad betragen. In den Sommermonaten steigt für die Stadtbewohner die Gefahr von Hitzestress, wobei vor allem die ältere Generation davon betroffen ist. Der Einsatz von Klimaanlage und Kühlsystemen während der Hitzeperiode führt zu einem erhöhten Energieverbrauch und damit zu steigenden Kosten [1].

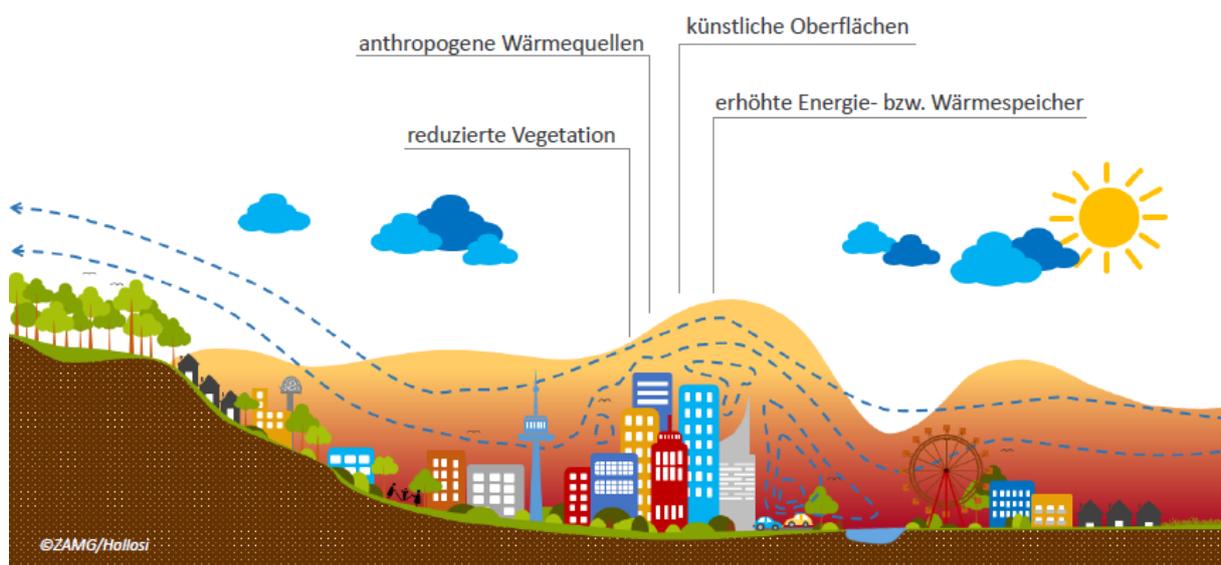


Abbildung 1: Stadtklima – die städtische Wärmeinsel, Quelle: ZAMG

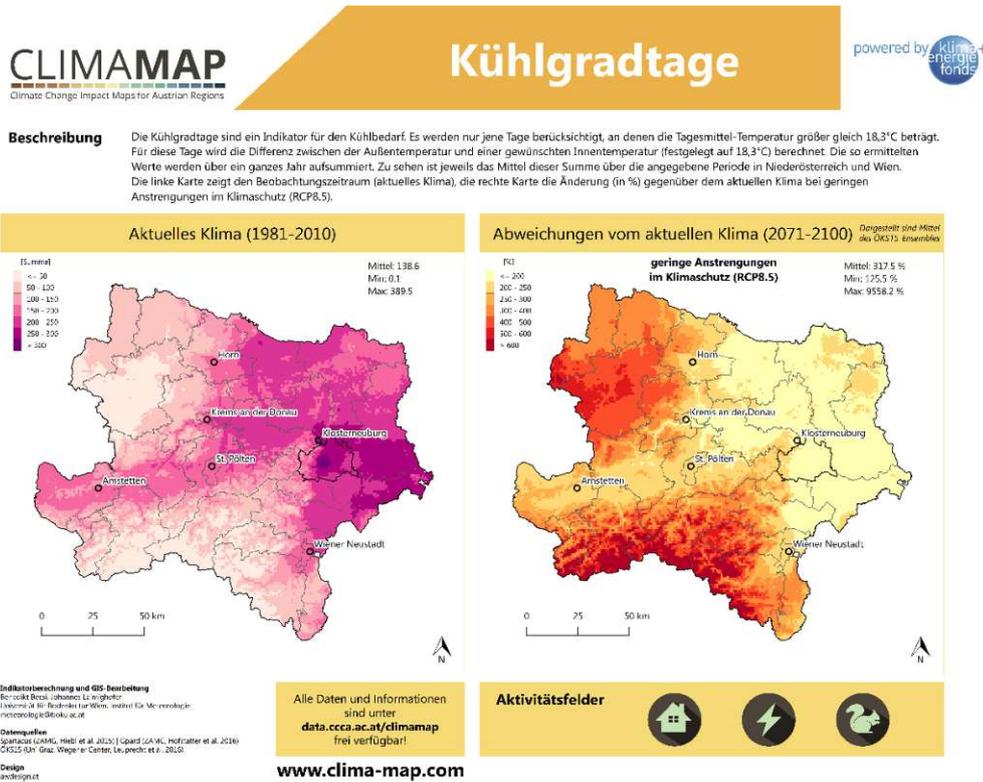


Abbildung 3: Vergleich Anzahl der Kühlgradtage bei aktuellem Klima und zukünftigem Klima bei geringen Anstrengungen im Klimaschutz, Quelle: CLIMAMAP

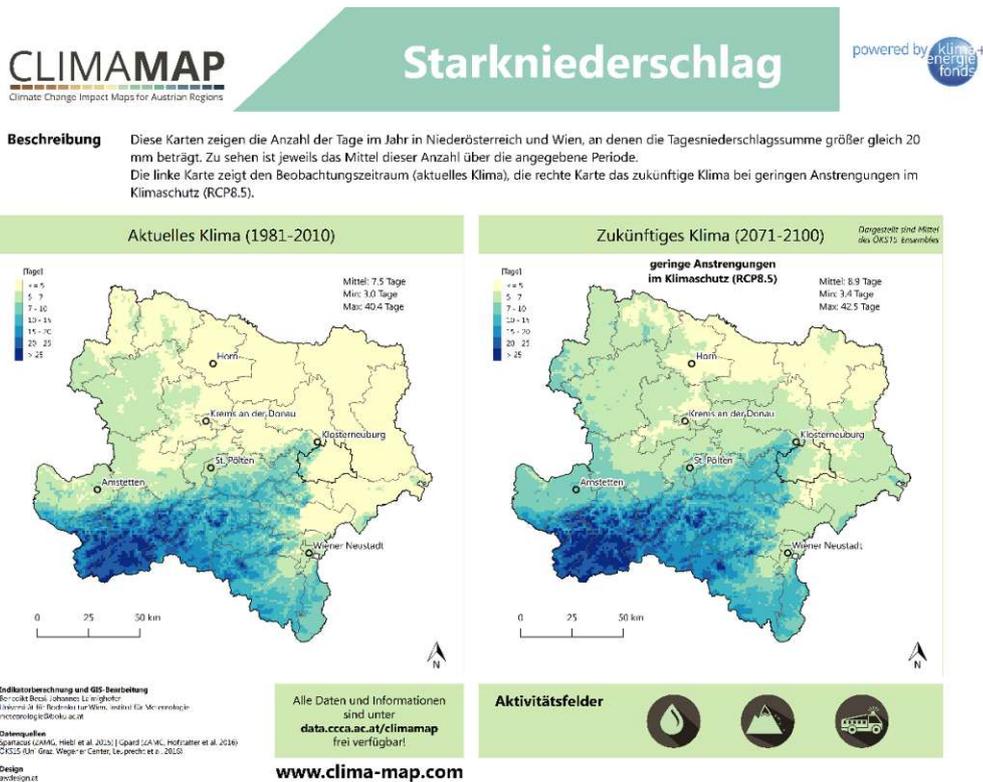


Abbildung 4: Vergleich Anzahl der Starkniederschläge bei aktuellem Klima und zukünftigem Klima bei geringen Anstrengungen im Klimaschutz, Quelle: CLIMAMAP

Die Flächenversiegelung hat folgende negative Auswirkungen: Für uns Menschen ist die Überlastungsgefahr unseres Kanalnetzes und die Staubentwicklung problematisch. Durch die Veränderung des natürlichen Wasserhaushalts, wodurch eine Absenkung des Grundwassers folgt, verschlechtert sich das Kleinklima und der Lebensraum für Flora und Fauna wird eingeschränkt.

Durch die Schaffung von Grünanlagen im Siedlungsgebiet, sei es durch Grünflächen, Parkanlagen oder Straßenbäume, kühlt die Umgebungstemperatur durch Schatten und Evaporation (siehe 1.2.1) deutlich ab und schafft somit eine qualitativ höhere Lebensqualität für die Bevölkerung. Zusätzlich kann durch die angelegten Biotope Strom eingespart werden, weil Gebäude weniger stark aufheizen und Klimaanlage, welche ebenfalls zur Erhöhung der Außenluft beitragen, weniger benutzt werden.

In den letzten 20 Jahren hat sich der Flächenbedarf im Vergleich zur Bevölkerung in Österreich verdreifacht: Die Bebauung von Grünflächen ist um 27 Prozent gestiegen, wobei es nur zu einem Bevölkerungszuwachs von 10 Prozent kam. Das Umweltbundesamt definiert Bodenverbrauch als den dauerhaften Verlust biologisch produktiven Bodens durch Verbauung und Versiegelung für Siedlungs- und Verkehrszwecke. In Österreich werden im Durchschnitt tagtäglich 13 Hektar Grünfläche dauerhaft versiegelt [3].

In Österreich werden die meisten Parkplätze asphaltiert und das Oberflächenwasser direkt in Kanäle eingeleitet. Der erste Schritt zur Anpassung an den Klimawandel besteht darin, die Versiegelung von Parkplätzen zu reduzieren und zu kompensieren. An dieser Stelle setzt diese Diplomarbeit „Untersuchung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten von P&R-Anlagen“, die im Rahmen mit der TU Wien und der ÖBB Infrastruktur verfasst wurde, an. Durch die Prüfung von bestehenden versickerungsfähigen Straßenaufbauten sollen bei Kfz-Abstellplätzen, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, Niederschlagswasser direkt die in Aufbauten versickern und somit die Kanalisation entlasten.

Zielsetzungen der Diplomarbeit:

- ◆ Ökologisch vertretbare Straßenaufbauten bei P&R Anlagen zu untersuchen und somit die Flächenversiegelung zu reduzieren
- ◆ Schaffung von Grundlagen für ökologischer, ökonomischer und qualitativer hochwertige Abstellflächen
- ◆ Ausarbeitung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten in Kombination mit Bepflanzung und Versickerungsmöglichkeiten
- ◆ Erstellung eines Kriterienkatalogs zur Evaluierung der unterschiedlichen Aufbauten

Forschungsmethodik/Vorgehensweise:

- ◆ Qualitative Literaturrecherche zur Beschaffung der notwendigen Grundlagen
- ◆ Datensammlung von verschiedenen bestehenden Straßenaufbauten
- ◆ Ausgewählte Experteninterviews aus den Bereichen Straßenbau, Geotechnik sowie Landschaftsplanung

1.2 Regenwassermanagement allgemein

1.2.1 Wasserkreislauf vor und nach der Versiegelung

Versiegelte Flächen verhindern den natürlichen Boden-Luft-Austausch und den Boden-Wasser-Haushalt. Auf unversiegelten Flächen verdunstet Regenwasser oder versickert im Boden. Pflanzen nutzen ihre Wurzeln, um einen Teil des Wassers aufzunehmen und wieder an die Umwelt abzugeben. Außerdem wird neues Grundwasser gebildet. Nur ein kleiner Teil fließt direkt in Gewässer wie Bäche, Flüsse und Seen (siehe Abbildung 5).

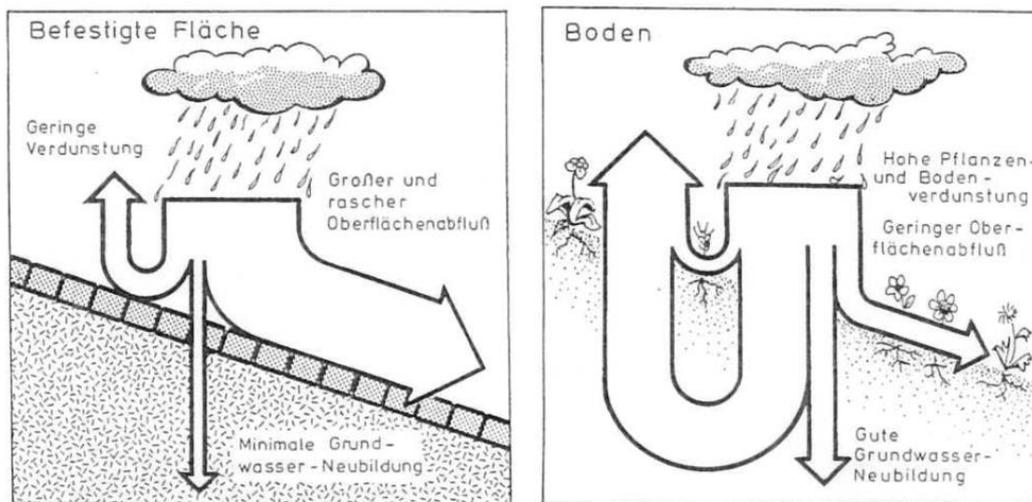


Abbildung 5: Vergleich des Wasserkreislaufs vor und nach der Versiegelung, Quelle: Stadt Dortmund

In der rechten Abbildung ist der natürliche Kreislauf des Wassers auf einen unversiegelten Boden dargestellt. Abhängig von den Bodenverhältnissen verdunstet ein kleiner Teil des Regenwassers direkt an der Oberfläche. Ein weiterer Teil des auftreffenden Niederschlagswassers versickert in den Untergrund und fördert die Grundwasserneubildung. Das gespeicherte Grundwasser kann in Trockenperioden für einen Ausgleich der Wasserführung in Bächen und Flüssen sorgen. Der größte Teil des Regenwassers versickert in den Untergrund und versorgt die jeweilige Flora und Fauna. Die Wassermengen werden von den Pflanzen und Bäumen über Verdunstung wieder an die Luft abgegeben, wodurch die Umgebeben gekühlt wird.

In der linken Ansicht sind die Auswirkungen von versiegelten Flächen auf den natürlichen Wasserkreislauf zu erkennen. Durch die Flächenversiegelung kann nur noch ein minimaler Teil des anfallenden Regenwassers in den Boden versickern, wodurch sich die Grundwasservorräte nicht auffüllen können. Es entsteht ein großer und rascher Oberflächenabfluss, wodurch bei Starkregenereignissen die Kanalisation oder die Vorfluter die Wassermassen nicht aufnehmen können. Die Anpassung der Kanalisation verursacht hohe Kosten. Auch die Kühlung der Luft wird durch die Flächenversiegelung negativ beeinflusst, da nur wenig Wasser verdunstet. Wegen der reduzierten Verdunstung und der geringen Bodenfeuchte wird das Kleinklima negativ beeinflusst. Zusätzlich ist mit einer Erhöhung von Staubentwicklung und Hitzetage zu rechnen [4].

1.2.2 Methoden zur Niederschlagswasserversickerung

In Städten und Wohngebieten wird der größte Teil des Oberflächenwassers in die Kanalisation eingeleitet. Innovative Lösungen ermöglichen einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser. Unter Versickerung versteht man das Einbringen von Niederschlagswasser in den Untergrund ohne negative chemische, physikalische und biologische Einwirkungen auf das Grundwasser.

Gemäß ÖWAV Regelblatt 35 [6] (siehe 2.4.2) sollte die Versickerung durch bewachsene Bodenschichten anstreben werden, da die Adsorption und Abbaubarkeit deutlich besser ist als bei unbewachsenen Bodenflächen. Folgende Ausführungen werden unterschieden:

- ◆ Flächenversickerung
- ◆ Muldenversickerung
- ◆ Rohr- und Rigolenversickerung
- ◆ Schachtversickerung
- ◆ Versickerungsbecken
- ◆ Mulden-Rigolen-System

Die Wahl der oben genannten Ausführungsvarianten sowie die Versickerungsfähigkeit des Bodens ergeben einen unterschiedlichen Flächenbedarf. In Abbildung 6 wird die Abhängigkeit von der Freiflächenverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Untergrunds zur gewählten Versickerung von Niederschlagswasser verdeutlicht.

Bei einer Flächenversickerung wird Regenwasser durch einen bewachsenen ebenen Boden versickert, welche einer natürlichen Versickerung am nächsten kommt. Diese Ausführungsvariante hat einen hohen Flächenverbrauch aber erzielt durch eine sehr gute Filterung die beste Reinigungsleistung.

Das Niederschlagswasser wird bei der Muldenversickerung oberirdisch geleitet und in begrünte Becken zwischengespeichert. Die Einstauhöhe beträgt maximal 30 cm, um dann über die Grundfläche dieser Mulde zu versickern. Der Platzbedarf ist erheblich kleiner als bei der Flächenversickerung, jedoch immer noch hoch. Durch das gut gefilterte Wasser, entstehen Biotope und lebenswerte Freiflächen, mit nur einem geringen Wartungsaufwand.

Bei einer Rigolversickerung wird das Wasser oberirdisch in einen mit Kies gefüllten Graben geleitet. Bei der Rohrversickerung wird das Niederschlagswasser in einen unterirdischen Kieskörper eingeleitet und versickert von dort aus. Das signifikante Merkmal dieser Ausführung ist sein großes verfügbares Speichervolumen von circa 95% und die dafür gering benötigte Fläche.

Schachtversickerungen werden aus Betonringen hergestellt. Versickerungsschächte weisen einen geringen Platzbedarf auf, jedoch sind sie aufgrund ihres geringen Speichervolumens von der Durchlässigkeit des Bodens abhängig. Schachtversickerungen sind in den meisten Fällen nicht mehr zulässig, da punktuellen Schmutzeintrag möglich ist.

Das Versickerungsbecken ist eine zentrale Versickerungsanlage, bei dem das Niederschlagswasser von größeren Einzugsbereichen an einem Punkt gesammelt und dort versickert wird.

Das Mulden-Rigolen-System kombiniert die Rigolverickerung mit einer begrünten Versickerungsmulde und bildet somit ein dezentrale Versickerungsanlag. Diese Ausführungsvariante kann auch bei schlecht sickerfähigen Böden angewandt werden [5].

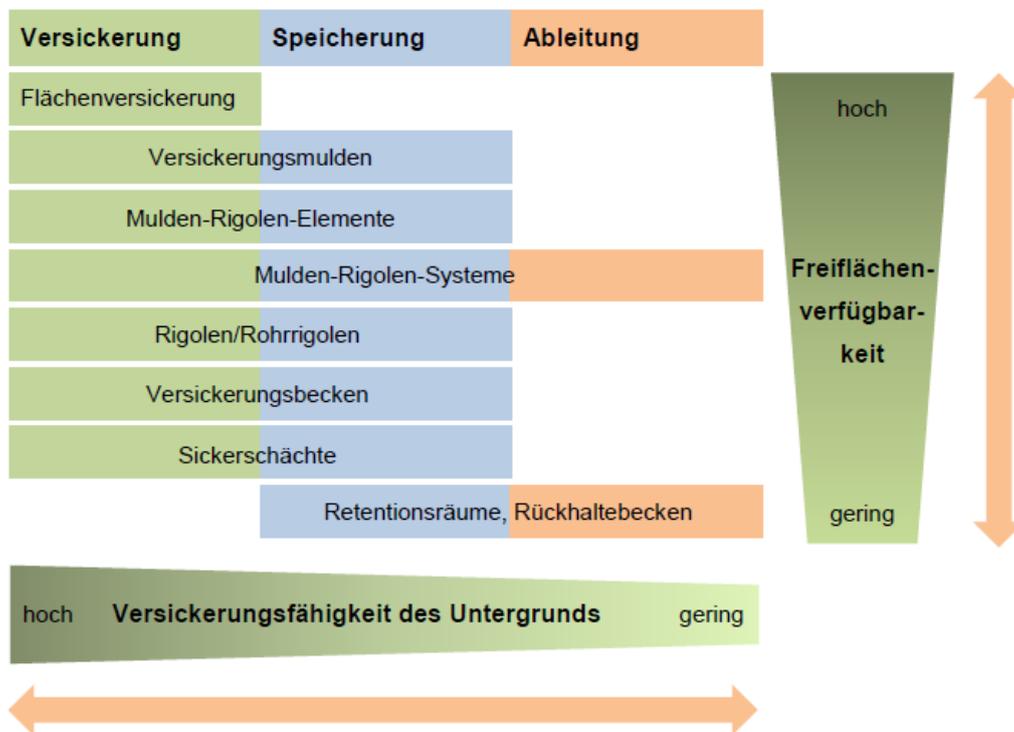


Abbildung 6: Einsatzmöglichkeiten naturnaher Bewirtschaftungsverfahren in Abhängigkeit von Versickerungsfähigkeit des Untergrunds und Freiflächenverfügbarkeit, Quelle: ATV-DVK-REGELWERK, 2002, 25 (modifiziert 2020, eigene Darstellung)

Die Einsatzmöglichkeiten naturnaher Bewirtschaftungsverfahren in Abhängigkeit von Versickerungsfähigkeit des Untergrunds und Freiflächenverfügbarkeit, Quelle: ATV-DVK-REGELWERK, 2002, 25 (modifiziert 2020, eigene Darstellung) Abbildung 6 zeigt die unterschiedlichen Versickerungssysteme im Zusammenhang der Freiflächenverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Untergrunds. Vereinfacht gesagt gilt: Je geringer die Durchlässigkeit des Untergrunds, desto größer die benötigte Fläche. Wenn die hydrogeologische und bodenmechanischer Randbedingungen erfüllt sind, dürfen versickerungsfähige Oberflächenbefestigungen eingesetzt werden. Die Methoden von Oberflächenentwässerung sind im ÖWAV-Regelblatt 45 dargestellt [6].

2 Wasserrechtliche Gesetze für Infrastrukturausbauten

In diesem Kapitel werden die rechtlichen Rahmenbedingungen im Umgang mit der knappen Ressource Wasser behandelt. Das Wasserrecht ist ein Teilgebiet des öffentlichen Rechts, dessen Hauptaufgabe die Bewirtschaftung der Gewässer ist. Das Wasser soll vor nachteiligen Eingriffen geschützt werden und eine Vorsorge für die Erhaltung einwandfreier Wasserreserven sind zu leisten. Die Ressource Wasser sowie der Schutz des Grundwassers werden sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene in vielen Gesetzen, Verordnungen und Regelwerken festgelegt. In Abbildung 7 sind die rechtlichen Rahmenbedingungen aufgelistet.

Europäische Vorgaben

- Wasserrahmenrichtlinie
- Grundwasserrichtlinie
- Hochwasserrichtlinie

Bundesgesetze

- Wasserrechtsgesetz 1959
- Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
- Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
- Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer
- Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer

Landesgesetze

Normen, Regelwerke und Richtlinien

- ÖNORM L 1111
- ÖNORM B 2506-1
- ÖNORM B 2506-2
- ÖNORM B 2506-3
- OIB-Richtlinie 3 – Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes
- Richtlinien und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL)
- Regelblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall

Abbildung 7: Überblick rechtlicher Rahmenbedingungen

2.1 Internationale Rechtsvorschriften (EU-Ebene)

2.1.1 Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG)

Die Richtlinie 2000/60/EG [7] des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 wurde zur Bildung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik geschaffen. Sie soll eine Vereinheitlichung bezwecken, deren Ziele auf eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung ausgelegt ist. Bis zum Jahr 2015 (mit Ausnahmen bis spätestens 2027) soll ein guter chemischer und ein guter ökologischer Zustand für Oberflächengewässer, soweit ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer geschafft werden. Ein weiteres Ziel der Richtlinie besagt, dass der Zustand des Wasserkörpers sich nicht verschlechtern darf. Zusätzlich wird von der Europäischen Kommission gefordert, dass Wasserpreise und -gebühren Anreize für eine nachhaltige Ressourcennutzung schaffen und es den Wirtschaftssektoren ermöglichen, die Kosten für Wasserdienstleistungen zu decken. *„Der Begriff ‚Wasserpreis‘ wird als ‚Grenz- oder Gesamtbetrag definiert, der von den Verbrauchern für alle in Anspruch genommenen Wasserdienstleistungen (zum Beispiel Abwasserbehandlung), einschließlich der ökologischen Kosten, zu entrichten ist.“* (Europäische Union, 1998–2020a).

2.1.2 Grundwasserrichtlinie (GWRL, 2006/118/EG)

Die Grundwasserrichtlinie 2006/118/EG [8] ergänzt die EU-Wasserrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) und legt die Qualitätskriterien fest, beschreibt die Kriterien zur Beurteilung von gutem chemischem Zustand, und definiert den Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Die Richtlinie berücksichtigt in angemessener und wissenschaftlich fundierter Weise die Anforderungen der WRRL zur Bewertung des chemischen Zustands des Grundwassers und zur Erkennung und Umkehrung signifikanter Trends bei einem anhaltenden Anstieg der Schadstoffkonzentrationen und führt gleichzeitig die Bestimmung zur Verhinderung oder Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen ins Grundwasser aus.

2.1.3 Hochwasserrichtlinie (HWRL, 2007/60/EG)

Die Hochwasserrichtlinie 2007/60/EG [9] verpflichtet die Mitgliedsstaaten die Einzugsgebiete und zugehörigen Küstengebiete zu ermitteln, für die ein erhebliches Hochwasserrisiko besteht. Für diese Gebiete müssen Pläne für das Hochwasserrisikomanagement und Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten erstellt werden. Das Ziel der Richtlinie ist eine Reduktion der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf den Menschen, die Umwelt, das Kulturerbe und die Wirtschaft.

2.2 Nationale Rechtsvorschriften

2.2.1 Wasserrechtsgesetz 1959

Das Wasserrechtsgesetz 1959 [10] dient dazu, Angelegenheiten im Bereich Wasser für das Bundesgebiet Österreich zu regeln. Das umfassende, gesetzliche Regelwerk dient zur Beurteilung von unterschiedlichsten, aus wasserwirtschaftlicher Sicht relevanten, Lebensverhältnissen. Die Hauptaufgabe liegt bei der Benutzung, dem Schutz und die Reinhaltung von Gewässern sowie dem Schutz vor Gefahren des Wassers.

Laut § 30 sind alle Gewässer einschließlich des Grundwassers im Rahmen des öffentlichen Interesses und nach Maßgaben der folgenden Bestimmungen reinzuhalten und zu schützen:

- ◆ keine Gefährdung der Gesundheit von Tier und Mensch
- ◆ keine Beeinträchtigung des Landschaftsbilds und Vermeidung sonstiger fühlbarer Schädigungen
- ◆ keine Verschlechterung von aquatischen Ökosystemen
- ◆ ein langfristiger Schutz der vorhandenen Ressource durch Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung
- ◆ Reinhaltung des Grundwassers und Reduktion der Verschmutzung, sodass es als Trinkwasser verwendet werden kann

Bewilligungspflichtige Maßnahmen nach § 32 sind Einwirkungen auf Gewässer, von denen erwartet wird, dass sie infolge eines natürlichen Laufs der Dinge die Beschaffenheit des Gewässers negativ beeinträchtigen, insbesondere wenn die Gefahr des Eintrags von wassergefährdenden Schadstoffen besteht. Eine generelle Bewilligungspflicht für versickerungsfähige Parkplätze ist aus diesem Paragraphen nicht auszumachen, jedoch empfiehlt es sich, ein Projekt mit der zuständigen Behörde abzuklären. Laut § 12 des Wasserrechtsgesetz 1959. dürfen das Maß und die Art der zu bewilligenden Wasserbenutzung das öffentliche Interesse nicht beeinträchtigen und bestehende Rechte nicht verletzt werden. Nur Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen, sind bewilligungsfähig. Dieser wird im §12a, Abs. 1 des Wasserrechtsgesetz 1959. wie folgt geregelt: *„Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere jene vergleichbaren Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, welche am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.“* (Wasserrechtsgesetz 1959, §12a. (1)). Die Reinhaltungspflicht ist in § 33 des Wasserrechtsgesetz 1959 beschrieben. Eine Person, die zur Einwirkung auf die Beschaffenheit des Gewässers berechtigt ist, ist verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen zu treffen, um das Wasser sauber zu halten und Schäden zu vermeiden.

2.2.2 Allgemeine Abwasseremissionsverordnung 1996 (AAEV)

Die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung regelt die Einleitung von

- ◆ Abwasser
- ◆ Mischwasser
- ◆ Niederschlagswasser, bei dem Schadstoffe eines Einzugsgebiets in ein Gewässer eingebracht werden, welche hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten im Einzugsgebiet verursacht werden.

- ◆ Grundwasser oder Tiefengrundwasser, wenn dessen Eigenschaft in Prozessen derart verändert wird, dass es Fließgewässer in ihrer Beschaffenheit zu beeinträchtigen oder zu schädigen vermag
- ◆ Sickerwasser aus Abfalldeponien
- ◆ wässrige Kondensate, ausgenommen Niederschlagswasser in Fließgewässern oder öffentlichen Kanalisationen (vgl. AAEV, § 1, Abs. 1).

Für das Management von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten sind folgende Punkte des § 3 AAEV von Bedeutung:

„(3) In einer Mischkanalisation bei Niederschlagsereignissen, Spül- oder sonstigen Vorgängen anfallende Schmutzstoffe sollen – nötigenfalls unter Zwischenschaltung von Regenüberlaufbecken zur Speicherung und mechanischen Reinigung – weitestgehend in der zentralen Abwasserreinigungsanlage behandelt werden. Hydraulische Entlastungsbauwerke in einer Mischkanalisation sollen nach dem Konzept der kritischen Regenspende sowie unter Berücksichtigung der Forderung der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers bemessen und betrieben werden. Nicht oder nur gering verunreinigtes Niederschlagswasser aus einem Siedlungsgebiet mit Mischkanalisation soll – soweit örtlich möglich – noch vor dem Eintritt in die Kanalisation dem natürlichen ober- und unterirdischen Abflußgeschehen überlassen werden.

(4) Nicht oder nur gering verunreinigtes Niederschlagswasser aus einem Siedlungsgebiet mit Trennkanalisation soll gleichfalls – soweit örtlich möglich – noch vor dem Eintritt in den Regenwasserkanal dem natürlichen ober- und unterirdischen Abflußgeschehen überlassen werden. Niederschlagswasser mit anthropogenen Verunreinigungen aus Abschwemmungen von Flächen in Siedlungsgebieten mit Trennkanalisation, von stark frequentierten Verkehrsflächen sowie von sonstigen Flächen (§ 1 Abs. 1 Z 3) soll, sofern die Einleitung in ein Fließgewässer eine Veränderung der Wasserbeschaffenheit erwarten läßt, die das geringfügige Ausmaß übersteigt (§ 32 Abs. 1 WRG 1959), mit Maßnahmen nach dem Stand der Technik sowie unter Berücksichtigung der Forderung der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers gereinigt und eingeleitet werden.“ (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung 1996, §3. (3,4) [11]

2.2.3 Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW)

Die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser [12] beschreibt den guten chemischen Zustand des Grundwassers. Durch Schwellenwerte für Schadstoffe wird der gute chemische Zustand definiert und Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustands im Grundwasser festgelegt. Weiters legt die die Verordnung zum Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen Einbringungsverbote und -beschränkungen fest und setzt Maßnahmen. Die Reinhaltungspflicht ist im Wasserrechtsgesetz 1959 § 33 (siehe 2.2.1) geregelt. Bei der Regenwasserversickerung ist die QZV Chemie GW zu berücksichtigen und die vorgegebenen Grenzwerte sind einzuhalten.

2.2.4 Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG)

Die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer [13] gilt für alle Oberflächenwasserkörper (§ 30a Abs. 3 Z 2 WRG 1959) einschließlich erheblich veränderter sowie künstlicher Oberflächenwasserkörper (§ 30b Abs. 3 Z 1 und 2 WRG 1959). Der Zweck der Verordnung ist die Bestimmung des Zielzustandes für Oberflächengewässer. Dies geschieht durch

Umweltqualitätsnormen, die den guten chemischen Zustand und die chemischen Komponenten des guten ökologischen Zustands für synthetische und nicht synthetische Schadstoffe in Oberflächengewässern beschreiben, sowie durch die Beschreibung der relevanten Zustände für die Anwendung des Verschlechterungsverbots.

2.2.5 Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG)

Die Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer [14] (QZV Ökologie OG) regelt den ökologischen Zustand für Oberflächengewässer. Die biologischen, hydromorphologischen und die allgemeinen Bedingungen der physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten werden für die Beurteilung der Qualität von Oberflächengewässern herangezogen. Diese Verordnung gilt für alle Oberflächengewässer mit Ausnahme von künstlichem und erheblich verändertem Gewässer.

2.3 Regelungen im Bundesland

Die jeweilige Regelung im sich befindlichen Bundesland ist durch das bundesstaatliche Prinzip definiert. In Österreich beschließen die neuen selbstständigen Bundesländer autonom in ihrem jeweiligen Bereich. Die bedeutsamen Vorschriften der wasserrechtlichen Regelwerke der Länder enthalten Konkretisierungen oder Ergänzungen der Regelungen des Bundes. Aufgabe der Länder ist es vor allem, die Fragen des Vollzugs sowohl der bundes- als auch der landesrechtlichen Bestimmungen, insbesondere die Behördenzuständigkeiten und die Verwaltungsverfahren, zu regeln. Hauptaufgabe der Länder ist es, die Anwendung des Bundes- und Landesrechts, insbesondere die Aufgaben der Behörden und die Verwaltungsverfahren, zu regeln. Darüber hinaus fügt die Gesetzgebung beispielsweise Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes in Bezug auf die Nutzung von Gewässern, Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen, Versorgung und Entwicklung von Gewässern, Hochwasserschutz und Überwachung von Gewässern hinzu.

2.4 Normen, Regelwerke und Richtlinien

Dieses Kapitel verweist auf anzuwendende Normen, Regelwerke und Richtlinien die den Stand der Technik bilden. Folgende nachstehende Aufzählungen ist eine Auswahl der relevantesten Regelwerke:

ÖNORMEN:

- ◆ ÖNORM L 1111 (2019) Gartengestaltung und Landschaftsbau – Technische Ausführung
- ◆ ÖNORM B 2506-1 (2013) Regenwassersickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb
- ◆ ÖNORM B 2506-2 (2012) Regenwassersickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen
- ◆ ÖNORM B 2506-3 (2016) Prüfnorm für technische Filter, Anforderungen an den Schadstoffrückhalt sowie an die Prüfanordnung

- ◆ OIB-Richtlinie 3 – Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- ◆ Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes:
- ◆ ÖWAV Regelblatt RB 45: Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund, 2015
- ◆ ÖWAV Regelblatt RB 35: Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächen, 2. vollständig überarbeitete Auflage, 2019
- ◆ ÖWAV Regelblatt RB 11: Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen, 2.vollständig überarbeitete Auflage, 2009

Richtlinien und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL):

- ◆ FLL-Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, 2018
- ◆ FLL-Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen, 2018
- ◆ FLL Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von Wassergebundenen Wegen, 2007
- ◆ FLL-Empfehlungen zur Versickerung von Wasserrückhaltung, 2005

Regelblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall:

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

2.4.1 ÖNORM B 2506-2

Die ÖNORM B 2506-2 [15] befasst sich mit den Reinigungsmöglichkeiten für die zu versickernden Regenwässer und legt die Anforderungen für die Bemessung, den Bau und den Betrieb von Reinigungsanlagen fest. Eine sorgfältige Reinigung der Niederschlagswässer muss zum Schutz des Grundwassers gegeben sein, um dieses vor Keime, organische und anorganische Stoffe zu schützen. Niederschlagsabflussverunreinigung wird verursacht durch:

- ◆ Depositionen (z.B. Ablagerungen aus der Atmosphäre, Laub, Exkrememente, verschmutzter Schnee)
- ◆ Materialzusammensetzung der Entwässerungsflächen (z.B. metallische Dachdeckung) und Ableitungen
- ◆ Nutzung (z.B. Verkehrsflächen, Lagerfläche) bzw. Wartung der Entwässerungsfläche

Die ÖNORM B 2506-2 umfasst Versickerung des Abflusses von Dachflächen, befestigten Flächen, wie Höfen, Einfahrten, Terrassen Gehwegen, Parkplätzen, Lager- und Ladeflächen sowie Bereichen kleiner Verkehrsflächen (bis zu 5000 DTV).

Das Grundwasser soll von der Versickerung von Niederschlagsabflüssen nicht negativ beeinflusst werden. Der Boden bzw. die künstlich aufgebrachte Deck- oder Filterschicht muss eine abbauende und/oder rückhaltende Wirkung haben, um Verunreinigungen abzuhalten. Ist dies nicht möglich, ist eine technische Reinigungsanlage notwendig. Die Reinigungsanlage kann einstufig oder mehrstufig sein. Nach ÖNORM B 2506-2 (2012) sind folgende Reinigungsmöglichkeiten möglich:

- ◆ Bodenfilter (natürlicher oder technischer Bodenfilter)
- ◆ Grobstoffabscheider (Einlaufgitter, Laubfänge, Rechen und Siebe)
- ◆ Absetzanlagen (Sedimentationsanlagen)
- ◆ Mechanische Filter (Sand- und Kiesfilter, Geotextile, Vliese)
- ◆ Absorptionsanlagen (Aktivkohle, Zeolithe, Ölbindemittel)
- ◆ Sonstige Anlagen (Mineralöl-Abscheideanlage mit Schlammfang)

2.4.2 ÖWAV-Regelblatt 45

Der österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) ist ein gemeinnütziger Verein, der auf nachhaltige Ziele der Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft auf nationaler und internationaler Ebene achtet. Das Regelblatt 45, Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund, enthält Empfehlungen mit dem Umgang von Oberflächenwasser in den Untergrund von Niederschlagsabflüssen von Dachflächen, Flächen für den fließenden und ruhenden Verkehr und Lager- und Manipulationsflächen. Das Regelblatt definiert besonders die Grundlagen der Dimensionierung, des Betriebs, der Kontrolle, der Wartung und der Überprüfung von Entwässerungsanlagen und -systemen.

Die Reduktion von Niederschlagsabflüssen und die Stoffbelastung an der Anfallsstelle sind die effizientesten Maßnahmen. Mögliche Maßnahmen nach dem ÖWAV-Regelblatt 45 sind:

- ◆ Vermeidung von neuen versiegelten Flächen
- ◆ Nachträgliche Entsiegelung
- ◆ Gering verschmutzte Flächen möglichst durchlässig gestalten
- ◆ Regenwasser speichern und es zur Bewässerung verwenden

In Tabelle 1 ist eine Einteilung der Flächentypen beschrieben. Diese hängt von der möglichen Belastung mit Inhaltsstoffen des Niederschlagswassers ab [6].

**Tabelle 1: Auflistung und Einteilung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche,
Quelle: ÖWAV-Regelblatt 45**

Flächentyp	Art der Fläche
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen (Glas-, Grün-, Kies- und Tondächer, zementgebundene und kunststoffbeschichtete Deckungen), gering verschmutzt. • Alle an anderen Dachflächenmaterialien und Terrassen (gering verschmutzt) mit einem Gesamtflächenanteil nicht größer als 200 m² projizierter Fläche. • Rad- und Gehwege. • Nicht befahrene Vorplätze und Zufahrten für Einsatzfahrzeuge.
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen und Terrassen, gering verschmutzt, die nicht dem Flächentyp F1 zugeordnet werden können. • Parkflächen für Pkw nicht größer als 20 Parkplätze bzw. 400 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt). • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit nicht häufigem Fahrzeugwechsel (Wohnhausanlagen, Mitarbeiterparkplätze bei Betrieben, Park-and-Ride-Anlagen und Parkplätze mit ähnlich geringem Fahrzeugwechsel). • Fahrflächen mit einer JDTV bis 500 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen bis 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke.
F3	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer als 20 Parkplätze und nicht größer als 75 Parkplätze bzw. 2.000 m² (Abstellflächen inkl. Zufahrt) mit häufigem Fahrzeugwechsel (z.B. Kundenparkplätze von Handelsbetrieben, wie z.B. Einkaufsmärkte). • Parkflächen mit Pkw größer 75 Parkplätze und nicht größer als 1.000 Parkplätze. • Fahrflächen mit einer JDTV von 500 bis 15.000 Kfz/24 h bzw. Gleisanlagen größer 5.000 Bto mit Ausnahme der freien Strecke. • Park- und Stellflächen für Lkw, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen (z.B. Verluste von Kraft- und Schmierstoffen, Frostschutzmitteln, Flüssigkeiten aus Brems- oder Klimatisierungssystemen etc.) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten aus diesen Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann).
F4	<ul style="list-style-type: none"> • Parkflächen für Pkw größer 1.000 Parkplätze (z.B. Einkaufszentren). • Betriebliche Fahrfläche mit einer JDTV über 15.000 Kfz/24 h (Straßen mit in der Regel mehr als zwei Fahrstreifen). • Betriebliche Fahrflächen, Plätze und Flächen mit starker Verschmutzung z.B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen und Märkte.
F5	<ul style="list-style-type: none"> • Park- und Stellflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Lager- und Manipulationsflächen sowie Umschlagplätze (Terminals), sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. • Dachflächen, stark verschmutzt (z.B. in Industriezonen mit hohen Emissionen). • Sonstige Fläche, stark verschmutzt.

3 Planungshinweise für P&R Anlagen

Mobilität und Erreichbarkeit stellen in heutiger Zeit aufgrund des wirtschaftlichen Austauschs und Beschäftigung eine essenzielle Rolle dar. Das derzeitige Verkehrssystem ist jedoch durch starke Umweltbelastungen (wie z.B. Emissionen, Bodenversiegelung) gekennzeichnet. Sowohl im Güterverkehr als auch im Personenverkehr hat die Verkehrsleistung in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Der Modal Split des Personenverkehrs setzt sich in Österreich zu 59 Prozent aus MIV-LenkerInnen und MIV-MitfahrerInnen, 21 Prozent FußgängerInnen, 17 Prozent öffentlichen Verkehrs und 7 Prozent aus RadfahrerInnen zusammen [16].

Durch die Schaffung von Angebot und Attraktivität des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) soll der motorisierte Individualverkehr (MIV) reduziert werden. Verdichtung des Angebots öffentlicher Verkehrsmittel, Verbesserung der Pünktlichkeit, Verbesserung des Komforts, günstigere ÖPNV-Fahrkarten und Park & Ride Anlagen gelten unter anderem als Maßnahmen zur Attraktivitätssteigerung bzw. zur Verkehrsverlagerung vom MIV auf das umweltfreundliche Verkehrsmittel Bahn.

Park & Ride (P&R) bezeichnet ein Prinzip der Verkehrsplanung, in dem in der Nähe von Haltestellen des ÖPNV Parkplätze für Pkw, Motorräder und Busse zur Verfügung gestellt werden. Durch die Schaffung solcher Anlagen, besteht für Pendler die Möglichkeit, ihr Fahrzeug am Stadtrand abzustellen und mit geringeren Zeitkosten (d.h. Vermeidung von Stauzeiten und Suchzeiten für Parkplätze) mit den öffentlichen Verkehrsmitteln ins Stadtzentrum zu gelangen. Vor dem Hintergrund der Bodenversiegelung und der nachhaltigen Verdichtung und Optimierung von P&R-Anlagen entlang von Verkehrsachsen, stellt sich die Frage der nachhaltigen Gestaltung und Planung solcher Infrastrukturen.

Die folgenden Kapitel beziehen sich auf die Ausgabe der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise zu Park+Ride (P+R) und Bike+Ride (B+R), 2018 [17].

3.1 Systemkomponenten

Das Grundprinzip der P&R-Anlagen basiert auf der Verknüpfung der Vorteile des individuellen und öffentlichen Verkehrs, um die Verkehrsprobleme in der Innenstadt oder auch an stark frequentierten Veranstaltungsorten zu reduzieren. Andere verwandte Formen werden neben dem Grundangebot von P&R-Anlagen verwendet. Grundsätzlich können in der Mobilitätskette mehr als zwei Verkehrsmittel zum Einsatz kommen. In Abbildung 8 erkennt man die Grundanordnung solcher Anlagen.

P&R-Anlagen werden am Stadtrandgebiet und dem angrenzenden Umland angelegt, um dort den Verkehr aufzufangen. Ausnahmefälle sind hingegen Schnellbahnhaltstellen, die innerhalb des Stadtgebiets liegen und die für den MIV gut angebunden sind. Die Gestaltung und Dimensionierung solcher Parkplätze hängen von der verkehrlichen Bedeutung und Nachfrage ab. An weniger stark frequentierten Bahnhöfen und Haltestellen reicht in der Regel ein P&R-Grundangebot aus. Durch die Planung von Bike&Ride Anlagen (B&R) kann eine flexible Umsteigemöglichkeit auf den ÖPNV ermöglicht werden. Als Voraussetzung für eine wirtschaftliche, bedarfs- und nutzungsgerechte Planung ist es zweckmäßig, P&R und B&R nach der Angebotshäufigkeit in ständig (täglich) und gelegentlich (Fußballspiele, Messen, Großevents) zu unterscheiden.

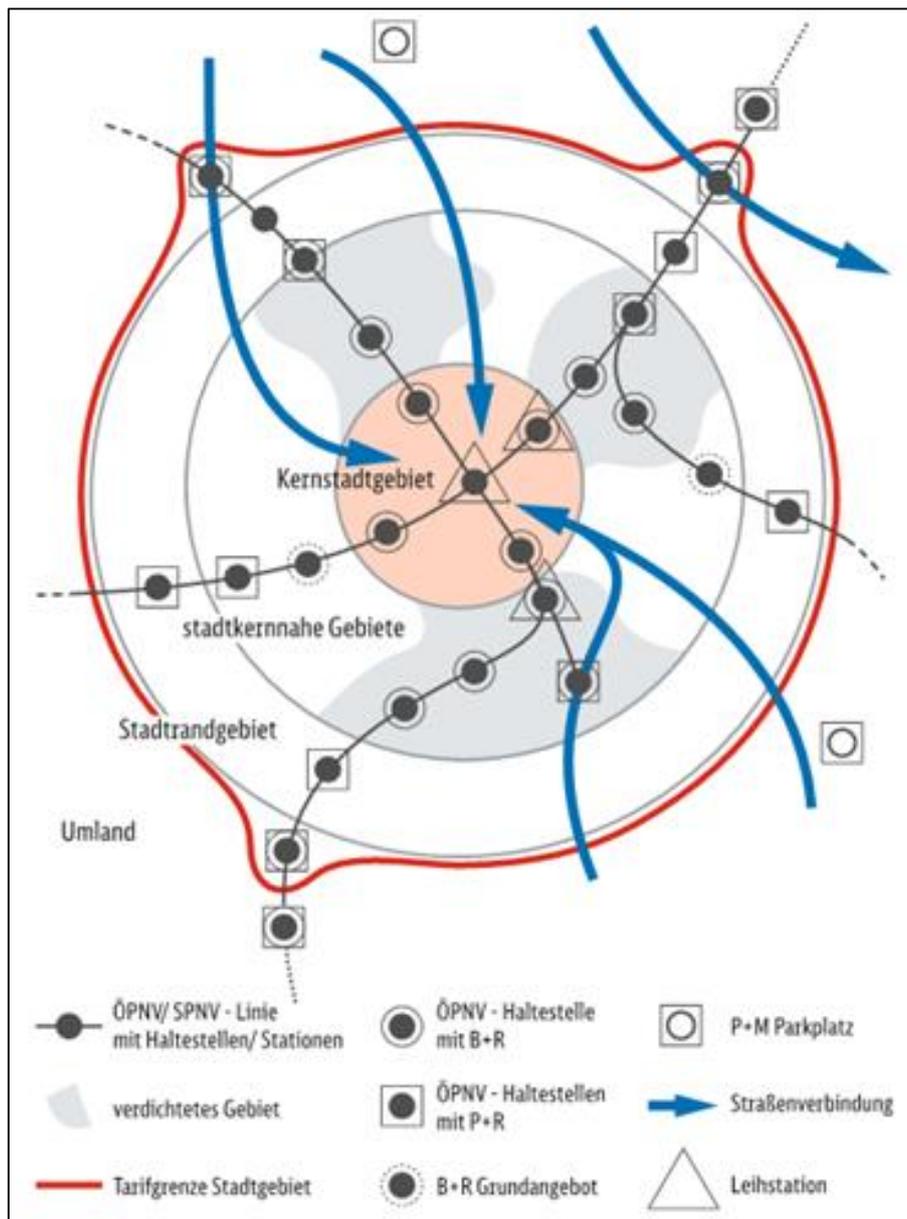


Abbildung 8: Grundprinzipien zur Anordnung von P&R-Anlagen, Quelle Hinweise zu Park+Ride (P+R) und Bike+Ride (B+R)

In stark verdichteten Stadträumen innerhalb des Kernstadtgebietes sind P&R-Anlagen eher uninteressanter. Die Gestaltung von attraktiven B&R-Anlagen an den Bahnhöfen und Haltestellen des ÖPNV ist die bessere Lösung.

Bahnhöfe und Haltestellen, die ein örtlich bedingtes Angebot für Auspendler bieten und im Stadtzentrum in einem dicht besiedelten Gebiet liegen, stellen eine besondere Situation dar. Hier kann eine verstärkte Nachfrage entstehen, die miteingeplant gehört.

Die Steigerung der Akzeptanz von P&R- bzw. B&R-Anlagen sollte klar definiert sein und in das Gesamtkonzept eingebaut werden. Während in den Großstädten aufgrund des gut ausgebauten ÖPNV signifikante Reisezeitvorteile zu erzielen sind, besteht die Problematik in Klein- und Mittelstädten im Zeitverlust, da der ÖPNV eher mit Bussen oder Straßenbahnen betrieben wird. Der ÖPNV und der MIV teilen sich öfters den gleichen Fahrweg. Zusätzlich müssen noch die Umsteigezeiten addiert werden. Unter diesen Voraussetzungen kann die Reisezeit nicht reduziert

werden. Folgende Maßnahmen können gesetzt werden um die Attraktivität der P&R-Anlagen zu steigern:

- ◆ Geringes Stellplatzangebot am Zielort und damit Zeitverlust durch Stellplatzsuche
- ◆ Hohe Kosten durch konsequente Stellplatzbewirtschaftung am Zielort
- ◆ Direkte Anbindung mit dem ÖPNV
- ◆ Zufahrtsbeschränkungen im Zielgebiet

3.2 Anforderungen an P&R- und B&R-Anlagen und das ÖPNV-Angebot

Die Errichtung von P&R-Anlagen in den Großstädten ist meistens an die vorhandene ÖPNV-Linie gebunden. Durch das gut ausgebaute ÖPNV Netz erwarten Nutzer, durch regelmäßig in kurzem Takt fahrende Fahrzeuge, kurze Wartezeiten. Jedoch können die Fahrzeuge des ÖPNV wegen der hohen Bevölkerungsdichte überlastet werden und es nicht jederzeit genügend freie Sitzplätze zur Verfügung stehen.

In Klein- und Mittelstädten sollen bevorzugt ebenfalls an relevanten Verkehrsknoten P&R-Anlagen geplant werden. Sollte aufgrund des weniger stark ausgebauten ÖPNV keine Linie vorhanden sein und die Nachfrage von etwa 600 bis 1000 Stellplätze erforderlich, so ist eine P&R-Sonderlinie in einem akzeptablen 10-Minuten-Takt anzubieten. Die P&R-Sonderlinie verknüpft die unterschiedlichen P&R-Anlagen miteinander.

Im Idealfall gibt es aus wirtschaftlichen Gründen eine Abhängigkeit zwischen der Größe der P&R-Anlage und dem Fahrgastaufkommen. Ebenfalls sind die Taktfolgen und die benötigte Fahrzeugkapazität aneinandergebunden. Dementsprechend macht ein P&R-Angebot mit einer Sonderlinie nur dann Sinn, wenn eine dichte Taktfolge wegen der hohen Fahrgastanzahl benötigt wird.

Für die Planung von P&R-Anlagen werden bei der Grundlagenermittlung die verkehrliche Situation im Straßen- und ÖPNV-Netz, die Zielgruppe und das Defizit im bisherigen System ermittelt. Unter anderem werden folgende Bewertungskriterien betrachtet:

- ◆ Das ÖPNV-Angebot
- ◆ Die MIV-Anbindung, Lage zum Hauptstraßennetz
- ◆ Die Anbindung an das Radverkehrsnetz
- ◆ Der vorhanden Parkdruck
- ◆ Der Einzugsbereich
- ◆ Die Zielgruppe

Die Zielgruppe lässt sich in Berufs- und Ausbildungsverkehr, Einkaufsverkehr, Veranstaltungs- und Eventverkehr und Freizeit- und Tourismusverkehr eingliedern.

Die Elektromobilität gewinnt weiterhin durch die zunehmende Verbreitung von ein- und zweispurigen Fahrzeugen mit alternativen Antriebsarten an Bedeutung und soll daher bei den Anforderungen an P&R-Anlagen bedacht werden. Für die Optimierung der Schnittstellen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln sind daher verstärkte Sicherheitsbedürfnisse von Pedelecs, die Schaffung von Ladesäulen und Stromleitungen und die erhöhten Kosten pro Stellplatz mit einzuplanen.

3.3 Entwurfsempfehlungen

Die Wechselwirkung zwischen P&R und B&R-Anlagen soll bei der Planung und im Entwurf aufgrund der verkehrlichen, betrieblichen und wirtschaftlichen Gründe gemeinsam betrachtet werden und somit auf zusammenhängenden Flächen kombiniert werden. Für die Erhöhung der Verkehrssicherheit sollen die beiden Systemkomponenten MIV und Radverkehr getrennt geführt werden. Um den Umstieg vom MIV auf den ÖPNV zu fördern, ist die Gestaltung von attraktiven Anlagen hinsichtlich Abmessungen, Verkehrsführung und Sicherheit angeboten notwendig.

3.3.1 Lage und Einbinden in das Verkehrsnetz

Wie schon in Kapitel 3.2 kurz angedeutet, ist die Lage der P&R- und B&R-Anlagen so an den Bahnhöfen und Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel zu positionieren, dass der Anschluss an das öffentliche Straßenverkehrsnetz optimal eingebunden ist. Die Leistungsfähigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels muss mit der Auslastung von P&R- und B&R-Anlagen verknüpft sein. Die Anlagen sollen übersichtlich und schnell von übergeordneten Straßen gefunden werden und es ist darauf zu achten, dass nur kurze Fußwege zurückgelegt werden müssen. Die Akzeptanz der Fußwegdistanz kann durch eine attraktive Gestaltung, durch Bepflanzung oder Beschattung, der Anlage gesteigert werden. Grundsätzlich sollen der Fußweg zwischen Abstellplatz des MIV oder Fahrrades zum Bahnhof oder gegebenenfalls zum Erwerb des Fahrscheines möglichst geringgehalten werden.

Abbildung 9 verdeutlicht bei P&R-Anlagen an Bahnhöfen von Schienenverkehrsmittel die parallele Anordnung der Parkfläche zu den Bahnsteigen. Bei Neubauten soll darauf geachtet werden, dass die Zugänge mittig oder an beiden Bahnsteigenden geplant werden, um kürzere Fußwege und eine gleichmäßige Parkplatzbelegung zu erzielen.

Die Einfahrt in die Anlage soll aus sicherheitstechnischen und verkehrsflussmindernden Kreuzen des Gegenverkehrs durch Rechtsabbiegevorgänge in Fahrtrichtung vor oder mindestens auf gleicher Höhe mit dem Bahnhof oder der Haltestelle des ÖPNV abgewickelt werden. Ebenso ist eine Sichtbeziehung zum Bahnhof anzubieten. Eine verkehrabhängige, gesteuerte Lichtsignalanlage ist in Abhängigkeit von der Verkehrsbedeutung der Straße, dem Verkehrsaufkommen und der Fußgängerführung zu prüfen und gegebenenfalls zu planen.

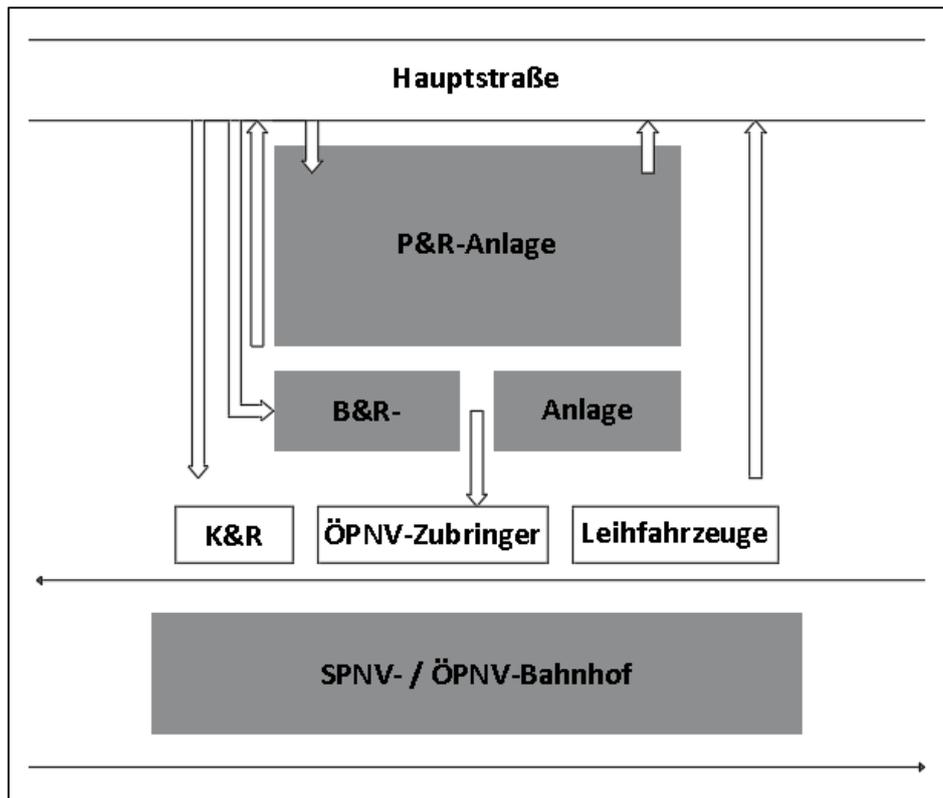


Abbildung 9: Prinzipskizze bei Bahnanschluss, Quelle Hinweise zu Park+Ride (P+R) und Bike+Ride (B+R) (eigene Darstellung)

3.3.2 Bauformen und Entwurf der Anlagen

Die Bauform P&R-Anlage wird bei der Planung durch folgende Kriterien bestimmt: die Nachfrage der KundInnen, die Gesamtkapazität der Fläche, die topografischen Eigenschaften, die Lage der Ein- und Ausfahrten und der Einfügung in die Gesamtstruktur. Die Errichtung der Anlage soll möglichst kostengünstig und wirtschaftlich erfolgen. Die preiswerteste Lösung ist die Errichtung eines ebenerdigen Parkplatzes, der unter kompakter Gestaltung und akzeptablen Fußweglänge bis zu 250 Stellplätze umfassen kann. Größtenteils werden P&R-Anlagen von Berufspendlern benutzt, die einen kurzen Zeitaufwand für Stellplatzsuche und Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel fordern.

Eine übersichtliche Anordnung mit einfacher Verkehrsführung durch die Gestaltung einer Einbahnstraße, bei der jeder Stellplatz gefahren bzw. eingesehen werden kann. Ebenfalls gilt dies beim Verlassen der Anlagen. Ein eindeutiger Fahrweg soll eine direkte und unkomplizierte Strecke zur Ausfahrt der Anlage führen. Aus verkehrstechnischen Gründen sollen die Ein- und Ausfahrtmöglichkeiten der Anlage auf eine Ein- und Ausfahrt beschränkt sein.

Das Konfliktpotenzial zwischen MIV, Rad- und Fußverkehr soll möglichst geringgehalten werden. Die Zu- und Abfahrtsstrecken für den MIV sind so zu legen und zu dimensionieren, dass keine nachteiligen Einwirkungen auf die sichere und leistungsfähige Abwicklung des Verkehrs auf der öffentlichen Verkehrsfläche erfolgen. Für Fußgeher soll eine Querung von stark frequentierten Fahrgassen vermieden und gegeben falls durch einen Fußgängerübergang gesichert werden. Die Akzeptanz der Fußwege zwischen Abstellort des Pkws und dem Bahnhof soll 200 Meter nicht überschreiten.

Die Stellplätze sollen aufgrund der schnellen Abwicklung eine Breite von 2,50 m aufweisen. Weitere Hinweise für die Ausführung von Parkplätzen sind der RVS 03.07.11 und RVS 03.07.12 in Bezug auf die Anzahl der Stellplätze, der Ermittlung der Nutzfläche und Richtwerte für die maximale Anzahl der Pkw-Stellplätze zu entnehmen. Für je 100 Stellplätze ist jeweils ein Parkplatz für mobilitätseingeschränkte Personen zu planen. Die Lage dieser Stellplätze sollen sich in der Nähe des Bahnhofes bzw. des Aufzuges befinden und eine Stellplatzbreite von 3,50 m aufweisen. Alle Stellplätze sind dauerhaft eindeutig zu markieren oder gestalterisch abzugrenzen. Die Gestaltung der Anlage soll keine Restfläche aufweisen, damit es zu keinen Behinderungen und Beschädigungen wegen Falschparkens oder -haltens verursacht wird. Der Fahrbahnbelag ist mit einer griffigen Oberfläche zu versehen, welche gut erkennbar sein soll.

Ein Grundangebot von B&R-Anlagen ist grundsätzlich an allen Bahnhöfen miteinzuplanen. In Großstädten und Ballungsräumen sollten diese Anlagen wegen des größeren Aufkommens ausreichend dimensioniert werden. Die B&R-Anlagen sollen in der Nähe der Bahnhöfe angeboten werden. Aus Erfahrungsberichten hat sich bei mehreren Eingängen in den Bahnhof eine zentrale, hochwertige Anlage bewährt. Die Akzeptanz zu den Eingängen beträgt ungefähr 50 m und soll diese bei kleinen Anlagen nicht überschreiten. Außerdem ist darauf zu achten, dass es zu keinen größeren Konfliktpunkten mit dem MIV kommt.

Die Stellplätze sollen möglichst nah an der Haltestelle des ÖPNV angebunden sein und sollten überdacht bzw. in das bestehende Bauwerk eingebunden werden. Um Vandalismus und Diebstahl, vor allem bei hochwertigeren Fahrrädern, vorzubeugen, sollen diese in gesicherten Fahrradboxen abgestellt werden. Die Abmessungen für den Abstellplatz betragen für die Achsabstände bei Einzelaufstellung zwischen 0,80 m – 1,20 m und bei Doppelaufstellung zwischen 1,0 m und 1,50 m an Anlehnbügel. Die Wahl der optimalen Abstände ist abhängig von dem Flächenbedarf und der Topografie.

Der Bodenbelag soll eine griffige Oberfläche aufweisen und die Rampenneigung soll nicht stärker als 6% aufweisen. Um ein verkehrssicheres und schnelles Abstellen der Fahrräder zu ermöglichen, sollen zu den vorgesehenen Flächen in den Übergangsstellen keine Kanten eingebaut werden.

4 Versickerungsfähige Straßenaufbauten

Bodenversiegelung bedeutet, dass die natürliche Bodendecke luft- und wasserdicht durch wasserundurchlässige Schichten abgedeckt wird, wodurch kein Regenwasser eindringen kann. Zu den häufigsten Ausführungen zählen dabei Asphalt- und Betondecken, aber auch Pflastersteine oder wassergebundene Decken, die den Boden ganz oder teilweise versiegeln.

Ein kontinuierlicher Anstieg der Flächenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen ist sowohl im urbanen als auch im ländlichen Bereich deutlich festzustellen. Neue innovative, ökologisch konzipierte Flächenbefestigungen, die eine vollständige, bzw. verminderte Versickerung von Niederschlagswasser ermöglichen um die Entwässerungssysteme zu entlasten, sind nach dem derzeitigen Stand der Technik und Einhaltung aller rechtlichen sowie bautechnischen Aspekten zu errichten. Die Entwässerung des Niederschlagswassers ist während der Entwurfsphase mit zu berücksichtigen, wobei die Entwässerung sowohl die Oberfläche, als auch die des Oberbaus und des Planums betrifft. Während der vorgeschriebenen Nutzungsdauer muss die Verkehrssicherheit gewährleistet sein. Bei versickerungsfähigen Straßenaufbauten wird von der konventionellen Entwässerung des Straßenbaus abgewichen, wo das Niederschlagswasser von der tragenden Konstruktion ferngehalten wird. Das Wasser versickert bei den versickerungsfähigen Oberflächen durch die Straßen- und Wegkonstruktion, bevor es in den Untergrund eindringen kann. Die gesamte Konstruktion von Oberbau, Unterbau und Untergrund müssen für die vorgesehene Lebensdauer von 50 Jahren ausreichend tragfähig sein. Zusätzlich muss der Unterbau und Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen und den Eintrag von Feinstoffen verhindern, um die Durchlässigkeit über die Nutzungsdauer zu ermöglichen.

Die Versickerungseignung des Bodens und der Grundwasserschutz sind bedeutsame Kriterien bei der Niederschlagsversickerung. Die Abbildung 10 zeigt als schematische Darstellung den Zusammenhang zwischen Bodenart, Versickerungs- und Reinigungsleistung. Die Versickerungsfähigkeit nimmt bei grobkörnigeren Böden zu, während die Reinigungsleistung abnimmt. Generell ist die Reinigungsleistung des Bodens bei Schluffen und Tonen höher, je mehr organische Substanzen der Boden enthält und je größer die Schichtdicke ist. Der anstehende Boden muss in Bezug auf seine Versickerungs- und Reinigungsleistung getestet und geprüft werden.

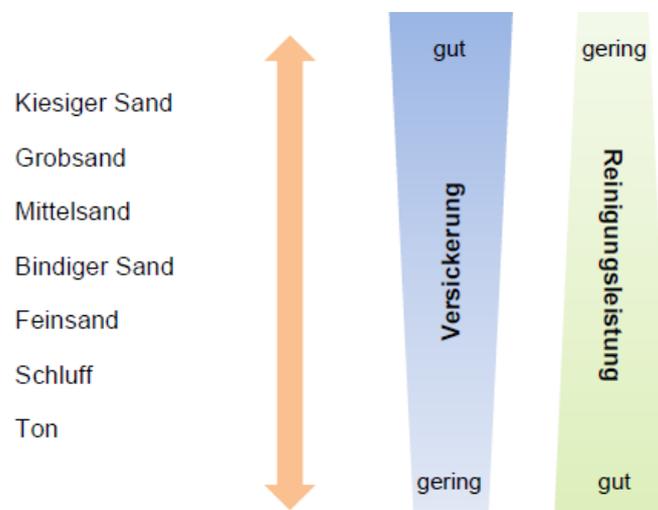


Abbildung 10: Zusammenhang Versickerungs- und Reinigungsleistung, Quelle: Grünplan Landschaftsarchitekten

Die Durchlässigkeit des Bodens resultiert unter anderem aus der Lagerungsdichte, der Korngrößenverteilung, dem Wassergehalt und der Bodentemperatur. Der Durchlässigkeitsbeiwert (hydraulische Leitfähigkeit) quantifiziert in der Geotechnik die Durchlässigkeit von Böden. Laut ÖNORM B 2506-1 (siehe Tabelle 2) können repräsentative Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Sickergeschwindigkeiten für Lockergesteine entnommen werden.

Tabelle 2: typische Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Sickergeschwindigkeiten, Quelle: ÖNORM B 2506-1 (eigene Darstellung)

Bodenart	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Sickergeschwindigkeit v_f [mm/min]
Kies	10^{-1} bis 10^{-3}	6 000 bis 60
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 0,000 06
Toniger Schluff	10^{-7} bis 10^{-7}	0,006 bis 0,000 000 6

In Bezug auf den Durchlässigkeitsbeiwert werden Böden mit k_f mit 3×10^{-2} bis 1×10^{-4} als geeignet bzw. mit k_f 5×10^{-5} bis 1×10^{-5} als bedingt geeignet betrachtet. In Österreich haben wasserdurchlässige Verkehrsflächen eine Mindestanforderung von 50 l/s*ha Niederschlagsmenge zu verzeichnen, was einer Durchlässigkeit von 5×10^{-6} m/s entspricht. Die Bodenart schwach schluffig bis schluffiger Sand fällt noch in den vorgegebenen Grenzwert hinein. Bei Annahmen von höheren Niederschlagsmengen bzw. nicht ausreichend durchlässigem Baugrund müssen zusätzliche Maßnahmen getroffen werden um eine längere Durchfeuchtung des Straßenkörpers zu verhindern, welche die Tragfähigkeit reduzieren würde.

Versickerungsfähige Straßenaufbauten werden ebenfalls vom Abflussbeiwert bestimmt. Dieser besagt, welcher prozentualer Anteil des Niederschlags zum Abfluss gelangt, das heißt das Verhältnis zwischen dem abflusswirksamen Niederschlag und dem Gesamtniederschlag. Der Abflussbeiwert wird von der Art der Oberfläche und von der Flächenneigung beeinflusst. Ein Abflussbeiwert von 1,0 besagt somit, dass 100 % des Niederschlags abfließt.

Einschränkungen können bei versickerungsfähigen Straßenaufbauten den Winterdienst, die Hanglage und den Grundwasserschutz betreffen. Wie in Kapitel 2 beschrieben, soll das Grundwasser vor Verschmutzung geschützt werden. Bei der Schneeräumung muss auf Salzstreuung bzw. Ausbringen von anderen Auftaumitteln und die Verwendung von Sand verzichtet werden. Durch das Befahren der PKWs kann der Sand zertrümmert werden und somit die Deckschicht verstopfen. Für die Räumung des Schnees sind Schneefräsen zu verwenden, wobei die Räum Schilder so zu positionieren sind, damit keine Schäden an der Vegetationstragschicht oder der Vegetation entstehen. Ebenfalls ist

darauf zu achten, dass die Flächenversickerung genügend Ebenheit aufweist, da sonst Zusatzmaßnahmen getroffen werden müssen [18].

In den folgenden Kapiteln werden die verschiedenen versickerungsfähigen Straßenaufbauten jeweils in den konstruktiven Aufbau, notwendige Instandhaltungsmaßnahmen und einer Schätzung der Nettoherstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten gegliedert. Der konstruktive Aufbau gibt einen Überblick über die differenten Schichten, die sich jeweils in Unterbau und Oberbau aufteilen. Die Ermittlung der Kosten wurden auf die Durchschnittskosten bezogen, welche die durchschnittlichen Kosten für einen Parkplatz wiedergeben. Dabei wurde bei der Recherche ein Mittelwert aus vorhandenen Daten gewählt. Die Literaturrecherche kann in der nachfolgenden Tabelle eingesehen werden:

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Literatur zu Bestimmung der Netto-Herstellungskosten

[18]	Grünplan Landschaftsarchitekten: Klimafitte Parkplätze – Durch Entsiegelung der sommerlichen Hitze entgegensteuern, 2020
[19]	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: ÖGL-Richtlinie Nr. 39, URL: http://www.oel.at/images/rl_downloads/rl_39_2004.pdf (Zugriff: 25.09.2021)
[20]	DAIBAU: Asphaltieren Kosten, URL: https://www.daibau.at/baukostenrechner/asphaltierung (Zugriff: 25.09.2021)
[21]	Lokale Agenda 21 Wien: Kosten für einen Baum, URL: https://www.la21wien.at/blog-detail-la21/id-6-wie-hoch-sind-die-kosten-fuer-einen-baum-in-der-gasse.html (Zugriff: 05.10.2021)
[22]	TTE Öko-Bodensystem, TTE-Bauweise 2 Grün Ausschreibungstexte, URL: https://www.tte.at/downloads/ (Zugriff: 06.10.2021)
[23]	Terraway, Leistungsverzeichnis, URL: https://terraway.at/downloads/#_secured_downloads (Zugriff: 25.09.2021)
[24]	DAIBAU: Kunstharzboden Preise, URL: https://www.daibau.at/baukostenrechner/kunstharzboeden (Zugriff: 08.10.2021)
[25]	Gerwing-Steinshop: Ökopflaster, URL: https://gerwing-steinshop.de/oekopflaster/ (Zugriff: 09.10.2021)
[26]	C. Zahrer. „Interview – TTE-Bauweise“ (29.04.2021)

4.1 Offenporiger Asphalt

4.1.1 Konstruktiver Aufbau

Offenporiger Asphalt, auch als Drainasphalt bezeichnet, charakterisiert sich durch seinen hohen Anteil an groben Gesteinskörnungen, das den Durchgang von Wasser und Luft durch die Hohlräume ermöglicht. Zusätzlich absorbiert der hohe Anteil an Hohlräumen, der bei 17 bis 25% liegt, den Schall der Fahrgeräusche bzw. verhindert teilweise deren Entstehung. Die Lärminderung von offenporigem Asphalt liegt bei drei bis sechs dB. Durch seine hohe Tragfähigkeit und seine gute Makrotextur ist dieser Asphalt sehr gut als Deckschicht einsetzbar. Ein weiterer Vorteil ist die Reduktion der Sprühhahnenbildung und die Vermeidung von Air-Pumping. Ein Straßenbaubitumen, ein polymermodifiziertes Bitumen, ein hartes Straßenbaubitumen, ein multigrades Bitumen oder eine Mischung einer dieser Naturasphalten sind als Bindemittel zulässig. Die Verwendung von stabilisierenden Zusätzen ist notwendig. Offenporiger Asphalt kann sowohl in ein- oder zweischichtiger Bauweise ausgeführt werden. Die Empfehlung hinsichtlich der Einbaudicke und Mischgutsorte kann der RVS 11.03.21 [27] entnommen werden. Im Laufe dieser Diplomarbeit wird die zweischichtige Bauweise untersucht, welche folgende Vorteile aufweist:

- ◆ Eine bessere Ebenheit kann erlangt werden
- ◆ Die Deckschicht weist eine feinere Textur auf, welche für Fußgänger besser geeignet ist
- ◆ Durch die feinere Deckschicht ist eine längere Nutzungsdauer zu erwarten

Um bei dem zweischichtigen Aufbau die Versickerung des Niederschlagswassers zu ermöglichen, darf kein Bindemittel auf die Unterlage aufgebracht werden. Die Verzahnung zwischen Tragschicht und Deckschicht ergibt sich mittels Schichtenverbund. Um mögliche Verschmutzungen und Verunreinigungen der Asphalttragschicht zu minimieren, soll ein rascher Einbau der Asphaltdeckschicht erfolgen.

Bei offenporigem Asphalt können die baulichen Einrichtungen zur Entwässerung von Verkehrsflächen reduziert bzw. sogar ganz entfallen. Um starken Niederschlagsereignissen entgegen zu wirken, ist die Planung einer Notentwässerung erforderlich. Die unterschiedlichen Maßnahmen zur Entwässerung wurden in Kapitel 1.2.2 erklärt. Bei der Variante 1 „Offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen“ wird das überschüssige Niederschlagswasser kurzfristig in einer muldenartigen Ausbildung des Grünstreifens gespeichert, um es dann allmählich versickern zu lassen.

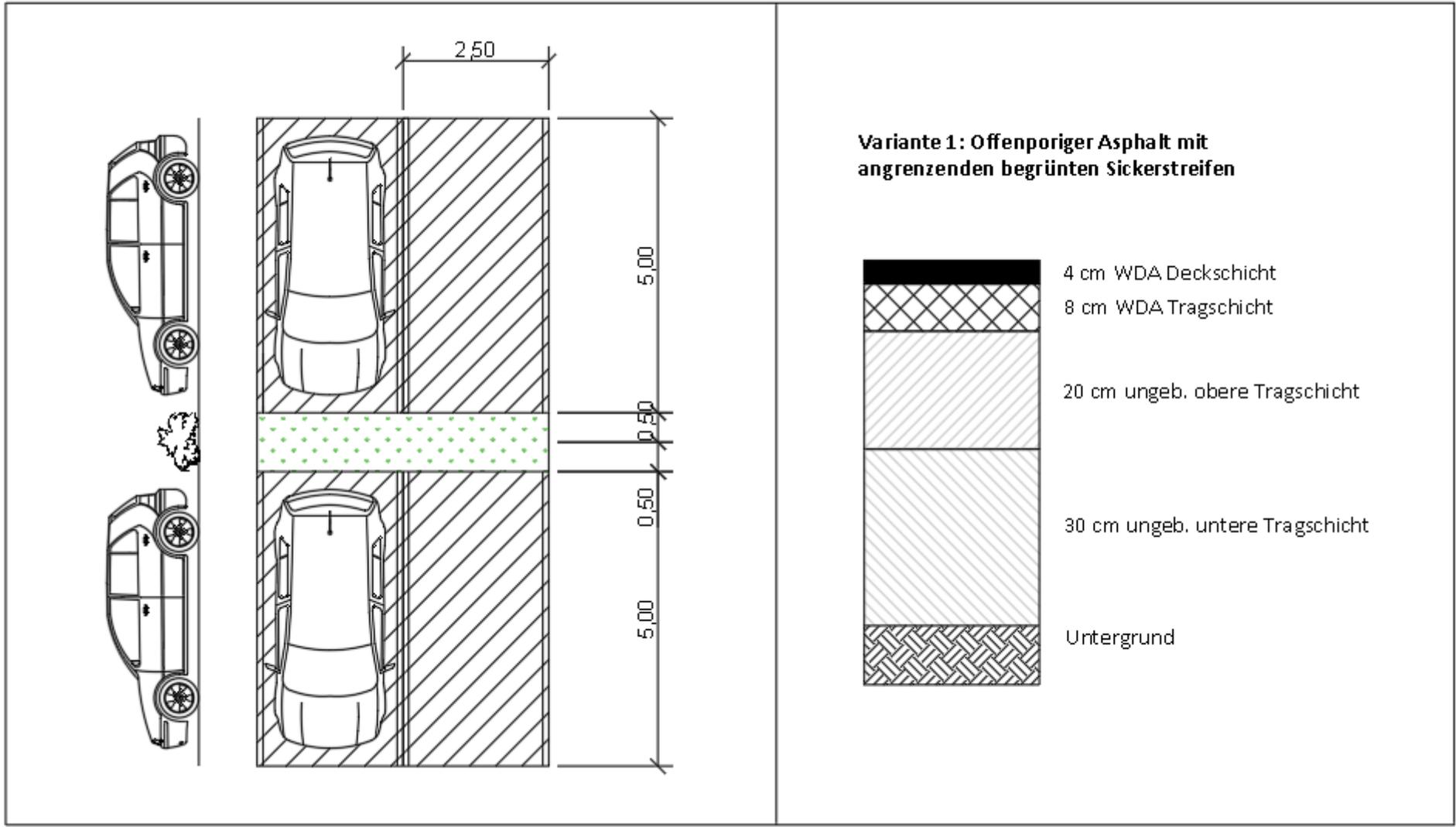
Variante 1 – Offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen

Die erste Variante beschreibt die Kfz- Abstellfläche mit offenporigem Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen. Die Variante 1 setzt sich konkret wie folgt zusammen:

- ◆ Standard-Kfz Abstellfläche 5,00 m x 2,50 m und einem begrünter Sickerstreifen 0,50 m
- ◆ Muldenartige Ausbildung des anschließenden Grünstreifens (Einbau von durchlässigem, sickerfähigem Oberboden)
- ◆ Einbau von zweischichtigem offenporigem Asphalt (4 cm Deckschicht und 8 cm Tragschicht)
- ◆ Markierung der Stellfläche farbige



Abbildung 11: Offenporiger Asphalt, Quelle: ArchiExpo



4.1.2 Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen

Im Mittelpunkt der Instandhaltungsmaßnahmen von offenporigem Asphalt stehen die Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzung und die mechanische Beschädigung. Die durch mechanische Beschädigung hervorgerufene Flächen sind durch geeignete Baustoffe instand zu halten, wobei auf die erforderliche Wasserdurchlässigkeit zu achten ist. Kornverlust an der Oberfläche, welche durch Abrollfahrten entstehen, soll zunächst beobachtet und erst bei weiterem Kornverlust repariert werden.

Streumittel und Streusalze sollen im Winterdienst vermieden werden. Streumittel können die Poren im Asphalt verstopfen und die Wasserdurchlässigkeit behindern. Streusalze dringen in den Untergrund ein und beschädigen den Nährstoffhaushalt der vorhandenen Flora. Um die Wasserdurchlässigkeit permanent aufrecht zu erhalten, muss die Asphaltdecke sauber gehalten werden, um eine Verstopfung der Poren zu verhindern und die Gefahr von Eisbildung im Winter entgegenzuwirken. Bei Schneefall ist eine mechanische Räumung zu empfehlen.

Wie bereits erwähnt ist auf eine saubere Oberfläche zu achten. Die Deckschicht soll daher nach den ersten sechs Monaten mit einem Saug-Kehr-Gerät gereinigt werden. Um die Wasserdurchlässigkeit dauerhaft zu sichern, wird eine Reinigung alle zwei bis drei Jahre empfohlen. Die zweischichtige Bauweise verbessert die Ebenflächigkeit und erzeugt eine feinere Oberflächentextur, wobei eine bessere Nutzbarkeit als auch ein geringeres Zusetzen der Hohlräume erzielt wird [28].

4.1.3 Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten

Schätzung Netto-Herstellungskosten Variante 1:

Offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrüntem Sickerstreifen

Position	Stärke EH	Menge EH	EP EH	Gesamt
Asphalt	12 cm	12,50 m ²	€ 17,00 m ²	€ 212,50
Asphaltierarbeiten		12,50 m ²	€ 30,00 m ²	€ 375,00
ungeb. oberer Tragschicht	20 cm	11,25 m ²	€ 8,00 m ²	€ 225,00
ungeb. untere Tragschicht	30 cm	11,25 m ²	€ 11,00 m ²	€ 123,75
Zwischensumme Asphalt				€ 936,25
Sickerfähiges Substart b=50 cm	20 cm	1,25 m ²	€ 10,00 m ²	€ 12,50
Bepflanzung		1,25 m ²	€ 20,60 m ²	€ 25,75
Zwischensumme Grünstreifen				€ 38,25
Summe Gesamt				€ 974,50

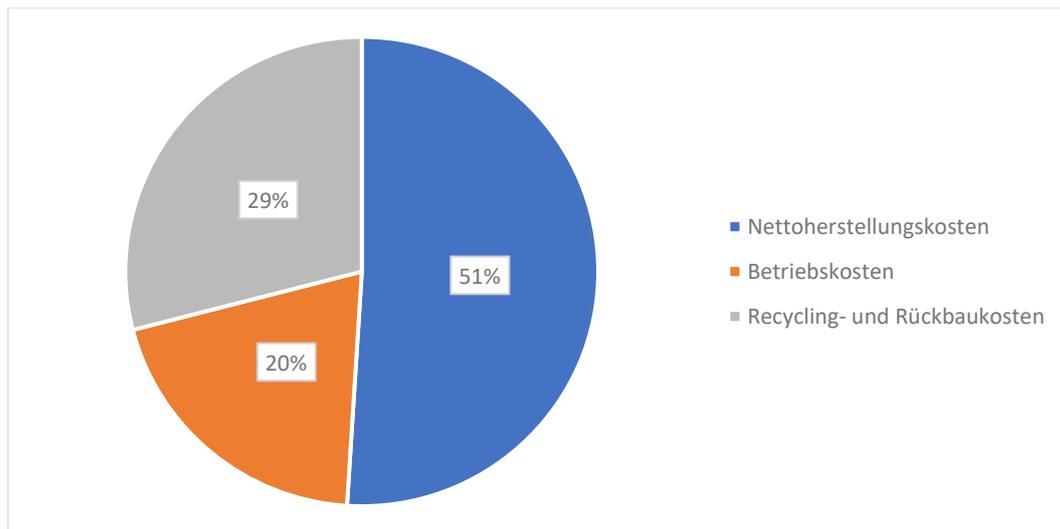


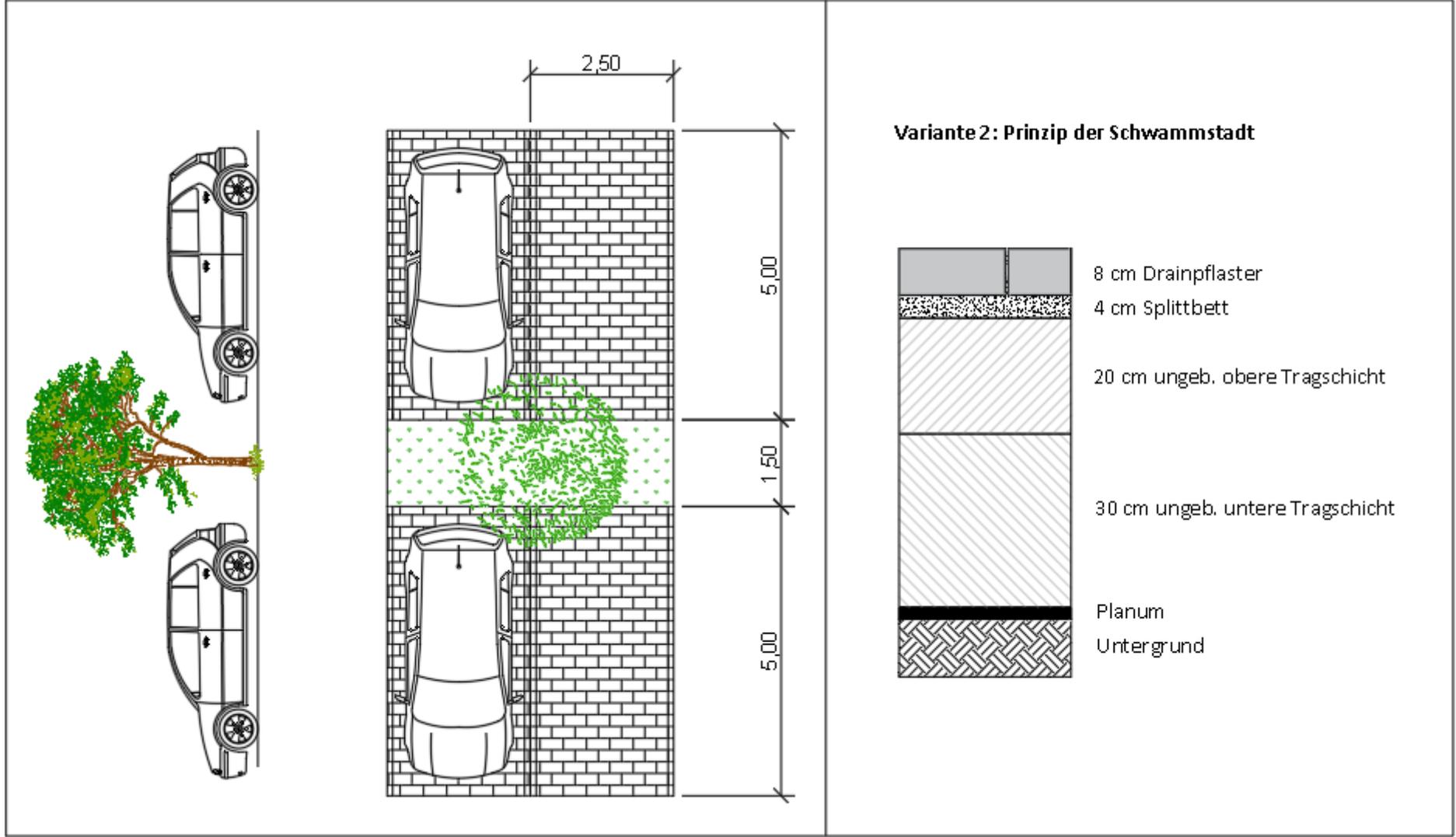
Abbildung 12: Lebenszykluskosten von offenporigem Asphalt

4.2 Prinzip der Schwammstadt

4.2.1 Konstruktiver Aufbau

Das Prinzip der Schwammstadt ist eine aus Stockholm entwickelte Konzept, das seit 2018 auch in Österreich weiterentwickelt wird. Das Niederschlagswasser soll über eine begrünte Bodenpassage, einen wasserdurchlässigen Belag oder über einen Einlaufschacht in eine Schotterebene abfließen. Die Bäume werden durch Baumscheiben begrenzt, haben einen direkten Kontakt zu einer Schotterebene, welche durchwurzelt werden kann. Das Niederschlagswasser versickert in die Schotterebene, wo es gespeichert wird und den Bäumen länger zur Verfügung steht. Das Prinzip der Schwammstadt reduziert die Wahrscheinlichkeit von Überflutungen bei Starkwetterereignissen. Zusätzlich verdunstet das gespeicherte Wasser und kühlt die Umgebung. Die erzielte Kühlleistung eines einzelnen Baumes, wobei eine größere Baumkrone eine größere Kühlwirkung erreicht, beträgt 20 bis 30 Kilowatt, das umgerechnet etwa zehn Klimaanlage entspricht. Der Baum erfüllt seine Funktion als grüne Infrastruktur. Er spendet Schatten, filtert Schadstoffe, dient als Windschutz und erhöht die Attraktivität von Straßen und Parkplätzen [29].

Einen detaillierten konstruktiven Aufbau von Pflastersteinbefestigungen ist in Kapitel 4.5.1 nachzulesen. Die Fahrbahn wird als ungebundene Bauweise aus Pflastersteinen hergestellt. Bei der ungebundenen Bauweise werden Bettung und Fugenfüllung ohne Zusatz von Bindemittel hergestellt. Dabei entstehen bei Belastung von ungebundenen Pflasterflächen Spannungen und geringe Verformungen, die bei Entlastung großteils wieder zurückgehen. Bei zu hohen Belastungen können sich Spurrinnen bilden.



4.2.2 Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen

In Kapitel 4.5.2 sind die Pflege und Instandhaltungsmaßnahmen für Pflasterflächen beschrieben. Grundsätzlich ist auf Grund des Grünsteifens und der Bäume mit höherer Verschmutzung zu rechnen. Die Art, der Umfang und der Zeitpunkt der Pflegemaßnahmen von begrünbaren Flächenbefestigungen sind vor allem von der Vegetationsdecke, der Nutzung und den Standortverhältnissen abhängig. Auf ausreichend Sonnenlicht, regelmäßiges mähen (zweimal im Jahr) und bewässern (im Sommer ungefähr einmal pro Woche), die Entfernung von Laub und abgestorbenen Pflanzenteilen von den Flächen, der Entfernung von unerwünschtem Aufwuchs und auf die Baumpflege ist zu achten. Bei der Planung wird darauf geachtet, dass die Pflanzung auf das Lichtraumprofil hingezogen, damit die Gehölzpflege erleichtert wird. Die Verwendung von Taumitteln und Tausalzen ist für den nicht zulässig.

4.2.3 Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten

Schätzung Netto-Herstellungskosten Variante 2:

Prinzip der Schwammstadt

Position	Stärke EH	Menge EH	EP EH	Gesamt
Drain-Ökostein inkl. Verlegung	8 cm	12,50 m ²	€ 30,00 m ²	€ 375,00
Splittbett 4/8 mm	4 cm	12,50 m ²	€ 4,00 m ²	€ 50,00
ungeb. oberer Tragschicht	20 cm	12,50 m ²	€ 8,00 m ²	€ 250,00
ungeb. untere Tragschicht	30 cm	12,50 m ²	€ 11,00 m ²	€ 137,50
Trennvlies	0,2 cm	12,50 m ²	€ 1,00 m ²	€ 12,50
Zwischensumme Pflaster				€ 825,00
Sickerfähiges Substart b=75 cm	50 cm	1,25 m ²	€ 35,00 m ²	€ 43,75
Bepflanzung		1,25 m ²	€ 20,60 m ²	€ 25,75
Grobschlag	40 cm	3,00 m ²	€ 13,00 m ²	€ 39,00
Planum	2 cm	11,25 m ²	€ 1,00 m ²	€ 11,25
Baumscheibeneinfassung		1 ST	€ 110 ST	€ 110,00
Baum		1 ST	€ 800 ST	€ 800,00
Zwischensumme Grünstreifen				€ 1029,75
Summe Gesamt				€ 1854,75

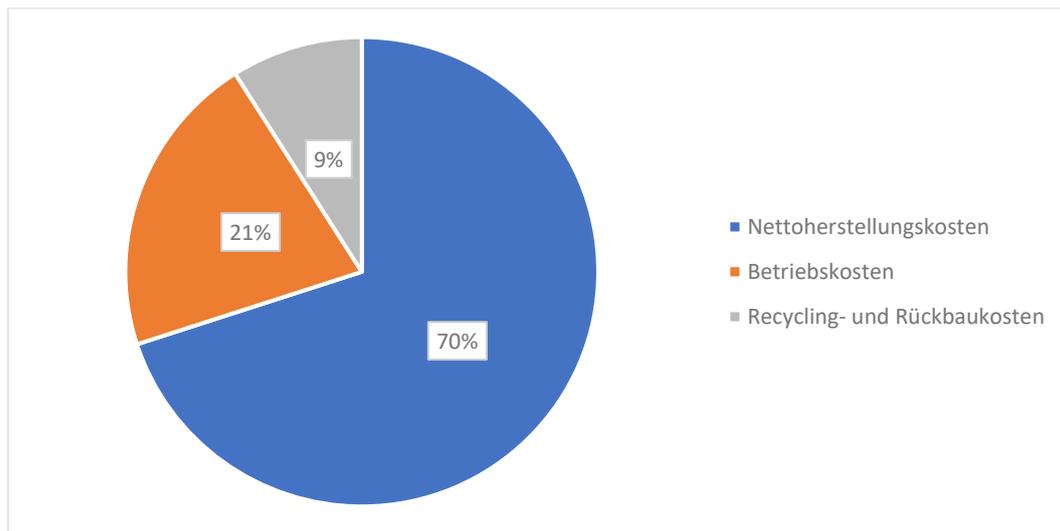


Abbildung 14: Lebenszykluskosten vom Prinzip der Schwammstadt

4.3 TTE-Bauweise

4.3.1 Konstruktiver Aufbau

Trennen, Tragen und Entwässern, kurz TTE, ermöglicht Stellflächen und Zufahren zu realisieren, die vollständige unversiegelte sind. Die 800x400 mm verformungs- und druckstabilen Kunststoffelemente lassen sich einfach kraftschlüssig verbinden und erzielen somit eine hohe flächige Lastverteilung. Die Anforderungen an die Bodentragfähigkeit werden stark reduziert, wodurch Baugrundmaterial erheblich eingespart und teilweise komplett ersetzt werden kann. Gleichzeitig wird die zulässige Bodenspannung durch die Verkehrslast nicht überschritten und eine Nachverdichtung verhindert. Im Vergleich zur herkömmlichen Bauweise kann die gleiche Lastverteilung erzielt werden, wobei eine Tragschichtersparnis von ca. 65% erzielt werden kann.

Die Bauweise kann sowohl als Rasen- bzw. Pflasterbereiche kombiniert werden, wodurch Gehwege und Markierungen entstehen. Durch die Wahl des Pflasteranteils kann die Nutzung gesteigert werden.

Bei der TTE-Bauweise gliedert sich in drei Ausführungsvarianten ein. Die gilt sowohl für die Ausführung als Grün- bzw. Pflasterbauweise und im Laufe dieser Diplomarbeit wurde die TTE-Bauweise 2 untersucht [30].

- TTE-Bauweise 1: Diese Bauweise deckt die privaten Stellflächen bei nur geringer täglichen Fahrzeugwechsel ab, da das zulässige Gesamtgewicht 3,5 t nicht überschreiten soll. Es können weiters Geh- und Radwege, Garagenzufahrten und Fahrradständerplätze realisiert werden.
- TTE-Bauweise 2: Die Nutzung beschränkt sich bei dieser Bauweise auf ein zulässiges Gesamtgewicht von 3,5 t und gelegentlich 40 t. Ein häufiger, täglicher Fahrzeugwechsel mit geringer Schwerlastverkehr ist zulässig. Öffentliche Pkw-Stellflächen, gewerbliche Mitarbeiter- und Besucherparkplätze, Feuerwehrezufahrten und landwirtschaftliche Wege gelten als Anwendungsbereich.
- TTE-Bauweise 3: Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 40 t und somit ist ein häufiger täglicher Fahrzeugwechsel mit erhöhtem Schwerlastverkehr zulässig. Diese Variante findet

ihre Anwendung bei gewerblichen Lagerplätzen, Lkw- und Bus-Stellflächen, Autobahnraststätten und Veranstaltungsflächen mit temporärer Nutzung durch Schwerlastverkehr.

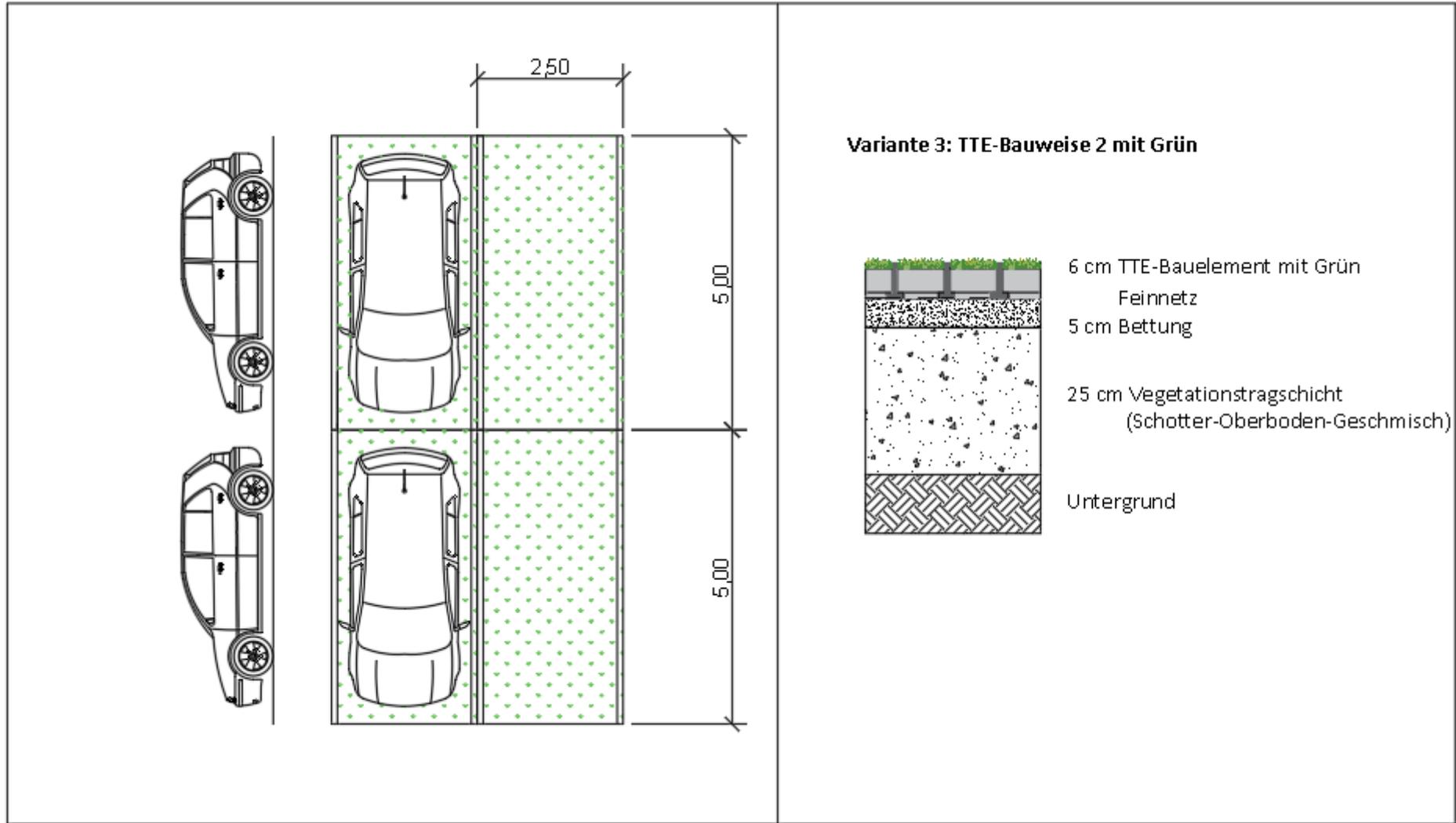
Variante 3 – TTE-Bauweise 2 mit Begrünung

Die dritte Variante beschreibt die TTE-Bauweise 2 mit Begrünung. Die Variante 3 setzt sich konkret wie folgt zusammen:

- Standard-Kfz Abstellfläche 5,00 m x 2,50 m
- TTE-Bauweise 2 mit Begrünung
- Möglichkeit der Pflasterung mit TTE-Bauelement
- Markierung der Stellfläche mit Markierungssteinen



Abbildung 15: TTE-Bauweise, Quelle: TTE Öko-Bodensysteme



4.3.2 Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen

Im Allgemeinen sind im Bereich der Pflege und Unterhaltung Mängelansprüche, Fertigstellungs- und Unterhaltungspflege laut FLL für begrünbare Flächenbefestigung einzuhalten. Generell gilt auch bei der TTE-Bauweise, dass die Verwendung von Streusalz unzulässig ist, weil es eine negative Auswirkung auf den Boden und das Grundwasser hat. Die Schneeräumung erfolgt über Fahrzeuge ohne Schneeketten mit Gummilippen am Räumschild wobei bei begrünter TTE-Fläche das Schild etwas höher eingestellt werden muss, um die Vegetation zu schützen. Um die hohe Qualität bei der begrünter TTE-Bauweise zu bewahren, muss eine planmäßige Pflege durchgeführt werden. Bei der Herstellung soll die Verwendung von Dünger für die begrünbaren Flächen verwendet werden und zusätzlich wird eine einmalige jährliche Düngung im Frühjahr empfohlen. Ebenfalls kann gegebenenfalls eine Nachsaat im Frühjahr notwendig sein. Eine regelmäßige Bewässerung des Grüns soll nach Bedarf zum Beispiel bei längeren Trockenphasen erfolgen. Um Trockenschäden durch Regenschatten zu vermeiden, soll der Parkplatz in der verwendungsfreien Zeit bewässert werden. Zusätzlich soll auf die Höhe der Grünfläche geachtet werden. Diese soll bei einer Schnitthöhe von vier Centimetern und einer Häufigkeit von mindestens zwei bis vier Schnitten pro Jahr gemäht werden. Der Parkplatz ist von Schnittgut und eventuell abgestorbene Pflanzenbestandteile zu reinigen.

4.3.3 Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten

Schätzung Netto-Herstellungskosten Variante 3:

TTE-Bauweise 2 mit Begrünung

Position	Stärke EH	Menge EH	EP EH	Gesamt
TTE-Bauelement mit Grün	6 cm	12,50 m ²	€ 30,00 m ²	€ 375,00
Feinnetz				
Bettung	5 cm	12,50 m ²	€ 5,00 m ²	€ 62,50
Vegetationstragschicht	25 cm	12,50 m ²	€ 20,00 m ²	€ 250,00
Zwischensumme TTE-Bauweise				€ 687,50
Summe Gesamt				€ 687,50

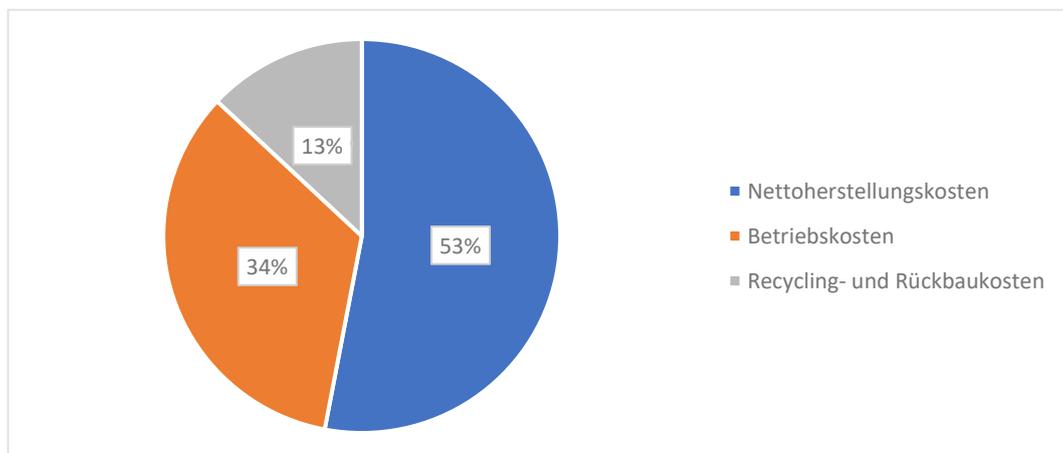


Abbildung 16: Lebenszykluskosten der TTE-Bauweise mit Begrünung

4.4 PU-Asphalt am Beispiel Terraway

4.4.1 Konstruktiver Aufbau

Terraway ist ein dünn-schichtiger, wasserdurchlässiger Belag mit Kunstharzzusätzen, der das Regenwasser, je nach Boden, sofort oder verzögert versickern lässt. Der Belag verhält sich wie eine reine Schotterdecke und besteht aus Edelsplitten und Kiesen, die mit Epoxydharzbindern verklebt werden. Der 4 mm dicke Belag wird auf die ungebundene Trag- und Ausgleichssicht KK 4/16 aufgebaut, welche wasserdurchlässig ist. Die ungebundene obere und untere Tragschicht sind laut RVS 08.15.01 auszuführen und die jeweiligen Erstbelastungsmodule sind einzuhalten.

Zusätzlich weist Terraway zu seiner Versickerungsfähigkeit auch noch rutschhemmende und schallabsorbierende Eigenschaften auf. Dadurch können Lärmbelastungen und Schallimmissionen im öffentlichen Raum reduziert werden [31].

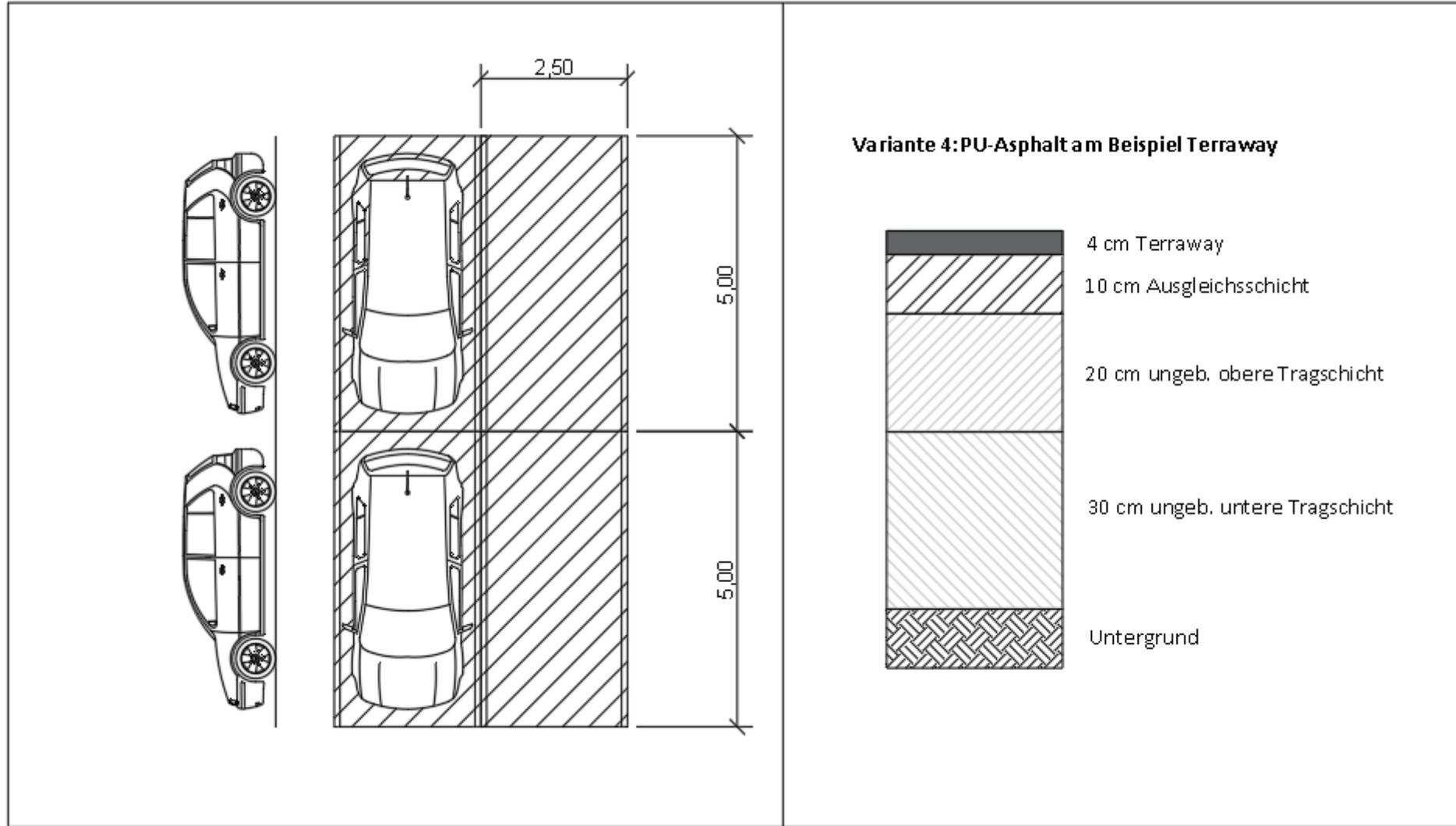
Variante 4 – PU-Asphalt am Beispiel Terraway

Die vierte Variante beschreibt den PU a. Die Variante 4 setzt sich konkret wie folgt zusammen:

- Standard-Kfz Abstellfläche 5,00 x 2,50 m
- Möglichkeit eines Grünstreifens
- Vollflächiger Terraway-Belag
- Attraktive Gestaltung möglich
- Markierung der Stellfläche



Abbildung 17: Terraway Belag, Quelle: Terraway



4.4.2 Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen

Die Pflege für Terraway beschränkt sich auf die Reinigung des Belages, den Winterdienst und die Vergilbung. Die Reinigung soll mit je nach Verschmutzungsgrad mit einem Besen gekehrt, bei hartnäckigeren Verschmutzungen mit einem Wasserstrahl oder auch einem Hochdruckreinigen gesäubert werden. Die Reinigung mit einem Drucksauggerät wird alle fünf bis sieben Jahre empfohlen. Im Winterdienst gilt ebenfalls von Streusalzen als unzulässig. Die Benutzung von Splitt kann genutzt werden, jedoch muss der Splitt nach Ende der Glätte wieder aufgesammelt werden, da sonst die Oberfläche aufgeraut wird. Die Schneeräumung kann ebenfalls mit Einsatz von Schiebern bzw. Schneeschild erfolgen, jedoch müssen diese Gummi- oder Kunststoffkanten besitzen. Die Verwitterung von Terraway wird nach drei bis sechs Monaten ersichtlich, wodurch die natürliche Farbe des verwendeten Splittes auftaucht. Der PU-Asphalt besteht aus zweikomponentigem Epoxidharz, welches einer zeitabhängigen Vergilbung unterliegt. Das Epoxidharz ist UV-stabil und wird an der Oberfläche abgenutzt.

4.4.3 Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten

Schätzung Netto-Herstellungskosten Variante 4: PU-Asphalt am Beispiel Terraway

Position	Stärke EH	Menge EH	EP EH	Gesamt
Terraway	4 cm	12,50 m ²	€ 45,00 m ²	€ 562,50
Ausgleichsschicht	10 cm	12,50 m ²	€ 6,00 m ²	€ 75,00
ungeb. oberer Tragschicht	20 cm	12,50 m ²	€ 8,00 m ²	€ 250,00
ungeb. untere Tragschicht	30 cm	12,50 m ²	€ 11,00 m ²	€ 137,50
Zwischensumme Terraway				€ 1025,00
Summe Gesamt				€ 1025,00

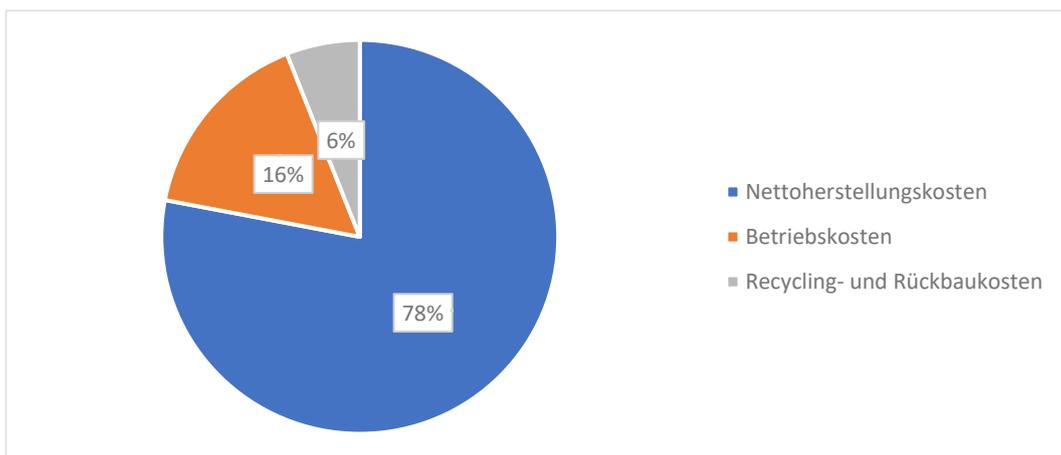


Abbildung 18: Lebenszykluskosten des PU-Asphalts

4.5 Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen

4.5.1 Konstruktiver Aufbau

Ungebundene Bauweise (Regelbauweise)

Bei der Regelbauweise, die ungebundenen Bauweise, werden Pflastersteine ohne zusätzliches Bindemittel in eine Bettung verlegt. Auch die Fugenfüllung soll ohne Zusatz eines Bindemittels hergestellt werden. Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen wasserdurchlässig sein.

Gebundene Bauweise

Pflastersteine bzw. Pflasterplatten werden in eine Bettung aus Mörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels verlegt. Bei Pflasterplatten ist dabei auf die kraftschlüssige Verbindung zwischen Platte und Bettung zu achten. Die Fugenfüllungen werden aus Fugenmörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten sind dauerhaft wasserdurchlässig auszuführen.

Gemischte Bauweise

Pflastersteine bzw. Pflasterplatten werden in eine Bettung ohne Zusatz eines Bindemittels verlegt. Die Fugenfüllung wird gebunden hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten sind dauerhaft wasserdurchlässig auszuführen. Durch erhöhtes Dehnungsverhalten der gemischten Bauweise sind entsprechende Maßnahmen zur Aufnahme dieser Dehnungen zu treffen. Die gemischte Bauweise darf nur bei Flächen aus Pflastersteinen im privaten Bereich (maximal PKW-Belastung bis 3,5 t) Anwendung finden. Pflasterplatten dürfen nur dann ausgeführt werden, wenn deren Dicke mindestens 14 cm beträgt und die Fläche nur begangen wird. Temperaturbedingte und durch Überbelastung entstandene Risse in den Fugen sind unvermeidbar und stellen keinen Mangel dar.

Versickerungsfähige Pflastersteine, auch Ökopflaster genannt, leiten Niederschlagswasser in den Untergrund weiter. Grundsätzlich differenziert man zwischen drei Hauptsystemen von Ökopflastern.

- Pflastersteine mit breiten Fugen: Beim Sickerfugenpflaster gelangt das Niederschlagswasser direkt über die Fuge des Pflastersteins in den Untergrund. Die Fugen sollen mit wasserdurchlässigen Mineralstoffgemisch wie Splitt hergestellt werden. Diese Bauweise erlaubt eine häufige Befahrung auch von schweren Fahrzeugen, allerdings muss auf das Ausschwemmen der Fugen geachtet werden.
- Haufwerksporige Pflaster: Haufwerksporige Pflaster unterscheiden sich gegenüber den Pflastersteinen mit breiten Fugen im Wesentlichen dadurch, dass das Regenwasser über das offenporige Betongefüge des Betonpflasters versickert. Durch die schmälere Fugen ist die Begehbarkeit und Befahrbarkeit erleichtert. Die Wasserdurchlässigkeit kann nach einiger Zeit wegen Versandung abnehmen und bei Starkregen kann der Großteil des Niederschlags nicht aufgenommen werden.
- Steine mit Sickeröffnungen: Bei Rasengittersteine oder Steine mit Sickeröffnungen versickert das Regenwasser in Aussparungen bzw. Öffnungen im Stein. Der Öffnungsanteil soll mindestens zehn Prozent der verlegten Fläche betragen. Diese Bauweise ermöglicht eine

sehr belastbare Verkehrsfläche und eine hohe Versickerungsleistung. Durch die Öffnungen im Stein ist die Barrierefreiheit jedoch nicht mehr gewährleistet [32].

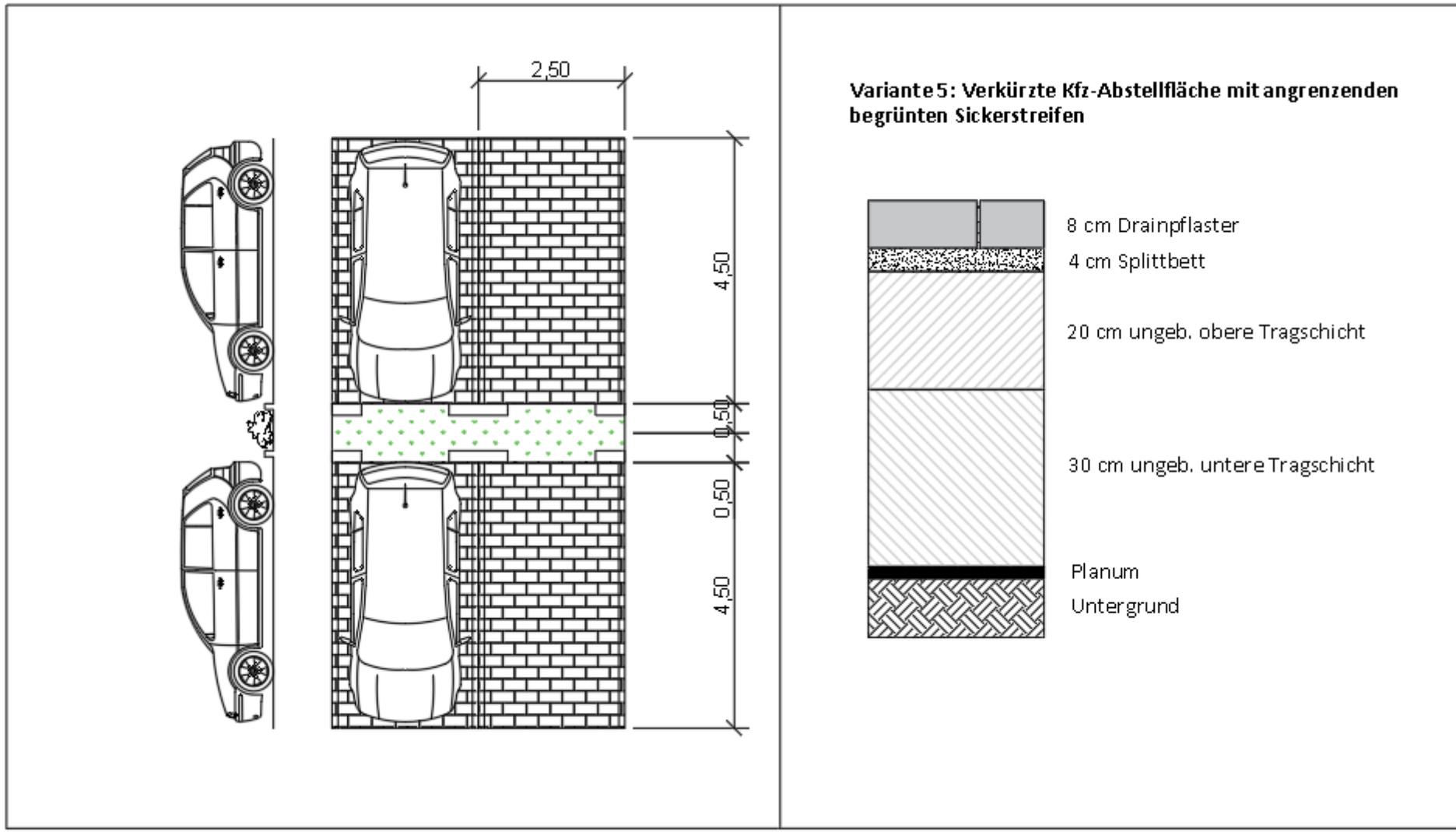
Variante 5 – Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen

Die Variante 5 setzt sich wie folgt zusammen:

- ◆ Verkürzte-Kfz Abstellfläche 4,50 m x 2,50 m und 0,50 m Fahrzeugüberstand
- ◆ Muldenartige Ausbildung des anschließenden Grünstreifens (Einbau von durchlässigem, sickerfähigem Oberboden)
- ◆ Gefälle in Richtung Grünstreifen
- ◆ Erhöhter Randstein im Bereich der Reifen zur Abgrenzung zum Grünstreifen
- ◆ Vollflächige Pflasterung in ungebundener Pflaster-Bauweise mit Drainpflaster
- ◆ Markierung der Stellfläche farbige



Abbildung 19: Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzende begrünten Sickerstreifen, Quelle: Klimafitte Parkplätze



4.5.2 Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen

Um die Lebensdauer von Pflastersteinen signifikant zu erhöhen, ist eine fachgerechte Instandhaltung im Verantwortungsbereich durchzuführen. Dabei ist eine visuelle jährliche Sichtprüfung um den notwendigen Mängeln zu erkennen und diese zu beheben. Dazu zählen die Fugenpflege, der Austausch von gebrochenen und beschädigten Steinen, die Behebung von Setzungen, die Aufrechterhaltung des Wasserabflusses, die Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit der Entwässerung und die Rutschsicherheit muss zu jedem Zeitpunkt gegeben sein. Bei der ungebundenen Bauweise ist die Erhaltung der gefüllten Fugen signifikant, damit Horizontal- und Vertikalkräfte besser übertragen werden. Dabei ist auf die Wahl des richtigen Fugensandes zu achten. Im Bereich des Winterdienstes ist wie auch bei den anderen Belägen die Verwendung von Taumittel nicht zulässig. Die Räumung muss mechanisch mit Schneeräumschildern erfolgen, welche durch Kunststoff-Schürfleisten aufgerüstet sind. Dadurch werden sowohl die Pflastersteine als auch die Schneeräumschilder vor Beschädigungen geschützt. Der Einsatz von Schneeketten oder Spikes hinterlässt auf den Pflastern mechanische Spuren und ist somit nicht zu empfehlen. Eine regelmäßige Reinigung der Oberfläche ist empfohlen um die Einwirkdauer von Verunreinigungen zu vermindern. Zu den häufigsten Verschmutzungsarten zählen die natürliche Verschmutzung durch Bewitterung und Niederschlag, die Verunreinigung durch Bewuchs wie Algen und die Verunreinigung durch chemische Reaktion von Laub oder Pflanzen. Nach dem Erkennen der Verschmutzungsart soll die Wahl der Reinigung manuell oder maschinell getroffen werden, wobei bei der ungebundenen Bauweise die manuelle Reinigung empfohlen. Die regelmäßige manuelle Reinigung erfolgt trocken durch Kehren oder nass durch Waschen und Kehren. Durch die Wahl von warmem Wasser kann die natürliche Verschmutzung besser entfernt werden. Das Waschen der Fläche mit einem Hochdruckreiniger wird mit einem ungefähren Intervall von zwei bis drei Jahren festgelegt [33].

4.5.3 Schätzung der Netto-Herstellungskosten inklusive der Lebenszykluskosten

Schätzung Netto-Herstellungskosten Variante 5:

Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen

Position	Stärke EH	Menge EH	EP EH	Gesamt
Drain-Ökosteine inkl. Verlegung	8 cm	11,25 m ²	€ 30,00 m ²	€ 337,50
Splittbett 4/8 mm	4 cm	11,25 m ²	€ 4,00 m ²	€ 45,00
ungeb. oberer Tragschicht	20 cm	11,25 m ²	€ 8,00 m ²	€ 225,00
ungeb. untere Tragschicht	30 cm	11,25 m ²	€ 11,00 m ²	€ 123,75
Planum	2 cm	11,25 m ²	€ 1,00 m ²	€ 11,25
Zwischensumme Pflaster				€ 742,50
Sickerfähiges Substrat b=50 cm	20 cm	1,25 m ²	€ 10,00 m ²	€ 12,50
Bepflanzung		1,25 m ²	€ 20,60 m ²	€ 25,75
Zwischensumme Grünstreifen				€ 38,25
Summe Gesamt				€ 780,75

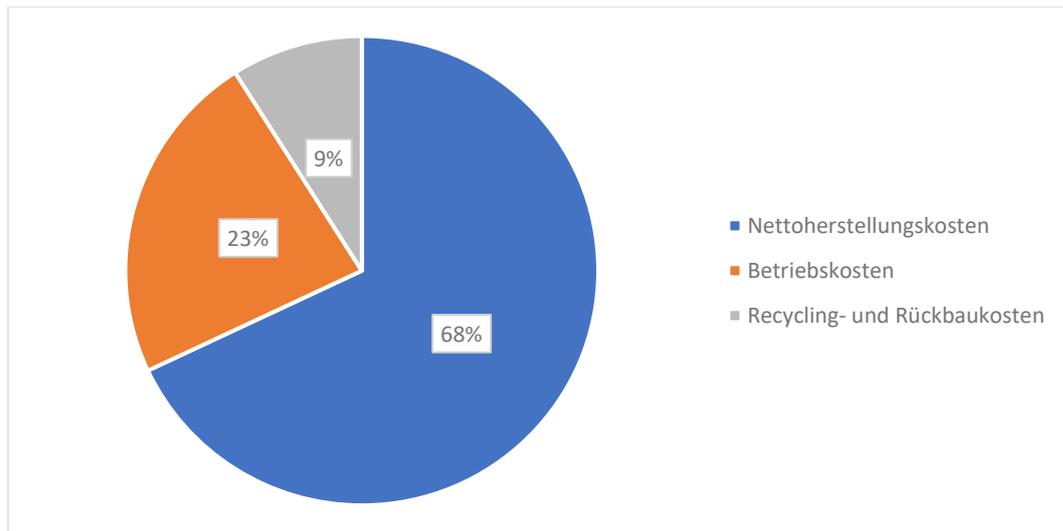


Abbildung 20: Lebenszykluskosten der verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzende begrünten Sickerstreifen

4.6 Ökobilanzen der versickerungsfähigen Straßenaufbauten

Die folgenden Kapitel beziehen sich auf die Ausgabe der Gruppe Angepasste Technologie: Nachhaltige Freiraumgestaltung [34].

Die Ökobilanz (englisch Life Cycle Assessment) beschreibt die Umweltauswirkungen während des gesamten Lebensweges des Baumproduktes. Durch die immer wachsende Flächenversiegelung wächst auch der Verbrauch an Ressourcen und somit auch die Energie, die für die Produktion, Nutzung und Entsorgung bzw. Recycling benötigt wird. Die Ökobilanz dient als Vergleich der unterschiedlichen Straßenaufbauten, damit neue nach Stand der Technik entwickelte Aufbauten ökologisch verbessert werden und somit den zunehmenden Verbrauch und die wachsende Klima- und Umweltbelastung zu reduzieren. In der Diplomarbeit wurde der CO₂-Ausstoß der Bodenbeläge bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung betrachtet. Als zweiter Punkt wurde die Auswirkung der Straßenaufbauten auf das Mikroklima betrachtet: Einige Beläge schwächen die mikroklimatischen Bedingungen, wodurch es zu stärkerer Überhitzung führen kann.

CO₂-Wert

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist neben Stickstoff, Sauerstoff und Edelgasen ein natürlicher Bestandteil der Luft und ist das bedeutendste Treibhausgas. Die abgegebene Wärme der Erde wird vom CO₂ absorbiert und zurückgestrahlt. Durch diesen natürlichen Treibhauseffekt entsteht auf der Erde unser Klima, das jedoch vor allem vom Menschen zusätzlich belastet wird. Die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas beim Heizen steigt der globale CO₂ Ausstoß. Deshalb sollte bei der Planung, Herstellung, Nutzung und beim Recycling von öffentlichen Flächen die Auswirkungen auf das Klima stets mitberücksichtigt werden. Im Kriterienkatalog wird die Höhe der Kohlendioxidemission an den unterschiedlichen Straßenaufbauten verglichen und bewertet. Die Wahl der Bodenbeläge nach Stand der Technik kann die CO₂-Emissionen sowohl bei großen Parkflächen als auch bei kleinen Flächen signifikant reduzieren und somit einen positiven Einfluss auf das Klima erzielen.

Synthetisch hergestellte Bodenbeläge weisen generell einen höheren Wert auf, da bei der Herstellung eine große Energiemenge an nicht erneuerbaren Energieträgern benötigt wird. Der CO₂-

Wert wird im Zeitraum von 50 Jahren betrachtet und wird in $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ angegeben. Die Berechnung der Werte kann im Anhang nachgelesen werden.

Effekte auf das Mikroklima

Die Effekte der Flächenversiegelung wurden in Kapitel 1.2.1 bereits erklärt. Niederschlagswasser kann vom Boden nicht aufgenommen werden und Wärme wird länger und stärker gespeichert. Gerade in Städten und dicht verbauten Gebieten sind die Auswirkungen eines veränderten Mikroklimas durch schlechterer Luftqualität, geringere Luftfeuchtigkeit und höheren Durchschnittstemperaturen deutlich zu spüren. Der Jahresdurchschnitt beträgt 1° bis 2° C mehr als in der Umgebung. Dies birgt besonders bei Personen mit gesundheitlichen Belastungen bzw. Risikopatienten Probleme.

Die Wahl des Straßenaufbaus ist wesentlich für die Auswirkungen auf das Mikroklima, da die Wärmestrahlung abhängig ist vom Material und der Farbe und auch die Wasserspeicherung vom Aufbau des Belags beeinflusst wird. Dabei nimmt Asphalt aufgrund seiner Farbe viel Strahlung auf und speichert diese wegen seiner hohen Dichte. Daher sind auch bei nachts noch hohe Oberflächentemperaturen auf solchen Belägen zu erwarten.

4.7 Kostenbewertung

Für die Wahl des optimalen Straßenaufbaues sollen alle Kriterien betrachtet werden, jedoch spielen die Kosten bei der Entscheidungswahl einen größeren Faktor. Dabei sollen jedoch nicht nur die Herstellungskosten berücksichtigt werden, sondern auch die zusätzlichen Kosten über die gesamte Nutzungsdauer sowie beim Rückbau, beim Recycling bzw. bei der Entsorgung der Materialien. Diese Methode wird als Lebenszykluskostenbewertung bezeichnet und diese enthält die gesamten Kosten des Produktes. In Abbildung 21 sind unterschiedliche Lebenszykluskosten dargestellt, wobei höhere Anschaffungskosten die Gesamtkosten reduzieren können, da die Betriebs- und Entsorgungskosten geringer ausfallen. Daher ist die Betrachtung der gesamten Nutzungsdauer ein wesentliches Element.

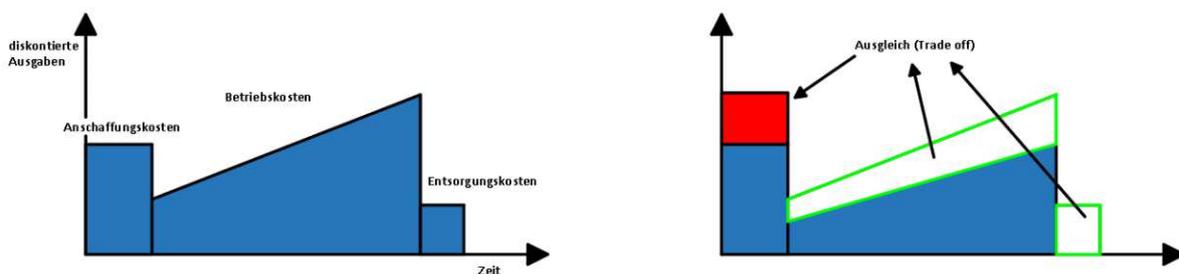


Abbildung 21: Unterschiedlicher Lebenszykluskosten in Abhängigkeit von den Anschaffungskosten

Im Straßenbau liefern die Betriebskosten einen großen Anteil an die Gesamtkosten, da durch wiederkehrende hohe Instandhaltungsmaßnahmen die Lebenszykluskosten steigen. Die Kostenbewertung gibt einen guten Überblick über die anfallenden Kosten für den Erhalter der Flächen. Im Laufe dieser Diplomarbeit wurden die Gesamtkosten der jeweiligen Straßenaufbauten im Wesentlichen an folgenden Punkten bewertet:

- ◆ Nettoherstellungskosten
- ◆ Betriebskosten
- ◆ Rückbau- und Recyclingkosten

Bei der Auswertung des Kriterienkatalogs ist der Mittelwert von Nettoherstellungs-, Betriebs- und Recycling- und Rückbaukosten für die Lebenszykluskosten für 50 Jahre gebildet worden.

4.7.1 Nettoherstellungskosten

Die Nettoherstellungskosten bei P&R-Anlagen sind von der Vorprojektierung über den Bau und die Umsetzung bis hin zur Nachkontrolle alle anfallenden Kosten, die für die Schaffung der „grünen Wiese“ zu dem fertigen Parkplatze benötigt werden. Die Ermittlung der Kosten wurden auf die Durchschnittskosten bezogen, welche die durchschnittlichen Kosten für einen Parkplatz wiedergeben. Dabei wurde bei der Recherche ein Mittelwert aus vorhandenen Daten gewählt

4.7.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten sind laufende, regelmäßig wiederkehrende Kosten der Straßenaufbauten über die gesamte Lebensdauer. Sie sind schwerer zu ermitteln als die Nettoherstellungskosten und teilen sich in Reinigungs- und Pflegekosten sowie Wartungs- und Reparaturkosten auf. Die Betriebskosten gewinnen in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung und sollen schon in den Planungsphase mitberücksichtigt und kalkuliert werden.

Reinigungs- und Pflegekosten

Die regelmäßig anfallenden Reinigungs- und Pflegekosten betragen auf die Gesamtkosten die geringsten Kosten. Die Parkplatzpflege soll durch ein gut geschultes fachgerechtes Personal betreut werden, weil eine unvorsichtige Pflege die Funktionalität und das Aussehen des Belags beeinträchtigen kann. Pflegepläne und Pflegekonzepte sollen entwickelt werden, da die unterschiedlichen Straßenaufbauten individuelle Pflege brauchen und sich im benötigten Aufwand unterscheiden. In dieser Diplomarbeit werden der Reinigungs- und Pflegekosten durch Erfahrungsberichte der bestehenden Straßenaufbauten und Experteninterviews bestimmt.

Wartungs- und Reparaturkosten

Die Wartungs- und Reparaturkosten sind deutlich höher als die Ausgaben für Reinigung und Pflege. Die Ziele sind die substanzielle Aufrechterhaltung der Infrastruktur und die Sicherung bereit getätigter Investitionen. Schadensereignisse sollen nachvollziehbar klassifiziert und bewertet werden. Die unterschiedlichen konstruktiven Aufbauten sowie die Nutzungsfrequenz der P&R-Anlage

beeinflussen die Abnutzung der Bodenbeläge. Vor allem in den Ein- und Ausfahrbereichen des Parkplatzes ist mit einer höheren Belastung und dadurch mit einem höheren Verschleiß der Deckschicht zu rechnen. Das Flickern von Schlaglöchern, Ausbesserungen von Rissen sowie eine Oberflächenbehandlung des Belages zählen zur den Reparaturmaßnahmen. Eine kontinuierliche Prüfung der Straßenaufbauten ist durch fachgerechtes Personal durchzuführen. Der PU-Asphalt Terraway hat eine lange Lebensdauer und benötigt nur minimale Pflegemaßnahmen. Bei den Ökopflastern mit Fugen sind regelmäßige Sichtprüfungen erforderlich und gegebenenfalls ist Fugenmaterial zu ergänzen oder eine Reinigung der Fugen ist zu veranlassen. Der offenporige Asphalt benötigt aufgrund des hohen Holraumgehaltes regelmäßige Wartungsmaßnahmen. Die Straßenaufbauten mit einem geringeren Wartungs- und Reparaturaufwand können eine kontinuierliche Wartungsmaßnahmen verzichten.

4.7.3 Rückbau- und Recyclingkosten

Im Straßenbau fallen große Mengen an Rohstoffen für die Erschaffung von Infrastrukturbauten an. Im Sinne der Nachhaltigkeit sollen Baustoffe recycelt werden, um somit den Bedarf an Primärrohstoffen zu verringern. Durch energieeffizientes Recycling kann die Landschaft geschont und das Deponievolumen reduziert werden. Im Laufe dieser Diplomarbeit werden die Rückbau- und Recyclingkosten nur auf die Deckschicht der Aufbauten bezogen, die aus wirtschaftlichen Gründen nur diese Schicht abgetragen wird. Die Rückbaukosten umfassen alle Arbeiten, die erforderlich sind, um die Beschichtung ordnungsgemäß zu entfernen. Die Kosten für die Entsorgung werden hier nicht mitberücksichtigt. Die Recyclingkosten beschreiben die Wiederaufbereitung der unterschiedlichen Straßenaufbauten, welche sich aus dem Recyclingprozess ergeben. Alle fünf untersuchten Straßenaufbauten sind recycelbar, wodurch keine vollständige Entsorgung auf einer Deponie erfolgt.

4.8 Kriterienkatalog

Die fünf unterschiedlichen versickerungsfähigen Straßenaufbauten werden um einen möglichst guten Überblick in einem Kriterienkatalog in ökologischer, ökonomischer und qualitativer Bewertung bestimmt. Die ökologische Bewertung ist in Kapitel 4.6 und die ökonomische Bewertung in den jeweiligen Straßenaufbauten nachzulesen. Neben den technischen Eigenschaften der Straßenaufbauten, welche vom Aufbau bestimmt sind, werden auch jene Eigenschaften bewertet, die die Akzeptanz und Attraktivität beim Nutzer wesentlich beeinflussen. Diese Faktoren werden im „Produkt- und Nutzungsprofil“ beschrieben und bewertet.

Das Produkt- und Nutzungsprofil gliedert sich in folgende Punkte:

- Wasserdurchlässigkeit
- Barrierefreiheit, Ebenmäßigkeit
- Staubentwicklung
- Lebensdauer
- Recyclingfähigkeit
- Winterdienst
- Gestaltungsmöglichkeit
- Rutschfestigkeit

Wasserdurchlässigkeit

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Entsiegelung von Flächen und dem darauffolgenden Kühlungseffekt. Die Wasserdurchlässigkeit wird mit dem k_f beschrieben. Je größer der Durchlässigkeitsbeiwert k_f ist desto schneller fließt das Wasser durch den Straßenaufbau. Eine gute Wasserdurchlässigkeit verhindert die Bildung von Wasserpfützen, reduziert die Wahrscheinlichkeit einer Verschlammung des Bodens und verbessert die Lebensbedingungen für die angrenzende Vegetation. Zusätzlich ermöglichen gute versickerungsfähige Aufbauten, dass bei Starkregenfälle Überschwemmungen verhindert werden und die Kanalisation entlastet wird. Durch den Eintrag von Staub beziehungsweise Schlamm kann die Nutzungsdauer verschlechtert werden, daher ist drauf zu achten, dass die Wasserdurchlässigkeit gewährleistet ist.

Barrierefreiheit, Ebenmäßigkeit

Die Ebenmäßigkeit unterscheidet sich bei Belägen mit Fugen im Vergleich zu fugenlosen Belägen wie zum Beispiel Asphalt. Die Barrierefreiheit ist im öffentlichen Raum für alle Nutzer einzuhalten, d.h. jede Person kann sich selbständig Orientieren und die Anlage uneingeschränkt nutzen. Unter Berücksichtigung der ÖNORM B 1600 werden die Straßenaufbauten auf ihre Barrierefreiheit untersucht.

Staubentwicklung

Die Staubentwicklung wird von der Witterung und dem Material des Straßenaufbaus bestimmt. Generell tritt jedoch mehr Staub in Trockenperioden auf. Der Abrieb der Staubpartikel hat einen direkten Einfluss auf die Feinstaubbilanz.

Lebensdauer

Für die Kostenbewertung und die Ökobilanz der Straßenaufbauten wurde in der Diplomarbeit eine Nutzungsdauer von 50 Jahren gewählt. Die Lebensdauer beschreibt den Zeitraum bei dem der Straßenaufbau bei fachgerechter Wartung und Reparaturarbeiten genutzt werden kann.

Recyclingfähigkeit

Die Wiederverwendung gebrauchter Materialien ist aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten und aus Umweltgründen relevant. Sie wird über die Lebensdauer und der Wiederverwendbarkeit der Aufbauten bestimmt.

Winterdienst

Der Winterdienst beschreibt alle Maßnahmen, die notwendig sind um eine sichere Benutzung bei Schneefall zu ermöglichen. Bei der Schneeräumung muss auf Salzstreuung bzw. Ausbringen von anderen Auftaumitteln und die Verwendung von Sand verzichtet werden. Durch das Befahren der PKWs kann der Sand zertrümmert werden und somit die Deckschicht verstopfen. Für die Räumung des Schnees sind Schneefräsen zu verwenden, wobei die Räumschilder so zu positionieren sind, damit keine Schäden an der Vegetationstragschicht oder der Vegetation entstehen. Die Herstellerhinweise sind jedenfalls für die richtige Behandlung zu beachten.

Gestaltungsmöglichkeit

Unter Gestaltungsmöglichkeit versteht man, die Möglichkeit durch modifizierte oder entwickelte Prozesse eine bestimmte Form oder ein bestimmtes Erscheinungsbild zu verleihen. Eine ansprechende Gestaltung ist im öffentlichen Bereich ein wichtiger Punkt. Durch die Wahl der unterschiedlichen Beläge, können attraktivere Plätze geschaffen werden. Außerdem wird untersucht, ob farbige Zuschlagstoffe eingesetzt werden dürfen und ob eine Gestaltungsmöglichkeit durch Verlegemuster möglich sind.

Rutschfestigkeit

Die Sicherheit der Benutzung sowohl mit dem Kfz als auch zu Fuß muss zu jeder Zeit gewährleistet sein, daher ist die Rutschfestigkeit von Oberflächenbefestigung einen wesentlichen Faktor. Die Einteilung der verschiedenen Beläge erfolgt entweder nach der entsprechenden Norm oder nach den Experteninterviews.

Tabelle 4: Gesamtübersicht und Vergleich der bewerteten Bodenbeläge

Gesamtübersicht und Vergleich der bewerteten Bodenbeläge		Offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen	Prinzip der Schwammstadt	TTE-Bauweise	PU-Asphalt am Beispiel Terraway	Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen
Ökologische Bewertung*	CO2-Wert	3	4	1	5	4
	Möglichkeit Vegetation	3	1	1	5	2
	%-Satz der begrünten Parkflächen	9,09	13,64	64	0	10
Kostenbewertung*	Lebenszykluskosten für 50 Jahren	2,6	4	2,6	2,3	2,3
	Nettoherstellungskosten	2	5	1	4	1
	Betriebskosten	4	3	4	1	2
	Recycling- und Rückbaukosten	2	4	3	2	4
Produkt- und Nutzungsprofil*	Wasserdurchlässigkeit	3	3	1	2	3
	Barrierefreiheit, Ebenmäßigkeit	1	3	5	1	3
	Staubentwicklung	1	3	1	1	3
	Lebensdauer	4	2	4	-	2
	Recyclingfähigkeit	1	1	2	4	1
	Winterdienst	1	1	2	1	1
	Gestaltungsmöglichkeiten	2	2	1	2	2
Rutschfestigkeit	1	2	3	1	2	
siehe Seite		35-39	39-43	43-46	47-49	50-54

* Reihung: 1 - beste Wertung, 5 - schlechteste Wertung

5 Forschungsergebnisse

Im folgenden Kapitel sind die wesentlichen Erkenntnisse zum Thema versickerungsfähige Straßenaufbauten von P&R-Anlagen zusammengefasst, insbesondere der eigens entwickelte Kriterienkatalog, der folgende versickerungsfähigen Straßenaufbauten bewertet: Offenporiger Asphalt mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen, das Prinzip der Schwammstadt, TTE-Bauweise mit Begrünung, PU-Asphalt am Beispiel Terraway und verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen. Die Grundlage für die Bewertung war eine umfassende Recherche und die Datenerhebung der unterschiedlichen Straßenaufbauten. In der Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse werden die wichtigsten Themenpunkte beschrieben. Anschließend werden im zweiten Abschnitt die Forschungsfragen beantwortet. Zuletzt werden noch zukünftige Empfehlungen für die unterschiedlichen Straßenaufbauten und neue Forschungsfelder werden aufgezeigt, zu denen diese Diplomarbeit als Grundlage dienen kann.

5.1 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse

Die Auswirkungen des Klimawandels werden in den nächsten Jahren zunehmend in Österreich spürbar sein. Die Hitzebelastung, welche den menschlichen Organismus schadet, wird verstärkt in den urbanen Gebieten und Großstädten problematisch werden. Im Infrastrukturbereich kann in einigen Bereichen durch einfache Maßnahmen gesteuert werden. Ein erster Schritt ist die Versiegelung von Verkehrsflächen zu reduzieren, durch versickerungsfähige Straßenaufbauten bei P&R Anlagen. Diese Diplomarbeit „Untersuchung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten von P&R-Anlagen“, welche im Rahmen der Forschungstätigkeit des Instituts für Verkehrswissenschaften - Forschungsbereich Straßenwesen und in Kooperation mit der ÖBB-Infrastruktur AG erarbeitet wurde, soll notwendige Schritte zur Entsiegelung von Flächen aufzeigen und einleiten. Die Reduzierung bzw. Verzögerung des Regenwasserabflusses führt zu einer Entlastung des Abwassersystems, reduziert den Verlust an Biodiversitäten und kühlt durch Verdunstung die Umgebungstemperatur.

In dieser Diplomarbeit wurden fünf unterschiedliche versickerungsfähige Straßenaufbauten nach ökologischen, ökonomischen und qualitativen Kriterien bewertet und verglichen. Anhand von Literaturrecherchen und Experteninterviews werden die fünf versickerungsfähigen Straßenaufbauten nach ihrem konstruktiven Aufbau, den Instandhaltungsmaßnahmen und Pflege und den Netto-Herstellungskosten gegliedert und beschrieben. Die Straßenaufbauten wurden in ihrem 50-jährigen Lebenszyklus anhand unterschiedlicher Methoden ermittelt. Es wurden quantitative und qualitative Bewertungen vorgenommen, wie die ökologische Bewertung auf Grundlage der CO₂ Äquivalenz und der möglichen Vegetation, die Kostenbewertung nach der Lebenszykluskostenmethode, die in Netto-, Betrieb- und Recycling- und Rückbaukosten aufgeteilt ist, und die Produkt- und Nutzungseigenschaften nach der Bewertung mit Schulnoten. Um einen detaillierten Überblick zu bekommen, wurden die Ergebnisse in einem Kriterienkatalog nach Ökologie, Kosten und Produkt- und Nutzungsprofil gegliedert. Dabei wird bei den unterschiedlichen Profilen jeweils eine Leistungsbeschreibung mittels Schulnoten (1-5) verwendet. Der ausgearbeitete Kriterienkatalog ist auf Seite 60 nachzulesen.

Mit dem Kriterienkatalog können die fünf unterschiedlichen Straßenaufbauten in ihre Vor- und Nachteile evaluiert und miteinander verglichen werden. Es werden sowohl die Stärken als auch die Schwächen dargestellt und es kann eine rasche und konkrete Aussage über die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen getroffen werden. Die Bewertung des Produkt- und Nutzungsprofil, bei

dem meistens keine explizierte Werte vorliegen wie bei den Kosten oder der CO₂ Äquivalent, wurde durch Literaturrecherche und Experteninterviews möglichst objektiv durchgeführt. Mit Hilfe des Kriterienkatalogs kann für bestimmte Nutzungsanforderungen der beste Straßenaufbau gewählt werden. Zusätzlich soll diese Diplomarbeit als Grundlage für innovative und kreative Straßenaufbauten herangezogen werden.

Die Ergebnisse der drei Bereiche weichen voneinander ab, jedoch lassen sich einige Tendenzen ableiten. Die Bewertung der ökologischen Kriterien erfolgt über die CO₂ Äquivalente. Hier ist klar ersichtlich, dass die Straßenaufbauten die mit einem Bindemittel aus Kunstharz vermischt sind, wie Terraway, einen größeren ökologischen Rucksack brauchen. Die TTE-Bauweise erreicht den geringsten ökologischen Rucksack, da sowohl bei der Produktion, das Produkt aus recycelten Mischkunststoffen hergestellt wird, als auch beim Einbau, Abtransport und Deponierung von Bodenmaterial, um einen tragfähigen Unterbau herzustellen, wenig CO₂ ausgestoßen wird. Generell kann ein Grünstreifen bei allen fünf Straßenaufbauten angeordnet werden, jedoch erzielt das Prinzip der Schwammstadt durch das zusätzliche Pflanzen von Bäumen die beste Bewertung. Bäume sorgen durch die Regulierung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, dass wir uns in ihrer Umgebung wohlfühlen. Viele Studien zeigen, dass Grünflächen dazu beitragen, den Wärmeinseleffekt zu reduzieren und sie ermöglichen eine Biodiversität. Die Gesamtwertung der Kategorie Ökologie wird von der TTE-Bauweise mit Begrünung angeführt, gefolgt von dem Prinzip der Schwammstadt und dem offenporigen Asphalt. Die TTE-Bauweise erzielt ebenfalls ohne einen zusätzlichen Grünstreifen den höchsten Prozentsatz der begrüneten Parkfläche mit 64 %. Der PU-Asphalt erzielt in dieser Kategorie die schlechteste Wertung.

Bei der Betrachtung der Kosten werden zwischen Nettoherstellungskosten und Lebenszykluskosten unterschieden. Die Analyse der Gesamtkosten über die gesamte Nutzungsdauer von 50 Jahren gewinnt immer mehr an Bedeutung. Durch höhere Nettoherstellungskosten können in manchen Fällen die Gesamtkosten über die gesamte Nutzungsdauer von 50 Jahren reduziert werden, da die Betriebs-, Recycling- und Rückbaukosten geringer ausfallen. Die Ermittlung der Kosten wurden auf die Durchschnittskosten bezogen, welche die durchschnittlichen Kosten für einen Parkplatz wiedergeben. Dabei wurde bei der Recherche ein Mittelwert aus vorhandenen Daten gewählt. Bei den Nettoherstellungskosten liegt die TTE-Bauweise und der verkürzte Kfz- Abstellfläche mit angrenzenden begrüneten Sickerstreifen an erster Stelle. Die TTE-Bauweise kann aufgrund seines konstruktiven Aufbaus eine gleiche Lastverteilung wie die anderen Straßenaufbauten erzielen, jedoch benötigt kann Tragschichtmaterial gespart werden, wodurch die Herstellungskosten reduziert werden. Die Variante fünf erzielt dadurch, dass die Parkfläche um 50 Zentimeter reduziert ist, geringe Herstellungskosten. Das Prinzip der Schwammstadt verursacht wegen seines konstruktiven Aufbaus und der Pflanzung von Bäumen die höchsten Kosten. Die Kosten für eine Neupflanzung variieren sehr stark von der Größe und Art des gewählten Baumes. Zusätzlich fallen Kosten für die Aufbereitung der Baumscheibe, das Einbringen des sickerfähigen Substrats, die Baumscheibeneinfassung und das Einbringen des Baumes an. Um die Lebenszykluskosten zu minimieren, ist es besonders wichtig, bei der Pflege und Instandhaltung Maßnahmen zu ergreifen, um die Lebensdauer der Straßenaufbauten zu verlängern. Straßenaufbauten die selten oder wenig gewartet werden müssen sind kostengünstig und ökologisch. Der aus Kunstharzzusätzen hergestellte PU-Asphalt ist lange beständig und benötigt somit minimale Pflege und Instandhaltungsmaßnahmen. Die Baumpflege beim Prinzip der Schwammstadt spielt bei den Betriebskosten eine wesentliche Rolle. Junge Bäume müssen regelmäßig gegossen werden und ältere Bäume benötigen professionelle

Schnittarbeiten. Offenporiger Asphalt und die TTE-Bauweise müssen regelmäßig gewartet und instandgehalten werden, wodurch diese Straßenaufbauten die größten Betriebskosten erreichen.

Das Produkt- und Nutzungsprofil weist acht Eigenschaften auf, die die Akzeptanz und Attraktivität bei NutzerInnen wesentlich beeinflussen. Die Kriterien werden mit Schulnoten (1-5) bewertet, jedoch findet keine Gewichtung zwischen den Eigenschaften statt. Das Produkt- und Nutzungsprofil gibt einen raschen Überblick über die qualitativen Merkmale der fünf Straßenaufbauten, wobei der Mittelwert ähnlich ausfällt. Die Parameter Barrierefreiheit und Lebensdauer weisen jedoch Schwankungen auf. Die Barrierefreiheit und Ebenmäßigkeit sind bei der TTE-Bauweise mit Begrünung nicht gegeben, aber ein barrierefreier PKW-Stellplatz kann als TTE-Bauweise mit Pflasterung geplant und hergestellt werden. Über die Lebensdauer von Terrway, bei dem noch keine Langzeitstudien vorhanden sind, kann keine präzise Aussage getroffen werden.

5.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Im folgenden Kapitel werden die Zielsetzungen und Forschungsfragen dieser Diplomarbeit beantwortet.

Ökologisch vertretbare Straßenaufbauten bei P&R Anlagen zu untersuchen und somit die Flächenversiegelung zu reduzieren

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Reduktion der Flächenversiegelung im Bereich von P&R-Anlagen in Österreich. Die Folgen von Flächenversiegelung sind vor allem im Sommer stark spürbar. Häufigere Hitzetage und erhöhte Überschwemmungsgefahr sind die schwerwiegenden Folgen. Der konstruktive Aufbau von versickerungsfähigen Straßenaufbauten wurde schon seit mehreren Jahren technisch gelöst und es werden regelmäßig neue innovative Aufbauten untersucht und hergestellt. Die fünf untersuchten versickerungsfähigen Straßenaufbauten haben aufgrund der Wasserdurchlässigkeit im Vergleich zu den herkömmlichen Straßenaufbauten einen guten ökologischen Rucksack, welcher sich positiv auf den Ressourcenverbrauch, die Regenwasserbewirtschaftung und das Mikroklima auswirkt. Um ökologisch vertretbare Straßenaufbauten bei P&R-Anlagen zu errichten, muss eine Bewusstseinsbildung von Fachpersonen geschaffen werden. Die momentanen Ziele sind die Schaffung von Sachkenntnissen und die Marktverbreitung beim Bau von P&R-Anlagen mit versickerungsfähigen Straßenaufbauten. In Zukunft soll der Anwendungsbereich erweitert werden.

Schaffung von Grundlagen für ökologischer, ökonomischer und qualitativer hochwertige Abstellflächen

Durch Literaturrecherchen und Experteninterviews wurden fünf unterschiedliche versickerungsfähige Straßenaufbauten nach ökologischen, ökonomischen und qualitativen Kriterien bewertet und verglichen. Diese Diplomarbeit soll als Informationsgrundlage für den Vergleich und der Bewertung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten dienen. Die fünf Straßenaufbauten wurden nach ihrem konstruktiven Aufbau, den Pflege- und Instandhaltungsmaßnahmen und den Nettoherstellungskosten gegliedert und beschrieben. Zusätzlich wurden die Lebenszykluskosten für die Nutzungsdauer von 50 Jahren ermittelt. Es wurden quantitative und qualitative Bewertungen vorgenommen, wie die ökologische Bewertung auf Grundlage der CO₂ Äquivalenz und der möglichen

Vegetation, die Kostenbewertung nach der Lebenszykluskostenmethode, die in Netto-, Betrieb- und Recycling- und Rückbaukosten aufgeteilt ist, und die Produkt- und Nutzungseigenschaften nach der Bewertung mit Schulnoten.

Ausarbeitung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten in Kombination mit Bepflanzung und Versickerungsmöglichkeiten

Die Versickerungsfähigkeit ist bei den untersuchten Straßenaufbauten gegeben, wodurch das Überschwemmungsrisiko bei Starkregenereignissen reduziert ist. Die Gestaltung von versickerungsfähigen Straßenaufbauten in Kombination mit Bepflanzung wurde untersucht. Die TTE-Bauweise mit Begrünung schafft eine natürliche Vegetationsbedingung, wodurch 64 % der Parkplatzfläche begrünt ist. Die Grasnarbe ist vor Druck- und Scherbelastung durch das TTE-Element geschützt, wodurch ein sicherer Begrünungserfolg sichergestellt ist. Das Prinzip der Schwammstadt erzielt eine sehr gute ökologische Bewertung. Durch die Pflanzung von Bäumen wird die Temperatur, die Feuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit reguliert, wodurch die Attraktivität von Straßen und Parkplätzen erhöht wird. Zusätzlich spenden Bäume Schatten und reduzieren somit den Wärmeeffekt in Ballungsräumen. Bei den restlichen Straßenaufbauten kann generell ein Grünstreifen als Versickerungsmöglichkeit zusätzlich eingeplant werden, um somit auch den Kühlungseffekt zu erhöhen.

Erstellung eines Kriterienkatalogs zur Evaluierung der unterschiedlichen Aufbauten

Das Hauptelement dieser Diplomarbeit ist der Kriterienkatalog der die fünf unterschiedlichen versickerungsfähigen Straßenaufbauten nach ökologischen, ökonomischen und qualitativen Kriterien bewertet. Aus dem Kriterienkatalog sind die Stärken und die Schwächen der Aufbauten rasch und einfach zu erkennen, wodurch dieser als Hilfestellung für die optimale Versickerungsvariante im Bereich von P&R-Anlagen fundiert. Es lässt sich kein Testsieger bestimmen, da die Ergebnisse der drei Kriterien voneinander abweichen, jedoch lassen sich einige Tendenzen ableiten. Der offenporige Asphalt liegt bei der ökologischen und der ökonomischen Bewertung im Mittelfeld. Durch regelmäßige Pflege und Instandhaltungsmaßnahmen über die Nutzungsdauer entstehen etwas höhere Betriebskosten. Beim Prinzip der Schwammstadt werden Bäume zwischen den Stellplätzen geplant. Diese sollen einen kühlenden Effekt für langanhaltende Trockenperioden erwirken. Die Pflanzung und Pflege der Bäume wirkt sich jedoch auf die Lebenszykluskosten aus, wodurch mit höheren Nettoherstellungskosten und Betriebskosten zu rechnen ist. Die TTE-Bauweise wegen seiner begrünter Parkplatzfläche eine sehr gute ökologische Bewertung. Zusätzlich punktet dieser versickerungsfähige Straßenaufbau mit den reduzierten Nettoherstellungskosten und der sehr guten Wasserdurchlässigkeit. Schwächen weist die TTE-Bauweise bei den Punkten Betriebskosten, Barrierefreiheit und Lebensdauer auf. Der PU-Asphalt, Terraway, welcher aus Kunstharzzusätzen hergestellt wird, fällt bei der ökologischen Bewertung mangelhaft aus. Ebenfalls sind die Nettoherstellungskosten erhöht, jedoch ist der PU-Asphalt lange beständig und benötigt somit minimale Pflege- und Instandhaltungsmaßnahmen. Die Variante fünf, welche aus Ökopflaster ausgeführt wird, hat einen mittleren ökologischen Rucksack. Durch die verkürzte Kfz-Abstellfläche sind die Nettoherstellungskosten reduziert.

Basierend auf Kriterienkatalog können die fünf versickerungsfähigen Straßenaufbauten auf ihre Nutzung und die damit verbundenen Anforderung gewählt werden. Die Stärken und Schwächen sind

auf Seite 60 nachzulesen. Der Kriterienkatalog soll als Chance für weiteren Forschungsbedarf und Verbesserungspotential von Straßenaufbauten dienen.

5.3 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der Diplomarbeit wurden bereits vorher ausgearbeitet und kritisch bewertet. Zum Abschluss sollen in diesem Kapitel noch zukünftige Empfehlungen für die unterschiedlichen Straßenaufbauten gegeben und noch fehlender Forschungsbedarf aufgezeigt werden. Dies soll als Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten angenommen werden. Die Planung und der Bau von versickerungsfähigen Straßenaufbauten ist seit mehreren Jahren technisch gelöst und es werden regelmäßig neue innovative Aufbauten untersucht und hergestellt. Der PU-Asphalt und das Prinzip der Schwammstadt sind neuartige Bauweisen, bei denen noch keine langjährige Erfahrung im Verkehrswegbau vorliegt. Die Materialzusammensetzung (Bindemittelgehalt, Gesteinsart, Sieblinie) von PU-Asphalt ist noch nicht vollständig geklärt, um die optimale Leistung zu erzielen. Ebenfalls benötigt das aus Stockholm entwickelte Konzept Prinzip der Schwammstadt weiteren Forschungsbedarf.

Der Kriterienkatalog der versickerungsfähigen Straßenaufbauten bietet großes Potenzial an Möglichkeiten um neue innovative Beläge, aber auch den Oberbau und Unterbau, zu entwickeln. Diese Arbeit fokussiert auf die Teile der Befestigung, die als Deckschicht direkt befahren und bewittert werden. Dafür bestehen einige Lösungsansätze, die sich zum Teil auch schon bewährt haben. Wesentlich für einen versickerungsfähigen Aufbau ist jedoch, dass das Sickerwasser auch durch die darunterliegenden ungebundenen Tragschichten dauerhaft rasch weitersickern kann. RVS 08.15.01 sieht für obere ungebundene Tragschichten eine kontinuierliche Korngrößenverteilung vor. Um höhere Wasserdurchlässigkeit zu gewährleisten könnten hier in Zukunft Sieblinien mit Ausfallskörnung im Feinkornbereich im Rahmen von Probefeldern zur Anwendung kommen. Dabei sind vor allem ausreichende Festigkeit der Gesteinskörnung, sowie Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit und Filterstabilität sicherzustellen bzw. durch geeignete Maßnahmen zu erreichen. Eine geeignete Körnung und Sieblinie ist dabei zunächst auf Laborebene vorzubereiten. Parallel zu derartigen Probeflächen sollten RVS-konforme Aufbauten hergestellt werden. Im Rahmen eines Monitorings ist der Zustand des Aufbaus in den Folgejahren regelmäßig festzustellen.

Literaturverzeichnis

- [1] GLOBAL 2000: Klimawandel in Österreich. URL: <https://www.global2000.at/klimawandel-oesterreich> (Zugriff 15.6.2021)
- [2] CLIMAMAP: Climate Change Impact Maps for Austrian Regions Strategies for climate change adaptation exist on different levels. URL: <https://data.ccca.ac.at/group/climamap> (Zugriff 15.6.2021)
- [3] Umweltbundesamt: Flächenversiegelung. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/aktuelles/presse/news2018/news20180509> (Zugriff: 15.6.2021)
- [4] Stadt Wien: Nachhaltiges Regenwassermanagement. URL: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/regenwassermanagement.html> (Zugriff: 17.6.2021)
- [5] Michael Schindler: Wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen für Regenwasserbehandlungs- und Regenwasserversickerungsanlagen in Österreich, Diplomarbeit an der BOKU, 2012
- [6] Austrian Standards: ÖWAV-Regelblatt 45: Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund, 2015
- [7] RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- [8] RICHTLINIE 2006/118/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung
- [9] RICHTLINIE 2007/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken
- [10] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Wasserrechtsgesetz 1959
- [11] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
- [12] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
- [13] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer
- [14] Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer
- [15] Austrian Standards: ÖNORM B 2506-2:2012-11-15: Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen, 2012
- [16] Klimabündnis Österreich: Modal Split, URL: <https://www.klimabuendnis.at/modal-split-nach-region> (Zugriff: 20.6.2021)
- [17] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise zu Park+Ride (P+R) und

- Bike+Ride (B+R), 2018
- [18] Grünplan Landschaftsarchitekten: Klimafitte Parkplätze – Durch Entsiegelung der sommerlichen Hitze entgegensteuern, 2020
- [19] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: ÖGL-Richtlinie Nr. 39, URL: http://www.oel.at/images/rl_downloads/rl_39_2004.pdf (Zugriff: 25.09.2021)
- [20] DAIBAU: Asphaltieren Kosten, URL: <https://www.daibau.at/baukostenrechner/asphaltierung> (Zugriff: 25.09.2021)
- [21] Lokale Agenda 21 Wien: Kosten für einen Baum, URL: <https://www.la21wien.at/blog-detail-la21/id-6-wie-hoch-sind-die-kosten-fuer-einen-baum-in-der-gasse.html> (Zugriff: 05.10.2021)
- [22] TTE Öko-Bodensystem, TTE-Bauweise 2 Grün Ausschreibungstexte, URL: <https://www.tte.at/downloads/> (Zugriff: 06.10.2021)
- [23] Terraway, Leistungsverzeichnis, URL: https://terraway.at/downloads/#_secureddownloads (Zugriff: 25.09.2021)
- [24] DAIBAU: Kunstharzboden Preise, URL: <https://www.daibau.at/baukostenrechner/kunstharzboeden> (Zugriff: 08.10.2021)
- [25] Gerwing-Steinshop: Ökopflaster, URL: <https://gerwing-steinshop.de/oekopflaster/> (Zugriff: 09.10.2021)
- [26] C. Zahrer. „Interview – TTE-Bauweise“ (25.10.2021)
- [27] Forschungsgesellschaft Straße - Schiene – Verkehr: RVS 11.03.21 Asphalt und Asphaltsschichten, Prüfung und Abrechnung, Abrechnungsbeispiele, 2010
- [28] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen, 2013
- [29] Das Schwammstadt: Prinzip für Bäume. URL: <https://www.schwammstadt.at/> (Zugriff: 16.09.2021)
- [30] TTE Öko-Bodensysteme: TTE-Bauweise, URL: <https://www.tte.at/> (Zugriff: 17.09.2021)
- [31] Steinbauer Development GmbH: Produktinformation TerraWay (Zugriff: 19.09.2021)
- [32] Forschungsgesellschaft Straße - Schiene – Verkehr: RVS 08.18.01 Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen, 2020
- [33] Forum Qualitätspflaster: Pflege und Wartung von Pflasterflächen, 2016
- [34] Gruppe Angepasste Technologie: Nachhaltige Freiraumgestaltung, 2009

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: STADTKLIMA – DIE STÄDTISCHE WÄRMEINSEL	11
ABBILDUNG 2: VERGLEICH ANZAHL DER TROPENNÄCHTE BEI AKTUELLEM KLIMA UND ZUKÜNFTIGEM KLIMA BEI GERINGEN ANSTRENGUNGEN IM KLIMASCHUTZ, QUELLE: CLIMAMAP	12
ABBILDUNG 3: VERGLEICH ANZAHL DER KÜHLGRADTAGE BEI AKTUELLEM KLIMA UND ZUKÜNFTIGEM KLIMA BEI GERINGEN ANSTRENGUNGEN IM KLIMASCHUTZ, QUELLE: CLIMAMAP	13
ABBILDUNG 4: VERGLEICH ANZAHL DER STARKNIEDERSCHLÄGE BEI AKTUELLEM KLIMA UND ZUKÜNFTIGEM KLIMA BEI GERINGEN ANSTRENGUNGEN IM KLIMASCHUTZ, QUELLE: CLIMAMAP	13
ABBILDUNG 5: VERGLEICH DES WASSERKREISLAUFS VOR UND NACH DER VERSIEGELUNG, QUELLE: STADT DORTMUND.....	15
ABBILDUNG 6: EINSATZMÖGLICHKEITEN NATURNAHER BEWIRTSCHAFTUNGSVERFAHREN IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSICKERUNGSFÄHIGKEIT DES UNTERGRUNDS UND FREIFLÄCHENVERFÜGBARKEIT, QUELLE: ATV-DVK-REGELWERK, 2002, 25 (MODIFIZIERT 2020, EIGENE DARSTELLUNG)	17
ABBILDUNG 7: ÜBERBLICK RECHTLICHER RAHMENBEDINGUNGEN	18
ABBILDUNG 8: GRUNDPRINZIPIEN ZUR ANORDNUNG VON P&R-ANLAGEN, QUELLE HINWEISE ZU PARK+RIDE (P+R) UND BIKE+RIDE (B+R)	27
ABBILDUNG 9: PRINZIPSKIZZE BEI BAHNANSCHLUSS, QUELLE HINWEISE ZU PARK+RIDE (P+R) UND BIKE+RIDE (B+R) (EIGENE DARSTELLUNG)	30
ABBILDUNG 10: ZUSAMMENHANG VERSICKERUNGS- UND REINIGUNGSLEISTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BODENART.....	32
ABBILDUNG 11: OFFENPORIGER ASPHALT.....	36
ABBILDUNG 12: LEBENSZYKLUSKOSTEN VON OFFENPORIGEM ASPHALT	39
ABBILDUNG 13: PRINZIP DER SCHWAMMSTADT.....	40
ABBILDUNG 14: LEBENSZYKLUSKOSTEN VOM PRINZIP DER SCHWAMMSTADT.....	43
ABBILDUNG 15: TTE-BAUWEISE	44
ABBILDUNG 16: LEBENSZYKLUSKOSTEN DER TTE-BAUWEISE MIT BEGRÜNUNG	46
ABBILDUNG 17: TERRAWAY BELAG	47
ABBILDUNG 18: LEBENSZYKLUSKOSTEN DES PU-ASPHALTS	49
ABBILDUNG 19: VERKÜRZTE KFZ-ABSTELLFLÄCHE MIT ANGRENZENDE BEGRÜNTE SICKERSTREIFEN	51
ABBILDUNG 20: LEBENSZYKLUSKOSTEN DER VERKÜRZTE KFZ-ABSTELLFLÄCHE MIT ANGRENZENDE BEGRÜNTE SICKERSTREIFEN	54
ABBILDUNG 21: UNTERSCHIEDLICHER LEBENSZYKLUSKOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ANSCHAFFUNGSKOSTEN	55

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUFLISTUNG UND EINTEILUNG DER NIEDERSCHLAGSABFLÜSSE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER HERKUNFTSFLÄCHE, QUELLE REGELBLATT 45.....	25
TABELLE 2: TYPISCHE DURCHLÄSSIGKEITSBEIWERTE BZW. SICKERGESCHWINDIGKEITEN	33
TABELLE 3: ÜBERSICHT DER VERWENDETEN LITERATUR ZU BESTIMMUNG DER NETTO-HERSTELLUNGSKOSTEN	34
TABELLE 4: GESAMTÜBERSICHT UND VERGLEICH DER BEWERTETEN BODENBELÄGE	60

Anhang

Offenporiger Asphalt					
	Dicke [m]	Volumen [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]		
Deck- und Tragschicht	0,12	1800	216		
Tragschicht	0,2	2200	440		
Frostschuttschicht	0,3	1350	405		
Neubau	Masse [kg/m ²]	Entfernung [km]	CO ₂ -Eq [kg/kg bzw. kg/t*km]	Treibhauseffekt [kg/m ²]	[kg/m ² *a]
Deck- und Tragschicht	216		0,3208	69,29	1,38586
Tragschicht	440		0,002285	1,01	0,02011
Frostschuttschicht	405		0,002285	0,93	0,01851
Transport Asphalt	288	100	0,09051	2,61	0,05213
Transport Tragschichten	845	100	0,09051	7,65	0,15296
Einbau und Verdichten				2,45	0,04902
				Gesamt (Neubau)	1,68
Erhaltung über 50 Jahre					1,33
				Gesamt	3,00

Prinzip der Schwammstadt					
	Dicke [m]	Volumen [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]		
Drainpflaster	0,08	2200	176		
Splittbett	0,04	1600	64		
Tragschicht	0,2	2200	440		
Frostschuttschicht	0,3	1350	405		
Grobschlag	0,4	2200	880		
Neubau	Masse [kg/m ²]	Entfernung [km]	CO2-Eq [kg/kg bzw. kg/t*km]	Treibhauseffekt [kg/m ²]	[kg/m ² *a]
Drainpflaster	176		0,5074	89,30	1,78605
Splittbett	64		0,002285	0,15	0,00292
Tragschicht	440		0,002285	1,01	0,02011
Frostschuttschicht	405		0,002285	0,93	0,01851
Grobschlag	880		0,002285	2,01	0,04022
Transport Pflaster	176	100	0,09051	1,59	0,03186
Transport Tragschichten	909	100	0,09051	8,23	0,16455
Einbau und Verdichten				2,45	0,04902
				Gesamt (Neubau)	2,11
Erhaltung über 50 Jahre					1,34
				Gesamt	3,45

TTE-Bauweise					
	Dicke [m]	Volumen [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]		
TTE-Bauelement	0,06	1800	108		
Bettung	0,04	1600	64		
Vegetationstragschicht	0,2	2400	480		
Neubau	Masse [kg/m ²]	Entfernung [km]	CO2-Eq [kg/kg bzw. kg/t*km]	Treibhauseffekt [kg/m ²]	[kg/m ² *a]
TTE-Bauelement	108		0,40358	43,59	0,8717328
Bettung	64		0,002285	0,15	0,0029248
Vegetationstragschicht	480		0,002285	1,10	0,021936
Transport Bauelemente	108	100	0,09051	0,98	0,01955016
Einbau und Verdichten				1,58	0,03150368
				Gesamt (Neubau)	0,95
Erhaltung über 50 Jahre					1,26
				Gesamt	2,20

Pu-Asphalt am Beispiel Terraway					
	Dicke [m]	Volumen [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]		
PU-Asphalt	0,04	1800	72		
Ausgleichsschicht	0,1	2200	220		
Tragschicht	0,2	2200	440		
Frostschuttschicht	0,3	1350	405		
Neubau	Masse [kg/m ²]	Entfernung [km]	CO2-Eq [kg/kg bzw. kg/t*km]	Treibhauseffekt [kg/m ²]	[kg/m ² *a]
PU-Asphalt	72		1,5807	113,81	2,276208
Ausgleichsschicht	220		0,002285	0,50	0,010054
Tragschicht	440		0,002285	1,01	0,020108
Frostschuttschicht	405		0,002285	0,93	0,0185085
Transport PU-Asphalt	72	100	0,09051	0,65	0,01303344
Transport Tragschichten	1065	100	0,09051	9,64	0,1927863
Einbau und Verdichten				2,45	0,04901961
				Gesamt (Neubau)	2,58
Erhaltung über 50 Jahre					1,21
				Gesamt	3,79

Verkürzte Kfz-Abstellfläche mit angrenzenden begrünten Sickerstreifen					
	Dicke [m]	Volumen [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]		
Drainpflaster	0,08	2200	176		
Splittbett	0,04	1600	64		
Tragschicht	0,2	2200	440		
Frostschuttschicht	0,3	1350	405		
Neubau	Masse [kg/m ²]	Entfernung [km]	CO2-Eq [kg/kg bzw. kg/t*km]	Treibhauseffekt [kg/m ²]	[kg/m ² *a]
Drainpflaster	176		0,5074	89,30	1,78605
Splittbett	64		0,002285	0,15	0,00292
Tragschicht	440		0,002285	1,01	0,02011
Frostschuttschicht	405		0,002285	0,93	0,01851
Transport Pflaster	176	100	0,09051	1,59	0,03186
Transport Tragschichten	909	100	0,09051	8,23	0,16455
Einbau und Verdichten				2,45	0,04902
				Gesamt (Neubau)	2,07
Erhaltung über 50 Jahre					1,34
				Gesamt	3,41