

**Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr,  
Wohnen und ländlichen Raum**

Referat I 1

Kaiser-Friedrich-Ring 75

65185 Wiesbaden

## **Gutachten zur Versickerungsfähigkeit von teilversiegelten Bodenoberflächenarten**

Aufgestellt:

Hoppegarten, 30.07.2025

Projektleitung: Dr. Harald Sommer

Bearbeitung: M.Sc. Johanna Zeeh

M.Sc. Ruth Steyer

**Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH**

Rennbahnallee 109A, D-15366 Hoppegarten

Tel. +49 3342 3595 - 0

Fax. +49 3342 3595 - 29

E-Mail: [info@sieker.de](mailto:info@sieker.de)

Internet: [www.sieker.de](http://www.sieker.de)



**Sieker**

**Die Regenwasserexperten  
The Stormwater Experts**



## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	9
2	AP 1 – Definition und Unterscheidung der unterschiedlichen teilversiegelten Bodenoberflächenarten	10
2.1	Definition von teilversiegelten Bodenoberflächenarten .....	10
2.2	Übersicht teilversiegelter Bodenoberflächenarten.....	11
2.2.1	Einzelelemente .....	12
2.2.2	Flächige Beläge mit offener Struktur (Asphalt, Beton oder Splitt (verklebt)) .....	18
2.3	Tabellarische Zusammenfassung der Bauweisen.....	24
2.4	Tabellarische Zusammenfassung der Einsatzbereiche von teilversiegelten Bodenoberflächenarten.....	26
3	AP 2 und 3 – Literaturrecherche zu Ausmaß und Dauer der Versickerungswirkung sowie zu den positiven und negativen Auswirkungen von in der Siedlungsentwicklung relevanten teilversiegelten Bodenoberflächenarten auf Natur und Landschaft	29
3.1	Schutzgut Wasser .....	31
3.2	Schutzgut Boden.....	32
3.3	Schutzgut Klima.....	35
3.4	Schutzgut Luft.....	36
3.5	Schutzgut Flora/Fauna (Pflanzen und Tiere) .....	36
3.6	Schutzgut Mensch (Landschaftsbild) .....	37
3.7	Einsatz von RC-Baustoffen .....	37
3.8	Produkte und Bauweisen .....	38
3.9	Zusammenfassende Bewertungsmatrix .....	39
4	AP 4 – Ökologische Betrachtungen bei Eingriffen durch Voll- oder Teilversiegelung von Bodenoberflächen	43
5	AP 5 - Festsetzungsbeispiele für Bebauungspläne	50
5.1	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	50
5.1.1	Wasserdurchlässige Gestaltung und Begrünung nicht überbauter Flächen nach landesrechtlichen Vorgaben .....	50
5.1.2	Grün- oder Freiraumsatzungen.....	51
5.1.3	Verbot der wesentlichen Einschränkung der Grundwasserneubildung nach § 28 Abs. 4 Hessisches Wassergesetz (HWG).....	52
5.1.4	Einleitbeschränkungen .....	52
5.2	Verbindliche Bauleitplanung .....	52
5.3	Förderung .....	57



---

6	AP 6 – Relevante Unterschiede der teilversiegelten Bodenoberflächenarten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit	59
7	AP 7 – Wissensdefizite	63
8	Literaturverzeichnis	65
9	Anhang	71
9.1	Weiteres zu Straßenbaustandards.....	71
9.1.1	Abweichungen/Ergänzungen zu Straßenbaustandards .....	71
9.1.2	Aufbau von versickerungsfähigen Verkehrsflächen .....	71
9.1.3	Pflaster mit DIBt-Zulassung .....	80
9.1.4	Ausführungshinweise, Wartung, Reinigung und Winterdienst .....	81
9.2	Erweiterte Betrachtungsparameter der Schutzgüter.....	88
9.2.1	Wasser.....	88
9.2.2	Boden .....	108
9.2.3	Klima .....	114
9.2.4	Flora/Fauna.....	115
9.2.5	Mensch.....	117
9.3	Anforderungen an Materialklassen und rechtliche Grundlagen für teilversiegelte Bodenoberflächen .....	118

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Einteilung teilsiegelter Bodenoberflächenarten (Sieker, 2024).....	12
Abbildung 2: Pflaster mit dichten Fugen (Bildquelle: Sieker).....	12
Abbildung 3: Pflaster mit kleinen Fugen, bewachsen (Bildquelle: Sieker) .....	13
Abbildung 4: Sickerfugenpflaster als Parkplatz (Bildquelle: Sieker).....	14
Abbildung 5: Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen (SLG, 2020).....	15
Abbildung 6: Sickerpflaster aus durchlässigen Pflastersteinen als Parkplatz mit angrenzender Asphaltfahrbahn (Bildquelle: Sieker).....	15
Abbildung 7: Detailaufnahme vom zweilagigen Hybrid-Pflasterstein mit undurchlässigem Vorsatz (Aqua Urbanica, Dierkes, 2019).....	16
Abbildung 8: Klimastein mit feiner Vorsatzschicht (Bildquelle: Godelmann).....	16
Abbildung 9: Rasengittersteine als Parkplatz (Bildquelle: Sieker).....	17
Abbildung 10: Rasenfugensteine als Parkplatz (Bildquelle: Sieker).....	17
Abbildung 11: TTE® Pflaster, begrünt oder mit Betonsteinen versickerungsfähig ausgefüllt (Bildquelle: Huebner-Lee) .....	18
Abbildung 12: Rasengitterplatten (Bildquelle: Funke) .....	18
Abbildung 13: Durchlässiger Asphalt als Anwohnerstraße (Bildquelle: Sieker).....	19
Abbildung 14: Detailaufnahme von Dränbeton. Quelle: Dränbeton – Versickerungsfähige Verkehrsflächen aus Transportbeton (YouTube 2015).....	20
Abbildung 15: TerraWay®.....	21
Abbildung 16: Wassergebundenen Wegedecke in Berlin Gärten der Welt (Bildquelle: tegra) .....	21
Abbildung 17: Schotterrasen Parkplatz BOKU Wien (Bildquelle: BOKU Wien).....	22
Abbildung 18: Schottergarten, punktuell bewachsen (Bildquelle: Sieker) .....	23
Abbildung 19: Anwendungsbereiche von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen und Empfehlung zur Systemeignung, Bk (Bauklasse) SLG 2020.....	27
Abbildung 20: Wasserbilanzen verschiedener teilversiegelter Bodenoberflächenarten nach DWA-M 102-4, ermittelt mit dem Berechnungsprogramm STORM (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH), basierend auf den einstellbareren A 102-Parametern. ....	45
Abbildung 21: Wasserbilanzen nach DWA-M 102-4, für verschiedene teilversiegelte Bodenoberflächenarten .....	46
Abbildung 22: Beispiele von Fördermaßnahmen zur Entsiegelung von Flächen der Stadt Offenbach am Main .....	58
Abbildung 23: Vergleich Kosten des jeweiligen Belags – und Nutzungskategorien bezogen auf den m <sup>2</sup> Verkehrsfläche .....	61
Abbildung 24: Aufbau Sickerpflaster mit Unterbau (Präsentation Berding, 2022) .....	72
Abbildung 25: Beispielhafter Straßenaufbau für BK0,3 mit Pflasterdecke auf Schottertragschicht in Anlehnung an die RSt0 12, M VV S. 15 .....	72



---

Abbildung 26: Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton auf F2- oder F3-Untergrund/Unterbau für Verkehrsflächen der Belastungsklasse bis Bk0,3 (in Anlehnung an M VV) (Tabelle 4 in SLG, 2020) .....	74
Abbildung 27: Geeignete Körnungen und Kombinationen von Körnungen für Bettungs- und Fugenmaterialien, SLG 2020, Tabelle 8 .....	76
Abbildung 28: Zeitverlauf zur „Diskussion Feinanteile“ in der Fugenverfüllung von Pflaster (Ulonska, 2022).....	77
Abbildung 29: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei gut durchlässigem Untergrund (SLG, 2020) .....	78
Abbildung 30: Eignung von Böden als Untergrund oder Unterbau für versickerungsfähige Verkehrsflächen (SLG Tabelle 3, 2020).....	78
Abbildung 31: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems (SLG, 2020).....	79
Abbildung 32: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei sehr gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems und Sickerleitung (SLG, 2020).....	80
Abbildung 33: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung bei kleinen Flächen (Präsentation Berding, 2022) .....	85
Abbildung 34: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung bei großen Flächen (Präsentation Berding, 2022) .....	85
Abbildung 35: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung – Vergleich (Präsentation Berding, 2022).....	86
Abbildung 36: Untersuchte Flächen an Objekt 2 und 12 (FH Bochum / IKT 2005).....	89
Abbildung 37: Infiltrationsrate sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit grobem Aufbau (FH Bochum / IKT 2005).....	91
Abbildung 38: Untersuchte Flächen mit Infiltrometer (FH Bochum / IKT 2005).....	91
Abbildung 39: Infiltrationsrate und untersuchte Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht, mit Infiltrometer (FH Bochum / IKT 2005).....	93
Abbildung 40: Infiltrationsrate genässter Flächen mit Infiltrometer (FH Bochum / IKT 2005) .....	94
Abbildung 41: Verfahren der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005).....	95
Abbildung 42: Infiltrationsrate haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht vor und nach der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005).....	96
Abbildung 43: Infiltrationsrate haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht vor und nach der Reinigung, Belag 1 und 2 (FH Bochum / IKT 2005).....	97
Abbildung 44: Gegenüberstellung empfohlener und bei unterschiedlichen Parameteraufnahmen berechnete Abflussbeiwerte für fugenarmes Pflaster und Porenbetonpflaster bei ausgeprägter Kolmation (Illgen 2009).....	97
Abbildung 45: Schema des bi-direktionalen Schichtenmodells (Illgen 2009) .....	98



---

Abbildung 46: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für fugenreich (6-12%) verlegtes Pflaster (Illgen 2009) .....	98
Abbildung 47: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für Pflasterbeläge mit splittgefüllten Fugen (Illgen 2009) .....	99
Abbildung 48: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für poröse Pflasterbeläge aus haufwerksporigen Betonsteinen (Illgen 2009) .....	99
Abbildung 49: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für Flächenbefestigungen aus Rasengitter und Schotterrasen (Illgen 2009) .....	100
Abbildung 50: Temporärer Damm und Wasserzufluss für einen großskaligen Infiltrationstest (Boogaard et al. 2019) .....	101
Abbildung 51: Automatische Wasserstandsmessung, Handmessung und Unterwasserkamera (Boogaard et al. 2019) .....	101
Abbildung 52: Bilder der untersuchten 16 Flächenbeläge im Straßenraum (Boogaard et. al. 2019).....	102
Abbildung 53: Infiltrationskurven für die einzelnen 16 Testflächen (Boogaard et al. 2019) .....	103
Abbildung 54: Trend des Rückgangs der Infiltrationsleistung von unterschiedlichen Belagssystemen über einen Zeitraum von bis zu 13 Jahren (Veldkamp, Boogaard, Kluck 2022) .....	103
Abbildung 55: Übersicht der untersuchten Beläge (Dierkes, 2000) .....	108
Abbildung 56: Konzentrationen von gelöstem Zink in der Vorlage und im Sickerwasser von 4 verschiedenen wasserdurchlässigen Flächenbelägen (Dierkes, 2000) .....	110
Abbildung 57: Grafischer Vergleich der verschiedenen untersuchten Systeme (Dierkes, 2000) .....	111
Abbildung 58: EDTA-extrahierbare Zinkkonzentrationen nach den Versuchen in den 5 Versuchssäulen (Dierkes, 2000) .....	111
Abbildung 59: Bilanzierter Rückhalt der Schwermetalle Blei, Kupfer, Zink und Cadmium in einer Versuchssäule mit einem Straßenaufbau der Bauklasse V und Kalksteintragschicht (Dierkes, 2000).....	112

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zur Bauweise und Recyclingfähigkeit von teilversiegelten Bodenoberflächenarten.....	24
Tabelle 2:	Einsatzbereiche unterschiedlicher teilversiegelter Oberflächenbeläge .....	28
Tabelle 3:	Bewertung der Auswirkungen auf die Schutzgüter Wasser, Boden, Klima, Flora/Fauna und Landschaftsbild.....	40
Tabelle 4:	Zugeordnete Parametersätze für die Wasserbilanz nach DWA-M 102-4 bzw. für die Abflussbeiwerte nach DWA-A 138-1 .....	47
Tabelle 5:	Bewertung der Wasserbilanz und Starkregenabfluss von teilversiegelten Bodenoberflächenarten.....	49
Tabelle 6:	Festsetzungsmöglichkeiten in Bebauungsplänen, die einer wassersensiblen Siedlungsentwicklung/Freiraumgestaltung Rechnung tragen.....	53
Tabelle 7:	Variantenuntersuchung zum Wirtschaftlichkeitsvergleich, K = Kanalgebunden; RWB = Regenwasserbewirtschaftung, vV = versickerungsfähige Verkehrsfläche.....	59
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Investitionskosten für die untersuchten Varianten. Der Preis ist bezogen auf den m <sup>2</sup> Verkehrsfläche .....	60
Tabelle 9:	Zusammenfassung der Betriebskosten für die untersuchten Varianten. Der Preis ist bezogen auf den m <sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr.....	62
Tabelle 10:	Liste aller Pflastersteine mit DIBt-Zulassung Z-84.1 (Stand 10/2023) .....	81
Tabelle 11:	Infiltrationsraten der geprüften Rasengittersteine (FH Bochum / IKT 2005) .....	89
Tabelle 12:	Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit grobem Aufbau (FH Bochum / IKT 2005).....	90
Tabelle 13:	Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht (FH Bochum / IKT 2005) .....	92
Tabelle 14:	Infiltrationsraten der geprüften Flächen in Abhängigkeit der Nässung des Belages (FH Bochum / IKT 2005) .....	94
Tabelle 15:	Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht abhängig von der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005) .....	95
Tabelle 16:	Durchlässige Beläge in den Niederlanden, die in der Studie getestet wurden (Boogaard et al. 2019) .....	102
Tabelle 17:	Effekt der Standzeiten auf die Versickerungsleistung von versickerungsfähigen Belägen bezogen auf Standards in den Niederlanden und internationalen Standards (Veldkamp, Boogaard, Kluck 2022).....	104
Tabelle 18:	Bewertung der versickerungsfähigen Verkehrsflächen in Berlin (IPS 2024).....	105
Tabelle 19:	Tabellarische Darstellung der Versickerungsleistung von teilversiegelten Oberflächenarten im Neubau und im Bestand nach ca. 10 - 20 Jahren Betrieb .....	107
Tabelle 20:	Ingenieurgeologische Kennwerte der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000)....	109



---

Tabelle 21:	Im Labor ermittelte und berechnete Durchlässigkeitsbeiwerte der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000) .....	109
Tabelle 22:	Schwermetallgrundgehalte nach Königwasseraufschluss der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000) .....	109
Tabelle 23:	Konzentrationen der Schwermetalle in der Vorlage und im Sickerwasser am Anfang und am Ende der Versuche (Dierkes, 2000).....	110
Tabelle 24:	Physikochemische Parameter der Sickerwässer (Dierkes, 2000).....	111
Tabelle 25:	Schwermetallbilanzen über den gesamten Versuchszeitraum (Dierkes, 2000) .....	112
Tabelle 26:	Ergebnisse der Berechnungsversuche mit fünfjährlichen Starkregenereignissen an der Versuchswanne (Dierkes, 2000).....	113

## 1 Veranlassung

Die Versiegelung von Flächen führt zu einer Beeinträchtigung des natürlichen Wasserkreislaufs durch Erhöhung des Oberflächenabflusses. Damit verbunden sinkt die winterliche Grundwasserneubildung und die durch die Vegetation gesteuerte sommerliche Verdunstung. Zudem führt die vermehrte direkte Ableitung von Niederschlagswasser bzw. Regenwasser (im vorliegenden Dokument wird der Begriff Niederschlagswasser synonym zum Begriff Regenwasser genutzt) zu einer erhöhten stofflichen und hydraulischen Belastung der Gewässer. Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels ist zu erwarten, dass diese nachteiligen Effekte u. a. durch vermehrte Starkregenereignisse zunehmen. Zudem wird, zusammen mit vermehrten sommerlichen Temperaturextremen, der städtische Wärmeinseleffekt u. a. durch die verringerte Verdunstungskühlung intensiviert. Aus diesem Grund sind dezentrale Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und somit eine Anpassung der Städte und Siedlungen an die Klimafolgen erforderlich.

Das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum (HMWVW) beauftragte die Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (IPS) in diesem Zusammenhang, eine Recherche und Auswertung veröffentlichter Studien/Materialien zum Thema „Versickerungsfähigkeit von teilversiegelten Bodenoberflächenarten“ durchzuführen.

Um Eingriffe in den Wasserhaushalt zu minimieren, wird von Genehmigungsbehörden häufig eine versickerungsfähige Teilversiegelung (z. B. für Zufahrten und Stellplätze) gefordert, ohne jedoch konkrete Anforderungen an die Art der Teilversiegelung festzulegen. Es besteht Unklarheit darüber, wie sich unterschiedliche Teilversiegelungen auf die Versickerung und Verdunstung von Niederschlägen in den Städten und Siedlungsbereichen auswirken und wie nachhaltig diese Effekte sind.

Eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Versickerungsleistung der verschiedenen Teilversiegelungsmaterialien können die Empfehlungen der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) im Merkblatt DWA-M 102-4 bilden. Jedoch bedarf es einer Methodik, um auf dieser Grundlage einen systematischen Vergleich der Versickerungswirksamkeit verschiedener Teilversiegelungs-Materialien durchführen zu können.

Ziel dieses Gutachtens ist es daher, einen Überblick über die verschiedenen teilversiegelten Bodenoberflächenarten zu geben (Kap. 2), anhand einer Literaturrecherche konkrete Prognosen für deren Niederschlagsrückhalt in den Städten und Siedlungsbereichen zu liefern und vergleichend zu bewerten sowie deren positive und negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt überschlüssig zu bewerten (Kap. 3 und Kap. 9.2 im Anhang). Auf dieser Grundlage sollen Wege geprüft werden, den Niederschlagsrückhalt von Teilversiegelungsmaterialien bei ökologischen Betrachtungen (Kap. 4) sowie bei Festsetzungen von Bebauungsplänen vermehrt zu berücksichtigen, um eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung zu forcieren (Kap. 5). Die Bilanzierungsmöglichkeiten sind nicht Gegenstand dieses Gutachtens. Abschließend wird auf die Wirtschaftlichkeit der teilversiegelten Bodenoberflächenarten eingegangen (Kap. 6) und auf bestehende Wissensdefizite sowie auf den Umgang mit diesen Wissensdefiziten verwiesen (Kap. 7).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Anwenderfreundlichkeit werden die zusammenfassenden Ergebnisse im Hauptteil des Gutachtens gebündelt. Die den Ergebnissen zugrunde liegenden Materialien sind im Anhang (Kap. 9) aufgeführt.

## 2 AP 1 – Definition und Unterscheidung der unterschiedlichen teilversiegelten Bodenoberflächenarten

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die verschiedenen Arten der Teilversiegelung. Dazu werden die Versiegelungsarten hinsichtlich ihrer Materialien, baulichen Ausführungen und Recyclingfähigkeiten beschrieben sowie durch Abbildungen und beispielhafte Fotos veranschaulicht. Zusammenfassend erläutert werden außerdem die Einsatzbereiche der teilversiegelten Bodenoberflächenarten.

### 2.1 Definition von teilversiegelten Bodenoberflächenarten

**Teilversiegelte Bodenoberflächenarten** sind Befestigungen oder Beläge, die nicht vollständig versiegelt sind und daher eine gewisse Durchlässigkeit für Niederschlagswasser ermöglichen. Diese Oberflächenarten werden typischerweise in urbanen und ländlichen Gebieten eingesetzt, um die natürliche Versickerung von Regenwasser zu fördern und die negativen Auswirkungen der Flächenversiegelung auf den Wasserkreislauf zu reduzieren. Teilversiegelte Bodenoberflächenarten sind zum Beispiel begrünbare Flächenbefestigungen, Pflastersteine, wassergebundene Deckschichten oder wasserdurchlässige Bodenbeläge. Im Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV, 2013) wird für Oberbaukonstruktionen mit begrünbaren Belägen auf die "Richtlinie für Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen" der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) verwiesen. Begrünbare Flächenbefestigungen werden im Bereich von Verkehrsflächen seltener, im Bereich von Stellplätzen oder geeigneten Aufenthaltsbereichen dagegen häufiger eingesetzt.

Diese Flächenarten bestehen oft aus speziellen Materialien oder Konstruktionen, die Wasser durchlassen, wie z. B. porösem Beton, Pflastersteinen mit offenen Fugen, Gras- oder Kiespflaster, Dränasphalt oder Kunststoffgittern mit durchlässigen Strukturen. Das Wasser kann dann in den Untergrund gelangen und dort versickern, was den natürlichen Wasserkreislauf unterstützt. Die betreffenden Flächenarten sind nach DWA-A 138-1 bzw. Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV, 2013), Beläge, welche dauerhaft eine Regenspende von mindestens  $270 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$  versickern können. Die Beläge sollen reinigungsfähig sein, um ein Nachlassen der Versickerungsfähigkeit zu vermeiden. Unter diesen Bedingungen werden sie als „Flächenversickerungsanlage“ eingeordnet. Es gibt auch Beläge mit vom DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) bauaufsichtlich zugelassenen Bauweisen (vgl. Anhang: Kap. 9.1.3).

I. d. R. werden teilversiegelte Bodenoberflächenarten in verkehrlich eher gering frequentierten Bereichen eingesetzt, wie z. B. Anliegerstraßen, Parkplätzen, Grundstückszufahrten, Garagenzufahrten, Feuerwehr- und Rettungswegen, Schulhöfen, Radwegen und Fußgängerzonen. Einzelne Arten (wie Dränasphalt) wurden testweise auch auf Autobahnen eingesetzt.

## 2.2 Übersicht teilversiegelter Bodenoberflächenarten

Teilversiegelte Bodenoberflächenarten können, wie in Abbildung 1 dargestellt, in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- 1) **Zusammengesetzt aus Einzelementen (Pflastersteine):** Steine oder Platten, bei denen das Niederschlagswasser über Fugen oder durch die Porosität des Materials versickert. Diese Steine können aus Beton, Naturstein oder anderen Materialien hergestellt sein.

In der Praxis finden i. d. R. drei unterschiedliche Typen in Pflasterbauweise Anwendung:

- a. Pflastersteine mit Fugenversickerung, bei denen das Niederschlagswasser über die Fugen zwischen den Pflastersteinen in den Untergrund abgeleitet wird. Je nach Fugenbreite bzw. Öffnung und verwendetem Füllmaterial ist die Sickerfähigkeit höher oder geringer.
  - b. Poröse wasserdurchlässige Betonpflastersteine (auch genannt Sickerpflaster/Ökopflaster/Ökostein/Klimapflaster/Klimastein/wasserdurchlässige Pflasterbeläge), bei denen das Niederschlagswasser über die gesamte Oberfläche durch das Befestigungsmaterial (den Beton) hindurchsickert. Das Niederschlagswasser wird durch die große Porosität des Steines aufgenommen und kann in den Untergrund versickern. Hybride Steinsysteme wie auch der sogenannte „Klimastein“ haben eine dichte obere Schicht. Die poröse untere Schicht wird über die Fugen mit Sickerwasser gefüllt.
  - c. Pflastersteine mit Sickeröffnungen: Die Beläge besitzen Aussparungen bzw. Öffnungen am Stein in Form von Löchern, Hohlräumen oder Kammern. Diese sind wie Rasengittersteine aus Beton oder als Kunststoffrasengitter verfügbar. Über diese Öffnungen wird das anfallende Niederschlagswasser versickert. Die Öffnungen werden i. d. R. mit einem wasserdurchlässigen Mineralstoffgemisch gefüllt.
- 
- 2) **Flächige Systeme (Asphalt oder Beton mit offener Struktur):** Diese Art von Asphalt oder Beton ermöglicht die Versickerung von Regenwasser durch eine offene (d. h. hinsichtlich der Art der Gefügestruktur wasserdurchlässige) Oberflächenstruktur. Zu dieser Kategorie gehören auch feste Kiesbeläge, wie z. B. TerraWay®, dessen Splitt wasserdurchlässig verklebt ist.

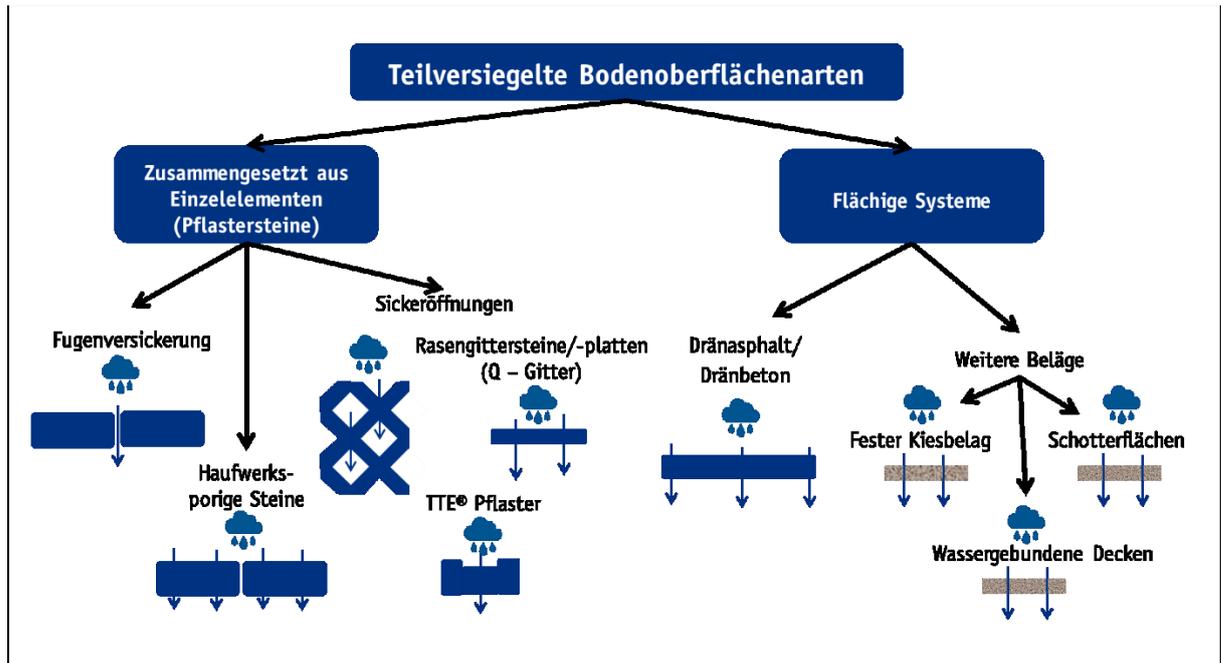


Abbildung 1: Übersicht der Einteilung teilsigelter Bodenoberflächenarten (Sieker, 2024)

## 2.2.1 Einzelemente

### 2.2.1.1 Fugenversickerung

- **Pflaster mit dichten Fugen / Flächen mit Platten**

Herkömmliche Pflasterflächen werden in Abhängigkeit der Nutzung und Verkehrsbelastung gebaut. Es wird zwischen der ungebundenen und der gebundenen Bauweise unterschieden. Je nach Bauweise unterscheiden sich Tragschicht, Fuge und Bettung. Als Material für Pflasterflächen werden Beton, Naturstein oder Ziegel in verschiedenen Formaten, Dicken und Größen verwendet. Der Anteil der Versickerung variiert mit Fugenbreite und Zustand, ist jedoch eher als gering einzustufen (Abbildung 2).



Abbildung 2: Pflaster mit dichten Fugen (Bildquelle: Sieker)

- **Pflaster mit offenen Fugen, klein ( $< 6$  mm)**

Pflaster mit offenen Fugen ohne Abstandsnasen bezeichnet eine Bauweise, bei der die Zwischenräume zwischen den herkömmlichen Pflastersteinen bewusst offengelassen werden und die Fugen verbreitert sind. Diese größeren Fugen ermöglichen es, Regenwasser direkt in den Boden zu versickern. Auch ist eine Bepflanzung mit trittfesten Pflanzen möglich. Als Fugenmaterial kann Splitt oder Sand verwendet werden (Abbildung 3). Die Wahl des Fugenmaterials hat einen starken Einfluss auf die Versickerungsfähigkeit des Oberflächenbelages. Je höher der Feinanteil eines Fugenmaterials desto geringer wird die Versickerungsleistung.



Abbildung 3: Pflaster mit kleinen Fugen, bewachsen (Bildquelle: Sieker)

- **Sickerfugenpflaster, große Fuge ( $\geq 6$  mm)**

Die Versickerung bei diesem Pflaster erfolgt ausschließlich über die Sickerfuge zwischen den gefügedichten und daher mindestens an der Oberfläche wasserundurchlässigen Steinen. Dazu werden gefügedichte Pflastersteine verwendet (Abbildung 4). Die Sickerfugen werden dazu entweder mit der Regelfugenbreite von  $\geq 6$  mm nach ATV DIN 18318 (Sollwerte) oder auch mit größeren Fugenbreiten, zum Beispiel 8 mm oder 10 mm (Sollwerte) ausgeführt und mit einem geeigneten, ausreichend wasserdurchlässigen Fugenmaterial (z. B. Splitt 2/5 mm) verfüllt. Sickerfugen, die breiter sind als die Sollwerte nach ATV DIN 18318, werden auch als „aufgeweitete Sickerfugen“ bezeichnet. Für diese Variante müssen Betonpflasterstein den TL Pflaster-StB (Technischen Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen, Ausgabe 2006, TL Pflaster-StB 06) entsprechen (vgl. SLG, 2020).



Abbildung 4: Sickerfugenpflaster als Parkplatz (Bildquelle: Sieker)

- **Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen**

Bei dieser Variante werden gefügedichte Pflastersteine oder Platten mit durchgehenden Löchern, Kammern oder seitlichen Aussparungen verwendet (Abbildung 5). Diese üblicherweise mit herkömmlichen Breiten von 4 - 6 mm ausgeführten Sickerfugen werden mit einem geeigneten, wasserdurchlässigen Fugenmaterial verfüllt. Das Niederschlagswasser versickert hauptsächlich durch die zusätzlichen Löcher, Kammern und Aussparungen und teilweise auch durch die Sickerfugen. Für diese Variante müssen auch die Betonpflastersteine den Anforderungen der TL Pflaster-StB entsprechen, wenn sie seitliche Aussparungen aufweisen. Die Anforderungen des BGB-RiNGB (Bund Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile e.V., Richtlinie „Nicht genormte Betonprodukte“) gelten, wenn sie durchgehende Löcher oder Kammern aufweisen (vgl. SLG, 2020).

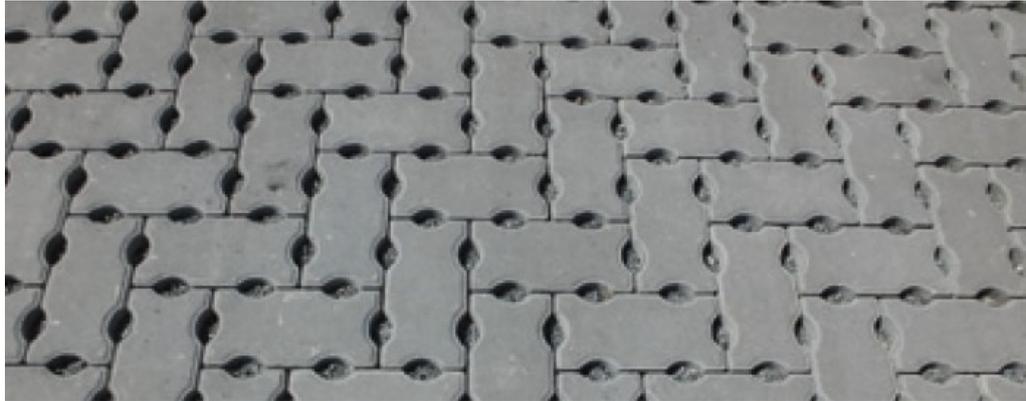


Abbildung 5: Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen (SLG, 2020)

#### 2.2.1.2 Haufwerksporige Steine als durchlässige Pflastersteine

- **Poröse Betonpflastersteine / durchlässige Pflastersteine / haufwerksporige Betonsteine**

Die Versickerung erfolgt bei diesem Steinsystem über die Fuge und zum Großteil über ein offenporiges Steingefüge. Bei haufwerksporigen Steinen sind die Gesteinskörnungen nur punktförmig miteinander „verklebt“, so dass ausreichend große miteinander verbundene Poren entstehen. Die Pflastersteine werden gemäß ATV DIN 18318 mit einer Regelfugenbreite von 4 mm oder 6 mm (Sollwerte) verlegt und mit einem geeigneten, ausreichend wasserdurchlässigen Fugenmaterial gefüllt (Abbildung 6). Dadurch kann ein Teil des Niederschlagswassers auch durch die Fugen versickern. Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton müssen der DIN 18507 entsprechen. (vgl. SLG, 2020)



Abbildung 6: Sickerpflaster aus durchlässigen Pflastersteinen als Parkplatz mit angrenzender Asphaltfahrbahn (Bildquelle: Sieker)

- **Hybridsteine**

Hybridsteine sind eine Weiterentwicklung von porösen Betonpflastersteinen, die sich neben einer erhöhten Niederschlagsversickerung auch durch eine erhöhte Verdunstung auszeichnen. Für Verkehrsflächen wurde ein versickerungsfähiges Pflaster aus Hybridbeton entwickelt (Abbildung 7). Dieses hat unter einer wasserundurchlässigen

Deckschicht einen porösen Kernbeton zur Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers und zur anschließenden Abgabe an die Verdunstung. Das Wasser gelangt durch die Fugen seitlich in den porösen Teil des Steines. Für die Jahre 2016 bis 2018 wurde mithilfe einer Lysimeteranlage eine Gesamtverdunstung von 43 % bis 48 % ermittelt (Aqua Urbanica, Dierkes 2019).



Abbildung 7: Detailaufnahme vom zweilagigen Hybrid-Pflasterstein mit undurchlässigem Vorsatz (Aqua Urbanica, Dierkes, 2019)

#### ○ Klimastein

Der Klimastein hat im Vergleich zu anderen versickerungsfähigen Pflasterarten einen dreischichtigen Aufbau (Abbildung 8). Er besteht aus einer feinen Vorsatzschicht mit Funktion als Katalysatorschicht, einer Speicherschicht und einer Kapillarschicht. Die Vorsatzschicht reflektiert Wärmestrahlung und reduziert Lärmemissionen. Wasser gelangt über die Fugen in die Speicherschicht und wird durch den großporigen Aufbau zurückgehalten. Die für die Versickerung erforderliche Fugenbreite beträgt in Abhängigkeit der Steindicke ca. 5 bis 9 mm. Der flächenbezogene Fugenteil liegt für den Klimastein zwischen 5 und 10 %. Die Kapillarschicht ist weniger durchlässig und trägt zur Speicherung des Wassers im Stein bei, welches dann verdunstet. Zusätzlich wird Feuchtigkeit aus dem Erdreich aufgenommen, welche ebenfalls verdunstet werden kann.



Abbildung 8: Klimastein mit feiner Vorsatzschicht (Bildquelle: Godelmann<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> <https://www.godelmann.de/de/stein-erfinder/presse/klimastein>

### 2.2.1.3 Steine mit Sickeröffnungen

- **Rasengitterstein/Rasenkammerstein**

Die Versickerung erfolgt durch die Öffnungen in den Steinen oder zwischen ihnen (siehe auch Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen). Die Öffnungen werden mit wasserdurchlässigem Substrat gefüllt und begrünt. I. d. R. wird auf eine robuste Rasenmischung zurückgegriffen. Rasengittersteine (Abbildung 9) sind grundsätzlich teilversiegelte Bodenoberflächenarten.



Abbildung 9: Rasengittersteine als Parkplatz (Bildquelle: Sieker)

- **Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster/TTE® Pflaster**

Die Versickerung erfolgt über die Sickerfugen (siehe auch Sickerfugenpflaster). Diese werden mit Substrat gefüllt und begrünt. I. d. R. wird hierbei eine robuste Rasenmischung verwendet (Abbildung 10).



Abbildung 10: Rasenfugensteine als Parkplatz (Bildquelle: Sieker)

TTE® PFLASTER (Abbildung 11) verfügt, ähnlich dem Rasengitterstein, über komplett offene Fugen, Entwässerungsrinnen und Hohlräume, die laut Hersteller eine sehr hohe Versickerungsleistung ermöglichen. Das System kann begrünt oder mit Betonsteinen gefüllt ausgeführt werden. Die lastverteilende Eigenschaft der TTE® Pflaster aus Kunststoff ermöglicht z. B. den Einsatz eines Substrataufbaus – auch unter dem Belag (insgesamt 25 - 30 cm). Diese vegetationsfähige Tragschicht aus Schotterrasen bildet einen erweiterten Wurzelraum und sorgt für eine hohe Wasserspeicherung und Nährstoffversorgung.

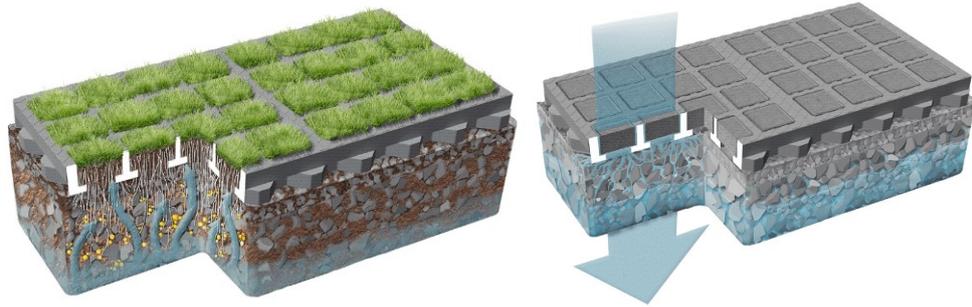


Abbildung 11: TTE® Pflaster, begrünt oder mit Betonsteinen versickerungsfähig ausgefüllt (Bildquelle: Huebner-Lee)<sup>2</sup>

- **Rasengitterplatten/Q-Gitter**

Rasengitterplatten aus Kunststoff (Abbildung 12) haben wabenförmige Aussparungen und eignen sich für die Verlegung auf Pkw-Stellplätzen, Feuerwehr- und Garagenzufahrten, Campingplätzen, Gehwegen sowie zur Dachbegrünung und zur Ufer- und Böschungssicherung. Sie können auch in hochwassergefährdeten Gebieten eingesetzt werden und einen Abtrag des Oberbodens verhindern. Je nach Belieben kann das Rasengitter mit Erde, Schotter, Splitt oder dekorativen Kieselsteinen befüllt werden.

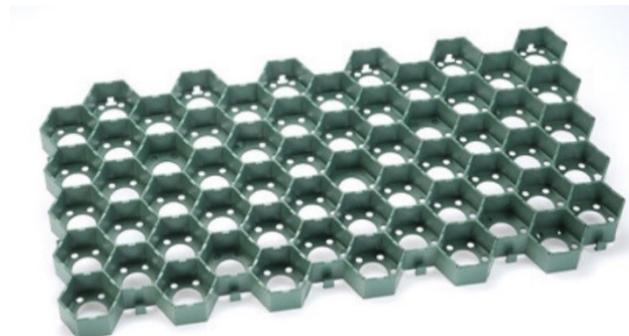


Abbildung 12: Rasengitterplatten (Bildquelle: Funke)<sup>3</sup>

## 2.2.2 Flächige Beläge mit offener Struktur (Asphalt, Beton oder Splitt (verklebt))

### 2.2.2.1 Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt

Befestigungen aus wasserdurchlässigem Asphalt (Abbildung 13) können in ein- oder zweischichtiger Bauweise ausgeführt werden. Die einschichtige Bauweise weist eine gröbere Struktur auf. Hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit sind beide Bauweisen jedoch als gleichwertig zu betrachten. Die zweischichtige Bauweise ermöglicht eine bessere Ebenheit mit feinerer Textur. Dadurch eignet sich die Fläche besser für die Benutzung beispielsweise durch

<sup>2</sup> [www.huebner-lee.de/aussenanlagen-tte-pflaster.html](http://www.huebner-lee.de/aussenanlagen-tte-pflaster.html)

<sup>3</sup> [www.funkegruppe.de/markenbereiche/ctrl/as/cp/bereich/golpla/produkte/golpla-rasengitterplatten.html](http://www.funkegruppe.de/markenbereiche/ctrl/as/cp/bereich/golpla/produkte/golpla-rasengitterplatten.html)

Inlineskater, Einkaufswagen und Fußgänger. Bei zweischichtiger Bauweise sollte die obere Schicht unmittelbar nach der Herstellung der unteren Schicht eingebaut werden, da sie aus Gründen der Wasserdurchlässigkeit nicht mit Bindemittel angesprüht werden darf (vgl. M VV, 2013).

Dieser Asphaltbelag wurde schon zur Lärminderung bei gleichzeitig erhöhter Wasserdurchlässigkeit auf Autobahnen eingesetzt, allerdings ist nach Erfahrungen, z. B. aus Baden-Württemberg<sup>4</sup>, die Haltbarkeit der Asphaltdecke bei den hohen Belastungen zeitlich sehr begrenzt, da das Korngefüge schneller reißt als bei herkömmlichen Asphaltdecken.



Abbildung 13: Durchlässiger Asphalt als Anwohnerstraße (Bildquelle: Sieker)

#### 2.2.2.2 Dränbeton/Durchlässiger Beton

Befestigungen aus Dränbeton (Abbildung 14) werden i. d. R. in einschichtiger Bauweise aus einem sogenannten haufwerksporigen Beton mit und ohne Polymerzusatz (PM) hergestellt. Bei haufwerksporigem Beton ist die Gesteinskörnung vom Zementleim bzw. -mörtel umhüllt und berührt sich in dichtester Lagerung punktförmig; sie ist dadurch nicht gefügedicht und somit wasserdurchlässig.

---

<sup>4</sup> <https://www.staatsanzeiger.de/nachrichten/wirtschaft/fluesterasphalt-ist-fluch-und-segen-zugleich/>



Abbildung 14: Detailaufnahme von Dränbeton. Quelle: Dränbeton – Versickerungsfähige Verkehrsflächen aus Transportbeton (YouTube 2015)

### 2.2.2.3 Fester Kiesbelag/TerraWay®

Feste Kiesbeläge, wie z.B. das TerraWay®-Wegesystem (Abbildung 15), wurden speziell zur Herstellung von hochfesten und gleichzeitig hohlraumreichen sowie luft- und wasserdurchlässigen Belägen für Leichtverkehrswege (Gehwege, Spielflächen, Schulhöfe, etc.) entwickelt. Fester Kiesbelag ist so weit verdichtet, dass er auch für PKW-Stellflächen befahrbar ist bei gleichzeitig beibehaltener Versickerungsleistung. Bei höherer Belastung besteht Gefahr des Reißens. Der Belag entsteht durch die Verklebung von Edelsplitten mit einem speziellen Binder. Das Gemisch wird ähnlich einem Estrich eingebaut.

Durch den festen Kiesbelag wird das Niederschlagswasser direkt in die darunter befindliche Ausgleichsschicht geleitet und versickert dort, je nach Untergrund, sofort oder verzögert. Durch diesen Belag erfolgt also eine Entspannung der Abflusssituation, der Lebensraum von Pflanzen und Baumwurzeln wird nicht gestört, der Gasaustausch im Boden wird nicht behindert und dem Boden fließt der natürliche Niederschlag zu.

Abbildung 15: TerraWay<sup>5</sup>

#### 2.2.2.4 Wassergebundene Deckschichten

Wassergebundene Deckschichten oder wassergebundene Wegedecken (Abbildung 16) bestehen aus Sand, Kies – Sand oder Splitt – Sand – Gemischen. Durch den Einsatz von Feianteilen als Bindemittel reduziert sich die Versickerungsfähigkeit der eingesetzten Materialien je nach Anteil. Wassergebundene Deckschichten werden häufig in öffentlichen Parks sowie im privaten Gartenbau eingesetzt.



Abbildung 16: Wassergebundene Wegedecke in Berlin Gärten der Welt (Bildquelle: tegra)

---

<sup>5</sup> <https://terra-way.de/produktinformationen/>

#### 2.2.2.5 Loser Kiesbelag / Schotterrasen

Bei Schotterrasen (Abbildung 17) handelt es sich um ein begrüntes, versickerungsaktives und tragfähiges Schotterbett (bestehend aus gebrochenen Körnern) in einer Tiefe von 30 bis 50 cm. Das kann als Alternative zu Asphalt- oder Plattenbelägen für PKW-Stellplätze oder wenig genutzte Zufahrten verwendet werden, da der Belag nur mäßig belastbar ist. Loser Kiesbelag ist eine nicht verdichtete Schüttung.

Die Ausführung des Schotterrasens ermöglicht eine anteilmäßige hohe Teilversickerung des Niederschlagswassers und Luftaustausch für das Pflanzenwachstum.



Abbildung 17: Schotterrasen Parkplatz BOKU Wien (Bildquelle: BOKU Wien)

#### 2.2.2.6 Schottergarten versickerungsoffen

Bei Schottergärten (Abbildung 18) handelt es sich i. d. R. um ein nicht, wenig oder punktuell begrüntes Schotterbett, welches prinzipiell versickerungsaktiv sein kann. Um einen spontanen ungewollten Fremdbewuchs zu verhindern, werden die Schottergärten unterhalb der oberen Schotterschicht mit wasserdurchlässigem Geotextil und Vlies und oft noch mit wasserundurchlässigen Durchwurzelungsschutzfolien abgedichtet. Letzteres verhindert weitgehend die Versickerung, welche dann nur an den seitlichen Rändern erfolgen kann. Eine Begrünung der Schotterschicht wird verhindert. Geschieht dies mit einem Wurzelschutzvlies, ist zumindest die Versickerung zusätzlich durch das Vlies möglich. Es ist auch möglich die Folie punktuell zu schlitzten, um Büsche zu platzieren. In der Regel wird weiterer Spontanbewuchs versucht auszuschließen.



Abbildung 18: Schottergarten, punktuell bewachsen (Bildquelle: Sieker)

## 2.3 Tabellarische Zusammenfassung der Bauweisen

Die im vorhergehenden Abschnitt aufgeführten Bauweisen und Systeme werden in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst und um Aussagen zur Recyclingfähigkeit der Materialien ergänzt. Im Kap. 3.7 werden genauere Ausführungen zum Einsatz von RC-Baustoffen getätigt.

Tabelle 1: Übersicht zur Bauweise und Recyclingfähigkeit von teilversiegelten Bodenoberflächenarten

Versiegelungsart	Material/ Beschreibung	Versickerungsart	Recyclingfähigkeit
<b>Pflastersteine (zusammengesetzt aus Einzelelementen)</b>			
Fugenversickerung			
Pflaster mit dichten Fugen / Flächen mit Platten	Pflastersteine/Platten	Geringe Versickerung über kleine Fugen zwischen Steinen	Recycling von Pflastersteinen möglich
Pflaster mit offenen Fugen, klein (< 6mm)	Pflastersteine	Versickerung über Sickerfugen zwischen Steinen	Recycling von Pflastersteinen möglich
Sickerfugenpflaster mit großen Fugen (≥ 6 mm)	Gefügedichte Pflastersteine	Versickerung über Sickerfugen zwischen Steinen	Recycling von Pflastersteinen möglich
Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen	Pflastersteine mit Löchern/Kammern	Versickerung durch Löcher/Kammern in Steinen	Recycling von Pflastersteinen möglich
Haufwerksporige Steine (Durchlässige Pflastersteine)			
Poröse Betonpflastersteine	Haufwerksporiger Beton	Versickerung über Sickerfugen und offenporiges Steingefüge	Recycling von Beton möglich
Hybridsteine	Spezieller Beton mit porösem Kern	Versickerung durch porösen Kernbeton	Recycling von Beton möglich
Klimastein	Dreischichtiger Aufbau mit Kapillarschicht	Versickerung über Kapillarschicht und Substrat	Recycling von Steinen möglich
Steine mit Sickeröffnungen			
Rasengitterstein/ Rasenkammerstein	Steine mit Öffnungen	Versickerung durch Öffnungen mit Substrat und Begrünung	Recycling von Pflastersteinen möglich
Rasenfugenstein/ Rasenfugenpflaster	Pflastersteine mit Fugen	Versickerung über Fugen mit Substrat und Begrünung	Recycling von Pflastersteinen möglich
Rasengitterplatten/ Q-Gitter	Kunststoff mit Wabenstruktur	Versickerung durch Wabenstruktur	Recycling von Kunststoff möglich
TTE® Pflaster (Hübner-Lee)	Kunststoff mit offenen Fugen/Hohlräumen	Versickerung über offene Fugen/Hohlräume	Recycling von Kunststoff möglich



Versiegelungsart	Material/ Beschreibung	Versickerungsart	Recyclingfähigkeit
<b>Flächige Systeme</b>			
Dränasphalt/ wasserdurchlässiger Asphalt	Asphalt mit offener Struktur	Versickerung durch offene Asphaltstruktur	Recycling von Asphalt möglich
Dränbeton/ durchlässiger Beton	Haufwerksporiger Beton mit Polymerzusatz	Versickerung durch offenes Betongefüge	Recycling von Beton möglich
Fester Kiesbelag/TerraWay®	Verdichtete Splitt- und Kieskörner, mit Binder (verklebt nur die Kanten der Splitt- und Kieskörner)	Oberflächenversickerung über luft- und wasserdurchlässige Schicht	Unbekannt
Wassergebundene Deckschichten	Deckschicht ohne Bindemittel, bestehend aus Sanden, Kies-Sanden oder Splitt-Sand- Gemischen mit Feinanteilen	Oberflächenversickerung (geringe Wasserdurchlässigkeit) führt zu hohem Abfluss bei Starkregen	Unbekannt
Looser Kiesbelag / Schotterrasen	Gebrochenes Kantkorn mit Bepflanzung	Oberflächenversickerung	Unbekannt
Schottergärten, mit Versickerung, bewachsen und unbewachsen	Schotterschicht, unten offen zum anstehenden Boden	Oberflächenversickerung	Unbekannt
Schottergärten, ohne Versickerung, bewachsen und unbewachsen	Schotterschicht, unten mit Folie/Vlies weitgehend geschlossen zum anstehenden Boden	Oberflächeneinsickerung, Versickerung in den anstehenden Boden nur bedingt durch Pflanzschlitze in der Folie möglich	Unbekannt

\*Verweise auf Wasserdurchlässigkeit in Kap. 9.2

## 2.4 Tabellarische Zusammenfassung der Einsatzbereiche von teilversiegelten Bodenoberflächenarten

Die nachfolgende Tabelle (Abbildung 19) gibt einen Überblick über die Systemeignung von **Pflaster mit kleinen und großen Sickerfugen, Pflaster mit Sickerfugen oder Sickeröffnungen, Rasengittersteine** und **Pflaster aus haufwerksporigen Pflastersteinen**. Es wird bewertet, ob die jeweiligen Pflastersysteme für die Verkehrsbeanspruchung und **sonstige Nutzung (z. B. Wohnweg, Rad-/Fußweg)** geeignet sind. Die Steindicken für Sickerpflaster der verschiedenen Hersteller bewegen sich hierbei i. d. R. zwischen 8 und 10 cm.

**Dränasphalt** wird hauptsächlich aus Lärmschutzgründen eingesetzt. Dies geschieht vornehmlich bei Straßen ab 50 km/h mit höheren Belastungen. Auf Autobahnen wurde dabei ein höherer Verschleiß als bei konventionellem Asphalt beobachtet. **Dränbeton** als Oberflächenbelag kommt nur sehr selten zum Einsatz. Allerdings findet sich Dränbeton als wasserdurchlässiger Unterbau von Straßen.

Alle anderen Systeme wie die **flächigen Versickerungssysteme (lockerer Kies, fester Kiesbelag/TerraWay®, wassergebundene Deckschichten, Schotterrasen, Schottergärten)** werden in den genannten Arten des Straßenbaues (z. B. Wohnstraße, Sammelstraße) **nicht eingesetzt**, weil sie der Belastung nicht standhalten können. Sie können aber als **begehbare Flächen der Nutzungskategorie N1 zugeordnet** werden. In Ausnahmefällen können sie nach Verdichtung auch bei **PKW-Stellplätzen bis 3,5 t (analog Nutzungskategorie N2)** eingesetzt werden.

**Begrünter Schotterrasen** z. B. wird oft für Feuerwehruzufahrten verwendet und ist somit der **Nutzungskategorie N3** zuzuordnen.

Verkehrsfläche		Nutzung, Beanspruchung oder Beispiele	Systemeignung		
			1	2	3
nach RStO, 2012	Fahrbahnen Bk0,3	Wohnweg, Wohnstraße	+	+	o
	Fahrbahnen Bk1,0, Bk1,8 <sup>1)</sup>	Wohnstraße, Sammelstraße, Quartiersstraße, Dörfliche Hauptstraße	+	o	o
	Geh- und Radwege	Radfahrer, Fußgänger, gelegentliche Nutzung <sup>2)</sup> durch Wartungs- und Unterhaltungsfahrzeuge, Überfahrten durch Müllfahrzeuge u. ä.	+	o	+
	Abstellflächen Bk0,3	Pkw-Verkehr, Wartungs- und Unterhaltungsfahrzeuge, Überfahrten durch Müllfahrzeuge u. ä.	+	+	o
nach ZTV-Wegebau, 2013	Nutzungskategorie N 1	begehbare, nicht mit Kfz befahrbare Flächenbefestigungen, z. B. Terrassen, Gartenwege, Parkanlagen	+	+	+
	Nutzungskategorie N 2	befahrbare Flächenbefestigungen für Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, z. B. Garagenzufahrten, PKW-Stellplätze	+	+	o
	Nutzungskategorie N 3	wie N 2, jedoch gelegentliche Befahrungen <sup>2)</sup> durch Fahrzeuge bis 20 t zulässiges Gesamtgewicht mit Radlasten ≤ 5 t z. B. Pflege-, Instandhaltungs- und Rettungswege sowie Feuerwehr-, Garagen- und Gebäudezufahrten	+	+	o
industrielle und gewerbliche Flächen		ständig vom Schwerverkehr genutzte Flächen, z. B. Rangierflächen an Verteilerzentren, Bauhöfe) ggf. in Bk1,0 oder Bk1,8 erstellt <sup>1)</sup>	+	o	o
		Flächenbefestigungen für Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, z. B. Parkplätze des Handels	+	+	o
sonstige Wege und Abstellflächen		Feuerwehruzufahrten, Rettungswege, Wartungswege, Aufenthaltsflächen und Wege im Wohn- und Geschäftsumfeld	+	+	o
System 1: Pflasterdecke mit Sickerfugen System 2: Pflasterdecke mit Sickerfugen und Sickeröffnungen System 3: Pflasterdecke aus haufwerksporigen Pflastersteinen + System geeignet o System bedingt geeignet					
<sup>1)</sup> Der Einsatz von versickerungsfähigen Befestigungen kann nach Einzelfallprüfung grundsätzlich möglich sein. <sup>2)</sup> Als gelegentliche Nutzung oder gelegentliches Befahren kann bezeichnet werden: Rd. 2.000 bis rd. 32.000 Lastwechsel infolge Kfz-Verkehr (Überrollungen durch Radlasten bis maximal 5 t) innerhalb der geplanten oder angestrebten Nutzungsdauer.					

Abbildung 19: Anwendungsbereiche von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen und Empfehlung zur Systemeignung, Bk (Bauklasse) SLG 2020

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Einsatzbereiche der betrachteten teilversiegelten Oberflächenbeläge hinsichtlich der Einsatzorte dargestellt. Diese Zusammenstellung spiegelt die Empfehlungen aus der RStO (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012) und der ZTV-Wegebau (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs, 2022, FLL) wider. Dabei werden auch die unterschiedlichen Belastungen berücksichtigt, die natürlich auch einen Einfluss auf die Lebensdauer der Systeme haben.

Tabelle 2: Einsatzbereiche unterschiedlicher teilversiegelter Oberflächenbeläge

Kategorie	Versiegelungsart	Einsatzbereiche G = Gehweg, R = Radweg, P = Parkplatz, E = Einfahrten, S= Straße; Ö = Öffentliche Plätze											
		geringe Nutzung						intensive Nutzung					
		G	R	P	E	S	Ö	G	R	P	E	S	Ö
Zusammengesetzt aus Einzelelementen	Pflaster mit dichten Fugen/Flächen mit Platten	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Pflaster mit offenen Fugen, klein < 6 mm	✓	-	✓	✓	✓	o	✓	-	o	✓	-	o
	Sickerfugenpflaster, große Fuge ≥ 6 mm	✓	-	✓	✓	✓	o	✓	-	o	✓	-	o
	Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-
	Poröse Betonpflastersteine	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Hybridsteine	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Klimastein	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Rasengitterstein/Rasenkammerstein	-	-	✓	✓	-	-	-	-	o	✓	-	-
	Rasengitterplatten/Q-Gitter	-	-	✓	o	-	-	-	-	o	o	-	-
Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster/TTE® Pflaster	-	-	✓	✓	-	-	-	-	o	✓	-	-	
Flächige Systeme	Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Dränbeton/durchlässiger Beton	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Schottergärten versickerungs offen	-	-	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fester Kiesbelag, Terraway®	✓	✓	o	o	-	-	✓	-	-	✓	-	o
	Wassergebundene Deckschichten	✓	✓	✓	✓	o	o	-	-	-	✓	-	o
	Looser Kiesbelag/Schotterrasen	✓	o	✓	✓	-	o	-	-	-	✓	-	o
	Schottergärten, geringe Versickerung	-	-	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-

✓	geeignet
o	bedingt geeignet
-	nicht geeignet

### **3 AP 2 und 3 – Literaturrecherche zu Ausmaß und Dauer der Versickerungswirkung sowie zu den positiven und negativen Auswirkungen von in der Siedlungsentwicklung relevanten teilversiegelten Bodenoberflächenarten auf Natur und Landschaft**

Aufbauend auf dem Arbeitspaket 1 werden in Arbeitspaket 2 und 3 auf Basis einer Literaturrecherche die positiven und negativen Auswirkungen der teilversiegelten mit den vollversiegelten Bodenoberflächenarten verglichen und die Auswirkungen auf die Umwelt beschrieben. Betrachtet werden folgende Schutzgüter:

1. Schutzgut Wasser (getrennte Betrachtung von Boden- und Oberflächenwasser)
2. Schutzgut Boden
3. Schutzgut Klima
4. Schutzgut Luft
5. Schutzgüter Flora/Fauna
6. Schutzgut Mensch (Landschaftsbild)

Die Auswirkungsanalyse erfolgt überschlägig in Tabellenform.

Für die Arbeitspakete 3 (Literatur-Recherche zu den positiven und negativen Auswirkungen von teilversiegelten Bodenoberflächenarten auf Natur und Landschaft) und 4 (Ökologische Betrachtungen bei Eingriffen durch Voll- und Teilversiegelung) wurde eine kombinierte Recherche durchgeführt.

Für die Bearbeitung der Arbeitspakete wurde auf vorhandene Studien und Veröffentlichungen aus dem deutschen und internationalen Raum zurückgegriffen. Hier sind u. a. die grundlegenden Arbeiten von Carsten Dierkes (Wirkung von Schwermetallen im Regenabfluss von Verkehrsflächen bei der Versickerung über poröse Deckbeläge, 2000), der FH Bochum und des IKTs aus 2005 sowie Marc Illgen (Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung, Dissertation, 2009) zu nennen. Zusätzlich wurden grundlegende Arbeiten aus den Niederlanden herangezogen. Darauf aufbauend sind verschiedene Untersuchungen von unterschiedlichen Herstellern zur Reinigungsleistung und zum Schadstoffrückhalt der unterschiedlichsten versickerungsfähigen Beläge veröffentlicht. Des Weiteren gibt es mittlerweile viele weitere internationale Veröffentlichungen, die beispielhaft dargestellt sind.

Ein mittlerweile abgeschlossenes Projekt „Versickerungsfähige Verkehrsflächen im öffentlichen Straßenraum“ im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe floss auch in die Bearbeitung der Recherche ein. Im Rahmen dieses Projektes wurden u. a. umfangreiche Versickerungsversuche zu unterschiedlichsten Pflasterbelägen durchgeführt.

Ferner flossen in die Beurteilung und Bewertung die Dissertation von Herrn Dr. Sommer zum Thema Behandlung von Niederschlagswasser von Straßen sowie verschiedenste Projekte zur Filtration von Niederschlagswasser ein. Weiterhin kommen die Erfahrungen aus den zusammenhängenden Projekten LEIREV 2016 und Konvert 2021 zum Tragen. In beiden Forschungsprojekten wurden großflächige

Infiltrationen und die Wirkung der Reinigungsleistung von technisch hergestellten Versickerungsanlagen mit Böden untersucht.

Im Einzelnen betrachtet werden die Eigenschaften der Teilversiegelungsmaterialien im Hinblick auf die Steigerung der Aufnahme des Niederschlags, die Weiterleitung des Niederschlags in Richtung Grundwasser oder in angrenzende vegetationsbestandene Nutzungen sowie die in einem gewissen Umfang ebenfalls mögliche Niederschlagsverdunstung. Die Betrachtung der verschiedenen teilversiegelten Bodenoberflächenarten unter diesen Aspekten erfolgt anhand des **Versickerungs- bzw. Abflussanteils** sowie anhand des **Wasserrückhalts bei Starkregenereignissen**. Sie ist für sämtliche betrachtete Teilversiegelungsarten anwendbar. Damit verbunden sind positive Effekte auf die Naturgüter (s. Kap. 4).

Entsprechende Teilversiegelungsmaterialien können im fortschreitenden Klimawandel insbesondere im Siedlungsraum (Plätze, Wege, untergeordnete Straßen) einen wertvollen Beitrag dabei leisten, die nutzungsbedingt erforderliche Versiegelung möglichst abflussarm und somit „klimaangepasst“ zu gestalten.

### 3.1 Schutzgut Wasser

Betrachtet werden die drei Größen **Verdunstung**, **Versickerung** sowie **Abfluss**. Die Literaturrecherche hat ergeben, dass die meisten Studien zur Versickerungswirkung von teilversiegelten Oberflächenarten vorliegen. Daher wird diese Größe, die zudem direkt auch den Anteil des rasch abfließenden Wassers beeinflusst, vorrangig für die Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen von teilversiegelten Oberflächenarten auf das Schutzgut Wasser verwendet.

Die wesentlichen Aspekte der Literaturrecherche sind in Kap. 9.2.1 im Anhang beschrieben. Die hieraus und aus den Ergebnissen der in Kap. 4 beschriebenen Auswirkungen der teilversiegelten Oberflächenmaterialien auf das Schutzgut Wasser hinsichtlich ihrer Versickerungsleistung lauten wie folgt:

Tendenziell positiv auf die Versickerungsleistung im Verhältnis zu vollversiegelten Flächen wirken alle teilversiegelten Oberflächenmaterialien mit flächiger Versickerung und Sonderbauweisen, die eine gut wasserdurchlässige Gefügestruktur besitzen, ebenso Pflasterbauweisen mit einer mindestens 6 mm breiten Fuge. Diese Angaben beziehen sich auf den Neubauzustand. In der Bewertung in den anschließenden Tabellen wird aber auch die erfahrungsgemäß zu erwartende Leistung nach 10 - 20 Jahren Standzeit (ohne übermäßige Belastung) berücksichtigt. Zu diesem Zeitpunkt besitzen sie sehr hohe **Versickerungsleistungen bis zu weit über 1.000 l/(s\*ha)**..

- **Rasengitter mit Boden („Rasengitterstein/Rasenkammerstein“, „Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster“)** auf Grund des großen Anteils an Versickerungsfläche (Versickerungsleistung: > 1.000 l/(s\*ha))
- **Haufwerksporige Betonsteine mit grobem Aufbau** (Poröse Betonpflastersteine) (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Rasengitter mit Boden)
- **Haufwerksporige Betonsteine mit feiner Vorsatzschicht** („Hybridsteine“ „Klimastein“) (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Rasengitter mit Boden)
- **Pflaster mit offenen Fugen mit mind. 6 mm Breite** (Versickerungsleistung: > 3.000 l/(s\*ha))
- **Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt und Dränbeton/durchlässiger Beton** (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Pflaster mit mind. 6 mm breiter Fuge)
- **Schottergärten mit Versickerung, ohne Folie, mit Vlies** (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Pflaster mit mind. 6 mm breiter Fuge)
- **Schotterrassen** (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Pflaster mit mind. 6 mm breiter Fuge)
- **Spezielle Produkte Fester Kiesbelag/TerraWay® und TTE Pflaster** (Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen) (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Pflaster mit mind. 6 mm breiter Fuge)

Eine vergleichsweise noch gute Versickerungsleistung im Verhältnis zu vollversiegelten Flächen weisen alle Pflasterbauweisen mit einer Fugenbreite von unter 6 mm, ebenso teilversiegelte Oberflächenarten

mit flächiger Versickerung, bei denen die Versickerungsleistung schon durch die Gefügestruktur oder Folien stark vermindert ist. Ihre **Versickerungsleistung** ist mit Werten **zwischen 270 und 1.000 l/(s\*ha) im Neubau vergleichsweise etwas geringer und neigt im Betrieb schneller zur Verringerung unter 270 l/(s\*ha):**

- **Pflaster mit offenen Fugen und einer Fugenstärke unter 6 mm** (Versickerungsleistung: 270 – 1.000 l/(s\*ha))
- **Schottergärten, geringe Versickerung** (Versickerungsleistung: vergleichbar mit der von Pflaster kleinen offenen Fugen). Die Anwendung ist mittlerweile eher selten. Sie geben das eingesickerte Wasser nur langsam durch das dichte Vlies oder seitlich an den Boden ab und auch bei Bepflanzung wird durch die Pflanzschnitte in den Folien das eingesickerte Wasser verlangsamt in den anstehenden Boden abgegeben. Dennoch ist der Anteil des zur Versickerung gelangenden Niederschlagswassers hierbei durch den Speicher im Kies vergleichsweise hoch, aber die Leistung ist geringer als bei einem offenen System. Dieser Anteil verringert sich noch bei Einsatz von Folien, die nicht für die Bepflanzung geschlitzt sind.
- **Wassergebundene Decken** versickern insgesamt eher langsam. Aufgrund des Substrates erfolgt eine Versickerung vorrangig bei geringen Niederschlägen (bis ca. 3 - 5 mm) mit geringer Intensität, wohingegen sie bei stärkeren Niederschlägen stark abflusswirksam sind. (Versickerungsleistung: 1\*10 - 6 m/s (1 l/(s\*ha))). Trotzdem ist der Anteil in Summe relativ hoch. Bei Starkregen ist die wassergebundene Decke stark abflusswirksam.

Geringere Versickerungsleistungen weist folgender teilversickerungsfähiger Belag auf:

- **Pflaster mit dichten Fugen** (Versickerungsleistung: < 270 l/(s\*ha))

**Festzuhalten ist, dass alle Systeme, außer Pflaster mit dichten Fugen oder wassergebundene Deckschichten die Mindestanforderung von 270 l/(s\*ha) erfüllen.** Die Aussagen zur Versickerungswirkung von wassergebundenen Decken beruhen auf der Einstufung nach DWA-M 102-4. Für Schottergärten mit Versickerung, Schotterrasen und zu den speziellen Produkten (z. B. TerraWay®) beruhen sie auf einer fachgutachterlichen Einschätzung, weil hierzu Untersuchungen in der Literatur nicht oder nicht ausreichend auswertbar vorliegen. Dabei wurden Analogieschlüsse zu vergleichbar wirksamen teilversiegelten Oberflächenmaterialien angestellt.

Hinzuweisen ist darauf, dass bei den Pflasterbauweisen die Versickerungsleistung mit der eingetragenen Menge an Feinstoffen abnimmt, aber die Reinigung der Oberflächen und der Austausch an Fugenmaterial die Versickerungsleistung auf 60 – 80 % der ursprünglichen Versickerungsleistung wieder deutlich erhöht.

### 3.2 Schutzgut Boden

Betrachtet werden die **Partikelbindung, Wasserspeicherung und Filterfunktion**. Die Literatur-Recherche hat hierzu ergeben, dass die meisten und auch ausreichend auswertbare Studien zur Partikelbindung vorliegen. Daher wird die Schadstoffbindung von teilversiegelten Oberflächenarten,

die zudem den Schutz des Bodenwassers und Grundwassers vor Schadstoffeinträgen beeinflusst, vorrangig für die Bewertung der Auswirkungen von teilversiegelten Oberflächenmaterialien auf das Schutzgut Boden betrachtet.

Bei neu hergestellten Straßen sowie Wegen und Plätzen (Kap. 2.4) wird das Planum derart verdichtet, dass das Wasser bei schlecht sickerfähigem Untergrund weitgehend auf dem mit Gefälle hergestellten Planum abgeleitet wird. Direkt unterhalb des Weges/der Straße findet daher bei Starkregen keine nennenswerte Versickerung statt (sondern vorwiegend eine Ableitung) und auch die Bodenfunktionen sind eingeschränkt. Bei gut sickerfähigen Böden kann trotz Verdichtung gerade bei schwachen Niederschlägen noch ein nennenswerter Anteil versickert werden.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in Kap. 9.2.2 und in Kap. 9.2.4 im Anhang beschrieben. Die hieraus abgeleitete Beschreibung der Auswirkungen der teilversiegelten Oberflächenmaterialien auf das Schutzgut Boden hinsichtlich ihrer Schadstoffbindung sowie ihrer Fixierung von Kohlenwasserstoffen und pathogenen Krankheitserregern (z. B. Enterokokken) lautet wie folgt:

Tendenziell positiv auf den Stoffrückhalt im Boden (Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, pathogene Keime) im Vergleich zu vollversiegelten Flächen wirken folgende teilversiegelte Bodenoberflächenarten:

- Böden in bewachsenen teilversiegelten Oberflächenarten (z. B. Rasengittersteine, Kunststoffgitter, TTE-Pflaster, Betonsteine mit Rasenfugen) weisen i. d. R. eine sehr gute Filterwirkung für Schwermetalle wie Blei und Kupfer in Höhe von ca. 80 – 90 % auf. Auch Betonpflastersteine mit Fuge besitzen eine ähnlich hohe absorbierende Wirkung für Schwermetalle.
- DIBt zugelassene poröse Betonsteinpflasterarten (Pflaster mit Fugen  $\geq 6$  mm oder großen Öffnungen) werden auf Schwermetallrückhalt geprüft und erzielen auch gute Rückhaltewerte, was auf den verwendeten Werkstoff Beton zurückzuführen ist.
- Versickerungsfähiges Pflaster mit einer Fugenbreite von  $\geq 6$  mm hat ebenfalls eine Rückhaltefunktion für Schwermetalle an der Oberfläche, die aber durch die höhere Durchlässigkeit des Splitts in der Fuge in der oberen Schicht geringer ist.
- Die zweite Rückhaltungsebene aller Anlagen mit Sickerfugen und Sickerfenster (mit Splitt) findet sich in der Tragschicht. Bei Bodensubstraten dienen diese als Reinigungsschicht.
- Zur Verteilung im Aufbau der teilversickerungsfähigen Oberflächen kann Folgendes gesagt werden. Blei wird zu 75 % im Stein gebunden, während dies für Kupfer und Zink nur zu ca. 40 – 50 % der Fall ist. Immerhin verbleiben für letztere noch 10 – 15 % in der Fuge. Cadmium verhält sich hier am mobilsten. Hier findet sich der größte Anteil in einer Kalksteintragschicht unterhalb der Teilversiegelung.
- Generell weisen rasenartige Systeme (z. B. Rasengittersteine, Kunststoffgitter, TTE-Pflaster, Betonsteine mit Rasenfugen) mit Oberboden oder Substraten mit Feinstoffanteilen eine bessere Schadstoffrückhaltung - insbesondere bezüglich der Schwermetalle Kupfer und Blei - als z. B. poröse oder flächige Versickerungssysteme oder als versickerungsfähiges Pflaster mit Fugenbreiten von mindestens 6 mm auf. Zurückzuführen ist das darauf, dass diese Stoffe in der flächigen Bodenmatrix besser als in der anteilmäßig kleineren Fuge (gesplittet) zurückgehalten werden können. Der Schadstoffrückhalt in Rasensystemen mit Bodenmatrix kann mit dem von natürlich

gewachsenen Böden vergleichbar sein, hängt jedoch von der Zusammensetzung der Bodenmatrix, dem Rasensystem und den spezifischen Schadstoffen ab. Bei flächigen Versickerungssystemen und bei Pflastersteinen mit offenen Fugen ist er um ca. 20 % geringer. Hier werden die Stoffe eher in die Bettung verlagert (s. o.).

- Dränasphalt oder Dränbeton kann in den Poren zudem Feinstoffe (z. B. Feinstaub aus dem Niederschlagswasser) zurückhalten. Dies erfolgt zu Lasten der Versickerungsleistung. Zusätzlich kann das Betonmaterial durch Alkalinität auch dem Rückhalt gelöster Schwermetalle dienen.
- Grundsätzlich weisen zudem alle versickerungsfähigen Teilversiegelungsmaterialien, außer unbewachsener Schotter, eine gute Rückhaltefunktion für Kohlenwasserstoff und pathogene Keime (z. B. Enterokokken) auf.

Tendenziell positiv auf den Stoffrückhalt im Boden wirken zwar im Vergleich zu vollversiegelten Flächen alle teilversiegelten Oberflächenmaterialien mit geringer Versickerungsleistung (vgl. Kap. 9.2.1). Durch die geringe Versickerungsleistung ist der relativ zur durchsickernden Menge erfolgende Schadstoffrückhalt im Boden tendenziell hoch. Geringe Versickerungsleistung wirkt sich durch den höheren Abflussanteil aber eher negativ auf den Gesamt-Stoffrückhalt aus, weil weniger Schadstoffe in den Boden gelangen oder dort zurückgehalten werden, sondern stattdessen vermehrt oberflächlich abfließen.

Die DIBt-Prüfung erfolgt für die teilversickerungsfähigen Pflasterbeläge aus durchlässigem Material oder mit Fuge unterschiedlicher Art. Diese umfasst auch eine stoffliche Untersuchung zur Rückhaltung von Partikeln und Schwermetallen sowie mineralöhlhaltigen Kohlenwasserstoffen.

Die meisten teilversiegelten Oberflächenarten werden nicht nach dem bauaufsichtlichen DIBt-Prüfverfahren geprüft, weil keine Notwendigkeit der Zulassung besteht. Daher gibt es für diese, es sei denn sie sind in einem Forschungsvorhaben oder zu anderen Gelegenheiten untersucht worden, keine zuverlässigen und gemessenen Angaben zur stofflichen Rückhaltung. Hier muss die Reinigungswirkung über die Filtration durch die Substrate im Analogieschluss des Kontaktes mit dem Beton an der Oberfläche oder im Stein oder auch in der Bettung der zu untersuchten Anlagen abgeleitet werden.

Hinzuweisen ist auch darauf, dass bei Dränasphalt oder Dränbeton zwar eine Besiedlung mit Mikroorganismen mit positivem Effekt auf den Schadstoffrückhalt stattfindet, dies aber zugleich zur zunehmenden Kolmation (Verringerung der Durchlässigkeit durch Ablagerung von Partikeln in Hohlräumen) der Versickerungssysteme führt. Eine Reinigung kann nur bis zu ca. 5 cm Eindringtiefe erreicht werden, was zu einer deutlichen Verbesserung der Durchsatzleistung führen kann. Tiefere Bodenschichten werden bei den Reinigungsverfahren nicht erreicht, so dass bei Tiefenkolmation die Versickerungsleistung trotz regelmäßiger Reinigung mit zunehmendem Alter stark eingeschränkt sein kann.

Nach Dierkes 2000 gelten hinsichtlich der Anforderungen an das Material und die Konstruktion von Versickerungsanlagen zur Berücksichtigung des Boden- und Grundwasserschutzes folgende Empfehlungen, die für die klimaangepasste Siedlungsplanung von Relevanz sind:

#### Empfehlungen zu den Anforderungen an den Boden:

- Für eine Versickerung eignen sich am besten sandige Böden mit einem Ton-/Schluffanteil zwischen 5 % und max. 25 %.
- Die Pufferkapazität des Bodens muss ausreichend hoch sein. Das kann durch einen ausreichend hohen Kalkgehalt oder organischen Gehalt bewirkt werden.
- Der pH-Wert des Bodens darf bei der Versickerung von Verkehrsflächenabflüssen nicht unter 6 sinken, gegebenenfalls ist der pH-Wert durch Aufkalken zu erhöhen.

#### Empfehlungen zu den Anforderungen an wasserdurchlässige Beläge:

- Für Parkplätze, Grundstückszufahrten und Rettungswege sind nach Möglichkeit Rasengittersteine zu verwenden, die den höchsten Stoffrückhalt aller untersuchten Beläge aufweisen. Die Fugenfüllung sollte aus einem hoch durchlässigen Substrat bestehen, um eine ausreichende Sickerleistung zu garantieren.
- Für Anliegerstraßen sind haufwerksporige Betonsteine von der Sickerleistung, der Wartungsfreundlichkeit und dem Stoffrückhalt günstiger als Flächen mit Sickeröffnungen oder erweiterten Fugen.
- Bei Tragschichtschotter sollte das Größtkorn 45 mm nicht übersteigen. Der Anteil an Körnern mit einem Durchmesser von 2 mm sollte zwischen 20 % und 40 % liegen, bei einem Ton- und Schluffanteil zwischen 2 % und 8 %.
- Als bevorzugtes Material sollten kalkhaltige Schotter verwendet werden, die ein hohes Säurepuffervermögen aufweisen.
- Unter dem Oberbau ist eine Geotextil einzubauen, welches den Partikeleintrag in den Oberbau und Austrag aus dem Oberbau verhindert.

Diese von Dierkes ausgesprochenen Empfehlungen gelten auch heute noch und decken sich auch mit den Erfahrungen durch die im Anhang gezeigten Projekte.

### **3.3 Schutzgut Klima**

Betrachtet werden die **Erwärmung/Albedo** und **Verschattung** (s. Kap. 9.2.3 im Anhang). Da die Verschattung von der örtlichen Einzelfall-Situation und nicht von der Art der teilversiegelten Oberflächen abhängt, wird nur der Parameter Erwärmung/Albedo weiter betrachtet.

Das Ergebnis lautet in zusammengefasster Form wie folgt (s. Kap. 9.2.3 im Anhang):

- Die Farbe der Oberfläche ist maßgeblich für die Erwärmung durch Speicherung der Strahlungsenergie. Je dunkler die Farbe desto höher ist die potenzielle Wärmespeicherung.
- Auch die Oberflächenrauigkeit infolge der Porosität der Oberfläche, die für die Wasserspeicher- und Versickerungsfähigkeit des Materials wichtig ist, spielt für Wärme-Speicherung eine Rolle. Je

größer die Poren sind, desto geringer der Albedo-Wert und desto größer ist die potenzielle Wärmespeicherung.

Bei den folgenden teilversiegelten Oberflächen bedarf es zur Bewertung der Auswirkungen auf das Schutzgut Klima einer fachgutachterlichen Einschätzung, weil hierzu Untersuchungen in der Literatur nicht oder nicht ausreichend auswertbar vorliegen. Diese Einschätzungen lauten wie folgt:

Flächen mit Bewuchs (z. B. Rasengittersteine, Q-Gitter, TTE-Pflaster): Durch den Bewuchs wird die Speicherung von Wärme verringert. Der Bewuchs verhindert dabei die Aufnahme der Strahlungswärme durch das Bodensubstrat und wird durch die Verdunstung des gespeicherten Sickerwassers unterstützt. Hierzu zählen z. B. die Teilversiegelungsarten Rasengittersteine, Rasengitterplatten, Sickerpflaster mit begrünten Fugen, begrünte Sonderbauweisen, Schotterrasen und bewachsene Schottergärten. Durch Verdunstung kann die Temperatur zusätzlich reduziert werden. Genauere Untersuchungen fehlen jedoch.

### 3.4 Schutzgut Luft

Das Schutzgut Luft wird bei der Bewertung der Auswirkungen von teilversiegelten Oberflächen nicht gesondert betrachtet, da etwaige Reduktionen von zum Beispiel Fahrzeugabgasen oder Feinstaub-Filterungen aus dem Regenwasser durch teilversiegelte Oberflächen bereits beim Schutzgut Boden abgedeckt sind.

### 3.5 Schutzgut Flora/Fauna (Pflanzen und Tiere)

Beim Schutzgut Flora/Fauna werden die Auswirkungen von teilversiegelten Oberflächenbelägen als Lebensraum für Mikroorganismen und Bienen/Insekten betrachtet. Zusätzlich wird auch die Durchwurzelbarkeit als Bewertungskriterium hinzugezogen.

Hinsichtlich der **Durchwurzelbarkeit** wurden alle Teilversiegelungsmaterialien als hochwertig bewertet, die begrünbare Oberflächen aufweisen (z. B. Rasengittersteine, Q-Gitter, TTE-Pflaster). Auf Grund des vorhandenen Substrates können hier unterschiedliche Pflanzen wachsen.

Bezüglich der Bewertung als **Lebensraum für Bienen/Insekten** lautet das Ergebnis der Literaturrecherche in zusammengefasster Form wie folgt (vgl. Kap. 9.2.4 im Anhang):

- Begrünte bewachsene Teilversiegelungsmaterialien mit Bodensubstraten bieten ein höheres Potenzial für den Aufenthalt von Bienen und Insekten.
- Bewuchs mit geeigneten Blühpflanzen können als Nahrungsquelle für Bienen und Insekten dienen. Grundsätzlich bieten allerdings teilversiegelte Oberflächenbeläge für diese Arten keine ausreichende Nahrungsgrundlage und können von ihnen lediglich als Teillebensraum genutzt werden.

### 3.6 Schutzgut Mensch (Landschaftsbild)

Betrachtet werden die Auswirkungen von teilversiegelten Oberflächenbelägen hinsichtlich des Aspektes des **Erlebens des Ortsbildes**.

Die Literatur-Recherche zeigt hierzu zusammengefasst Folgendes (vgl. Kap. 9.2.5 im Anhang):

- Für das **Ortsbild** ist von Relevanz, dass bewachsene Oberflächen durch die Begrünung ein angenehmeres Empfinden eines naturnäheren Raumes (z. B. Rasengittersteine, Q-Gitter, TTE-Pflaster) ermöglichen; zudem kann die Oberflächengestaltung des Belages gezielt gestaltet werden, um sich dem Ortsbild anzupassen.

### 3.7 Einsatz von RC-Baustoffen

Für den Einsatz von gütegesicherten und zugelassenen RC-Baustoffen (Recycling-Baustoffen) gilt insbesondere die Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV 2021). Darin werden Regelungen für den Einbau von RC-Material in technische Bauwerke zum Schutz der Schutzgüter Boden und Wasser getroffen. Für versickerungsfähige Verkehrsflächen sind bei Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen insbesondere die Regelungen der ErsatzbaustoffV relevant, da durch die Wasserdurchlässigkeit eine mögliche Kontamination der Schutzgüter ausgehen kann.

Als Einsatzbereich sind wasserdurchlässige wassergebundene Decken und Tragschichten ohne Bitumen/Bindemittel genannt. Diese sind in der Regel in stofflicher Hinsicht unkritisch für die Versickerung Richtung Grundwasser.

Die auch genannten, für versickerungsfähige Flächen ebenfalls verwendete „Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecke und Plattenbelägen Straßen- und Wegebau“ und „Bitumengebundene Deck - oder Tragschicht“ spielt eher bei hoher Belastung eine Rolle.

Der Einsatz von RC-Materialien ist für die herkömmlichen Einbauweisen abhängig von der Art des Wasserschutzbereichs, der Untergrundbeschaffenheit und dem Abstand zum zu erwartenden höchsten Grundwasserstand (zeHGW). Im Regelfall ist ein Einsatz von Recyclingbaustoffen außerhalb von Wasserschutzbereichen möglich. Ein Einsatz in den Schutzgebieten III, IIIA oder IIIB setzt eine Prüfung der zuständigen Wasserbehörde (im Regelfall untere Wasserbehörde) voraus, ob eine Ausnahme von bestehenden Ver-/Geboten der Wasserschutzbereichsverordnung erteilt werden kann. Auf Grundlage der erteilten Ausnahmegenehmigung kann dann der Recyclingbaustoff verbaut werden. In Schutzgebieten I ist stets und in Schutzgebieten II im Regelfall kein Einsatz von Recyclingbaustoffen möglich.

Maßgeblich für den zu berücksichtigenden Grundwasserabstand ist der höchste zu erwartende Grundwasserstand (vgl. § 2 Nr. 35). Baugrundaufschlüsse oder die Bewertung des den Baugrund bewertenden Ingenieurbüros sind zur Beurteilung des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes heranzuziehen. Dazu soll auf geeignete Informationen der Länder, wie aktuelle digitale Kartenwerke, Fachinformationssysteme, Behördenauskünfte, qualitätsgesicherte Unterlagen Dritter, z. B. Wasserversorger etc., zurückgegriffen werden. Bei der Bewertung der Grundwasserstände (z. B. bei Angaben zu Flurabständen unter Geländeoberkante) ist zu berücksichtigen, dass die geforderte Grundwasserdeckschicht ab Unterkante des eingebauten mineralischen Ersatzbaustoffes anzusetzen

ist. Dabei ist nachzuweisen, dass auch in der mindestens geforderten grundwasserfreien Sickerstrecke kein Grundwasser ansteht und auch gesichert nicht anstehen wird. Bei eventuellem Vorliegen von Schichtwasser, Stauwasser, schwebendem Grundwasser etc. bedarf es einer Einzelfallprüfung. Weiterhin sind zu erwartende saisonale Schwankungen oder Veränderungen der Grundwasserneubildungsraten aufgrund des fortschreitenden Klimawandels mit einzubeziehen.

Für die Anwendung als Entsiegelungsmaßnahme sind Materialien kritisch, die zur Selbsterhärtung oder Selbstverfestigung neigen und dadurch die notwendige Wasserdurchlässigkeit der entsprechenden Schichten verlieren. Untersuchungen an Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) aus Recycling-Baustoffen in langjährig unter Verkehr befindlichen Fahrbahnbefestigungen haben gezeigt, dass diese Schichten trotz hoher Tragfähigkeit praktisch undurchlässig für Wasser sind (Radenberg et al, 2018). Nach SLV und M VV sind Baustoffgemische aus recycelten Gesteinskörnungen insbesondere für Entsiegelungen durch teilversiegelte Oberflächenbeläge weitgehend ungeeignet (SLG, 2020).

Für die eingesetzten Materialien ist es wichtig, dass sich die Materialien nicht zusetzen und kolmatieren. Es wird empfohlen, natürliche Gesteinskörnungen zu verwenden. Je sortenreiner das eingesetzte Material desto leichter ist eine Wiederverwendung.

Bei der Fragestellung, welche Voraussetzungen für die Umwandlung von Voll- in Teilversiegelung im Siedlungsbestand sowie welche Anforderungen an die Materialklassen für den Unterbau teilversiegelter Bodenoberflächenarten zu beachten sind, ist auf die Bestimmungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) sowie der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) Bezug zu nehmen. Konkrete Hinweise finden sich im Anhang Kap. 9.3, der die Regelungen anschaulich zusammenfasst.

### 3.8 Produkte und Bauweisen

Zusätzlich werden im Anhang Detailinformationen zu aktuell angebotenen Produkten und Bauweisen versickerungsfähiger Verkehrsflächen gegeben, welche i. d. R. eine bauaufsichtliche Zulassung haben (vgl. Kapitel 9.1).

Beschrieben werden im Anhang im Einzelnen der Aufbau der versickerungsfähigen Materialien, das Bettungs-/Fugenmaterial sowie die Anforderungen an den Baugrund, die Neigung (Oberflächen-/Querneigung) sowie an Wartung/Reinigung/Winterdienst.

Bezüglich dieser im Anhang aufgeführten Inhalte lässt sich hier zusammenfassend festhalten, dass teilversiegelte Oberflächen

- im Aufbau i. d. R. aus dem Sickerpflaster mit Fugenmaterial, Bettung, Tragschicht und ggf. Frostschutzschicht auf dem Planum bestehen (s. Tabelle im Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV, 2013)),
- stets mit Randeinfassungen hergestellt werden müssen, um horizontale Verschiebungen zu verhindern (für die Planung und Ausführung solcher Einfassungen: siehe u. a. Merkblatt M FP),
- vorrangig auf durchlässigem Untergrund zu empfehlen sind (eine Flächenversickerung durch das Planum ohne Beeinträchtigung des Unterbaus ist ab einem  $k_f$ -Wert von  $\geq 5 \times 10^{-5}$  m/s möglich), aber auch Lösungen für weniger durchlässigen Untergrund bestehen, z. B. in Form von Dränleitungen zur Entwässerung des Planums,

- vorrangig für Bereiche mit begrenzter Verkehrsbeanspruchung, d. h. für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk0,3 laut RStO 12, sowie für Gehwege, Radwege und andere Flächen inklusive Hofflächen nach den ZTV-Wegebau genutzt werden können,
- eine Oberflächenneigung von 1,0 % zur Gewährleistung einer Notentwässerung und eine maximale Längs- oder Querneigung von 5,0 % zur möglichst vollständigen Niederschlagsversickerung einhalten sollten,
- einige teilversiegelte Oberflächen laut den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) Abwasserbehandlungsanlagen darstellen, die anfallendes mineralölhaltiges Niederschlagswasser physikalisch/chemisch behandeln, bevor es versickert; eingesetzt werden diese teilversiegelten Oberflächen vorrangig in kommunalen Straßen und Gewerbeflächen mit vergleichsweise hohem Schadstoffanfall;
- mit der Zeit bei zunehmender Verstopfung die Niederschlagsdurchlässigkeit der teilversiegelten Bodenoberflächenarten abnimmt, aber mit der richtigen Wartung – z. B. durch Saug- und Spülverfahren – 96 - 99 % der ursprünglichen hydraulischen Leitfähigkeit von zugesetzten Belägen wiedergestellt werden können; eine erstmalige Reinigung mit Kehrmaschinen sollte nach frühestens 12 Monaten Liegezeit erfolgen, damit sich bei teilversiegelten Oberflächen die Fugenfüllung verfestigen kann; bei aufgeweiteten Fugen sollte auf eine Reinigung mit saugenden Maschinen grundsätzlich verzichtet werden.

### 3.9 Zusammenfassende Bewertungsmatrix

Aus den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde eine **Bewertungsmatrix für die einzelnen teilversiegelten Bodenoberflächenarten im Vergleich zu vollversiegelten Flächen** für die Schutzgüter Boden, Klima, Pflanzen, Tiere und Mensch (Landschaftsbild) des Bundesnaturschutzgesetzes erstellt. Die Bewertung erfolgt relativ in einem Ampelsystem und stellt eine fachgutachterliche Einschätzung nach den unter 3.1 bis 3.6 aufgeführten Kriterien zur Bewertung dar. Die in Tabelle 3 aufgeführten Bewertungen sind auf Flächen mit einem Gefälle > 5 % im Einzelfall zu prüfen. Hierbei sind **stark positive** Auswirkungen grün, **positive** Auswirkungen gelb und **neutrale** Auswirkungen rot markiert. Bei keiner Teilversiegelungsart wird eine komplett wasserdichte Unterbauweise angenommen. Sie sind zum Teil begrünt und besitzen nur bei schlecht sickerfähigen anstehenden Böden eine Drainage.

Im Ergebnis zeigt sich, dass gerade für die Schutzgüter Wasser und Boden gegenüber den übrigen Schutzgütern Pflanzen/Tiere oder Mensch (Landschaftsbild) besonders positive Effekte durch die Verwendung von teilversiegelten Oberflächenmaterialien im Vergleich zu nicht versickerungsfähigen Vollversiegelungen entstehen können. Diese positiven Effekte betreffen insbesondere den vermehrten Rückhalt der Niederschläge am Ort ihres Eintreffens durch Versickerung (entsprechende Bodenoberflächenarten weisen somit einen verringerten Anteil des Niederschlagabflusses auf). Auch zum Stoffrückhalt und darüber zum Schutz des Boden- und Grundwassers vor schädlichen Einträgen (z. B. Schwermetalle) können teilversiegelte Bodenoberflächenarten beitragen. Für die Klimaanpassung bzw. für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung kommt ihnen daher eine besondere Bedeutung zu, zum Beispiel durch die Minderung von Starkregenabflüssen. Hingegen



Erläuterungen zur Tabelle 3:

Die **Spalte Versickerung/Grundwasser** bewertet die Fähigkeit eines Systems, Regenwasser in den Boden zu versickern und somit auch positiv zum Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt beizutragen. Laut der Tabelle 10 erhalten Teilversiegelungsarten nach einer Gebrauchsdauer von 10 - 20 Jahren mit  $< 270 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$  eine neutrale Bewertung (rot) oder je nach fachgutachtlicher Bewertung eine positive Bewertung (gelb) und die mit  $270 - 1.000 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$  eine stark positive (grün).

In der **Spalte Dämpfung/Abfluss zum Oberflächengewässer** wird bewertet, wie gut das System Oberflächenabfluss minimiert. Maßgeblich für die Bewertung ist daher die Versickerungsleistung im Falle von Starkregenereignissen. Eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Teilversiegelungsarten bezüglich dieser beiden Bewertungskriterien ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Die **Spalte Filterfunktion/AFS63** bewertet, wie gut das System Schadstoffe (der Kategorie AFS63) aus dem Regenwasser filtert und zurückhält sowie Feinstoffe und andere Schadstoffe aus der Luft bindet. AFS63 bezeichnet die feine Fraktion der abfiltrierbaren Stoffe, die kleiner als  $63 \mu\text{m}$  sind. Die Bindung von Feinstoffen ist bei den meisten Teilversiegelungsarten stark positiv (grün) und abhängig von der Oberflächenstruktur durch Bewuchs, Partikel- und Porengröße sowie der Porosität als auch der Durchwurzelung. Die Bewertung dieser Funktion beruht auf Grundlage zweier Kriterien.

1. Mehr oberflächennaher Rückhalt durch Filtration.

2. Flächige Verlagerung durch die grobe Oberflächenstruktur in den Unterbau. Nicht bewachsene Systeme mit groben Strukturen, wie z.B. Schottergärten, werden hier auch noch positiv (gelb) bewertet, da der notwendige bauliche Unterbau als Rückhalteraum dient. Der weitere Transport ist abhängig von der Versickerungsleistung von weiteren darunter liegenden Bodenschichten oder eventuellen Geotextilien.

Die teilversickerungsfähigen Beläge werden in eine Bettung aus z. B. Sand 1-4 mm oder Splitt 2-5 mm gesetzt und die Fugen verfüllt.

Der Unterbau besteht, je nach Anforderung, aus einer Frostschuttschicht (z. B. Recycling) und aus einer Tragschicht (z. B. Schotter oder Kies). Zum Teil werden Geotextile als Trennlage zum bestehenden Boden eingesetzt. Diese können auch feinere Partikel zurückhalten. Die Art des anstehenden Bodens ist ortsabhängig.

Die **Spalte Speicherung Wasser** zeigt die Fähigkeit eines Systems, Wasser im Boden bzw. im Belag zu speichern. Eine gute Wasserspeicherung kann die Verdunstung und lokale Kühlung unterstützen sowie die Resilienz von Vegetation in Trockenperioden erhöhen. Das Wasser im Boden beeinflusst das Milieu für Mikroorganismen und Bodenlebewesen, was wiederum die Filterung beeinflusst. Bei Schottergärten mit langsamerer Versickerung ist die Verzögerung der Versickerung durch eine teilweise Abdichtung für eine oberflächennahe Bepflanzung positiv. Letztendlich gelangt das einsickernde Wasser in das Grundwasser. Bei festen Kiesbelägen wird das Wasser schnell versickert und auf Grund der Porenstruktur nur zu einem geringen Anteil zwischengespeichert. Gleiches gilt auch für Dränbeton oder Dränasphalt. Das Wasser ist nicht mehr oberflächlich verfügbar.

Die **Spalte Albedo/Porosität** bewertet die Fähigkeit eines Systems, Sonnenstrahlung zu reflektieren (Albedo) und den Einfluss der Porosität auf die Albedo-Wirkung der einzelnen Teilversiegelungsarten. Eine hohe Reflexionsfähigkeit ist i. d. R. verknüpft mit einer geringeren Porosität. Böden mit

begrüntem Fugen haben zwar eine hohe Porosität, der erhöhten Erwärmung der Oberfläche kann aber durch den Bewuchs entgegengewirkt werden. Hier ist sowohl die Verdunstungskühlung als auch die Verschattung durch den Bewuchs entscheidend. Für Schottergärten wurden dunkle Steine mit geringer Albedo angenommen.

In der **Spalte Durchwurzelung** zeigen die Bewertungen, wie stark ein System das Durchdringen von Pflanzenwurzeln ermöglicht und somit auch die Stärkung mit niedrigwüchsiger Bepflanzung gefördert wird. Schottergärten werden hier als unbepflanzt betrachtet. Eine dichte Bepflanzung kann die Einschätzung für die Durchwurzelung in den Pflanzbereichen nach Einbringen von zusätzlichem Bodenmaterial verbessern.

Die **Spalte Bienen, Insekten** bewertet, wie gut das Material einen Lebensraum für Bienen und andere Insekten bietet. Genauer wird dies in Kapitel 9.2.4.3 beschrieben. Die Funktion der Teilversiegelungsarten als Lebensraum für Mikroorganismen wurde im Rahmen der Bewertung dieses Kriteriums nicht berücksichtigt.

In der **Spalte Naturnähe/Landschaftsbild erleben** zeigt die Bewertung, wie stark ein Material zur Erhaltung oder Förderung einer naturnahen Landschaft beiträgt und inwieweit die Charakteristik und Eigenart einer (Stadt)Landschaft beeinträchtigt wird. Die Barrierefreiheit spielte in der Bewertung keine Rolle.

## 4 AP 4 – Ökologische Betrachtungen bei Eingriffen durch Voll- oder Teilversiegelung von Bodenoberflächen

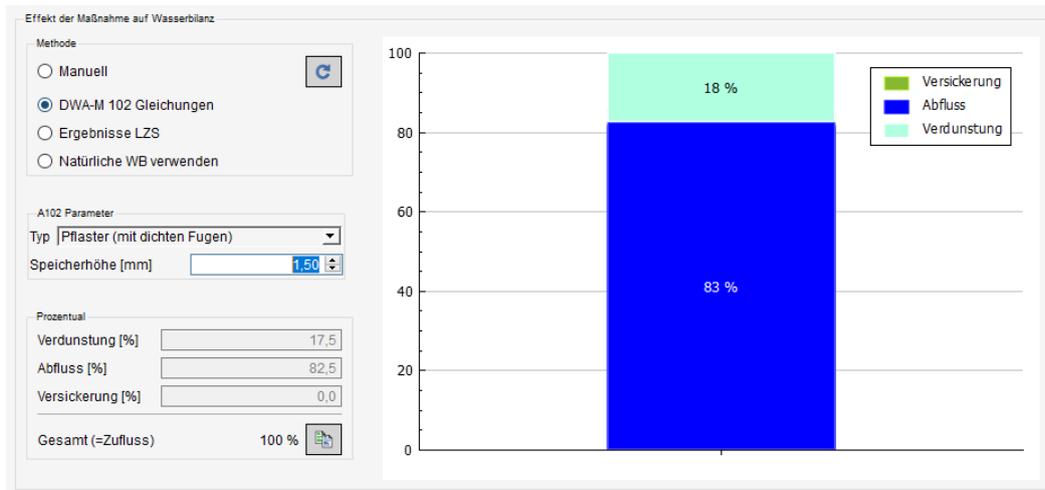
Die vorausgehende Literaturanalyse hat gezeigt, dass sich bei der Verwendung von teilversiegelten Oberflächenmaterialien in erster Linie positive Effekte auf die Versickerung ergeben. Daher wird dieser für die Klimaanpassung besonders relevante Parameter im Folgenden bei der Entwicklung von Bilanzierungsansätzen für das Schutzgut Klima (hier bezogen auf die Klimaanpassung) weiter herangezogen.

Festzustellen ist allerdings auch, dass nicht zu allen teilversiegelten Materialien Hinweise zur Versickerungsleistung und auch keine einheitliche Methodik zur Bewertung von teilversiegelten Materialien im Hinblick auf die Versickerungsleistung und damit auf die Abflussreduzierung existieren. Um auf diesem für die Bewertung der Klimaanpassungsfunktion besonders wichtigem Gebiet dennoch eine transparente Auswirkungsprognose durchführen zu können, wird auf das Merkblatt DWA-M 102-4, dem Merkblatt für Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, zurückgegriffen. In ihm ist mit dem Teil 4 die Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers eingeführt worden. Als wasserhaushaltsbezogener Bilanzierungsansatz wird dies auch für die nachfolgende Bewertung teilversiegelter Materialien als Grundlage verwendet (vgl. Abbildung 20). Dort finden sich Parametersätze für nachfolgende Flächen. Hierbei deckt sich der Fugenanteil in % in etwa mit dem Zahlenwert in mm, wie er in den vorangegangenen Tabellen angegeben wurde:

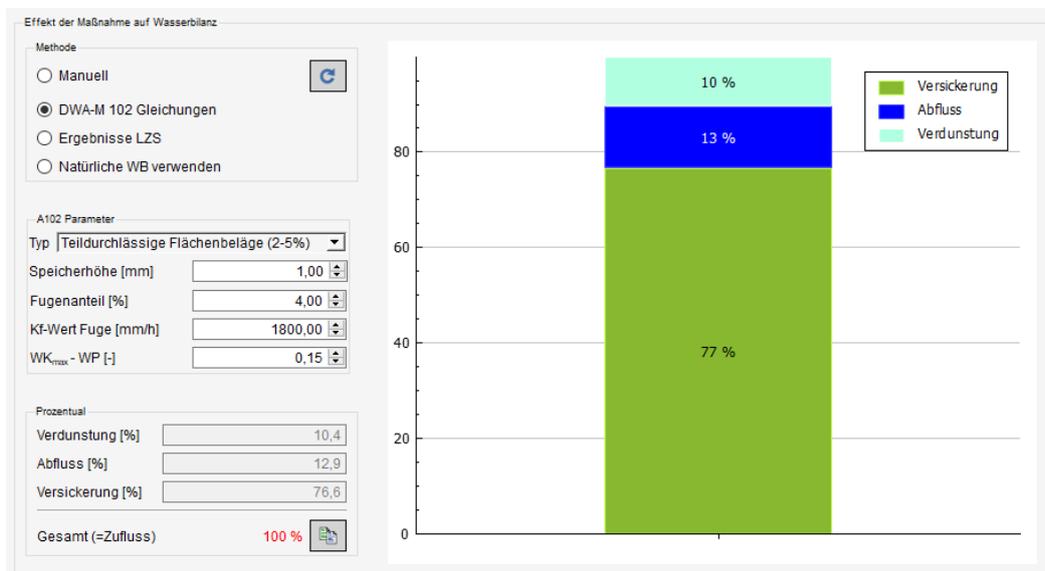
- Teildurchlässige Flächenbeläge (Fugenanteil 2 % bis < 6 %)
- Teildurchlässige Flächenbeläge (Fugenanteil 6 % bis 10 %)
- Teildurchlässige Flächenbeläge (Poren- und Sickersteine, Schotterrasen, Kies)
- Rasengittersteine
- Deckschichten ohne Bindemittel (wassergebundene Decke)

Hierzu werden für die unterschiedlichen teilversiegelten Bodenoberflächenarten Kennwerte für die Wasserbilanz vorgegeben und diese mittels der vorliegenden Regressionsformeln für unterschiedliche Standorte deutschlandweit ermittelt. Diese erfolgten beispielhaft für den Standort Offenbach a.M./Kaiserlei. Dieser Standort in Südhessen in der Rhein-Main-Ebene wurde beispielhaft gewählt, da es durch dichte Bebauung, Verkehrsflächen und Gewerbeansiedlungen typisch für stark versiegelte urbane Zonen ist. Diese Merkmale verdeutlichen die Herausforderungen der Oberflächenversiegelung und des Wasserabflusses, die in vielen Städten auftreten. Die gewählten Rahmenbedingungen gelten als beispielhaft für stark versiegelte Bereiche im Landesgebiet Hessens, können sich aber in anderen Gebieten auf Grund der klimatischen und geografischen Bedingungen unterscheiden.

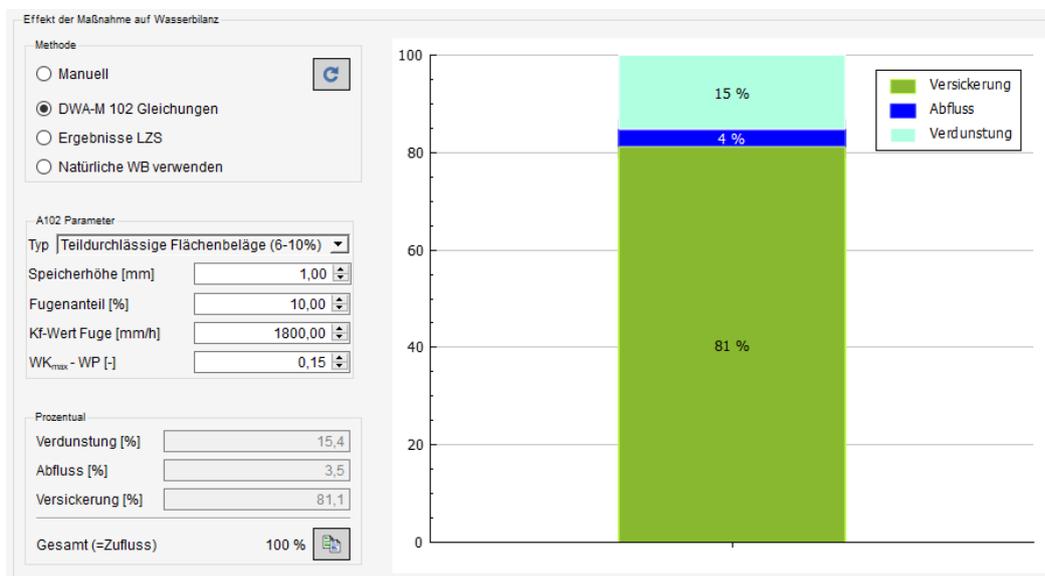
### Pflaster mit dichten Fugen



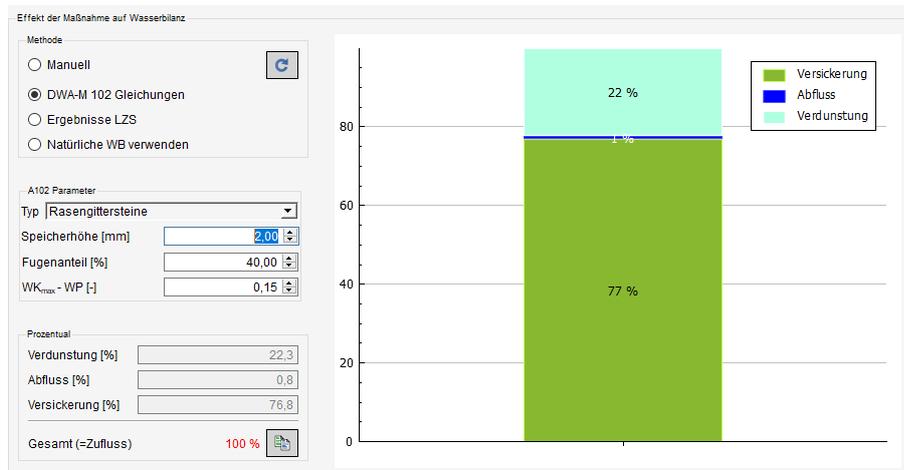
### Pflastersteine mit Fugen, Anteil 4 % (Gruppe 2 – 5 %)



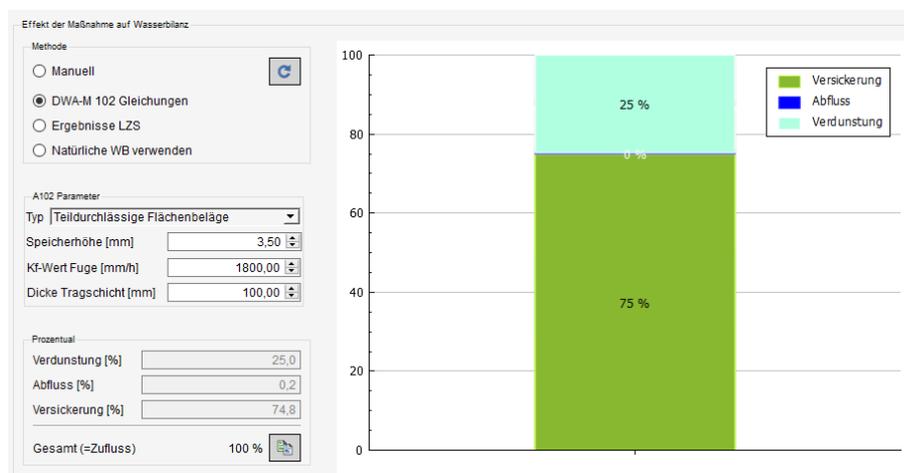
### Pflastersteine mit Fugen, Anteil 8 % (Gruppe 6 – 10 %)



### Rasengittersteine



### Schotterflächen



### Wassergebunde Decke ohne Zuschlagstoffe/Bindemittel

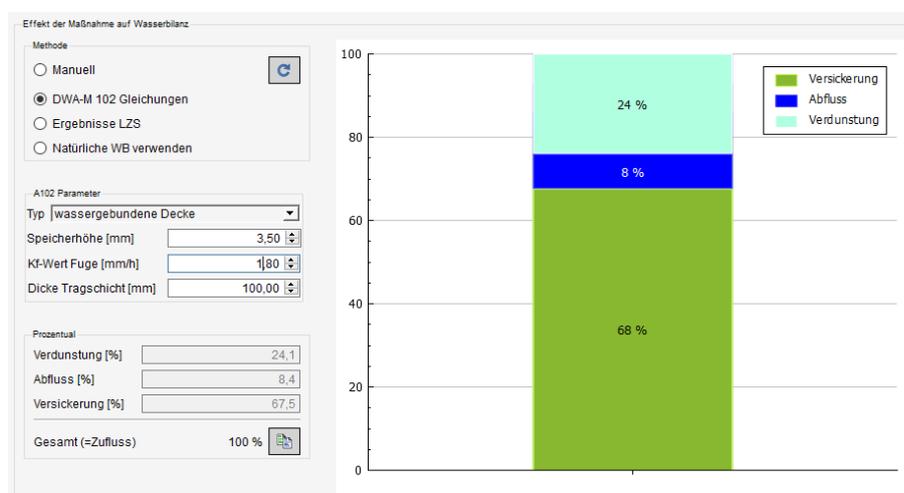


Abbildung 20: Wasserbilanzen verschiedener teilversiegelter Bodenoberflächenarten nach DWA-M 102-4, ermittelt mit dem Berechnungsprogramm STORM (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH), basierend auf den einstellbaren A 102-Parametern.

Die nachfolgende Grafik stellt die ermittelten Wasserbilanzen für die beispielhaft berechneten teilversiegelten Bodenoberflächenarten dar.

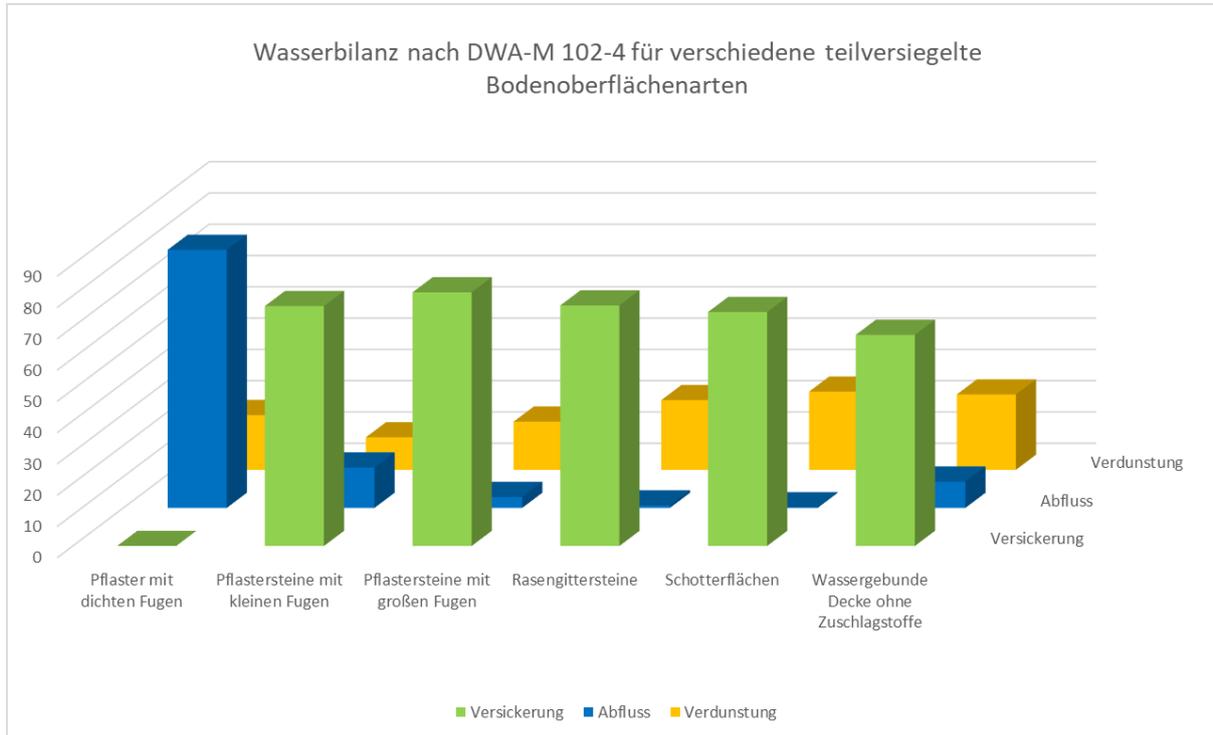


Abbildung 21: Wasserbilanzen nach DWA-M 102-4, für verschiedene teilversiegelte Bodenoberflächenarten

Aus den ermittelten Werten für den Standort Offenbach a.M./Kaiserlei sind die Unterschiede von fast voll versiegeltem Belag (Pflaster mit dichten Fugen) zu verschiedenen teilversiegelten Bodenoberflächenarten ersichtlich. Diese Vorgehensweise wurde auch für die übrigen teilversiegelten Bodenoberflächenarten durchgeführt. Die Zuordnungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4: Zugeordnete Parametersätze für die Wasserbilanz nach DWA-M 102-4 bzw. für die Abflussbeiwerte nach DWA-A 138-1

	Teilversiegelungsarten	DWA-M 102-4 Parametersatz Wasserbilanz	DWA-A 138 -1 Parametersatz Abflußbeiwerte
Zusammengesetzt aus Einzelelementen	Pflaster mit dichten Fugen/Flächen mit Platten	Pflaster mit dichten Fugen Speicher bis 3 mm	Betonsteinpflaster, in Sand oder Schlacke verlegt, Flächen mit Platten
	Pflaster mit offenen Fugen, klein, < 6 mm	Teildurchlässige Flächenbeläge, 2-5% Gefälle, 4% Fuge	Pflasterflächen, mit Fugenanteil > 15 %, z. B. 10 cm × 10 cm und kleiner oder fester Kiesbelag
	Sickerfugenpflaster, große Fuge, ≥ 6 mm	Teildurchlässige Flächenbeläge, 2-5% Gefälle, 8% Fuge	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen	Teildurchlässige Flächenbeläge 2-5% Gefälle, 8% Fuge	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Poröse Betonpflastersteine	Teildurchlässige Flächenbeläge, 2-5% Gefälle, 8% Fuge	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Hybridsteine	Teildurchlässige Flächenbeläge 2-5% Gefälle, 8% Fuge	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Klimastein	Teildurchlässige Flächenbeläge, 2-5% Gefälle, 8%Fuge	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Rasengitterstein/Rasenkammerstein	Rasengittersteine, Speicher 5mm, 25% Fuge	Rasengittersteine mit häufigen Verkehrsbelastungen (z. B. Parkplatz)
	Rasengitterplatten/Q-Gitter	Rasengittersteine Speicher 5mm, 25% Fuge	Rasengittersteine mit häufigen Verkehrsbelastungen (z. B. Parkplatz)
	Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster/ TTE® Pflaster	Rasengittersteine, Speicher 5mm, 25% Fuge	Rasengittersteine mit häufigen Verkehrsbelastungen (z. B. Parkplatz)
Flächige Systeme	Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt	lockerer Kiesbelag und Schotterrasen, 360 mm/h	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Dränbeton/durchlässiger Beton	lockerer Kiesbelag und Schotterrasen, 360 mm/h	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Schottergärten versickerungsoffen	lockerer Kiesbelag und Schotterrasen, 360 mm/h	Lockerer Kiesbelag, Schotterrasen
	Fester Kiesbelag/Terraway©	lockerer Kiesbelag und Schotterrasen, 360 mm/h	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker- /Dränsteine
	Wassergebundene Deckschichten	Wassergebundene Decke, 1,8mm/h	Wassergebundene Flächen
	Looser Kiesbelag/Schotterrasen	lockerer Kiesbelag und Schotterrasen, 360 mm/h	Lockerer Kiesbelag, Schotterrasen
	Schottergärten, geringe Versickerung	Teildurchlässige Flächenbeläge, 2-5% Gefälle, 4% Fuge	Gleisanlage, Schotterbau mit schwach durchlässigem Unterbau

Zur wasserwirtschaftlichen Bewertung der einzelnen teilversiegelten Bodenoberflächenarten wurde eine Zuordnung nach DWA-M 102-4 vorgenommen (vgl. vorstehende Tabelle) und der Abflussanteil beispielhaft für ausgewählte Beläge berechnet, sowie die Bemessungsabflussbeiwerte nach DWA-A 138-1 zugeordnet. Dies gilt für Gefällesituationen  $\leq 5\%$ . Für den Abflussanteil (Jahresmittel) werden zudem Schwankungsbreiten angegeben, die sich aus den unterschiedlichen Bauweisen und Konfigurationen ergeben. Hier sind der Fugenanteil, die Infiltrationsleistung sowie auch der Unterbau mit Trag- und Frostschuttschicht als temporäre Einstauschicht zu nennen.

Basierend auf diesen Ergebnissen und zusammen mit den Hinweisen aus der Literatur (Hauptliteratur siehe Tabelle 5, ergänzende Literatur siehe Anhang) ist in Tabelle 5 eine zusammenfassende Bewertung der unterschiedlichen teilversiegelten Oberflächenarten dargestellt. Die Tabelle ist unterteilt in die Einordnung zur Wasserbilanz (Abfluss und Versickerung/Verdunstung) und der Bewertung von Starkregenrückhalt und Abflussanteil, anhand eines Ampel-Bewertungssystems im Vergleich zur Vollversiegelung (rot = keine Auswirkungen; gelb = positive Auswirkungen; grün = stark positive Auswirkungen). Bei einer Niederschlagsretention von  $> 95\%$  wird die Wirkung der Teilversiegelungsart als stark positiv gewertet und somit grün markiert. Von einer positiven Auswirkung (in Gelb dargestellt) wird ab einem Wert der Niederschlagsretention von  $60\%$  ausgegangen.

Analog dazu wurde auch der Abflussanteil basierend auf dem Bemessungsfall ( $C_m T=5a$ ) und dem Starkregenereignis ( $C_s T=30a$ ) dargestellt und bewertet. Bis zum Spitzenabflussbeiwert  $C_s$  (Starkregen)  $0,4$  wurde die Abflussminderung als stark gewertet und grün gekennzeichnet. Bis  $C_s=0,7$  ist es eine mäßige Wirkung (gelb), bis zu einem Wert von  $C_s=1$  ist keine signifikante Auswirkung zu sehen.

Auf diese Weise wird eine transparente fachliche Grundlage geschaffen, um bei ökologischen Bewertungen die Rolle von allen teilversiegelten Oberflächenmaterialien auf dem Gebiet der Klimaanpassung bewerten zu können; ihr Beitrag zur Niederschlagsversickerung und damit auch zur Abflussreduzierung sowie zur Auswirkung bei Starkregen wird hierüber nach einer einheitlichen Methodik quantifizierbar und darüber bewertbar.

Tabelle 5: Bewertung der Wasserbilanz und Starkregenabfluss von teilversiegelten Bodenoberflächenarten

	Teilversiegelungsarten	Abflussanteil DWA M 102-4 (Schwammwirkung/Niederschlagsretention)	Niederschlagsretention (Versickerung + Verdunstung)	Bewertung Abflussanteil	Cm mittlerer Abflussbeiwert nach DWA-A 138-1 bei T=5a	Cs Spitzenabflussbeiwert nach DWA-A 138-1 bei T=30a	Bewertung Starkregentrückhalt	Literatur (Hauptquelle), Kommentare/Hinweise
Zusammengesetzt aus Einzelelementen	Pflaster mit dichten Fugen/Flächen mit Platten	70-80	10-20	0,8	0,8	1	2), 3), keine Versickerung	
	Pflaster mit offenen Fugen, klein, < 6 mm	0-15	85-100	0,7	0,7	0,9	2), 3), 6)	
	Sickerfugenpflaster, große Fuge, ≥ 6 mm	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	1), 2), 3), 5), 6)	
	Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	1), '2), 3), 4, 5))	
	Poröse Betonpflastersteine	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	1), '2), 3), 4, 5)	
	Hybridsteine	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	2)	
	Klimastein	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	1), '2), 5)	
	Rasengitterstein/Rasenkammerstein	0-5	95-100	0,2	0,2	0,4	1), '2), 3)	
	Rasengitterplatten/Q-Gitter	0-5	95-100	0,2	0,2	0,4	2), 3)	
	Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster/ TTE® Pflaster	0-5	95-100	0,2	0,2	0,4	1*	
	Flächige Systeme	Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt	0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	6)
Dränbeton/durchlässiger Beton		0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	6)	
Schottergärten versickerungsoffen		0-5	95-100	0,2	0,2	0,3	1*	
Fester Kiesbelag/Terraway©		0-5	95-100	0,25	0,25	0,4	1*	
Wassergebundene Deckschichten		5-10	90-95	0,7	0,7	0,9	1*	
Looser Kiesbelag/Schotterrasen		0-5	95-100	0,2	0,2	0,3	1*	
Schottergärten, geringe Versickerung		0-15	85-100	0,4	0,4	0,6	1*, keine direkte Versickerung, verzögert über die Seiten und Pflanzöffnungen oder über Vlies	
	1* abgeleiteter Wert	Hauptliter 1)						
	2* interpolierter Wert	2)						
		3)						
		4)						
		5)						
		6)						

Die beschriebenen Beiträge von Teilversiegelungsmaterialien zur Minimierung des rasch abfließenden Niederschlaganteils und darüber zur Klimaanpassung sind neben ihrer möglichen Berücksichtigung in ökologischen Betrachtungen auch für bauleitplanerische Abwägungsprozesse und für die Art der Darstellungen und Festsetzungen in Bauleitplänen von Relevanz. Welche Möglichkeiten hierbei für Kommunen zur Forcierung einer klimaangepassten Siedlungsentwicklung bestehen wird in Kap. 5 zusammenfassend beschrieben.

## 5 AP 5 - Festsetzungsbeispiele für Bebauungspläne

In diesem Arbeitspaket wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen zusammengetragen sowie Festsetzungsbeispiele für stark und schwach versickerungswirksame Teilversiegelungen einschließlich von Abwägungsempfehlungen für Kommunen entwickelt, die z. B. zur Forcierung von Rückhalt und Verdunstung bzw. einer vermehrten Versickerung von Niederschlägen bei der Siedlungsentwicklung beitragen können.

Hierbei wurde weitgehend auf die Recherchen und gutachterlichen Arbeiten im Rahmen der Erarbeitung des „Leitfadens für die wassersensible Siedlungsentwicklung“ für Hessen, verfasst durch das Hessische Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU), aus dem Jahr 2024 aufgebaut, für dessen Erstellung umfangreiche rechtliche Recherchen durchgeführt wurden. Ferner wurden Veröffentlichungen wie die Broschüre „Wasserwirtschaft in der Bauleitplanung in Hessen – Arbeitshilfe zur Berücksichtigung von wasserwirtschaftlichen Belangen in der Bauleitplanung V1.1“, herausgegeben vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) im Oktober 2023, und die IDUR-Publikation „Wassermanagement in Zeiten des Klimawandels“ (IDUR 2023) sowie weitere Arbeiten herangezogen. Für die Festsetzungen wurden Satzungen und entsprechende Fördermaßnahmen zur Umsetzung betrachtet. Dazu sind zahlreiche Beispiele in Hessen und auch anderen Bundesländern vorhanden. Das vorliegende Gutachten stellt eine fundierte Grundlage für die Abwägung und zur Begründung der Festsetzungen in Bebauungsplänen dar.

### 5.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

#### 5.1.1 Wasserdurchlässige Gestaltung und Begrünung nicht überbauter Flächen nach landesrechtlichen Vorgaben

Nach § 8 Abs. 1 der Hessischen Bauordnung (HBO) sind die nicht überbauten Flächen der bebauten Grundstücke wasserdurchlässig zu belassen oder herzustellen und zu begrünen oder zu bepflanzen, soweit sie nicht für eine andere zulässige Verwendung benötigt werden. Satz 1 findet keine Anwendung, soweit Bebauungspläne oder andere Satzungen Festsetzungen zu den nicht überbauten Flächen treffen. Nach § 35 Abs. 9 Hessisches Gesetz zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft (HeNatG) ist darauf hinzuwirken, dass Grundstücksfreiflächen im bebauten Innenbereich insektenfreundlich gestaltet und vorwiegend begrünt werden. Schotterungen zur Gestaltung von privaten Gärten sind grundsätzlich keine zulässige Verwendung nach § 8 Abs. 1 Satz 1 der Hessischen Bauordnung.

In Bauanträgen sowie in Bauvorlagen im Genehmigungsverfahren (§ 64 Abs. 3 S. 1, Abs. 5 HBO) ist deshalb als Bauvorlage eine den rechtlichen Vorgaben entsprechende Freiflächenplanung vorzunehmen und nach § 69 Abs. 2 S. 1 u. 4 HBO i. V. m. dem Bauvorlagenerlass ein Freiflächenplan vorzulegen. Die Prüfung der Unterlagen ist allerdings kein Bestandteil des vereinfachten Baugenehmigungsverfahrens nach § 65 Abs. 1 HBO.

### 5.1.2 Grün- oder Freiraumsatzungen

Nähere Anforderungen an die Gestaltung der Grundstücksfreiflächen, aber auch an die Gestaltung der Dächer (Dachbegrünung) und Fassaden (Fassadenbegrünung), Stellplätzen und Garagen bei genehmigungspflichtigen, aber auch genehmigungsfreien und von der Genehmigung freigestellten Bauvorhaben kann die Gemeinde in einer Gestaltungssatzung auf Grundlage von § 91 HBO und §§ 5 und 51 Nr. 6 der Hessischen Gemeindeordnung treffen. § 91 Abs. 1 Nr. 1 HBO nennt als Zielsetzung für Gestaltungssatzungen auch die „Verwirklichung von Zielen des rationellen Umgangs mit Energie und Wasser“.

Aktuelles Beispiel ist die Gestaltungssatzung Freiraum und Klima der Stadt Frankfurt am Main (Freiraumsatzung) aus dem März 2023, zu der die Stadt Frankfurt auch eine Broschüre mit Erläuterungen, Beispielen und weiterführenden Hinweisen herausgegeben hat.<sup>6</sup>

Im Folgenden sind Beispiele zur gestalterischen Anforderung an nicht überbaubare Grundstücksflächen aufgeführt:

- a. Die Vorgärten sind gärtnerisch zu gestalten. Eine Nutzung als Arbeits- und Lagerplatz ist untersagt.<sup>7</sup>
- b. Flächenhafte Kies-/Schotter-/Splitt- und Steingärten oder -schüttungen sind unzulässig.
- c. Die Grundstücksfreiflächen sind wasserdurchlässig zu belassen oder herzustellen. Zulässig befestigte Flächen sind so herzustellen, dass Niederschläge entweder versickern, verdunsten, gesammelt werden oder in angrenzende Pflanzflächen abfließen können. Befestigungen, die die Wasserdurchlässigkeit des Bodens wesentlich beschränken, sind nur zulässig, soweit ihre Zweckbestimmung dies erfordert. Zugänge, Zufahrten, Wege, Flächen für die Feuerwehr, Kfz-Stellplätze und andere zulässig befestigte Flächen sind auf das funktional notwendige Maß zu beschränken (Beispiel für eine Gestaltungssatzung Freiraum und Klima).
- d. Die unbebauten und unterbauten Grundstücksflächen sind mit Bäumen, Sträuchern, Stauden, Wiesen- und Rasenflächen zu begrenzen, soweit diese nicht für andere zulässige Nutzungen zwingend benötigt werden.<sup>8</sup>
- e. Zufahrten und Zuwegungen, Flächen für die Feuerwehr und Stellplätze sowie weitere zulässig befestigte Flächen sind auf das notwendige Maß zu beschränken. Die zulässig befestigten Flächen sind in wasserdurchlässigen Materialien anzulegen oder das Regenwasser dieser Flächen ist zu sammeln und zu nutzen (Bewässerung) oder in den Begleiträumen zu verdunsten und zu versickern.

Das Sammeln und die Nutzung des Niederschlagswassers kann nach § 37 Abs. 4 HWG über eine Satzung geregelt werden, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden oder den Wasserhaushalt zu schonen.

---

<sup>6</sup> <https://frankfurt.de/themen/klima-und-energie/klimaanpassung/gestaltungssatzung-freiraum-und-klima>

<sup>7</sup> OG Börstadt, BPL „Im Unteren Kirchtal, 3. Erweiterung“

<sup>8</sup> [https://gruen-in-der-stadt.de/uploads/files/17042024\\_KE\\_Freiraumsatzung\\_getaggtKopie.pdf](https://gruen-in-der-stadt.de/uploads/files/17042024_KE_Freiraumsatzung_getaggtKopie.pdf)

### 5.1.3 Verbot der wesentlichen Einschränkung der Grundwasserneubildung nach § 28 Abs. 4 Hessisches Wassergesetz (HWG)

Eine weitere öffentlich-rechtliche Vorschrift, welche allerdings nicht Bestandteil des vereinfachten Baugenehmigungsverfahrens ist, stellt § 28 Abs. 4 HWG dar. Danach darf die Grundwasserneubildung durch Versiegelung des Bodens oder andere Beeinträchtigungen der Versickerung nicht wesentlich eingeschränkt werden. Insbesondere sind Feuchtgebiete und bedeutsame Einsickerungsbereiche von baulichen Anlagen freizuhalten, soweit nicht andere überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit diese erfordern.

Die Anwendung der Vorgabe, dass die Grundwasserneubildung nicht wesentlich eingeschränkt werden darf, setzt eine nähere Bestimmung der wesentlichen Einschränkung voraus. Angesichts des im Wasserrecht geltenden Verschlechterungsverbots auch für die Grundwasserneubildung und der Ungewissheiten bei der Bewertung sich durch Aufsummierung von Beeinträchtigungen ergebender Verschlechterung dürfte davon auszugehen sein, dass eine Beeinträchtigung der Grundwasserneubildung zu vermeiden ist, etwa durch zusätzliche Versickerungsmöglichkeiten. Die Vorgabe der Freihaltung von Feuchtgebieten und bedeutsamen Einsickerungsbereichen setzt voraus, dass diese Bereiche bekannt sind.

### 5.1.4 Einleitbeschränkungen

Aus den Untersuchungen und Vorgaben für die unterschiedlichen Fließgewässer im Rahmen der Untersuchungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und den bestehenden Ableitungssituationen im Kanalnetz werden Vorgaben für die mengenmäßige Einleitung in das Kanalnetz abgeleitet. Diese resultieren in vielen Fällen in geringe Einleitintensitäten und -mengen. Diese werden in der Regel vom Entsorgungsbetrieb oder der Kommune vorgegeben und orientieren sich an der meist begrenzten Leistungsfähigkeit des Gewässers. Hier kann es auch zu Vorgaben zur Erreichung eines Mindestabflusses kommen. In Berlin z. B. wird aus Gründen der Reduzierung der Mischwasserüberlaufmengen ein Abfluss von  $0 \text{ l/(s*ha)}$  für Neuanschlüsse vorgegeben, im Trennsystem sind es  $2 \text{ l/(s*ha)}$ .

## 5.2 Verbindliche Bauleitplanung

Nach § 9 Abs. 1 Baugesetzbuch (BauGB) können aus städtebaulichen Gründen die in Tabelle 6 aufgelisteten Festsetzungen im Bebauungsplan erfolgen. Die städtebaulichen Gründe für eine Festsetzung sind in der Begründung zum Bebauungsplan darzulegen. Zu den in § 1 Abs. 5 und Abs. 6 BauGB genannten städtebaulichen Gründen gehören u. a. Klimaschutz und Klimaanpassung, Wasser, Gesundheit, Hochwasserschutz u. a. Belange, denen eine Niederschlagswasserbewirtschaftung dient, so dass Festsetzungen zur Niederschlagswasserbewirtschaftung regelmäßig auch städtebauliche Gründe haben (HMLU, 2024).

Im Einzelnen sind für Versickerung, Retention und Verdunstung insbesondere die im Folgenden aufgeführten Festsetzungsmöglichkeiten von Bedeutung, zu denen hier Beispiel- und Muster-Festsetzungen zusammengestellt sind. Ferner sind Satzungsregelungen nach § 37 Abs. 4 HWG zur Schonung des Wasserhaushalts und Entlastung der Abwasseranlagen durch Anlagen zum Sammeln und Verwenden des Niederschlagswassers möglich.

In nachfolgender Tabelle werden Festsetzungsmöglichkeiten in Bebauungsplänen aufgezeigt, die einer wassersensiblen Siedlungsentwicklung/Freiraumgestaltung Rechnung tragen. Die Festsetzungen stehen im Kontext mit anderen Festsetzungsmöglichkeiten und können diese überlagern und ergänzen. Die Liste enthält keine abschließende Auflistung.

Tabelle 6: Festsetzungsmöglichkeiten in Bebauungsplänen, die einer wassersensiblen Siedlungsentwicklung/Freiraumgestaltung Rechnung tragen

§ 9 Abs. 1 Nr. 1, 2 und 3 BauGB	Verringerung der baulichen Dichte (Maß der Bebauung, Bauweise, überbaubare Flächen)
§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB	Festsetzung von Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung
§ 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB	Festsetzung von Flächen für die Regelung des Wasserabflusses, Festsetzung von Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen
§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB	Festsetzung von Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft, gilt auch für wasserdurchlässige Flächen
§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB	Festsetzung zur Ausgestaltung und Nutzung von Gärten und Freiflächen sowie für Teile baulicher Anlagen

## Beispiele

### Festsetzung von Flächen für Wasserabfluss, Versickerung, § 9 Abs. 1 Nr. 16 d BauGB

- Beispiel einer Grünfläche mit Fläche für Regenwasserrückhalteanlagen



- Beispiel einer textlichen Festsetzung:
  - „Im ... Gebiet sind auf / dem Baugrundstück ... / den Baugrundstücken ... / folgende Flächen ... / ...% der Flächen / für die natürliche Versickerung und Rückhaltung von Wasser aus Niederschlägen auch über teilversiegelte Beläge freizuhalten bzw. vorzusehen, um Schäden aus Starkregen vorzubeugen.“
- oder
- „Im allgemeinen Wohngebiet ist eine Befestigung von Wegen und Zufahrten nur in wasser- und luftdurchlässigem Aufbau herzustellen. Auch Wasser- und Luftdurchlässigkeit wesentlich mindernde Befestigungen wie Betonunterbau, Fugenverguss, Asphaltierungen und Betonierungen sind unzulässig. Dies gilt nicht für Zufahrten zu Tiefgaragen und überwiegend für Stellplätze genutzte Gebäude.“<sup>9</sup>

### Festsetzung von Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft, § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB

- Grünanlage mit Entwicklungsziel Extensivgrünland als Fläche für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
- Beispiele für die textliche Festsetzung zur Reduzierung der Versiegelung mit Hilfe von Begrünungen und teildurchlässigen Belägen:
  - a. Unversiegelte Flächen sind dauerhaft zu begrünen.
  - b. Um die Versiegelung im überplanten Bereich zu begrenzen, sind zur Befestigung von Hofflächen, privaten Zufahrten, Einfahrten, Stellflächen und Fußwegen wasserdurchlässige Materialien, wie z. B. Rasengittersteine, Öko-Pflaster,

---

<sup>9</sup> <https://www.berlin.de/ba-neukoelln/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/stadtplanung/bebauungsplaene/bebauungsplanfestgesetzt/artikel.844944.php>

wassergebundene Decke o. ä. versickerungswirksame Teilversiegelungsarten zu verwenden.

- c. *„Soweit keine Gefährdung von Boden oder Grundwasser zu erwarten ist, sind Wege, Zufahrten und sonstige zu befestigende Grundstücksfreiflächen so herzustellen, dass Niederschlagswasser versickert oder in angrenzenden Pflanzflächen entwässert werden kann. Gleiches gilt für Wege, Zufahrten und sonstige zu befestigende Flächen im Bereich von öffentlichen Grünflächen. Die Festsetzung gilt nicht für Zufahrten von Tiefgaragen.“*

(Quelle: Bebauungsplan Nr. 1106 „Pioneer-Kaserne“)

- d. *„Gehwege, Pkw-Stellplätze, Garagenzufahrten und Hofflächen sind in wasserdurchlässiger Bauweise mit kleinformatischen, offenfugigen bzw. offenporigen Materialien, wie Rasenkammersteinen, Verbundsteinen mit Fase, Schotterdecke, Pflastersteinen o. ä. herzustellen.*

*Eine kurze Verbindung des Niederschlagswassers in den Untergrund muss sichergestellt sein. Der Fugenanteil muss mind. 6 % der Flächen betragen, wenn nicht offenporige Materialien verwendet werden. Es dürfen kleinere Fugen gewählt werden, wenn das Niederschlagswasser seitlich versickert wird.“* (Quelle: Wetzlar-Bebauungsplan Nr. 213 „Dalheim“, 4. Änderung)

- Beispiele für textliche Festsetzungen Boden- und Grundwasserschutz (entnommen aus der Arbeitshilfe Bebauungsplanung. MIL, 2022):
  - *„Auf den Baugrundstücken ist eine Befestigung von Stellplatzflächen und ihren Zufahrten nur in wasser- und luftdurchlässigem Aufbau (z.B. mit Rasensteinen, Schotterrasen oder Pflaster mit mehr als 30 % Fugenanteil) zulässig. Wasser- und Luftdurchlässigkeit wesentlich mindernde Befestigungen wie Betonunterbau, Fugenverguss, Asphaltierung oder Betonierung sind unzulässig.“*
  - *„Das auf den Grundstücken X-Weg 1 bis 12 auf den Dachflächen anfallende Regenwasser ist in die (an die Grundstücke angrenzende) Fläche zur Entwicklung einer Feuchtwiese einzuleiten.“*
  - *„Die Wege in öffentlichen und privaten Grünflächen sind wasserdurchlässig auszuführen. Ausnahmen sind zulässig, wenn wegen des großen Verkehrsaufkommens (z.B. bei Rad- und Fußwegen) oder wegen der Schneeräumspflicht der Gemeinde u.a. bei einer wasserdurchlässigen Befestigung der Wege höhere Unterhaltskosten zu erwarten sind.“* (IDUR, 2023)

#### Festsetzung zur Ausgestaltung und Nutzung von Gärten, § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB

- Beispiel für eine Festsetzung der Unzulässigkeit von nicht bewachsenen Schottergärten (IDUR, 2023)
  - *„Flächenhafte Stein-/Kies- und Schottergärten oder -schüttungen sind unzulässig. Die nicht überbauten Grundstücksflächen sind, soweit diese Flächen nicht für andere Zwecke benötigt werden, mit offenem oder bewachsenem Boden als Grünfläche anzulegen und zu unterhalten.“*

#### Städtebauliche Gründe und Abwägungsempfehlungen könnten z. B. sein:

- § 1a Abs. 3 BauGB fordert, dass Eingriffe in Natur und Landschaft ausgeglichen werden müssen. Hierbei sind Prüfgegenstand der Eingriffs-Ausgleichs-Bilanzierung bzw. bei der Schutzgüterabwägung vor allem die Schutzgüter Boden, Wasser, Klima, Pflanzen und Tiere sowie der Mensch (Landschaftsbild):

- Begrenzung der Bodenversiegelung auf das notwendige Maß im Sinne des § 1a Abs. 1 BauGB sowie zur Vermeidung von Auswirkungen auf die Schutzgüter
- Erhalt eines soweit möglich natürlichen Wasserhaushalts auf unbebauten Flächen
- In Kombination mit der Vorgabe eines max. Albedo-Wertes können die Klimawirkungen soweit wie möglich reduziert werden. Das Niederschlagswasser von teilversiegelten Flächen ohne nennenswerte Neigung fließt nicht so schnell ab und steht damit zumindest in gewissem, nicht näher quantifizierbarem Umfang für die Verdunstungskühlung und insbesondere für die Versickerung zur Verfügung.
- Reduzierung des Ausgleichsbedarfes im Vergleich zur Vollversiegelung im Sinne des Vermeidungsprinzips
- *„Durch Bodenversiegelungen wird die Speicher- und Filtereigenschaft des Bodens stark verändert und eingeschränkt. Bodenversiegelungen führen zu erheblichen und nachhaltigen Veränderungen im gesamten Ökosystem Boden. Durch Versiegelung fällt Boden als Standort für Vegetation und als Lebensraum für Bodenorganismen fort. Bei Teilversiegelung bleiben diese Bodenfunktionen eingeschränkt erhalten, da der Boden in eingeschränktem Maße durchlässig bleibt.“<sup>10</sup>*
- *„Gärten und nicht überbaubare Grundstücksflächen sind, mit Ausnahme von Zufahrten, Zuwegungen, zulässigen Stellplätzen und zulässigen Nebenanlagen, als lebende Gärten mit heimischer Bepflanzung und/oder Rasen anzulegen und dauerhaft zu erhalten. Die Anlage von Schotter-, Kies- und Steinbeeten und die damit verbundene Verwendung von Gartenfolien sind unzulässig. Durch die Gestaltung als lebende Gärten werden die natürlichen Bodenfunktionen in den betreffenden Bereichen erhalten und gefördert. Ziel dieser Festsetzung ist der Schutz des Kleinklimas und die Förderung der Artenvielfalt sowie der Durchgrünung des Wohngebietes. Insbesondere für viele wildlebende Tiere, u.a. Insekten und Vögel, sind naturnahe, strukturreiche Gärten wichtige Refugien, die als Nahrungsquelle und Unterschlupf dienen, die in der durch intensive Landwirtschaft geprägten Landschaft immer seltener zu finden sind.“<sup>11</sup>*Fehler! Unbekanntes Schalterargument.**
- Aufgrund dessen, dass zumindest ein Teil des anfallenden Niederschlages versickern kann, ist bei Starkregenereignissen von einer positiven Reduzierung des Abflusses auszugehen, weswegen nicht nur die Belastung der Entwässerungssysteme verringert, sondern auch die Wasserqualität verbessert wird.

Ferner können bei Neubaugebieten, für die von den Gemeinden lokale Entwässerungskonzepte aufgestellt werden, städtebauliche Gründe liefern, die nach § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB im Bebauungsplanverfahren zu berücksichtigen sind (z. B. als sonstige städtebauliche Planung). Konkretere Festsetzungen z. B. zum Mindestabflussbeiwert oder einer Mindestversickerungsleistung pro m<sup>2</sup> bei Normalniederschlag lassen sich ggfls. hiermit begründen. Dies kann dann auch über einen städtebaulichen Vertrag geregelt werden.

---

<sup>10</sup> <https://www.bob-sh.de/file/lue-b14-1aen-4a/d93fcb0-f655-4ca6-9778-d83b8c99063c>

Auch Festsetzungen zur Beseitigung von Konfliktsituationen und Gefahrenvorsorge im Hinblick auf das Wohl der Allgemeinheit, auf die Gesundheit oder das Eigentum der Planbetroffenen (sowohl innerhalb als auch außerhalb des räumlichen Geltungsbereichs) sind begründbar. „Zu den Konflikten und Gefahren gehören etwa unkontrolliert abfließendes Wasser, Überlastung des Kanalsystems, Bodenbeschaffenheit/Versickerungsfähigkeit, Grundwasserstand, Hochwassergefahr, Topografie.“<sup>11</sup>

Die vorliegenden Informationen zu den Auswirkungen auf die Schutzgüter – vor allem zum Wasserrückhalt – sind auch für die bauleitplanerische Abwägung zur Ermittlung des Ausgleichbedarfes sowie zur Bewältigung erforderlicher Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen nutzbar.

### 5.3 Förderung

Beispielhaft wird auf dem Gebiet der Förderung auf die Stadt Offenbach eingegangen, die mit einem Förderprogramm zur Anpassung an den Klimawandel das Ziel einer Schwammstadt verfolgt. Seit dem Juli 2022 regelt die Stadt Offenbach durch eine Satzung den Umgang mit Regenwasser auf Dachflächen und begrünten Tiefgaragen.<sup>12</sup> Bei Dächern und begrünten Tiefgaragen ab einer abflusswirksamen Fläche von 30 m<sup>2</sup> muss dafür gesorgt werden, dass darauf anfallende Niederschläge auf dem eigenen Grundstück oder in einer semizentralen Anlage bewirtschaftet werden.

Vorrangig ist die Versickerung auf dem Grundstück zu prüfen. Sofern dies aus technischen Gründen nicht möglich ist, sind andere Formen der Bewirtschaftung wie Verdunstung, Regenwassernutzung, Einleitung in ein Oberflächengewässer oder eine Kombination verschiedener Bewirtschaftungsanlagen in Betracht zu ziehen. Für die Bewirtschaftung ist eine Entscheidung oder Erlaubnis der Unteren Wasserbehörde der Stadt Offenbach erforderlich.

Über eine „Förderrichtlinie Klimaanpassung“<sup>13</sup> fördert die Stadt Offenbach Maßnahmen auf Grundstücken und an Gebäuden im Bereich

- Dachbegrünung
- Fassadenbegrünung
- Flächenentsiegelungen
- Zisternen,

um damit die Auswirkungen der Klimakrise und damit verbundene Gefahren abzumildern und die Lebensqualität zu verbessern. Die Förderung zielt darauf ab, freiwillige Maßnahmen zur Reduzierung der Auswirkung der Klimaveränderung und damit verbundener Gefahren umzusetzen.

Die Förderung ist auf 10.000 EUR pro Grundstück begrenzt, ist aber unabhängig von der gewählten Maßnahme. Näheres ist in der Förderrichtlinie geregelt.

---

<sup>11</sup> rehm eLine | UPR – Online-Zeitschrift für Umwelt- und Planungsrecht - Die lokale Niederschlagswasserbeseitigung – Welchen Beitrag kann, welchen Beitrag sollte die verbindliche Bauleitplanung leisten?

<sup>12</sup> [www.offenbach.de/buerger\\_innen/umwelt-klima/wasser\\_boden/niederschlagswassersatzung.php](http://www.offenbach.de/buerger_innen/umwelt-klima/wasser_boden/niederschlagswassersatzung.php)

<sup>13</sup> [www.offenbach.de/buerger\\_innen/umwelt-klima/klima/foerderrichtlinie-klimaanpassung.php](http://www.offenbach.de/buerger_innen/umwelt-klima/klima/foerderrichtlinie-klimaanpassung.php)

## SIE MÖCHTEN ENTSIEGELN? DIE STADT UNTERSTÜTZT SIE!

Die Entsiegelungsrichtlinie unterstützt Bürgerinnen und Bürger der Stadt Offenbach am Main finanziell bei Entsiegelungen.

Welche Möglichkeiten gibt es?

### 1. Vollentsiegelung



Vollständiges Abtragen des Bodenbelags, sodass eine hindernislose Verbindung zum anstehenden Boden entsteht und eine durchgängige Begrünung möglich ist.

### 2. Teilentsiegelung



Maximal 50% Versiegelung darf bestehen bleiben. Beispiele sind Rasengittersteine oder Rasenfugenpflaster. Dies kann für Parkplätze oder Auffahrten interessant sein.

## WAS IST ZU BEACHTEN?

### Förderhöhen

- ▶ Jede Maßnahme wird mit maximal 5.000 Euro und 50 Euro / m<sup>2</sup> gefördert.
- ▶ **Bei Vollentsiegelungen** erhalten Sie **30 % Zuschuss** auf förderfähige Kosten, **bei Teilentsiegelungen 15 %**.
- ▶ Förderfähige Kosten sind Planungs-, Material- und Baukosten.

### Bedingungen

- ▶ Es muss auf **privaten Grundstücken in Offenbach** entsiegelt werden.
- ▶ Die Gesamtfläche muss **mindestens 20 m<sup>2</sup> groß** sein (Teilflächen mit mindestens 10 m<sup>2</sup> sind möglich).
- ▶ Die Entsiegelung muss **mindestens 10 Jahre Bestand** haben, auch beim Wechsel der Eigentümerin oder des Eigentümers.
- ▶ Es werden **nur freiwillige Maßnahmen** gefördert.
- ▶ Die **Maßnahme** darf noch **nicht begonnen worden sein**.

### Antragsberechtigte

- ▶ Eigentümerinnen und Eigentümer
- ▶ Erbbauberechtigte
- ▶ Wohnungseigentümergeinschaften
- ▶ Gewerbetreibende

Abbildung 22: Beispiele von Fördermaßnahmen zur Entsiegelung von Flächen der Stadt Offenbach am Main

## 6 AP 6 – Relevante Unterschiede der teilversiegelten Bodenoberflächenarten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit

Kosten für Bau und Betrieb sowie Entsorgung bzw. Wiederverwendung bei Erreichung der Lebensdauer und Auswirkung auf die Gebühren fließen in den Wirtschaftlichkeitsvergleich ein. Dieser kann z. B. mit der Kostenbarwertmethode erfolgen.

Für die Ermittlung der Investitionskosten werden insgesamt acht Varianten von unterschiedlichen Flächenbefestigungen untersucht. Es werden die Bewirtschaftungsmaßnahmen von 1.000 m<sup>2</sup> versiegelter Fläche mit unterschiedlichen Belägen (Asphalt, Pflaster, Rasengitterstein und teilversiegelte Bodenoberflächenarten) betrachtet. In den Kosten für die Herstellung der Deckschichten werden Aufbau bzw. Oberbauarbeiten berücksichtigt. Der Wirtschaftlichkeitsvergleich bezieht sich immer auf die Herstellung und den Betrieb der Verkehrsflächen und die dazu erforderliche Regenwasserbewirtschaftung.

Für den Untergrund wird in allen Varianten eine Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes von  $2 \times 10^{-5}$  m/s und ein Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter Unterkante (UK) Flächenbelag angenommen.

Der Aufbau der versiegelten Flächen unterscheidet sich nach Mischverkehrsfläche für Bk0,3 nach M VV (FGSV) bzw. für Gehwege und sonstige Flächen mit einer Belastung durch Fahrzeug (Fzg.) < 3,5 t nach M VV (FGSV).

Tabelle 7: Variantenuntersuchung zum Wirtschaftlichkeitsvergleich, K = Kanalgebunden; RWB = Regenwasserbewirtschaftung, vV = versickerungsfähige Verkehrsfläche

Varianten	Erläuterung
RWB2	Entwässerung einer 1.000 m <sup>2</sup> Mischverkehrsfläche mit Betonpflaster (10 x 20 x 8 cm) über straßenbegleitende Mulde <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Belag:</b> Aufbau für Bk0,3 nach RSt0 (FGSV), Gesamtdicke 65 cm</li> <li>- <b>Mulde:</b> 30 cm Oberboden, Neigung von 1:2,5 m, geschlitzte Hochborde, Bemessung T = 5a und K<sub>f</sub>-Wert = <math>2 \times 10^{-5}</math> m/s, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter UK Flächenbelag</li> </ul>
RWB3	Entwässerung einer 1.000 m <sup>2</sup> Berliner Gehwegfläche aus Plattenbahn (35 x 35 x 5 cm) über straßenbegleitende Mulde <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Belag:</b> Aufbau für sonstige Verkehrsflächen mit Fzg. &lt; 3,5 t nach AV Geh- und Radwege, Gesamtdicke 30 cm</li> <li>- <b>Mulde:</b> 30 cm Oberboden, Neigung von 1:2,5 m, geschlitzte Hochborde, Bemessung T = 5a und K<sub>f</sub>-Wert = <math>2 \times 10^{-5}</math> m/s, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter OK</li> </ul>
RWB4	Entwässerung einer 1.000 m <sup>2</sup> Stellfläche aus Rasengittersteine über straßenbegleitende Mulde <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Belag:</b> Aufbau für sonstige Verkehrsflächen mit Fzg. &lt; 3,5 t nach M VV (FGSV), Gesamtdicke 50 cm</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mulde:</b> 30 cm Oberboden, Neigung von 1:2,5 m, geschlitzte Hochborde, Bemessung <math>T = 5a</math> und <math>K_f</math>-Wert = <math>2 \cdot 10^{-5}</math> m/s, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter UK Flächenbelag, nach DWA-A 138-1 (2024) mind. 0,5 unter UK Muldenboden</li> </ul>
vV1	Wasserdurchlässigen Asphalt (Dränasphalt) für 1.000 m <sup>2</sup> Mischverkehrsfläche <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Belag:</b> Aufbau für Bk0,3 nach M VV (FGSV), Gesamtdicke 65 cm, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter UK Flächenbelag</li> </ul>
vV2	Sickerpflaster mit DIBt-Zulassung für eine Mischverkehrsfläche <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Flächenbelag:</b> Versickerungsrate von <math>&gt; 270</math> l/(s*ha), Aufbau für Bk 0,3 nach M VV (FGSV), Gesamtdicke 70 cm</li> <li>- Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes <math>&gt; 1 \times 10^{-6}</math> m/s, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter UK Flächenbelag</li> </ul>
vV3	Sickerpflaster mit DIBt-Zulassung für einen Gehweg <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Flächenbelag:</b> Versickerungsrate von <math>&gt; 270</math> l/(s*ha), Aufbau für sonstige Verkehrsflächen mit Fzg. <math>&lt; 3,5</math> t nach M VV (FGSV), Gesamtdicke 27 cm</li> <li>- Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes <math>&gt; 1 \times 10^{-6}</math> m/s, Grundwasserflurabstand mindestens 1 m unter UK Flächenbelag</li> </ul>

Für die Varianten sind folgende Investitionskosten bezogen auf den Quadratmeter versiegelte Fläche (Ages = 1.000 m<sup>2</sup>) ermittelt worden.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Investitionskosten für die untersuchten Varianten. Der Preis ist bezogen auf den m<sup>2</sup> Verkehrsfläche

Mischverkehrsfläche Asphalt Bk0,3				
Kosten	Einheit	K	RWB1	vV1
<b>Investitionskosten Gesamt</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</b>	<b>158,00</b>	<b>128,00</b>	<b>106,00</b>
<i>davon Investitionskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>48,00</i>	<i>11,00</i>	<i>-</i>
<i>davon Investitionskosten Verkehrsfläche</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>110,00</i>	<i>117,00</i>	<i>106,00</i>
Mischverkehrsfläche Pflaster Bk0,3				
		RWB2	vV2	
<b>Investitionskosten</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</b>	<b>114,00</b>	<b>97,00</b>	
<i>davon Investitionskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>9,00</i>	<i>-</i>	
<i>davon Investitionskosten Verkehrsfläche</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>105,00</i>	<i>97,00</i>	
Gehweg und sonstige Fläche				
		RWB3	RWB4	vV3
<b>Investitionskosten</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</b>	<b>85,00</b>	<b>79,00</b>	<b>63,00</b>
<i>davon Investitionskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>9,00</i>	<i>3,00</i>	<i>-</i>
<i>davon Investitionskosten Verkehrsfläche</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche</i>	<i>76,00</i>	<i>76,00</i>	<i>63,00</i>

Die Untersuchung der Investitionskosten zeigt, dass die Variante vV3: versickerungsfähige Pflasterfläche Gehweg in der Nutzungsklasse Gehweg und sonstige Flächen, die kostengünstigste Option ist. Im Vergleich dazu liegen die Kosten für die anderen Varianten (RWB4 und RWB3) höher. In der Kategorie Mischverkehrsflächen Pflaster Bk0,3 sind ebenfalls die Investitionskosten der vV2: versickerungsfähige Pflasterfläche geringer als die Variante RWB2. In der Kategorie Mischverkehrsfläche Asphalt BK0,3 ist die teuersten Optionen Entwässerung über Regenwasserkanal (K), danach RWB1 und vV1. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung 23 dargestellt.

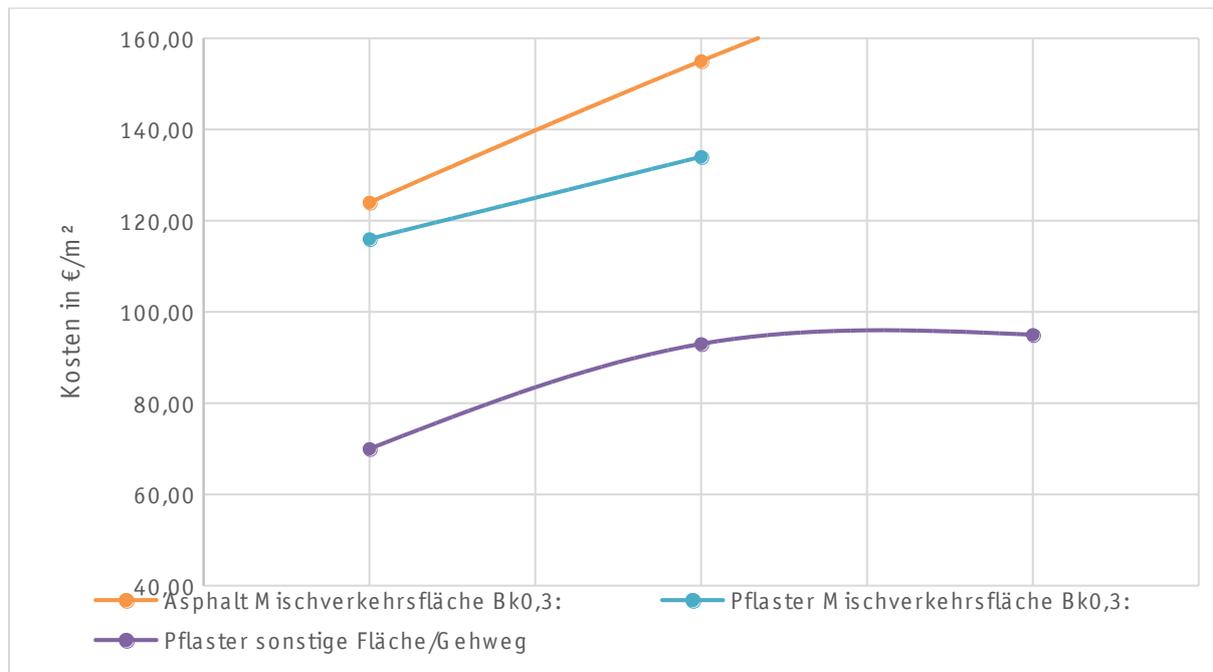


Abbildung 23: Vergleich Kosten des jeweiligen Belags – und Nutzungskategorien bezogen auf den m<sup>2</sup> Verkehrsfläche

Für die Kalkulation der Betriebskosten werden die kanalbezogenen Kosten (Instandhaltung und Reinigung) und die Unterhaltungsmaßnahme der Mulden und der Oberfläche berücksichtigt. Bei der Mulde handelt es sich um eine reine Rasenmulde mit einer Muldensohle > 0,8 m und einer Böschungsneigung flacher als 1:2. Die Mulde liegt in einer kaum befahrenen Straße oder freiliegend, ist gut zugänglich und es befinden sich einzelne/wenige Bäume am Muldenrand. Die Oberflächen sind ebenfalls nur leicht befahren und haben einen geringen Reinigungsaufwand. Eine genaue Betrachtung der Betriebskosten ist in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Betriebskosten für die untersuchten Varianten. Der Preis ist bezogen auf den m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr

Mischverkehrsfläche Asphalt Bk0,3				
Kosten	Einheit	K	RWB1	vV1
<b>Betriebskosten Gesamt</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</b>	<b>1,54*</b>	<b>1,62</b>	<b>1,94</b>
<i>davon Betriebskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>0,12*</i>	<i>0,20</i>	<i>0,52</i>
<i>davon Betriebskosten Instandhaltung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>1,42</i>	<i>1,42</i>	<i>1,42</i>
Mischverkehrsfläche Pflaster Bk0,3				
		RWB2	vV2	
<b>Betriebskosten Gesamt</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</b>	<b>0,94</b>	<b>1,29</b>	
<i>davon Betriebskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>0,17</i>	<i>0,52</i>	
<i>davon Betriebskosten Instandhaltung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>0,77</i>	<i>0,77</i>	
Gehweg und sonstige Fläche				
		RWB3	RWB4	vV3
<b>Betriebskosten Gesamt</b>	<b>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</b>	<b>0,94</b>	<b>0,83</b>	<b>1,29</b>
<i>davon Betriebskosten Entwässerung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>0,17</i>	<i>0,06</i>	<i>0,52</i>
<i>davon Betriebskosten Instandhaltung</i>	<i>€ pro m<sup>2</sup> Verkehrsfläche pro Jahr</i>	<i>0,77</i>	<i>0,77</i>	<i>0,77</i>

\* fehlende Kosten für Aufbereitung/Reinigung Regenwasser

Die Betriebskosten pro Quadratmeter variieren je nach der gewählten Variante der Entwässerung und der Oberflächenbeschaffenheit. Die Betriebskosten sind bezogen auf die Entwässerung (z. B. Instandhaltung Mulden, Betriebskosten Kanal, Reinigung Sickerpflaster etc.) und die Reparatur und Instandhaltung der Oberflächen (z. B. Sanierung der Deckschicht) aufgeteilt. Für die einzelnen Positionen ist ein Preis pro m<sup>2</sup> bzw. eine Intensität festgelegt. Die entwässerungsbezogenen Betriebskosten fallen in jeder Variante geringer als die Betriebskosten der Instandhaltungsmaßnahmen für Asphalt und Pflasterflächen, unabhängig von derer Entwässerungsmethode, aus. Teilversiegelte Bodenoberflächenarten sind im Betrieb teurer als verschiedene Varianten der dezentralen Bewirtschaftung (z. B. Mulden). Aus Sicht der Entwässerungskosten sind die Varianten, in denen Mulden eingesetzt werden, unter den festgelegten Szenarioparametern, die kostengünstigsten Optionen. Im Vergleich dazu liegen die entwässerungsbezogenen Betriebskosten für die anderen Varianten mit teilversiegelten Bodenoberflächenarten ungefähr doppelt so hoch. Die Betriebskosten für Instandhaltung und Reparatur der Verkehrsfläche sind unabhängig vom Einsatz teilversiegelter Bodenoberflächenarten und unterscheiden sich nur unter Asphalt- bzw. Pflasterbauweise und deren berücksichtigten Aufwand zur Erhaltung und Sanierung der Verkehrsfläche. Für die kanalbezogenen Betriebskosten kann abschließend keine eindeutige Zahl berechnet werden, da hier die Kosten der Regenwasserbehandlung fehlen.

## 7 AP 7 – Wissensdefizite

Aus den Erfahrungen der aufgeführten durchgeführten Untersuchungen und der Auswertung zahlreicher Veröffentlichungen (siehe Anhang) zeichnen sich in Bezug auf die Erfassung und Bilanzierung der Versickerungsfähigkeit teilversiegelter Bodenoberflächenarten und deren Relevanz in Klimaanpassungskonzepten folgende Wissensdefizite ab. Daraus wird ein Forschungsbedarf ermittelt, welcher im Zuge der klimaresilienten und wasseroptimierten Siedlungsentwicklung bedeutungsvoll ist.

Es bestehen Wissensdefizite hinsichtlich:

- **Untersuchungsergebnisse der gesamten Bandbreite und das Zusammenwirken unterschiedlicher Anlagen/Anlagentypen fehlen:**  
Es wurden in den vorliegenden Studien immer nur einzelne Anlagentypen separat untersucht. Es fehlen jedoch Kenntnisse darüber, welchen Einfluss das Zusammenwirken unterschiedlicher Anlagentypen (in jeweils unterschiedlicher räumlicher Zuordnung/Größenordnung) auf die Versickerung und den Abfluss haben.
- **Die strukturellen und materiellen Eigenschaften sind nicht für alle Anlagen verfügbar:**  
Für viele Beläge gibt es keine spezifischen Informationen zu Materialeigenschaften und Materialzusammensetzungen. Diese sind sowohl für die Materialstruktur und die verwendeten Materialien relevant.
- **Die hydrologische Performance ist bislang nur für einzelne Systeme untersucht:**  
Einzelne Teile der Wasserbilanz, insbesondere der Abfluss, wurden aus den bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen herausgearbeitet. Eine Ermittlung der gesamten Wasserbilanz wurde in-situ nur für einzelne Systeme untersucht.
- **Die hydraulische Performance ist in-situ gut untersucht, aber nicht für Gefällesituationen > 5 %:**  
Solche Untersuchungen sind bei einem Gefälle > 5 % (steile Lagen) sehr aufwändig und wurden daher dort nicht durchgeführt, laut M VV (Merkblatt für versickerungsfähige Flächen) als Erfahrungswert definiert. In steilen Lagen wurden bislang nur sehr wenige Anlage gebaut.
- **Erreichbare Wasserqualität ist nur für einzelne Systeme untersucht:**  
Die erreichbare Wasserqualität wurde nur für einzelne Systeme untersucht, die DIBt zugelassen sind. Systeme, die auf natürlichen Substraten basieren, unterliegen bislang keinem Zulassungsverfahren und wurden nicht systematisch geprüft.
- **Es fehlen systematische Untersuchungen zur Biodiversität der verfügbaren Anlagentypen:**  
Die Auswirkungen der Anlagentypen auf die Biodiversität kann bislang nur abgeschätzt werden, hier spielt der begrünte Bereich bzw. das verwendete Substrat/Boden eine Rolle.
- **Bauüberwachung und Wartung einzelner Anlagen:**  
Für den Bau und die Wartung von Anlagen gibt es i. d. R. Herstellervorgaben, allerdings ist nicht immer bekannt, ob dies auch so eingehalten wurde.
- **Dauerhaftigkeit der Versickerungsfähigkeit ist nur punktuell für Anlagen untersucht:**

Die Dauerhaftigkeit der Versickerungsfähigkeit wurde bislang nicht für alle Anlagen und Situationen untersucht. Hier fehlt vor allem das Wissen über die Zeit bis zur vollständigen Kolmation und Schadstoffanreicherungen in den Fugen und vor allem den Tragschichten, in denen nicht zerstörungsfrei untersucht werden kann. Daher wurde im vorliegenden Gutachten mit fachgutachterlichen Prognosen gearbeitet, die auf Analogieschlüssen und eigenen Erfahrungswerten beruhen.

- **Dynamische Abflussparametrisierung auf Basis hydrologischer Langzeitsimulationen sind bislang nicht ermittelt worden:**

Um Wasserhaushaltsbilanzen zu rechnen, für die eine Langzeitsimulation erforderlich ist, fehlen für die Anlagen dezidierte Untersuchungen zur Ermittlung der Parameter für eine dynamische Abflussparametrisierung. Hier ist bislang das ingenieurtechnische Know-how gefragt.

- **Zukünftige Veränderung der Starkregenereignisse:**

Die Wirkung der Anlagen kann momentan für die bislang ausgewerteten Niederschlagsereignisse ermittelt werden. Da die Veränderung der Starkregenereignisse für die Zukunft bislang nur abgeschätzt werden kann und einer großen Varianz unterliegt, besteht an dieser Stelle eine Unsicherheit.

Auf einen Teil dieser Defizite wird auch in der Veröffentlichung (Abstract) von Weiss et al (2019) hingewiesen.

## 8 Literaturverzeichnis

- Alam et al., 2019 Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K., Bezares-Cruz, J., & Guerrero, J., A Comparison of Three Types of Permeable Pavements for Urban Runoff Mitigation in the Semi-Arid South Texas, U.S.A. *Water*, 11, 2019, <https://doi.org/10.3390/w11101992>.
- Andersson et al., 2017 Andersson, P., Koffman, A., Sjödin, N., & Johansson, V., Roads may act as barriers to flying insects: species composition of bees and wasps differs on two sides of a large highway. *Nature and Conservation*, 18, 2017, 47-59. <https://doi.org/10.3897/NATURECONSERVATION.18.12314>.
- Aryal et al., 2015 Aryal, R., Beecham, S., & Lee, B., Evaluation of particle transport in permeable pavements under oil loadings. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19, 2015, 2000-2004. <https://doi.org/10.1007/S12205-015-0046-4>.
- Bean et al., 2007 Bean, E., Hunt, W., & Bidelspach, D., Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-asce*, 133, 2007, 249-255. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:3\(249\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:3(249)).
- Boogaard et al, 2019 Boogaard, F., Lucke, T.: Long-Term Infiltration Performance Evaluation of Dutch Permeable Pavements Using the Full-Scale Infiltration Method. *Water*, 11, 2019, <https://doi:10.3390/w11020320>.
- Booth & Leavitt, 1999 Booth, D., & Leavitt, J., Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management. *Journal of The American Planning Association*, 65, 1999, 314-325. <https://doi.org/10.1080/01944369908976060>.
- Braswell et al., 2018 Braswell, A., Winston, R., Hunt, W., Hydrologic and water quality performance of permeable pavement with internal water storage over a clay soil in Durham, North Carolina, *Journal of Environmental Management*, 224, 2018, 277-287, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.040>.
- BWB Rgbl. 605 Mulden-Rigolen-System Überfahrerschutz und Zuleitung des Niederschlagswassers. NORM für das Kanalnetz. Regelblatt 605. Berliner Wasserbetriebe. 2020
- Chen et al., 2017 Chen, Y., Wang, X., Jiang, B., Wen, Z., Yang, N., & Li, L., Tree survival and growth are impacted by increased surface temperature on paved land. *Landscape and Urban Planning*, 162, 2017, 68-79. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2017.02.001>.
- Chen et al., 2021 Chen, W., Zheng, M., Gao, Q., Deng, C., Ma, Y., & Ji, G., Simulation of surface runoff control effect by permeable pavement. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 83, 2021, 948-960. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.027>.

- Coupe & Smith, 2005      Coupe, S., & Smith, H., The response of protist and metazoan communities in permeable pavement structures to high oil loadings. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52, 2005, [https://doi.org/10.1111/J.1550-7408.2005.05202003\\_2\\_1.X](https://doi.org/10.1111/J.1550-7408.2005.05202003_2_1.X).
- Coupe et al., 2003      Coupe, S., Smith, H., Newman, A., & Puehmeier, T., Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements. *European Journal of Protistology*, 39, 2003, 495-498. <https://doi.org/10.1078/0932-4739-00027>.
- Cui et al., 2021      Cui, B., Wang, X., Su, Y., Chen, Y., Yu, W., Gong, C., Li, L., Rehim, A., & Wang, X., Impacts of pavement on the growth and biomass of young pine, ash and maple trees. *Trees*, 35, 2021, 2019 - 2029. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02169-w>.
- DIBt 2011      „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“ Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m<sup>2</sup> und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser“, Fassung 2011, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DIBt 2022      „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“ Teil 2: Wasserdurchlässige Beläge zur Behandlung und Versickerung von Niederschlagswasser von Verkehrsflächen (Abwasserbehandelnde Flächenbeläge), Fassung Dezember 2022, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- Dierkes und Lohmann, 2005      Dierkes, C., Lohmann, M.: Versickerungsleistung und Schadstoffrückhalt bei der konzentrierten Versickerung der Regenabflüsse von Parkflächen über Rasenfugensteine. Abschlussbericht, HydroCon, Emschergenossenschaft Lippe Verband, 2005
- Dierkes, 2000      Wirkung von Schwermetallen im Regenabfluß von Verkehrsflächen bei der Versickerung über poröse Deckbeläge. Carsten Dierkes, Dissertation
- Dierkes, 2019      Wasserdurchlässige Pflasterbeläge mit hoher Verdunstungsleistung, Aqua Urbanica 2019, Rigi-Kaltbad, Schweiz
- DWA-A 138-1      Arbeitsblatt DWA-A 138-1: Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Oktober 2024
- DWA-M 102-4      Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers. DWA-Regelwerk/BWK-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). März 2022
- ErsatzbaustoffV 2021      Klassifiziert mineralische Ersatzbaustoffe, Regelt Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen

- FH Bochum/IKT, 2005 Nolting, B., Schönberger, O., Harting, K., Gabryl, P.: Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer“. Auftraggeber Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Projektbeteiligte Fachhochschule Bochum, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur
- FLL, 2018 Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Ausgabe 2018
- Flower et al., 2010 Flower, W., Burian, S., Pomeroy, C., & Pardyjak, E. (2010). Surface temperature and heat exchange differences between pervious concrete and traditional concrete and asphalt pavements., 2010, 1417-1430. [https://doi.org/10.1061/41099\(367\)122](https://doi.org/10.1061/41099(367)122).
- HLNUG, 2023 Kompensation des Schutzgutes Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Arbeitshilfe zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs für das Schutzgut Boden in Hessen und Rheinland-Pfalz. Umwelt und Geologie Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 16. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2023
- HMLU, 2024 Versickerung, Retention und Verdunstung als Beitrag zur wassersensiblen Siedlungsentwicklung. Leitfaden. Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU)
- IDUR, 2023 Petersen, F., Dengler, F.: Wassermanagement in Zeiten des Klimawandels. Sonderheft Nr. 72. Recht der Natur. Hrsg: Informationsdienst Umweltrecht (IDUR), Frankfurt a.M., 2023
- Illgen, 2009 Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung. Dissertation, Dipl.-Ing. Marc Illgen, Technischen Universität Kaiserslautern
- Johnson et al., 2019 Johnson, T., Moore, G., Cameron, D., & Brien, C., An investigation of tree growth in permeable paving. *Urban Forestry & Urban Greening*, 43, 2019, <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2019.126374>.
- Kearns & Oliveras, 2009 Kearns, C., & Oliveras, D., Environmental factors affecting bee diversity in urban and remote grassland plots in Boulder, Colorado. *Journal of Insect Conservation*, 13, 2009, 655-665. <https://doi.org/10.1007/s10841-009-9215-4>.
- Köhler, Ulonska, und Wellner, 2014 Köhler, M., Ulonska, D., Wellner, F.: Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen. Richtig planen und ausführen. Hrsg: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Bonn
- KONVERT, 2021 Planung, Bau und Betrieb von belebten, oberirdischen Anlagen zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung, Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, gefördert vom MKULNV NRW im Rahmen des Förderprogrammes Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung, 2021

- Kumar et al., 2016 Kumar, K., Kozak, J., Hundal, L., Cox, A., Zhang, H., Granato, T., In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot – A four-year study, *Journal of Environmental Management*, 167, 2016, 8-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.019>.
- Kuruppu et al., 2019 Kuruppu, U., Rahman, A., & Rahman, M., Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. *Environmental Earth Sciences*, 78, 2019, 1-20.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8312-2>.
- LEIREV (2016) Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen (LEIREV), Abschlussbericht, gefördert vom MKULNV NRW im Rahmen des Förderprogrammes Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung, 2016
- Li et al., 2013 Li, H., Harvey, J., Holland, T., & Kayhanian, M., The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8, 2013, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015023>.
- Li et al., 2014 Li, H., Harvey J., Ge, Z., Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials, *Construction and Building Materials*, 65, 2014, 367-375.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004>.
- Liu et al., 2012 Liu, C., Chen, J., Tsai, J., Lin, W., Yen, M., & Chen, T., Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62, 2012, 102 - 92. <https://doi.org/10.1080/10473289.2011.630628>.
- M VV, 2013 Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen. Mit Änderungen Stand 03/2017, FGSV Verlag GmbH, Köln
- Merkblatt M FP Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen, (FGSV 618/1)
- MIL, 2022 Arbeitshilfe Bauungsplanung. Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung des Landes Brandenburg, 2022
- Mullaney et al., 2015 Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S., The effect of permeable pavements with an underlying base layer on the growth and nutrient status of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 2015, 19-29.  
<https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2014.11.007>.
- Mullaney et al., 2016 Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S., & Bai, S., The growth and health of street trees planted in permeable pavements, 1108, 2016, 77-82.  
<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2016.1108.10>.
- Newman et al., 2002 Newman, A., Pratt, C., Coupe, S., & Cresswell, N., Oil bio-degradation in permeable pavements by microbial communities. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 45 7, 2002, 51-6. <https://doi.org/10.2166/WST.2002.0116>.

- Noël et al., 2021 Noël, G., Van Keymeulen, V., Barbier, Y., Smets, S., Van Damme, O., Colinet, G. et al., Nest aggregations of wild bees and apoid wasps in urban pavements: A 'street life' to be promoted in urban planning. *Insect Conservation and Diversity*, 17, 2024, 396–408.  
<https://doi.org/10.1111/icad.12689>
- Präsentation Berding, 2022 Präsentation Produkt beProtect Versickerungsstein, Hoppegarten 2022
- Qin & Hiller, 2014 Qin, Y., & Hiller, J., Understanding pavement-surface energy balance and its implications on cool pavement development. *Energy and Buildings*, 85, 2014, 389-399. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.09.076>.
- Radenberg et al, 2018 Evaluation Ressourcen schonender Tragschichten; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1133, NW Fachverlag, 2018
- Roseen et al., 2009 Roseen, R., Ballesteros, T., Houle, K., Briggs, J., & Houle, J. Pervious Concrete and Porous Asphalt Pavements Performance for Stormwater Management in Northern Climates. 2009, 311-327.  
[https://doi.org/10.1061/41072\(359\)31](https://doi.org/10.1061/41072(359)31).
- Sansalone et al., 2012 Sansalone, J., Kuang, X., Ying, G., Ranieri, V., Filtration and clogging of permeable pavement loaded by urban drainage, *Water Research*, 46, 2012, 6763-6774.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.018>.
- Scholz & Grabowiecki, 2007 Scholz, M., & Grabowiecki, P., Review of permeable pavement systems. *Building and Environment*, 42, 2007, 3830-3836.  
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.11.016>.
- Selvakumar & O'Connor, 2018 Selvakumar, A., & O'Connor, T., Organism Detection in Permeable Pavement Parking Lot Infiltrates at the Edison Environmental Center, New Jersey. *Water Environment Research*, 90, 2018.  
<https://doi.org/10.2175/106143017X14902968254575>.
- Selvakumar & O'Connor, 2022 Selvakumar, A., & O'Connor, T. (2022). Seasonal variation in indicator organisms infiltrating from permeable pavement parking lots at the Edison Environmental Center, New Jersey. *Water Environment Research*, 94, 2022, <https://doi.org/10.1002/wer.10791>.
- Shafique et al., 2018 Shafique, M., Kim, R., & Kyung-Ho, K., Rainfall Runoff Mitigation by Retrofitted Permeable Pavement in an Urban Area. *Sustainability*, 10, 2018, 1231. <https://doi.org/10.3390/SU10041231>.
- SLG, 2020 Merkblatt für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton - Grundlagen, Planung, Ausführung, Erhaltung. Betonverband, Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Bonn 2020
- Sommer, 2007 Behandlung von Niederschlagswasser von Straßen, Harald Sommer, Dissertation an der Leibniz Universität Hannover, 2007

- Starke et al., 2010 Starke, P., Göbel, P., Coldewey, W., Urban evaporation rates for water-permeable pavements. *Water Sci Technol*, 62, 2010, 1161–1169. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.390>
- Starke et al., 2011 Starke, P., Göbel, P., Coldewey, W., Effects on evaporation rates from different water-permeable pavement designs. *Water Sci Technol*, 63, 2011, 2619–2627. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.168>
- Stempihar et al., 2012 Stempihar, J., Pourshams-Manzouri, T., Kaloush, K., & Rodezno, M., Porous Asphalt Pavement Temperature Effects for Urban Heat Island Analysis. *Transportation Research Record*, 2293, 2012, 123 - 130. <https://doi.org/10.3141/2293-15>.
- Tirpak et al., 2021 Tirpak, R., Winston, R., Feliciano, M., Dorsey, J., & Epps, T., Impacts of permeable interlocking concrete pavement on the runoff hydrograph: Volume reduction, peak flow mitigation, and extension of lag times. *Hydrological Processes*, 35, 2021, <https://doi.org/10.1002/hyp.14167>.
- Ulonska, 2022 Bettungsmaterial Splitt: Geliebt und gehasst – Im Eiertanz durch das Regelwerk, SLG-Fachtagung Betonpflasterbauweisen, Web-Seminar SLG Betonverband Straße, Landschaft und Garten e.V., 2022
- Veldkamp, Boogaard, Kluck, 2022 Veldkamp, T.; Boogaard, F., Kluck, J, Unlocking the Potential of Permeable Pavements in Practice: A Large-Scale Field Study of Performance Factors of Permeable Pavements in The Netherlands. *Water*, 2022, 14, 2080. <https://doi.org/10.3390/w14132080>.
- Wang et al., 2018 Wang, J., Meng, Q., Tan, K., Zhang, L., Zhang, Y., Experimental investigation on the influence of evaporative cooling of permeable pavements on outdoor thermal environment. *Building and Environment*, 140, 2018, 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.033>.
- Weiss et al., 2019 Weiss, P., Kayhanian, M., Gulliver, J., & Khazanovich, L., Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps. *International Journal of Pavement Engineering*, 20, 2019, 143 - 162. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1279482>.
- Zhang et al., 2015 Zhang, R., Jiang, G., & Liang, J., The Albedo of Pervious Cement Concrete Linearly Decreases with Porosity. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 2015, 1-5. <https://doi.org/10.1155/2015/746592>.
- Zhu et al., 2019 Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H., & Cao, R., Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff. *International journal of transportation science and technology*, 8, 2019, 373-382. <https://doi.org/10.1016/J.IJTST.2018.12.001>.

## 9 Anhang

### 9.1 Weiteres zu Straßenbaustandards

#### 9.1.1 Abweichungen/Ergänzungen zu Straßenbaustandards

Die Bauweisen von klassischen Pflasterflächen und versickerungsfähigen Pflasteraufbauten unterscheiden sich in einigen wesentlichen Punkten. Nachfolgend werden einige Unterschiede herausgearbeitet.

Im Vergleich zu konventionellen Flächenbefestigungen mit geschlossenen Deckschichten, die darauf ausgelegt sind, Niederschlagswasser oberflächlich abzuleiten, zielen versickerungsfähige Verkehrsflächen darauf ab, das Wasser gezielt in den Oberbau und den Untergrund zu leiten und so einen oberflächlichen Abfluss zu vermeiden. Diese Bauweise erlaubt eine **geringere Oberflächenneigung** als z. B. herkömmliche Pflasterbefestigungen. Eine Querneigung von mindestens 2,5 % ist bei herkömmlichen Pflasterbefestigungen üblich, während bei versickerungsfähige Verkehrsflächen eine **Neigung von 1,0 %** zur Gewährleistung einer Notentwässerung beibehalten werden sollte.

Die **Längs- und Querneigung bei versickerungsfähigen Verkehrsflächen darf maximal 5,0 %** betragen, um sicherzustellen, dass das Wasser möglichst vollständig durch den Straßenaufbau versickert. Bei stärkeren Neigungen würde ein erhöhter Oberflächenabfluss, insbesondere bei Starkregen, entstehen.

Bei einem Vergleich von konventionellem Pflaster und Sickerpflaster ist die Verkehrsbelastung, gekennzeichnet durch Verunreinigung des Niederschlagswassers und mechanische Beanspruchungen wie Bremsen, Anfahren, Beschleunigen, Kurvenfahrten und Torsionsbeanspruchungen durch Lenkbewegungen, besonders von Schwerverkehr, entscheidend, da versickerungsfähige Pflasterdecken diesen Belastungen teilweise weniger Widerstand bieten als konventionelle Decken. Daher eignen sich **versickerungsfähige Pflasterbefestigungen vorrangig für Bereiche mit begrenzter Verkehrsbeanspruchung, konkret für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk0,3 laut RSt0 12, sowie für Gehwege, Radwege und andere Flächen inklusive Hofflächen nach den ZTV-Wegebau.**

Der **Einsatz von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen für Verkehrsflächen, die der Belastungsklasse Bk1,0 oder Bk1,8 gemäß den RSt0 zugeordnet werden können, ist nach Einzelfallprüfung grundsätzlich auch möglich.** Bei günstigen fahrgeometrischen Bedingungen (wenig Rangierverkehr, keine engen Kurvenradien, Schrägparkstände) kann bei geeignetem Aufbau auch der Einsatz von Sickerpflaster geplant werden. Sowohl im M VV und in der Unterlage vom SLG werden Bauweisen beschrieben, die mit größeren Dicken der Pflastersteine und einer höheren Verdichtung des Unterbaus im Vergleich zur RSt0 12 auch Bk1,8 ermöglichen. Es ist jedoch zu beachten, dass eine fachgerechte Fugenverfüllung bei zum Teil 14 cm starken Pflastersteinen eine Herausforderung darstellt.

#### 9.1.2 Aufbau von versickerungsfähigen Verkehrsflächen

Der Aufbau von vollversickerungsfähigen Verkehrsflächen unterscheidet sich im Grundsatz nicht von klassischen Pflasterflächen. Bei der Herstellung und dem Einbau sind sowohl die rechtlichen

Grundlagen des klassischen Straßenbaus als auch die zusätzlichen Ausführungshinweise für versickerungsfähige Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich werden bei der Dimensionierung des Straßenaufbaus anhand der Verkehrsbelastung und der äußeren Umwelteinflüsse die maßgebenden Schichten in entsprechenden Schichtstärken ermittelt. Ein Sickerpflasteraufbau setzt sich i. d. R. aus dem Sickerpflaster mit zugehörigem Fugenmaterial, der Bettung, der Tragschicht und ggf. der Frostschuttschicht auf dem Planum zusammen (Abbildung 24). Das Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV) bietet analog zur RStO 12 geeignete Straßenaufbauten in einer tabellarischen Übersicht (Abbildung 25).

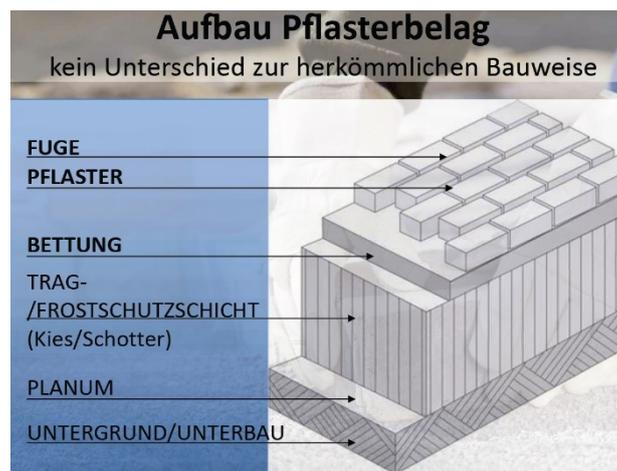


Abbildung 24: Aufbau Sickerpflaster mit Unterbau (Präsentation Berding, 2022)

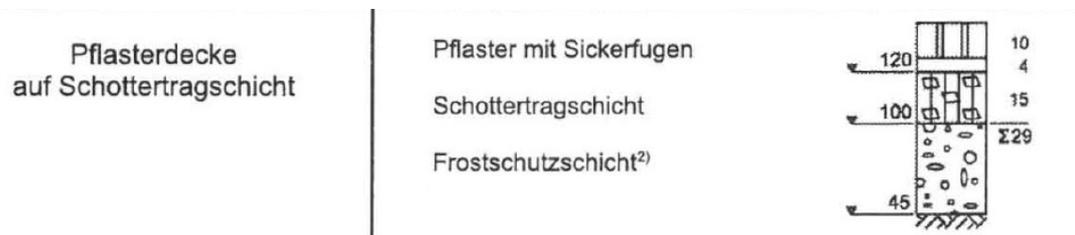


Abbildung 25: Beispielhafter Straßenaufbau für BK0,3 mit Pflasterdecke auf Schottertragschicht in Anlehnung an die RStO 12, M VV S. 15

#### 9.1.2.1 Pflaster, Oberbau

Die in Kapitel 2.2 differenziert aufgeführten Arten von versickerungsfähigen Verkehrsflächen, insbesondere die Pflastervarianten, eignen sich je nach Anwendungsfall teilweise nur bedingt. Die Steindicken für Sickerpflaster der verschiedenen Hersteller bewegen sich i. d. R. zwischen 8 und 10 cm. Abbildung 19 gibt einen Überblick über die Systemeignung von **Pflaster mit Sickerfugen**, **Pflaster mit Sickerfugen und Sickeröffnungen** und **Pflasterdecken aus haufwerksporigen Pflastersteinen**. Es wird bewertet, ob die jeweiligen Pflastersysteme für die Verkehrsbeanspruchung und **sonstige Nutzung (z. B. Wohnweg, Rad-/Fußweg)** geeignet sind.



Der Aufbau des Oberbaus umfasst die Tragschicht, optional eine Frostschuttschicht und die Pflasterdecke. Die Dicke der Pflasterdecke muss so ausgelegt sein, dass sie für ausreichende Tragfähigkeit und Frostsicherheit über die vorgesehene Nutzungsdauer hinweg bietet. Bei nicht frostempfindlichem Untergrund (F1-Boden) ist lediglich die Tragfähigkeit für die Dimensionierung des Oberbaus entscheidend. Bei frostempfindlichem Untergrund (F2- oder F3-Boden) muss die Dicke des Oberbaus gemäß den Richtlinien für die Standardisierung des Straßenbaus (RSt0) für Frostsicherheit angepasst werden (Abbildung 26).

	Für Verkehrsflächen, wie		Für sonstige Verkehrsflächen, wie	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnstraßen, Wohnwege, Fußgängerzonen (ohne Bus- und Lieferverkehr mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs) nach Tabelle 2 der RStO 2012</li> <li>Verkehrsflächen in Neben- und Rastanlagen für Pkw-Verkehr einschließlich geringem Schwerverkehrsanteil nach Tabelle 4 der RStO 2012</li> <li>Abstellflächen für Pkw-Verkehr (Befahren durch Fahrzeuge des Unterhaltungsdienstes möglich) nach Tabelle 5 der RStO 2012</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Rad- und Gehwege, Hof-, Park- und Abstellflächen für Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht &lt; 3,5 t</li> </ul>	
	Beanspruchung B [Mio.] > 0,1 ≤ 0,3		Beanspruchung B [Mio.] ≤ 0,1	
Dickenangaben in cm; $\nabla E_{v2}$ -Mindestwert in MPa				
Pflasterdecke auf Schottertragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	
Pflasterdecke auf Kiestragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 	
Pflasterdecke auf wasser-durchlässiger Asphalttragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 		
Pflasterdecke auf Dränbetontragschicht	Pflasterdecke mit Sickerfugen 	Pflasterdecke mit Sickerfugen, aufgeweiteten Sickerfugen oder aus haufwerksporigen Betonsteinen 		

<sup>1)</sup> Die erforderliche Dicke der Frostschutzschicht ist gemäß den RStO so festzulegen, dass ein ausreichendes Tragverhalten und eine ausreichende Frostsicherheit gewährleistet sind. Es sind außerdem die Mindesteinbaudicken nach Tabelle 5 einzuhalten.  
<sup>2)</sup> Gegebenenfalls Geotextil nach Abschnitt 2.2 des M VV.  
<sup>3)</sup> Alternativ PA 22 T WDA gemäß Tabelle 4 des M VV.

Abbildung 26: Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton auf F2- oder F3-Untergrund/Unterbau für Verkehrsflächen der Belastungsklasse bis Bk0,3 (in Anlehnung an M VV) (Tabelle 4 in SLG, 2020)

**Die versickerungsfähigen Verkehrsflächen müssen stets mit Randeinfassungen hergestellt werden, um horizontale Verschiebungen zu verhindern.** Für die Planung und Ausführung solcher Einfassungen bieten das Merkblatt M FP und die Fachbroschüre "Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen" von Köhler, Ulonska und Wellner (2014) umfassende Hinweise. Bei Pflasterdecken, die neben der Versickerung auch eine Entwässerung vorsehen, muss die Randeinfassung so gestaltet sein, dass sie das Niederschlagswasser seitlich abführen kann. Eine solche

Einfassung kann beispielsweise durch auf Lücke gesetzte Tiefbordsteine realisiert werden. (vgl. BWB Rgbl. 605).

#### 9.1.2.2 *Bettungs- und Fugenmaterial*

Das Bettungs- und Fugenmaterial von Sickerpflaster muss aufeinander abgestimmt sein, um sowohl die notwendige Wasserdurchlässigkeit als auch die mechanischen Anforderungen zu erfüllen. Für die Fugenfüllung bei Pflasterdecken sollte möglichst das gleiche Material wie für die Bettung verwendet werden, wobei die Filterstabilität zwischen beiden Materialien gegeben sein muss. Eine Mindestfugenbreite ist erforderlich, um das Fugenmaterial korrekt einzubringen. **Üblicherweise beträgt die Fuge mindestens 5 mm für Material mit Körnung 1/3 mm und 8 mm für Material mit Körnung 2/4 mm oder 2/5 mm. Bei haufwerksporigen Betonsteinen sind Sollfugenbreiten von 4 mm oder 6 mm üblich, mit den Körnungen 0/2 mm oder 1/3 mm als passendem Fugenmaterial.** Feine Partikel können jedoch die Poren der Steine verstopfen. Passende Größenkombinationen sind in nachfolgender Abbildung 27 zu finden.

Das richtige Fugenmaterial in Kombination mit einer darauf abgestimmten Fugenbreite ist für die Lagestabilität des Pflasterverbands entscheidend. Viele Hersteller liefern zu dem Sickerpflaster passende Fugenverfüllung bzw. verkaufen Stein und Fugenmaterial nur zusammen als System. Falls kein spezifisches Fugenmaterial vom Hersteller empfohlen wird, sollte seine Eignung durch Testeinkehrung des Materials in die Fuge bestimmt werden.

Das **Merkblatt für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen aus Beton (SLG, 2020)** geht ausführlicher auf die konstruktiven Anforderungen an Fuge und Bettung ein. Abbildung 27 zeigt eine Übersicht, welche Kornfraktionen zusammen eingesetzt werden können.

Fuge Bettung	0/2 <sup>1)</sup>	1/3	2/4	2/5	2/8	4/8	5/8
1/3	+	+					
2/4		+	+				
2/5		+	+	+			
2/8		+	+	+	+		
4/8			-	+	+	+	
5/8			-	-	+	+	+

<sup>1)</sup> Es sollte ausschließlich gewaschenes Material verwendet werden.  
 + Geeignet und filterstabil, wenn Lieferkörnungen nach den TL Gestein-StB 04 verwendet werden.  
 - Nicht geeignet oder nicht zu empfehlen.

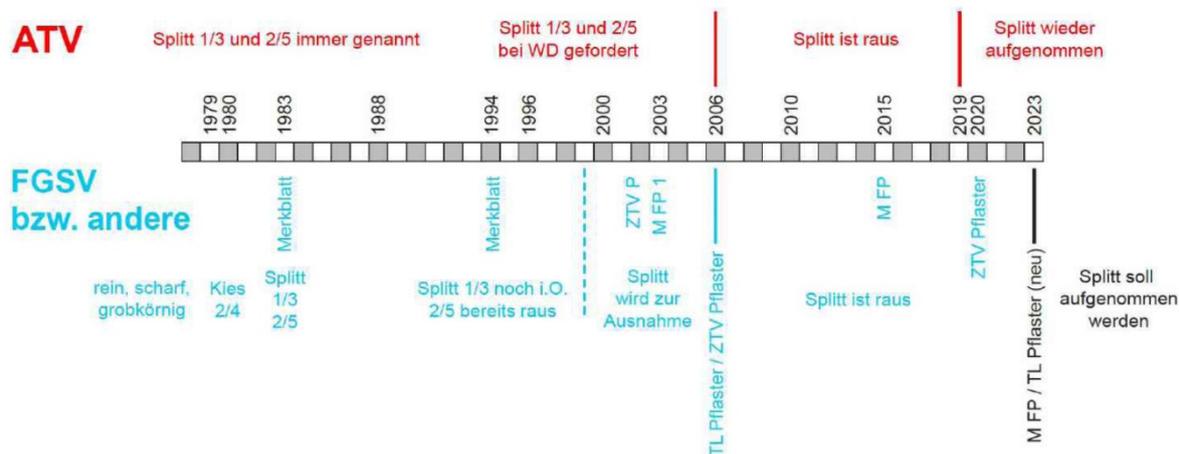
Abbildung 27: Geeignete Körnungen und Kombinationen von Körnungen für Bettungs- und Fugenmaterialien, SLG 2020, Tabelle 8

Die richtige Wahl von Fugenverfüllmaterial und Bettung ist auch außerhalb der versickerungsfähigen Verkehrsflächen im Rahmen klassischer Pflasterbauweisen ein viel diskutiertes Thema.

„Deutlich besser geeignet erscheint ein Split von 1 mm bis 3 mm, wie ihn viele Hersteller für wasserdurchlässige Systeme empfehlen, oder die Mischung bzw. der Betonbruch. Hier muss allerdings geklärt werden, inwiefern diese Materialien von der Korneigenfestigkeit den Belangen der Pflasterbeläge genügen. Insbesondere für Pflaster ohne feste Abstandhalter ist dies ein wichtiger Aspekt bei der Wahl des Fugenmaterials. Solche Pflaster sollten mit einem Split der Kornabstufung von 1 mm bis 3 mm verfüllt werden. Größere Materialien lassen sich zwar in die Fugen einbringen, diese verlagern allerdings das Problem des Zusetzens mit Feinstoffen in die Tiefe auf ein Niveau oberhalb der Bettung. Wünschenswert ist es allerdings diese Stoffe möglichst oberflächennah zu halten, dann müssen bei einer Reinigung des Systems nur die obersten 1 bis 2 cm des Fugenmaterials ausgesaugt und getauscht werden. Auch bezüglich des Schadstoffrückhaltes eignen sich die alternativen Materialien besser als der Splitt von 2 bis 5 mm.“ (Dierkes und Lohmann, 2005)

Auch der in Abbildung 28 aufgezeigte zeitliche Verlauf zur „Diskussion Feinanteile und Fugenfüllmaterial“ weist auf Differenzen zwischen den geltenden Regelwerken und auch die zeitlich immer wieder auftretenden Änderungen auf.

## Diskussion Feinanteile Zeitlicher Verlauf



Quelle: Ulonska 2022

Abbildung 28: Zeitverlauf zur „Diskussion Feinanteile“ in der Fugenverfüllung von Pflaster (Ulonska, 2022)

### 9.1.2.3 Unterbau, Planum und Baugrund

Der Unterbau von versickerungsfähigen Verkehrsflächen ist auf die Beanspruchung und Nutzung der Verkehrsflächen abzustimmen. Üblich sind in Anlehnung an die RStO 12 der Einsatz von Schottertragschichten, Kiestragschichten oder von gebundenen Unterbauten mit wasserdurchlässigen Asphalt- oder Dränbetontragschichten. Versickerungsfähige Pflasterbefestigungen können grundsätzlich auch in den Belastungsklassen Bk1,0 und Bk1,8 eingesetzt werden. Allerdings wird z. B. die Bauweise mit Kiestragschicht für höher beanspruchte Verkehrsflächen mit Bk1,8 nicht mehr empfohlen (SLG, 2020).

Ungebundene Tragschichten sind einfach und kostengünstig, jedoch eignen sich Tragschichten mit Bindemittel besser für höhere Belastungen. Wasserdurchlässige Tragschichten mit Bindemittel sind besonders bei Belastungen über Bk0,3 vorteilhaft, da sie eine hohe Steifigkeit aufweisen.

**Das grundlegende Ziel für den Einsatz von versickerungsfähigen Verkehrsflächen ist, Niederschlagswasser vor Ort zu versickern. Dazu ist der Einsatz von versickerungsfähigen Verkehrsflächen vorrangig auf durchlässigem Untergrund empfohlen (Abbildung 29). Eine Flächenversickerung durch das Planum ohne Beeinträchtigung des Unterbaus ist bei einem  $k_f$ -Wert von  $\geq 5 \times 10^{-5}$  m/s möglich.**

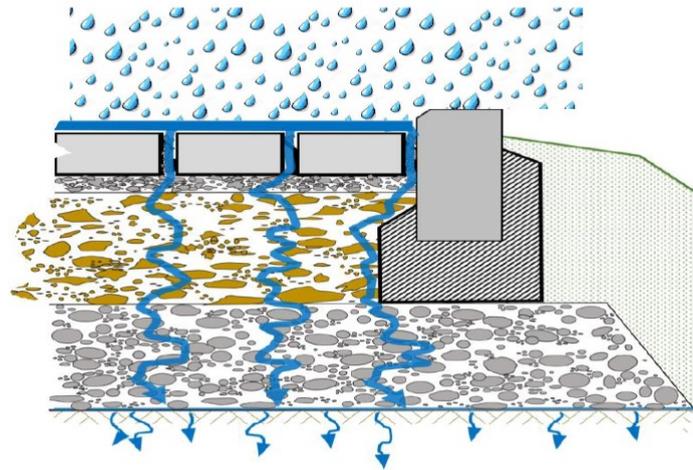


Abbildung 29: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei gut durchlässigem Untergrund (SLG, 2020)

Der Untergrund muss spezifische Kriterien bezüglich Verdichtungsgrad und Verformungsmodul erfüllen, wie sie in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB 17, FGSV 2017) festgelegt sind. Die Eignung eines Bodens für den Einsatz als Untergrund oder Unterbau einer versickerungsfähigen Verkehrsfläche kann anhand der aufgeführten Kriterien beurteilt werden (Abbildung 30).

	Bodengruppe nach DIN 18196	Eignung als Untergrund/ Unterbau für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen	Anforderungen an den Untergrund/Unterbau		
			Verdichtungsgrad	Verformungsmodul	Wasserdurchlässigkeit
1	GW, GI, GE, SE, SI, SE (grobkörnige Böden)	in der Regel wasserdurchlässig/nicht frostempfindlich (Klasse F1)	$D_{pr} \geq 100 \%^{1) 2)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}^{2)}$	im verdichteten Zustand: $k \geq 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ bzw. $k_f \geq 3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (s. M.VV); sind diese Anforderungen nicht zu erreichen, siehe Abschnitt 6.3
2	GU, GT, SU, ST (gemischtkörnige Böden mit 5 % bis 15 % Feinanteil < 0,063 mm)	bedingt wasserdurchlässig/nicht frostempfindlich (Klasse F1) bzw. gering bis mittel frostempfindlich (Klasse F2) <sup>3)</sup>	$D_{pr} \geq 100 \%^{4)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}$	
3	GU*, GT*, SU*, ST* (gemischtkörnige Böden mit 15 % bis 40 % Feinanteil < 0,063 mm)	in der Regel nicht ausreichend wasserdurchlässig/sehr frostempfindlich (Klasse F3) - für versickerungsfähige Pflasterbefestigungen bedingt geeignet (siehe Abschnitt 6.3)	$D_{pr} \geq 97 \%^{4)}$	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}$	
4	U, T, O (feinkörnige Böden mit > 40 % Feinanteil < 0,063 mm und organogene Böden)				

<sup>1)</sup> Gilt für die oberen 50 cm des anstehenden Untergrundes. Bei Auffüllungen (Damm, Unterbau) gilt die Anforderung für die oberen 100 cm, für den darunter liegenden Auffüllbereich gilt  $D_{pr} \geq 98 \%$ .  
<sup>2)</sup> Gilt, wenn eine Tragschicht nach den RStO angeordnet wird (Regelfall). Wenn der Untergrund/Unterbau ausnahmsweise die Anforderungen an eine Tragschicht erfüllen kann, gelten die Anforderungen nach Tabelle 6, Zeilen 5 und 6. Eine Tragschicht kann dann entfallen.  
<sup>3)</sup> Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit hängen vom Porenanteil ab. Dieser sinkt mit steigender Ungleichförmigkeitszahl  $C_u$ . Eine genaue Einordnung in eine Frostempfindlichkeitsklasse erfolgt nach den ZTV E-StB 17. Die Wasserdurchlässigkeit des verdichteten Untergrundes sollte möglichst früh in der Planungsphase geprüft werden (siehe auch Abschnitt 11).  
<sup>4)</sup> Gilt für die oberen 50 cm. Bei Auffüllungen (Damm, Unterbau) gilt für den darunter liegenden Auffüllbereich  $D_{pr} \geq 97 \%$  bzw.  $D_{pr} \geq 95 \%$  (siehe auch ZTV E-StB 17).

Abbildung 30: Eignung von Böden als Untergrund oder Unterbau für versickerungsfähige Verkehrsflächen (SLG Tabelle 3, 2020)

**Wenn der Untergrund eine geringe Durchlässigkeit aufweist, können dennoch versickerungsfähige Verkehrsflächen realisiert werden.** Gemäß SLG 2020 bedeutet „geringe Durchlässigkeit“, dass der Infiltrationsbeiwert  $k_f$  zwischen etwa  $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  und etwa  $3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  bzw. ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  zwischen etwa  $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  und etwa  $5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  liegt (Abbildung 31).

Die Frostschuttschicht oder das frostunempfindliche Material sollte um 10 bis 20 cm dicker ausgeführt werden, als die RStO vorgibt. Alternativ kann ein Bodenaustausch mit einem entsprechend durchlässigen Material dieser Dicke erfolgen. Dies verringert nicht nur verkehrsbedingte Spannungen auf den wasserempfindlichen Untergrund, sondern nutzt auch die Hohlräume in der zusätzlichen Schichtdicke als Zwischenspeicher für verzögert einsickerndes Niederschlagswasser. Eine 10 cm dicke Schicht mit 18 % Porenvolumen kann beispielsweise die Niederschlagsmenge eines Bemessungsregens aufnehmen. Diese Maßnahme ist auch hilfreich, falls die Anforderungen an den Verformungsmodul (Verdichtung) des Erdplanums, wie bei gleichkörnigem Sand, nicht erfüllt werden können.

Das Erdplanum sollte zudem eine wirksame Entwässerungsneigung von 2 % bis 4 % aufweisen, um das Sickerwasser, das nicht direkt im Erdplanum versickert, seitlich abzuleiten und beispielsweise in einer Rigole zu sammeln.

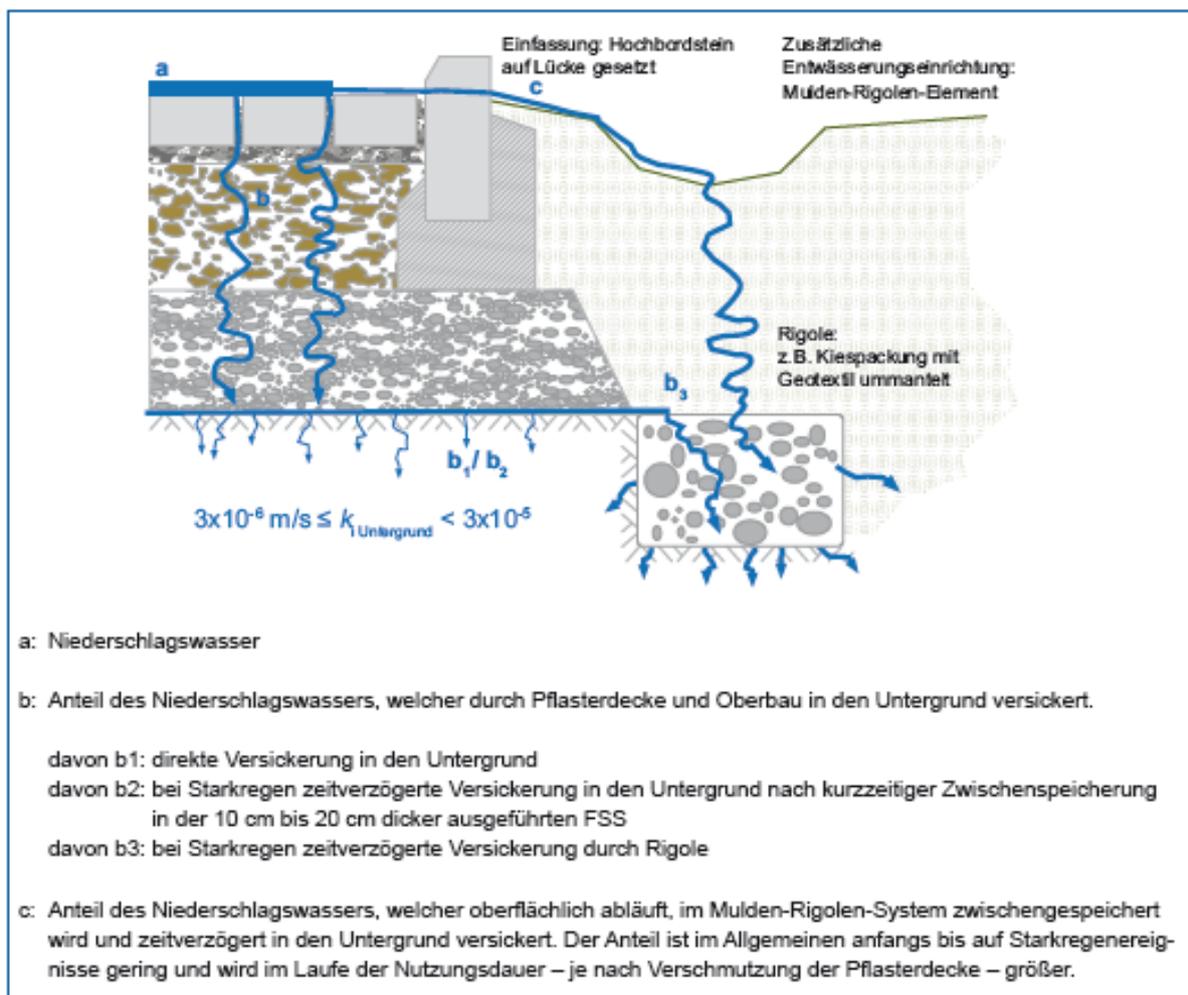
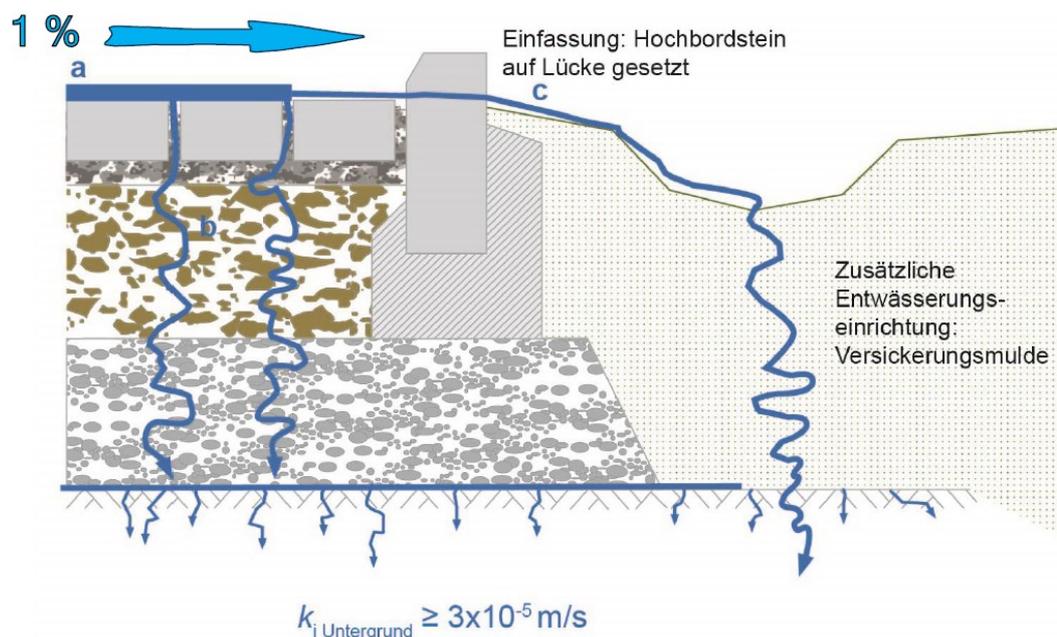


Abbildung 31: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems (SLG, 2020)

Ist die Durchlässigkeit noch schlechter (Infiltrationsbeiwert  $k_i$  von weniger als etwa  $3 \times 10^{-6}$  m/s oder der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  von weniger als etwa  $5 \times 10^{-6}$  m/s) sollte wie zuvor die Frostschuttschicht oder die Schicht aus Material, das nicht frostempfindlich ist, 10 bis 20 cm dicker sein oder es kann stattdessen ein Bodenaustausch mit einem entsprechend durchlässigen Material dieser Dicke erfolgen

(Abbildung 32). Das Erdplanum muss, wie im konventionellen Straßenbau, eine effektive Entwässerungsneigung von mindestens 4 % aufweisen, um Wasser seitlich abzuleiten. Dieses Wasser sollte in eine Dränage geleitet und konventionell abgeführt werden. Unter geeigneten Bedingungen hinsichtlich des Untergrunds und der Platzverfügbarkeit kann das Wasser durch eine angemessen dimensionierte Rigole im Boden versickert werden. So werden selbst bei schlecht durchlässigem Untergrund die Vorteile einer versickerungsfähigen Befestigung für die klimaangepasste Siedlungsentwicklung genutzt und durch die verzögerte Abführung von Niederschlagswasser zur Minimierung von Hochwasserereignissen beigetragen.



a: Niederschlagswasser

b: Anteil des Niederschlagswassers, welcher direkt durch Pflasterdecke und Oberbau in den Untergrund versickert.

c: Anteil des Niederschlagswassers, welcher oberflächlich abläuft, in der Versickerungsmulde zwischen gespeichert wird und zeitverzögert in den Untergrund versickert. Der Anteil ist im Allgemeinen anfangs bis auf Starkregenereignisse gering und wird im Laufe der Nutzungsdauer – je nach Verschmutzung der Pflasterdecke – größer.

Abbildung 32: Funktion einer versickerungsfähigen Pflasterbefestigung bei sehr gering durchlässigem Untergrund mit zusätzlicher Entwässerungseinrichtung in Form eines Mulden-Rigolen-Systems und Sickerleitung (SLG, 2020)

### 9.1.3 Pflaster mit DIBt-Zulassung

Die genannten Pflastersysteme werden von einigen Herstellern auch als **Niederschlagswasserbehandlungsanlage** beworben. Laut den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) handelt es sich um Abwasserbehandlungsanlagen. In diesen wird das anfallende mineralölhaltige Niederschlagswasser vorwiegend durch physikalisch/chemische Verfahren behandelt, so dass es anschließend in den Boden und das Grundwasser versickert werden kann.

Der Teil 1 der Zulassungsgrundsätze (DIBt 2011) beschreibt Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen, um es anschließend in Boden und Grundwasser versickern zu

lassen. Der für versickerungsfähige Pflasterdecken relevante Teil 2 (DIBt 2022) regelt wasserdurchlässige Beläge für Kfz-Verkehrsflächen, die für die Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser geeignet sind, so genannte abwasserbehandelnde Flächenbeläge. Speziell konzipierte versickerungsfähige Betonpflasterbefestigungen können die strengen Anforderungen an Niederschlagswasserbehandlungsanlagen erfüllen. Voraussetzung dafür ist eine Bauartzulassung nach den bereits erwähnten Zulassungsgrundsätzen, Teil 2 (DIBt 2022).

Der Einsatzbereich von solchen Systemen liegt beispielsweise **in kommunalen Straßen und Gewerbeflächen**. Diese sollten aufgrund des zu erwartenden vergleichsweise hohen Schadstoffanfalls nicht mehr mit herkömmlichen versickerungsfähigen Pflastersystemen ausgeführt werden (Düring, Richard & Ulonska 2018). Die nach dem M VV geforderte Einzelfallprüfung für die Anwendung von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen in Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk1,0 oder Bk1,8 kann zum Beispiel mit Hilfe einer Bauartzulassung für eine abwasserbehandelnde Betonpflasterdecke erfolgen (vgl. M VV, 2013).

Die sickerfähigen Pflaster mit DIBt-Zulassung werden unter der Nummer Z-84.1-X geführt. Die neun zum Stand 10/2023 zugelassenen Produkte sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Liste aller Pflastersteine mit DIBt-Zulassung Z-84.1 (Stand 10/2023)

Hersteller	Produktname	Zulassungsnummer
Klostermann GmbH & Co. KG	geoSTON	Z-84.1-2
Betonwerk Lintel GmbH & Co. KG	Cheops SV Enviro Plus	Z-84.1-3
Godelmann GmbH & Co. KG	GDM.DRAIN	Z-84.1-9
Klostermann GmbH & Co. KG	gd protect	Z-84.1-13
Klostermann GmbH & Co. KG	hp protect	Z-84.1-14
Godelmann GmbH & Co. KG	geoSTON	Z-84.1-27
Godelmann GmbH & Co. KG	gd protect	Z-84.1-28
Godelmann GmbH & Co. KG	hp protect	Z-84.1-29
BERDING BETON GmbH	beProtect	Z-84.1-30

#### 9.1.4 Ausführungshinweise, Wartung, Reinigung und Winterdienst

Beim Bau von teilversiegelten Bodenoberflächenarten ist wichtig, die Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes und der Oberbauschichten in allen Bauphasen zu wahren. Dies erfordert eine sorgfältige Planung der Baustelleneinrichtung, der Bauverfahren und des Maschineneinsatzes, um Verschmutzungen und Verdichtungen der Schichtoberflächen zu vermeiden. Diese können beispielsweise durch die Lagerung von Baustoffen oder intensiven Baustellenverkehr entstehen.

Bei der Erschließung neuer Wohngebiete muss besonders darauf geachtet werden, dass Erdarbeiten die teilversiegelten Bodenoberflächenarten nicht verunreinigen. Möglicherweise sind Zwischen- ausbaustufen oder Baustraßen zu planen, wobei die Tragschicht zunächst überdimensioniert und später auf das erforderliche Maß reduziert werden kann. Vor dem Einbau der Pflasterdecke ist die Versickerungsfähigkeit der Tragschicht erneut zu prüfen. Während der Bauausführung ist zudem sicherzustellen, dass die Einbauhinweise für die gewählten Systeme eingehalten werden, um die gewünschte Versickerungsleistung zu erreichen.

*„Ein Versagen wasserdurchlässiger Flächenbeläge ist oft auf Planungs- und Baufehler zurückzuführen. In diesem Fall reichen Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen nicht aus, um die Versickerungsleistung wiederherzustellen. Bei ordnungsgemäßem Bau sind die auftretenden Betriebsprobleme vor allem auf eine unzureichende Reinigung zurückzuführen.“ (MUNLV, 2009)*

#### 9.1.4.1 Bauliche und betriebliche Hinweise

Die langfristige Funktionsfähigkeit von versickerungsfähigen Verkehrsflächen hängt entscheidend von einer sorgfältigen Betriebsführung, regelmäßiger Unterhaltung und gezielten Instandsetzungsmaßnahmen ab. Es kann erforderlich sein, erhöhte Aufwendungen für die Instandhaltung zu leisten. Mit der Zeit verringert sich die Wasserdurchlässigkeit dieser Flächen aufgrund von Einträgen mineralischer und organischer Feinstoffe in das Porensystem des Oberbaus. Um diesen Effekt zu vermeiden, können spezialisierte Reinigungsverfahren, wie die Wasserhochdruckreinigung mit Absaugung, eingesetzt werden. Allerdings kann die ursprüngliche Durchlässigkeit meist nicht vollständig wiederhergestellt werden.

Die Reinigungshäufigkeit für versickerungsfähige Verkehrsflächen sollte individuell, basierend auf den lokalen Bedingungen wie Baumbestand und der spezifischen Lage der Verkehrsfläche, sowie den jeweiligen Nutzungsarten festgelegt werden. Beispielsweise kann es notwendig sein, Laub öfter als auf herkömmlichen Verkehrsflächen zu entfernen, um die Wasserdurchlässigkeit aufrechtzuerhalten. Um die Funktionsfähigkeit dieser Flächen nicht zu gefährden, ist es zudem ratsam, Verkehr mit potenziell hohem Schmutzeintrag, wie etwa Baustellenverkehr oder temporäre Umleitungen, zu vermeiden. Auch Verkehr, der die Wasserqualität beeinträchtigen könnte, sollte vermieden werden.

Um eine rasche Abnahme der Wasserdurchlässigkeit von versickerungsfähigen Verkehrsflächen zu verhindern, sollten Nutzungen wie Baustellenverkehr oder die Lagerung von Baumaterialien und Schüttgütern, vermieden werden. Als Schutzmaßnahme kann die Oberfläche mit Vliesstoffen oder dichten Folien abgedeckt werden, um die Poren des Belags vor Verschmutzung zu schützen. Diese Vorsichtsmaßnahme ist auch beim stufenweisen Ausbau von Verkehrsflächen angebracht. Beispielsweise wenn eine Tragschicht vorübergehend als Baustraße genutzt wird. Durch solche Schutzmaßnahmen kann die langfristige Funktionsfähigkeit der versickerungsfähigen Befestigung hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit gewährleistet werden.

**Damit sich bei versickerungsfähigen Pflasterdecken die Fugenfüllung verfestigen kann, sollte eine erstmalige Reinigung mit Kehrraumaschinen nach frühestens 12 Monaten Liegezeit erfolgen. Der Einsatz von Kehrsaugmaschinen ist im Einzelfall zu prüfen. Herausgesaugtes Fugenmaterial ist umgehend zu ersetzen. Bei aufgeweiteten Fugen sollte auf eine Reinigung mit saugenden Maschinen grundsätzlich verzichtet werden.**

*„Wie Erfahrungen aus der Baupraxis zeigen, führen fehlerhafte Planung, Ausschreibung und/oder Ausführung immer wieder zu Schäden. Häufige Planungsfehler sind die unzutreffende Abschätzung der während der geplanten Nutzungsdauer auftretenden Verkehrsbelastung, eine fehlerhafte Auswahl der Schichtenart und/oder der Baustoffe. Häufige Ausführungsfehler sind mangelnde Verdichtung der Schichten, ungleichmäßige Bettungsdicke, zu geringe Fugenbreiten und nicht oder unvollständig gefüllte Fugen. Die Schäden werden stets an der Oberfläche sichtbar und beeinträchtigen i.d.R. die Gebrauchsfähigkeit sowie die Sicherheit der Verkehrsfläche. Die häufigsten Schadensbilder sind Verformungen des Pflasters (horizontale und/oder vertikale Verschiebungen der Pflastersteine), Klapperpflaster, Sägezahnplaster, gerissene, beschädigte oder zerstörte Pflastersteine.“<sup>14</sup>*

#### 9.1.4.2 Reinigung und Regenerierung

**Die Reinigung und Regenerierung sind ein großes Thema bei versickerungsfähigen Belägen, da bei zunehmender Verstopfung die Durchlässigkeit mit der Zeit verringert wird. Mit der richtigen Wartung kann jedoch ein Großteil der Infiltrationskapazität wiederhergestellt werden.**

Langzeitstudien zeigen, dass die Infiltrationsraten aufgrund von Zersetzungen zwar abnehmen, aber deutlich höher bleiben als bei undurchlässigen Oberflächen (Kumar et al., 2016).

In einem speziellen Beispiel wurde gezeigt, dass ein kombiniertes Saug- und Beschallungsverfahren bis zu 96 - 99 % der ursprünglichen hydraulischen Leitfähigkeit von zugesetzten Belägen wiederherstellen kann (Sansalone et al., 2012). Die Anwendung dieser Kombination ist aber nicht üblich (Abbildung 33, Abbildung 34, Abbildung 35).

**Bei der regelmäßigen Reinigung von versickerungsfähigen Verkehrsflächen (insbesondere Sickerfugenpflaster) ist es ratsam, horizontal saugende Kehrsaugmaschinen einzusetzen.** Der Grund dafür liegt darin, dass vertikal saugende Maschinen oft das Fugenmaterial oder einen erheblichen Teil davon entfernen können. Horizontal saugende Maschinen gelten in diesem Kontext als weniger problematisch und sind daher vorzuziehen. Sollte Fugenmaterial – sei es durch Reinigungsmaßnahmen oder Fahrzeugverkehr – entfernt worden sein, ist es wichtig, dieses umgehend zu ersetzen, um die Funktionsfähigkeit der versickerungsfähigen Oberfläche in Bezug auf die Wasserdurchlässigkeit und Stabilität zu erhalten.

*„Der wichtigste Aspekt eines dauerhaften und sicheren Betriebs wasserdurchlässiger Flächenbeläge stellt in jedem Fall die Wartung und Reinigung dar. Im Ursprungszustand sollte die spezifische Versickerungsrate über einen Zeitraum zwischen 5 und 10 Jahren ausreichend hoch sein, um alle anfallenden Niederschläge ohne Überstau zu versickern. Ob ein Belag noch eine ausreichende Durchlässigkeit aufweist, kann über Infiltrationsmessungen überprüft werden.*

*Hierbei ist zu beachten, dass die Messungen nicht im Sommer, bzw. nicht nach längeren Trockenperioden durchgeführt werden. Eine vollständige Durchfeuchtung des Substrates ist in jedem Fall notwendig, um zu hohe Ergebnisse durch Trockenrisse zu verhindern, die das Bild stark verzerren können. Sollte die spezifische Versickerungsrate unter einen Wert sinken, der aus  $270 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$  mal dem Verhältnis aus Gesamtfläche und Sickerfläche errechnet wird, so muss der Belag gereinigt werden.*

*Je nach Fugenmaterial ist hierfür die oberste Schicht der Fugen auszusaugen oder auszuspülen und durch ein neues Substrat zu ersetzen. Hierfür stehen Maschinen zur Verfügung. Das ausgewaschene Fugenmaterial weist erhöhte Konzentrationen an Schwermetallen und Mineralölen auf und muss vor einer Weiterverwendung oder Deponierung auf die Schadstoffgehalte analysiert werden.“*

---

<sup>14</sup> <https://cheops-sv.de/technik/planung-und-ausfuehrung/>

Die Betriebs- und Wartungsanforderungen verschiedener Hersteller und auch die genannten Hinweisblätter wie M VV und die Unterlage vom SLG für teilversiegelte Bodenoberflächenarten unterstreichen, dass die Sickerleistung primär durch den kontinuierlichen Eintrag von Partikeln und durch Abrasion der Oberfläche beeinträchtigt wird. Untersuchungen an Belägen, die zwischen 2 und 15 Jahren alt sind, haben gezeigt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen dem Alter der Beläge und der Abnahme der Infiltrationsleistung besteht. Stattdessen spielen lokale Einflussfaktoren wie Laubfall, Verschmutzung durch abgelagerte Sedimente und Verkehrsbelastung, insbesondere Reifenabrieb, eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung der Sickerleistung. Diese Ablagerungen setzen die Poren an der Oberfläche zu und führen so zu einem Rückgang der Versickerungsleistung. Pfützenbildung und wild abfließendes Wasser sind die Folgen.

Die mit der Standzeit der Anlage erfolgende und zu erwartende Verringerung der Sickerleistung sollte durch Infiltrationsversuche erfasst werden. Auf dieser Grundlage kann der Zeitpunkt für notwendige Reinigungsmaßnahmen festgelegt werden. Die Regenerierung der Sickerleistung ist z. B. über geeignete Spül-/Saugverfahren zu erreichen. Eine sofortige Wiederverfügung bei Sickerpflaster mit geeignetem Fugenmaterial ist zwingend zu beachten.

Nachfolgend sind die Wartungsschritte beispielhaft für das DIBt-zugelassene Pflastersystem „Cheops SV Enviro Plus“ aus der Zulassung aufgeführt.

- 1) Verschmutzungen durch Straßenkehricht usw., sind regelmäßig zu entfernen. Die Fugen müssen regelmäßig auf Füllung überprüft werden. Wenn nötig, muss der Einbauanleitung entsprechend nachgefugt werden.
- 2) Bei wiederholtem Auftreten von Rückstau auf der Fläche, längstens jedoch nach 10 Jahren, muss eine Überprüfung der Versickerungsrate stattfinden. Ist die Versickerungsrate geringer als  $270 \text{ l/(s*ha)}$  ist die Ursache festzustellen und zu beseitigen, wenn nötig ist der Flächenbelag zu reinigen.
- 3) Die Reinigung des Belages erfolgt mit einem Spül-/Saugwagen, der mit Rotordüsen ausgestattet ist. Diese werden mit Wasser unter Hochdruck von 18 MPa bis 22 MPa angetrieben. Das Wasser löst die Verunreinigungen und die oberen Teile der Fuge und wirbelt diese hoch. Durch Vakuumabsaugung, Unterdruck min 80 bis 120 hPa, werden die gelösten Bestandteile in gleichem Arbeitsgang von der Fläche abgesaugt und in einen Abwassertank befördert. Zur Reinigung wird die Fläche mit einer Geschwindigkeit von 2 km/h einmal längs und einmal quer abgefahren.
- 4) Das abgesaugte Material ist auf Inhaltsstoffe zu untersuchen und entsprechend der gesetzlichen Regelung zu entsorgen.
- 5) Nach dem Reinigen ist die Fläche auf Fugenfüllung zu überprüfen. Die Fugen sind wieder mit dem Fugenmaterial Cheops Clean zu füllen.
- 6) Bei Ausbau der Fläche sind die Baustoffe des Flächenbelags auf Inhaltsstoffe zu untersuchen und entsprechend der gesetzlichen Regelungen zu entsorgen.



Abbildung 33: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung bei kleinen Flächen (Präsentation Berding, 2022)



Abbildung 34: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung bei großen Flächen (Präsentation Berding, 2022)



Abbildung 35: Regenerierung von Sickerpflaster durch Hochdruckspülung/Absaugung – Vergleich (Präsentation Berding, 2022)

#### 9.1.4.3 Winterdienst

Beim Räumen von Schnee auf teilversiegelten Bodenoberflächenarten muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass keine Schäden an der Straßenoberfläche entstehen. Die Verwendung von Kehrbesen oder Schneefräsen ist hierbei vorteilhaft. Diese Methoden sind im Vergleich zur Verwendung eines Schneeschilds schonender für die Fahrbahnoberfläche. Auftaumittel sollen aus ökologischen Gründen bei versickerungsfähigen Befestigungen von Verkehrsflächen nicht eingesetzt werden, da diese durch die hohe Durchlässigkeit schnell in den Untergrund gelangen (vgl. M VV und SLG).

Bei versickerungsfähigen Pflasterdecken mit gefügedichteten Steinen können abstumpfende Streustoffe wie z. B. Splitt 2/5 eingesetzt werden, es empfiehlt sich der Einsatz in der gleichen Korngruppe wie das Fugenmaterial. Bei wasserdurchlässigen Asphalt- und Dränbetonflächen sollten abstumpfende Streustoffe nicht verwendet werden, weil die Poren verstopfen und damit die Wasserdurchlässigkeit reduziert werden kann.

Diese Besonderheiten beim Winterdienst können zu einer eingeschränkten Nutzung der versickerungsfähigen Verkehrsflächen führen, was beim Betrieb zu berücksichtigen ist.

#### 9.1.4.4 Aufgrabungen und Instandsetzung

Das M VV weist grundsätzlich bei Aufgrabungen und Instandsetzungen von versickerungsfähigen Verkehrsflächen auf die nachfolgenden Regelwerke hin:

- ZTV A-StB; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, FGSV-Nr.: 976, 2012

Die "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen", Ausgabe 2012 (ZTV A-StB 12), ersetzen die ZTV A-StB 97/06. Bei allen Bauverträgen, die Aufgrabungen in Verkehrsflächen betreffen, sollten die ZTV A-StB 12 Vertragsbestandteil als Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen im Sinne der VOB/B zwischen Auftraggebern und den von ihnen beauftragten Unternehmen werden. Die ZTV A-StB 12 behandeln den Aufbruch von Verkehrsflächen, den Aushub und das Verfüllen der Leitungsgräben sowie die Wiederherstellung des Oberbaus von Verkehrsflächen.

- ZTV BEA-StB; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen, FGSV-Nr.: 798, Ausgabe 2009 / Fassung 2013

Die "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen - Asphaltbauweisen", Ausgabe 2009 / Fassung 2013 behandeln Maßnahmen der Instandhaltung, der Instandsetzung und der Erneuerung von Verkehrsflächenbefestigungen mit Asphalt in

Abhängigkeit von deren Zustand und dem angestrebten Erhaltungsziel. Neben allgemeinen Hinweisen wird hierbei auf die Baustoffe und Baustoffgemische und die einzuhaltenden Grenzwerte und Toleranzen ebenso eingegangen wie auf die Prüfungen und deren Mängelansprüche und Abrechnungen.

- ZTV BEB-StB; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, FGSV-Nr.: 898, 2915

Die ZTV BEB-StB behandeln Maßnahmen der Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung von Verkehrsflächenbefestigungen aus Beton in Abhängigkeit von deren Zustand und dem angestrebten Erhaltungsziel. Sie sind in Verbindung mit den TL BEB-StB anzuwenden. Die ZTV BEB-StB sind darauf abgestellt, dass die "Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen" (ATV) Bestandteil des Bauvertrages ist. Die ZTV BEB-StB enthalten Regelungen zu den einzelnen zur Anwendung kommenden Bauverfahren, wobei jeweils auf die Baustoffe, die Ausführung, Art und Umfang der Prüfungen, die Anforderungen an die fertige Leistung sowie auf Regelungen zur Verkehrsfreigabe und zur Abrechnung eingegangen wird. Zusätzlich sind Kapitel zu Prüfungen, zu den Mängelansprüchen sowie zu den Aufmaßen und zur Abrechnung enthalten.

- M VaB Teil 2; Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton, Teil 2: Stadt- und Landstraßen sowie plangleiche Knotenpunkte mit Hinweisen zur Baulichen Erhaltung, FGSV-Nr.: 821/2, 2015

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hat zu dem "Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton" (M VaB) den "Teil 2: Stadt- und Landstraßen sowie plangleiche Knotenpunkte mit Hinweisen zur Baulichen Erhaltung" herausgegeben. Das M VaB ist in Verbindung mit den ZTV Beton-StB, den ZTV BEB-StB, den TL Beton-StB und den TP Beton-StB anzuwenden. Im Merkblatt werden unter anderem Ausführungen zu Planungs- und Konstruktionsgrundsätzen, zu Baustoffen und Baustoffgemischen, zum Mischen und zum Transport des Betons, zur Ausführung, zu Anforderungen und Prüfungen sowie zu Aufgrabungen und zur Erhaltung gemacht.

Die Wiederherstellung von Aufgrabungen und die Instandsetzung von teilversiegelten Bodenoberflächenarten erfordern von den Ausführenden besondere bau- und fachtechnische Qualifikationen. Diese Maßnahmen sind besonders zu überwachen, damit die Funktion der Verkehrsfläche (z. B. Wasserdurchlässigkeit, Tragfähigkeit und Filterstabilität) wiederhergestellt und die der angrenzenden Flächen nicht beeinträchtigt wird.

Beim Verschließen von Aufgrabungen ist zu beachten, dass der gesamte Oberbau mit der erforderlichen Wasserdurchlässigkeit, Filterstabilität und Tragfähigkeit wiederhergestellt wird. Sollen die ausgebauten Materialien wiederverwendet werden, sind diese getrennt zu gewinnen und zu lagern.

Aufgrabungen und daran anschließende bauliche Maßnahmen, beispielsweise Aushubarbeiten, Bauverkehr und Materiallagerung, sind so zu planen und zu organisieren, dass es dadurch zu keiner Verschmutzung der teilversiegelten Bodenoberflächenarten kommt.

Die besonderen Anforderungen an die Wiederherstellung stellen eine Herausforderung dar. So werden beispielsweise in Berlin ca. 20.000 kleine Aufgrabungen pro Jahr genehmigungsfrei durchgeführt und angezeigt (Kleinstflächen in Straßen bis 5 m<sup>2</sup> und im Gehweg bis 25 m<sup>2</sup>).

Diese Arbeiten werden in Berlin und auch anders oft weder geprüft noch kontrolliert. Das führt bereits bei „herkömmlichen“ Belägen zu Problemen, da die Flächen nicht immer in ausreichender Qualität wiederhergestellt werden.

Bei Pflasterflächen ist eine Herstellung von Kleinstflächen nach einer Aufgrabung fast ausschließlich unter qualitativen Einbußen zu leisten, da Gefüge und Verband nicht wieder wie im Original hergestellt

werden können. Hilfreich kann ein konkreter Leitfaden für die Durchführung von Aufgrabungen sein, wie die Stadt Stuttgart ihn für das Neubaugebiet Neckar Park aufgestellt hat.

## 9.2 Erweiterte Betrachtungsparameter der Schutzgüter

### 9.2.1 Wasser

#### 9.2.1.1 Verdunstung

Durch die erhöhte Wasseraufnahme und -speicherung fördern versickerungsfähige Beläge die (zeitverzögerte) Verdunstung, was zur Kühlung der Umgebung beiträgt und das Mikroklima verbessert (Li et al., 2014). Durchlässige Beläge halten das Wasser in ihrer Struktur zurück und erleichtern so die kontinuierliche Verdunstung, wodurch sich die städtischen Klimabedingungen auch noch mehrere Tage nach Regenereignissen verbessern (Starke et al., 2010).

Materialien mit höherer Wasseraufnahmekapazität, wie z. B. gesinterte poröse Keramikziegel, weisen eine bessere Verdunstungskühlung auf als offen abgestufter durchlässiger Beton (Wang et al., 2018). Für versickerungsfähige Pflastersteine geben Hersteller zum Teil eine Verdunstung von 50 % an<sup>15</sup>. Verdunstungsmessungen an wasserdurchlässigen Betonpflastersystemen ergaben eine Verdunstungsleistung von 11 % bis 18 % des Jahresniederschlages. In weiterer Literatur wird die Verdunstungsrate um ca. 16 % höher im Vergleich zu undurchlässigen Belägen angegeben (Starke et al., 2010). Die Verwendung von Gras in Rasengittersteinen erhöht die Verdunstungsraten erheblich, und zwar um mehr als das Dreifache im Vergleich zu durchlässigen Betonbelägen (Starke et al., 2011).

Durchlässige Beläge verbessern die Evapotranspiration, indem sie die Verdunstungsrate erhöhen, die Verdunstungskühlung verstärken und die kontinuierliche Wasserverdunstung durch effektive Wasserrückhaltung fördern.

#### 9.2.1.2 Versickerung

Die meisten Studien liegen zur Versickerung des Niederschlagswassers vor. Die im Rahmen dieses Gutachtens herangezogenen Studien werden in diesem Kapitel ausführlich dargestellt.

#### **FH Bochum / IKT 2005**

Die FH Bochum und das IKT veröffentlichten 2005 einen Bericht zur Untersuchung der Abflussleistung von teilversiegelten Flächen. Auf Basis dieser Untersuchung ist ein DIBt-Prüfverfahren für diese Flächen entwickelt worden, welches auch die Rückhaltung von Feinstoffen und deren Reinigung untersuchte.

Betrachtet wurden im Rahmen der Untersuchung

- Rasengittersteine
- Haufwerksporige Steine mit grobem Aufbau
- Haufwerksporige Steine mit feiner Vorsatzschicht

---

<sup>15</sup>[https://www.godelmann.de/de/produkte/highlights/neuheiten/gdm.klimastein?gad\\_source=5&gclid=EAIaIQobChMI19-RxoDihgMVDKdoCROXPgb1EAAYASAAEgJ4OPD\\_BwE](https://www.godelmann.de/de/produkte/highlights/neuheiten/gdm.klimastein?gad_source=5&gclid=EAIaIQobChMI19-RxoDihgMVDKdoCROXPgb1EAAYASAAEgJ4OPD_BwE)

### Rasengittersteine

Die nachfolgende Tabelle 11 und Abbildung 36 zeigen die unterschiedlichen Arten von Rasengittersteinen, die in Einfahrten, Hofflächen und auf Stellflächen verwendet wurden. Die Versickerungsraten haben durch die Füllung der Poren mit Splitt eine sehr hohe Versickerungsleistung. Dies trifft auch auf den Pflanzenbewuchs zu.

Tabelle 11: Infiltrationsraten der geprüften Rasengittersteine (FH Bochum / IKT 2005)

Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Ver-schmut-zung	Wetter vor Versuch	Reinigung	$I_{10}$ l/(s•ha)	$I_{20}$ l/(s•ha)	$I_E$ l/(s•ha)
2	Splitt	Eigenleistung	Einfahrt, Hof	Tannennadeln	trocken	Entfernen der Tannennadeln	>1.500	>1.500	>1.500
5	Splitt	Fachfirma	Stellplätze	keine	trocken	keine	>1.400	>1.400	>1.400
12	Splitt	Fachfirma	Stellplätze	keine	trocken	keine	>2.800	>2.800	>2.800

$I_{10}$  Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha),  $I_{20}$  Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha),  $I_E$  End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)



Abbildung 36: Untersuchte Flächen an Objekt 2 und 12 (FH Bochum / IKT 2005)

### ***Haufwerksporige Steine mit grobem Aufbau***

Die haufwerksporigen Steine (Abbildung 38) weisen, ähnlich wie die Rasengittersteine, eine hohe Versickerungsleistung auf. Eine leichte Vermoosung trägt zu einer geringeren Versickerungsleistung bei. Tendenziell sind hinsichtlich der hierbei betrachteten Nutzungsarten die Hofflächen und Stellflächen auf Grund der durch die geringeren Nutzungsfrequenz stärkeren Vermoosung etwas geringer durchlässig (Tabelle 12 und Abbildung 37).

Tabelle 12: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit grobem Aufbau (FH Bochum / IKT 2005)

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Verschmutzung	Wetter vor Versuch	Reinigung [1/a]	I <sub>10</sub> l/(s•ha)	I <sub>20</sub> l/(s•ha)	I <sub>E</sub> l/(s•ha)
H g 2	7	keine	Fach-Firma	Hoffläche	6	keine	trocken	1	>1.500	>1.500	>1.500
H g 2	7	keine	Fach-Firma	Hoffläche	6	leicht vermoost	trocken	1	1.360	1.170	1.000
H g 3	10	keine	Eigenleistung	Stellplätze	6	keine	trocken	**	>3.400*	>3.300*	>3.300*
H g 3	10	keine	Eigenleistung	Stellplätze	6	Steine & Fugen	trocken	**	1.360	1.200	1.000
H g 4	15	keine	Eigenleistung	Garageneinfahrt, Terrasse	5	keine	trocken	keine	>2.900	>2.900	>2.900
H g 4	15	keine	Eigenleistung	Garageneinfahrt, Terrasse	5	Steine & Fugen vermoost	trocken	keine	2.550	2.500	2.450
H g 5	5	keine	Fach-Firma	Hoffläche, Stellplätze	6	keine	trocken	keine	>1.590*	>1.530*	>1.400*
H g 5	5	keine	Fach-Firma	Hoffläche, Stellplätze	6	Fugen vermoost	trocken	keine	>1.440*	>1.470*	>1.400*

I<sub>10</sub> Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I<sub>20</sub> Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha), I<sub>E</sub> End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

\* Schwankung der Leistungsgrenze (gerätebedingt), \*\* Entfernung von Unkraut und Moos

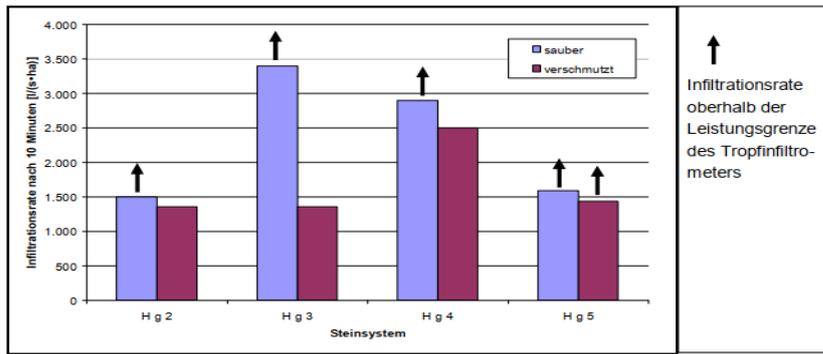


Abbildung 37: Infiltrationsrate sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit grobem Aufbau (FH Bochum / IKT 2005)



Abb. 66: vermooste Fläche am Objekt 15



Abb. 70: saubere Fläche am Objekt Nr. 15



Abb. 67: verschmutzte Fläche am Objekt 10



Abb. 71: saubere Fläche am Objekt 10



Abb. 68: vermooste Fläche am Objekt 5



Abb. 72: saubere Fläche am Objekt 5



Abb. 69: vermooste Fläche am Objekt 7



Abb. 73: herausgenommener Stein am Obj. 7

Abbildung 38: Untersuchte Flächen mit Infiltrimeter (FH Bochum / IKT 2005)

### **Haufwerksporige Steine mit feiner Vorsatzschicht**

Die haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht weisen bei Neubau und ohne Verschmutzung eine hohe Versickerungsleistung, meist oberhalb der Leistung des Tropfinfiltrometers auf (Tabelle 13 und Abbildung 39). Durch Vermoosung und Zusetzung der Fugen sinkt diese stark ab und liegt unterhalb der nach DIBt-Prüfung geforderten 270 l/(s·ha). Die meisten Anlagen wurden nicht gereinigt. In dieser nicht gereinigten Gruppe befinden sich auch die Anlage mit den niedrigsten Versickerungsleistungen.

Tabelle 13: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht (FH Bochum / IKT 2005)

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Verschmutzung	Wetter vor Versuch	Reinigung [1/a]	I <sub>10</sub> l/(s·ha)	I <sub>20</sub> l/(s·ha)	I <sub>E</sub> l/(s·ha)
H f 1	3	keine	Eigenleistung	Garagen-Hof, Stellplätze	4,5	keine	Regen	keine	>1.500	>1.500	>1.500
H f 1	3	keine	Eigenleistung	Garagen-Hof, Stellplätze	4,5	Steine & Fugen vermoost	Regen	keine	90	70	60
H f 1	19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	Steine & Fugen zugesetzt	trocken	keine	60	50	40
H f 1	19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	keine	trocken	keine	>2.800	>2.800	>2.800
H f 1	13	Splitt	Eigenleistung	Garagen-Zufahrt, Stellplätze	6	Steine & Fugen gering	trocken	1	1.370	1.240	750
H f 1	16	Sand *	Eigenleistung	Einfahrt, Eingangsbereich	7	Fugen zugesetzt	trocken	1	470	460	440
H f 2	12	keine	Fach-Firma	Zufahrt, Stellplätze	6	keine	trocken	keine	>3.000	>3.000	>3.000
H f 2	12	keine	Fach-Firma	Zufahrt, Stellplätze	6	Fugen vermoost	trocken	keine	1.340	1.260	1.100
H f 3	17	Sand *	Fach-Firma	Garagenhof	4,5	keine	trocken	keine	210	200	170
H f 3	17	Sand *	Fach-Firma	Garagenhof	4,5	Steine & Fugen	trocken	keine	120	120	100
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	keine	Regen	keine	>3.200	>3.200	>3.200
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen gering	Regen	keine	1.200	1.100	900
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen zugesetzt	Regen	keine	0	0	0
H f 5	23	Splitt	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	5	keine	trocken	keine	1.140	840	480
H f 5	23	Splitt	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	5	Steine & Fugen	trocken	keine	690	600	400

I<sub>10</sub> Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s·ha), I<sub>20</sub> Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s·ha),

I<sub>E</sub> End-Infiltrationsrate in l/(s·ha)

\* nicht fachgerechter Einbau

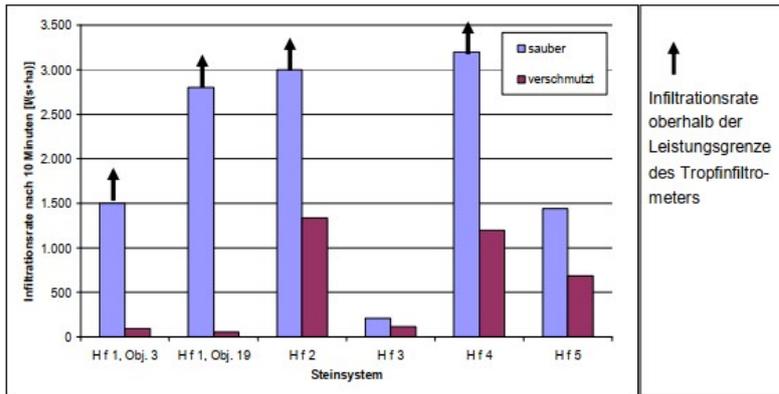


Abb. 74: Infiltrationsrate  $I_{10}$  sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht



Abb. 75: stark vermooste Fläche am Objekt 3



Abb. 77: saubere Fläche am Objekt 3



Abb. 76: zugesetzte Fläche am Objekt 21



Abb. 78: saubere Fläche am Objekt 21



Abb. 79: Objekt 19: zugesetzter Bereich (li.), Eingeschlammtes (Mitte), sauberer Bereich (re.)



Abb. 80: Objekt 16: Prüf-Fläche (li.), Versickerungsversuch (Mitte), heraus gespülter Sand (re.)

Abbildung 39: Infiltrationsrate und untersuchte Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht, mit Infiltrimeter (FH Bochum / IKT 2005)

Der Vergleich der Infiltrationsrate und die Änderung durch die Nässung des Belages (Tabelle 14 und Abbildung 40) zeigt, dass die Versickerungsleistung im gesättigten Zustand niedriger als im trockenen Zustand ist.

Tabelle 14: Infiltrationsraten der geprüften Flächen in Abhängigkeit der Nässung des Belages (FH Bochum / IKT 2005)

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Ver- schmut- zung	Belag genässt	Rei- ni- gung	$I_{10}$ l/(s·ha)	$I_{20}$ l/(s·ha)	$I_E$ l/(s·ha)
H g 1	6	Splitt	Fach- Firma	Schulhof	5	Steine & Fugen	nein	keine	1.030	930	600
H g 1	6	Splitt	Fach- Firma	Schulhof	5	Steine & Fugen	ja	keine	210	200	160
S 1	22	Splitt	Eigen- leistung	Hoffläche, Stellplätze	5	Fugen vermoost	nein	keine	1.200	740	500
S 1	22	Splitt	Eigen- leistung	Hoffläche, Stellplätze	5	Fugen vermoost	ja	keine	260	280	280

$I_{10}$  Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s·ha),  $I_{20}$  Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s·ha),  $I_E$  End-Infiltrationsrate in l/(s·ha)

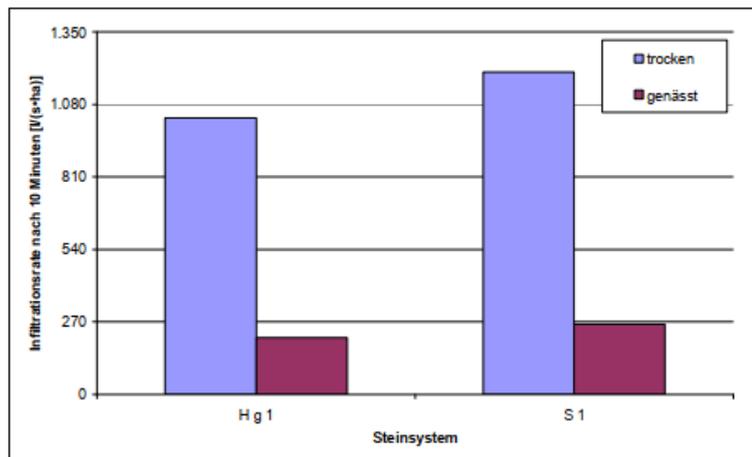


Abb. 87: trockene Fläche am Objekt 6



Abb. 89: genässte Fläche am Objekt 6



Abb. 88: trockene Fläche am Objekt 22



Abb. 90: genässte Fläche am Objekt 22

Abbildung 40: Infiltrationsrate genässter Flächen mit Infiltrimeter (FH Bochum / IKT 2005)

Untersucht wurde auch, wie sich eine Reinigung der verschmutzten versickerungsfähigen Beläge auf die Versickerungsleistung auswirkt (Tabelle 15, Abbildung 41 bis Abbildung 43). Grundsätzlich wird die Versickerungsleistung verbessert. Allerdings scheint eine völlig kolmatisierte Fläche durch Oberflächenreinigung nicht mehr in einen guten Zustand versetzt werden zu können. Bei leichter Unterschreitung ist eine Verbesserung möglich, aber auch nicht mehr ausreichend, um den Zielwert von 270 l/(s\*ha) zu überschreiten. Es erscheint notwendig, die Fugen komplett auszuräumen und neu zu splitten.

Tabelle 15: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht abhängig von der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005)

Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Verschmutzung	Wetter vor Versuch	Reinigung	I <sub>10</sub> l/(s*ha)	I <sub>20</sub> l/(s*ha)	I <sub>E</sub> l/(s*ha)
24	keine	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	6	Steine & Fugen vermoost	trocken	vor	2.300	2.450	2.100
24	Keine	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	6	Keine nach Reinigung	trocken	nach	>2.700*	>2.750*	>2.650*
19	Keine	Fachfirma	Stellplätze	5	Steine & Fugen stark	Regen	vor	150	160	130
19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	augenscheinlich keine	Regen	nach	230	240	240
21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen stark	Regen	vor	0	0	0
21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	augenscheinlich keine	Regen	nach	10	10	10

I<sub>10</sub> Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s\*ha), I<sub>20</sub> Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s\*ha),

I<sub>E</sub> End-Infiltrationsrate in l/(s\*ha)

\* Schwankung der Leistungsgrenze (gerätebedingt)



**Abb. 96:** Ausgespültes Schmutzwasser, Belag I



**Abb. 97:** Ausgespülter Fugensplitt, Belag II



**Abb. 98:** Gesäuberte Fläche Belag II

Abbildung 41: Verfahren der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005)

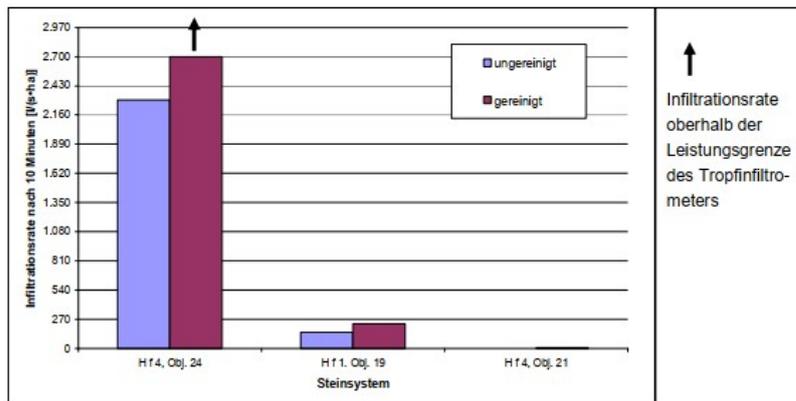


Abb. 91: Infiltrationsrate  $I_{10}$  gereinigter und ungereinigter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht



Abb. 92: Objekt 21: zugesetzte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mitte), gereinigte Fläche (re.)



Abb. 93: Objekt 24: verschmutzte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mi.), gereinigte Fläche (re.)

Abbildung 42: Infiltrationsrate haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht vor und nach der Reinigung (FH Bochum / IKT 2005)

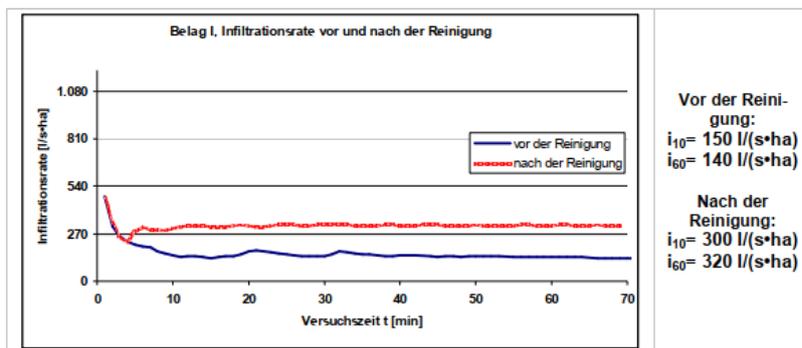


Abb. 99: Belag I, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung

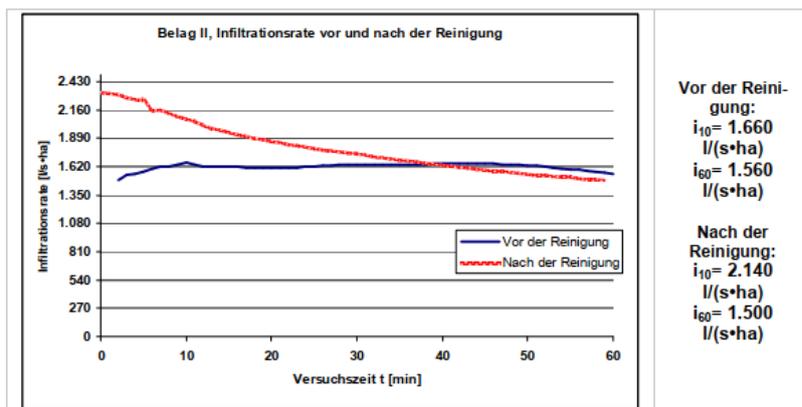


Abb. 100: Belag II, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung

Abbildung 43: Infiltrationsrate haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht vor und nach der Reinigung, Belag 1 und 2 (FH Bochum / IKT 2005)

### Dissertation Illgen 2009

Die Dissertation untersucht den Abfluss von verschiedenen Pflastertypen für unterschiedliche Gefälle und Zustände der Kolmation. Die Messungen an Pflasterbelägen ergaben folgendes Bild bei Kolmation:

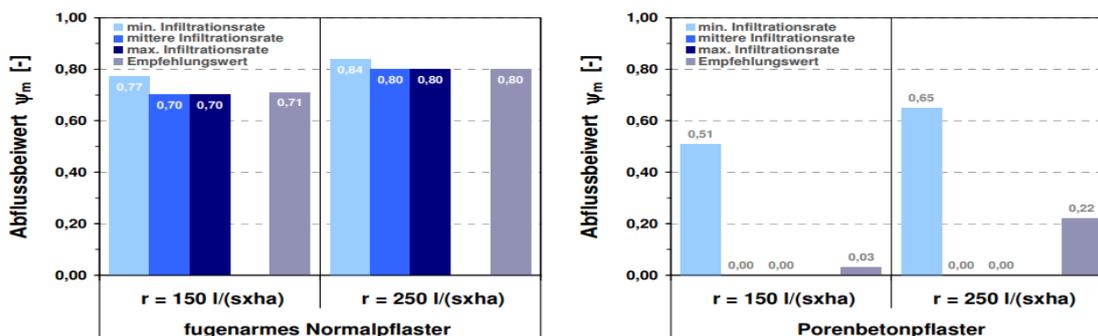


Abbildung 44: Gegenüberstellung empfohlener und bei unterschiedlichen Parameteraufnahmen berechnete Abflussbeiwerte für fugenarmes Pflaster und Porenbetonpflaster bei ausgeprägter Kolmation (Illgen 2009)

Dies wurde modelltechnisch nach dem folgenden Schema abgebildet:

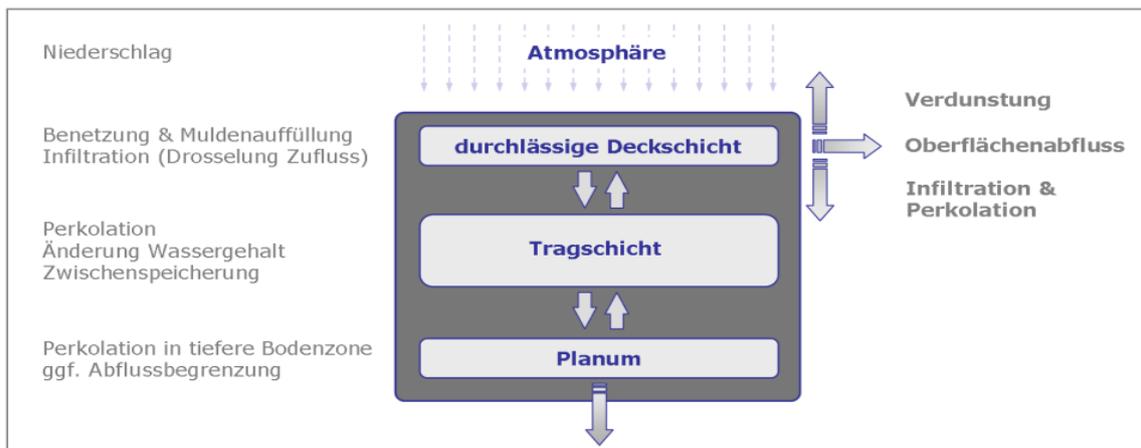


Abbildung 45: Schema des bi-direktionalen Schichtenmodells (Illgen 2009)

Den Einfluss von Typ und Gefälle zeigen

Abbildung 46 bis Abbildung 49. Als Pflastertypen wurden gewählt:

- Fugenreiches Pflaster
- Pflaster mit Splitt gefüllten Sickerfugen
- Pflaster aus porösen Betonsteinen
- Rasengitter und Rasenpflaster

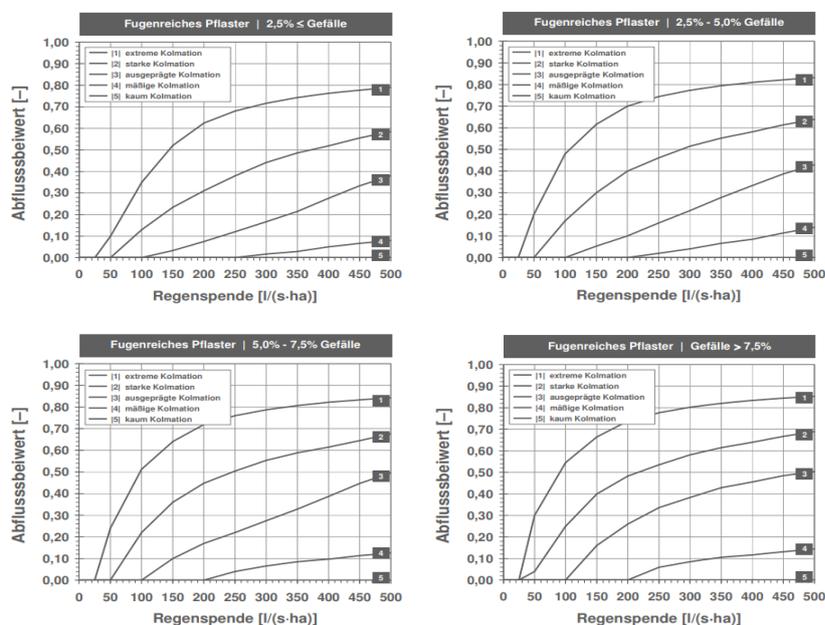


Abbildung 46: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächegefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für fugenreich (6-12%) verlegtes Pflaster (Illgen 2009)

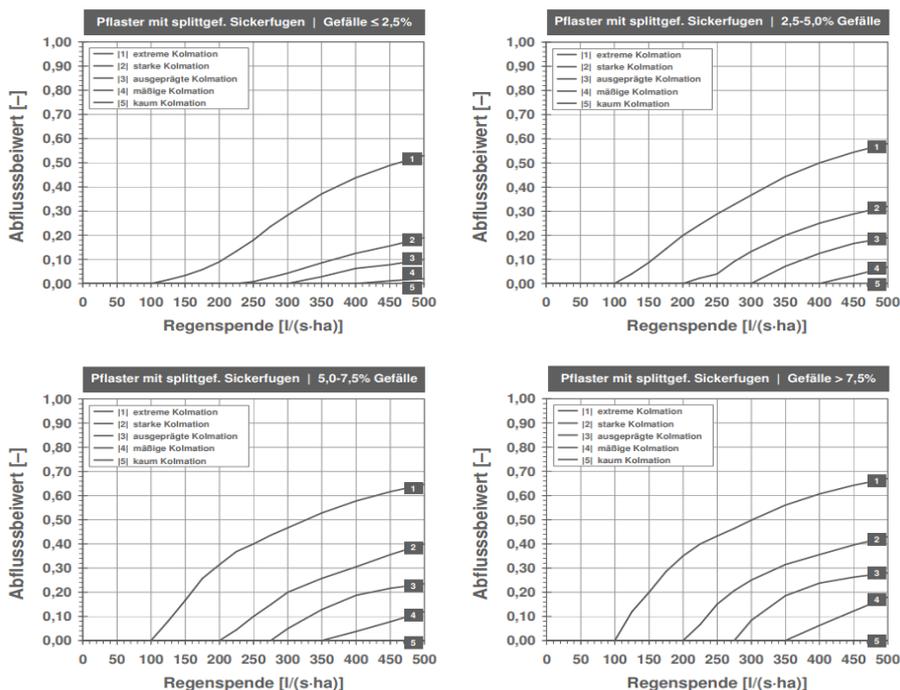


Abbildung 47: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für Pflasterbeläge mit splittgefüllten Fugen (Illgen 2009)

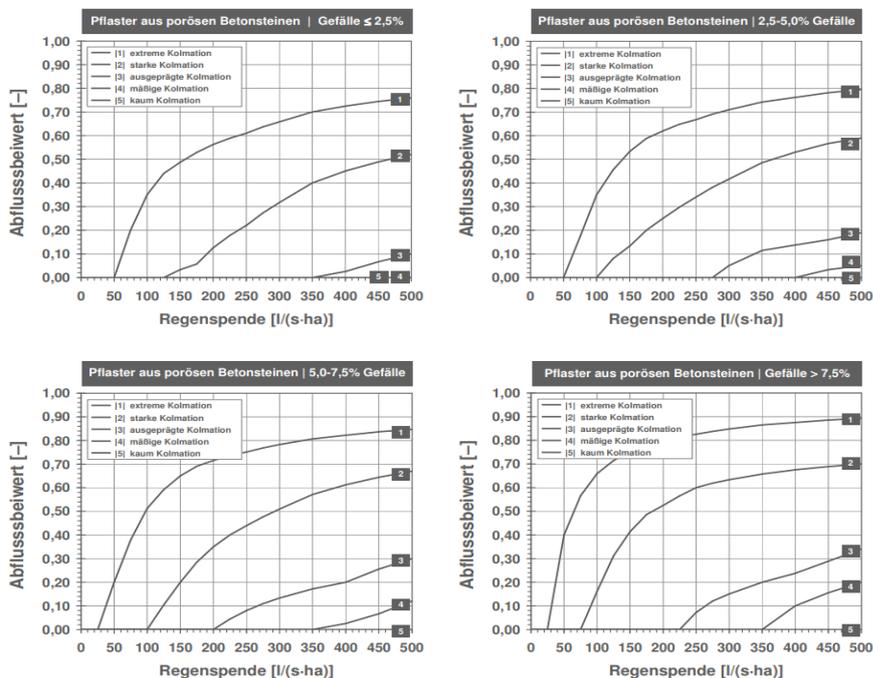


Abbildung 48: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für poröse Pflasterbeläge aus haufwerksporigen Betonsteinen (Illgen 2009)

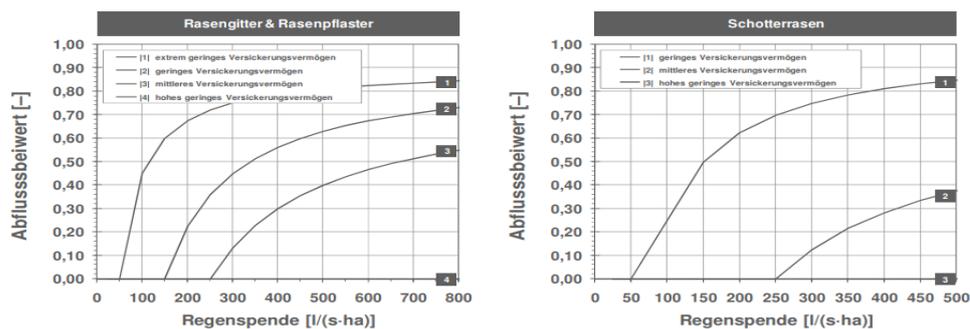


Abbildung 49: Abflussbeiwerte in Abhängigkeit von Oberflächengefälle, Kolmationsgrad und Regenintensität für Flächenbefestigungen aus Rasengitter und Schotterrasen (Illgen 2009)

Im Ergebnis nimmt die Versickerungsmenge mit zunehmendem Gefälle ab. Auch die Kolmation hat einen wesentlichen Einfluss auf die Versickerungsmenge. Je höher die Kolmation, desto geringer die Versickerungsleistung. Hier hat die Flächenbelastung mit Straßenschmutz oder anderen Materialien (wie Organik) einen maßgeblichen Einfluss. Die regelmäßige Reinigung der Straßen durch die Straßenreinigung trägt zu einer langfristigen Stabilität der Versickerungsleistung bei. Bei kolmatierten Flächen wird die Flächenreinigung zur weitgehenden Wiederherstellung der Versickerungsleistung angewandt.

Interessant ist auch, dass **Pflaster mit Sickerfugen die besten Versickerungsleistungen aufweisen und auch bei zunehmender Kolmation noch gute Versickerungsleistungen von mindestens 270 l/(s\*ha) zur Verfügung stellen.**

Die Versickerungsraten können je nach Material, Oberflächenneigung und Wartung variieren, aber im Wesentlichen bieten versickerungsfähige Verkehrsflächen eine beträchtliche Durchlässigkeit und übertreffen oft die Anforderungen an die Versickerung von Regenwasser von 270 l/(s\*ha).

### Boogaard et al. 2019

Eine große Studie von Boogaard et al. 2019 hat sich mit versickerungsfähigen Belägen in den Niederlanden beschäftigt und diese hinsichtlich der Durchlässigkeit nach Standzeiten von 5 bis zu 10 Jahren untersucht. Dazu wurden großflächige Versickerungsversuche in einem abgegrenzten Areal durchgeführt und die Versickerungsleistung ermittelt, um punktuelle Fehler zu vermeiden. Der Wasserstand wurde digital und analog gemessen (Abbildung 50 und Abbildung 51).

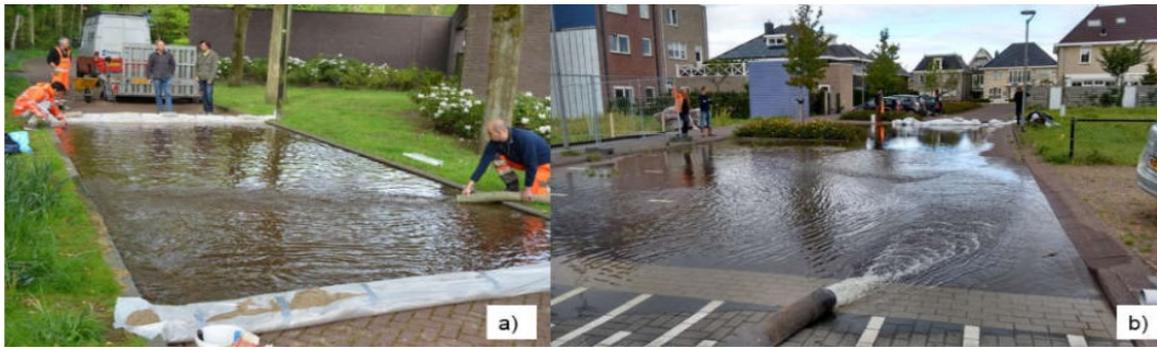


Abbildung 50: Temporärer Damm und Wasserzufluss für einen großskaligen Infiltrationstest (Boogaard et al. 2019)



Abbildung 51: Automatische Wasserstandsmessung, Handmessung und Unterwasserkamera (Boogaard et al. 2019)

Die betrachteten Flächen waren über die Niederlande verteilt (Tabelle 16, Abbildung 52). Dabei handelte es sich um Flächen mit Pflaster und Fugen sowie porösen Betonpflastersteinen. Das Alter der Anlagen lag zwischen 2 und 15 Jahren.

Tabelle 16: Durchlässige Beläge in den Niederlanden, die in der Studie getestet wurden (Boogaard et al. 2019)

(Figure 3 Location Number) and Location	Street	Pavement Type	Date	Test Date
(1) Almere	David Livingstonestraat	Impermeable Concrete PCIP	2010	7 September 2015
(2) Effen	Baanakker	Impermeable Concrete PCIP	2006	30 October 2013
(3) Delft	Drukkerijlaan	Impermeable Concrete PCIP	2005	19 June 2013
(4) Dussen 1	Groot Zuideveld	Impermeable Concrete PCIP	2006	23 October 2013
(5) Dussen 2	Groot Zuideveld	Impermeable Concrete PCIP	2006	23 October 2013
(6) Goirle 1	Sporenring	Impermeable Concrete PCIP	2009	1 July 2015
(7) Goirle 2	Sporenring	Impermeable Concrete PCIP	2009	1 July 2015
(8) Meppel	Anjelierstraat	Impermeable Concrete PCIP	2013	12 November 2015
(9) Rotterdam 1	Hoekersingel	Impermeable Concrete PCIP	2013	5 March 2017
(10) Rotterdam Hoeven 2	Hoestraat	Impermeable Concrete PCIP	2013	4 March 2017
(11) Rotterdam 3	Hoekersingel	Impermeable Concrete PCIP	2013	5 March 2017
(12) Rotterdam 4	Hoekersingel	Impermeable Concrete PCIP	2013	5 March 2017
(13) Utrecht 1	Nijveldsingel	Impermeable Concrete PCIP	2006	28 November 2012
(14) Utrecht 2	Brasemstraat	Impermeable Concrete PCIP	2006	13 June 2013
(15) Zwolle 1	Pieterzeemanlaan	Porous Concrete PCIP	2006	15 November 2013
(16) Zwolle 2	Pieterzeemanlaan	Porous Concrete PCIP	2006	15 November 2013



Abbildung 52: Bilder der untersuchten 16 Flächenbeläge im Straßenraum (Boogaard et. al. 2019)

Erwartungsgemäß hat die älteste Anlage in Almere die geringste Versickerungsleistung (Abbildung 53). Das Wasser konnte innerhalb der Versuchszeit von max. 3 h nicht versickern. Die anderen Anlagen sind deutlich besser.

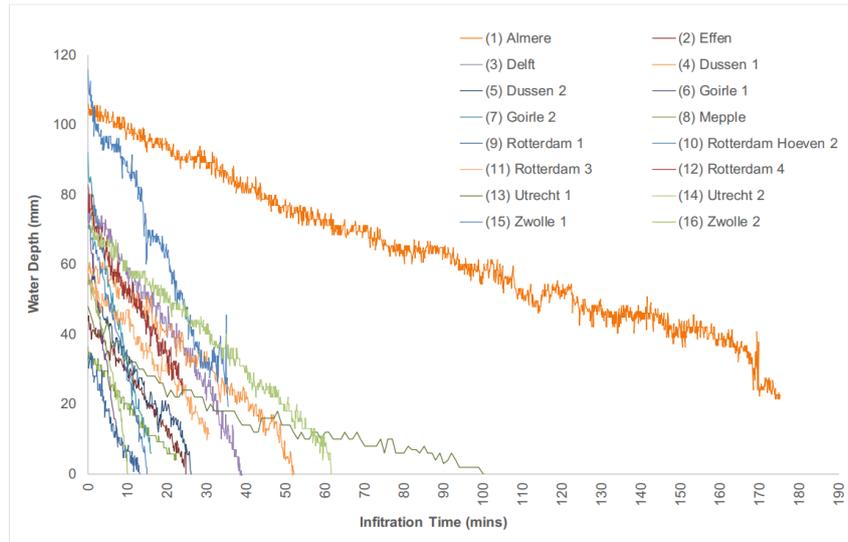


Abbildung 53: Infiltrationskurven für die einzelnen 16 Testflächen (Boogaard et al. 2019)

Bei den Versuchen zeigte sich auch, dass es wichtig ist, die Anlagen im gesättigten Zustand zu messen. Die Anlagen versickern dabei im Mittel ca. 40 % weniger als im ungesättigten Zustand.

In weiteren Versuchen zeigte sich außerdem, dass die Versickerungsleistung tendenziell mit dem Alter des Pflasters abnimmt (Abbildung 54). Hierbei schnitten poröse Pflasterbeläge teilweise besser ab als Pflaster mit Fugen.

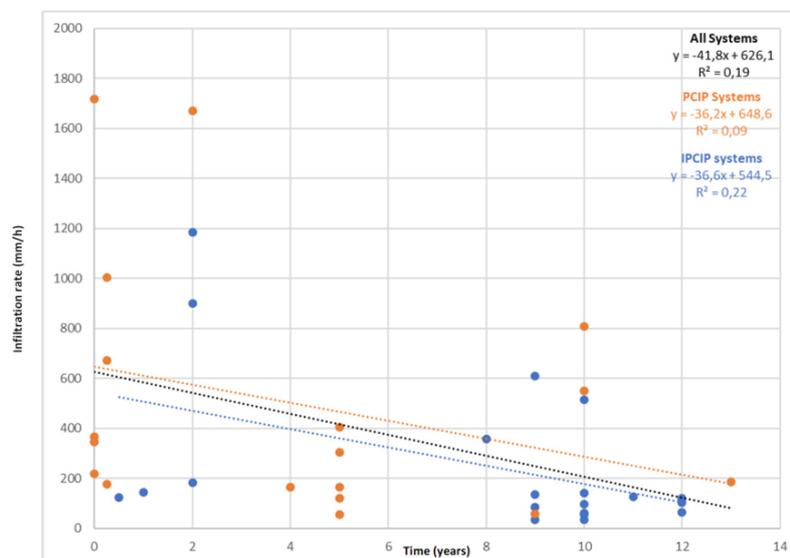


Abbildung 54: Trend des Rückgangs der Infiltrationsleistung von unterschiedlichen Belagssystemen über einen Zeitraum von bis zu 13 Jahren (Veldkamp, Boogaard, Kluck 2022)

Die nachfolgende Tabelle stellt die Reduktion in % im internationalen Vergleich dar. Hier schneiden die Standards in den Niederlanden besser ab, als die untersuchten Anlagen im Ausland.

Tabelle 17: Effekt der Standzeiten auf die Versickerungsleistung von versickerungsfähigen Belägen bezogen auf Standards in den Niederlanden und internationalen Standards (Veldkamp, Boogaard, Kluck 2022)

		Av. Lifespan	0 yrs	5 yrs	10 yrs	15 yrs	20 yrs	25 yrs	30 yrs
National Standards	PCIP	16.5 years	88.9%	55.6%	33.3%	27.8%	22.2%	16.7%	11.1%
	IPCIP	13.8 years	85.7%	23.8%	19.0%	14.3%	9.5%	4.8%	4.8%
International standards	PCIP	13.0 years	61.1%	38.9%	27.8%	22.2%	16.7%	11.1%	11.1%
	IPCIP	10.2 years	23.8%	19.0%	14.3%	9.5%	4.8%	4.8%	0%

Eine signifikante Wiederherstellung der Infiltrationsleistung von i. d. R. bis 70 % des Originalzustandes kann durch die gezielte Reinigung der Oberfläche durch das Hochdruck-Spül-/Saug-Verfahren bei porösem Pflaster erreicht werden. Hier wird auf Untersuchungen anderer Autoren verwiesen. Bei Pflaster mit Fugen ist auch eine Verbesserung sichtbar, die fällt aber deutlich geringer aus. Es wurde auch festgestellt, dass die regelmäßige Straßenreinigung nicht zu einer Verbesserung eines kolmatierten Belages beiträgt. Es wird aber vermutet, dass sie eine Kolmatierung verlangsamt.

#### **Berliner Studie zu versickerungsfähigen Straßenbelägen 2024**

In der Berliner Studie von 2024 wurden Anlagen unterschiedlichen Typs im öffentlichen Straßenraum untersucht. Diese sind unterschiedlichen Alters. In den Versuchen mit dem Doppelringinfiltrimeter zeigt sich, dass alle Verkehrsflächen, bis auf eine, nach etlichen Jahren noch über eine ausreichende Infiltrationsleistung  $>270 \text{ l/(s*ha)}$  verfügen.

Tabelle 18: Bewertung der versickerungsfähigen Verkehrsflächen in Berlin (IPS 2024)

Stand: 23.03.2023

Versickerungsfähige Verkehrsflächen im öffentlichen Straßenraum - Bewertungsübersicht -

ID	Bezirk	Straße	Oberfläche	zusammengefasst			Reinigungs- klasse	Herstellungs- datum	baulicher Zustand	Pflützen- bildung	fehlender Fugensplitt	Wuchs in Fugen	Notentwässerung	Anwohner- auskunft
				Schnelltest [Min]	Doppelring [l/s/ha]	Straßentyp								
1	Treptow-Köpenick	Uhlenhorster Straße	Cheopflaster Svenviro Plus	14:25	540	Wohn- straße	A4	11/2014	leichte Fahrrillen	keine	1 cm in Fahrspur	In Fahrspur außerhalb Reifenkontaktfächen leichter Bewuchs mit Pflanzen und Gras, kein Moos	Straßenabläufe	minimale Versickerung, eher Straßenabläufe
2	Treptow-Köpenick	Teichrohweg/ Mehldornpfad	Cheopflaster Svenviro Plus	05:29	640	Wohn- straße	C	12/2016	guter Zustand	keine	5 bis 8 mm in Reifen- kontakt- flächen	Gras am Bordstein, Moos in den Fugen außerhalb Reifenkontaktfächen	in Teilbereichen Mulden- versickerung über geschlitzte Borde	Auch bei stärkeren Niederschlägen kein starker Abfluss
3	Treptow-Köpenick	Gemeinschaftsstraße	Cheopflaster Svenviro Plus	04:10	640	Wohnweg	A4	01/2017	guter Zustand	keine	nein	größtenteils vermoost, nur im Zentrum größtenteils frei	Überlauf bei Starkregen über zwei Sinkkästen im Kreuzungsbereich	-
4	Reinickendorf	Beyschlagstraße	geOSTON	Abbruch	400	Wohn- straße	A4	2015	guter Zustand, Flicken um TW-Schieber	keine	Abschnitts- weise bis 5 mm	größtenteils bemoost, nur in den Fahrsuren frei	Straßenmitte sind zweireihig Steine als Muldenrinne gelegt und in großen Abständen Straßeneinläufe, Rinne zu großen Rasenmulden	Sickerpflaster funktioniert gut, kein Wasser mehr auf der Fläche, davor viele Pflützen
5	Treptow-Köpenick	FC Union, An d. Wuhlheide 263	geOSTON protect	ca. 3:20	ca. 5.900	Fahrspur Parkplatz	-	2008	guter Zustand	keine	nein	Abschnittsweise vermoost, außerhalb der Fahrspur	Abfluss über Mulden möglich	-
6	Reinickendorf	Alt-Heiligensee	Klein- und Großsteinpflaster	Abbruch	Abbruch	Parkplatz und Gehweg	-	-	guter Zustand	auf der Straße	Fugen vollständig mit Sand gefüllt	Parkplatz vereinzelt Gras in den Fugen, auf dem Gehweg kein Pflanzenwuchs	Regelentwässerung über Sinkkästen in der Straße bzw. den Grünstreifen zwischen Gehweg und Straße	-
7.1	Hoppegarten	Rennbahnallee 109A	Rasengitterstein	01:57	4.400	Parkplatz	-	-	guter Zustand	keine	Fugen geschlossen mit Rasen bewachsen	Muldenrinne-stein mit Hofabläufen	Keine Funktionsein- schränkung	-
7.2	Hoppegarten	Rennbahnallee 109A	Betonsteinpflaster Abdichtungstest	Abbruch	700	Zufahrt Parkplatz	-	-	guter Zustand	keine	nein	vermooste Fugen	Muldenrinne-stein mit Hofabläufen	-
8.1	Lichtenberg	Privatstraße 8	Dränasphalt verschmutzt	Abbruch	22	Wohnweg	?	2014	viel geflickt, Poren zugesetzt	keine	-	abschnittsweise Moosbildung in den offenen Poren	keine	keine Entwässerungs- probleme
8.2	Lichtenberg	Privatstraße 7	Dränasphalt gereinigt	00:59	7.000	Wohnweg	?	2016	guter Zustand	keine	-	-	keine	keine Probleme

### Weitere Literatur

Wie schon vorher dargestellt, lassen teilversiegelte Bodenoberflächenarten Wasser durch die Oberfläche in den Untergrund sickern, wodurch die Grundwasserneubildung unterstützt wird und Überflutungen reduziert werden. Der höhere Unterbau bei durchlässigen Belägen im Straßen- und Wegebau verbessert die Exfiltration und Verdunstung und fördert die Wasserrückhaltung (Braswell et al., 2018). Relevant als wasserdurchlässige Flächen sind Beläge welche mindestens eine Regenspende von  $270 \text{ l/(s*ha)}$  versickern können. Dies ist auch in der Anforderung des DIBt-Prüfverfahrens verankert.

Je nach Untergrund und teilversiegeltem Belag gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben zur Versickerung. Der Oberflächenabfluss von durchlässigem Beton ist nach Alam et al., 2019 durch die erhöhte Einsickerung um bis zu 98 % im Vergleich zu herkömmlichen Belägen verringert. Die mittlere Infiltrationsrate für durchlässigen Beton bzw. Asphalt liegt bei von  $300$  bis  $750 \text{ l/(s*ha)}$  und im Mittel bei ca.  $440 \text{ l/(s*ha)}$  (Bean et al., 2007).

Die mittlere Infiltrationsrate von Pflaster mit offenen Fugen liegt bei ca.  $1.470 \text{ l/(s*ha)}$ . Studien haben je nach Untergrundbedingungen eine Infiltrationsrate von  $45$  bis  $5.500 \text{ l/(s*ha)}$  gemessen. (Bean et al., 2007). Rasengittersteine haben hingegen eine Infiltrationsrate von  $28$  bis  $530 \text{ l/(s*ha)}$ . Im Mittel ergibt sich eine Infiltrationsrate von  $190 \text{ l/(s*ha)}$ . Im gewarteten Zustand ist diese auf  $360 \text{ l/(s*ha)}$  verbessert (Bean et al., 2007).

#### 9.2.1.3 Abfluss

Versickerungsfähige Beläge reduzieren den Oberflächenabfluss von Regenwasser, was die Belastung von Entwässerungssystemen verringert und die Wasserqualität verbessert. Durchlässige Beläge verringern das Abflussvolumen erheblich. Studien haben eine Verringerung des Abflussvolumens um  $30 - 65 \%$  bei verschiedenen Starkregenereignissen gezeigt (Shafique et al., 2018). Durchlässige Beläge tragen zur Minderung von Spitzenabflüssen bei. Pflasterbeläge mit offenen Fugen reduzieren den mittleren Spitzenabfluss im Vergleich zu herkömmlichen Belägen um  $75 \%$  (Tirpak et al., 2021). Simulationsstudien haben gezeigt, dass durchlässige Beläge das Risiko von Überflutungen in Städten verringern können, da sie den Spitzenabfluss von Starkregen verringern und verzögern. (Zhu et al., 2019). Im Mittel werden in der Literatur eine Verzögerung des Spitzenabflusses um  $29$  Minuten (Tirpak et al., 2021) und  $40$  Minuten angegeben (Chen et al., 2021).

#### 9.2.1.4 Fazit

Boden, Substrate und deren Bewuchs fördern den Wasserrückhalt und die Verdunstung. Auch Betonsteine können durch ihre Porosität das Wasser länger zurückhalten und dann verdunsten. Dies hängt aber von der Art und Anordnung der Poren ab.

Tabelle 19: Tabellarische Darstellung der Versickerungsleistung von teilversiegelten Oberflächenarten im Neubau und im Bestand nach ca. 10 - 20 Jahren Betrieb

Kategorie	Versiegelungsart	Einsatzbereiche G = Gehweg, R = Radweg, P = Parkplatz, E = Einfahrten, S= Straße; Ö = Öffentliche Plätze											
		geringe Nutzung						intensive Nutzung					
		G	R	P	E	S	Ö	G	R	P	E	S	Ö
Zusammengesetzt aus Einzelelementen	Pflaster mit dichten Fugen/Flächen mit Platten	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Pflaster mit offenen Fugen, klein < 6 mm	✓	-	✓	✓	✓	o	✓	-	o	✓	-	o
	Sickerfugenpflaster, große Fuge ≥ 6 mm	✓	-	✓	✓	✓	o	✓	-	o	✓	-	o
	Sickerfugenpflaster mit zusätzlichen Sickeröffnungen	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-
	Poröse Betonpflastersteine	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Hybridsteine	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Klimastein	✓	✓	o	✓	✓	✓	✓	✓	o	✓	o	✓
	Rasengitterstein/Rasenkammerstein	-	-	✓	✓	-	-	-	-	o	✓	-	-
	Rasengitterplatten/Q-Gitter	-	-	✓	o	-	-	-	-	o	o	-	-
Rasenfugenstein/Rasenfugenpflaster/TTE® Pflaster	-	-	✓	✓	-	-	-	-	o	✓	-	-	
Flächige Systeme	Dränasphalt/wasserdurchlässiger Asphalt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Dränbeton/durchlässiger Beton	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Schottergärten versickerungs offen	-	-	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fester Kiesbelag, Terraway®	✓	✓	o	o	-	-	✓	-	-	✓	-	o
	Wassergebundene Deckschichten	✓	✓	✓	✓	o	o	-	-	-	✓	-	o
	Looser Kiesbelag/Schotterrasen	✓	o	✓	✓	-	o	-	-	-	✓	-	o
	Schottergärten, geringe Versickerung	-	-	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Versickerung ist auch abhängig von der Rückhaltung und Porenstruktur und der daraus resultierenden Versickerungsleistung. Relevant sind hier die Fugengröße und das Fugenmaterial, die durch hohe Anteile und große Porosität die Leistung erhöhen können.

Der Abfluss resultiert aus dem Rückhalt und der Versickerungsleistung. Für einen geringen Abfluss sind hohe Anteile von Fugen und versickerungsfähigen Flächen an der Gesamtfläche relevant. Auch die Aufnahmefähigkeit und Zwischenspeicherung der Bettung und der Tragschichten spielen gerade bei schlecht sickerfähigen anstehenden Böden eine maßgebliche Rolle für die zu versickernde Menge.

Die Jahreswasserbilanz kann von der Wasserbilanz bei einem Starkregenereignis abweichen. Selbst weniger sickerfähige Bodenoberflächenarten, wie z. B. wassergebundene Decken oder Pflaster mit kleinen Fugen, können über das Jahr gesehen noch einen vergleichsweise hohen Anteil an Wasser versickern. Dies begründet sich durch eine höhere Versickerungsleistung insbesondere bei kleinen Niederschlägen.

Um die Langfristigkeit der Versickerungsleistung, und hier insbesondere der Einsickerung in die Beläge, zu sichern, ist eine regelmäßige Überprüfung und Wartung notwendig. Die Wartung kann dann bei Bedarf mit geeigneten Geräten, z. B. wie Spül-/Saugverfahren oder Austausch von Fugenmaterial, erfolgen.

Zusammenfassend ergeben sich aus der Auswertung der Untersuchungen bezüglich der Versickerung und des daraus resultierenden Abflusses folgende Schlussfolgerungen:

- Die meisten teilversickerungsfähigen Bodenbeläge haben im neu gebauten Zustand eine sehr hohe Versickerungsleistung, die weit über den z. B. durch das DIBT-Prüfverfahren geforderten

270 l/(s\*ha) liegen. Nur Pflaster ohne oder mit kleinen Fugen sowie wassergebundene Decken erreichen diese Werte nicht.

- Für die Funktionsfähigkeit ist das Zusammenspiel der Durchlässigkeit des oberen Belages mit dem zusätzlichen Rückhalt im Unterbau (Tragschicht) ausschlaggebend.
- Die Versickerungsleistung sinkt mit der Standzeit und der Art der Belastung. Nach mind. 10 Jahren ist daher die Versickerungsleistung zu prüfen, dazu stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung.
- Für die Wiederherstellung der erforderlichen Versickerungsleistung können je nach Art der Beläge entweder Spül-/Saug-Verfahren oder der Austausch von Fugenmaterial erfolgen. Eine vollständige Herstellung der Versickerungsleistung nach Neubau wird dabei meist nicht mehr vollständig erreicht. Zielwert ist hierbei 270 l/(s\*ha).

## 9.2.2 Boden

Dieser Bewertung liegen folgende Ergebnisse der Literaturrecherche zu Partikelbindung und Wasserspeicherung zugrunde.

### 9.2.2.1 Partikelbindung im Boden

In der Dissertation von Dierkes (2000) wurden unterschiedliche durchlässige Flächenbeläge auf hydraulische und stoffliche Belange untersucht (Abbildung 55). Hierbei handelte es sich um vier Bodenoberflächenarten:

- Betonstein, haufwerksporig
- Rasengitterstein, herkömmlich
- Rasengitterstein, haufwerksporig
- Betonstein mit erweiterten Fugen

System	Betonstein haufwerksporig	Rasengitterstein herkömmlich	Rasengitterstein haufwerksporig	Betonstein mit erweiter. Fugen
Prinzipskizze				
Versickerungswirks. Fläche	100 %	41 %	100 %	13 %

Abbildung 55: Übersicht der untersuchten Beläge (Dierkes, 2000)

Die nachfolgende Tabelle enthält Kenndaten zu Unterbauarten der Pflasterbeläge. Diese unterscheiden sich weitgehend im Kalkgehalt.

Tabelle 20: Ingenieurgeologische Kennwerte der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000)

	Proctordichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Lagerungs- dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	pH-Wert -	Kalkgehalt (CaCO <sub>3</sub> ) [%]
Kalkschotter	2,25	2,21	8,3	50,6
Basaltschotter	2,07	2,09	8,6	-
Grauwacke	2,17	2,02	8,3	0,9
Kies (0/32)	2,11	2,07	8,8	0,7
Bettung	n. b.	2,44	7,9	52,3
Fugenfüllung	n. b.	n. b.	8,7	0,3

n. b. = nicht bestimmt

Die im Labor ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (Tabelle 21) für den Unterbau unterscheiden sich wesentlich über zwei Zehnerpotenzen (Faktor 100). Dies kann Einfluss auf die Eindringgeschwindigkeit des einsickernden Niederschlagswassers haben.

Tabelle 21: Im Labor ermittelte und berechnete Durchlässigkeitsbeiwerte der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000)

	Ungleich- förmigkeit U	k <sub>r</sub> -Werte gemessen [m/s]	k <sub>r</sub> -Wert Hazen [m/s]	k <sub>r</sub> -Wert Beyer [m/s]
Kalkschotter	14	9·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
Basaltschotter	17	2·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-4</sup>
Grauwacke	9	2·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>
Kies (0/32)	21	3·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-4</sup>
Substrat	21	1·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	9·10 <sup>-5</sup>
Sand	3	9·10 <sup>-5</sup>	7·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>
Bettung	2	5·10 <sup>-3</sup>	-	-
Fugenfüllung	1	8·10 <sup>-5</sup>	-	-

Die Schwermetallgehalte unterscheiden sich je nach Material, bewegen sich aber im Rahmen naturbelassener Böden (Tabelle 22).

Tabelle 22: Schwermetallgrundgehalte nach Königswasseraufschluss der untersuchten Materialien (Dierkes, 2000)

Material	Blei [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Zink [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]
haufwerksporiger Beton	2,6	5,4	13,3	0,30
Basaltsplitt (1/3)	3,9	42,5	18,7	2,34
Kalksplitt (2/5)	0,8	8,4	2,6	0,01
Kalkschotter	1,2	2,1	6,6	0,16
Basaltschotter	0,6	20,6	47,2	1,50
Grauwackenschotter	3,9	9,3	16,0	0,51
Kies	0,9	9,6	5,5	0,35
Gehalte naturbelassener Böden	0,1 - 60	1 - 40	3 - 100	0,01 - 3

Bei der Infiltration in die unterschiedlichen versickerungsfähigen Beläge zeigen sich bei Rasengittersteinen gute Rückhalte von Zink (Abbildung 56). Diese sind bei haufwerksporigen Steinen und Steinen mit erweiterten Fugen deutlich geringer. Dies kann auf die bessere Rückhalteleistung einer Bodenmatrix in den Rasengittersteinen in Vergleich zum Fugensplitt zurückgeführt werden. Generell ist die Rückhalteleistung bei geringen Zuflüssen höher als bei starken Zuflüssen, wie sie bei Starkniederschlägen auftreten.

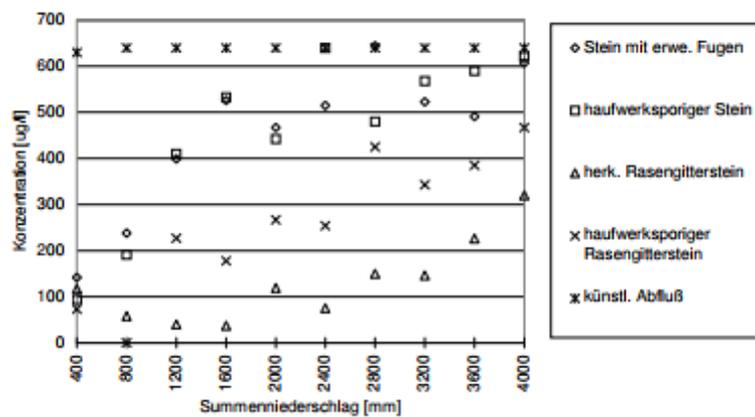


Abbildung 56: Konzentrationen von gelöstem Zink in der Vorlage und im Sickerwasser von 4 verschiedenen wasserdurchlässigen Flächenbelägen (Dierkes, 2000)

Versuche mit Sickerwasserbeprobungen wurden bei allen Arten durchgeführt (Tabelle 23). Zu Anfang der Versuche ist die Rückhalteleistung wesentlich höher als am Ende. Dies deutet auf eine Abnahme der Rückhalteleistung hin. Für Zink und Cadmium war diese am Ende nicht mehr gegeben. Für Kupfer und Blei konnte auch am Ende noch eine Rückhaltung beobachtet werden, die bei Blei sogar noch bei > 80 % lag.

Tabelle 23: Konzentrationen der Schwermetalle in der Vorlage und im Sickerwasser am Anfang und am Ende der Versuche (Dierkes, 2000)

Belag	Vorlage	Sickerwasser	Sickerwasser	Differenz
	[µg/l]	Beginn [µg/l]	Ende [µg/l]	
<b>Zink</b>				
Betonstein mit erweiterter Fuge	635	142	607	465
haufwerksporiger Betonstein	635	94	621	527
herkömmlicher Rasengitterstein	635	117	327	210
haufwerksporiger Rasengitterstein	635	73	428	355
<b>Cadmium</b>				
Betonstein mit erweiterter Fuge	27	10	27	17
haufwerksporiger Betonstein	27	4	27	23
herkömmlicher Rasengitterstein	27	4	4	0
haufwerksporiger Rasengitterstein	27	2	17	15
<b>Kupfer</b>				
Betonstein mit erweiterter Fuge	650	58	329	271
haufwerksporiger Betonstein	650	24	319	295
herkömmlicher Rasengitterstein	650	42	77	35
haufwerksporiger Rasengitterstein	650	23	167	144
<b>Blei</b>				
Betonstein mit erweiterter Fuge	157	7	34	27
haufwerksporiger Betonstein	157	4	28	24
herkömmlicher Rasengitterstein	157	9	4	-5
haufwerksporiger Rasengitterstein	157	4	15	11

Es zeigte sich auch, dass Systeme mit Rasen bessere Rückhaltungen bieten als poröse Systeme oder Systeme mit Fuge (Abbildung 57).

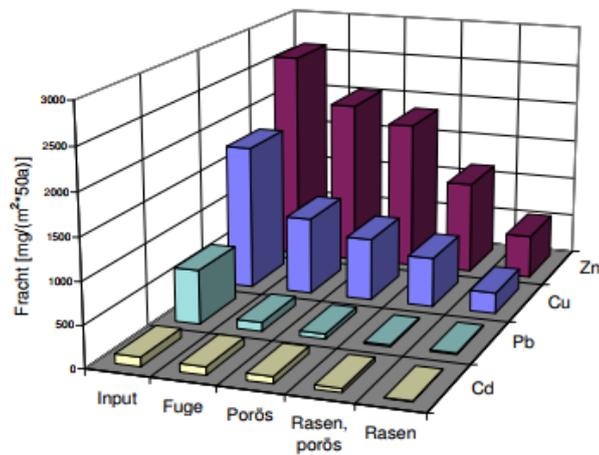


Abbildung 57: Grafischer Vergleich der verschiedenen untersuchten Systeme (Dierkes, 2000)

Der Unterbau trägt zu einer Stabilisierung des pH-Wertes auf ca. 7,5 - 8 bei (Tabelle 24). Die Leitfähigkeit wird leicht erhöht. Das Redoxpotential wird nicht beeinflusst.

Tabelle 24: Physikochemische Parameter der Sickerwässer (Dierkes, 2000)

Säule	pH Beginn	pH Ende	Red-Ox [mV]	Leitfähigkeit [µS/cm]
künstl. Abfluß	5,0	5,0	248	530
Kies	8,0	7,7	240	760
Kalkstein 1	8,0	7,6	240	760
Kalkstein 2	8,0	7,5	240	750
Grauwacke	8,1	7,3	255	736
Basalt	8,7	8,0	235	750

Wie zu erwarten, finden sich die höchsten Zn-Konzentrationen in den oberen Zonen des Unterbaus bis 20 cm in den durchgeführten Versuchen (Abbildung 58).

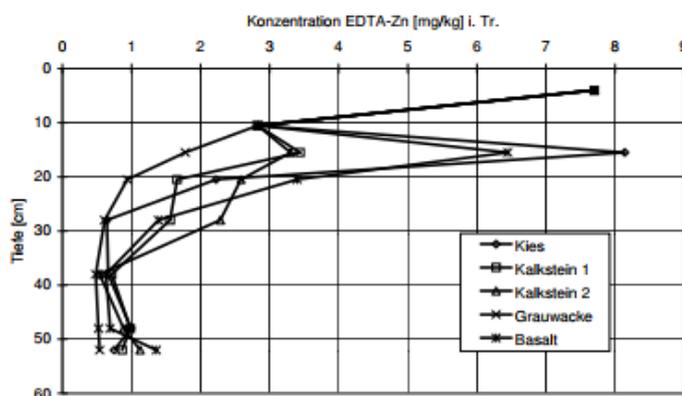


Abbildung 58: EDTA-extrahierbare Zinkkonzentrationen nach den Versuchen in den 5 Versuchssäulen (Dierkes, 2000)

Für den Unterbau konnten über den Versuchszeitraum auch gute bis sehr gute Rückhalteleistungen bis 98 % beobachtet werden (Tabelle 25). Bei Kalkstein waren diese am geringsten.

Tabelle 25: Schwermetallbilanzen über den gesamten Versuchszeitraum (Dierkes, 2000)

Tragschicht	Blei [mg]	Cadmium [mg]	Kupfer [mg]	Zink [mg]
Kies Zulauf	126	21,0	342	470
Kies Ablauf	< 3	0,4	13	13
Rückhalt	123	20,6	330	456
Rückhalt	98 %	98 %	96 %	97 %
Kalkstein Zulauf	126	21,0	340	468
Kalkstein Ablauf	< 3	2,6	22	58
Rückhalt	123	18,4	319	411
Rückhalt	89 %	88 %	94 %	88 %
Grauwacke Zulauf	123	21,0	341	466
Grauwacke Ablauf	< 3	5,4	36	131
Rückhalt	121	15,5	305	335
Rückhalt	98 %	74 %	89 %	72 %
Basalt Zulauf	128	21,3	297	485
Basalt Ablauf	< 3	0,4	11	12
Rückhalt	125	20,9	286	473
Rückhalt	98 %	98 %	96 %	98 %

Interessant war auch die Untersuchung des Verbleibs im Gesamtaufbau eines Pflasterbelages (Abbildung 59). Blei wird zu ca. 75 % im Stein gebunden, während dies für Kupfer und Zink nur zu ca. 40 - 50 % der Fall ist. Immerhin verbleiben noch 10 - 15 % in der Fuge. Cadmium verhält sich hier am mobilsten. Hier findet sich der größte Anteil in der Tragschicht.

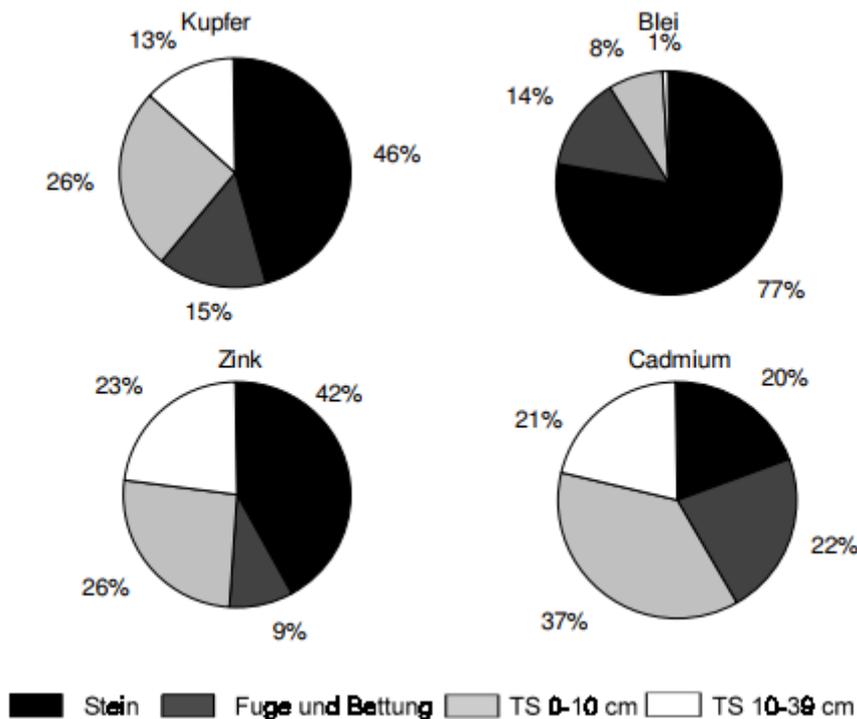


Abbildung 59: Bilanzierter Rückhalt der Schwermetalle Blei, Kupfer, Zink und Cadmium in einer Versuchssäule mit einem Straßenaufbau der Bauklasse V und Kalksteintragschicht (Dierkes, 2000)

Tabelle 26: Ergebnisse der Beregnungsversuche mit fünfjährlichen Starkregenereignissen an der Versuchswanne (Dierkes, 2000)

Dauer	[min]	5	10	30	60	120
Intensität	[l/(s ha)]	247	207	113	70	41
<b>Zink</b>						
Input	[µg/l]	298	298	306	306	306
Maximum	[µg/l]	41	31	27	9	32
Minimum	[µg/l]	6	9	5	3	9
Differenz	[µg/l]	35	22	22	6	23
<b>Kupfer</b>						
Input	[µg/l]	40	40	41	41	41
Maximum	[µg/l]	12	13	11	14	15
Minimum	[µg/l]	5	7	5	6	8
Differenz	[µg/l]	7	6	6	8	7
<b>Blei</b>						
Input	[µg/l]	26	26	24	24	24
Sickerwasser	[µg/l]	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
<b>Cadmium</b>						
Input	[µg/l]	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Sickerwasser	[µg/l]	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

#### 9.2.2.2 Feinstaub/AFS63

Durchlässige Beläge können Feinstaub wirksam aus dem Regenwasser filtern. Die Abscheidegrade hängen von den verschiedenen Partikelgrößen und den Porengrößen der teilversickerungsfähigen Beläge ab. Zum Beispiel erzielten zementgebundene durchlässige Beläge eine Filtrationseffizienz von über 80 % für Feinstaub. Dabei erfolgte eine vollständige Abscheidung für Partikel über 300 µm und einer Abscheidung von 50 % für suspendierte Partikel (Sansalone et al., 2012). Das Vorhandensein von Öl im Regenwasser kann den Transport und die Ablagerung von Feinstaub in durchlässigen Belägen erheblich beeinflussen und reduzieren (Aryal et al., 2015).

#### 9.2.2.3 Aerosolbindung aus der Luft

Eine experimentelle Studie über durchlässige Beläge hat gezeigt, dass diese in der Lage sind, Schadstoffe aus Fahrzeugabgasen in Bodennähe zu reduzieren. So wurde die Konzentration von SO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> 5 Minuten nach der Emission um 40 - 87 % reduziert (Liu et al., 2012). Im Fall von Beton basierten Belägen ist dieser Effekt vermutlich auf das dort enthaltene Calcium zurückzuführen.

#### 9.2.2.4 Verdichtung/Wasserspeicher

Durchlässige Beläge können dazu beitragen, eine höhere Bodenfeuchtigkeit aufrechtzuerhalten, was insbesondere in Sandböden von entscheidender Bedeutung ist. Sie können aber auch dazu beitragen, übermäßige Feuchtigkeit in schlecht entwässernden Lehmböden zu reduzieren, um so Staunässe zu verhindern (Chen et al., 2017).

Weitere Untersuchungen in diesem Zusammenhang müssen durchgeführt werden.

#### 9.2.2.5 *Fazit*

Böden und Substrate sind wichtig für die Durchlässigkeit und die Speicherung von Wasser und die Bindung von Partikeln. Je kleiner das Porenvolumen umso höher die Rückhaltung von Partikeln und potenziell auch von Schadstoffen.

Für die Durchwurzelung eignen sich die teilversickerungsfähigen Beläge mit Böden oder mit Fugen, in denen Begrünung stattfinden kann. Die Art der Böden und Substrate ist für die Auswahl bzw. spontane Entwicklung der Pflanzen ausschlaggebend.

### 9.2.3 *Klima*

#### 9.2.3.1 *Erwärmung/Albedo*

Durchlässige Beläge wirken sich auf die Erwärmung und die Albedo aus, indem sie die Oberflächentemperaturen am Tag durch höhere Verdunstungsraten und geringere nächtliche Wärmespeicherung senken (Stempihar et al., 2012). Studien zeigen, dass die Albedo von durchlässigem Beton mit zunehmender Porosität linear abnimmt. **Die Albedo eines durchlässigen Betons schwankt zwischen 0,25 und 0,35**, was 0,05 bis 0,15 niedriger ist als die Albedo eines herkömmlichen Zementbetons (Zhang et al., 2015). Seine geringere Albedo im Vergleich zu konventionellen Belägen kann jedoch zu einer höheren Sonnenabsorption führen, die mit effektiven Wasserrückhalte- und Verdunstungsstrategien ausgeglichen werden muss, um die Kühlwirkung zu optimieren (Qin & Hiller, 2014). Durchlässige Beläge können unter nassen Bedingungen die Oberflächentemperaturen stärker senken als undurchlässige Beläge. Der Kühleffekt hängt von der Verfügbarkeit von Feuchtigkeit in der Nähe der Oberfläche und der Verdunstungsrate ab, wobei die Spitzenkühlwirkung zwischen 15 und 35 °C liegt (Li et al., 2013).

#### 9.2.3.2 *Verschattung*

Durchlässiger Beton reduziert die Oberflächentemperaturen in städtischen Gebieten erheblich und kann als Maßnahme zur Verringerung der städtischen Wärmeinsel dienen, die der Beschattung von herkömmlichem Beton gleichkommt (Flower et al., 2010). Zudem kann die Beschattung durch z. B. Baumkronen den Hitzestress für die darunter liegenden durchlässigen Beläge verringern und eine bessere Speicherung der Bodenfeuchtigkeit sowie ein gesünderes Baumwachstum fördern. Die Biomasse von Bäumen wird durch wasserdurchlässige Beläge im Vergleich zu undurchlässigen Belägen weniger beeinträchtigt, insbesondere unter schattigen Bedingungen (Cui et al., 2021). Das Vorhandensein von Schatten kann den Verdunstungskühleffekt von durchlässigen Belägen verstärken, indem die direkte Sonneneinstrahlung reduziert wird, wodurch niedrigere Oberflächentemperaturen aufrechterhalten und die Dauer der Kühlperioden verlängert werden (Wang et al., 2018).

Die Beschattung beeinflusst die Menge und Dauer der Schnee- und Eisbedeckung auf durchlässigen Betonbelägen. In beschatteten Bereichen wird weniger Salz benötigt, als in unbeschatteten Bereichen, was den Einsatz von Tausalz reduziert (Roseen et al., 2009).

### 9.2.3.3 *Fazit*

Die Wärmerückstrahlung (Albedo) hängt von der Farbe der Oberfläche und von der Porosität ab. Je dunkler der Belag desto höher ist die potenzielle Wärmespeicherung. Eine höhere Porosität bei Betonmaterialien und Asphalt kann den Effekt noch verstärken.

Böden und begrünte Fugen haben eine hohe Porosität, führen aber durch den Bewuchs nicht zu erhöhter Erwärmung der Oberfläche. Hier ist die Verdunstungskühlung als auch die Verschattung durch den Bewuchs entscheidend.

Indirekt können z. B. Bäume auch vom versickernden Niederschlagswasser aus den teilversickerungsfähigen Belägen profitieren. Dadurch verringert sich die Erwärmung von Oberflächen auf Böden und auch auf Fassaden.

## 9.2.4 Flora/Fauna

### 9.2.4.1 *Begrünung/Durchwurzelung*

Teilversickerungsfähige Beläge unterstützen die Begrünung indem sie Pflanzen ermöglichen, in den Fugen bzw. Sickeröffnungen zu wachsen. Die Verwendung von Gras in Rasengittersteinen erhöht die Verdunstungsraten erheblich, und zwar um mehr als das Dreifache im Vergleich zu durchlässigen Betonbelägen (Starke et al., 2011). Zudem können Pflanzenwurzeln den Boden durchdringen, was die Bodenqualität und die Pflanzenvitalität verbessert. Gute Durchwurzelung trägt zur Stabilität der Pflanzen bei und fördert die Bodenstruktur.

Durchlässige Beläge und die darunter liegende Tragschicht können Einfluss auf das Baumwachstum haben (Mullaney et al., 2016). Durchlässige Beläge erhöhen den Feuchtigkeitsgehalt in trockeneren Sandböden, verringern jedoch den Feuchtigkeitsgehalt in feuchteren Tonböden nach Regenfällen. Bei einer tiefen Drainageschicht (> 300 mm) auf tönigen Böden wurde das Wachstum des Stammdurchmessers um 55 % gesteigert. Durchlässige Beläge mit einer flacheren Drainageschicht (0 oder 100 mm) hatten keinen Einfluss auf das Wachstum der Bäume im Vergleich zu den Bäumen in den kontrollierten Asphaltbelägen. Durchlässige Beläge ohne Drainageschicht verringerten jedoch das Höhenwachstum von Bäumen in Lehmböden um 37 bis 38 % im Vergleich zu Belägen mit einer 100 mm oder 300 mm dicken Drainageschicht (Mullaney et al., 2015). Außerdem wurde festgestellt, dass die hohe Schottertragschicht unter durchlässigen Belägen das flache Wurzelwachstum von Bäumen verhindert, wodurch die Schäden am Belag minimiert und der Wartungsaufwand verringert werden (Johnson et al., 2019).

### 9.2.4.2 *Mikroorganismen*

Durch die erhöhte Wasserdurchlässigkeit und die bessere Bodenqualität bieten teilversiegelte Beläge einen geeigneten Lebensraum für Mikroorganismen. Die Infiltrationswirkung von teilversiegelten und dadurch versickerungswirksamen bzw. durchlässigen Belägen kann sich auf mikrobielle Gemeinschaften innerhalb der Belagsstruktur als auch des darunter liegenden Bodens auswirken. Dabei dienen durchlässige Beläge als „In-situ-Bioreaktoren“, die die vielfältigen mikrobiellen Gemeinschaften unterstützen, um Kohlenwasserstoffe und andere Schadstoffe abzubauen zu können. Zu diesen

Gemeinschaften gehören Bakterien, Pilze und Protozoen, die gemeinsam die biologischen Abbauprozesse verbessern (Coupe et al., 2003). Durchlässige Beläge haben sich beim Abbau von Kohlenwasserstoffen als effizient erwiesen. Einheimische mikrobielle Gemeinschaften innerhalb der Pflasterstruktur sind effektiv beim biologischen Abbau. Ihre Effizienz ist vergleichbar mit kommerziellen mikrobiellen Mischungen bei angemessenem Nährstoffgehalt (Newman et al., 2002). Die Art des Materials, das in durchlässigen Belägen verwendet wird, kann die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaft und die Effizienz des Schadstoffabbaus beeinflussen. Beispielsweise kann recycelter Beton in durchlässigen Belägen den pH-Wert verändern und sich auf die mikrobielle Vielfalt und Anzahl auswirken, aber dennoch ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen beibehalten (Coupe & Smith, 2005). Weiterhin wurde der Rückhalt von Pathogenen für teilversiegelte Oberflächenmaterialien untersucht. Teilversiegelte Beläge können die Konzentrationen von Indikatororganismen wie fäkale Coliforme, Enterokokken und *Escherichia coli* erheblich reduzieren. Poröser Asphalt zum Beispiel zeigte eine Reduktion für diese Krankheitserreger von mehr als 90 % (Selvakumar & O'Connor, 2018). Die Wirksamkeit von durchlässigen Belägen bei der Verringerung der mikrobiellen Belastung kann mit den Jahreszeiten variieren. Im Sommer und Herbst wird eine stärkere Verringerung der Erregerkonzentrationen beobachtet, während im Winter aufgrund der geringeren mikrobiellen Aktivität eine geringere Effizienz der mikrobiellen Beseitigung zu beobachten ist (Selvakumar & O'Connor, 2022).

#### 9.2.4.3 *Bienen, Insekten*

Teilversiegelte Straßenbeläge tragen zur städtischen Biodiversität bei, indem sie den Oberflächenabfluss reduzieren und Mikrohabitate schaffen, die vielfältige Insektengemeinschaften unterstützen. Dazu gehört auch die Schaffung eines Lebensraums für bodenbrütende Bienen und andere Insekten (Andersson et al., 2017). Es wurde beobachtet, dass städtische Straßenbeläge, einschließlich durchlässiger (teilversiegelter) Beläge, neue Nistmöglichkeiten für bodenbrütende Hymenopteren wie Wildbienen und Grabwespen bieten. In einer Studie in der Region Brüssel-Hauptstadt wurden 22 Arten von Wildbienen und Grabwespen identifiziert, die unter städtischen Straßenbelägen nisten, wobei Sandsteinpflaster oder Betonplatten mit ungebundenen Fugen besonders geeignet sind (Noël et al., 2021).

Außerdem können teilversiegelte Beläge die Bodenfeuchtigkeit und -temperatur beeinflussen, was sich wiederum auf die Lebensraumqualität für Insekten auswirkt. Diese Beläge erhöhen die Feuchtigkeit in trockeneren Böden, was die Temperaturen im Boden stabilisiert. Dadurch entstehen günstigere Bedingungen für verschiedene Insektenarten, einschließlich Bestäubern (Mullaney et al., 2015).

Jedoch korreliert der Grad der Versiegelung nicht mit der Diversität (Kearns & Oliveras, 2009). Der wichtigste Faktor, der sich auf die Anzahl der Bienen auswirkt, insbesondere bei bodenbrütenden Bienen, ist die Bewirtschaftung der Wiesen, insbesondere das Vorhandensein von Weiden in der Umgebung der betrachteten teilversiegelten Bodenoberfläche. Die Anzahl der Bienen stand auch in einem positiven Zusammenhang mit der Anzahl der blühenden Pflanzenarten. Andere Studien über verschiedene Insekten (Heuschrecken und Schmetterlinge) auf diesen Flächen ergaben ähnliche Ergebnisse (Kearns & Oliveras, 2009).

Weitere Untersuchungen in diesem Zusammenhang und der Effekt auf größere Tiere (z. B. Barrierewirkung bei der Lebensraumvernetzung) müssen noch durchgeführt werden.

#### 9.2.4.4 *Fazit*

Teilversiegelte Beläge mit großen begrünten Fugen und begrünte Rasengittersteine aus Beton können Lebensräume für Insekten und Bienen bieten. Auch lockere Kiesbeläge und Schotter eignen sich hier gut. Andere Beläge, wie z. B. poröses Pflaster oder Oberflächen, sind meist zu geschlossen für eine Besiedlung mit Bienen und Insekten. Allerdings bieten sie auch Mikroorganismen einen bedingten Lebensraum. Letztere werden sich aber auch in den anderen vorgenannten Belägen niederlassen.

Prinzipiell schlecht zur Besiedlung eignen sich geschlossene Oberflächen (Pflaster ohne Fugen, wassergebundene Decken).

### 9.2.5 Mensch

#### 9.2.5.1 *Barrierefreiheit/Begehbarkeit*

Im Allgemeinen unterscheiden sich die teilversiegelten Beläge nicht von herkömmlichen Belägen im Punkt der Zugänglichkeit. Von entscheidender Bedeutung in beiden Fällen ist die regelmäßige Wartung und Reinigung, um das Entstehen von Unebenheiten vorzubeugen (Kuruppu et al., 2019).

Durchlässige Beläge werden in der Regel in Bereichen mit geringer Geschwindigkeit und geringem Verkehrsaufkommen wie Parkplätzen und Fußgängerwegen verwendet. Es gibt Systeme, welche eine stabile Gehfläche bieten, die für die Zugänglichkeit, insbesondere für Personen mit Mobilitätseinschränkungen, unerlässlich ist (Weiss et al., 2019).

Die Oberflächenstabilität von durchlässigen Belägen ist mit der von herkömmlichen Belägen vergleichbar. Jedoch sollte im Winter kein Salz eingesetzt werden, was aber hier Risiken hinsichtlich der Zugänglichkeit bedeuten kann, sofern keine abstumpfenden Granulate eingesetzt werden (Scholz & Grabowiecki, 2007).

#### 9.2.5.2 *Ortsbild erleben*

Die Integration von Grünflächen und von versickerungsfähigen Belägen verbessern das Erlebnis und die Lebensqualität im urbanen Raum. Viele Hersteller bieten individuelle Anpassungen in Farbe und Textur, sodass sie für verschiedene Designs eingesetzt werden können. Ein gut gestalteter Belag kann öffentliche Räume aufwerten und sie einladender und funktionaler für die gemeinschaftliche Nutzung machen (Alam et al., 2019).

Rasengittersteine und andere begrünte, durchlässige Beläge bieten ein natürliches Erscheinungsbild, welches den urbanen Raum aufwerten kann und eine optisch ansprechende Alternative zu herkömmlichen Belägen darstellt (Booth & Leavitt, 1999).

#### 9.2.5.3 *Fazit*

Für den Menschen ist sowohl die Barrierefreiheit und Begehbarkeit als auch das optische Erleben maßgeblich. Für die Barrierefreiheit schneiden alle Beläge mit einer geringen Oberflächenrauigkeit gut ab. Schlechter geeignet sind bewachsene Beläge mit großen begrünten Fugen und begrünte Rasengittersteine aus Beton. Auch lockere Kiesbeläge und Schotter eignen sich hier nicht so gut.

Begrünte Beläge haben allerdings auch eine positive Eigenschaft, so können sie durch die Begrünung graue Oberflächen beleben.

### 9.3 Anforderungen an Materialklassen und rechtliche Grundlagen für teilversiegelte Bodenoberflächen

Für die Umwandlung von Voll- in Teilversiegelung im Siedlungsbestand und die Auswahl geeigneter Materialklassen für den Unterbau sind insbesondere die Bestimmungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) sowie der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) relevant. Die nach der ErsatzbaustoffV zulässigen Materialien werden als mineralische Ersatzbaustoffe (MEB) bezeichnet.

Für den Einbau unter teilversiegelten Oberflächen kommen folgende Materialklassen in Betracht:

- BM-0, BM-0\* (Bodenmaterial Klasse 0 und 0\*)
- BG-0, BG-0\* (Baggergut Klasse 0 und 0\*)

Soll das bestehende Material der Profilschichten (z. B. Belag, Tragschicht, Unterbau) bei einer Teilentsiegelung oder Umwandlung nicht entfernt werden, handelt es sich nicht um Abfall. In diesen Fällen ist die ErsatzbaustoffV grundsätzlich nicht einschlägig. Der Verbleib oder die Weiterverwendung des Materials muss im Hinblick auf wasserrechtliche und bodenschutzrechtliche Vorgaben geprüft werden. Die Anforderungen der ErsatzbaustoffV an Untersuchung und stoffliche Eigenschaften können in solchen Fällen analog herangezogen werden.

Unterschiede zwischen geschlossener und offener Einbauweise

Materialien, die ursprünglich für eine geschlossene Einbauweise (z. B. gebundene Oberflächen gemäß Einbauweisen 1 - 4, 6 - 8) genutzt wurden, müssen bei Umwandlung in eine teilversiegelte oder offene Einbauweise (Einbauweisen 12 - 15, 17 bzw. 5) die entsprechenden Anforderungen erfüllen.

Folgende Faktoren sind dabei besonders zu berücksichtigen:

Lage der Fläche (z. B. innerhalb oder außerhalb eines Wasserschutzgebiets), Konfiguration der Grundwasserdeckschicht und Mächtigkeit der grundwasserfreien Sickerstrecke.

Für RC-1-Material (Recycling-Baustoff Klasse 1) bedeutet dies beispielsweise, dass für eine offene Einbauweise die Anforderungen gemäß den Fußnoten der Tabelle 1 des Anhangs 2 der ErsatzbaustoffV erfüllt werden müssen.

Falls die stoffliche Beschaffenheit des Unterbaus zu einer potenziellen Versickerung von Schadstoffen führen könnte, sind die Prüfwerte der BBodSchV (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung) sowie wasserrechtliche Regelungen maßgeblich. Die folgenden Voraussetzungen müssen dabei erfüllt sein:

- Es darf keine schädliche Bodenveränderung oder nachteilige Veränderung der Beschaffenheit des Grundwassers (§ 48 WHG) zu erwarten sein.
- Es dürfen keine Anhaltspunkte für weitere Kontaminationen vorliegen.
- Bei Verdacht auf Schadstoffbelastungen sind Materialien gemäß Abschnitt 4 der BBodSchV auf die in Anlage 1, Tabellen 1 und 2 BBodSchV aufgeführten Stoffe zu untersuchen. Sollten erhöhte Gehalte weiterer Stoffe vermutet werden, sind auch diese analytisch zu prüfen.

Wird das bestehende Material ausgebaut, gilt es in der Regel als Abfall. In diesem Fall sind die Anforderungen der ErsatzbaustoffV vollumfänglich zu berücksichtigen.

Nach § 22 Abs. 6 der ErsatzbaustoffV muss der zuständigen Behörde der Rückbau eines technischen Bauwerks, in dem mindestens 250 m<sup>3</sup> anzeigepflichtiger MEB verbaut wurden, innerhalb eines Jahres mitgeteilt werden. Sollen MEB vor Ort verbleiben, ist dies ebenfalls anzuzeigen, unter Angabe der geplanten Folgenutzung.

Betroffen sind unter anderem:

- Bodenmaterial der Klasse F3 (BM-F3)
- Recycling-Baustoffe der Klasse RC-3
- Hausmüllverbrennungssasche der Klassen HMVA-1 und HMVA-2
- sowie weitere in der ErsatzbaustoffV definierte Materialklassen.

Liegen Anhaltspunkte für eine potenzielle Schadstoffbelastung vor oder ist die Versickerung von Wasser aufgrund der Materialbeschaffenheit nicht zulässig, sollte von einer Teilentsiegelung abgesehen oder das Material vollständig entfernt werden.