

TU
Technische Universität Wien

DIPLOMARBEIT

MASTER'S THESIS

**DURCHLÄSSIGE PFLASTERDECKEN –
EINSATZBEDINGUNGEN UND
ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN IN ÖSTERREICH**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johann Litzka

am

**Institut für Verkehrswissenschaft (E 230)
Professur für Straßenbau und Straßenerhaltung**

eingereicht an der

**Technische Universität Wien
Fachbereich für Straßenwesen**

von

Petia Hristova

E 610/ 9826875

Barawitzkagasse 21

1190 Wien

Wien, im März 2009

.....
Petia HRISTOVA

Vorwort

Mein Interesse an die Pflasterbefestigungen und die Pflastersteine selbst hat die Ausarbeitung einer Seminararbeit mit dem Thema „Pflasterbefestigungen“ erweckt.

Ich war fasziniert, wie viel durch einen kleinen und im ersten Augenblick unbedeutenden Stein entstehen kann. Aufgrund meiner Vorliebe für Kunstgeschichte haben auch die zahlreichen Beispiele dieser Bauweise von der antiken Welt bis zu den heutigen Tagen zusätzlich meine Zuneigung zu diesem Thema verstärkt.

Deshalb habe ich mich besonders gefreut, als ich erfahren habe, dass ein Diplomarbeitsthema für durchlässige Pflasterbefestigungen am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung angeboten wird.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz besonders bei meinem Betreuer o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johann Litzka für seine Unterstützung bei der Erstellung der Diplomarbeit bedanken. Diese Arbeit konnte nur durch seine wertvollen Inputs und sein konstruktives Feedback während des gesamten Arbeitsprozesses in dieser Form entstehen.

Ich möchte mich aber auch bei meiner Familie bedanken, die mich immer mit Rat und viel Verständnis unterstützt hat und hinter mir gestanden ist.

Vielen herzlichen Dank!

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden zuerst die Grundlagen, die Anforderungen und die Einsatzmöglichkeiten für Pflasterbefestigungen allgemein betrachtet. Es wird versucht, einen möglichst vollständigen Überblick über die derzeit gängigsten Pflasterprodukte auf dem österreichischen Baumarkt und deren Eigenschaften, Besonderheiten und Anwendungsbereiche zu geben.

Weiters werden die Anforderungen, Aufgaben und respektive die Tragwirkung aller Schichten einer Pflasterbefestigung einzeln und in Zusammenwirkung, d.h. notwendige Abstimmung der Materialien und Schichtdicken, behandelt und es wird auf die relevanten Regelwerke hingewiesen. Dabei beschränkt sich die Arbeit im Besonderen auf die Standardausführung (ungebundene Bauweise), die auch für die wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen relevant ist.

Ein Kapitel wird explizit den Grundsätzen für die Oberbaubemessung von Pflasterbefestigungen gewidmet, wobei versucht wird, die wesentlichen Schritte für eine fachgemäße Dimensionierung gemäß RVS 03.08.63 kurz zusammen zu fassen.

Hingewiesen wird auch auf die praktische Bauausführung, Erhaltung und Sanierung von Pflasterbefestigungen, sowie auf eventuelle Schadensfälle, die entstehen können und die Möglichkeiten für ihre Vermeidung bzw. Beseitigung. Es werden auch die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Pflasterdecken betrachtet. Dabei erweisen sie sich keinesfalls ungünstiger als Befestigungen aus Asphalt oder Beton.

Auf Basis aller bisherigen Überlegungen wird am Ende dieser Arbeit der Spezialfall wasserdurchlässige Pflasterbefestigungen ausführlich behandelt. Die verschiedenen Ausführungs- und Anwendungsmöglichkeiten werden erläutert und auf die Beschränkungen und potenziellen Probleme und Erschwernisse hingewiesen.

Abstract

Permeable Block Pavements – Constructions for Application in Austria

This thesis describes the general characteristics of block pavements, the requirements to them and the possible fields of their application. It gives a complete overview of all paving products currently offered on Austria's construction market, of their characteristics, specific features and fields of application.

Additionally the thesis investigates the requirements to, the function of and respectively the bearing effect of all layers of a block pavement, examining them both individually and in interaction, i.e. in terms of the needed match of the materials used and the layer-thickness, and indicates relevant rules and standards. The thesis focuses particularly on the standard design (unbound construction method), which is also used for the water-permeable block pavement.

A full chapter deals especially with the methods of the design of pavement superstructure and recapitulates briefly the essential steps for a professional pavement design according to RVS O3.08.63.

Furthermore the thesis describes applied methods of construction, conservation and renovation of block pavements and points out possible sources of defects as well as methods for their avoidance or removal. The efficiency and sustainability of the pavements are also examined. It becomes evident, that paving is as appropriate as bituminous or concrete pavements.

Considering all findings made so far the special case water-permeable block pavement is treated in detail at the end of this thesis. Its different implementation and fields of application are explained. Restrictions, potential problems and difficulties are pointed out.

Inhaltsverzeichnis

1.	ZIELSETZUNG.....	2
2.	GRUNDLAGEN – BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	3
3.	ANWENDUNGSBEREICHE UND ANFORDERUNGEN AN PFLASTERDECKEN.....	5
3.1.	<i>Kriterien</i>	5
3.2.	<i>Anwendungsbereiche der Pflasterdecken allgemein</i>	6
3.3.	<i>Vergleich mit anderen Deckenarten</i>	11
4.	MATERIALIEN UND SCHICHTEN FÜR PFLASTERBEFESTIGUNGEN.....	12
4.1.	<i>Definition Pflasterbefestigung</i>	12
4.2.	<i>Tragverhalten von Pflasterdecken und Fugenfüllung</i>	13
4.3.	<i>Pflastersteine und Pflasterplatten</i>	15
4.3.1.	Arten, Formen und Oberflächengestaltung	15
4.3.1.1.	Natursteine	16
4.3.1.2.	Betonsteine	21
4.3.1.3.	Klinkersteine.....	25
4.3.2.	Verbandsarten.....	26
4.4.	<i>Bettung und Fugenfüllung</i>	32
4.5.	<i>Tragschichten</i>	37
4.5.1.	Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht.....	37
4.5.2.	Bauweise mit Drainbeton – Tragschicht	39
4.5.3.	Untere ungebundene Tragschicht	40
4.6.	<i>Unterbauplanum</i>	41
5.	OBERBAUBEMESSUNG.....	42
5.1.	<i>Bemessungsmethoden: allgemein</i>	42
5.2.	<i>Tragverhalten des Untergrundes</i>	46
5.3.	<i>Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung</i>	48
5.4.	<i>Standardausführung für Decken aus Pflastersteine und Pflasterplatten gemäß RVS O3.O8.63</i>	51
6.	BAUAUSFÜHRUNG, URSACHEN FÜR SCHADENSFÄLLE, SANIERUNG	54
6.1.	<i>Bauausführung</i>	54
6.2.	<i>Schadensursachen und Sanierung</i>	61
7.	UMWELTBELASTUNG UND UMWELTSCHUTZ	64
7.1.	<i>Emissionen durch Lärm und Schadstoffbelastung</i>	64
7.2.	<i>Ver- und Entsigelung</i>	66
7.3.	<i>Wasserbelastung</i>	67
7.4.	<i>Aufwand für die Herstellung von Pflasterbefestigungen</i>	68
7.5.	<i>Recycling</i>	70
8.	WASSERDURCHLÄSSIGE (ÖKOLOGISCHE) PFLASTERBEFESTIGUNGEN – SYSTEMARTEN.....	71
8.1.	<i>Definition</i>	71
8.2.	<i>Anforderungen und Einsatzbereiche</i>	72
8.3.	<i>Versickerungsfähigkeit und Entwässerung</i>	74
8.4.	<i>Wasserdurchlässige Pflastersysteme</i>	84
8.4.1.	Art der Pflasterdecke	84
8.4.2.	Aufbauart der oberen Tragschicht.....	86
8.4.3.	Entwässerung der wasserdurchlässigen Pflastersysteme	87
8.4.3.1.	Versickerung über die Verkehrsfläche allein.....	88
8.4.3.2.	Versickerung über Sickergraben, Rigolen und Drainagen.....	90
8.4.3.3.	Versickerung über Mulden	92
8.4.3.4.	Ableitung des überschüssigen Wassers über Kanal.....	94
9.	ZUSAMMENFASSUNG.....	96
10.	LITERATURVERZEICHNIS.....	99
	ANHÄNGE	104

1. Zielsetzung

Die Versiegelung von Verkehrsflächen kann eine ernste Beeinträchtigung in ökologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht darstellen. Wertvolles Regenwasser fließt, statt in den Boden zu versickern, in die Kanalisation, belastet Kläranlagen und Vorfluter und verstärkt die Tendenzen zu immer stärkeren Hochwasserereignissen.

Eine der Möglichkeiten zur Vermeidung dieser negativen Auswirkungen der Befestigung von Straßen und Plätzen ist der Einsatz von ökologischen Pflastersystemen, den so genannten wasserdurchlässigen Pflastersystemen, die die Versickerung des Niederschlages in den Untergrund ermöglichen.

Durch diese Pflastersysteme wird die Grundwasserneubildung erhöht und es kommt auch durch einen verminderten oberflächlichen Abfluss zu einer Entlastung der Kanalisation, Regenüberlaufbecken und Kläranlagen. Weiters tragen die unversiegelten Flächen zur Verbesserung des Stadtklimas und der ästhetischen Wirkung des Stadtbildes bei und stellen Lebensraum für Pflanzen und Tiere dar.

In der gegenständlichen Arbeit wird zunächst ein Überblick über die Pflasterbefestigungen allgemein und im Besonderen über die derzeit in Österreich verwendbaren durchlässigen Pflastersysteme gegeben. Daran schließt eine Zusammenstellung von deren Einsatzbedingungen und Anwendungsmöglichkeiten.

2. Grundlagen – Begriffsbestimmungen

Als **Pflaster** (v. lat. (em)plastrum) wird eine Befestigung für Verkehrsflächen im Straßen- und Wegebau bezeichnet. Pflastersteine werden aus Naturstein, Beton, oder Klinker hergestellt. Die Pflastersteine sollen bruchfest sowie frostbeständig sein und sich durch eine hohe Abriebsfestigkeit auszeichnen. Das Pflaster wird zur Befestigung von innerstädtischen Straßen, Fuß- und Radwegen, Parkplätzen sowie Flächen mit hohen Ansprüchen an die Gestaltung und an die Aufenthaltsqualität, wie beispielsweise Fußgängerzonen oder öffentliche Plätze, eingesetzt.

Die **Pflasterdecke** besteht aus den eigentlichen Pflastersteinen (Betonsteine, Betonverbundsteine, Betonplatten, Natursteine), die in einer Pflasterbettung liegen. Sie ist begrenzt wasserdurchlässig (Fugen), sofern nicht eine gebundene Bauweise Anwendung findet. Die Pflasterdecke wird grundsätzlich nach drei Bauweisen ausgeführt: ungebundene, gebundene und gemischte Bauweisen.

Bei der **ungebundenen Bauweise**, der derzeitigen Regelbauweise, werden die Pflastersteine bzw. Pflasterplatten in eine Bettung ohne Zusatz eines Bindemittels gepflastert bzw. verlegt. Die Fugenfüllung wird ebenfalls ohne Zusatz eines Bindemittels hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen dauerhaft wasserdurchlässig ausgeführt werden (gem. RVS 08.18.01 (35)) (siehe Kapitel 4).

Bei der **gebundenen Bauweise** werden die Pflastersteine bzw. Pflasterplatten in eine Bettung aus Mörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels, gepflastert bzw. verlegt. Bei Pflasterplatten ist dabei besonders auf die kraftschlüssige Verbindung zwischen Platte und Bettung zu achten. Die Fugenfüllungen werden aus Fugenmörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels, hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen dauerhaft wasserdurchlässig ausgeführt werden. Temperaturverursachte Risse in den Fugen sind unvermeidbar (gem. RVS 08.18.01 (35)).

Bei der **gemischten Bauweise** werden die Pflastersteine bzw. Pflasterplatten in eine Bettung ohne Zusatz eines Bindemittels gepflastert bzw. verlegt. Die Fugenfüllungen werden jedoch gebunden hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen dauerhaft wasserdurchlässig ausgeführt werden. Die gemischte Bauweise sollte nur bei gering belasteten Flächen angewandt werden (gem. RVS 08.18.01 (35)).

Die gebundene und gemischte Bauweise werden in dieser Arbeit nicht weiters behandelt.

Als „**Ökopflaster**“ werden **wasserdurchlässige Pflasterdecken** bezeichnet. Die Versickerung des Niederschlagswassers erfolgt durch die Fugen zwischen den Pflastersteinen oder durch die in den Stein eingelassenen Hohlräume (z.B. Rasengittersteine) oder aber direkt durch den Stein (Sickersteine (Drainsteine) aus haufwerksporigem Beton).

Für eine wirksame Entsiegelung müssen sowohl Fugenverfüllung, Pflasterbett, Tragschicht als auch der Unterbau wasserdurchlässig sein.

Verbundpflastersteine sind Pflastersteine, deren besondere Formgebung einen Verbund der Steine untereinander bewirkt und ein Loslösen von Einzelsteinen durch die Einwirkung von Verkehrslasten und Verkehrskräften vermeiden soll, was zu Verbesserung der Tragfähigkeit führt (siehe auch Kapitel 4.1.3.2.).

Pflasterflächen benötigen längs aller Ränder stets Einfassungen aus **Bordsteinen** als Absicherung gegen seitliches Ausweichen. Sie sind in Mörtel oder Beton zu verlegen bzw. zu versetzen und wirken kräfteableitend. Die Steine der Randeinfassung haben im Regelfall größere Abmessungen als die Steine der Pflaster- oder Plattenfläche. Sie dienen gleichzeitig weiteren Zwecken, wie der optischen Unterteilung von Flächen hinsichtlich verschiedener Nutzung oder sie sind Teile von Entwässerungsrinnen (nach Mentlein [21]).

3. Anwendungsbereiche und Anforderungen an Pflasterdecken

Je nach den zu erwartenden Verkehrsbelastungen, Anwendungsbereichen und/oder ästhetischen Wünschen, sind die Anforderungen und Ansprüche an Pflasterdecken und Plattenbeläge sehr unterschiedlich.

Pflasterdecken für Straßen und Plätze sind ständig dynamischen Verkehrslasten und direkten Umwelteinflüssen ausgesetzt. Sie müssen dauerhaft, sicher und komfortabel sein.

Pflasterdecken oder Plattenbeläge in Fußgängerzonen müssen einerseits den hohen Gestaltungsansprüchen genügen, andererseits trittsicher und komfortabel sein und auch den Verkehrslasten aus Lieferverkehr und Erhaltungsfahrzeugen standhalten.

3.1. Kriterien

Für die richtige und fachgemäße Anwendung der Pflasterbefestigungen sollen nach (6) folgende Kriterien berücksichtigt werden.

- *Bautechnische Anforderungen:*
Eine Pflasterdecke muss tragfähig, dauerhaft, verformungsstabil, frostsicher und abriebfest und bei jeder Witterung herstellbar sein, sowie einen guten Verbund aufweisen.
- *Sicherheit:*
Aus verkehrstechnischer Sicht wird Ebenheit (längs und quer), Griffigkeit und Helligkeit gefordert.
- *Wirtschaftlichkeit:*
Die Erstellungskosten sowie die Erhaltung sollen gering sein, die Nutzungsdauer jedoch lang.
- *Umweltschutz:*
Auch bei Anwendung von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen ist der Flächenbedarf auf ein Minimum zu beschränken, um die natürliche Umgebung möglichst optimal zu erhalten und zu schonen.
- *Ästhetik:*
Auf Wunsch soll/kann der Ästhetik (Farbe, Form, etc.) besonders Rechnung getragen werden.

Für die wasserdurchlässigen Pflasterdecken gibt es weitergehende Anwendungseinschränkungen (siehe Kapitel 8).

Bei der Auswahl der Herstellungsart von Pflasterdecken muss noch folgendes berücksichtigt werden:

- Pflasterplatten sind für manuelle Verlegung meist nicht geeignet, da sie zu schwer (zu großes Eigengewicht) sind.
- Decken aus Natursteinpflastern werden grundsätzlich manuell verlegt.
- Aufgrund ihrer regelmäßigen Formausbildung können Betonsteinpflaster und Klinkerpflaster sowohl maschinell als auch manuell verlegt werden.

3.2. Anwendungsbereiche der Pflasterdecken allgemein

Die Befestigung von Straßen, Wegen und Plätzen mit Pflaster stellt eine der ältesten Bauweisen dar. In vielen Bereichen des Straßen- und Wegebauwes, aber auch zur Befestigung von Hofflächen, Industrieböden oder Parkflächen werden vorzugsweise Pflastersteine verwendet. Die Wahl des Pflasters richtet sich nach der Art der Verkehrsfläche und ihrer Belastung sowie nach optischen und verletechnischen Aspekten (47). Typische Anwendungsbereiche für die Pflasterdecken sind:

- Parkplätze und Raststellen
- Vorplätze, Stadt- bzw. Dorfplätze
- Gehsteige und Fußgängerzonen
- Rad- und Gehwege
- ländliche Straßen und Wege
- Garagenzufahrten und Hauseinfahrten
- Feuerwehruzufahrten
- Innenhöfe
- Wohn-, Anlieger- und Sammelstraßen
- Lagerflächen mit geringem Schwerlastverkehr
- Industrie- und Gewerbeflächen
- befahrbare Gleiskörper von Schienenfahrzeugen und Bahnsteigbereiche
- Hafenstraßen
- Böschungsbefestigungen etc.

Tabelle 3.1. gibt einen Überblick über die Anwendungsbereiche von Pflasterbefestigungen bezogen auf die maßgebende Verkehrsbelastung und davon resultierender Lastklassenzuordnung gemäß RVS 03.08.36 (35) und nach (5) (siehe auch Kapitel 5.3.).

Tabelle 3.1.: Anwendungsbereiche versickerungsfähiger Pflastersysteme

Lastklasse ²⁾	Bemessungsrelevante Beanspruchung BNLW ¹⁾	Zugeordnete Verkehrsflächen nach (5)
IV	> 0,1 bis 0,4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sammelstraßen ▪ Fußgängerzonen mit schwerem Ladeverkehr, ständig benutzte Parkflächen für LKW- und Busverkehr ▪ Verkehrsflächen in Nebenanlagen für PKW und LKW
V	> 0,05 bis 0,1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anliegerstraßen ▪ Fußgängerzonen ▪ ständig benutzte Parkflächen für Pkw-Verkehr und geringen Lkw- und Busverkehr ▪ gelegentlich benutzte Parkflächen für Lkw- und Busverkehr
VI	0,05	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anliegerstraßen ▪ befahrbare Wohnwege ▪ ständig benutzte Parkflächen für Pkw-Verkehr ▪ gelegentlich benutzte Parkflächen für Pkw- und Busverkehr ▪ Verkehrsflächen für Pkw in Nebenanlagen und Nebenbetrieben an Bundesstraßen ▪ ländliche Verbindungswege mit größerer Verkehrsbedeutung
-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gelegentlich benutzte Parkflächen für Pkw-Verkehr ▪ Radwege ▪ Gehwege ▪ Hofflächen ▪ Feuerwehrezufahrten ▪ Lagerflächen ohne oder mit geringem Schwerlastverkehr ▪ ländliche Verbindungswege mit geringerer Verkehrsbedeutung ▪ ländliche Wirtschafts- und Fahrwege

1) Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) = Mio. äquivalente 10t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum.

2) Lastklassen gemäß RVS 03.08.63 (35), entsprechen etwa den Bauklassen gemäß RStO 01 (34).

Die Nutzung durch bestimmte Verkehrsteilnehmer ist auch ein wichtiges Auswahlkriterium für die angewendete Straßenbefestigungsart. Berücksichtigt werden dabei technische, ökologische und wirtschaftliche Aspekte. Die folgenden Tabellen 3.2. bis 3.4. betrachten die Bewertungskriterien bezogen auf Fußgänger, Pkw- und Radfahrer und stellen eine Gegenüberstellung verschiedener Deckenmaterialien zusammen.

Tabelle 3.2.: Flächen für Fußgänger – Auswahlkriterien nach (42)

Material	Kommentar	Bewertung		
		technisch	ökonomisch	ökologisch
Betondecken mit Besenstrich	für Fußwege unüblich, nur im Bereich schwerer Belastungen; Fugen anordnen	++	-	-
Asphaltbeläge	Standard, pflegeleicht	++	++	-
oberflächlich bituminös versiegelte Schotterdecken	nur oberflächlich versiegelt, hohe Anfangsrauhigkeit, möglicherweise auswaschbare Inhaltsstoffe von Bitumenemulsionen	++	++	- / +
Asphalt-Recyclingmaterial	auf Parkplätzen, zur einfachen Befestigung bei kombinierter Nutzung mit anderen Verkehrsarten kalt ohne Zusätze verarbeiten	+	++	+
Schotter-, Kies und Sandbeläge	nur wassergebunden; für gering beanspruchte, naturnahe Bereiche; laufende Erhaltung notwendig	+	+	++
Betonpflaster und -platten	abwechslungsreich; maschinell verlegbar; auch wasserdurchlässige Materialien	++	+	+
Steinpflaster und -platten	Handverlegung teuer; bei großen Platten Bruchgefahr; Rutschgefahr bei Nässe	+	-	+
Pflasterbeläge mit breiten Fugen	Rasengittersteine schwer begehbar, dann nur für Randbereiche geeignet; ebenes Pflaster gut geeignet	-/+	+	++
Schotterrasen	Spielbereiche und nur fallweise intensiv genutzte Bereiche, nicht befahrbar	+	++	++
Rindenhäcksel	Spielbereiche, nicht befahrene (Fuß)Wege	+	++	++

+ ...geeignet

- ...nicht geeignet

Tabelle 3.3.: Flächen für Radfahrer – Auswahlkriterien nach (42)

Material	Kommentar	Bewertung		
		technisch	ökonomisch	ökologisch
Betondecken	für Radverkehr selten, nur im Bereich schwerer Belastung, bei Fugen eventuell lästige Stufenbildung	+	-	-
Asphaltbeläge	Standard, pflegeleicht, in Deckschicht feine Körnungen verwenden	++	++	-
oberflächlich versiegelte Schotterdecken	nur oberflächlich versiegelt, hohe Anfangsrauhigkeit, anfänglich "Rollsplitt", Problem Bitumenemulsion	+	++	-/+
Asphalt-Recyclingmaterial	einfache, provisorische Befestigung, bei grober Körnung ungeeignet, ohne zusätzliches Bindemittel	-/+	++	+
Wasser-gebundene Schotterbeläge	Standard in naturnahen Bereichen, nur bei feiner Oberfläche geeignet, laufende Erhaltung notwendig (Schlaglöcher)	++	+	++
Betonpflaster und -platten ohne Fase	liegen nach einigen Jahren uneben, werden von RadfahrerInnen nicht geliebt	+	+	+
Betonpflaster und -platten mit Fase	auch im Neuzustand schlecht befahrbar – wird gemieden	-	-/+	+
Steinpflaster und -platten	meist unebene Oberfläche – ungeeignet für Radverkehr, außer bei ebener Oberfläche (Kleinsteine)	-/+	-	+
Pflasterbeläge mit breiten Fugen	Rasengittersteine etc. - mit Normalrädern nicht befahrbar	-	+	++

+ ...geeignet

- ...nicht geeignet

Tabelle 3.4.: Flächen für Kfz-Verkehr – Auswahlkriterien nach [42]

Material	Kommentar	Bewertung		
		technisch	ökonomisch	ökologisch
Betondecken	bei schwerer Belastung ausgezeichnet für Spurwege; innerorts bei Einbauten problematisch	++	-/+	-
Asphaltbeläge	Standard, pflegeleicht	++	++	-
oberflächlich versiegelte Schotterdecken	nur oberflächlich versiegelt; hohe Anfangsrauhigkeit; bei geringem Verkehrsaufkommen, Zufahrten usw.; Problem Bitumenemulsion	+ / ++	++	- / +
Asphalt-Recyclingmaterial	einfache Befestigung, Parkplätze und untergeordnete Wege	+ / ++	++	+
Schotter-, Kies- und Sandbeläge	gering beanspruchte, naturnahe Bereiche; Schlaglochgefahr; laufende Erhaltung notwendig	+	+	++
Betonpflaster	abwechslungsreiche Oberfläche; maschinell verlegbar; für Bushaltestellen, Stellflächen und Straßengestaltung	++	+	+
Natursteinpflaster	Handverlegung; Teuer; für historische Bereiche	+	-	+
Wasserdurchlässige Pflasterbeläge	bei breiten Fugen schwer begehbar; für Stellflächen, Zufahrten etc. gut geeignet	- / +	+	++
Schottenrasen	fallweise genutzte Stellflächen	+	++	++

+ ...geeignet

- ...nicht geeignet

3.3. Vergleich mit anderen Deckenarten

Um die Vorteile und Nachteile bei der Herstellung und Anwendung von Pflasterbefestigungen besser zu veranschaulichen, wurde von Shackel (39) ein Vergleich mit anderen Deckenarten (Asphalt und Beton) durchgeführt und die Ergebnisse wurden in einer Tabelle folgendermaßen zusammengefasst:

Tabelle 3.5.: Vergleichstabelle von Betonsteinpflaster mit anderen Deckenarten nach SHACKEL (39)

Eigenschaften	Betonsteinpflaster	Asphalt	Beton
Kosten			
Energieverbrauch	gering	hoch	gering
Kosten			
▪ Herstellung	mittel	gering	hoch
▪ Erhaltung	gering	hoch	mittel
▪ Wiederverwendung	günstig	mittel	mittel
Gestaltung			
Erscheinungsbild	sehr gut	schlecht	mittel
Herstellung und Erhaltung			
Gerätebedarf	gering	Vielfältige maschinelle Ausrüstung	Fertiger
Bauzeit	mittel	kurz	Länger (Beton erhärtung)
Aufgrabung und Wiederherstellung	einfach von Hand	Abbruchhammer und neues Mischgut erforderlich	schwierig und teuer
Wiederverwendung	einfach, ohne Aufbereitung	Aufbereitung erforderlich	Aufbereitung erforderlich
Nutzung			
Dauerhaftigkeit	gut	gut	gut
Widerstand gegen:			
▪ Hohe Achslast	sehr gut	gut	sehr gut
▪ Punktlasten	sehr gut	schlecht	sehr gut
▪ Schubbelastung	gut	schlecht	sehr gut
▪ Kraftstoffe und Öle	gut	schlecht	gut
▪ Griffigkeit	befriedigend bei $v \leq 60$ km/h	befriedigend	gut

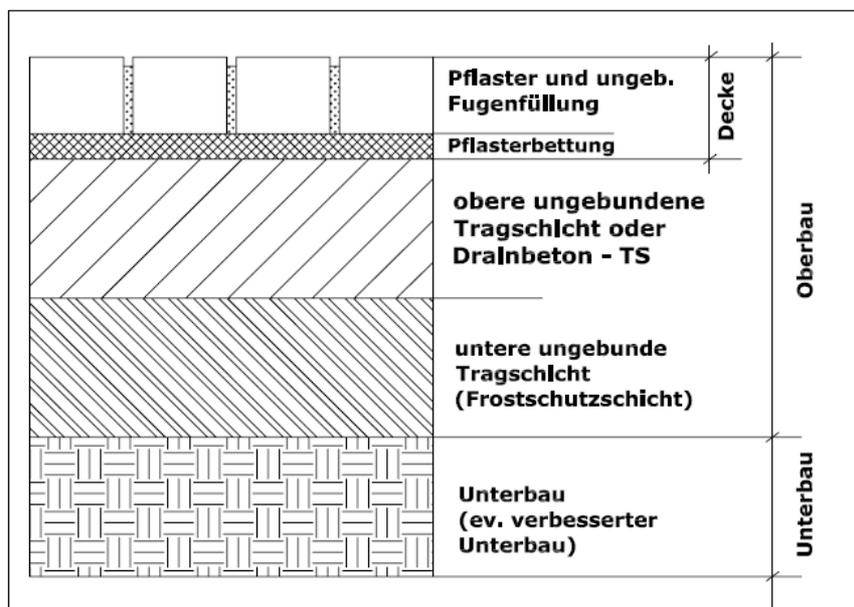
4. Materialien und Schichten für Pflasterbefestigungen

4.1. Definition Pflasterbefestigung

Der Aufbau einer Befestigung mit Pflaster besteht aus mehreren Schichten. Grundsätzlich sind das: Pflasterdecke, obere und untere Tragschicht, und Unterbau.

Die Aufgabe des Oberbaus ist es die an der Oberfläche des Schichtaufbaues auftretenden Belastungen gleichmäßig auf den Untergrund zu verteilen. Die Anzahl und die Dicke dieser Schichten resultiert aus der Nutzung und den daraus entstehenden Belastungen, sowie der Tragfähigkeit des anstehenden Bodens. Ein möglicher konstruktiver Aufbau und die technische Bezeichnung der Schichten sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abb. 4.1.: Aufbau einer Pflasterdecke



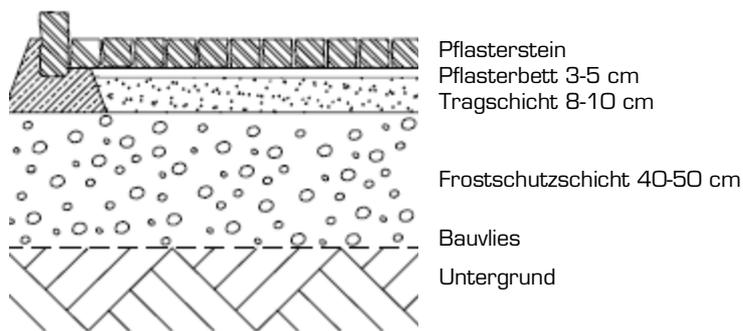
Nachfolgend werden die Materialanforderungen an die einzelnen Schichten der Pflasterbefestigungen und deren Tragverhalten unter Verkehrslast besprochen. Die Dimensionierung wird in Kapitel 5 behandelt.

4.2. Tragverhalten von Pflasterdecken und Fugenfüllung

Die Aufgabe der Pflasterdecke ist es, die über den Fahrzeugreifen eingeleiteten Kräfte zu verteilen und sie auf die darunter liegenden Schichten zu übertragen.

Eine seitliche Einfassung stellt sicher, dass die Pflastersteine am Rand nicht auswandern. Um die entstehenden Kräfte besser aufnehmen zu können, sollten die Randelemente immer eine ebene, senkrechte Fläche zu den Pflastersteinen haben.

Abb. 4.2.: Beispiel Randeinfassung von Pflasterdecke (41) *



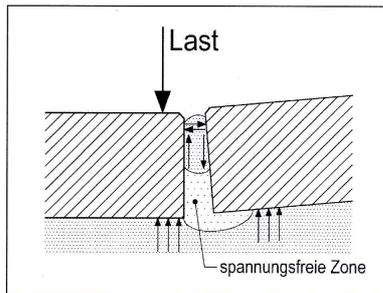
* Das Einsetzen von Bauvlies bzw. Geotextilien ist nicht obligatorisch (siehe Kapitel 4.6.). Die in der Abbildung vorgegebenen Schichtdicken sind nur Beispielswerte und dürfen nicht ohne genauere Überprüfung angewendet werden.

Die Lastverteilung zwischen den Pflastersteinen erfolgt über die angrenzenden Fugen. Sie dürfen weder zu schmal noch zu breit sein und sollen mit Fugenmaterial gefüllt sein. Bei zu schmalen Fugen kann es zu direktem Kontakt zwischen den Steinen kommen, was zu Absplitterungen an den Kanten der Steine führen kann. Fugen reduzieren die Kraftübertragung zwischen den Steinen, wodurch die Tragfähigkeit der Deckschicht herabgesetzt wird (14). Pflasterdecken neigen unter Verkehr zu geringen bleibenden Verformungen, aber zu großen elastischen Verformungen. Die Temperaturspannungen werden durch ungehinderte Verformung abgebaut, es entstehen keine Zwängungen.

Jede Pflasterdecke bleibt grundsätzlich wasserdurchlässig. Nachteilig ist die Gefahr, dass der Fugenstoff aus der Fuge gewaschen oder beispielsweise durch Kehrsaugmaschinen ausgekehrt und aufgesaugt wird. Als Folge können die Steine ihren Halt verlieren. Zudem kann sich rasch eine Fugenvegetation ausbilden (siehe auch Kap.4).

Die Pflasterdecken tendieren dazu, unter Verkehrsbelastung steifer zu werden, da sich mit zunehmender Verkehrsbelastung eine Verkeilung der Steine untereinander einstellt (14). Dieses Phänomen wird von SHACKEL (40) als „lockup“- Effekt bezeichnet. Es zeigt die zunehmende Elastizität und Tragfähigkeit der Pflasterdecke als Folge der Abnahme der plastischen Verformungen auf. Der „lockup“- Effekt bildet sich erst nach ca. 10.000 Lastwechseln aus.

Abb.4.3.: Lastverteilung im Bereich von Fugen nach HUURMAN et al. (13)



Der „lockup“- Effekt ist abhängig von:

- Steinform und Steingröße
- Steindicke
- Festigkeit der einzelnen Pflastersteine
- Verband oder Velegemuster
- Fugenbreite
- Tragschichtqualität

4.3. Pflastersteine und Pflasterplatten

4.3.1. Arten, Formen und Oberflächengestaltung

Pflastersteine und -platten für den Straßenbau werden aus Naturstein, Beton oder Klinker hergestellt. Pflaster aus Holz und Hochofenschlacke werden heutzutage nicht mehr im Straßenbau verwendet.

Die Pflastersteine müssen hinsichtlich Frosttausalzbeständigkeit den Anforderungen der ÖNorm B 3306 (31) entsprechen. Hinsichtlich Abschleifverlust und Spaltzugfestigkeit gelten die Anforderungen gemäß ÖNorm B 3258 (31). Die Pflasterplattendecken müssen den Anforderungen gemäß RVS 08.18.01 (35) entsprechen.

Pflastersteinformen

Allgemein für alle Pflastersteinarten bieten sich folgende Formen an:

- Steine ohne Verbund
- Steine mit Horizontalverbund
- Steine mit Vertikalverbund
- Ökosteine

Die Steinform übt einen wesentlichen Einfluss auf die Steinfestigkeit der Pflasterdecke und damit auch auf die Tragfähigkeit bzw. Lebensdauer der Gesamtbefestigung aus. Grundsätzlich hat die Steinform bei senkrecht einwirkenden Kräften weniger Einfluss auf das Tragverhalten des Pflastersteines als bei horizontalen Kräften (Kurvenbereiche, Brems- oder Beschleunigungsvorgänge, Kreuzungs- oder Einmündungsbereiche, Steigungstrecken bzw. unter drehenden Rädern). Weiters zeigt sich, dass die Decken aus rechteckigen Steinen unter Verkehr zu größeren Verformungen als die Verbundsteinen neigen.

Verbundpflastersteine bewirken durch ihre besondere Formgebung einen Verbund der Steine untereinander und verhindern dadurch ein Loslösen von Einzelsteinen durch die Einwirkung von Verkehrslasten. Die erforderliche Verspannung und damit die Verbundwirkung treten jedoch erst ab einer gewissen Anzahl von Lastübergängen (ca. 10.000 Lastwechsel) ein (siehe auch Kapitel 5).

Die Steindicke hat ebenfalls Einfluss auf die Tragfähigkeit der Gesamtbefestigung. Für die meisten Anwendungsgebiete reichen Steindicken von 6 bis 8 cm aus, da es in der Regel wirtschaftlicher ist, die sich aus der Belastung ergebenden Anforderungen bei der Auswahl und Bemessung der Tragschichten zu berücksichtigen (45).

Oberflächengestaltung

Neben der Steinform stehen für die Oberflächengestaltung allgemein folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

- Einfärbung
- Edelsplittzuschläge
- gestockte, gewaschene, gestrahlte, gesäuerte oder gerumpelte Oberflächen
- Kanten mit oder ohne Fase

4.3.1.1. Natursteine

Herstellung

Natürliche Pflastersteine werden aus Natursteinen gewonnen, die eine ausreichende Festigkeit aufweisen. Der am häufigsten verwendete Naturstein in Österreich ist grundsätzlich der Granit, es können aber auch Porphyr, Sandstein, Gneis und Basalt in Frage kommen.

Granite und Gneise werden auf Form gezwickt, Porphyre und Basalte handgeschlagen. Die so hergestellten Pflastersteine unterliegen natürlichen Schwankungen in Hinsicht auf Form, Güte und Farbe. Die zulässigen Toleranzen sind in ÖNorm B 3108 (31) festgelegt.

Einteilung gemäß B 3108 (31) in Groß- und Kleinpflastersteine, Pflasterplatten und Bordsteine

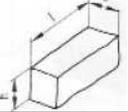
Die jeweilig gültigen Richtlinien und Normen sehen eine Einteilung der Natursteine in Großpflaster, Kleinpflaster, Mosaikpflaster sowie Natursteinplatten vor.

- **Kleinsteine oder Kleinpflaster:** Kleinpflaster wird meist mit Hartmetallkeilen gebrochen. Gebräuchlich sind die Größen 9/11, 8/10, 8/11, 7/9, und 7/10 cm. Die Steine sind auch hier annähernd quadratisch, mit Abmessungstoleranzen nach unten und oben. Von der Größensortierung 9/11 cm werden etwa 100 bis 110 Steine pro Quadratmeter benötigt.
- **Mosaikpflaster:** Das Mosaikpflaster, die kleinste Pflastergröße, wird heute im Maschinenschlag hergestellt. Üblich sind die Größen 6/8, 5/7, 4/6 und 3/5 cm. Bei der Kantenlänge 5/7 cm kommen etwa 270 bis 290 Steine auf einen Quadratmeter.

Verwendung:

Ortplatzgestaltung, Fußgängerzonen, Parkplätze, Entwässerungsmulden, Rand- und Markierungsstreifen, Garageneinfahrten, Abstellplätze, Vorplatzgestaltung, alle hoch beanspruchten Verkehrsflächen, Doppelkleinsteine auch für Gerinnepflasterung bei Großkanälen.

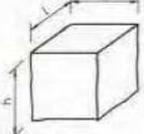
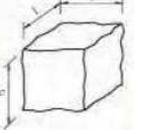
Tabelle 4.1.: Klassifikation Kleinsteine nach ÖNorm B 3108 (31)

Sorte	Type	Handelsübliche Bezeichnung	Breite (cm)	Höhe (cm)	Länge (cm)	m ² /t	Übernahme nach Gewicht
Kleinsteine 	H1	6/8 I	6...8	5...9	6...8	6,5	
		6/8 II	5,5...8,5	4,5...9,5	5,5...8,5		
	H2	8/10 I	8...10	7...11	8...10	5,0	
		8/10 II	7,5...10,5	6,5...11,5	7,5...10,5		
	H3	10/12 I	10...12	9...13	10...12	4,2	
	10/12 II	9,5...12,5	8,5...13,5	9,5...12,5			
Mosaiksteine 	H4	Mosaik	3...6	3...6	3...6	9,0	
Doppelkleinsteine 	H5	Kanalbausteine	10...12	9...13	20...24	4,2	

- Großpflastersteine:** Dieses aus großformatigen Natursteinen bestehende Pflaster wird häufig Kopfsteinpflaster genannt. Die gängigen Größen sind 13/15, 15/17 und 17/19 cm. Es sind damit Würfel mit Kantenlängen von 14, 16, oder 18 cm gemeint. Die Kantenlänge variiert dabei um ± 1 cm, da Natursteine nicht ganz exakt gebrochen werden können

Verwendung: Ortplatzgestaltung, Fußgängerzonen, Flächenpflasterung, Fahrbahnbelag für schwerste Beanspruchung, Fahrbahnbegrenzung

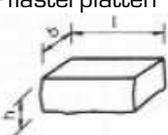
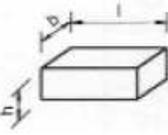
Tabelle 4.2.: Klassifikation Großpflastersteine nach B 3108 (31)

Sorte	Type	Breite cm	Höhe cm	Länge cm	kg/Stk.	Stk./m ²	Das Verhältnis von kurzen zu langen Steinen (D1 zu D2, D3 zu D4, D5 zu D6) kann beliebig variieren.
Großpflastersteine (Kopfsteine) a) handgeschlagen  b) maschinell 	D1	17...19	17...19	17...19	15	27	
	D2			25...28	22	18	
	D3	12...14	12...14	17...19	11	27	
	D4			25...28	16,5	18	
	D5	15...17	15...17	15...17	11	35	
	D6			22...25	18	25	

- **Pflasterplatten:** Die Platten sind größer als Großsteinpflaster, besitzen jedoch eine geringere Dicke. Ihre Größe kann bis in den Meter-Bereich liegen. Sie eignen sich für Gehwege oder große Flächen. Die Platten haben normalerweise ein Verhältnis von größter Länge zu Höhe $\leq 3:1$ (siehe auch Kapitel 5.4.).

Verwendung: Gehsteige, Fußgängerzonen und Ortplatzgestaltungen

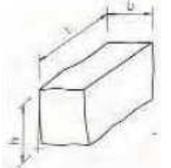
Tabelle 4.3.: Klassifikation Pflasterplatten nach Ö Norm B 3108 (31)

Sorte	Type	Breite cm	Höhe cm	Länge cm	kg/m ²	Bearbeitung
Pflasterplatten 	E1	18...20	8...10	18...20	240	Auftrittsfläche sandgestrahlt oder gestockt, Seitenflächen gespalten, Lagerfläche gleichlaufend zur Auftrittsfläche gesägt oder bossiert.
	E2	18...20	8...10	26...30	240	
	E3	24	8...12	24	270	Auftrittsfläche sandgestrahlt oder gestockt, Seitenflächen gesägt oder gesäumt, Lagerfläche gleichlaufend zur Auftrittsfläche gesägt oder bossiert.
	E4	24	8...12	36	270	
	E5	32	8...12	32	270	
	E6	32	8...12	48	270	
	E7	48	10...15	48	320	
	E8	48	10...15	72	320	Zulässige Maßabweichung der Länge und Breite + 0,5 cm.
Übernahme nach Fläche einschließlich der Fugen (für alle Typen).						

Leistensteine

Verwendung: Begrenzung von Verkehrsflächen mit und ohne Belag sowie Einfassung von Grünflächen

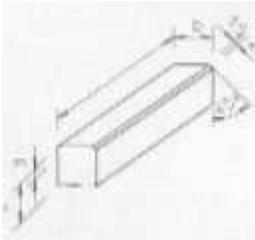
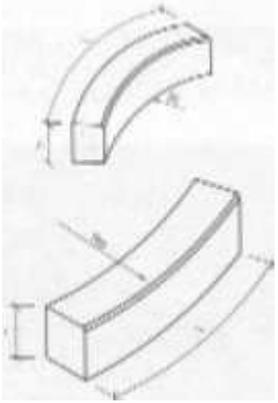
Tabelle 4.4.: Klassifikation Leistensteine nach Ö Norm B 3108 (31)

Sorte	Type	Breite cm	Höhe cm	Länge cm	kg/lfm	Bearbeitung und Übernahme
Leistensteine 	G1	10...12	14...16	25	43	Alle Flächen gespalten oder rau zugeschlagen. Die Sichtflächen dürfen keine großen Unebenheiten aufweisen (Richtwert 2 cm zwischen Aushöhlung und Buckel). Die Auftritts- und Ansichtsfläche stehen zueinander in einem annähernd rechten Winkel und bilden eine Schnurkante. Die Vorderseite darf auf die gesamte Höhe maximal ± 2 cm vom rechten Winkel abweichen. Die Rückseite muss annähernd parallel zur Ansichtsfläche verlaufen, kann ohne Schnurkante und bis 5 cm unterwinkelt (unterschlagen) sein. Die Kopfflächen dürfen im oberen Drittel bis 1,5 cm, auf ganze Höhe bis 6 cm unterwinkelt (unterschlagen) sein. Übernahme in ungebundenen Längen nach Laufmetern – Steine aneinander gereiht – einschließlich der Fugen.
	G2	10...12	16...16		50	
	G3	10...12	17...22	30	60	
	G4	12...14	17...22	30	70	
	G5	10...12	22...26		70	
	G6	12...14	22...26		85	
	G7	14...16	27...32	35	120	

Bordsteine

Verwendung: Gehsteigbegrenzung (siehe auch Kapitel 2)

Tabelle 4.5.: Klassifikation Bordsteine nach ÖNorm B 3108 (31)

Sorte	Type	Breite cm	Höhe cm	Länge cm	kg/ lfm	Bearbeitung und Übernahme
Randsteine ohne Anlauf 	K1	15	25	70...200	100	Auftrittsfläche und Ansichtsfläche gestockt oder sandgestrahlt, Vorderkante unter 45° ca. 1,5 cm gleichmäßig breit abgefast. Rückseite mind. 3 cm unter die Auftritts- fläche rechtwinkelig gesäumt. Rest der Rückseite und Lagerfläche gleichlaufend zu den Sicht- flächen bossiert oder sandgestrahlt. Zulässige Maßabweichungen: Breite: ± 5 mm Höhe: ± 10 mm Längen: für Passstücke und Baulängen sind kürzere Werkstücke zulässig. Übernahme in ungebundenen Längen nach Laufmetern einschließlich der Fugen.
	K2	16	20		90	
	K3	18	20		100	
	K4	20	20		110	
	K5	20	24		130	
	K6	30	20		160	
	K7	32	24		200	
Bogenrandsteine ohne Anlauf 	Abmessungen in Anlehnung an die Typen K1 bis K7				Entsprechend den geraden Randsteinen K1 bis K7 werden auch Bogensteine verwendet. Die Kopfflächen müssen radial verlaufen. Alte Flächen sind wie bei den geraden Steinen zu bearbeiten, es sind jedoch herstellungsbedingte Unterschiede in der Sicht- flächenbearbeitung (gestockt – sandgestrahlt) zulässig. Bei Bestellung ist der Halbmesser der bearbeiteten Vorderseite (Ansichtsfläche) anzugeben, und zwar:	
					<ul style="list-style-type: none"> ▪ R_a (Radius außen), wenn die längere Seite des Steines ▪ R_i (Radius innen), wenn die kürzere Seite des Steines als Ansichtsfläche betrachtet ist. 	

4.3.1.2. Betonsteine

Alternativ zum Pflaster aus Naturstein wird als Oberflächenbefestigung für Parkplätze, Wege, Straßen, Betriebshöfe und sonstige Plätze das Betonsteinpflaster angewendet. Seit dem Beginn dessen Anwendung im 20. Jahrhundert wurden verschiedene Formen und Farbkombinationen sowie Verbundarten entwickelt. Durch seine regelmäßige Form wird eine großflächige Verlegung mit maschineller Unterstützung ermöglicht. Die Steine besitzen eine maximale Druckfestigkeit von 60 N/mm² und werden in eine Bettung von 3 bis 5 cm gelegt. Die Betonpflastersteine sind auch preiswerter als die Natursteine (28).

Herstellung

Betonpflastersteine werden industriell aus einer Mischung von Zement, Gesteinskörnung und Wasser gefertigt. Der daraus entstandene Frischbeton kann anschließend in jede beliebige Form gegossen werden. Dabei ist ein w/z-Wert von 0,35 bis 0,40 anzustreben. Der Zementgehalt beträgt 300 bis 350 kg/m³ bei einer Gesteinszusammensetzung von 50 bis 60 % Sand und 40 bis 50 % Splitt oder Kies. Des Weiteren müssen die Steine durch entsprechende Betonzusätze gegen Frost-Tausalzschäden widerstandsfähig gemacht werden. Betonsteine bestehen aus zwei Betonarten. Der Beton im Inneren des Steins (so genannter Kernbeton) wird mit einer Betonhülle (so genannter Vorsatzbeton) umgeben. Durch das Einfärben des Vorsatzbetons oder durch Zugeben von gebrochenem Naturstein kann die Oberfläche von Betonsteinen verändert werden.

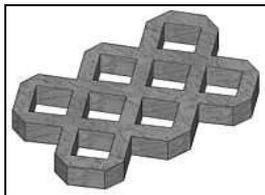
Die Betonsteine werden mit oder ohne Fase gefertigt. Die Verwendung von Steinen ohne Fase ist üblich auf Radwegen und/oder Wegen, welche beispielsweise mit Rollstühlen oder Einkaufswägen befahren werden. Durch das Fehlen der Fase wird der Rollwiderstand gesenkt und der Fahrkomfort erhöht sowie das Reifen-Fahrbahn-Geräusch reduziert (28).

Einteilung

Bei der Auswahl der Steine wird grundsätzlich unterschieden zwischen Platten und Pflaster. Angeboten wird eine Vielzahl an Format, Formen und Farben. Folgende Betonpflasterarten werden in der Literatur unterschieden:

- **Betonstein:** Der Stein wird in quadratischer oder rechteckiger Form gefertigt und kann mit oder ohne gebrochene Kante ausgeführt werden. Um den Einbau zu erleichtern sind an den Seiten der Steine Abstandhalter oder Noppen vorhanden. Die üblichen Abmessungen reichen von 60 mm bis 240 mm Breite beziehungsweise Länge und 60 mm bis 140 mm Höhe.
- **Rasengittersteine** sind großformatige (z.B. 40 X 60 cm) Platten. Durch den hohen Freiflächenanteil (bis zu 40 Prozent) sind die Rasengittersteine für befahrbare und gleichzeitig begrünte bzw. wasserdurchlässige Verkehrsflächen geeignet, wie z.B. Parkplätze und Zufahrten. Durch Auffüllen der Kammern mit so genannten Füllsteinen werden die Rasengittersteine auch für die Fußgänger angenehm begehbar gemacht. Diese Steinart ist in vielen verschiedenen Steinformaten und Verlegemustern vorhanden.

Abb.4.4.: Beispiel eines Rasengittersteines (28)



Bei Anwendung von Rasengittersteinen als Pflasterdecke sickert das Oberflächenwasser durch die Zwischenräume im Stein in den Untergrund. Diese Bauweise wird auch unter dem Namen Sicker- oder Ökopflaster bekannt. Der Pflasterunterbau muss auf die Sickereigenschaft abgestimmt sein und muss sich filterstabil verhalten.

- **Betonverbundstein:** Die Betonindustrie bietet eine große Auswahl an Betonverbundsteinformen. Vorteilhaft auf die Tragfähigkeit wirkt sich die Verbundwirkung der Steine in horizontaler und vertikaler Richtung aus. Das Fugenbild ist dabei je nach Steinform unterschiedlich. Zu den Steinformgruppen gehören die einfach und doppelt-symmetrische Form, die S-Form, I- und H-Form sowie die Vieleckform.

Abb.4.5.: Beispiel UNI Verbund Pflaster EBENSEER (9)

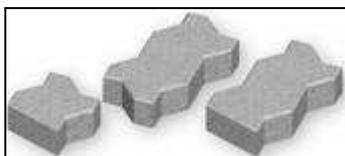


Abb. 4.6.: Klassifikation der Verbundpflastersteinformen nach HODGKINSON et al. (12) aus SHACKEL (39)

Kategorie A						
Kategorie B						
Kategorie C						
Bemerkungen	(1) geeignet für viele Verbände einschließlich Fischgrät		(2) nur für Läuferverband geeignet		Steine, für die bekannte Untersuchungen zur Lastverteilung oder unter Verkehr durchgeführt wurden	

Kategorie A: Verbundsteine mit allseitigem Verbund, die durch ihre Geometrie ein Öffnen der Fugen parallel zu der Längs- und Querachse der Fuge verhindern. Alle Steinformen der Kategorie A können in Fischgrätverband verlegt werden.

Kategorie B: Verbundsteine, bei denen nur zwei Seiten ineinander greifen und in diesem Zustand einer Verbreiterung der Fugen parallel zur Längsachse widerstehen. Wegen ihrer Maßgenauigkeit bilden sie auch auf den beiden anderen Seiten einen Verbund. Mit einigen Ausnahmen eignen sich diese Steine nur für den Läuferverband.

Kategorie C: Verbundsteine mit geraden Seitenflächen, die nicht ineinander greifen und bei denen der Verbund durch ihre Maßgenauigkeit und durch eine sachgerechte Verlegung erreicht wird [14].

Tabelle 4.6.: übliche Steindicken für die Kategorien A, B und C

Steinformen [Kategorien]	Steindicken [cm]
A,B,C	6, 8, 10, 14 und größer

▪ Sickerpflaster (Drainstein) - Haufwerksporiger Betonstein:

Diese Steinart besteht aus Porenbeton (Haufwerksbeton) und erreicht somit ein hohes Porenvolumen im Stein und dadurch gewisse Wasser- und Luftdurchlässigkeit. Anfallendes Oberflächenwasser kann durch den Stein hindurch in das Erdreich versickern. Durch Staub und Verschmutzungen wurde die Sickerfähigkeit der älteren Generation von einschichtigen Steinen relativ rasch beeinträchtigt. Die neueren Beläge haben eine feinere Filterschicht, der Stein verschlammte deshalb nicht und bleibt wasserdurchlässig.

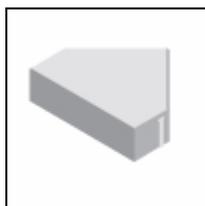
Aufgrund der Materialeigenschaften sind Sickersteine (Drainsteine) nur bedingt für Auftausalze geeignet und sind nicht so stark belastbar wie Vollbetonsteine (erreichen nur eine Druckfestigkeit bis 45 N/mm²). Sickersteine sind für Rad- und Gehwege und im Privatbereich (PW Verkehr) geeignet.

Abb. 4.7.: Beispiel eines Drainsteines (28)



- **Betonplatte:** Betonplatten sind definitionsgemäß mindestens vier Mal länger als dick. Die Bruchempfindlichkeit solcher Platten ist erheblich größer als die von Betonsteinen, was durch eine höhere Materialfestigkeit ausgeglichen werden muss. Hergestellt werden sie in den Größen 200/200 mm bis 500/500 mm oder größer. Neben quadratischen Platten werden für das Verlegen im Diagonalverband auch Platten in Bischofsmützen- oder Eckform gefertigt (nach (28)) (siehe auch Kapitel 5.4.).

Abb.4.8.: Beispiel Pflasterstein in Bischofsmützen - Form (25)



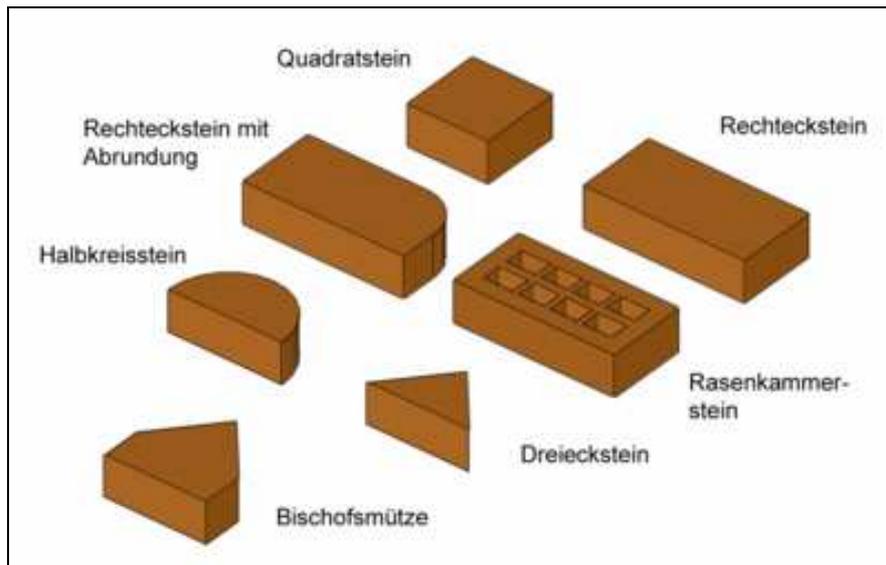
- **Betonzierstein:** Betonziersteine zeichnen sich durch eine besondere Farbgebung oder Oberflächenbeschaffenheit aus. Die Steinfarbe wird mit Hilfe von Weißzement oder Pigment verändert. Die Oberfläche wird durch Waschen, Schleifen, Stocken oder Kugelstrahlen verändert. Um dem Pflaster eine antike Optik zu verleihen, werden die Steine gerompelt (rolliert) wodurch die Kanten unregelmäßig gebrochen werden. Zudem kann die Oberfläche des Betonsteins durch eine andere Zusammensetzung des Vorsatzbetons verändert werden (so genannte Splitt- oder Kieselvorsätze). Zu den Betonziersteinen zählen auch Pflastersteine, die sich aufgrund ihrer Oberfläche für die Orientierung von Blinden und Sehbehinderten eignen. Auf der Oberseite der Steine werden Rillen oder Noppen ausgebildet, welche mit dem Langstock oder den Schuhsohlen ertastbar sind (28).

4.3.1.3. Klinkersteine

Die Klinkersteine werden zur Befestigung von öffentlichen Plätzen, Garagen-
einfahrten, Parkplätzen, Innenhöfen, Kellergassen und Vorplätzen (z.B. im
Weinviertel, Niederösterreich) sowie Sitzplätzen und Gehwegen im Garten
angewendet.

Herstellung und Einteilung

Abb.4.9.: Gebräuchliche Formen von Klinkerpflaster (28)



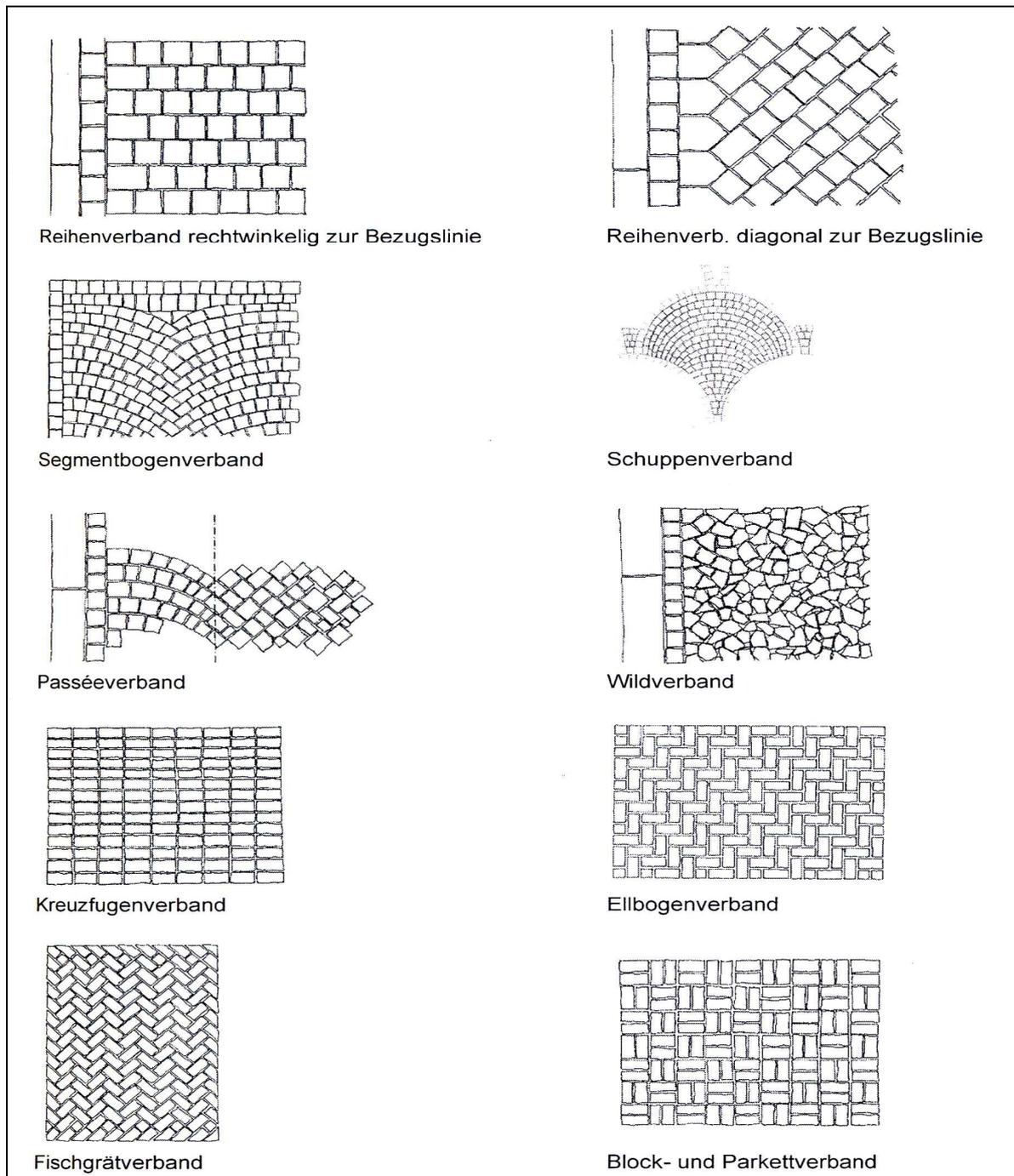
Klinkersteine bestehen aus mit Wasser angemischtem Ton oder Lehm. Die Farbe ist abhängig vom Eisen- oder Mangengehalt des Ausgangsmaterials, kann aber auch durch andere Zusätze verändert werden. Durch die Sinterung besitzt der Klinker ein geringes Wasseraufnahmevermögen und wird so frostbeständig.

Klinkerpflaster besteht aus verschiedenartigen Formaten von Klinkern. Es wird zwischen Pflasterklinker und Klinkerplatten unterschieden. Beide Arten besitzen eine maximale Druckfestigkeit von 80 N/mm^2 und dürfen im höchsten Fall 6 Masse-% Wasser aufnehmen. Die Dicke der Pflasterbettung sollte zwischen 3 und 5 cm liegen (28).

4.3.2. Verbandsarten

Als Verband wird die geometrische Anordnung, in der die Pflastersteine bzw. Platten verlegt bzw. versetzt werden, definiert. Der Verband hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lastabtragung und ist maßgebend für eine lange Dauerhaftigkeit der Pflasterdecke. Die gängigsten Pflasterverbandsarten können aus den Abbildungen 4.10. bis 4.13. entnommen werden.

Abb.4.10.: Verbandsarten von Pflastersteindecken nach RVS 08.18.01 (35)



Die Anforderungen an die Pflastersteine je nach Verbandsart und die entsprechende Verbandswirkung können gemäß RVS 08.18.01 (35) folgendermaßen zusammengefasst werden:

Tabelle 4.7.: Verbandswirkung und Anforderungen an Pflastersteine gemäß RVS 08.18.01 (35)

Verbandsart	Anforderungen an Pflastersteine	Verbandswirkung
Reihenverband	Möglichst gleich große Steine in Scharen; für alle Pflastersteine und Platten anwendbar	Gute Verbandswirkung, Längsfugenversatz bewirkt gute Tragfähigkeit. Aufnahme von größten Verformungen (Fuge in Verkehrsrichtung).
Diagonalverband	Möglichst gleich große Steine in Scharen	Gute Verbandswirkung, durch den Fugenverlauf diagonal zur Fahrtrichtung jedoch bessere Tragfähigkeit als bei dem Reihenverband.
Segmentbogenverband	für Natursteinpflaster geeignet	günstiges Tragverhalten; große Verbandswirkung und damit auch eine hohe Tragfähigkeit
Schuppenverband	für Natursteinpflaster geeignet	Im Vergleich zum Segmentbogenverband eingeschränkte Tragfähigkeit; die Bogenformen haben mehr gestalterische Funktion und weniger Verbandswirkung.
Passeé- Verband	Große Spanne an Steingrößen mit annähernd quadratischer, rechteckiger oder prismatischer Form. Mosaikpflaster aus ungleichmäßigen Steingrößen und –formen, prinzipiell jedoch auch für Klein- und Großstein geeigneter Verband	eingeschränkte Tragfähigkeit
Wildverband	Sehr unregelmäßig geformte und verschieden große Bruch- oder Rundsottersteine	bei einer annähernden Diagonalverlegung statische Funktion vorhanden.

Tabelle 4.7.: Verbandswirkung und Anforderungen an Pflastersteine gemäß RVS 08.18.01 (35)

Verbandsart	Anforderungen an Pflastersteine	Verbandswirkung
Kreuzfugenverband	Gleichgroße, maßhaltige Steine; für Beton- und Klinkersteine und –platten geeignet	Durch die durchlaufenden Fugen in beide Richtungen keine statisch wirksame Verbandswirkung und folglich nur begrenzte Tragfähigkeit.
Ellbogenverband	gleichgroße, maßhaltige Steine	geringer Anteil an durchlaufenden Fugen und gleichmäßiger, laufender Wechsel der Fugenrichtung bewirkt eine gute Tragfähigkeit.
Fischgrätverband	gleichgroße und rechteckige Steine; für Beton- und Klinkersteine geeignet	geringste Verformungen durch Verkehr; durch den Fugenverlauf diagonal zur Fahrtrichtung höhere Tragfähigkeit
Block- und Parkettverband	Steinlänge muss 2 x Steinbreite + Fuge sein.	durch die durchlaufenden Fugen in beiden Richtungen keine statisch wirksame Verbandswirkung und folglich nur begrenzte Tragfähigkeit

Wegen ihrer Vielfalt an Formen können die Betonsteinpflaster auch in Spezialverbänden verlegt werden.

Abb. 4. 11.: Spezialverband (28)

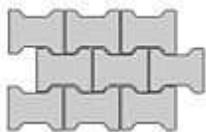
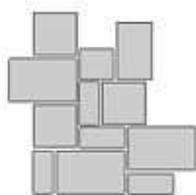


Abb. 4. 12.: Römischer Verband (auch für Klinkersteine geeignet) (28)



In RVS 08.18.01 werden für die Pflasterplatten folgende Verbandsarten und Anforderungen vorgesehen.

Abb.4.13.: Verbandsarten von Pflasterplattendecken nach RVS 08.18.01 (35)

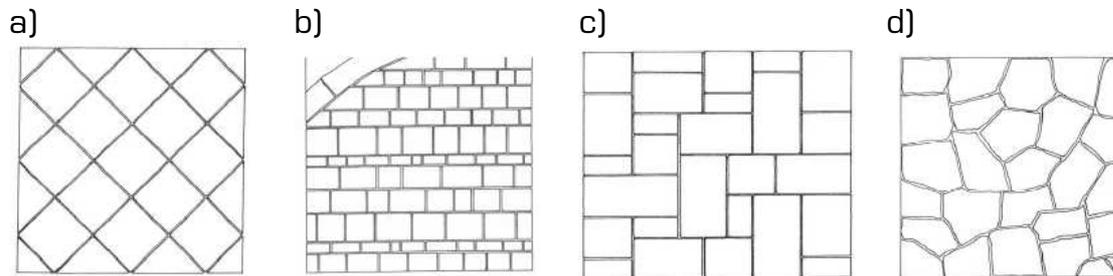


Tabelle 4.8.: Verbandswirkung und Anforderungen an Pflasterplatten gemäß RVS 08.18.01 (35)

Verbandsart	Anforderungen an Pflastersteine	Verbandswirkung
a) Kreuzfugenverband rechtwinkelig und diagonal verlegt	gleichmäßige, maßhaltige Platten	durch die durchlaufenden Fugen in beide Richtungen keine statisch wirksame Verbandswirkung und folglich nur begrenzte Tragfähigkeit; eine diagonale Verlegung führt zu einer besseren Tragfähigkeit.
b) Reihenverbände	gleiche Breite je Reihe; unterschiedliche Längen möglich	gute Verbandswirkung, Längsfugenversatz bewirkt gute Tragfähigkeit
c) Römischer Verband	Die Platten müssen maßhaltig sein; erforderlich sind drei und mehr verschiedene Plattenformate, die unter Berücksichtigung der Fugenbreite durch sich teilbar sind.	geringer Anteil an durchlaufenden Fugen und gleichmäßiger, laufender Wechsel der Fugenrichtung bewirken eine gute Tragfähigkeit.
d) Polygonalverband	Anwendung von großformatigen Steinplatten	keine Verbandswirkung

In Abhängigkeit von der gewählten Steinart werden die in Tabelle 4.9. angeführten Verbandsarten empfohlen. Der Zusammenhang zwischen Verbandsarten und Tragfähigkeit in der ungebundenen Bauweise ist in Tabelle 4.10. dargestellt (35).

Tabelle 4.9.: Verbandsarten in Abhängigkeit von Steinform und –größe gemäß RVS 08.18.01

Verbandsarten	Steinform							
	Großstein ab 14 cm Kantenlänge	Kleinstein 7/7/7 bis 11/11/11	Mosaikstein	Flusssteine, Wackensteine	Unregelmäßige Bruchsteine bzw. Polygonalplatten	Quadratische Steine oder Platten mit Bindersteinen	rechteckige Steine oder Platten mit Bindersteinen	Platten mit unterschiedlichen Formaten
Reihenverband rechtwinkelig bzw. diagonal zur Bezugslinie	+	0	0	0	-	+	+	+
Segmentbogenverband	0	+	+	0	-	-	-	-
Schuppen- bzw. Tulpenverband	-	+	+	0	-	-	-	-
Passeé- Verband	-	+	+	-	-	-	-	-
Fischgrätverband	0	-	-	-	-	-	+	0
Blockverband	-	-	-	-	-	-	+	-
Kreuzfugenverband rechtwinkelig bzw. diagonal zur Bezugslinie	0	0	0	-	-	0	0	-
Römischer Verband	-	-	-	-	-	-	-	+
Wildverband	-	-	-	+	+	-	-	-
Polygonalverband	-	-	-	-	+	-	-	-

0 ... machbar/nicht empfehlenswert
+ ... empfehlenswert
- ... nicht empfehlenswert

Tabelle 4.10.: Zusammenhang zwischen Verbandsarten und Tragfähigkeit von Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise nach RVS 08.18.01

Verbandsarten	Tragfähigkeit			
	Gute Tragfähigkeit	Mittlere Tragfähigkeit	Geringe Tragfähigkeit	Für befahrene Verkehrsflächen nicht geeignet
Reihenverband rechtwinkelig zur Bezugslinie		x		
Reihenverband diagonal zur Bezugslinie	x			
Segmentbogenverband	x			
Schuppenverband		x		
Passeé- Verband	x			
Fischgrätverband	x			
Block- und Parkettverband				x
Kreuzfugenverband				x
Römischer Verband				x
Wildverband			x	
Polygonalverband				x

x ...zutreffend

4.4. Bettung und Fugenfüllung

Fugenfüllung

Die Aufgabe der Fugenfüllung ist es, den Verbund zwischen den Steinen herzustellen und die Belastungen des Einzelsteins auf die Nachbarsteine zu verteilen.

Die Gesteinskörnungen für Fugenfüllung in ungebundener Bauweise müssen den Kriterien der RVS 08.18.01 bzw. der ÖNORM EN 13242 entsprechen. Für Qualitätsanforderungen gilt ÖNORM B 3132.

Für die ungebundenen Fugenmaterialien von Pflasterstein- und Pflasterplattendecken sind gebrochene Gesteinskörnungen $C_{90/3}$ der Korngemische 0/2, 0/4 und 0/8 zu verwenden. Es sind Korngemische mit einem Größtkorn von 40 bis 50 % der maximal zulässigen Fugenbreite mit ausreichendem Anteil an Stützkorn zu verwenden.

In der Praxis wird zur Fugenfüllung feines, möglichst scharfkantiges Material wie Brech- oder Natursand der Korngröße 0/2 mm, oder Splitt 2/5 mm (Sickerdrain), mit weniger Feinanteil verwendet. Es darf kein Kalkgestein verwendet werden, um Ausblühungen zu vermeiden. Die Fugenbreite beträgt in der Regel 3 bis 5 mm (Fugenbreiten gem. ÖNORM B 2214) und soll fachgerecht, vollständig und dauerhaft verfüllt sein.

Folgende Filterkriterien gemäß RVS 08.18.01 (35) sollen berücksichtigt werden:

Sicherheitsbedingung gegenüber Erosion:

$$d_{15}(\text{Bettung}) : d_{85}(\text{Fuge}) \leq 2$$

Sicherheitsbedingung gegenüber Kontakterosion:

$$d_{50}(\text{Bettung}) : d_{50}(\text{Fuge}) \leq 10$$

d_{15} , d_{50} , d_{85} : Korndurchmesser der jeweiligen Schicht (Tragschicht, Bettung) bei 15, 50 bzw. 85 Masse -% Siebdurchgang.

Bei Anwendung von Rasengittersteinen werden die Hohlräume mit Humus-Sand- Gemisch gefüllt und mit entsprechenden Grassorten besät, oder es wird ein Humus- Grassamen- Gemisch eingebracht. Es ist darauf zu achten, dass auch im Tragschichtenmaterial humose oder lehmige Bestandteile enthalten sind, damit der Humus aus den Erdkammern nicht in den Untergrund ausgeschwemmt wird.

Bettung

Als Bettung wird der untere Teil der Pflaster- oder Plattendecke (auch Pflaster- oder Plattenbett) bezeichnet.

Die Bettung hat die Aufgabe, fertigungsbedingte Höhenunterschiede der Einzelsteine auszugleichen und den Steinen ein gleichmäßiges Auflager zu geben. Die fachgerechte Ausbildung der Bettung ist sehr wichtig, da sie Grundlage für die sichere Lastabtragung ist. Sie muss einerseits Vertikalkräfte durch das Gewicht der Fahrzeuge aufnehmen, andererseits muss sie die als Horizontalkräfte auftretenden Bremskräfte als Scherkräfte aufnehmen (27). Weiters soll der Bettungssand das Durchschlagen von Rissen aus der gebundenen Tragschicht in die Pflasterdecke verhindern (14). Das eintretende Wasser ist auch ohne Beeinträchtigungen an die Tragschicht weiterzugeben.

Das Tragverhalten der Bettung wird nach SHACKEL (39) im Wesentlichen von folgenden Parametern bestimmt:

- Bettungsdicke
- Korngrößenverteilung des Bettungssandes
- Kornform des Bettungssandes

Bettung und Fugenfüllung sollen aufeinander abgestimmt sein, um einen Eintrag von Feinteilen in benachbarte Schichten zu verhindern.

Folgende Bettungsdicken sind im verdichteten Zustand zulässig:

Tabelle 4.11.: zulässige Bettungsdicken im verdichteten Zustand (27)

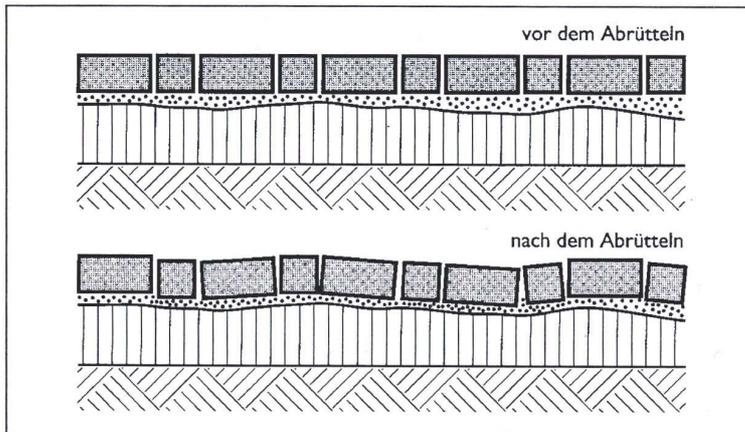
Beton- und Klinkerpflaster	Großpflaster	Kleinpflaster	Mosaikpflaster
3 bis 5 cm	4 bis 6 cm	3 bis 4 cm	2 bis 4 cm

Die Bettungsdicke soll mind. 3 cm (im verdichteten Zustand) betragen. Größere als die vorgeschlagenen Dicken führen zu bleibenden Verformungen unter Verkehr, geringere Dicken erschweren die Ausbildung des erwünschten Verbundes zwischen den einzelnen Pflastersteinen.

Der Zusammenhang zwischen Bettungsdicke und Spurrinntiefe kann nach SHACKEL (37) folgendermaßen beschrieben werden:

- Bei kleineren Bettungsdicken stellen sich wesentlich geringe Spurrinntiefen ein als bei größeren Bettungsdicken;
- Ein Großteil der Verformungen, die kurz nach der Verlegung auftreten, ist auf die Verformung der Bettungsschicht zurückzuführen;
- Einfluss der Ebenheit des Sandbettes: ein nicht gleichmäßig dickes Sandbett hat Dichteunterschiede nach der Verdichtungsarbeit zur Folge (siehe Abbildung 4.14.). Dies bewirkt dann ungleichmäßige Verformungen unter Verkehrsbelastung.

Abb.4.14.: Verformungen durch ungleichmäßige Bettungsdicken nach Wellner et al. [48]



Kornform, Korngrößenverteilung und Kennwerte des Bettungssandes

Die Gesteinskörnungen für Bettungen in ungebundener Bauweise müssen den Kriterien der RVS 08.18.01 bzw. der ÖNorm EN 13242 entsprechen. Für Qualitätsanforderungen gilt ÖNorm B 3132.

Für die Bettungsmaterialien von Pflasterstein- und Pflasterplattendecken gelten grundsätzlich folgende Regeln und Kennwerte:

- Es sind gebrochene Gesteinskörnungen $C_{90/3}$ der Korngruppen 2/4, 4/8 und 8/11 sowie Gemische aus diesen Korngruppen zu verwenden.
- Die Wahl des Größtkorns ist von der zu verlegenden Pflasterstein- oder Pflasterplattenart und von der Dicke der Bettung abhängig, darf jedoch 11 mm nicht überschreiten.
- Gebrochenes Bettungsmaterial ist besser als rundkörniges
- Das Bettungsmaterial muss frei von Verunreinigungen (gewaschen) und kalkfrei bzw. kalkarm sein, um Ausblühungen vorzubeugen.
- Die Wasserdurchlässigkeit muss größer als 5×10^{-5} m/s sein.

Durch die Abstimmung der Kornverteilung von ungebundenen Tragschichten, Bettung und Fugenfüllung wird der Feinteileintrag in benachbarte Schichten verhindert. Als günstig haben sich folgende Körnungen bewiesen:

- Sande der Körnung: 0/2, 0/4, 0/8 mm
- Splitt der Körnung: 1/3 mm (Basalt oder Quarz)
- Brechsand-Splitt-Gemische: 0/5 mm

Zudem muss die Filterstabilität nach RVS 08.18.01 (35) erfüllt sein:

Sicherheitsbedingung gegenüber Erosion:

$$d_{15}(\text{Tragschicht}) : d_{85}(\text{Bettung}) \leq 5$$

Sicherheitsbedingung gegenüber Kontakterosion:

$$d_{50}(\text{Tragschicht}) : d_{50}(\text{Bettung}) \leq 25$$

d_{15} , d_{50} , d_{85} : Korndurchmesser der jeweiligen Schicht (Tragschicht, Bettung) bei 15, 50 bzw. 85 M-% Siebdurchgang.

Bettung aus Dränmörtel

Von der Baustoffindustrie wird heutzutage ein spezieller wasserdurchlässiger Mörtel – Dränmörtel - angeboten, der laut Produktkatalogen für alle Pflastersteinarten geeignet ist und zu einer positiven Bodenentsiegelung beiträgt.

Das Erreichen einer ausreichenden Druckfestigkeit, Haftzugfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit bei der Anwendung von Dränmörtel als Bettungsmaterial erweist sich jedoch oft als sehr problematisch und nicht in ausreichendem Maß zufrieden stellend. Die Mindestbettungsdicke, die anzustreben ist, ist 3 bis 6 cm auf Drainbeton- Tragschicht und mindestens 6 cm auf wasserdurchlässigen ungebundenen und ausreichend verdichteten Tragschichten.

Materialienübersicht

Anhand der oben aufgezählten Eigenschaften und Anforderungen an die Pflastersteine, Pflasterbettung, sowie Fugenfüllung können die wichtigsten Materialienmerkmale in der Tabelle 4.12. folgendermaßen zusammengefasst werden.

Tabelle 4.12.: Materialienübersicht

Pflasterarten	Formate in [cm]	Festigkeit	Zusammensetzung	Farben	Griffigkeit	Bettung [3-5 cm] und Fugenfüllung
Naturstein						
Großpflastersteine	Würfel: 14x14, 16x16 18x18	160 - 300 N/mm ²	Granit, Prophy, Syenit, Sandstein, Basalt, Gneis	Natürliche Gesteinsfarben	gut	Sand Splitt Fugenbreite >1mm
Kleinpflastersteine	Würfel: 9/11, 8/10, 8/11, 7/9, 7/10			Granit: grau Prophy: rot-braun		
Steinplatten	-			Basalt: schwarz		
Randsteine	-					
Klinkersteine und Platten	Formen und Formate Lt. Herstellerproduktkatalog	Bis 80 N/mm ²	Ton Lehm	Rot Gelb	Rutschgefahr bei nassem und glattem Klinker	Sand, Splitt 0/2 – 0/4, Splitt: 2/5 mm Alternative Materialien lt. Anbieter Fugenbreite 5 – 8 mm
Betonsteine	Alle Formen B/L: 6-24 H: 6-14	20 – 60 N/mm ²	Mischung von Zement, Gesteinskörnung und Wasser	alle Farben	Befriedigend bei v < 60 km/h	Sand: 0/2- 0/4, 0/8 mm Splitt: 0/5 mm Fugenbreite > 5 mm
Betonsteine						
Betonverbundsteine	Klasse: A,B,C: S-, I- und H- Form, Viereckform, doppelt-sym. Form					
Betonziegelsteine	-					
Betonrasensteine	-					
Bordsteine	B: 16-18 L: 60-180 H: 18-24					
Betonplatten	20/20 – 50/50 und größer					
Sickerpflaster (Drainstein)		Bis 45 N/mm ²				Splitt: 2/5 mm

4.5. Tragschichten

Die Pflasterbefestigungen in ungebundener Bauweise unterscheiden sich nach der Aufbauart ihrer oberen Tragschicht. Für die wasserdurchlässige Bauweise werden grundsätzlich folgende zwei Möglichkeiten angewendet:

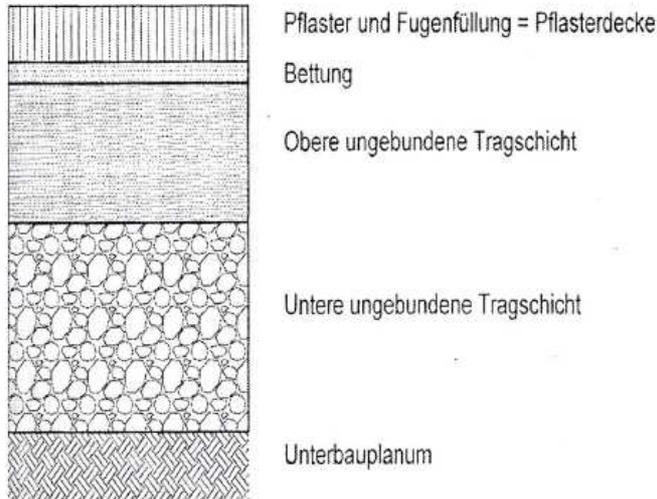
- Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht
- Bauweise mit oberer Drainbeton- Tragschicht

4.5.1. Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht

Die Bauweise Pflastersteindecken mit ungebundener oberer Tragschicht ist die älteste Pflasterbautechnik und zählt heutzutage zu den Standardbauweisen. Die Steine werden auf ein loses Bett aus Splitt, Sand oder Granulat gesetzt. Das Fugenmaterial ist darauf abgestimmt und soll Idealerweise aus dem gleichen Material bestehen. Die standardisierten Oberbauausführungen dieser Bauweise sind der Tabelle 5.8 (siehe Kap.5.4.) zu entnehmen. Weitere Anforderungen und Richtwerte sind den RVS 03.08.63 und RVS 08.15.01, sowie RVS 08.18.01 zu entnehmen.

Die Abbildung 4.15. zeigt ein Beispiel für die Bauausführung der Befestigungsschichten dieser Bauweise.

Abb.4.15.: Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht [14]



Für die Ausbildung der oberen Tragschicht in ungebundener Bauweise werden folgende Materialien gemäß RVS 03.08.63 (35) verwendet:

- ungebundene obere Tragschichten gemäß RVS 08.15.01(35) aus Gemischen mit einem überwiegenden Anteil an gerundeten Körnern (C_{NR}) ($E_{V1} \geq 75 \text{ MN/m}^2$)
- ungebundene obere Tragschichten aus gebrochenen Körnungen ($C_{50/30}$ oder $C_{90/3}$) ($E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$).
- ungebundene obere Tragschichten aus zentralgemischten Kantkörnungen (mind. $C_{90/3}$) gemäß RVS 08.15.01 ($E_{u1} \geq 120 \text{ MN/m}^2$).

In jedem Fall sind die Sieblinienbereiche für obere Tragschichten gemäß RVS 08.15.01 einzuhalten.

Die Vor- und Nachteile der Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht können folgendermaßen zusammengefasst werden:

Vorteile

- Einfache Herstellung
- Eindringendes Wasser kann ungehindert versickern
- Preiswerter als gebundene Tragschichten

Nachteile

- geringere Tragfähigkeit
- größere Tragschichtdicken notwendig

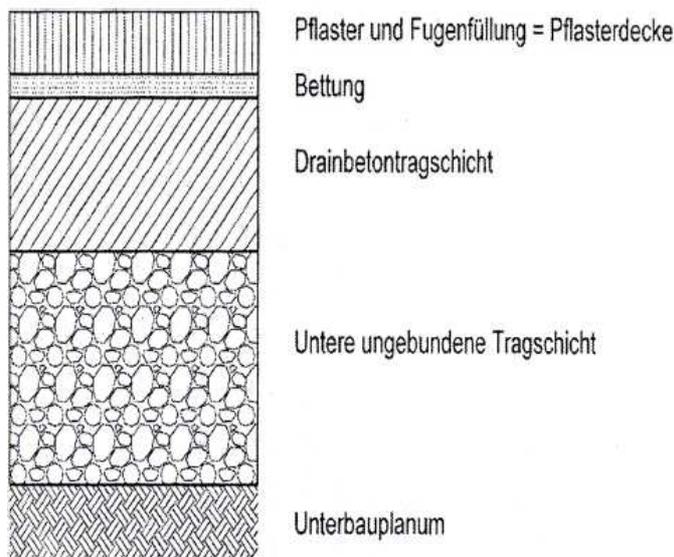
4.5.2. Bauweise mit Drainbeton – Tragschicht

Die gebundene und wasserdurchlässige obere Tragschicht besteht bei dieser Bauweise aus Drainbeton. Sie ist steifer und damit widerstandsfähiger gegen Verformungen als eine ungebundene Tragschicht (aus Kies oder Schotter) und ist daher vorwiegend für hohe und/oder besondere Verkehrsbeanspruchungen geeignet. Die Versickerung erfolgt durch die wasserdurchlässige Drainbetonschicht, die einen hohen Hohlraumgehalt aufweist. Als Bettung können entweder gebundene wasserdurchlässige Materialien (Dränmörtel) oder ungebundene Materialien (Sand, Splitt) verwendet werden. Das Einsetzen von Geotextilen verhindert das Ausspülen des nicht gebundenen Bettungsmaterials in die Poren des Drainbetons.

Aufgrund des geringen Zementgehaltes und des hohen Hohlraumgehaltes des Drainbetons treten durch die bei der Hydratation entstehenden Schwindspannungen nur beschränkte Rissbildungen auf. Der Drainbeton gibt durch seine große Steifigkeit der Konstruktion selbst bei relativ geringen Konstruktionsstärken sehr hohe Tragfähigkeit. Als nachteilig ergeben sich jedoch die geringen Erfahrungswerte mit dieser Bauweise und der derzeit noch nicht optimierte maschinelle Einbau (14).

Der Bauaufbau mit Drainbeton als obere Tragschicht wird in Abbildung 4.16. dargestellt.

Abb.4.16: Bauweise mit Drainbeton – Tragschicht (14)



Anforderungen an die Tragschichten aus Pflaster- Drainbeton gemäß RVS 08.18.01(35):

- Zuschlagsfraktionen für das haufwerksporige Gefüge bezogen auf eine Sieblinie AC 16 bzw. AC 22:

Fraktion 0 - 4 mm	13 –16 M.- %
Fraktion 4 –8 mm	8 - 11 M.- %
Fraktion 8 –16 oder 8 - 22 mm	74 – 78 M.- %
- Zementgehalt: 200 – 250 kg/m³ (Sorte: CEM II)
- W/B –Wert: 0,40 ÷ 0,45
- Betonfestigkeitsklasse: C16/20 (ÖNorm B 4710-1)

Die standardisierten Oberbauausführungen dieser Bauweise sind der Tabelle 5.9 (siehe Kap.5.4.) zu entnehmen. Weitere Anforderungen und Richtwerte sind den RVS 03.08.63, RVS 08.18.01, sowie die gültigen Beton-Normen zu entnehmen.

4.5.3. Untere ungebundene Tragschicht

Ungebundene untere Tragschichten (Frostschuttschichten) haben den Anforderungen gemäß RVS 08.15.01(35) zu entsprechen. Bei Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen muss der Anteil an rezykliertem Asphaltgranulat < 50 Masse -% sein.

Bei allen Bautypen mit einer Dicke der ungebundenen unteren Tragschicht kleiner als 30 cm ist am Planum der ungebundenen unteren Tragschicht ein entsprechend reduzierter Abnahmenwert für die Tragfähigkeit zulässig (35), sofern auf der darüberliegenden ungebundenen oberen Tragschicht der erforderliche Verformungsmodul erreicht wird.

4.6. Unterbauplanum

Der Untergrund besteht entweder aus dem anstehenden Boden oder im Fall von Dämmen oder Bodenauswechslungen aus Materialien, die lokal verfügbar sind. Da diese Materialien zumeist nicht frostsicher sind, müssen die jahreszeitlichen Klimaschwankungen berücksichtigt werden.

Grundsätze für die Festigkeit des Unterplanums:

- Die Tragfähigkeit des Unterplanums ist eine Funktion des Wassergehaltes
- Im Winter ist die Tragfähigkeit deutlich höher
- In der Frühjahr-Tauperiode (Eislinsenbildung) wird ein starker Abfall der Eigensteifigkeit (E-Modul) festgestellt, was eine starke Auswirkung auf der Dimensionierung dünnerer Befestigungen hat (siehe Kapitel 5.2.).

Einsatz von Geotextilien

Bei Lehm- und Mischböden sowie bei gering tragfähigem Untergrund ist der Einbau von Geotextilien (Vlies) unter der Frostschutzschicht vorzunehmen, damit der Schotter der Frostschutzschicht mit der Zeit nicht im Untergrund versinken und schlammiges Untergrundmaterial nicht nach oben dringen können. Ungleiche Setzungen und Frosthebungen können so vermieden werden (50).

Die Anforderungen an den Untergrund sind in der RVS 08.03.01(35) definiert.

Tabelle 4.13: Verdichtungsanforderungen an ungebundene Tragschichten und Unterbau gemäß RVS 08.15.01 (35)

Schichtart	Verdichtungsgrad	Verformungsmodul
obere ungebundene Tragschicht aus zentralgemischter Kantkörnung (RVS 08.15.01)	D_{Pr} [%] (103)	E_{V1} [MN/m ²] 120
obere ungebundene Tragschicht (RVS 08.15.01)	103	75 ¹⁾
untere ungebundene Tragschicht (RVS 08.15.01)	101	60 ¹⁾
Unterbauplanum (RVS 08.03.01)	100	35 25 ²⁾

1) Die angegebenen Verformungsmodule sind bei Verwendung von gebrochenem Material (Brechkörnung) um 20% zu erhöhen.

2) Bei Böden, bei denen das Verdichtungsverhältnis < 2,0 ist.

5. Oberbaubemessung

Maßgebend für die Oberbaubemessung von Pflasterbefestigungen sind einerseits die Tragfähigkeit der Unterlage und andererseits die zu berücksichtigende Verkehrsbelastung. Die Haupteinflüsse auf die Bemessung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Verkehrsbelastung
- Untergrundtragfähigkeit
- Art und Qualität der Oberbaumaterialien

Die allgemeine Vorgangsweise bei der Bestimmung des passenden Oberbaus nach RVS 03.08.63 (35) besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung (BNLW)
- 2) Überprüfen, ob die in den Bemessungstabellen gestellten Anforderungen an Untergrund bzw. Unterbau eingehalten werden
- 3) Zuordnung in einer Lastklasse aufgrund vom ermittelten BNLW
- 4) Auswahl einer Bauweise (Bautyp) aus dem Bemessungskatalog
- 5) Festlegen des Oberbaus mit entsprechenden Schichtdicken für den Bemessungsfall

5.1. Bemessungsmethoden: allgemein

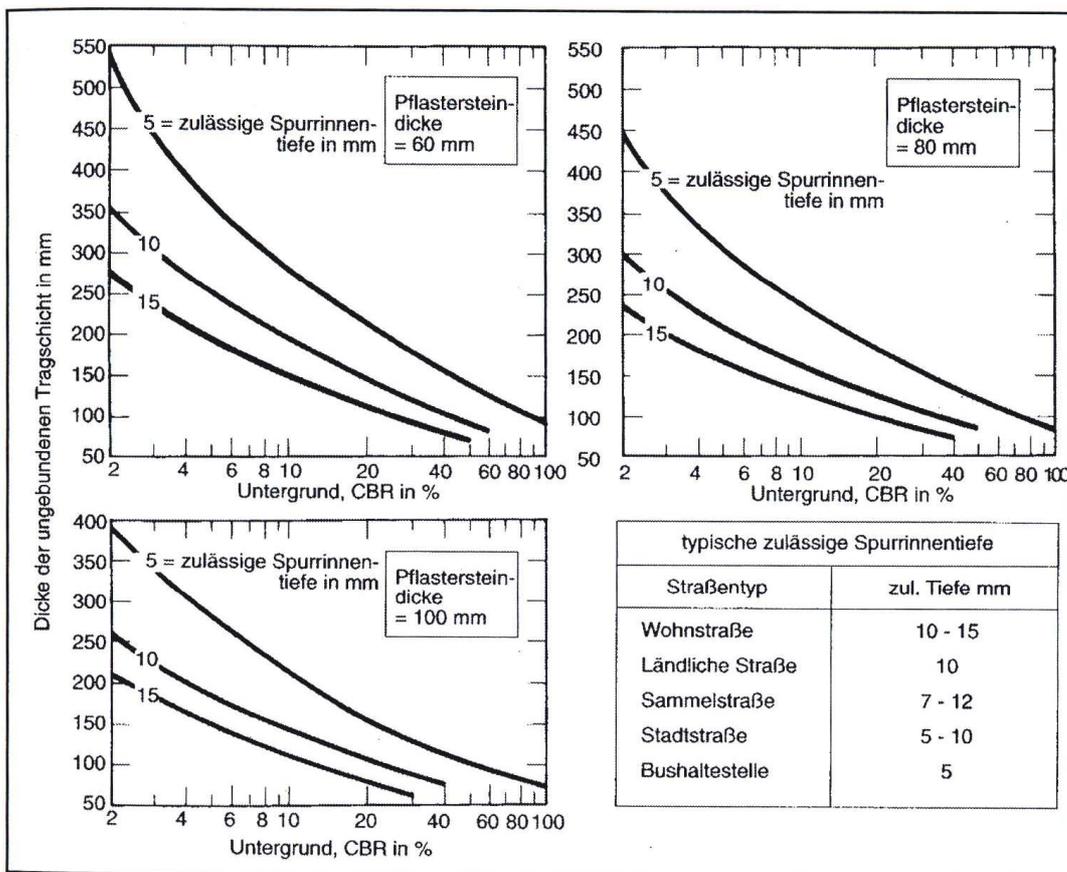
Empirische Bemessung

Die empirische Bemessung kann entweder aufgrund von Erfahrungen oder von Versuchsergebnissen erfolgen. Wenn umfangreiche Erfahrungen und Aufzeichnungen existieren, können durch diese Methode gute Ergebnisse erzielt werden. Die Bemessung aufgrund von Versuchen ist dann sinnvoll, wenn die Ergebnisse aus diesen Versuchen auch in die Praxis übertragen werden können.

Von SHACKEL (35,37) zum Beispiel wurden Untersuchungen durchgeführt, durch die an Prototypen experimentell die Auswirkungen verschiedener Steinschichten und Schottertragschichten auf die bleibenden Verformungen und die Spurrinnenbildung bestimmt werden sollten. Es wurde dann ein Bemessungsverfahren für Betonsteinpflaster entwickelt. Die daraus abgeleiteten Bemessungsdiagramme (siehe Abbildung 5.1.) beschränken sich jedoch auf die ungebundene Bauweise mit Betonsteinpflaster.

Für die Bemessung ist es notwendig, die Anforderungen (Betonsteindicke und Qualität der Oberfläche (zulässige Spurrinnentiefe)) vorher festzulegen. Mit diesen Eingangsdaten kann aus dem Diagramm die Dicke der ungebundenen Tragschicht für eine gegebene Tragfähigkeit des Untergrundes abgelesen werden. Die Verkehrsbelastung wird jedoch nicht berücksichtigt. Die somit ermittelten Konstruktionsstärken können aufgrund der völlig unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse nicht auf Österreich bzw. Mitteleuropa übertragen werden (14).

Abb. 5.1.: empirische Bemessungsdiagramme für Betonsteinpflaster bei ungebundener Bauweise nach SHACKEL



Analytische Bemessung

Die Bestimmung eines Beanspruchungszustandes unter gegebenen Einwirkungen kann prinzipiell mit verschiedenen Verfahren durchgeführt werden. Hierzu gehören neben der Finiten-Elemente-Methode (FEM) vor allem die bekannten analytischen Lösungen der auf der Elastizitätstheorie basierenden Mehrschichtentheorie.

Das Prinzip der Mehrschichtentheorie ist unter Berücksichtigung verschiedenster Aufbauabfolgen ausgewertet worden. Dabei sind im Allgemeinen unterschiedliche elastische Schichten auf einem elastisch isotropen Halbraum als Untergrund angeordnet worden. Dieser Untergrund, der z.B. von BOUSSINESQ mathematisch beschrieben wird, bildet für die Berechnung von elastischen Schichten meistens die zutreffendste Basis (26).

Für die Anwendung auf Systeme mit zwei oder mehreren Schichten mit unterschiedlichen E-Modulen entwickelte Odemark (30) das Äquivalenzverfahren. Es ermöglicht die Umrechnung eines Mehrschichtensystems mit Hilfe einer Ersatzdicke in einen äquivalenten Halbraum. Diese Transformation beruht auf der Hypothese, dass die Schicht mit der Ersatzdicke die gleiche Plattensteifigkeit besitzt wie die ursprüngliche Schicht (14).

Für die schnelle und möglichst fehlerfreie Berechnung des Verhaltens des Oberbaus unter Berücksichtigung des Schichtenverbundes nach oben genannten Theorien wurden Rechenprogramme entwickelt, wie z.B.:

- Bemessungsprogramm LOCKPAVE Design Program (Shackel)
- BISAR (Bitumen Structure (or Stress) Analysis in Roads)

Das LOCKPAVE Design Programm wurde von Dr. Brian Shackel entwickelt als professionelle Unterstützung der Ingenieure, Architekten und Landschaftsplaner bei der strukturellen Gestaltung zahlreicher öffentlichen und Verkehrsflächen aus Verbundpflastersteinen.

Das BISAR- Programm der Shell AG beruht auf der Theorie von BURMISTER. Es können in jedem beliebigen Punkt die Spannungen und Verformungen in einem bis zu zehn Schichten unterteilten Mehrschichtensystem berechnet werden. Als Eingabegrößen für die Beanspruchungsberechnung werden die Anzahl der Schichten, E-Modul, Querdehnzahl und Dicke je Schicht, Radius der Reifenaufstandfläche und die Kontaktpressung benötigt (42).

Die für die Berechnung maßgebenden Spannungen treten bei ungebundenen Schichten an der Oberseite in vertikaler Richtung (σ_z) auf. Abbildung 5.2. und 5.3. zeigen die maßgebenden Spannungen für die Bauweisen mit ungebundener oberer Tragschicht und mit oberer Drainbeton- Tragschicht.

Abb. 5.2.: Maßgebende Spannungen bei der Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (14)

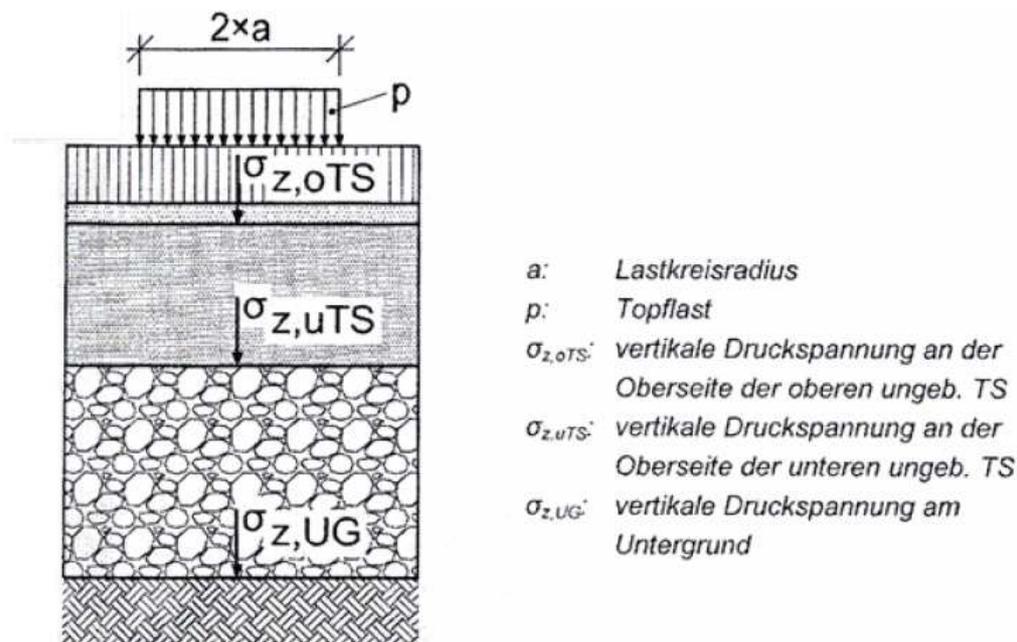
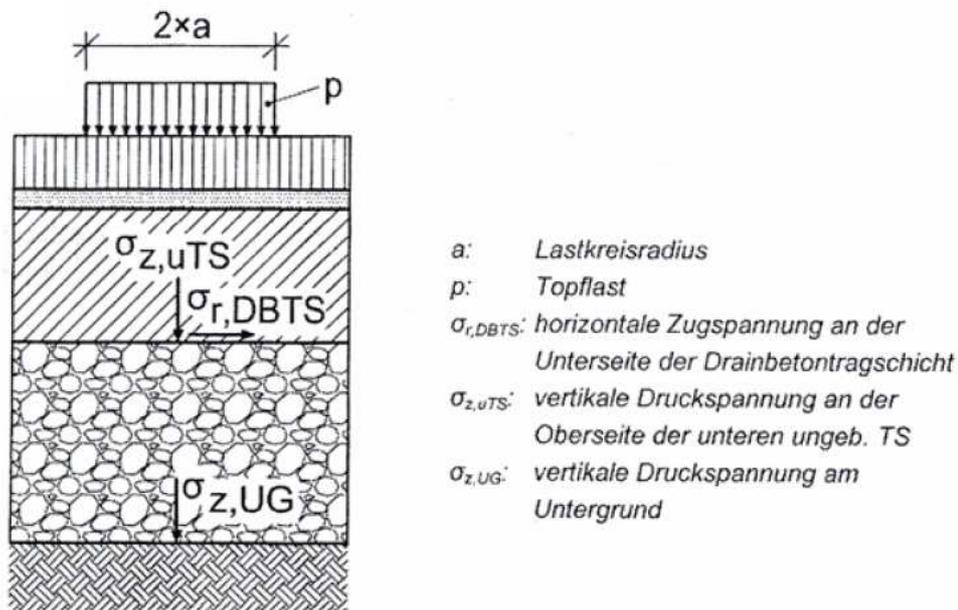


Abb. 5.3.: Maßgebende Spannungen bei der Bauweise mit oberer Drainbeton-Tragschicht [14]

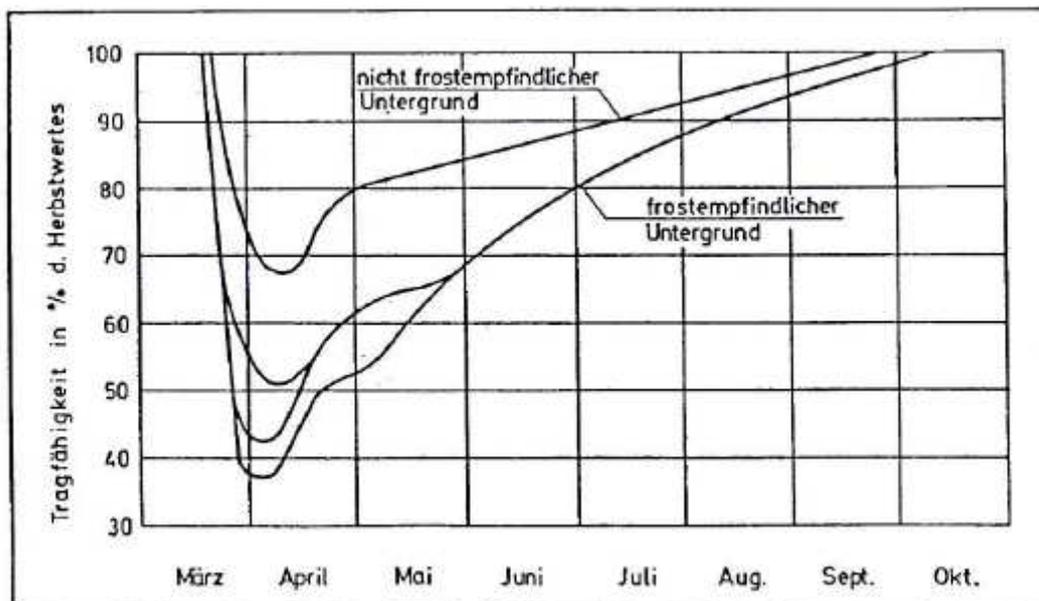


Für den Untergrund und die ungebundenen Tragschichten treten die maßgebenden Spannungen (Druckspannungen) und die maßgebenden Dehnungen (Stauchungen) immer an der Schichtoberseite auf, bei Drainbeton-Tragschichten treten die maßgebenden Spannungen an der Unterseite der Schicht in horizontaler Richtung auf.

5.2. Tragverhalten des Untergrundes

Die Anforderungen an den Untergrund sind in RVS 08.03.01 definiert. Die Tragfähigkeit ist eine Funktion des Wassergehaltes. Maßgebend für die Bemessung ist, bei konstanter Verkehrsbelastung während des ganzen Jahres, die Periode der geringsten Untergrundtragfähigkeit im Frühjahr (Auftauen der Eislinsen). Die kritische Frühjahrstauperiode wirkt sich besonders bei dünneren Befestigungen entscheidend auf die Dimensionierung aus (1,31).

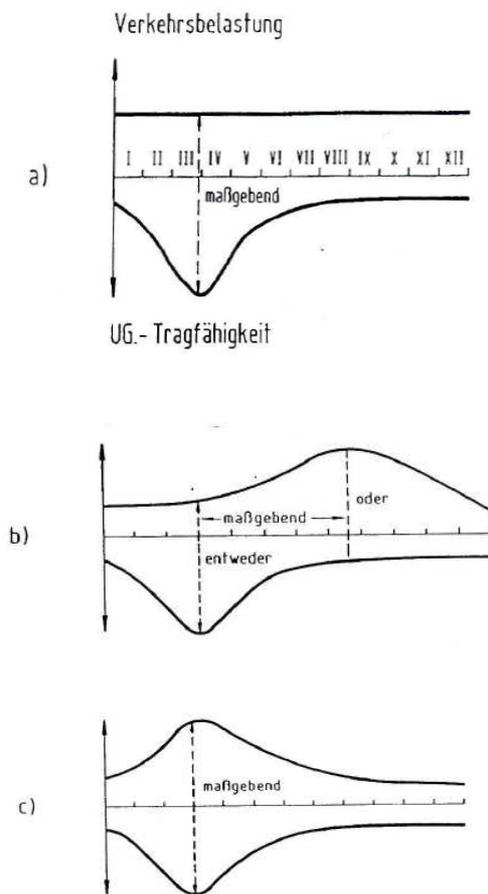
Abb.5.4.: Variation im jahreszeitlichen Ablauf – Im Frühjahr Reduktion der Untergrundtragfähigkeit nach LITZKA (19)



Da es grundsätzlich für wasserdurchlässige Pflasterbefestigungen (wasserdurchlässige Pflasterdecke auf ungebundene Tragschichten) von einer gleichmäßig über das Jahr verteilten Belastung ausgegangen wird, darf eine ungleichmäßig verteilte Gesamtbelastung mit Belastungsspitzen in der Frühjahrsperiode nicht als Eingangsgröße herangezogen werden. In diesem Fall muss fiktiv davon ausgegangen werden, dass die während der Belastungsspitze im Frühjahr aufgetretene Belastung in gleicher Höhe das ganze Jahr über stattfindet. Damit ergibt sich eine wesentlich größere maßgebende Verkehrsbelastung (Bemessungsverkehrsbelastung) als Eingangswert (45).

Der Einfluss der Verteilung der Verkehrsbelastung und Untergrundtragfähigkeit über das Jahr auf die Oberbaubemessung wird in der Abbildung 5.5. dargestellt.

Abb.5.5.: Einfluss der Variation der Untergrundtragfähigkeit und der Verkehrsbelastung auf die Oberbaubemessung schwach belasteter Straßen nach LITZKA (18)



Mindestverformungsmoduln des Untergrundes müssen erreicht, sollten aber auch nicht wesentlich überschritten werden, da eine Vergrößerung der Verdichtung zur Verminderung der Durchlässigkeit führt.

Untergrundtragfähigkeit gemäß RVS 08.03.01:

Verformungsmodul $E_{v1,UP} > 35 \text{ MN/m}^2$
bei einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 100 \%$

Wird auf dem Unterbauplanum trotz ausreichender Verdichtung nur ein E_{v1} -Wert von 25 MN/m^2 erreicht, der grundsätzlich den Anforderungen der RVS 08.03.01 entspräche (siehe auch Kap.4.6.), kann das Tragfähigkeitsniveau im Regelfall durch Aufbringen von ca. 15 cm Tragschichtmaterial (Unterbettung) auf den Eingangswert von $E_{v1} = 35 \text{ MN/m}^2$ angehoben werden. Andernfalls sind andere Maßnahmen zur Sicherstellung der geforderten Mindesttragfähigkeit notwendig (Bodenauswechslung, Stabilisierung) (45).

5.3. Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung

Die Oberbaudimensionierung erfolgt durch Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung, die sich aus dem Anteil des Lastverkehrs ergibt. Nach Möglichkeit soll versucht werden, die tatsächliche Verkehrsbelastung genauer zu ermitteln. Der für die Bemessung maßgebende Lastverkehr wird dabei in äquivalente Übergänge einer Bezugsachslast (Normachslast von 100 kN) umgerechnet und als Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) bezeichnet. Für den Regelfall erfolgt diese Ermittlung der Bemessungsnormlastwechsel nach der RVS 03.08.63 (35) unter Zugrundelegung des $JDTLV_{ges}$ - Wertes (LKW und Busse pro 24 Stunden, im gesamten Querschnitt, in beiden Richtungen) (45).

$$BNLW = NLW_{\text{tägl}} * R * V * S * 365 * n * z$$

Dabei bedeuten:

$NLW_{\text{tägl}}$ Anzahl der durchschnittlich täglichen Normlastwechsel (Übergänge der Normachslast von 100 kN) für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe.

Diese errechnen sich:

- bei Kenntnis des jährlich durchschnittlichen täglichen Verkehrs $JDTV_i$ der Fahrzeugkategorie i im gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe aus:

$$NLW_{\text{tägl}} = \sum JDTV_i * \ddot{A}_i$$

\ddot{A}_i mittlerer Äquivalenzwert der jeweiligen Fahrzeugkategorie i gemäß Tabelle 5.1.

- wenn keine Ergebnisse aus Verkehrszählungen mit Unterscheidung der Fahrzeuge in Fahrzeugkategorien i vorliegen:

$$NLW_{\text{tägl}} = JDTLV_{\text{ges}} * \ddot{A}_{JDTLV}$$

$JDTLV_{\text{ges}}$ Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (Lkw, Lkw-ähnliche Fahrzeuge und Busse je 24 Std., alle Tage) für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe; ermittelt aus Zählungen bzw. aufgrund von Abschätzungen über $JDTV$ - Wert und Lastverkehrsanteil

\ddot{A}_{JDTLV} Mittlerer Äquivalenzwert des $JDTLV$ - Kollektivs für die entsprechende Straßenkategorie gemäß Tabelle 5.2.

R Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen (0,5 bei gleichmäßiger Aufteilung des Lastverkehrs auf beide Fahrtrichtungen)

V Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungsfahrstreifen. 1,0 bei 1 bzw. 2 Richtungsfahrstreifen, 0,9 bei 3 oder mehr Richtungsfahrstreifen.

S Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens gemäß den Werten der Tabelle 5.3.

n Bemessungsperiode in Jahren (Regelfall 20 Jahre für bituminöse Befestigungen und Pflasterstein- und Pflasterplattendecken bzw. 30 Jahre für Betondecken)

z Zuwachsfaktor unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p [%]

Tabelle 5.1.: Mittlere Äquivalenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien

Fahrzeugkategorie	Ä
Lkw ohne Anhänger	0,70
Lkw mit Anhänger bzw. Sattelzug	1,20
Bus	0,60
Linienbus (ÖPNV)	0,80
Liniengelenkbus (ÖPNV)	1,40

Tabelle 5.2.: Mittlere Äquivalenzwerte des JDTLV- Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien

Straßenkategorie	Ä _{JDTLV}
Autobahnen	1,00
Sonstige Straßen	0,90

Tabelle 5.3.: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite b_f (bei Zwischenbreiten ist die kleinere Fahrstreifenbreite maßgebend)

b_f	< 3,00 m ¹⁾	3,00 m	3,25 m	3,50 m	3,75 m	4,00 m
S	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

¹⁾ Gilt nur für Ortsdurchfahrten bzw. für einzelne Richtungsfahrstreifen bei seitlichen Begrenzungen. In allen anderen Fällen ist der Wert $b_f = 3,00$ m anzusetzen.

Genähert kann damit für zweistreifige Straßen und eine übliche Zusammensetzung des Schwerverkehrs die Lastklassenzuordnung nach Tabelle 5.4 erfolgen und daraus die zugehörige Zahl der Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) entnommen werden.

Tabelle 5.4.: Lastklasseneinteilung für Fahrbahnen mit Pflasterbefestigung nach RVS 03.08.63 (35) und (45)

JDTLV_{ges} (LKW/24 Std.)	201 - 1000	51 - 200	26 - 50	10 - 25
Lastklassen	III	IV	V	VI
BNLW 20 (Jahre)	> 4.10 ⁵ - 1,3.10 ⁶	> 1.10 ⁵ - 4.10 ⁶	> 5.10 ⁴ -1.10 ⁵	5.10 ⁴

Wenn im Einzelfall andere Bedingungen vorliegen, wie z.B. einstreifiger Querschnitt, ungleichmäßige Verteilung der Belastung auf beide Fahrtrichtungen oder überproportionaler Anteil an Schwerlastfahrzeugen, ist die Zuordnung zu den Lastklassen direkt über den JDTLV- Wert nicht zulässig. Sie darf in diesem Fall nur über den gemäß RVS 03.08.63 errechneten BNLW- Wert erfolgen.

Hinsichtlich der Verkehrsbelastung auf dem höchstbelasteten Fahrstreifen werden sieben Lastklassen unterschieden (S bis VI).

Die relevanten Lastklassen für Pflasterbefestigungen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche werden wie folgt definiert:

- Pflastersteindecken: III bis VI (Bautyp 7 und 8)
- Pflasterplattendecken: V und VI (Bautyp 7c und 8c)

Tabelle 5.5.: relevante Lastklassen für Pflasterbefestigungen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche nach (35) und (16)

Lastklassen	Funktion der Verkehrsfläche
III	Hauptverkehrsstraßen, Industriestraßen und -flächen, Fahrstreifen in Busbahnhöfen, Zufahrten zu LKW - Abstellflächen und zu Nebenanlagen mit überwiegendem Schwerverkehr.
IV	Sammelstraßen, Fußgängerzonen mit schwerem Ladeverkehr, ständig benutzte Parkflächen für LKW- und Busverkehr, Verkehrsflächen in Nebenanlagen für PKW und LKW
V	Siedlungsstraßen, Fußgängerzonen mit Ladeverkehr, ständig benutzte Parkflächen für PKW-Verkehr und geringen LKW- und Busverkehr.
VI	Verkehrsflächen mit Pkw- und gelegentlichem LKW-Verkehr, ständig benutzte Parkflächen für PKW - Verkehr und gelegentlichen LKW- und Busverkehr

5.4. Standardausführung für Decken aus Pflastersteine und Pflasterplatten gemäß RVS 03.08.63

Auf Basis der oben betrachteten Überlegungen und Berechnungsmethoden wird in der RVS 03.08.63 ein Bemessungskatalog für die konstruktive Anwendung von Pflasterstein- und Pflasterplattenbefestigungen in Form von Tabellen angeboten.

Die erforderlichen Mindestdicken für mit LKW befahrene Flächen aus Natur- und Betonsteinpflasterplatten sind in den nachfolgenden Tabellen angegeben (gültig für Pflasterplatten im verlegten Zustand). Pflasterplatten sind grundsätzlich nur in den Lastklassen V und VI anzuwenden. Bei Formaten, die in den Tabellen nicht enthalten sind, orientiert sich die Dickenfestlegung am nächstgrößeren Plattenformat (gemäß RVS 03.08.63).

Tabelle 5.6.: Erforderliche Mindestdicke für Natursteinpflasterplatten (35)

Plattenformat L/B [cm]	Mindestplattendicke [cm]
24/24	8
32/32	10
36/24	12
48/32	12
48/48	12
72/48	14

Tabelle 5.7.: Erforderliche Mindestdicke für Betonpflasterplatten (35)

Plattenformat L/B [cm]	Mindestplattendicke [cm]
30/30	10
40/40	12
50/50	14
60/40	16
75/50	18
100/100	18

Für die Anwendung der Tabellen 5.6. und 5.7. wird für Natursteinplatten eine Mindestbiegezugfestigkeit von 10 N/mm² vorausgesetzt. Für Betonpflasterplatten ist die Biegezugfestigkeitsklasse U (charakteristische Festigkeit 5 N/mm², Mindestfestigkeit 4 N/mm²) gemäß ÖNorm EN 1339 maßgebend (RVS 03.08.63 (35)).

Die Standardausführung für Decken aus Pflastersteinen und Pflasterplatten wird in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. In Abhängigkeit von der Steinart, dem Verband und der Mindestdicke werden jeweils drei Untertypen (a, b und c) unterschieden. Die in den Tabellen 5.8. und 5.9. angegebenen Steindicken beziehen sich auf die Mindestnennstärken (weiteres zu Steinformaten und Dicken siehe in Kapitel 4).

Tabelle 5.8.: Bemessungstabelle für Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (gem. RVS 03.08.63)

Lastklasse (n = 20 Jahre)		III	IV	V	VI
BNLW in Mio.		> 0,4 bis 1,3	> 0,1 bis 0,4	> 0,05 bis 0,1	≤ 0,05
Bautype 7a	Großpflastersteine oder ähnl. Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	cm 17 3 20 30 UP	cm 17 3 20 20 UP	cm 17 3 20 20 UP	cm 17 3 12 3 20 30 UP
Bautype 7b	Kleinpflastersteine mit allseitiger Verbundwirkung oder Betonverbundsteine Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	/	cm 10 3 20 30 UP	cm 10 3 20 20 UP	cm 8 3 20 20 UP
Bautype 7c	Kleinpflastersteine oder Betonsteine ohne Verbundwirkung Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	/	/	cm 10 3 20 30 UP	cm 10 3 20 20 UP
		$E_{dUP} > 35 \text{ MN/m}^2$			



ungebundene obere Tragschichte
gemäß RVS 08.15.01 (C_{sov30}, C_{ov30})



Bettungsmaterial gemäß RVS 08.18.01



Kleinpflastersteine im Verband mit allseitiger
Verbundwirkung (Type H1 bis H3 gem.
ÖNORM B 3108 im Segmentbogenverband);
Betonverbundsteinsysteme



ungebundene untere Tragschichte
gemäß RVS 08.15.01 (C_{uv})

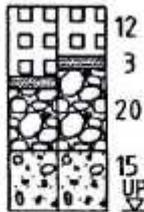
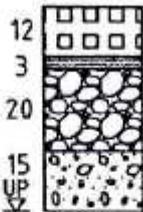
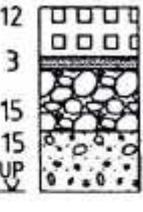
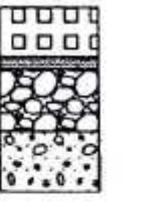
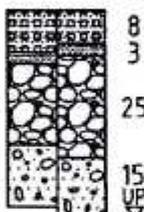
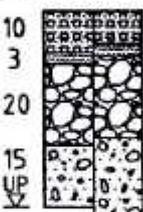
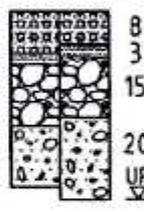
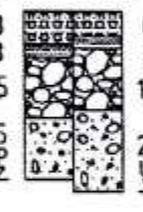
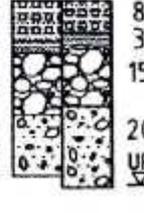
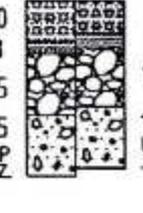


Großpflastersteine Type D1, D3 gemäß
ÖNORM B 3108 oder adäquate
Kunststeinerzeugnisse im Reihenverband
rechtwinkelig bzw. diagonal zur Bezugslinie



Kleinpflastersteine im Verband ohne allseitiger
Verbundwirkung, Betonsteine ohne Verbundwirkung
(im Reihenverband rechtwinkelig bzw. diagonal zur
Bezugslinie, Fischgrätverband)

Tabelle 5.9.: Bemessungstabelle für Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise mit Pflaster- Drainbeton- Tragschicht (gem. RVS 03.08.63)

Lastklasse (n = 20 Jahre)	III	IV	V	VI
BNLW in Mio.	> 0,4 bis 1,3	> 0,1 bis 0,4	> 0,05 bis 0,1	≤ 0,05
Bautype 8a Großpflastersteine oder ähnl. Bettung Pflaster - Drainbeton ungeb. untere TS	cm 17 3 15 15 UP V 	cm 12 3 20 15 UP V 	cm 12 3 15 15 UP V 	cm 12 3 15 15 UP V 
Bautype 8b Kleinpflastersteine mit allseitiger Verbundwirkung oder Betonverbundsteine Bettung Pflaster - Drainbeton ungeb. untere TS	cm 10 3 20 15 UP V 	cm 10 3 20 15 UP V 	cm 10 3 15 15 UP V 	cm 8 3 15 15 UP V 
Bautype 8c Kleinpflastersteine oder Betonsteine ohne Verbundwirkung Bettung Pflaster - Drainbeton ungeb. untere TS	/		cm 10 3 15 15 UP V 	cm 10 3 15 15 UP V 
$E_{TUP} \geq 35 \text{ MN/m}^2$				

 Pflaster - Drainbeton
gemäß RVS 08.18.01

 Bettungsmaterial gemäß RVS 08.18.01

 Kleinpflastersteine im Verband mit allseitiger
Verbundwirkung (Type H1 bis H3 gem.
ÖNORM B 3108 im Segmentbogenverband);
Betonverbundsteinsysteme

 ungebundene untere Tragschicht
gemäß RVS 08.15.01 (C₁₆)

 Großpflastersteine Type D1, D3 gemäß
ÖNORM B 3108 oder adäquate
Kunststeinerzeugnisse im Reihenverband
rechtwinkelig bzw. diagonal zur Bezugslinie

 Kleinpflastersteine im Verband ohne allseitiger
Verbundwirkung, Betonsteine ohne Verbundwirkung
(im Reihenverband rechtwinkelig bzw. diagonal zur
Bezugslinie, Fischgrätverband)

6. Bauausführung, Ursachen für Schadensfälle, Sanierung

In diesem Kapitel wird die praktische Bauausführung von Pflasterbefestigungen mit Hilfe entsprechender Geräte erklärt. Es werden die Ursachen und Merkmale von möglichen Schadensfällen aufgezählt und Vorschläge für deren Sanierung bzw. Vermeidung gegeben.

6.1. Bauausführung

Der Einbau erfolgt vorwiegend in Handarbeit. Bei geeigneten Pflasterformaten ist ein Verlegen mit maschineller Unterstützung möglich, wodurch die Herstellungszeit und -kosten wesentlich reduziert werden.

Durch die nachfolgenden Tabellen wird versucht, einen Überblick über die bauüblichen Materialien, Verlegungsmaßnahmen und notwendigen Geräte für die Herstellung der gesamten Pflasterbefestigung zu geben.

Tabelle 6.1.: Herstellung einer Pflasterbefestigung

Schicht	Material	Stärke [mm]	Verlegung	Maschinen / Geräte	Neigung	Anmerkungen: Erhaltung/ Sanierung
Pflasterdecke	Beton-, Natursteinpflaster und Platten	60 -180	händisch oder maschinell	Verlegemaschine an Größe angepasst oder manuell	0% - 2,5% quer	Durch einfaches Versetzen oder Austausch der Steine/ Platten Reinigung durch Kehren, Saugen
Fugenfüllung	Sand: 0/2-0/4mm Splitt: 2/5mm	3 - 5	einrütteln	Rüttelgeräte, Fugenverfestiger		durch Einkehren von Fugenmaterial neu nachfüllen
Bettung	Sand: 0/2-0/8 mm Splitt: 1/3 mm Brechsand-Splitt-Gemisch: 0/5 mm	30 - 50	einrütteln und gleichmäßig aufbringen	Fertiger, Alulatten	wie Pflasterdecke	Pflastersteine versetzen, neu aufbringen, verlegen große Dicken verschlechtern den Verbund
o.u.TS - Feinplanie	Kantkorn 0/18mm	100 - 300		Rüttelgeräte, Vibrationswalze	1 - 2,5 % quer	Materialaustausch, Nachfüllen, Verdichten
u.u.TS – Frostschicht	Rund- oder Kantkorn 0/30mm	150 - 400		Rüttelgeräte, Vibrationswalze	2,5 - 4 % quer	Materialaustausch, Nachfüllen, Verdichten
Unterbau		-	standfest verdichten		0,5% längs 2,5 - 4 % quer	Bodenverbesserung

Tabelle 6.2.: Geräte, Baumaschinen, Verfahren für die Pflasterbefestigungsherstellung

Maßnahme	Geräte/Maschinen	Befestigungsschicht
Verlegen	Verlegemaschinen, Verlegekarren Spaltpresse Rechen, Kelle Fertiger	Pflastersteine, Pflasterplatten Fugen, Pflasterbeläge Fugenfüllung, Bettung Bettung
Verdichten	Rüttelplatte (mit Gummi oder Hartplastikauflage) Fugenverfestiger Rüttler, Vibrationswalze	Farbsteine, Pflastersteine Fugen o.u.TS, u.u.TS
Kontrolle der Ebenheit, höhen-, winkel- und fluchtgerechte Ausführung	Latten (Profilrohre), Schnur, Kelle, Bauwinkel, Wasserwaage oder Gefällewaage ev. Gräder	Pflasterdecke und Bettung Tragschichten
Pflasterreinigung	Besen, Hochdruckreiniger, Rollbürsten oder Saugkehrmaschinen	Fugen, Pflasterdecke
Fugenverfüllen	Schaufel, Besen	Fugen
Transport	LKW Schubkarre	-

Die Reinigung wirkt sich allerdings fallweise ungünstig auf die Pflasterflächen mit ungebundenen Fugen. Die Saugkehrmaschinen saugen das Fugenmaterial bis zu 10 cm Tiefe aus den Fugen heraus und sollen deshalb stets in horizontaler Richtung absaugen. Besonders nach der Reinigung folgender Flächen soll kontrolliert und bei Bedarf nachgesandt werden:

- neue Flächen, weil die Verkrustung und der Eintrag bindiger Bodenteilchen noch nicht abgeschlossen sind;
- unbewitterte Flächen, weil keine Kohäsion zwischen den Bodenteilchen wirksam bleibt;
- rundkörniges Fugenmaterial, weil keine Verzahnung wie bei Brechsand möglich ist;
- feinkörniger Sand als Fugenmaterial wegen seines geringen Korngewichtes (21).

Herstellungsbeschreibung und Anforderungen

Pflasterdecke

Die Pflastersteine werden in der Regel fluchtgerecht und an den Fugen höhengleich im entsprechenden Verband auf das vorbereitete Pflasterbett verlegt und abgerüttelt. Begonnen wird in einer Ecke mit einem rechten Winkel (Schnur wird eingespannt), wenn möglich am tiefsten Punkt der Fläche. Die Steine dürfen nicht zu eng verlegt werden, die Fugenbreite beträgt mindestens 3 mm. Es ist auf gleichmäßige Fugenlinien zu achten, wobei die Kontrolle alle 2–3 m mittels Schnur oder Latte erfolgen soll. Zu beachten ist die geplante Längs- bzw. Quergefälle. Die Pflastersteine sollen ca. 1 cm über der fertigen Höhe verlegt werden, da das Splittbett beim Abrütteln der Steine verdichtet wird. Die verlegte Fläche darf gleich betreten werden. Bei größeren Flächen ist die maschinelle Verlegung (Verlegekarren, Verlegemaschine) von Vorteil. Dabei muss die Palettengröße auf das Verlegegerät abgestimmt sein.

Bei färbigen Steinen sollen diese immer von mehreren Paletten gemischt verlegt werden. Es dürfen keine Steine mit sichtbaren Mängeln eingebaut werden (Produktions- oder Transportschäden, etc.).

Bei Verbundpflastersteinen sind gegebenenfalls besondere Verlegeanweisungen der Hersteller zu beachten. Es kann zweckmäßig sein, den erforderlichen Abstand der Randeinfassungen durch Auslegen einzelner Steinzeilen vorher zu ermitteln (45).

Die Verlegung begrünbarer Systeme (Rasengittersteine) erfolgt wie bei Verbundsteinen, sie dürfen jedoch nicht abgerüttelt werden. Die Fläche kann sofort befahren werden.

Randsteine werden gegen Verrutschen, Verschieben und als Begrenzung eingesetzt (siehe auch Kap.4.2.). Die Randeinfassung wird vor der Pflasterung eingebaut. Vor Beginn der Einbauarbeiten ist der exakte Standort zu ermitteln. Dabei sind die Rastermaße der Pflastersteine zu beachten, um später unnötige Schneidearbeiten zu vermeiden.

Bettung

Die richtige Wahl und Einbringung der Pflasterbettung sind sehr wichtig, da ein erheblicher Anteil der verkehrsbedingten Verformungen von Pflasterdecken wegen der Verformung des Bettungssandes entsteht. Die Pflasterbettoberfläche muss mit der gleichen geforderten Querneigung und dem gleichen geforderten Genauigkeitsgrad wie die Pflasteroberfläche hergestellt werden.

Auf der fertigen Feinplanie der Tragschicht wird eine Bettung aus Sand, Splitt, oder Brechsand-Splitt-Gemisch (siehe Kapitel 4.3.) in einer Stärke von 3–5 cm lose gleichmäßig stark aufgebracht. Am besten erfolgt das mittels Formrohren mit einem Durchmesser von 3 bis 5 cm, die als Lehre dienen. Dazwischen wird der Splitt aufgefüllt und mit einer Aluminiumlatte abgezogen.

Die Herstellung des Pflasterbettes kann auch mittels Fertiger erfolgen. Die dadurch erzielte Verdichtung der Unterlage ist von Vorteil. Das Betreten des fertigen Pflasterbettes ist jedenfalls zu vermeiden.

Generell gelten bei der Verlegung im Splittbett als auch im Betonbett die Richtlinien der ÖNorm B 2213 und die Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS), sowie ÖNorm B4710-1 für Drainbeton. Beim Versetzen der Steine müssen einschlägige gesetzliche und technische Vorschriften eingehalten werden (29).

Fugenfüllung

Zur Fugenverfüllung wird feines, möglichst scharfkantiges Material (Sand, Kiessand, Brechsand oder Splitt (siehe Kapitel 4.3.)) verwendet, das in die Fugen eingebürstet wird (Bedarf 3–4 Liter/m² je nach Steintyp). Um eine optimale Füllung zu erreichen, sollen dabei sowohl Steine, als auch der Fugensand möglichst trocken sein. Die Fugenbreite soll 3 - 5 mm betragen. Das Schließen der Fuge sollte kontinuierlich mit dem Fortschreiten des Verlegens erfolgen.

Nach dem Schließen der Fugen ist die Pflasterdecke gleichmäßig von den Rändern beginnend zur Mitte hin bis zur Standfestigkeit abzurütteln. Nach dem Abrütteln werden die Fugen wiederum vollständig gefüllt. Dazu wird Fugensand auf der Fläche verteilt und eingebürstet.

Die Verkehrsfreigabe kann unmittelbar nach Abschluss der Herstellungsarbeiten erfolgen. Durch Fugenverfestiger kann verhindert werden, dass durch Hochdruckreiniger oder Saugkehrmaschinen das Fugenmaterial verloren geht, aber auch im Privatbereich Fugensand in den Wohnbereich vertragen wird (46). Die Pflasterdecken sollen regelmäßig kontrolliert werden und beim Bedarf soll nachgesandt werden.

Rütteln

Die Fläche soll sauber von Fugensand gereinigt werden. Mit einer geeigneten Rüttelplatte werden die Steine im trockenen Zustand einmal längs und einmal quer abgerüttelt. Anschließend wird die ganze Pflasterfläche nochmals gründlich eingesandt. Der Fugensand soll, wenn möglich, 2 bis 3 Wochen auf der Fläche liegengelassen werden. Bei färbigen und bossierten profilierten Steinen sowie bei Steinen ohne Fase (Flüsterpflaster) soll unbedingt eine Rüttelplatte mit Plattengleitvorrichtung (Gummiaufsatz) verwendet werden (45).

Untere ungebundene Tragschicht (Frostschuttschicht) und obere ungebundene Tragschicht – Feinplanie

Die möglichst hohe Tragfähigkeit der ungebundenen Tragschichten ist im Hinblick auf ihre Funktion als Unterlage für die darüber liegenden Pflasterdecke von großer Bedeutung. Wichtig sind der Einbau in nicht zu dicken Lagen (ca. 15 bis 20 cm) und die ausreichende Verdichtung. Die projektsgemäße Höhenlage und die entsprechende Ebenheit sind verstärkt zu berücksichtigen und auch zu prüfen. (Richtwert: max. Abweichung der Planie ± 1 cm auf 4,0 m Länge, Höhe ca. 10 cm.) Ein Ausgleich vorhandener Unebenheiten bzw. Mulden in der Unterlage durch den darüber liegenden Bettungssand (bzw. Splittbett) ist jedenfalls zu vermeiden, da dadurch lokale Setzungen im Pflaster entstehen können. Auf das Unterbauplanum wird die Frostschuttschicht aus Rund- oder Kantkorn (Körnung 0/30 mm) aufgebracht und lagenweise verdichtet, die Stärke wird je nach örtlicher Gegebenheit gewählt. Darauf wird eine Tragschicht- Feinplanie aus Kantkorn (Körnung 0/18 mm) aufgebracht, welche gut verdichtet dem späteren Gefälle entsprechend gerichtet sein muss. Die Tragschichten müssen genügend breit ausgeführt werden, um eine ausreichende Unterlage für die seitlichen Randeinfassungen zu bilden. Ein zu schwerer bzw. spurfahrender Baustellenverkehr auf den Tragschichten sollte vermieden werden, um eine Überbeanspruchung dieser Schichten in der Zwischenausbaustufe zu vermeiden (45).

Unterbau

Der Unterbau muss standfest verdichtet werden. Das Gefälle für die Entwässerung im Unterbauplanum ist zu berücksichtigen und soll mindestens 0,5% im Längsgefälle und mindestens 2,5% besser 4 % im Quergefälle betragen.

Die nachfolgenden Abbildungen beschreiben die Vorgehensweisen und die Werkzeuge für die Pflasterdeckenverlegung.

Abb.6.1.: Schematische Verlegeanleitung (45)

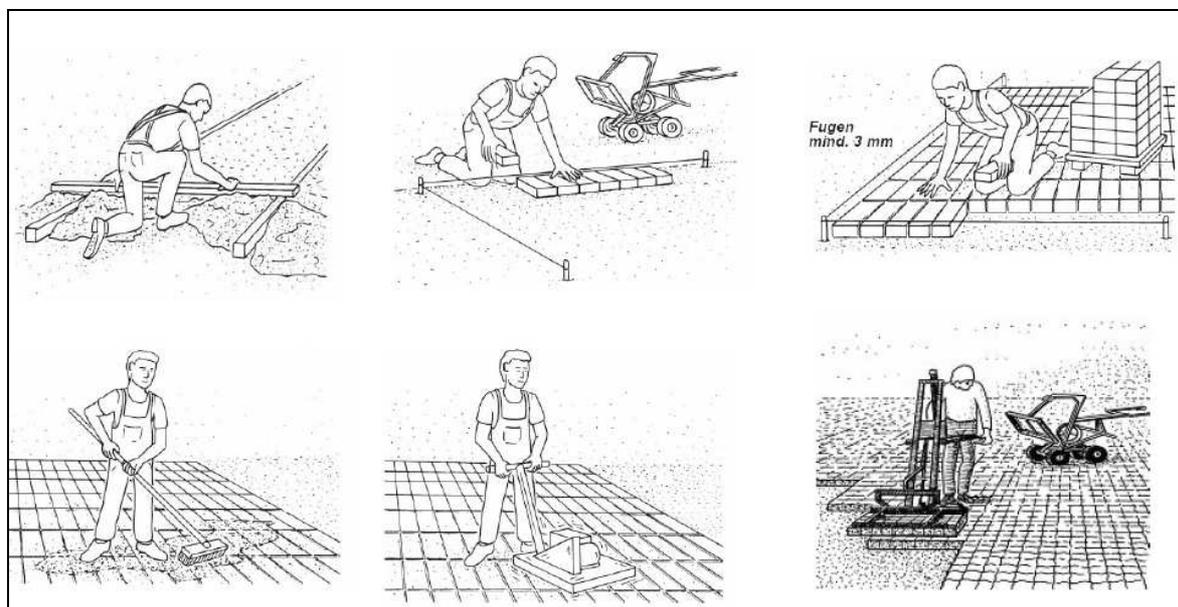


Abb. 6.2.: Rasengittersteine (45)

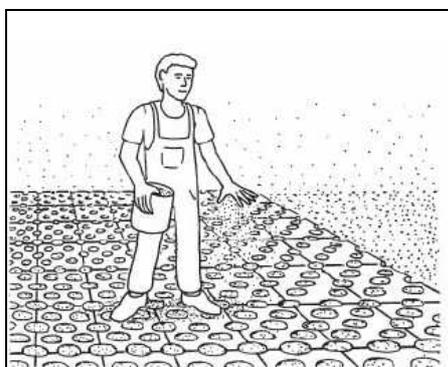


Abb.6.3.: Vorbereitung des Pflasterbettes (23)



Abb.6.4.: Pflasterverlegung (45)



Abb.6.5.: manuelle Pflasterverlegung (46)



Abb.6.6.: Verlegemaschine (47)



Abb.6.7.: Verlegung mit maschineller Hilfe (24)



6.2. Schadensursachen und Sanierung

Eine der wesentlichsten Schadensursachen ist die Ermüdung. Als Ermüdung wird die Abnahme der Festigkeit einer Schicht durch die wiederholte Beanspruchung definiert. Dieser Festigkeitsabfall der Tragschichten darf keine unzulässigen Verformungen des Untergrunds bewirken. Weiters dürfen durch Überbeanspruchung keine vertikalen Verformungen im Untergrund entstehen (10).

Schäden an Pflasterflächen sind nur selten Materialfehler der Steine selbst, sondern liegen meist in der falschen Planung oder Ausführung der Pflasterdecken bzw. der unteren Schichten (15). Bei Entstehen von Schäden werden diese nach derselben Methode wie beim Neubau einer Pflasterbefestigung saniert. Bei Schäden an den Tragschichten bzw. am Unterbau muss die Pflasterschicht jedoch großflächig entfernt werden und kann erst nach Wiederherstellen bzw. Ausbessern der Tragschicht bzw. des Unterbaus wiederverlegt werden.

Die folgende Tabelle 6.3. gibt eine Übersicht über die häufigsten Schäden, deren Ursachen und deren Beseitigung.

Tabelle 6.3.: Auflistung möglicher Schadensursachen und deren Beseitigungsmöglichkeiten nach ENGEL (10), ergänzt

Schaden	Erscheinungsform	mögliche Ursachen	Beseitigung
Oberflächenschäden der Einzelsteine	Optische Mängel, die die Gebrauchstauglichkeit nicht einschränken	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelhafte Nachbehandlung 	Austausch einzelner Steine bzw. großflächiger Ersatz
Kantenschäden oder Bruch der Einzelsteine	Abbrüche der Kanten, durchgehender Bruch einzelner Steine	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau noch nicht ausreichend erhärteter Steine • Unzureichende Betonfestigkeit • Keine Fuge zwischen den Steinen • Verformung der Unterlage 	Austausch einzelner Steine
Rinnen und Wellen in Pflasterdecken	Vertikale Verschiebung ganzer Pflasterbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Unzureichende Standfestigkeit der Unterlage • Unterhöhlung der Pflasterdecke durch Wühltiere • Hebungen durch Gehölzwurzeln • Überbeanspruchung 	Aufnehmen der Steine auf der gesamten Breite und nach Verbesserung der Unterlage Neuverlegen

Schaden	Erscheinungsform	mögliche Ursachen	Beseitigung
Ausbrüche und Verdrückungen an den Rändern der Pflasterfläche	Herauslösen aus dem Pflasterverband, Lücken oder streifenweise Auflockerung des Verbands	<ul style="list-style-type: none"> • mangelnde Standfestigkeit der Unterlage • häufiges Überfahren de Ränder • unzureichende Standfestigkeit des Widerlagers 	Aufnehmen der Steine in Randbereich und nach Neuprofilierung der Unterlage Neuverlegen, außerdem Neuverdichtung des Seitenstreifens
Totalauflösung des Pflasterverbands	Steine liegen ungeordnet auf oder im Planum, Straße ist unbefahrbar	<ul style="list-style-type: none"> • mangelnde Tragfähigkeit der Unterlage • Überbeanspruchung durch Drehbewegungen • Unterspülen de Pflasterdecke 	Aufnehmen der Steine auf der gesamten Breite, Verbesserung oder Neueinbau der Tragschichten, Erneuerung des Pflasterbetts und Neuverlegen der Steine
Schaden durch ungenügende Entwässerung	Die Steine „klappern“ Schleier aus hellem Gesteinmehl auf der Steinoberfläche	<ul style="list-style-type: none"> • Ungenügende Entwässerung • Tragschicht wasserundurchlässig und Wasser kann nicht seitlich entweichen • Fugenmaterial dringt in die Bettung ein oder wird hinausgeschleudert 	Einbau einer Entwässerung und ev. Pflaster neu verlegen
Schaden durch falsche Kombination von Bettung und Fugenfüllung	Die Steine „klappern“	<ul style="list-style-type: none"> • Falsche Kombination von Bettung und Fugenfüllung • Bei gering gestuften Bettungskörnungen 	Abgestuftes Bettungsmaterial und ev. Kombiniert mit Entwässerung des Pflasterbetts
Schaden am Übergang zu anderen Deckenarten	Öffnen der Fuge zw. Fester Fahrbahn und Pflasterdecke Bzw. Zerstörung der Decke	<ul style="list-style-type: none"> • Abrupt wechselnde Steifigkeiten (Asphalt- oder Betonbeläge zu Pflasterdecken) 	bituminöser Fugenverguss

Schaden	Erscheinungsform	mögliche Ursachen	Beseitigung
Schaden durch nicht sachgemäß ausgeführte Einbauten	Steine und Einbauten werden zerstört	<ul style="list-style-type: none"> nicht sachgemäß ausgeführte Einbauten 	Einbauten sollen auf derselben Höhe wie die Steine liegen und seitlich völlig geschlossen sein um das Ausrinnen von Bettung- oder Tragschicht-material zu verhindern
Schaden durch ungeeignete Steintypen oder Steinformate	Gebrochene Steinplatten Verdrehen oder Kippen der Steine	<ul style="list-style-type: none"> für motorisierten Verkehr eingesetzt Verlegung auf wasser- undurchlässige Tragschichten 	Gedrungene Steinformate oder Steine mit besserer Verbundwirkung Industriepflaster: $L/D > 2$ Fußgängerzone: $L/D > 4$
Ausblühungen	Weißes Kalkmehl auf der Steinoberfläche Reduktion der Griffigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Ablagerung von im Wasser gelöstem Kalk 	Verschwinden durch Witterungsereignisse nach 1-2 Jahren von selber oder Auswaschen Vermeiden von Kondenswasser in der Pflastersteinverpackungsfolie
Schaden durch unzureichende Untergrundtragfähigkeit	Setzungen in der Pflasterdecke	<ul style="list-style-type: none"> Falsch gewählte Sieblinien nicht tragfähiger Untergrund 	Veränderung der Kornzusammensetzung der Schichten

7. Umweltbelastung und Umweltschutz

7.1. Emissionen durch Lärm und Schadstoffbelastung

Die wesentlichen Kriterien zur Beurteilung der Umweltbilanz von Oberbaumaterialien und Bauweisen für die Befestigung von Verkehrsflächen sind:

- Ressourcenverbrauch in der Produkterzeugung und Vertriebskette der Baumaterialien (Kriterien: Energie-, Rohstoff- und Landschaftsverbrauch) bis zur Anlieferung an der Baustelle;
- Ressourcenverbrauch durch die Baumaßnahmen und das Verkehrsbauwerk selbst (Kriterien: Flächenverbrauch, Bodenversiegelung, Trennwirkung für Mensch und Tier)
- Emissionen und Umweltfolgen durch Bau und Betrieb (Lärm, Schadstoffe, Entsorgung von Problemstoffen, Freisetzen von Stoffen bei Unfällen)
- Gebrauchseigenschaften für die Nutzer (Gebrauchsdauer, Erhaltungsaufwand)
- Wiederverwertbarkeit (Recyclierfähigkeit) nach Gebrauchsdauer.

Es muss betont werden, dass nicht in erster Linie die Straßenbaumaterialien umweltrelevant sind, sondern die Art ihrer Verwendung und der Straßenverkehr selbst. Es gibt nur wenige ökotoxisch relevante Baustoffe (42).

Die Emissionen durch Lärm und Schadstoffe entstehen durch den Straßenverkehr und werden beeinflusst durch:

- Fahrzeuge (technologische Aspekte, Wartungszustand, etc)
- Verkehrsablauf und Fahrweise (Verkehrsmenge, Zusammensetzung des Verkehrs, Fahrgeschwindigkeit, Flüssigkeit des Verkehrs, etc)
- Eigenschaften der Straße (Längsneigung, Kurvigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Kreuzungsgestaltung und -regelung, etc)
- Witterungsbedingungen (Nässe, Trockenheit, Hitze, Wind, etc)
- Verkehrsrechtliche Rahmenbedingungen (zeitliche und räumliche Verkehrsbeschränkungen, wie Tempolimits, Nachtfahrverbote, etc)
- Lage der Straße im Gelände (z.B. Einschnitte), Abschirmungsmaßnahmen (Lärmschutzwände, Lärmschutzdämme, Bebauung, Wald mit ausreichender Tiefe, etc.)

Emissionen werden straßenbaulich durch alle Maßnahmen verringert, welche einen gleichmäßigen, harmonischen Geschwindigkeitsverlauf erzielen (Tempo 30 bis 80 km/h). Lärmquellen sind die Betriebsgeräusche der Fahrzeuge (z.B. Motor und Reifenrollgeräusch).

Das Befahren von Pflasterflächen mit Kraftfahrzeugen verursacht mehr Straßenlärm als das Befahren von Asphalt. Je nach gefahrener Geschwindigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Pflasterdecke kommen unterschiedliche Pegelerhöhungen zustande. Eine Lärmerhöhung entsteht durch raue Steinoberflächen mit breitem Fugenabstand (größer 5 mm) sowie gefasteten oder gebrochenen Steinkanten. Eine Lärminderung kann dagegen durch eine möglichst glatte Belagsoberfläche mit geringem Fugenabstand und großen Steinformaten erzielt werden. Um dem Problem des Reifen- Fahrbahn- Geräusches beim Befahren von Pflasterflächen entgegen zu wirken, sollten die Pflasterbefestigungen nur in Bereichen mit geringer Fahrgeschwindigkeit (30 km/h und weniger) angelegt werden (42).

7.2. Ver- und Entsigelung

Aus ökologischen Gründen ist die Reduktion der versiegelten Fläche anzustreben. Die Oberflächenentsiegelung hat als Folge eine lokale Regenwasserversickerung und trägt somit zur Grundwasserneubildung bei. Das kann entweder beim Neubau von Straßen durch Einrichtung wasserdurchlässiger Pflasterbefestigungen, oder aber nachträglich durch die so genannte Entsigelung von bestehenden Verkehrswegen erfolgen.

Folgende Empfehlungen sollten für die Befestigung von Verkehrsflächen berücksichtigt werden (nach 42):

- bei Neubau von Verkehrsflächen durch die Befestigung des Oberbaues möglichst wenig zusätzliche Fläche neu zu versiegeln und Straßenquerschnitte (insbesondere die Fahrbahnen innerörtlicher Straßen) äußerst sparsam zu dimensionieren;
- bestehende Verkehrsflächen, wo immer möglich, im Zuge von Sanierungen und Umbauten durch durchlässigen (sickerfähigen) Deck- und Tragschichtaufbau zu entsiegeln;
- im Planungsstadium wie auch im Zuge von Neugestaltung von Querschnitten in der Entwässerung von Verkehrsflächen durch die Zwischenschaltung von Abflussspeichern und Sickerbereichen vor dem Anschluss an eine Straßenkanalisation oder vor der Einleitung in ein Oberflächengewässer eine "Entkoppelung von Abflussflächen" zu erreichen.

7.3. Wasserbelastung

Schädliche Inhaltsstoffe aus der Befestigung von Verkehrsflächen können im eingebauten Gebrauchszustand Luft, Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser belasten. Die Verschmutzung der Oberflächenwässer von Straßen wird von mehreren Faktoren beeinflusst, die in Wechselwirkung zueinander stehen. Sie hat im Wesentlichen verkehrsbedingte (Straßenparameter) und nicht verkehrsbedingte (Umweltparameter) Ursachen (35).

Verkehrsbedingte Ursachen:

- Fahrbahnabrieb, Reifenabrieb, Abrieb von Bremsbelägen
- Tropfverluste (Schmierstoffe, Treibstoffe)
- Kraftstoffverbrennung
- Winterdienst (Splitt, Auftaumittel)

Die Oberflächenwasserbelastung wird beeinflusst zusätzlich durch:

- Wind und Trockenzeit
- Straßenreinigung und Einzugsflächen
- Art und Rauheit der Fahrbahnoberfläche
- Längs- und Querneigung der Fahrbahn
- Art, Dauer und Intensität des Niederschlags
- Fließweg und Fließzeit

Verglichen mit den Schadstoffen aus anderen verkehrsbedingten Emissionsquellen (z.B. Abgase, Öle, Metallstäube) kann die potentielle Umweltbelastung aus teerfreien Oberbaumaterialien als gering eingeschätzt werden.

Die ökologische Bewertung der verwendeten Materialien ist davon abhängig, ob unter Wasserzutritt z.B. aus dem Fahrbahnmaterial bedenkliche Stoffe ausgelaugt und ins Grundwasser verfrachtet werden können. Weitgehend unbedenklich sind nach (42):

- natürliche Erd- und Steinmaterialien
- teerfreie bituminöse Bindemittel für Heißeinbau (Walzasphalt, Gussasphalt)
- Zementbeton mit natürlichen mineralischen Zuschlagstoffen

Neben dem Materialeignungsnachweis sollten auch die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse und die Vorbelastung des Wassers und Grundwassers (Stellungnahme der Wasserrechtsbehörde) einbezogen werden. Die Gefahr der Auslaugung ist besonders groß, wenn diese Stoffe als Schüttgut ungeschützt der Witterung ausgesetzt sind (42).

7.4. Aufwand für die Herstellung von Pflasterbefestigungen

Der notwendige Energiebedarf für die Herstellung verschiedener Deckenmaterialien ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 7.1.: Energieaufwand bei der Herstellung verschiedener Deckenmaterialien (42)

Material	Energiebedarf [MJ/ m ²]
Wassergebundene Decke	5 – 55
Schotterrasen	20 – 30
Mosaik- und Kleinsteinpflaster	20 – 50
Mittel- und Großsteinpflaster	30 – 80
Rasengittersteine	150 – 200
Verbundpflaster	150 – 220
Klinkerplatten	310 – 370

Zeitaufwand:

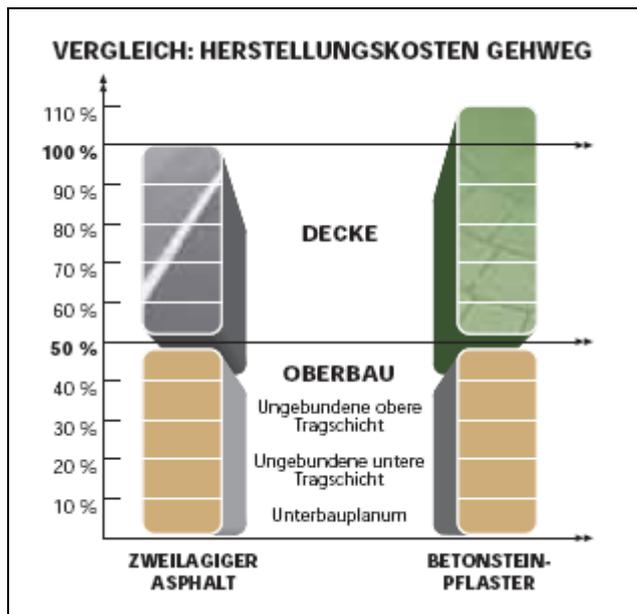
Die manuelle Herstellung ist grundsätzlich zeitaufwändiger als die maschinelle. Die Zeitdauer für die Herstellung hängt auch von der Größe der verwendeten Steine ab. Für die Verlegung kleinerer Steine wird in der Regel mehr Zeit gebraucht.

Kosten fallen an für:

- Erdarbeiten
- Untergrundentwässerung
- Verdichtung und Profilierung des Untergrunds
- Transport der Baustoffe
- Einbau, Verdichtung und Profilierung jeder Schicht
- Verlegung der Steine und deren Verdichtung (inkl. Bettungs- und Fugensand)

Vielfach wird festgestellt, dass Pflasterbefestigungen bezüglich der Materialkosten teurer als die Beton- und Asphaltbefestigungen sind. Hinsichtlich Herstellungs- und Erhaltungskosten sind die Pflasterbefestigungen etwa gleichwertig den Asphaltbefestigungen und den Betonbefestigungen. Dies ist jedoch im Einzelfall anhand von Berechnung der Lebensdauerkosten zu verifizieren.

Abb. 7.1.: Vergleich: Herstellungskosten Gehweg (46)



Bei Berücksichtigung der Kosten für Tragschichten ergeben sich Mehrkosten von 10 – 20 % für Betonsteinpflasterflächen im Vergleich zu Asphaltdecken. Es sollten jedoch nicht nur die Kosten des Baustoffes, sondern auch die Qualität, Design und Kosten über die gesamte Lebensdauer des Verkehrsweges bewertet werden (46).

Durch die maschinelle Verlegung von Pflastersteinen werden die Herstellungskosten weiter reduziert.

7.5. Recycling

Die bei der Erneuerung bzw. beim Umbau von Verkehrsflächen anfallenden Altbaustoffe (im Wesentlichen: Asphaltaufbruch, Betonaufbruch, Pflastersteine, Erde, Kies und Schotter) sind nach Möglichkeit wieder zu verwenden. Die gewonnenen Materialien sind zufolge Kornzertrümmerungen und Verunreinigungen i.d.R. geringwertiger als das Ausgangsmaterial.

Bei der Verwertung wird unterschieden nach:

- Wiedergewinnung des ursprünglichen Baustoffes (Pflastersteine, Erde, Kies, etc.) und Wiederverwendung in der ursprünglichen Bauweise.
- Untergeordnete Verwendungen von aufgebrochenen Befestigungen (Tragschichten, untergeordnetes Wegenetz, Parkplätze etc.) statt "neuem" Material.
- Beimengung zu anderen "Neu-Baustoffen" (maximal zu 50%)

Die Pflasterdecken zeichnen sich durch geringe Entsorgungskosten, lange Lebensdauer, oftmalige Wiederverwendbarkeit und Rezyklierfähigkeit aus (42).

Abb. 7.2.: Wiederverwendung von Pflastersteinen (46)



Nach Aufgrabungen werden die ursprünglichen Steine wieder eingebaut.

8. Wasserdurchlässige (ökologische) Pflasterbefestigungen – Systemarten

8.1. Definition

Die wasserdurchlässigen oder so genannten ökologischen Pflasterbefestigungen ermöglichen eine ungehinderte Einsickerung des einfallenden Niederschlagswassers von der Verkehrsoberfläche in den Untergrund. Sie bestehen aus einer wasserdurchlässigen Pflasterdecke (Pflastersteinen, Pflasterplatten oder Drainbeton- Pflastersteinen und entsprechender wasserdurchlässigen Fugenfüllung) in einer wasserdurchlässigen Bettung und wasserdurchlässigen oberen und unteren Tragschichten (siehe auch Kapitel 2 und Kapitel 4).

Wasserdurchlässige Pflaster sind überall möglich, wo sie aufgrund bodenmechanischer, hydrogeologischer und sonstiger Bedingungen zugelassen sind. Das Sickerwasser muss so gering belastet sein, dass es nicht zu einer Gefährdung von Boden, Vegetation und Grundwasser führen kann. Schadstoffbelastetes Oberflächenwasser muss einer Behandlungsanlage zugeleitet werden. Flächenbefestigungen, die im Winter eisfrei gehalten werden müssen, sollten nicht mit wasserdurchlässigem Pflaster ausgeführt werden (44). Andererseits darf z. B. nach der Wiener Bauordnung (§4 und §5 m)) (20) kein Regenwasser ins Kanalnetz fließen, wenn die Voraussetzungen zur Versickerung stimmen.

8.2. Anforderungen und Einsatzbereiche

Alle in dieser Arbeit bislang behandelten Grundsätze und Anforderungen sind auch für die wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen allgemein gültig. Es gibt jedoch bestimmte Beschränkungen und Besonderheiten, die vor deren Anwendung unbedingt in Betracht gezogen bzw. eingehalten werden müssen.

Die wichtigsten Beurteilungskriterien für den korrekten Einsatz von sickerfähigen Oberflächenbefestigungen, d.h. keine zusätzliche Umweltbelastung zu verursachen und optimalen Fahrkomfort und ausreichende Verkehrsbedingungen zu gewährleisten, werden nach (42) folgendermaßen definiert:

- Tragfähigkeitsanforderungen hinsichtlich Verkehrslasten und Frost-sicherheit
- erhöhte Anforderungen bestimmter Verkehrsnutzungen an den Geh- und Fahrkomfort
- Versickerungsleistung abhängig von Deckschichtmaterial (Durchlässigkeit k_f - Wert $> 5,4 \cdot 10^{-5}$), Oberbaukonstruktion und Oberflächengefälle
- Dauerhaftigkeit der Versickerungsleistung hinsichtlich Verschlammung der Sickerwege (Poren, Fugen, etc.)
- Häufigkeit und Ergiebigkeit von Starkregen
- Wasserspeicherfähigkeit verschiedener Befestigungssysteme (eine kurzfristige Speicherfunktion von 200 bis 270 l/(s.ha) sollte rückstaufrei gewährleistet sein)
- Eignung des Untergrundes (ausreichende Durchlässigkeit k_f - Wert 10^{-3} bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s, ausreichende Mächtigkeit und Filterwirkung, Zusammensetzung, pH-Wert, etc.)
 - Flurabstand zur Grundwasseroberfläche ≥ 2 m
 - Mächtigkeit des durchlässigen Untergrundes > 1 m
- Grundwasserverhältnisse hinsichtlich Grundwasserstand, Vorbelastung und Nutzung
- erhöhte Anforderungen an Grundwasser- und Quellschutz in sensiblen Gebieten (Wasserschutzgebiete, ungünstige Untergrundverhältnisse und Grundwasserstände, etc.)
- Schadstoffbelastung der Oberflächenwässer auf bzw. von den Verkehrsflächen.
- erhöhter Geräuschpegel bei entsprechender Verkehrsbelastung (besonders bei großformatig angelegtem Natursteinpflaster mit breitem Fugenabstand).

Die wasserdurchlässigen Pflasterdecken sind auf Grund ihres Aufbaus für höhere Verkehrslasten nur bedingt geeignet. Ihr Einsatzbereich beschränkt sich deswegen derzeit auf:

- Parkplätze und Raststellen
- Vorplätze, Stadt- bzw. Dorfplätze
- Gehsteige und Fußgängerzonen
- Rad- und Gehwege
- Garagenzufahrten und Hauseinfahrten
- Feuerwehruzufahrten
- Innenhöfe
- Anliegerstraßen
- Lagerflächen, Industrie- und Gewerbeflächen mit geringem Schwerlastverkehr

Darüber hinaus sollen bei der Auswahlentscheidung der Befestigungsdeckenart auch folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- maßgebende Beanspruchung der Fläche und davon resultierende Lastklassenzuordnung (siehe Kapitel 5);
- Kosten- Nutzen- Analyse verschiedener Deckenarten von der Herstellung bis zu deren Erhaltung.

8.3. Versickerungsfähigkeit und Entwässerung

Bemessungsregen

Wasserdurchlässige Flächenbefestigungen sollen den anfallenden Niederschlag zur Versickerung bringen. Ein Einstau des Niederschlags auf der Verkehrsfläche bzw. im Oberbau der Flächenbefestigung soll im Regelfall ausgeschlossen werden, um Tragfähigkeit sowie Verformungsstabilität nicht zu beeinträchtigen. Andererseits kann wegen der vorhandenen Baugrundverhältnisse sowie aus Wirtschaftlichkeitserwägungen nicht jeder Extremniederschlag bei der Bemessung berücksichtigt werden. Maßgeblich ist die Regenmenge, die pro Zeiteinheit auf einer Fläche auftritt. Sie wird als Regenspende q_N in $l/(s \cdot ha)$ oder Intensität in mm/min ausgedrückt (5).

Die maßgebende Regenintensität kann innerhalb eines Landes je nach Ort stark schwanken und ist auf die jeweiligen örtlichen Verhältnisse abzustimmen. Üblicherweise wird für die Dimensionierung von Flächenversickerung zunächst ein Regen von 5 Minuten Dauer zugrunde gelegt (nach ÖNorm B 2506-1). Genaue Regenspenden sind den Planungsvorgaben zu entnehmen, bzw. können bei den örtlichen Ämtern erfragt werden.

Üblicherweise wird bei der Versickerung eine Überschreitung von einmal in fünf Jahren zugelassen ($n = 0,2$), so dass sich die Regenmenge um den Faktor 1,78 erhöht (1). Z.B. nach Vorgaben des Amtes der Vorarlberger Landesregierung (2) wird für Raum Bregenz eine Regenspende von 250 $l/(s \cdot ha)$ angenommen.

Österreichs übliche Bemessungsregenspenden von 200 - 270 $l/(s \cdot ha)$ erfordern einen Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens von $k_f > 5,4 \cdot 10^{-5} m/s$, wobei berücksichtigt wird, dass in Oberbau, Unterbau und Baugrund luftgefüllte Poren die Wasserdurchlässigkeit um bis zu 50 % verringern können. Pflaster, Bettung und Tragschicht können an den Bemessungsregen angepasst werden (5). Falls der vorhandene Boden keine vollständige Versickerung des Bemessungsregens ohne Einstau des Oberbaus ermöglicht (z.B. bei schwachbindigen Böden), soll wegen der Aufweichungsgefahr dieser Einstau durch spezielle Entwässerungsmaßnahmen verhindert werden.

Die erforderlichen Daten für die Dimensionierung der Sickeranlagen (Regenhöhen bei bestimmter Regendauer und Jährlichkeit) sind bei den hydrologischen Dienststellen (Hydrographisches Zentralbüro Wien oder hydrologische Landesdienststellen) zu erheben oder den hydrographischen Veröffentlichungen (Jahrbüchern) zu entnehmen. Die genaue Dimensionierung von Sickeranlagen wird in ÖNorm B 2506-1 (31) behandelt.

Die folgenden Abbildungen 8.1. und 8.2. stellen Beispiele für Bemessungsregenspenden zentraler Versickerungsanlagen mit 1- und 10-jähriger Überschreitungshäufigkeit ($n = 0,1$ und $n = 1$) und eine Regendauer von 15 Minuten dar.

Abb.8.1.: Räumliche Verteilung der empfohlenen Bemessungsregenspenden für den $r_{15,1}$ nach BMLFUW (2006) (4,31)

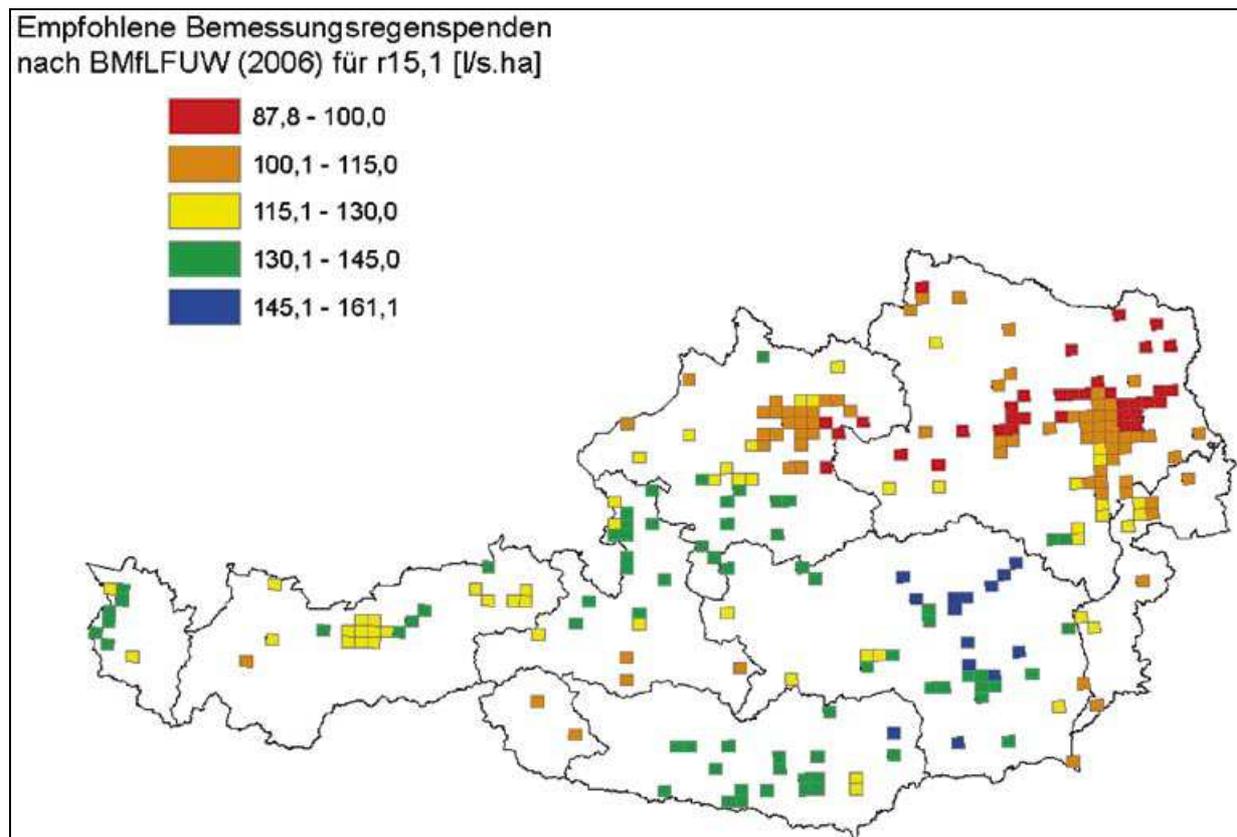
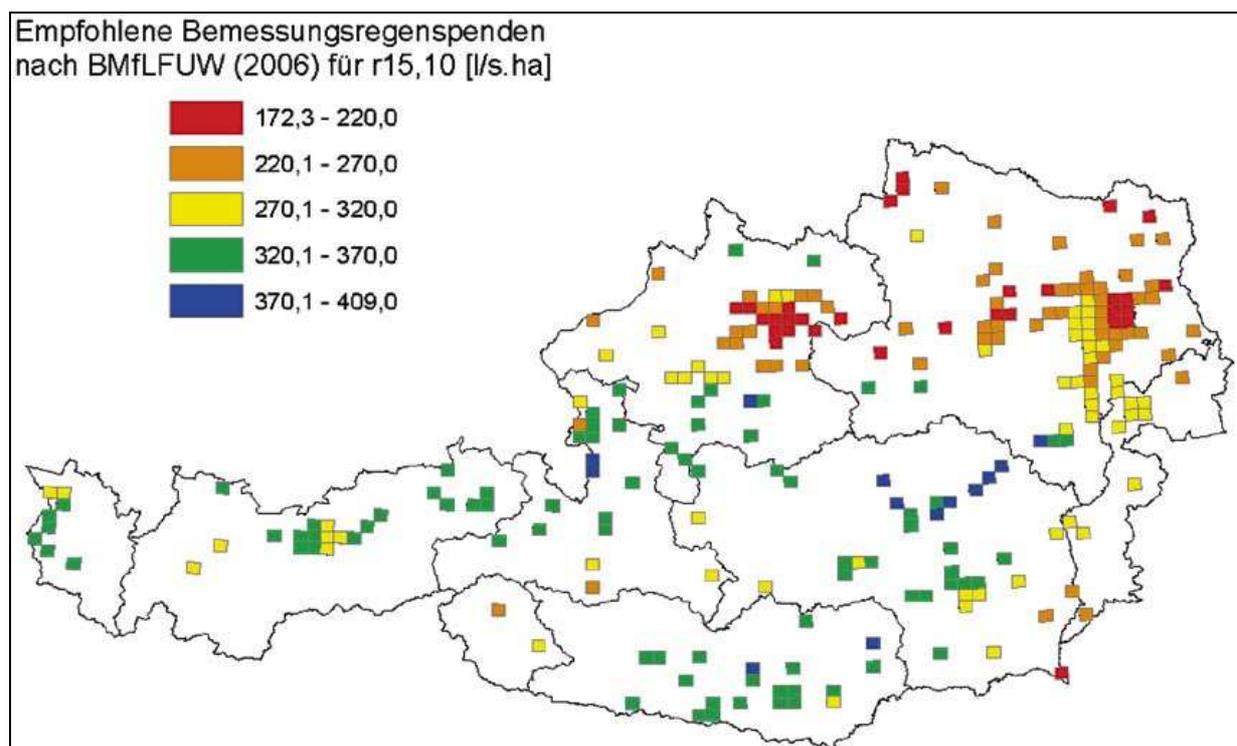


Abb.8.2.: Räumliche Verteilung der empfohlenen Bemessungsregenspenden für $r_{15,10}$ nach BMLFUW (2006) (4,31)



Versickerung und Sickerleistung

Die wirksamste Maßnahme der Regenwasserbewirtschaftung besteht in der Verminderung der Niederschlagsabflüsse. Flächen, von deren Nutzung mit hoher Sicherheit keine Gewässer- und Grundwassergefährdung ausgeht, sollten in der Regel wasserdurchlässig gestaltet oder entsprechend entsiegelt werden. Mögliche Maßnahmen sind:

- Vermeidung von vollständig und dicht versiegelten Flächen (Lager-, Manipulations-, Parkflächen, etc.)
- Gering verschmutzte Flächen, wie z.B. untergeordnete Lager- und Verkehrsflächen sowie Parkplätze, durch Verwendung von Rasengittersteinen (Rasenfugenpflaster), porigen Betonsteinen (Sickersteine, Porenpflaster), Schotterrasen, Kies- Splitt- Decken, Pflaster ohne Fugenverguss (Sickerfugensteine) möglichst durchlässig gestalten
- Nachträgliche Entsiegelungen durch Änderung in die angeführten Befestigungsarten [33]

Welche technische Lösung zur Versickerung ausgewählt wird bzw. ob überhaupt eine Versickerung möglich und sinnvoll ist, hängt ab nach (5) von:

- der Verkehrsbelastung,
- der Regenwasserverschmutzung,
- den Baugrundverhältnissen,
- dem notwendigen Fahr- und Gehkomfort sowie der Fahrsicherheit,
- den Kosten für Herstellung und Erhaltung,
- den stadt- und landschaftsarchitektonischen Forderungen,
- der optischen Gestaltung.

(siehe auch Kapitel 3 und Kapitel 8.2.)

Tabelle 8.1 fasst die Anforderungen an die Versickerung unterschiedlich genutzter Bauflächen zusammen.

Tabelle 8.1.: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche und Anforderungen an die Versickerung nach (2)

Flächentyp	Art und Nutzung der Fläche	Anforderungen
F1	Dachflächen ohne Hintergrundbelastung durch verkehrs- und produktionsbedingte Emissionen, normal verschmutzt, mit üblichen Anteilen an unbeschichteten Metallen aus Kupfer, Zink und Blei (< 5-10 % der Gesamtdachfläche).	Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist anzustreben; die unterirdische Versickerung über Rigole oder Schächte ohne Oberbodenpassage gilt aber als unbedenklich.

Tabelle 8.1.: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche und Anforderungen an die Versickerung nach (2)

Flächentyp	Art und Nutzung der Fläche	Anforderungen
<p>F2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rad- und Gehwege außerhalb des Sprühhahnenbereiches stark frequentierter Straßen; ▪ Betriebliche Lagerflächen mit unbedenklichen, nicht wasser-gefährdenden Lagerungen; ▪ wenig befahrene Straßen (Anliegerstraßen) und Parkplätze für PKW ohne häufigen Fahrzeugwechsel (z.B. Büro- und Wohngebäude) mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) bis 500 Kfz/24 h. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Versickerung über eine Oberbodenpassage ist anzustreben. Die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage (Rigolenversickerung, keine Schachtversickerung) kann in Ausnahmefällen toleriert werden, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist und eine geeignete Vorreinigung (z.B. Schlammfangschacht mit Tauchbogen beim Ablauf, Adsorptionsfilter(matten) ausgeführt wird. ▪ Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge (Porenpflaster, Sickerfugensteine) ist in der Regel zulässig.
<p>F3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachflächen mit hoher Hintergrundbelastung durch produktions- und verkehrsbedingte Emissionen. ▪ Straßen mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) von 500 bis 15.000 Kfz/24h oder regelmäßigem Viehtrieb. ▪ Parkplätze für PKW mit Fahrzeugbewegungen von 500 bis 5.000 Kfz/24h (Lebensmittel- und Fachmärkte). ▪ Park- und Stellflächen für LKW, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen (z.B. Verluste von Treib- und Schmierstoffen, Frostschutzmitteln, Flüssigkeiten aus Brems- oder Klimatisierungssystemen) ausgeschlossen werden kann. ▪ Betriebliche Lager- und Verkehrsflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation ausgeschlossen werden kann. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die flächenhafte Versickerung über eine Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. ▪ Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge (Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster) ist in Ausnahmefällen zulässig, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist.

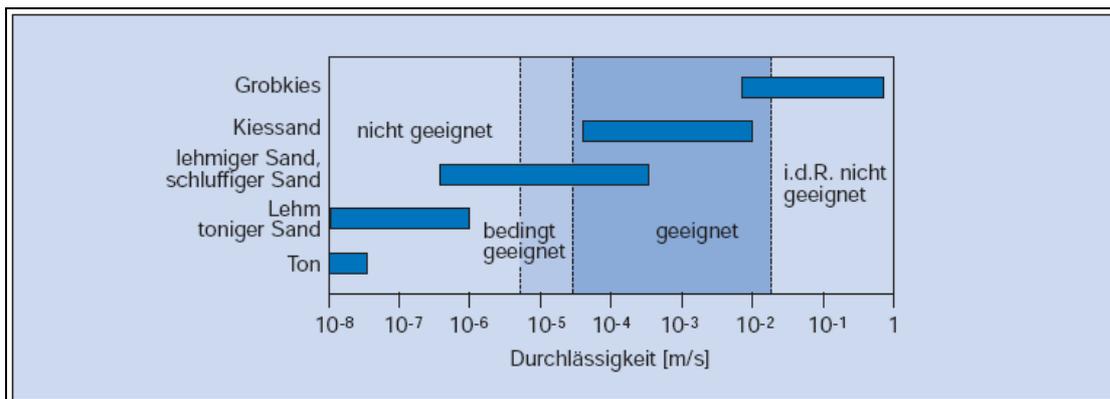
Tabelle 8.1.: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche und Anforderungen an die Versickerung nach (2)

Flächentyp	Art und Nutzung der Fläche	Anforderungen
F4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachflächen mit Anteilen an unbeschichteten Eindeckungen und Installationen aus Kupfer, Zink und Blei, wenn bei Versickerungsanlagen $A_{\text{Metall}} > 50 \text{ m}^2$ und bei Einleitungen in Oberflächengewässer $A_{\text{Metall}} > 500 \text{ m}^2$ liegt. ▪ Parkplätze für PKW mit Fahrzeugbewegungen über 5.000 Kfz/24h (z.B. Einkaufszentren, Großmärkte). ▪ Straßen mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) über 15.000 Kfz/24h und überregionale Hauptverkehrsstraßen unabhängig vom Verkehrsaufkommen. ▪ Betriebliche Lager- und Verkehrsflächen mit erhöhter Verschmutzung z.B. durch Manipulationen, Ladegutverluste. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die flächenhafte Versickerung über eine Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. ▪ Eine Vorbehandlung vor der Versickerungsanlage ist in der Regel erforderlich (z.B. Absetzbecken, Verkehrsflächenabscheider, Filtrationsanlage). ▪ Die Versickerungsleistung ist unabhängig von der Durchlässigkeit (k_f-Wert) des verwendeten Bodens höchstens mit 10^{-5} m/s (Sickergeschwindigkeit $v_f = 0,6 \text{ mm/min}$) anzusetzen.
F5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Park- und Stellplätze für LKW mit häufigem Fahrzeugwechsel, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. ▪ Betriebliche Lager- und Verkehrsflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die flächenhafte Versickerung ist in der Regel nur mit Vorbehandlung vor der Versickerungsanlage mit anschließender Kontrollmöglichkeit zulässig. Bei Risikoflächen ist ein Anschluss an den Schmutz- oder Mischwasserkanal vorzusehen.

Bei einer Kombination mehrerer Flächen gilt die jeweils strengste Anforderung. Damit soll gewährleistet werden, dass Niederschlagsabflüsse der Flächen F3 (im Regelfall) und F4 (generell) über eine bewachsene Oberbodenschicht flächenhaft versickert werden und dass Niederschlagsabflüsse der Flächen F5 nicht oder nur unter besonderer Überwachung versickert werden. Eine Verunreinigung des Grundwassers ist bei den Flächentypen F2 und F3 bei einem Flurabstand zwischen maßgeblichem Sickerhorizont und mittlerem höchstem Grundwasserspiegel über 1 m und bei entsprechendem Aufbau des anstehenden Bodens (Durchlässigkeit $k_f < 10^{-4} \text{ m/s}$) nicht zu erwarten (2).

Die Sickerleistung der Pflasterbefestigungen hängt von der Sickerfähigkeit aller einzelnen Tragschichten ab. Tragschichten sollen eine kurzfristige Speicherfunktion und eine gute Wasserspeicherfähigkeit aufweisen. Das Einsickern von 200 bis 270 l/(s.ha) sollte rückstaufrei erfolgen können, falls Rasenvegetation, z.B. beim Einsetzen von Rasengittersteinen, mit Wasser versorgt werden muss. Der Durchlässigkeitsbeiwert eines ungesättigten Bodens ist geringer als der eines wassergesättigten Bodens. Abbildung 8.3. zeigt die Versickerungsleistung verschiedener Bodenarten.

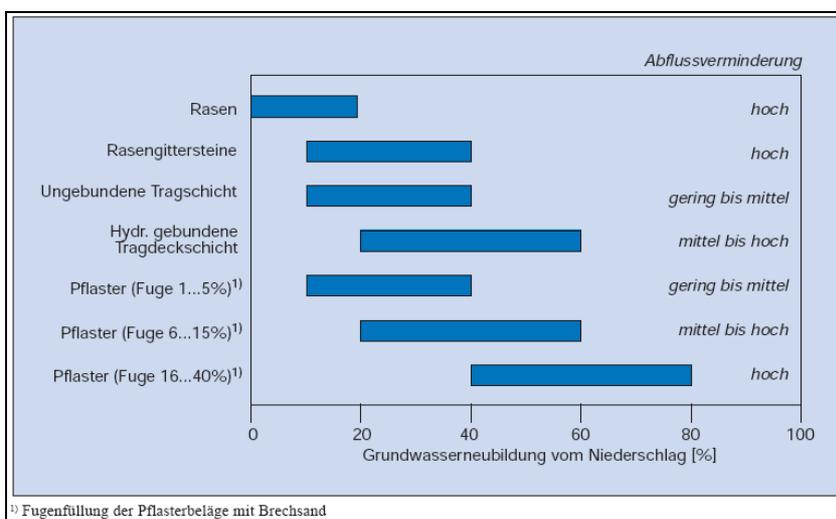
Abb. 8.3.: Durchlässigkeit und Eignung zur Regenwasserversickerung bei verschiedenen Bodenarten [5]



Bei k_f Werten des Baugrunds zwischen $5,4 \cdot 10^{-6}$ m/s und $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s (Lehm, Ton) kann möglichen Tragfähigkeitsverlusten durch eine Erhöhung der Oberbaudicke entgegengewirkt werden. Bei noch geringerer Durchlässigkeit des Untergrunds ist die Entwässerung des Baugrundplanums erforderlich [5].

Abbildung 8.4. verdeutlicht den Einfluss der Oberflächenausbildung auf Grundwasserneubildung und Abflussverminderung.

Abb.8.4.: Grundwasserneubildung und Abflussverminderung bei verschiedenen Oberflächen [5]



¹⁾ Fugenfüllung der Pflasterbeläge mit Brechsand

Anmerkung: hydraulisch gebundene TS = wassergebundene TS

Eine grobe Beurteilung der Versickerungsleistung verschiedener Oberflächenbefestigungen kann noch nach Tabelle 8.2. erfolgen.

Tabelle 8.2.: Versickerungsleistung verschiedener Verkehrsflächenbefestigungen im Neuzustand und nach einigen Jahren Liegezeit (Maßgebend ist meist die Fugenausbildung, einige Angaben beruhen auf Annahmen) (42)

Befestigungsmaterial	Versickerungsleistung		Anmerkungen
	Neuzustand	Nach Jahren	
Mosaikpflaster, Kleinsteinpflaster, Großsteinpflaster	+	+	alle Gestaltungsmöglichkeiten, Kleinstein als Baumscheibenabdeckung, Großstein mit Fahrrad nicht komfortabel befahrbar
Betonpflaster und Klinker	++	+	maschinell verlegbar, preiswert
Holzpflaster mit Kiesfugen	+++	++	Rutschgefahr bei Nässe
Pflaster mit Dränfugen oder Sickeröffnungen	+++	++	relativ angenehm zu begehen
Asphalt - Recyclingmaterial	+++	+	lokale Versiegelungs- erscheinungen bei hohem Bindemittelanteil
Dränsteinpflaster, poröse Asphalt- oder Betonbefestigungen	+++	+	Verstopfen der Dränporen zu befürchten, Untergrund- verschmutzung möglich
Rasengitter aus Beton oder Kunststoff	+++	+++	sehr schlecht begehbar, mit Rädern und Rollstühlen nicht befahrbar
Wassergebundene Decke	++	-	wird durch Verschlammung dicht
Schotterrasen, Rindenhäcksel, Betonspurweg	+++	+++	für verschiedene spezielle Anwendungen geeignet
herkömmliche Asphalt- oder Zementbetondecken	-	-	in gutem Zustand dicht

- +++ sehr hohe Versickerungsleistung (> 240 l/s.ha)
- ++ hohe Versickerungsleistung (100 - 240 l/s.ha)
- + mittlere Versickerungsleistung (50 -100 l/s.ha)
- geringe Versickerungsleistung (< 50 l/s.ha)
- dicht

Die Durchlässigkeit der Mineralstoffgemische für Pflasterbettung und Füllung soll vom Lieferanten bzw. Herstellern erfragt werden. Als Richtwert können auch die Durchlässigkeitswerte der Tabelle 8.3. entnommen werden.

Tabelle 8.3.: Durchlässigkeit k_f von Mineralstoffgemischen für Bettung, Fugen und Sickeröffnungen (3)

Mineralstoffgemisch	Durchlässigkeit k_f [m/s]
Sand 0/2	$10^{-5} \dots 10^{-4}$
Sand 0/4	$10^{-5} \dots 10^{-4}$
Brechsand 1/3	$10^{-4} \dots 10^{-3}$
Brechsand-Splitt-Gemisch 0/5	$10^{-5} \dots 10^{-4}$
Brechsand-Splitt-Gemisch 2/5	$10^{-4} \dots 10^{-2}$
Oberbodengemisch	$5 \cdot 10^{-7} \dots 5 \cdot 10^{-4}$

Bei Pflaster- und Plattendecken mit aufgeweiteten Fugen oder mit Sickeröffnungen hängt die notwendige Durchlässigkeit des Fugenmaterials k_f vom Öffnungsanteil der Decke ab:

$$k_f = \frac{5,4 \cdot 10^{-5} \text{ (m/s)} \cdot 100 \%}{\text{Anteil der Sickeröffnungen und -fugen in \%}}$$

wobei der Wert $5,4 \cdot 10^{-5}$ (m/s) den erforderlichen Mindestdurchlässigkeitswert des Bodens entspricht.

Ein Abdecken der Fugen mit scharfem Sand 0/2 führt zu einer starken Minderung der Sickerleistung durch die Fuge (5).

Entwässerung

Die Entwässerung der wasserdurchlässigen Pflastersysteme erfolgt ähnlich wie bei den anderen Befestigungsarten grundsätzlich durch Einbringen von Straßengefälle – Quer- und Längsgefälle, sowie Hilfseinrichtungen wie seitliche Sickermulden, Drainagen, Kanalanschlüsse, etc. Die zusätzlichen Entwässerungseinrichtungen dienen dazu, Überstauungen bei Starkregen und im Winter zu vermeiden, sowie eine Verminderung der Durchlässigkeit über die Nutzungsdauer der Pflaster- und Plattendecken auszugleichen (5).

Folgende Kennwerte werden für das Quergefälle der Pflasterbefestigungsschichten empfohlen:

Pflasterdecke: 0 – 2,5 %

obere Tragschicht oder Feinplanie: wie Decke

Unterbauplanum und Frostschutzschicht: 2,5 - 4 %

Eine Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit von Pflaster mit UNI – Ökosteinen von Muth (22) (zitiert bei (17)) hat ergeben, dass bei gefällelos verlegten wasserdurchlässigen Pflasterdecken der Form A (siehe Abb.8.5.) Niederschlagspenden bis zu 200 l/(s.ha) vollständig versickern. Bei Decken mit einem Gefälle von 2,5% sind dies nur noch 50% (100 l/(s.ha)). Bei einer

Niederschlagsspende von 300 l/(s.ha) (Starkregen) und einem Gefälle von 0% können ca. 85%, bei einem Gefälle von 2,5% immer noch 75% vollständig versickern. Selbst bei Extremereignissen von 900 l/(s.ha) würden bei einem Gefälle von 0% noch 50% zur Versickerung kommen (siehe Tab. 8.4.).

Abb.8.5.: Pflastersystem UNI Ökostein der Form A

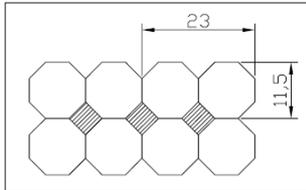


Tabelle 8.4.: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der UNI – Ökostein- Sickerfähigkeit nach (22)

Niederschlagsspende	Einsickermenge (Quergefälle 0%)
200 l/(s.ha)	100 %
900 l/(s.ha)	50 %
300 l/(s.ha)	85 %

Neben den Fließvorgängen, Oberflächenabfluss und Versickerung, wurde auch der Rückhalt im System bei der Untersuchung einbezogen (22). Es wurde festgestellt, dass das untersuchte Pflastersystem über ein Rückhaltevolumen von 16 l/m² verfügt, was der Aufnahme von einem Niederschlag von etwa 300 l/(s.ha) - Regendauer von 10 Minuten, Niederschlagshöhe von 18 l/m² und Sickerhöhe von 0,5*18 = 9 l/m² - entspricht, unabhängig von der Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes bzw. der Unterlage.

Diese Speicherfähigkeit kommt zum Tragen, falls der Untergrund bzw. die Unterlage nicht ausreichend sickerfähig ist (Durchlässigkeit $k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s, siehe auch Kap. 8.3 und Abb.8.3. und Abb.8.4.), um das anfallende Sickerwasser aufnehmen zu können (22). Diese Ergebnisse wurden auch durch die Versuche von Litzka und Pregl (17) für ungebundene Tragschicht mit $k_f > 10^{-5}$ m/s bestätigt.

Nach (34) soll noch berücksichtigt werden, dass:

- sich beim Einsetzen von gefällelosen Pflasterungen Senken durch Verlegetoleranzen und Betrieb bilden können, die zum Verschlämmen neigen.
- bei einem Gefälle von 2,5 % sich die Versickerungsleistung um ca. 50 % gegenüber ebenen Flächen verringert.
- bei einem Gefälle größer 5% eine Versickerung nur noch in geringem Maße stattfindet und die Gefahr von Ausspülungen und Erosion im Bereich von Fugen und Bettung besteht.

Gering verschmutzte Niederschlagsabflüsse sind nach Möglichkeit dezentral in den Wasserkreislauf zurückzuführen und stärker verschmutzte Abflüsse je nach Bedarf vor der Einleitung zu behandeln. Die Anforderungen bezüglich der qualitativen Gewässerbelastung werden in der Tabelle 8.5. dargestellt.

Tabelle 8.5.: Anforderungen an die Vorbehandlung von Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von den entwässerten Flächen (2) (siehe auch Tabelle 8.1.)

Flächentyp	Anforderungen
F1, F2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der Regel ist keine Behandlung der Niederschlagsabflüsse dieser Flächen vor der Einleitung in ein Fließgewässer erforderlich. ▪ Im Zweifelfall ist immissionsseitig die Notwendigkeit von weitergehenden Maßnahmen zu prüfen
F3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Mindestanforderung gilt eine mechanische Reinigung (Schlammfangschacht mit Tauchbogen beim Ablauf), nach Möglichkeit ist eine Humuspassage vorzusehen. ▪ Im Zweifelfall ist immissionsseitig die Notwendigkeit von weitergehenden Maßnahmen zu prüfen
F4, F5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Niederschlagsabflüsse dieser Flächen sind nach Möglichkeit getrennt zu erfassen und vorzureinigen, bevor sie in ein Fließgewässer eingeleitet werden. ▪ Als Mindestanforderung gilt eine mechanische Reinigung (z.B. Absetzbecken mit Tauchwand, Verkehrsflächenabscheider), nach Möglichkeit ist eine Filterpassage vorzusehen. ▪ Im Zweifelfall ist immissionsseitig die Notwendigkeit von weitergehenden Maßnahmen zu prüfen

8.4. Wasserdurchlässige Pflastersysteme

Die versickerungsfähigen Flächenbefestigungen stellen ein ökologisches Baukonzept dar, wodurch die Versiegelung und der Niederschlagabfluss der Verkehrsfläche vermindert werden können. Bei der Planung und Ausführung solcher Flächen sind unbedingt Faktoren wie Standsicherheit, Nutzungssicherheit, Nutzungskomfort, Wasserdurchlässigkeit und Schutz des Grundwassers zu berücksichtigen.

Die wasserdurchlässigen Pflastersysteme können grob nach drei Kategorien unterteilt werden:

- Nach Pflasterdeckenart
- Nach Aufbau der oberen Tragschicht
- Nach Entwässerungsart

Bei jedem dieser Systeme wird die Regelbauweise gemäß RVS 03.08.63 (35) angewendet – durchlässige Pflasterdecke in einer wasserdurchlässigen Bettung und wasserdurchlässige obere und untere Tragschicht.

8.4.1. Art der Pflasterdecke

Die Betonindustrie bietet eine große Palette von wasserdurchlässigen Pflaster- und Plattensystemen an. Sie lassen sich allgemein in drei Gruppen einteilen:

- Pflaster- und Plattensysteme mit Sickerfugen (aufgeweitete Fugen):
die Versickerung erfolgt ausschließlich durch die Fugen (Abb. 8.6.)
- Pflaster- und Plattensysteme mit Sickeröffnungen:
die Versickerung erfolgt durch Wassereinlauföffnungen (Abb. 8.7.)
- Drainbetonsteine:
die Versickerung erfolgt, aufgrund des hohlraumhaltigen Gefüges des Pflasters, durch den Stein selbst (Abb. 8.8.)

Abb.8.6.: Pflastersysteme mit ausgeweiteten Fugen- Verlegebeispiele (5)

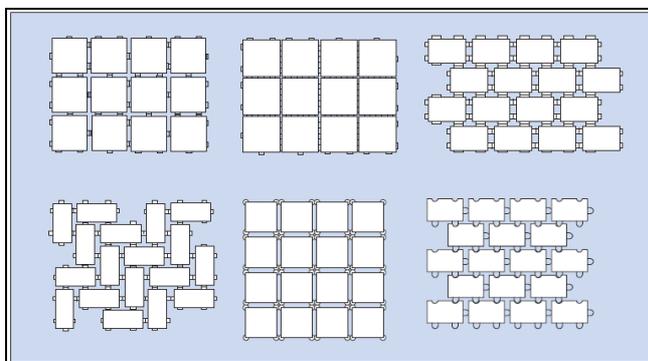


Abb.8.7.: Pflastersysteme mit Sickeröffnungen- Verlegebeispiele (5)

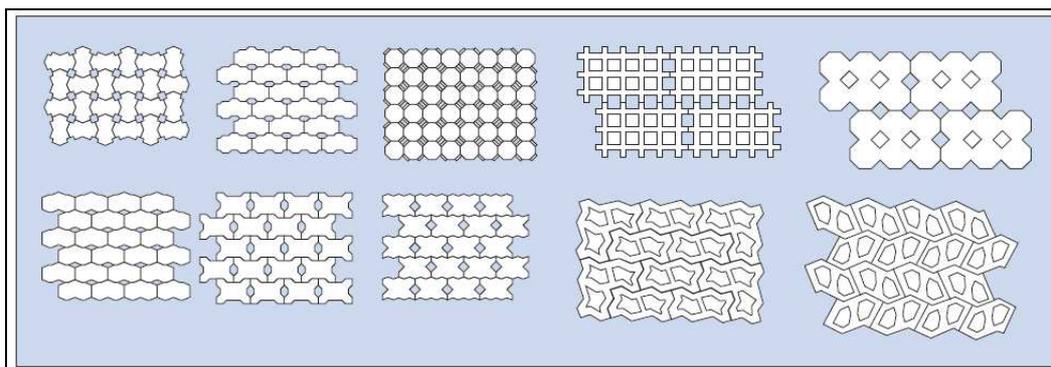


Abb.8.8.: Dränbetonpflaster- Verlegebeispiele (5)

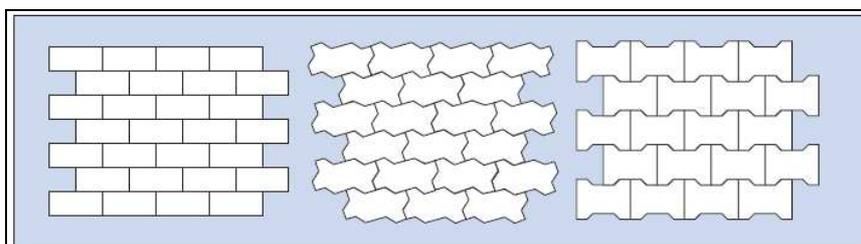


Tabelle 8.6. gibt einen Überblick über die Pflasterprodukte und ihre Einsatzbereiche.

Tabelle 8.6.: Versickerungsfähige Betonpflaster- und Betonplattensysteme – Produktübersicht nach (5)

Art des Belags	Fugen- bzw. Sickeröffnungsbreite	Öffnungs- bzw. Porenanteil i.d.R.	Einsatzbereiche
Pflaster mit Normalfuge	3 mm bis 5 mm	2 % bis 4 %	Lastklasse III bis VI
Pflaster /Platten mit aufgeweiteten Fugen (Sickerfugen)	8 mm bis 35 mm	10 % bis 20 %	Lastklasse VI
Pflaster / Platten mit Sickeröffnung und Normalfuge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuge 3 mm bis 5 mm ▪ Sickeröffnung 5 bis 100 mm breit 	10 % bis 15 % (bis 50 % bei Rasengittersteinen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lastklasse VI ▪ Lastklasse V mit Verbundsteinen ▪ Rasengittersteine nur bei geringer mechanischer Beanspruchung
Dränbetonpflaster	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuge i.d.R. 3 bis 5 mm ▪ auch mit aufgeweiteten Fugen möglich 	15 % bis 25 % bei Normalfuge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geh- und Radwege ▪ Pkw-Parkflächen

8.4.2. Aufbauart der oberen Tragschicht

Wie bereits in Kapitel 4 und 5 ausführlich behandelt, werden für die Herstellung von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen in der Regel zwei Bauweisen des oberen Tragschichtaufbaus angewendet:

- ungebundene obere Tragschicht (siehe auch Kap. 4.4.1. und Kap.5.4.3. Tabelle 5.8.)
- obere Drainbeton – Tragschicht (siehe Kap. 4.4.2. und Kap.5.4.3. Tabelle 5.9.)

Die Oberbauten auf Straßen sind in der Richtlinie RVS 03.08.63 (35) geregelt.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine grobe Übersicht des Schichtenaufbaus, Richtwerte für die Schichtendicken und Hinweise auf die relevanten Straßenbaurichtlinien (35) für beide Bauweisen.

Tabelle 8.7.: Bauweisen für die durchlässigen Pflasterdecken nach Aufbauart der oberen Tragschicht

Bauweise	Schichtdicke [cm]	Beschreibung/ Normen
ungebundene obere Tragschicht	6 - 18	Pflasterdecke (Natur- od. Betonstein)
	3 - 5	Bettung gem. RVS 08.18.01
	10 - 30	Obere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	15 - 40	Untere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	-	Unterbauplanum gem. RVS 08.03.01
obere Drainbeton-Tragschicht	6 - 18	Pflasterdecke (Natur- od. Betonstein)
	3 - 5	Bettung gem. RVS 08.18.01
	15 - 20	Drainbeton- TS gem. RVS 08.18.01
	15 - 30	Untere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	-	Unterbauplanum gem. RVS 08.03.01

Für begehbare Flächen sind Pflasterstärken von 4 cm ausreichend. In Fahrbereichen (Pkw) sollte eine Stärke von mindestens 6 cm eingesetzt werden, bei stärkerer Belastung (Lkw) mindestens 8 cm (11).

8.4.3. Entwässerung der wasserdurchlässigen Pflastersysteme

Bei der Anwendung von wasserdurchlässigen Pflastersystemen wird die vollständige direkte Niederschlagsversickerung durch die Pflasterbefestigung in den Untergrund angestrebt. Dies ist jedoch z.B. aufgrund der unzureichenden Durchlässigkeit der Befestigungsschichten, der Gefahr von Grundwasserverschmutzung oder extremer Niederschlagsereignisse, etc. nicht immer möglich. In solchen Fällen benötigt die versickerungsfähige Verkehrsfläche für die Erfassung vom überschüssigen Wasser eine zusätzliche Entwässerungshilfe in der Form von:

- Drainagen, Rigolen und Sickergraben
- Mulden bzw. Mulden-Rigolen- Systeme
- Kanalisation

Je nachdem, ob die Regenintensität kleiner oder größer als die Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung allein ist, wird zwischen vier Fällen unterschieden:

A) Regenintensität \leq Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung

Fall 1: Versickerung über die Verkehrsfläche allein

Voraussetzung sind eine maßgebende Niederschlagsspende von max. 200 - 270 l/(s.ha) und ausreichende Untergrunddurchlässigkeit ($k_f > 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s).

B) Regenintensität $>$ Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung

Fall 2: Versickerung über Sickergraben, Drainagen und Rigolen

Dies kommt bei einer maßgebenden Niederschlagsspende größer als 270 l/(s.ha) und/oder bei nicht ausreichender Untergrunddurchlässigkeit ($k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s) zum Einsatz.

Fall 3: Versickerung über seitliche Mulden

Dieser Fall wird angewendet, wenn Fall 1 und Fall 2 keine ausreichende Niederschlagsversickerung liefern können. Voraussetzung ist jedoch das Vorhandensein von genügend viel Platz seitlich der Verkehrsfläche. Bei Bedarf kann noch eine zusätzliche Entlastung der Mulde von überschüssigem Wasser durch einen Notüberlauf vorgesehen werden.

Fall 4: Ableitung des überschüssigen Wassers über Straßenkanal

Diese Maßnahme findet Anwendung insbesondere in den städtischen Bereichen, wo, z.B. aufgrund von ungenügender Sickerfähigkeit der Pflasterbefestigungen und beengten Platzverhältnissen, mit den Fällen 1, 2 und 3 keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden können bzw. diese nicht angewendet werden können.

8.4.3.1. Versickerung über die Verkehrsfläche allein

Unter reiner Flächenversickerung bei den wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen wird die direkte Versickerung über die durchlässig befestigten Oberflächen ohne Entwässerungshilfseinrichtungen verstanden.

Es ist sicherzustellen, dass Wasser, das durch die Tragschichten eingedrungen ist, auf dem Unterbauplanum abfließen kann. Dies wird, laut Pflasterverlegeanleitungen der führenden Klinker- und Betonsteinhersteller (z.B. Weissenböck Baustoffwerk GesmbH (48) und Wienerberger AG (50)), durch eine entsprechende Querneigung des gut verdichteten Unterbauplanums von mindestens 2,5%, besser 4% und die Sicherstellung der seitlichen Entwässerungsmöglichkeit erreicht. Die Frostschutzschicht muss oberseitig im Gefälle der Pflasterfläche ausgeführt werden.

Durchlässig befestigte Oberflächen sollten nach Möglichkeit eine humose Oberbodenschicht enthalten (z.B. Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster, Schotterrasen). Fehlt diese Oberbodenschicht (z.B. Pflaster mit Sickeröffnungen, Porenpflaster oder mit Brechsand gefüllte Gittersteine), so ist eine wesentlich geringere Reinigungswirkung gegeben. Die Versickerung ohne Oberbodenschicht sollte nur für gering verschmutzte Verkehrs- und Lagerflächen (F2) (siehe Tabelle 8.1) und in begründeten Ausnahmefällen für mittel verschmutzte Verkehrs- und Parkflächen (F3) angewandt werden. Darüber hinaus sind der Abstand zum Grundwasser und die Durchlässigkeit der anstehenden Bodenschichten für eine mögliche Flächenversickerung maßgeblich (2).

Nach (5) bedingt ein Verzicht auf zusätzliche Entwässerungseinrichtungen eine Einzelfallprüfung und ist z.B. bei untergeordneten privaten oder kleinen Flächen möglich, wenn ein evtl. entstehender Oberflächenabfluss beeinträchtigungsfrei in der Umgebung versickert oder zurückgehalten werden kann. Werden versickerungsfähige Beläge auf einem Untergrund mit geringer Durchlässigkeit verlegt (Untergrund mit $k_f < 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$), so ist eine Entwässerung des Planums vorzusehen.

Folgende Anwendungsbereiche von wasserdurchlässigen Pflastersystemen ohne zusätzliche Entwässerungseinrichtungen kommen in Frage:

- Parkwege und Parkanlagen
- Garagenzufahrten
- Sportanlagen
- Hofflächen

Zusammenstellung der durchlässigen Materialien, die zur Verfügung stehen:

Befestigungsdecke:

- Natur-, Beton und Klinkerpflastersteine mit Sickeröffnungen
- Rasengittersteine:
gering sickerfähig aber gute Wasserspeicherfähigkeit und Wiederverdunstung
- Drainsteine:
problematisch: Wasserdurchlässigkeit auch nach mehrmaliger Reinigung zwangsläufig abnehmend

obere Tragschicht:

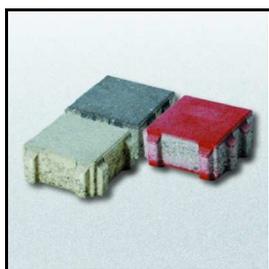
- Schotter, Kies gemäß RVS 08.15.01
- Zentralgemischte Kantkörnung (sieblinienkonstantes, korngestuftes Mineralgemisch gemäß RVS 08.15.01 [35])
- Drainbeton

Abbildung 8.9. stellt den Aufbau einer Rasengitterpflasterbefestigung dar.

Abb.8.9.: Darstellung einer Rasengitterpflasterdecke [2]



Abb.8.10.: Beispiel eines Öko-Fugensteins nach Frühwald GesmbH [33]

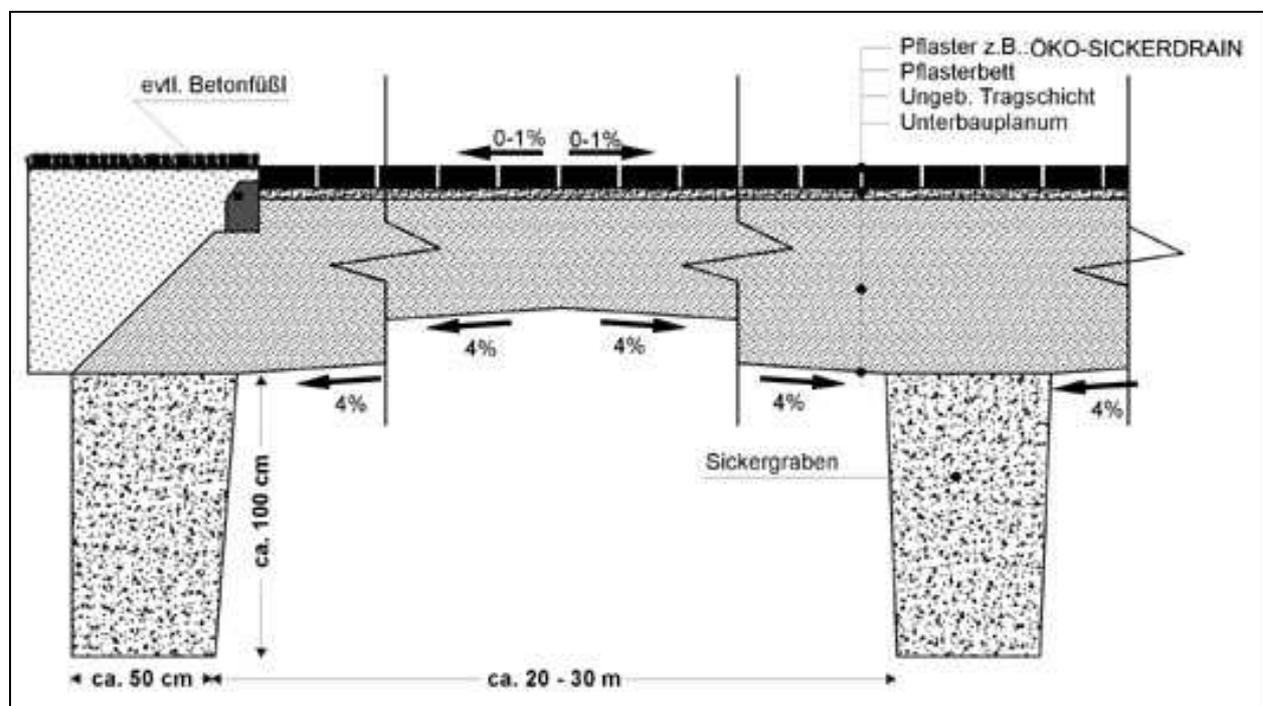


8.4.3.2. Versickerung über Sickergraben, Rigolen und Drainagen

Diese Entwässerungsmöglichkeit kommt bei Regenintensitäten größer als die Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung ($> 270 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$) bzw. bei nicht ausreichender Untergrunddurchlässigkeit ($k_f < 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{s}$) zur Anwendung.

Die Ableitung des überschüssigen Niederschlagwassers in einen mit Kies gefüllten Graben (Sickergraben) ist vorzuziehen. Somit wird eine unterirdische Speichervolumenvergrößerung der wasserdurchlässigen Pflasterdecke erzielt, die das direkte Einsickern des Wassers in den Untergrund mit einer Zeitverzögerung ermöglicht. Es kann somit auf die teure, nicht ökologische Errichtung einer Kanalisation verzichtet werden. Der Mindestabstand zum Grundwasserleiter darf jedoch 1,0 m nicht unterschreiten (nach [45]).

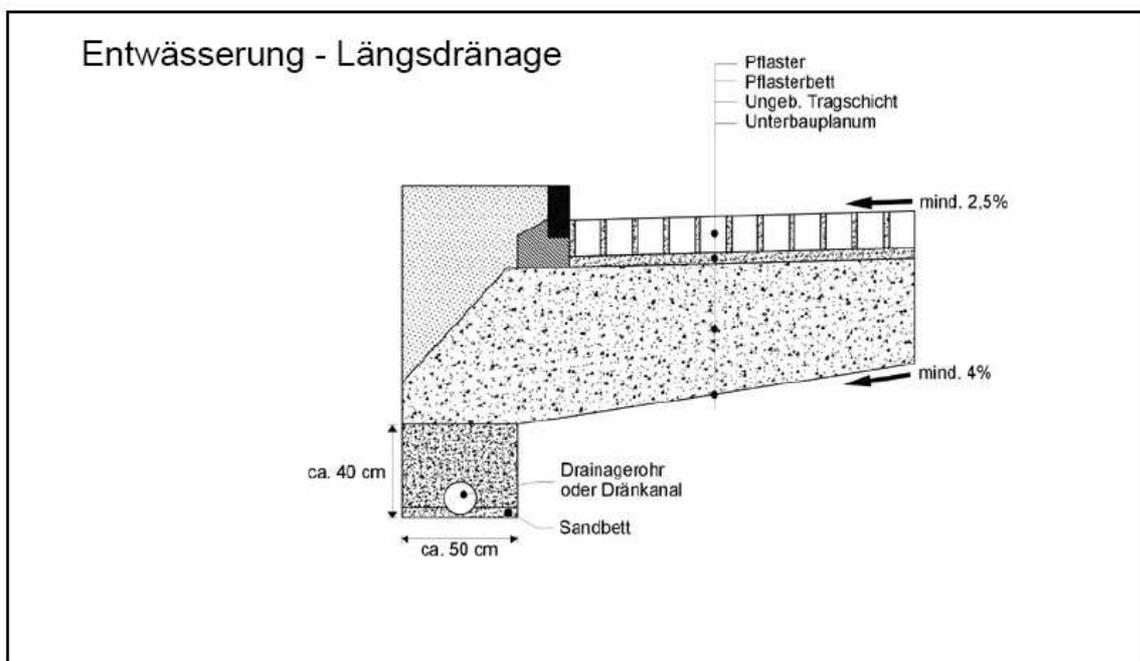
Abb.8.11.: Wasserdurchlässige Pflasterdecke – Entwässerung über Sickergraben [45]



Die Ableitung des Niederschlagswassers kann durch einen unterirdisch in Kies gebetteten, perforierten Rohrstrang (Rigol) erfolgen. Die Rohr- und Rigolenversickerung wird vor allem bei ungünstigen, undurchlässigen Bodenverhältnissen (z.B. Lehm- und Mischböden), bei einer gewissen Abdichtung des Unterplanums, sowie bei dem Einbau von Geotextilien (Vlies) unter der Frostschutzschicht eingesetzt. Die Rigole sollen jedoch an einen Kanal angeschlossen werden, da der überschüssige Niederschlag nicht immer vollkommen durch die Rigolenöffnungen versickern kann, was aber nicht mehr zur Gänze dem Sinn der ökologischen Entwässerung entspricht.

Die Abbildung 8.12. zeigt eine mögliche Ausführung von Pflasterbefestigungen mit Entwässerungsdrainage.

Abb.8.12.: Entwässerung von Pflasterbefestigungen mithilfe von Längsdrainage (45)



8.4.3.3. Versickerung über Mulden

Ist genügend Platz seitlich der Verkehrsfläche vorhanden und wird die vollständige Niederschlagsversickerung durch die Pflasterbefestigung allein oder mithilfe von Sickergräben und/oder Rigolen bzw. Drainagen nicht möglich, so sollte eine zusätzliche seitliche Versickerung über Mulden vorgesehen werden.

Sickermulden sind offene, begrünte Mulden, in denen auch eine vorübergehende Speicherung des Wassers möglich ist. Wesentliche Voraussetzung dafür sind genügendes Fassungsvermögen, ein durchlässiger Untergrund und eine entsprechende vertikale Sickerstrecke. Der begrünte Boden sorgt für eine ausreichende Reinigung [33].

Die Mulden sollten nur kurzzeitig eingestaut werden, um die Gefahr der Verschlammung der Oberfläche gering zu halten. Als ausreichend hat sich eine Einstauhöhe von 30 cm bewährt. Das Verhältnis der angeschlossenen befestigten Fläche zur versickerungswirksamen Fläche ist in der Regel kleiner als 15 zu wählen. Die Zuleitungen zur Mulde sollten möglichst oberirdisch erfolgen, um geringe Muldentiefen zu erzielen. Das Ausmaß einer erforderlichen Vorbehandlung zur Vermeidung von Kolmation (z.B. Schlammfang mit Tauchbogen, Absetzbecken, Zuleitung über Mulden und Gräben) vor der Sickeranlage muss im Einzelfall geprüft werden. Für die Flächentypen F4 und F5 (siehe Tab.8.1.) ist eine Vorbehandlung zwingend erforderlich [2].

Die Dimensionierung von Sickermulden wird in ÖNorm B 2506-1[31] detailliert behandelt.

Die nachfolgenden Abbildungen stellen Beispiele einer Muldenausführung schematisch und in praktischer Anwendung in Kombination mit einer Rasengitterpflasterbefestigung dar.

Abb.8.13.: Schematische Darstellung von Muldenausbildung [2]

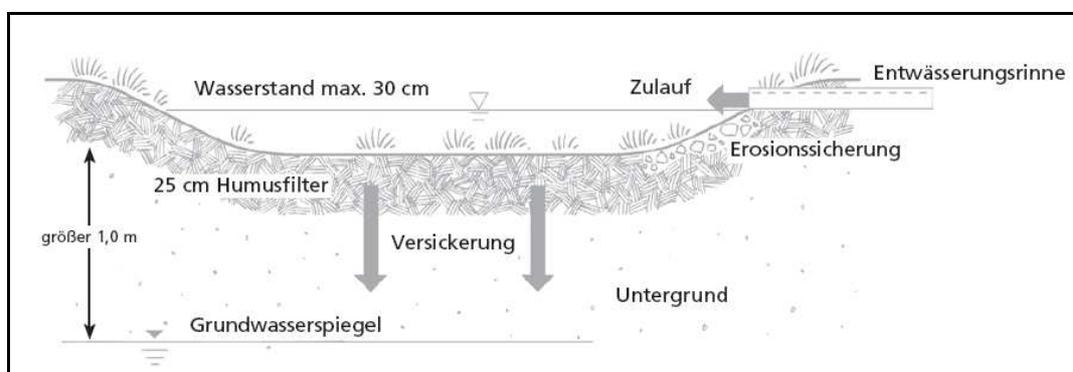


Abb.8.14.: Kombination Parkplatz mit Rasengittersteinen und Sickersmulde (2)



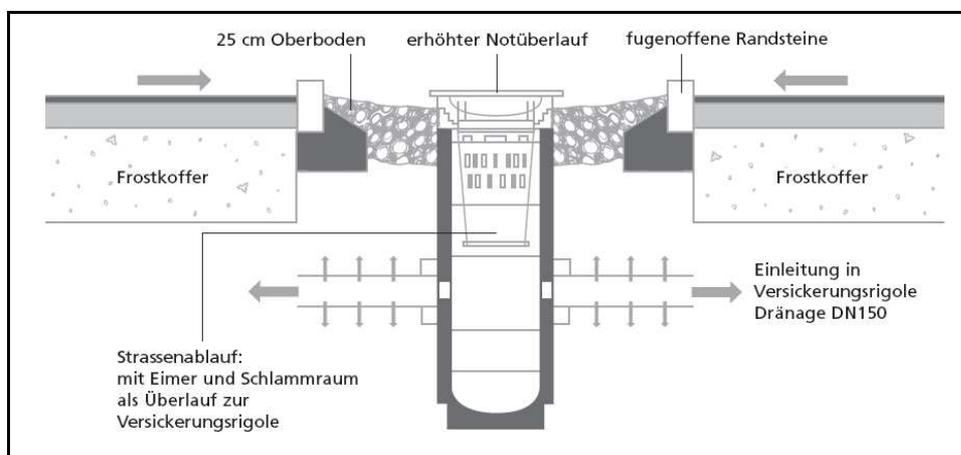
Durch Einsetzen von fugenoffenen Randsteinen, die die Parkfläche vom Grünbereich trennen, wird die Niederschlagszufuhr zu der Mulde problemlos gewährleistet.

Abb.8.15.: Fugenoffene Randsteine (2)



Wenn die Durchlässigkeit des Untergrundes nicht groß genug ist, um die anfallenden Niederschlagsabflüsse vollständig über die Mulde zu versickern (k_f - Werte $< 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s), kann eine Kombination von Mulde mit unterirdischer Versickerungsrigole eingesetzt werden. Hier findet, neben der Versickerung in den Untergrund über die Mulde, in der Regel auch eine gedrosselte Ableitung der nicht versickernden Wassermengen über ein Drainrohr an der Sohle der Rigole in die Vorflut statt. Die Mulde verfügt über einen erhöht liegenden Überlauf in die Rigole, so dass bei Starkregenzufluss die Anlage erst bei Vollenfüllung des Mulden- und Rigolenspeichers entlastet (2).

Abb.8.16.: Mulden- Rigolensystem mit Notüberlauf (2)



8.4.3.4. Ableitung des überschüssigen Wassers über Kanal

Ist eine vollständige Versickerung des Niederschlagwassers durch die bereits behandelten Maßnahmen nicht möglich, soll das restliche Wasser über Kanalisation abgeleitet werden.

Um auf einen Kanalanschluss gänzlich verzichten zu können, wird eine Wasseraufnahme der Befestigung von 200 - 270 l/(s.ha) und eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds bzw. die Anlagemöglichkeit von Sickermulden gefordert (siehe Kap. 8.3).

Die Voraussetzungen bzw. Anforderungen für den Einsatz von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen in Kombination mit Kanalisationsentwässerung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Regenwasserspende > Rückhaltevolumen der Pflasterbefestigung selbst;
- beengte Platzverhältnisse (hoher Platzbedarf für allein funktionierende wasserdurchlässige Pflasterbefestigung);
- schadstoffbelastetes Regenwasser darf nicht direkt in Vorfluter eingeleitet werden;
- unzureichende Wasserdurchlässigkeit des Bodens;
- Existierendes Kanalnetz: Misch- oder Trennsysteme;
- Entlastung bei starkem Regen bzw. Schneefall;
- Absicherung gegen Lackenbildung;
- Straßengefälle > 5%.

Abbildungen 8.17. und 8.18. zeigen die Kombination von wasserdurchlässiger Pflasterdecke und Kanalanschluss im Straßen- und Fußgeherbereich.

Abb. 8. 18.: Straßenentwässerung Heiligenstädter Straße (Wien)



Die Versickerungsfähigkeit der Pflasterdecke kann wesentlich durch die geringe Fugenbreiten zwischen den Pflastersteinen, durch Verunreinigungen, durch die mit der Zeit immer stärker verdichteten Tragschichten und eine etwa höhere Längsneigung der Verkehrsfläche beeinträchtigt werden.

Abb. 8. 18.: Parkstreifen Heiligenstädter Straße (Wien)



9. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, die wesentlichen Vor- und Nachteile, sowie die Anwendungsmöglichkeiten von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen in Österreich zu erfassen und weiters sie so zusammenzustellen, sodass sie auch als Anwenderhandbuch verwendet werden könnten. Es gibt jedoch mehrere Merkmale, die sowohl für wasserdurchlässige als auch für undurchlässige Pflasterbefestigungen gleichermaßen gültig sind. Es werden deshalb anfangs alle allgemein gültigen Grundsätze behandelt. Im Anschluss findet eine exakte Differenzierung statt.

Die Befestigung von Straßen, Wegen und Plätzen mit Pflaster stellt eine der ältesten Bauweisen dar. Noch im Altertum wurde erkannt, dass eine dauerhafte Straße einen planmäßigen Aufbau, eine gute Verdichtung der Unterlage sowie ausreichende Entwässerung benötigt. Die Bedeutung der Pflasterstraßen nahm jedoch erst mit der raschen Stadterweiterung und der Zunahme des Verkehrs im 19. Jahrhundert wieder zu. Ab dieser Zeit wird auch von Herstellung von Pflasterstraßen gesprochen und es wurden die ersten Regelwerke in Form von Instruktionen und Verordnungen herausgegeben.

Die Pflastersteine werden aus Naturstein (Granit, Basalt, Kalkstein, etc.), Beton oder Klinker hergestellt. Die Pflastersteine und Platten aus Naturstein werden je nach Größe und Anwendung normiert (ÖNorm B 3108) und ihre Abmessungen in Tabellen zusammengefasst. Die Entwicklung vom Beton und Betonerzeugnissen hat auch Innovationen in der Pflasterbauweise ermöglicht. Die Betonsteine sind nicht nur ein Ersatz für Klinker- und Natursteine, sondern zeichnen sich durch niedrige Kosten, geringeren Energieverbrauch, große Variabilität hinsichtlich Farbgebung, Form, Oberflächenstruktur und besonders hohe Maßhaltigkeit aus. Genaue Angaben zu den Eigenschaften von Betonpflastersteinen können den Produktkatalogen entnommen werden.

Heutzutage werden Pflastersteine und -platten zur Befestigung von innerstädtischen Straßen, Fuß- und Radwegen, Parkplätzen, Industrieflächen sowie Fußgängerzonen oder öffentlichen Plätzen eingesetzt. Die Wahl des Pflasters richtet sich nach der Art der Verkehrsfläche und ihrer Belastung sowie nach optischen und technischen Aspekten.

Der Pflasterverband hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lastabtragung und ist maßgebend für eine hohe Dauerhaftigkeit der Pflasterdecke. Die verschiedenen Verbandsarten von Pflastersteindecken und ihre Anwendungsmöglichkeiten werden in den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS 08.18.01) erfasst.

Die Bemessung des Straßenoberbaues mit Pflastersteinen ist auf die zu erwartende Verkehrsbelastung und die vorhandene Tragfähigkeit der Unterlage abzustimmen, um eine ausreichende Gesamttragfähigkeit während der vorgesehenen Lebensdauer sicherzustellen. Die Art und Qualität der

Oberbaumaterialien können jedoch auch die Tragfähigkeit beeinflussen. All dies wurde in dieser Arbeit mit Hinweisen auf die RVS behandelt.

Es ist auch auf die praktische Bauausführung, Erhaltung und Sanierung von Pflasterbefestigungen zu achten. Fehlerhafte Ausführung könnte unter Umständen zu Schadensfällen führen. In dieser Arbeit wurde auf die Möglichkeiten für die Vermeidung bzw. Beseitigung solcher Fälle hingewiesen. Es wurden auch die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Pflasterdecken betrachtet. Dabei erwiesen sie sich keinesfalls ungünstiger als Befestigungen aus Asphalt oder Beton.

Bei der Herstellung von Straßenbefestigungen ist zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen zu unterscheiden. Aus ökologischen Gründen ist die Reduktion der versiegelten Fläche anzustreben. Die wasserdurchlässigen oder so genannten ökologischen Pflasterbefestigungen ermöglichen eine ungehinderte Einsickerung des anfallenden Niederschlagswassers von der Verkehrsoberfläche in den Untergrund und erhöhen somit die Grundwasserneubildung und führen zur Entlastung der Kanalisation, Regenüberlaufbecken und Kläranlagen. Weiters tragen die unversiegelten Flächen zur Verbesserung des Stadtklimas und der ästhetischen Wirkung des Stadtbildes bei und bieten Lebensraum für Pflanzen und Tiere an.

Hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten können wenig genutzte Verkehrsflächen, wie Wohnstraßen, Hofflächen, Park- und Stellplätze, Betriebsflächen, Rad- und Gehwege problemlos wasserdurchlässig ausgebildet werden. Dabei sollen die Tragfähigkeitsanforderungen und die Versickerungsleistung der Befestigungsschichten berücksichtigt werden. Es muss für ein ausreichendes Gefälle des Unterbauplanums gesorgt werden, damit die Entwässerung ungehindert erfolgen kann. Schadstoffe dürfen dabei keinesfalls durch die versickerungsfähigen Decken im Boden bzw. im Grundwasser eindringen.

Gute Wasserdurchlässigkeit können Pflastersysteme mit aufgeweiteten Fugen oder mit Sickeröffnungen, Rasengittersteine und Platten sowie Drainbetonpflaster erbringen. Die obere Tragschicht wird grundsätzlich nach zwei Bauweisen hergestellt: ungebundene obere Tragschicht oder obere Drainbeton- Tragschicht. In dieser Arbeit wird auf die genauere Dimensionierung und den Aufbau hingewiesen, so wie auf die entsprechenden Richtlinien und Normen, wo das Thema ausführlich erläutert wird.

Die Entwässerung erfolgt je nach Anforderungen, Aufbau und Versickerungsvermögen der Schichten mit oder ohne Entwässerungshilfseinrichtungen. Es kommen zum Einsatz Drainagen, Sickergraben, Mulden oder aber insbesondere im Siedlungsbereich der Kanalabfluss.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die sickerfähigen Pflasterbefestigungen, trotz ihrer ökologischen und entlastenden Wirkung, nicht überall unbedenklich anwendbar sind. Sie sind aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften (Festigkeit, Wasserdurchlässigkeit, Oberflächenbeschaffenheit,

etc.) insbesondere für Verkehrsflächen mit zu erwartenden größeren Verkehrsbelastungen, höheren Geschwindigkeiten und bei schadstoffgefährdeten Bereichen nicht geeignet. Andererseits, wenn die Umstände und Anforderungen es erlauben, soll die wasserdurchlässige Bauweise stets anderen Bauweisen, die zur Flächenversiegelung führen, vorgezogen werden.

Zusätzliche Informationen über Richtlinien und Normen, Verbände und Institutionen, die für die wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen relevant sind, sowie eine eigene Fotosammlung können den nachfolgenden Anhängen entnommen werden. Es wurde auch eine Zusammenfassung der wichtigsten Merkmale einer wasserdurchlässigen Pflasterbefestigung in Form von Tabellen und Abbildungen erstellt, die als Anwenderhandbuch verwendet werden könnte (siehe Anhand F).

10. Literaturverzeichnis

- [1] ACO Passavant GmbH: Wasser aufnehmen, speichern und wieder abgeben - Systeme zur Regenwasser-Bewirtschaftung, ACO Rohr Regenwasserbewirtschaftung ms 02.2005, Baden, http://www.aco-passavant.at/download/pros_kunststoffrohre/Regenwasserbewirtschaftung_05-2005.pdf
- [2] Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft: Oberflächenentwässerung – Leitfaden zum Umgang mit Niederschlagswässern aus Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächen, Bregenz, 1. Auflage Juli 2007
- [3] BORGWARDT, S., GERLACH A. und KÖHLER, M.: Kommentierung des Merkblatts für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau (SLG). Bonn 2001.
- [4] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien 2006.
- [5] Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ): Regenwasserversickerung durch Pflasterflächen, Zement-Merkblatt Straßenbau S.15, , Köln, 06/2003, <http://www.BDZement.de>
- [6] CREABETON MATERIAUX AG: Technische Wegleitung: BETONSTEINBELÄGE, Verbund und Pflastersteine, Platten, Öko-Belagsysteme (wasserdurchlässige Pflastersysteme), 07/2000, http://www.creabeton-materiaux.ch/fileadmin/Downloads/services/betonsteinbelaege_de.pdf
- [7] DWA – Arbeitsblatt A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 2005.
- [8] Ebenseer Betonwerke GmbH & Co KG: Verlegeanleitung Pflaster, 01/2007.
- [9] Ebenseer Betonwerke GmbH & Co KG: Produkte, UNI Verbund Pflaster, <http://www.ebenseer.at/typo3temp/pics/9f538553a6.jpg>
- [10] ENGEL, J.: Befestigung von Verkehrsflächen mit Betonsteinpflaster, Diplomarbeit an der TU-Wien, 2000.
- [11] FRÜHWALD Ges.m.b.H. & Co KG, <http://www.fruehwald.co.at/>

Anhänge:

- A. Normen und Richtlinien
- B. Verbände und Institutionen
- C. Tabellenverzeichnis
- D. Abbildungsverzeichnis
- E. Liste der größten Hersteller wasserdurchlässiger Pflasterprodukte Österreichs
- F. Handbuch – wasserdurchlässige Pflasterbefestigungen

- [12] HODKINSON, J. R. and MORRISH, C. F.: Design of interlocking concrete pavements for road traffic, cement and concrete association of Australia, Technical note TN40, 1982.
- [13] HUURMAN, M.; HOUBEN, L. J. M. and MOLENAAR, A. A. A.: Design and Performance Models for Concrete Block Pavements, 5th Int. Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, 1998.
- [14] JANDA, G.: Erarbeitung eines Bemessungs-vorschlages für Pflaster- und Plattenbefestigungen, Diplomarbeit an der TU Wien, 2003.
- [15] KURTH, N.: Pflasterbefestigungen, Probleme bei der Ausführung, Einsatz im Hochbau. In: Mineralstofftagung 1993, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Heft M6, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1994.
- [16] LITZKA, J.: Anleitung „Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen“, Ebenseer Beton, Wien, 2001.
- [17] LITZKA, J. und PREGL, O.: Pflasterdecken aus UNI-Ökostein. Untersuchung zur Anwendung und Bauausführung. Studie (unveröffentlicht), Wien 1989. (im Auftrag von Ebenseer Betonwerke GesmbH)
- [18] LITZKA, J. : Straßenbau und -erhaltung 2, Studienblätter des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Ausgabe SS 98, Wien, 1998.
- [19] LITZKA, J.: Untersuchungen von Güterwegbefestigungen, Mitteilungen des Instituts für Geotechnik und Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Reihe Verkehrswesen, Heft 8, Wien, 1982.
- [20] Magistrat der Stadt Wien: Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch (Bauordnung für Wien – BO für Wien), 08/2008: <http://www.magwien.gv.at/recht/landesrecht-wien/rechtsvorschriften/html/b0200000.htm>
- [21] MENTLEIN, H.: Pflaster Atlas, Planung, Konstruktion und Herstellung 2. Auflage, Rudolf Müller Verlag, Köln 2007.
- [22] MUTH, W.: Versickerung von Verbundpflaster. Versuchsanstalt für Wasserbau der Fachhochschule Karlsruhe, 1988.
- [23] o.A.: <http://www.bbs-lingen-gf.de/homepage/Materialien/BEK/Bilder/SANY0088.JPG>
- [24] o.A.: http://www.betonstein.de/uploads/pics/techfoto1_einbau.jpg

- [25] o.A.:
http://www.godelmann.de/uploads/tx_godellexikon/o4bischofsm.jpg
- [26] o.A.: <http://www.heidenlabor.de/bemessung.html>
- [27] (o.A.) <http://www.pflasterdecke.de/technisches/bettung/index.htm>
- [28] o.A.: [http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_\(Belag\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_(Belag))
- [29] o.A.: http://www.zement.at/file_upl/Flaeche1.pdf
- [30] ODEMARK, N.: Investigations as to the Elastic Properties of the Soils and Design of Pavements according to the Theory of Elasticity, Meddeling 77, Statens Väginstitut, Stockholm, 1949.
- [31] ONI: Österreichisches Normungsinstitut, Wien:
ÖNorm B 3108: Natürliche Gesteine – Einfassungs- und Pflastersteine – Abmessungen, Ausgabe 01.05.2001.
ÖNorm B 3306: Prüfung der Frost-, Tausalzbeständigkeit von vorgefertigten Betonerzeugnissen, Ausgabe 01.12.2005.
ÖNorm B 3256: Randsteine aus Beton, Ausgabe 01.02.2005.
ÖNorm B 3258: Vorgefertigte Betonerzeugnisse zur Befestigung von Verkehrsflächen, Ausgabe 01.02.2005.
ÖNorm B 2506-1: Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen - Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb, Ausgabe 01.06.2000.
- [32] Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: ÖWAV Leitfaden, Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV- Regelblätter 11 und 19, Wien 2007,
http://www.oewav.at/upload/medialibrary/Leitfaden_NIEDA28953.pdf
- [33] Regenwasserversickerung,
(o.A.): <http://www.wien.gv.at/kanal/technik/strategie/regen.htm>
- [34] RStO 01: Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001.

- [35] Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS):
Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien.
RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung, Ausgabe 04.2008.
RVS 04.04.11- Gewässerschutz an Straßen, Ausgabe 11.2002.
RVS 08.03.01 – Technische Vorschriften und Anleitung für Erdarbeiten, Ausgabe 11.1979.
RVS 08.15.01 – ungebundene Tragschichten, Ausgabe 2004/08.
RVS 08.18.01 - Technische Vertragsbedingungen für Straßenbauten; Deckenarbeiten; Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen, Entwurf 10.2008.
- [36] SHACKEL, B.: The Design of Interlocking Concrete Block Pavements, Australian Road Research Board, Research Report ARR 90, Melbourne, 1979.
- [37] SHACKEL, B.: An Experimental Investigation of the Roles of the Bedding and Jointing Sands in the Performance Interlocking Concrete Block Pavements, Concrete/ Beton, No. 19, 1980.
- [38] SHACKEL, B.: The Evolution and Design of Interlocking Concrete Block Pavements subjected to Road Traffic, National Institute for Transport and Road Research, CSIR, Technical Report RP 9, Pretoria, 1980.
- [39] SHACKEL, B.: Handbuch Betonsteinpflaster, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [40] SHACKEL, B.: A Pilot Study of the Performance of Block Paving under Traffic using a Heavy Vehicle Simulator, Proc. Symp. On Precast Concrete Paving Block, Johannesburg, 1979.
- [41] STEININDUSTRIE DIPL. ARCH. ALBERT FRIEPES GES.M.B.H.&CO.KG: Tips zur Verlegung von Friepess- Granitpflastersteinen, Friepess-Leisten- und Randsteine, Downloads Nr. 1, Linz,
<http://www.natursteinwerk.at/ver1.htm>
- [42] STÖCKERT, Ulrike: Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau, Dissertation an der TU Darmstadt, 2001.
- [43] Umweltverband, Vorarlberger Gemeindehaus: Ökoleitfaden Vorarlberg: Verkehr, Befestigung von Verkehrsflächen-Oberbaumaterialien, 2. überarbeitete Auflage, Dornbirn, April 2001:
http://www.umweltverband.at/fileadmin/Image_Archive/umweltverband/downloads/PDFÖkoleitfaden/intern/indexBau.php

- [44] VBB THISSEN: Naturverträgliche Niederschlagswasserbewirtschaftung im Ortenaukreis, Ortenaukreis, Verlag VBB THISSEN, 51545 Waldbröl, (verw.)http://www.ortenaukreis.de/media/custom/597_1298_1.PDF?loadDocument&ObjSvrID=597&ObjID=1298&ObjLa=1&Ext=PDF
- [45] VERBAND ÖSTERREICHISCHER BETON- UND FERTIGTEILWERKE (VÖB): Außenanlagen/Flächenbefestigungen/ Verlegung, <http://www.wohnbeton.at/>
- [46] VERBAND ÖSTERREICHISCHER BETON- UND FERTIGTEILWERKE (VÖB): Forum Qualitätspflaster - Broschüre Vor(ur)teile- Pflastersysteme aus Betonsteinen 06/2008, <http://www.fqp.at>
- [47] VERBAND ÖSTERREICHISCHER BETON- UND FERTIGTEILWERKE (VÖB): Forum Qualitätspflaster - Hinweise für die Verlegung von Betonsteinpflaster und -platten Ausgabe 01.05.2007, VÖB Richtlinie, Pflasterbau FQP 01, <http://www.fqp.at>
- [48] Weissenböck Baustoffwerk GesmbH: Richtig Pflaster verlegen: Aushub, Frostschutzschicht und Feinplanie, <http://www.weissenboeck.co.at/>
- [49] WELLNER, F.; KÖHLER, M. und ULONSKA, D.: Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen, Informationsstelle Beton-Bauteile, Bonn, 1997.
- [50] Wienerberger AG: Verlegehinweise TERCA Klinker, 01/2008

A. Normen und Richtlinien

Europäische Normen:

EN 1338 Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren, 01.09.2003.

EN 1339 Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren, 01.09.2003.

EN 1340 Bordsteine aus Beton, 01.09.2003.

EN 1341 Pflasterplatten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren, 01.05.2005.

EN 1342 Pflastersteine aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren, 01.05.2005.

EN 1343 Bordsteine aus Naturstein für Außenbereiche, 01.05.2005.

EN 1344 Pflasterziegel - Anforderungen und Prüfverfahren, 01.03.2007.

Österreich:

ÖNORM B 3108 Natürliche Gesteine – Einfassungs- und Pflastersteine – Abmessungen, 01.05.2001.

ÖNORM B 3118: Natürliche Gesteine – Einfassungssteine, Pflastersteine und Pflasterplatten – Anforderungen an die Gesteinseigenschaften (nationale Übernahme der EN 1341–43), 01.09.2005.

ÖNORM B 2213 - Steinmetz- und Kunststeinarbeiten – Werkvertragsnorm, 01.05.2003.

ÖNORM B 2214: Pflasterarbeiten – Werkvertragsnorm (Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Ausführung von Pflasterdecke), 1.12.2005

ÖNORM B 4710 – Teil 1 (ÖNORM EN 206-1)- Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1)- Qualitätssicherung, Pflasterarbeiten, 1.04.2004

ÖNORM B 3306 Prüfung der Frost-, Tausalzbeständigkeit von vorgefertigten Betonerzeugnissen, 01.12.2005.

ÖNORM B 3256 Randsteine aus Beton, 01.02.2005.

ÖNORM B 3258 Vorgefertigte Betonerzeugnisse zur Befestigung von Verkehrsflächen, 01.02.2005.

- RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung, Ausgabe 04.2008.
- RVS 03.08.65 – Entwässerungsarbeiten, Ausgabe 11.1986.
- RVS 04.04.11– Gewässerschutz an Straßen, Ausgabe 11.2002.
- RVS 08.03.01 – Technische Vorschriften und Anleitung für Erdarbeiten, Ausgabe 11.1979.
- RVS 08.15.01 – ungebundene Tragschichten ,Ausgabe 2004/08.
- RVS 08.18.01 - Technische Vertragsbedingungen für Straßenbauten; Deckenarbeiten; Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen, Entwurf für neue Auflage, Wien, Entwurf 10.2008.
- RVS 08.97.03 – Geotextilien im Unterbau, Ausgabe 10.1997.
- RVS 11.06.61 – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche - Drainverhalten, Ausgabe 11.1995.
- RVS 13.01.30 – Straßenentwässerung, Ausgabe 09.1992.
- RVS 13.01.31 – Entwässerungsanlagen, Ausgabe 09.1992.
- ÖWAV- Regelblatt 35 Behandlung von Niederschlagswässern, 2003.
- ÖWAV- Regelblatt 19 (Entwurf 2006)

B. Verbände und Institutionen

Institutionen

Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV): Herausgeber der Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS), Wien.

ON - Österreichisches Normungsinstitut Wien II., Heinestraße 38.

Verbände

Fachverband der Stein- und keramischen Industrie, FORUM Qualitätspflaster

VÖB - Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilewerke

ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ÖIAV – Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein

C. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1.: Anwendungsbereiche versickerungsfähiger Pflastersysteme	7
Tabelle 3.2.: Flächen für Fußgänger – Auswahlkriterien nach (43)	8
Tabelle 3.3.: Flächen für Radfahrer – Auswahlkriterien nach (43)	9
Tabelle 3.4.: Flächen für Kfz-Verkehr – Auswahlkriterien nach (43)	10
Tabelle 3.5.: Vergleichstabelle von Betonsteinpflaster mit anderen Deckenarten nach SHACKEL (39)	11
Tabelle 4.1.: Klassifikation Kleinsteine nach ÖNorm B 3108 (31)	17
Tabelle 4.2.: Klassifikation Großpflastersteine nach B 3108 (31)	17
Tabelle 4.3.: Klassifikation Pflasterplatten nach Ö Norm B 3108 (31)	18
Tabelle 4.4.: Klassifikation Leistensteine nach Ö Norm B 3108 (31)	19
Tabelle 4.5.: Klassifikation Bordsteine nach ÖNorm B 3108 (31)	20
Tabelle 4.6.: übliche Steindicken für die Kategorien A, B und C	23
Tabelle 4.7.: Verbandswirkung und Anforderungen an Pflastersteine gemäß RVS 08.18.01(35)	27
Tabelle 4.8.: Verbandswirkung und Anforderungen an Pflasterplatten gemäß RVS 08.18.01(35)	29
Tabelle 4.9.: Verbandsarten in Abhängigkeit von Steinform und –größe gemäß RVS 08.18.01	30
Tabelle 4.10.: Zusammenhang zwischen Verbandsarten und Tragfähigkeit von Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise (nach RVS 08.18.01)	31
Tabelle 4.11.: zulässige Bettungsdicken im verdichteten Zustand (27)	33
Tabelle 4.12.: Materialienübersicht	36
Tabelle 4.13: Verdichtungsanforderungen an ungebundene Tragschichten und Unterbau gemäß RVS 08.15.01 (35)	41
Tabelle 5.1.: Mittlere Äquivalenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien	49
Tabelle 5.2.: Mittlere Äquivalenzwerte des JDTLV- Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien	49
Tabelle 5.3.: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite b_f (bei Zwischenbreiten ist die kleinere Fahrstreifenbreite maßgebend)	49
Tabelle 5.4.: Lastklasseneinteilung für Fahrbahnen mit Pflasterbefestigung nach RVS 03.08.63 (35) und (45)	49
Tabelle 5.5.: relevante Lastklassen für Pflasterbefestigungen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche nach (35) und (16)	50
Tabelle 5.6.: Erforderliche Mindestdicke für Natursteinpflasterplatten (35)	51
Tabelle 5.7.: Erforderliche Mindestdicke für Betonpflasterplatten (35)	51
Tabelle 5.8.: Bemessungstabelle für Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (gem. RVS 03.08.63)	52
Tabelle 5.9.: Bemessungstabelle für Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise mit Pflaster- Drainbeton- Tragschicht (gem. RVS 03.08.63)	53
Tabelle 6.1.: Herstellung einer Pflasterbefestigung	54
Tabelle 6.2.: Geräte, Baumaschinen, Verfahren für die Pflasterbefestigungs-herstellung	55
Tabelle 6.3.: Auflistung möglicher Schadensursachen und deren Beseitigungsmöglichkeiten nach ENGEL (10)	61
Tabelle 7.1.: Energieaufwand bei der Herstellung verschiedener Deckenmaterialien (43)	68
Tabelle 8.1.: Bewertung der Niederschlagsabflüsse in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche und Anforderungen an die Versickerung nach (2)	76

<i>Tabelle 8.2.: Versickerungsleistung verschiedener Verkehrsflächenbefestigungen im Neuzustand und nach einigen Jahren Liegezeit (Maßgebend ist meist die Fugenausbildung, einige Angaben beruhen auf Annahmen) (43).....</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle 8.3.: Durchlässigkeit k_f von Mineralstoffgemischen für Bettung, Fugen und Sickeröffnungen (3).....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 8.4.: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der UNI – Ökostein -Sickerfähigkeit nach (22).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 8.5.: Anforderungen an die Vorbehandlung von Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von den entwässerten Flächen (2).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabelle 8.6.: Versickerungsfähige Betonpflaster- und Betonplattensysteme – Produktübersicht nach (5).....</i>	<i>85</i>
<i>Tabelle 8.7.: Bauweisen für die durchlässigen Pflasterdecken nach Aufbauart der oberen Tragschicht.....</i>	<i>86</i>

D. Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1.: Aufbau einer Pflasterdecke	12
Abb. 4.2.: Beispiel Randeinfassung von Pflasterdecke (41) *	13
Abb.4.3.: Lastverteilung im Bereich von Fugen nach HUURMAN et al. (13)	14
Abb.4.4.: Beispiel eines Rasengittersteines (28).....	22
Abb. 4.5.: Beispiel UNI Verbund Pflaster EBENSEER (9).....	22
Abb.4.6.: Klassifikation der Verbundpflastersteinformen nach HODGKINSON et al. (12) aus SHACKEL (39).....	22
Abb. 4.7.: Beispiel eines Drainsteines (28).....	24
Abb.4.8.: Beispiel Pflasterstein in Bischofsmützen - Form (25).....	24
Abb.4.9.: Gebräuchliche Formen von Klinkerpflaster (28).....	25
Abb.4.10.: Verbandsarten von Pflastersteindecken nach RVS 08.18.01 (35).....	26
Abb.4.11.: Spezialverband (28).....	28
Abb.4.12.: Römischer Verband (auch für Klinkersteine geeignet) (28).....	28
Abb.4.13.: Verbandsarten von Pflasterplattendecken nach RVS 08.18.01 (35).....	29
Abb.4.14.: Verformungen durch ungleichmäßige Bettungsdicken nach Wellner et al. [49]	34
Abb.4.15.: Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (14).....	37
Abb. 5.1.: empirische Bemessungsdiagramme für Betonsteinpflaster bei ungebundener Bauweise nach SHACKEL	43
Abb. 5.2.: Maßgebende Spannungen bei der Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (14)	44
Abb. 5.3.: Maßgebende Spannungen bei der Bauweise mit oberer Drainbeton-Tragschicht (14)	45
Abb.5.4.:Variation im jahreszeitlichen Ablauf – Im Frühjahr Reduktion der Untergrundtragfähigkeit nach LITZKA (19).....	46
Abb.5.5.: Einfluss der Variation der Untergrundtragfähigkeit und der Verkehrsbelastung auf die Oberbaubemessung schwach belasteter Straßen nach LITZKA (18).....	47
Abb.6.1.: Schematische Verlegeanleitung (45).....	59
Abb. 6.2.: Rasengittersteine (45)	59
Abb.6.3.: Vorbereitung des Pflasterbettes (23).....	59
Abb.6.4.: Pflasterverlegung (45).....	60
Abb.6.5.:manuelle Pflasterverlegung (46).....	60
Abb.6.6.: Verlegemaschine (47).....	60
Abb.6.7.: Verlegung mit maschineller Hilfe (24)	60
Abb.7.1.: Vergleich: Herstellungskosten Gehweg (46)	69
Abb. 7.2.: Wiederverwendung von Pflastersteinen (46)	70
Abb.8.1.: Räumliche Verteilung der empfohlenen Bemessungsregenspenden für den $r_{15,1}$ nach BMLFUW (2006) (4,32).....	75
Abb.8.2.: Räumliche Verteilung der empfohlenen Bemessungsregenspenden für $r_{15,10}$ nach BMLFUW (2006) (4,32).....	75
Abb. 8.3.: Durchlässigkeit und Eignung zur Regenwasserversickerung bei verschiedenen Bodenarten (5).....	79
Abb.8.4.: Grundwasserneubildung und Abflussverminderung bei verschiedenen Oberflächen (5)	79
Abb.8.5.: Pflastersystem UNI Ökosteine der Form A.....	82
Abb.8.6.: Pflastersysteme mit ausgeweiteten Fugen- Verlegebeispiele (5).....	84
Abb.8.7.: Pflastersysteme mit Sickeröffnungen- Verlegebeispiele (5).....	85
Abb.8.8.: Dränbetonpflaster- Verlegebeispiele (5)	85
Abb.8.9.: Darstellung einer Rasengitterpflasterdecke (2)	89

<i>Abb.8.10.: Beispiel eines Öko-Fugensteins nach Frühwald GesmbH (33).....</i>	<i>89</i>
<i>Abb.8.11.: Wasserdurchlässige Pflasterdecke – Entwässerung über Sickergräben (45).....</i>	<i>90</i>
<i>Abb.8.12.: Entwässerung von Pflasterbefestigungen mithilfe von Längsdrainage (45)91</i>	
<i>Abb.8.13.: Schematische Darstellung von Muldenausbildung (2).....</i>	<i>92</i>
<i>Abb.8.14.: Kombination Parkplatz mit Rasengittersteinen und Sickermulde (2).....</i>	<i>93</i>
<i>Abb.8.15.: Fugenoffene Randsteine (2).....</i>	<i>93</i>
<i>Abb.8.16.: Mulden- Rigolensystem mit Notüberlauf (2).....</i>	<i>93</i>
<i>Abb.8.17.: Straßenentwässerung Heiligenstädter Straße (Wien).....</i>	<i>95</i>
<i>Abb.8.18.: Parkstreifen Heiligenstädter Straße (Wien).....</i>	<i>95</i>

E. Liste der größten Hersteller wasserdurchlässiger Pflasterprodukte in Österreich

Insgesamt sind in Österreich etwa 25 Unternehmen mit der Produktion von Betonsteinen beschäftigt. (Lt. FORUM QUALITÄTSPFLASTER©, c/o Verband österreichischer Beton- und Fertigteilwerke, <http://www.fqp.at>)

Die 5 bedeutendsten Pflaster- und Pflastersystemanbieter Österreichs mit deren wasserdurchlässigen Pflastersteinprodukten:

1. Ebenseer Betonwerke GmbH & Co. KG : „Uni-Ökostein“: UNI VERBUND Pflaster, UNI Rasenverbundplatte, Sickerdrain Pflaster, Rasenplatte, Rasengitterstein, Rasenstein
2. Semmelrock Baustoffindustrie GmbH (Wienerberger AG): Ökodrain und Ökodrain DV, Ökogreen, Rasengitterstein, Grüne Fuge (Abstandhalter für Rasenfugen)
3. Frühwald GmbH & Co. KG : Öko-Fugensteine, Rasengittersteine
4. GÖTZINGER Gestaltung für Haus und Garten GmbH: DRAIN-Stein, RASENGITTER-Stein
5. Weissenböck Baustoffwerk GmbH : „Forum Sickerpflaster“, Rasenstein, Öko-Pflaster

Anhang F:

Handbuch – wasserdurchlässige Pflasterbefestigungen

Wasserdurchlässige (ökologische)
Pflasterbefestigungen-
Anwendung und Einsatzbereiche

*Ein Pflasterstein, der war einmal
Und wurde viel beschritten.
Er schrie: „Ich bin ein Mineral
Und muss mir ein für allemal
Dergleichen streng verbitten!“
Jedoch den Menschen fiel's nicht ein,
mit ihm sich zu befassen,
denn Pflasterstein bleibt Pflasterstein
und muss sich treten lassen.*

J. Ringelnatz

Inhaltsverzeichnis

1 Definition	1
2 Kriterien für die Anwendung von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen	3
3 Aufbau einer sickerfähigen Pflasterdecke	5
4 Wasserdurchlässige Pflastersysteme	6
4.1 Pflasterdeckenart	7
4.2 Aufbauart der oberen Tragschicht	10
4.3 Versickerungssysteme nach Entwässerungsart	15
Begriffsbestimmung	26
Verbände und Institutionen	27
Literaturquellen	28

VORWORT

Die Versiegelung von Verkehrsflächen kann eine ernste Beeinträchtigung in ökologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht darstellen. Wertvolles Regenwasser fließt, statt in den Boden zu versickern, in die Kanalisation, belastet Kläranlagen und Vorfluter und verstärkt die Tendenzen zu immer stärkeren Hochwasserereignissen.

Eine der Möglichkeiten zur Vermeidung dieser negativen Auswirkungen der Befestigung von Straßen und Plätzen ist der Einsatz von ökologischen Pflastersystemen, den so genannten wasserdurchlässigen Pflastersystemen, die die Versickerung des Niederschlages in den Untergrund ermöglichen.

Durch diese Pflastersysteme wird die Grundwasserneubildung erhöht und es kommt auch durch einen verminderten oberflächlichen Abfluss zu einer Entlastung der Kanalisation, Regenüberlaufbecken und Kläranlagen. Weiters tragen die unversiegelten Flächen zur Verbesserung des Stadtklimas und der ästhetischen Wirkung des Stadtbildes bei und stellen Lebensraum für Pflanzen und Tiere dar.

Nachfolgend werden die Einsatzbedingungen und Anwendungsmöglichkeiten der derzeit in Österreich verwendbaren durchlässigen Pflastersysteme zusammengestellt.

1. Definition

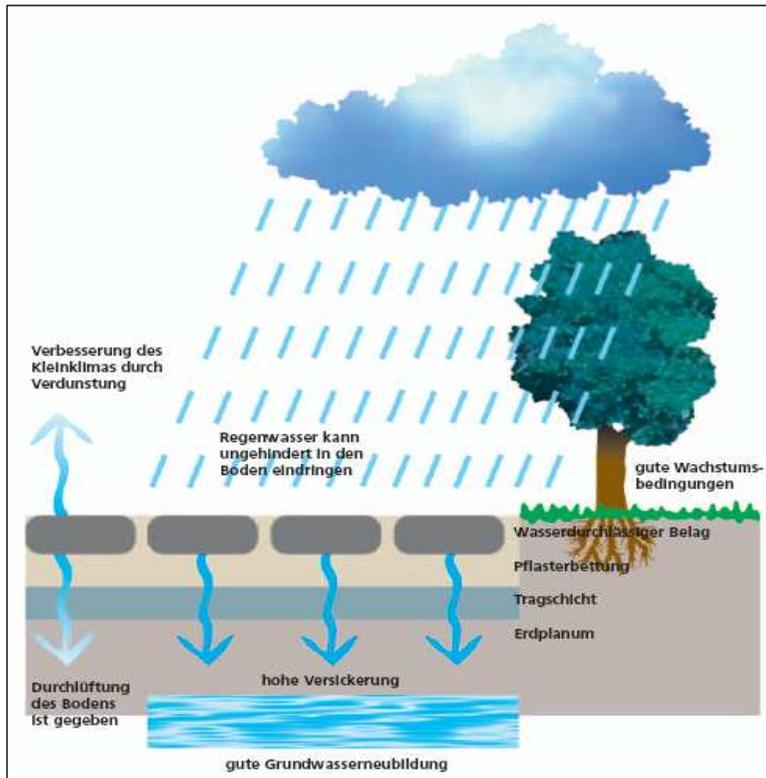


Abb. 1.: Versickerung bei wasserdurchlässiger Pflasterbefestigung

Die wasserdurchlässigen oder so genannten ökologischen Pflasterbefestigungen ermöglichen eine ungehinderte Einsickerung des einfallenden Niederschlagswassers von der Verkehrsfläche in den Untergrund. Wasserdurchlässige Pflaster sind überall möglich, wo sie aufgrund bodenmechanischer, hydrogeologischer und sonstiger Bedingungen zugelassen sind.

Wirkung der Flächenver- und -entsiegelung

Flächenversiegelung	Flächenentsiegelung
⊗ verringert die Grundwasserneubildung	⊕ ungehinderte Einsickerung des einfallenden Niederschlagswassers von der Verkehrsfläche in den Untergrund
⊗ verschlechtert das Kleinklima	⊕ Erhöhung der Grundwasserneubildung
⊗ vermindert die natürliche Verdunstung	⊕ Verbesserung des Kleinklimas durch die natürliche Verdunstung
⊗ verschlechtert die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere	⊕ Aktivieren des Bodens, damit sich Pflanzen und Tiere vermehrt ansiedeln können
⊗ belastet Kanalisation und Gewässer	⊕ Schaffung eines natürlichen Umfeldes.
⊗ verschärft die Hochwassergefahr	⊕ verminderter oberflächlicher Abfluss führt zu einer Entlastung der Kanalisation, Regenüberlaufbecken und Kläranlagen.

Einsatzbereiche der wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen:

- Parkplätze und Raststellen
- Vorplätze, Stadt- bzw. Dorfplätze
- Gehsteige und Fußgängerzonen
- Rad- und Gehwege
- Garagenzufahrten und Hauseinfahrten
- Feuerwehrzufahrten
- Innenhöfe
- Anliegerstraßen
- Lagerflächen, Industrie- und Gewerbeflächen mit geringem Schwerlastverkehr

2. Kriterien für die Anwendung von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen

Kriterien	Anmerkung
Bautechnische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ überall möglich, wo sie aufgrund bodenmechanischer, hydrogeologischer und sonstiger Bedingungen zugelassen sind. ▪ Eine Pflasterdecke muss tragfähig, dauerhaft, verformungsstabil, frostsicher und abriebfest und bei jeder Witterung herstellbar sein, sowie einen guten Verbund aufweisen ▪ Die wasserdurchlässigen Pflasterdecken sind auf Grund ihres Aufbaus für höhere Verkehrslasten nur bedingt geeignet ▪ erhöhte Anforderungen an den Geh- und Fahrkomfort ▪ Pflasterplatten sind für manuelle Verlegung meist nicht geeignet, da sie zu schwer (zu großes Eigengewicht) sind. ▪ Decken aus Natursteinpflastern werden grundsätzlich manuell verlegt ▪ Aufgrund ihrer regelmäßigen Formausbildung können Betonsteinpflaster und Klinkerpflaster sowohl maschinell als auch manuell verlegt werden
Versickerungsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ abhängig von der Häufigkeit und Ergiebigkeit des Starkregens ▪ die Versickerungsleistung ist von Deckschichtmaterial, Oberbaukonstruktion und Oberflächengefälle abhängig ▪ eine kurzfristige Speicherfunktion von 200 bis 270 l/(s.ha) soll rückstaufrei gewährleistet sein ▪ Dauerhaftigkeit der Versickerungsleistung hinsichtlich Verschlammung der Sickerwege (Poren, Fugen, etc.) ▪ ausreichende Bodendurchlässigkeit: k_f - Wert $>5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s oder seitliche Entwässerung

Kriterien	Anmerkung
Sicherheit	aus verkehrstechnischer Sicht wird Ebenheit (längs und quer), Griffigkeit und Helligkeit gefordert
Wirtschaftlichkeit	Herstellungskosten sowie die Erhaltung sollen gering sein, die Nutzungsdauer jedoch lang
Umweltschutz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ auch bei Anwendung von wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen ist der Flächenbedarf auf ein Minimum zu beschränken, um die natürliche Umgebung möglichst optimal zu erhalten und zu schonen. ▪ nach der Wiener Bauordnung (§4 und §5 m)) darf kein Regenwasser ins Kanalnetz fließen, wenn die Voraussetzungen zur Versickerung stimmen. ▪ Eignung des Untergrundes (ausreichende Durchlässigkeit: k_f - Wert $>5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s, ausreichende Mächtigkeit und Filterwirkung, Zusammensetzung, pH-Wert, etc.) <ul style="list-style-type: none"> - Flurabstand zur Grundwasseroberfläche ≥ 2 m - Mächtigkeit des durchlässigen Untergrundes > 1 m ▪ Sickerwasser muss so gering belastet sein, dass es nicht zu einer Gefährdung von Boden, Vegetation und Grundwasser führen kann. ▪ erhöhte Anforderungen an Grundwasser- und Quellschutz in sensiblen Gebieten (Wasserschutzgebiete, ungünstige Untergrundverhältnisse und Grundwasserstände, etc.) ▪ Schadstoffbelastetes Oberflächenwasser muss einer Behandlungsanlage zugeleitet werden. ▪ Flächenbefestigungen, die im Winter eisfrei gehalten werden müssen, sollten nicht mit wasserdurchlässigem Pflaster ausgeführt werden. ▪ erhöhter Geräuschpegel bei größerer Verkehrsbelastung (besonders bei großformatig angelegtem Natursteinpflaster mit breitem Fugenabstand)
Ästhetik	mögliche ästhetische Anforderungen an Farbe, Form, Verbandsart, etc.

3. Aufbau einer sickerfähigen Pflasterdecke

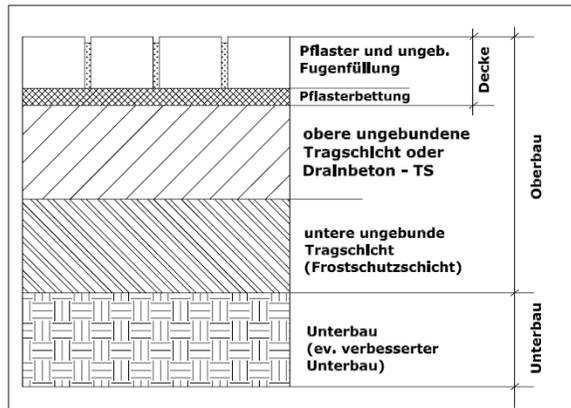


Abb. 2.: Aufbau einer Pflasterdecke

Die wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen bestehen aus einer wasserdurchlässigen Pflasterdecke (Pflastersteinen, -platten oder Drainbeton- Pflastersteinen und entsprechender wasserdurchlässigen Fugenfüllung) in einer wasserdurchlässigen Bettung und wasserdurchlässigen oberen und unteren Tragschichten.

Die Oberbaudimensionierung für Pflasterdecken und -platten erfolgt nach der maßgebenden Verkehrsbelastung auf dem höchstbelasteten Fahrstreifen gemäß RVS 03.08.63.

Die relevanten Lastklassen für Pflasterbefestigungen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche werden wie folgt definiert (RVS 03.08.63):

- Pflastersteindecken: III bis VI (Bautyp 7 und 8)
- Pflasterplattendecken: V und VI (Bautyp 7c und 8c)

4. Wasserdurchlässige Pflastersysteme

Unterteilung der wasserdurchlässigen Pflastersysteme:

Wasserdurchlässiges Pflastersystem	Beschreibung
Pflasterdeckenart	<p>Pflaster- und Plattensysteme mit Sickerfugen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Versickerung erfolgt ausschließlich durch die Fugen <p>Pflaster- und Plattensysteme mit Sickeröffnungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Versickerung erfolgt durch Wassereinlauföffnungen <p>Drainbetonsteine:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Versickerung erfolgt, aufgrund des hohlraumhaltigen Gefüges des Pflasters, durch den Stein selbst
Aufbau der oberen Tragschicht	ungebundene obere Tragschicht obere Drainbeton- Tragschicht
Entwässerungsmaßnahmen	<p>Versickerung über die Verkehrsfläche allein</p> <p>Versickerung über Drainagen, Rigolen und Sickergraben</p> <p>Muldenversickerung bzw. Mulden-Rigolen- Versickerung</p> <p>Flächenversickerung in Kombination mit Straßenkanalisation</p>

Bei jedem System wird die Regelbauweise gemäß RVS 03.08.63 angewendet – durchlässige Pflasterdecke in einer wasserdurchlässigen Bettung und wasserdurchlässige obere und untere Tragschicht.

4.1. Pflasterdeckenart

Tabelle 1: Versickerungsfähige Betonpflaster- und Betonplatten – Übersicht

Art des Belags	Fugen- bzw. Sickeröffnungsbreite	Öffnungs- bzw. Porenanteil i.d.R.	Einsatzbereiche
Pflaster mit Normalfuge	3 mm bis 5 mm	2 % bis 4 %	Lastklasse III bis VI
Pflastersteine / Pflasterplatten mit aufgeweiteten Fugen (Sickerfugen)	8 mm bis 35 mm	10 % bis 20 %	Lastklasse VI
Pflastersteine / Pflasterplatten mit Sickeröffnung und Normalfuge	Fuge 3 mm bis 5 mm Sickeröffnung 5 bis 100 mm breit	10 % bis 15 % (bis 50 % bei Rasengittersteinen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lastklasse VI ▪ Lastklasse V mit Verbundsteinen ▪ Rasengittersteine nur bei geringer mechanischer Beanspruchung
Drainbetonpflaster	Fuge i.d.R. 3 bis 5 mm auch mit aufgeweiteten Fugen möglich	15 % bis 25 % bei Normalfuge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geh- und Radwege ▪ Pkw-Parkflächen

Tabelle 2: Einsatzbereiche von wasserdurchlässigem Pflaster

Einsatzbereiche	Pflasterarten	Eigenschaften	möglicher Aufbau ¹⁾
Stärker frequentierte Stellflächen, Zufahrten, Plätze, ständig benutzte Wegbereiche, Höfe	Fugenpflaster	Natur- oder Betonsteine mit unterschiedlich breiten Fugen verlegt, mit Rasen oder mit Splittfüllung Gute Versickerung bei Fugenbreite > 3 cm	8 -10 cm Pflaster mit Humus u. Sand gefüllt, 10-25 cm Kiessand, 20-25 cm Schotter/Kies (Kiessand- und Schottermenge abhängig vom Untergrund)
Stärker frequentierte Stellflächen, Zufahrten, Feuerweh-zufahrten	Rasengittersteine	Betonsteine mit rechteckigen oder wabenförmigen Öffnungen, die mit Erde gefüllt und dann mit Rasen eingesät werden. Gute Belastbarkeit, befahrbar Mittlere Regenwasser- versickerung	10 cm Rasengittersteine mit Füllung aus Humus-Sand- Gemisch, Einsaat, 5 cm Splitt, 20-25 cm Schotter (abhängig vom Untergrund)
Zufahrten, Stellplätze und Fußwege	Drainbetonpflaster	Grobkörniges, wasser- und luftdurchlässiges Betonpflaster Kann Öl- und Benzinreste aus dem Oberflächenwasser herausfiltern Geringe Regenwasser- versickerung	Pflaster mit feinem Quarzsand verfugt 5 cm dickes Sand- oder Splittbett, verdichtete Schotter- oder Kiestragschicht, Unterbau 20 cm (bei Fußgängern, 40 cm bei Pkws)

¹⁾ grundsätzlich ist RVS 03.08.63 maßgebend

Abb.3: Pflastersysteme mit ausweiteten Fugen- Verlegebeispiele

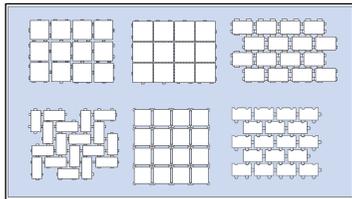


Abb.4: Pflastersysteme mit Sickeröffnungen- Verlegebeispiele

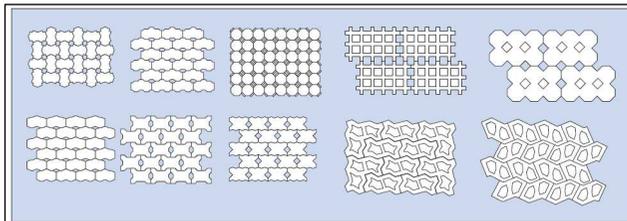
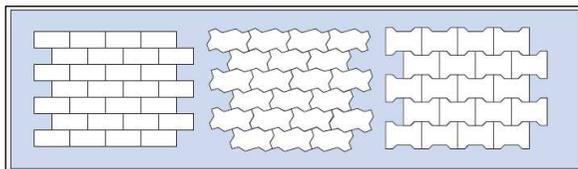


Abb.5: Dränbetonpflaster- Verlegebeispiele



4.2. Aufbauart der oberen Tragschicht

Die Oberbauten auf Straßen sind in der Richtlinie RVS 03.08.63 geregelt.

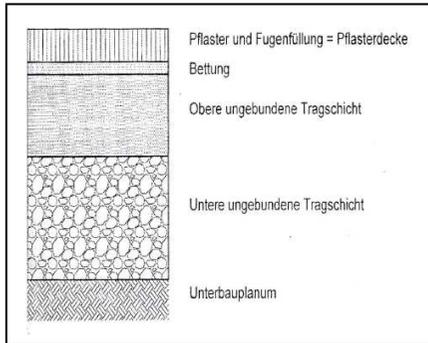
Tabelle 3: Ungebundene Bauweisen nach Aufbauart der oberen Tragschicht

Bauweise	Schichtdicke [cm]	Beschreibung/ Normen
ungebundene obere Tragschicht	6 - 18	Pflasterdecke (Natur- od. Betonstein)
	3 - 5	Bettung gem. RVS 08.18.01
	10 - 30	Obere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	15 - 40	Untere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	-	Unterbauplanum gem. RVS 08.03.01
obere Drainbeton-Tragschicht	6 - 18	Pflasterdecke (Natur- od. Betonstein)
	3 - 5	Bettung gem. RVS 08.18.01
	15 - 20	Drainbeton- TS gem. RVS 08.18.01
	15 - 30	Untere ungeb. TS gem. RVS 08.15.01
	-	Unterbauplanum gem. RVS 08.03.01

Für nur begehbare Flächen sind Pflasterstärken von 4 cm ausreichend. In Fahrbereichen (Pkw) sollte eine Stärke von mindestens 6 cm eingesetzt werden, bei stärkerer Belastung (Lkw) mindestens 8 cm.

Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht:

Abb.6.: Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht



Die Steine werden auf ein loses Bett aus Splitt, Sand oder Granulat gesetzt. Das Fugenmaterial ist darauf abgestimmt und soll idealerweise aus dem gleichen Material bestehen.

Vorteile

- Einfache Herstellung
- Eindringendes Wasser kann ungehindert versickern
- Preiswerter als gebundene Tragschichten

Materialien für die obere ungebundene Tragschicht gemäß RVS 03.08.63 :

- ungebundene obere Tragschichten gemäß RVS 08.15.01 aus Gemischen mit einem überwiegenden Anteil an gerundeten Körnern (C_{NR}) ($E_{V1} \geq 75 \text{ MN/m}^2$)
- ungebundene obere Tragschichten aus gebrochenen Körnungen ($C_{50/30}$ oder $C_{90/3}$) ($E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$).
- ungebundene obere Tragschichten aus zentralgemischten Kantkörnungen (mind. $C_{90/3}$) gemäß RVS 08.15.01 ($E_{u1} \geq 120 \text{ MN/m}^2$).

In jedem Fall sind die Sieblinienbereiche für obere Tragschichten gemäß RVS 08.15.01 einzuhalten.

Weitere Anforderungen und Richtwerte sind den RVS 03.08.63 und RVS 08.15.01, sowie RVS 08.18.01 zu entnehmen.

Die standardisierten Oberbauausführungen dieser Bauweise sind aus der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4: Bemessungstabelle für Pflastersteindecken in ungebundener Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht (gem. RVS 03.08.63)

Lastklasse (n = 20 Jahre)	III	IV	V	VI
BNLW in Mio.	> 0,4 bis 1,3	> 0,1 bis 0,4	> 0,05 bis 0,1	≤ 0,05
Bautype 7a Großpflastersteine oder ähnl. Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	cm 17 3 20 30 UP VP	cm 17 3 20 20 KPB	cm 17 3 20 20 KPB	cm 17 3 30 20 UP VP
Bautype 7b Kleinpflastersteine mit allseitiger Verbundwirkung oder Betonverbundsteine Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte		cm 10 3 20 30 KPB	cm 8 3 20 20 KPB	cm 8 3 20 20 KPB
Bautype 7c Kleinpflastersteine oder Betonsteine ohne Verbundwirkung Bettung ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte			cm 10 3 20 30 KPB	cm 8 3 20 30 KPB
$E_{u1,UP} > 35 \text{ MN/m}^2$				

ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C_{NR} , $C_{50/30}$)

Bettungsmaterial gemäß RVS 08.18.01

Kleinpflastersteine im Verband mit allseitiger Verbundwirkung (Type H1 bis H3 gem. ONORM B 3108 im Segmentbogenverband); Betonverbundsteinsysteme

ungebundene untere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (Cm)

Großpflastersteine Type D1, D3 gemäß ONORM B 3108 oder adäquate Kunststeinerzeugnisse im Reihenverband rechtwinklig bzw. diagonal zur Bezugslinie

Kleinpflastersteine im Verband ohne allseitiger Verbundwirkung, Betonsteine ohne Verbundwirkung (im Reihenverband rechtwinklig bzw. diagonal zur Bezugslinie, Fischgrätverband)

4.3. Versickerungssysteme nach Entwässerungsart

Entwässerung

Es ist sicherzustellen, dass Wasser, das durch die Tragschichten eingedrungen ist, auf dem Unterbauplanum abfließen kann. Im Regelfall benötigt eine versickerungsfähige Verkehrsfläche eine zusätzliche Entwässerung. Ein Verzicht auf zusätzliche Entwässerungseinrichtungen bedingt eine Einzelfallprüfung und ist z.B. bei untergeordneten privaten oder kleinen Flächen möglich, wenn ein evtl. entstehender Oberflächenabfluss beeinträchtigungsfrei in der Umgebung versickert oder zurückgehalten werden kann. Werden versickerungsfähige Beläge auf einem Untergrund mit geringer Durchlässigkeit verlegt (Untergrund mit $k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s), so ist eine Entwässerung des Planums vorzusehen (unterirdische Sickergräben zur zusätzlichen Speicherung oder entsprechende Wasserableitung durch Drainagen bzw. Rigolen).

Die Entwässerung der wasserdurchlässigen Pflastersysteme erfolgt ähnlich wie bei den anderen Befestigungsarten grundsätzlich durch Einbringen von Straßengefälle – Quer- und Längsgefälle, sowie Hilfseinrichtungen wie seitliche Sickermulden, Drainagen, Kanalanschlüsse, etc. Die zusätzlichen Entwässerungseinrichtungen dienen dazu, Überstauungen bei Starkregen und im Winter zu vermeiden, sowie eine Verminderung der Durchlässigkeit über die Nutzungsdauer der Pflaster- und Plattendecken auszugleichen.

Eine Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit von Pflastern mit UNI – Ökosteinen von Muth hat ergeben, dass bei gefällelos verlegten Pflasterdecken Niederschlagsspenden bis zu 200 l/(s.ha) vollständig versickern. Bei Decken mit einem Gefälle von 2,5% sind diese nur noch 50% (100 l/(s.ha)). Bei einer Niederschlagsspende von 300 l/(s.ha) (Starkregen) und einem Gefälle von 0% können ca. 85%, bei einem Gefälle von 2,5% immer noch 75% vollständig versickern. Selbst bei Extremereignissen von 900 l/(s.ha) würden bei einem Gefälle von 0% noch 50% zur Versickerung kommen.

Abb.8.: Pflastersystem UNI Ökosteine der Form A

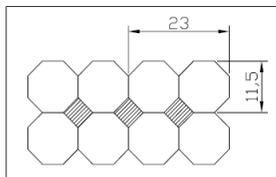


Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der UNI – Ökosteine - Sickerfähigkeit nach MUTH

Niederschlagsspende	Einsickermenge (Quergefälle 0%)
200 l/(s.ha)	100 %
900 l/(s.ha)	50 %
300 l/(s.ha)	85 %

Rückhaltevolumen des Systems (Pflasterdecke und ungebundene Tragschicht):

ca. 16 l/m² = Niederschlag von etwa 300 l/(s.ha), unabhängig von der Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes bzw. der Unterlage.

Anwendung:

bei nicht ausreichender Sickerfähigkeit bzw. Abdichtung des Untergrundes bzw. der Unterlage (Durchlässigkeit $k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s).

Folgende Kennwerte werden für das Quergefälle der Pflasterbefestigungsschichten empfohlen:

Tabelle 7: gängige Kennwerte für das Quergefälle der Pflasterbefestigungsschichten

	Quergefälle
Pflasterdecke	0 – 2,5 %
obere Tragschicht oder Feinplanie	wie Decke
Unterbauplanum und Frostschuttschicht	2,5 - 4 %

Es ist noch zu berücksichtigen, dass:

- sich bei Anwendung von gefällelosen Pflasterungen Senken durch Verlegetoleranzen und Betrieb bilden können, die zum Verschlämmen neigen.
- bei einem Gefälle von 2,5 % sich die Versickerungsleistung um ca. 50 % gegenüber ebenen Flächen verringert.
- bei einem Gefälle größer 5% eine Versickerung nur noch in geringem Maße stattfindet und die Gefahr von Ausspülungen und Erosion im Bereich von Fugen und Bettung besteht.

Entwässerung der wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen

Bei der Anwendung von wasserdurchlässigen Pflastersystemen wird die vollständige direkte Niederschlagsversickerung durch die Pflasterbefestigung in den Untergrund bestrebt. Dies ist jedoch z.B. aufgrund der unzureichenden Durchlässigkeit der Befestigungsschichten, der Gefahr von Grundwasser- verschmutzung, oder extremer Niederschlagsereignisse, etc. nicht immer möglich. In solchen Fällen benötigt die versickerungsfähige Verkehrsfläche für die Erfassung vom überschüssigen Wasser eine zusätzliche Entwässerungshilfe in der Form von:

- Drainagen, Rigolen und Sickergraben
- Mulden bzw. Mulden-Rigolen- Systeme
- Kanalisation

Je nachdem, ob die Regenintensität kleiner oder größer als die Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung ist, wird zwischen vier Fällen unterschieden:

A: Regenintensität ≤ Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung

Fall 1: Versickerung über die Verkehrsfläche allein

Voraussetzung sind eine maßgebende Niederschlagsspende von max. 200 - 270 l/(s.ha) und ausreichende Untergrunddurchlässigkeit ($k_f > 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s).

B: Regenintensität > Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung

Fall 2: Versickerung über Sickergraben, Drainagen und Rigolen

Dies kommt bei einer maßgebenden Niederschlagsspende größer als 270 l/(s.ha) und/oder bei nicht ausreichender Untergrunddurchlässigkeit ($k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s) zum Einsatz.

Fall 3: seitliche Versickerung über Mulden

Dieser Fall wird angewendet, wenn Fall 1 und Fall 2 keine ausreichende Niederschlagsversickerung liefern können. Voraussetzung ist jedoch das Vorhandensein von genügend viel Platz seitlich der Verkehrsfläche. Bei Bedarf kann noch eine zusätzliche Entlastung der Mulde von überschüssigem Wasser durch einen Notüberlauf vorgesehen werden.

Fall 4: Ableitung des überschüssigen Wassers über Straßenkanal

Dieser findet Anwendung insbesondere in den städtischen Bereichen, wo, z.B. aufgrund von ungenügender Sickerfähigkeit der Pflasterbefestigungen und beengten Platzverhältnissen, mit den Fällen 1, 2 und 3 keine zufrieden stellenden Ergebnisse erzielt werden können bzw. diese nicht angewendet werden können.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Anwendungsmöglichkeiten und Anforderungen an Pflasterbefestigungen nach der Entwässerungsart

Entwässerungsart	Anwendung	Anforderungen
Versickerung über die Verkehrsfläche allein	direkte Versickerung über durchlässig befestigte Oberflächen bei Verkehrs-, Lager- und Parkflächen	sollten nach Möglichkeit eine humose Oberbodenschicht enthalten (Rasengitterpflastersteine); nur für gering verschmutzte Verkehrs- und Lagerflächen anzuwenden; Quer- bzw. Längsneigung der Pflasterdecke < 2,5%
Drainagen, Rigolen und Sickergraben	vor allem bei ungünstigen, undurchlässigen Bodenverhältnissen (z.B. bindige Böden) eingesetzt	
Muldenversickerung	für vorübergehende Speicherung des Wassers	genügendes Fassungsvermögen, ein durchlässiger Untergrund und eine entsprechende vertikale Sickerstrecke Mulde soll nur kurzzeitig eingestaut werden
Flächenversickerung in Kombination mit Straßenkanalisation	beengte Platzverhältnisse; unzureichende Wasserdurchlässigkeit des Bodens; Entlastung bei starkem Regen bzw. Schneefall; Absicherung gegen Lackenbildung.	Existierendes Kanalnetz: Misch- oder Trennsysteme.

Versickerung über die Verkehrsfläche allein

Unter reine Flächenversickerung bei den wasserdurchlässigen Pflasterbefestigungen wird die direkte Versickerung über die durchlässig befestigten Oberflächen ohne Entwässerungshilfseinrichtungen verstanden.

Es ist sicherzustellen, dass Wasser, das durch die Tragschichten eingedrungen ist, auf dem Unterbauplanum abfließen kann. Dies wird, laut Pflasterverlegeanleitungen der führenden Klinker- und Betonsteinhersteller (z.B. Weissenböck Baustoffwerk GesmbH und Wienerberger AG), durch eine entsprechende Querneigung des gut verdichteten Unterbauplanums von ca. 2,5 besser 4% und die Sicherstellung der seitlichen Entwässerungsmöglichkeit erreicht. Die Frostschutzschicht muss oberseitig im Gefälle der Pflasterfläche ausgeführt werden.

Durchlässig befestigte Oberflächen sollten nach Möglichkeit eine humose Oberbodenschicht enthalten (z.B. Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster, Schotterrasen). Fehlt diese Oberbodenschicht (z.B. Sickersteine, Porenpflaster oder mit Brechsand gefüllte Gittersteine), so ist eine wesentlich geringere Reinigungswirkung gegeben. Die Versickerung ohne Oberbodenschicht sollte nur für gering verschmutzte Verkehrs- und Lagerflächen und in begründeten Ausnahmefällen für mittel verschmutzte Verkehrs- und Parkflächen angewandt werden. Darüber hinaus sind der Abstand zum Grundwasser und die Durchlässigkeit der anstehenden Bodenschichten für eine mögliche Flächenversickerung maßgeblich.

Ein Verzicht auf zusätzliche Entwässerungseinrichtungen bedingt eine Einzelfallprüfung und ist z.B. bei untergeordneten privaten oder kleinen Flächen möglich, wenn ein evtl. entstehender Oberflächenabfluss beeinträchtigungsfrei in der Umgebung versickert oder zurückgehalten werden kann. Werden versickerungsfähige Beläge auf einem Untergrund mit geringer Durchlässigkeit verlegt (Untergrund mit $k_f < 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s), so ist eine Entwässerung des Planums vorzusehen.

Folgende Anwendungsbereiche von wasserdurchlässigen Pflastersystemen ohne zusätzliche Entwässerungseinrichtungen kommen in Frage:

- Parkwege und Parkanlagen
- Garagenzufahrten
- Sportanlagen
- Hoffflächen

Zusammenstellung der durchlässigen Materialien, die zur Verfügung stehen:

Befestigungsdecke:

- Natur-, Beton und Klinkerpflastersteine
- Rasengittersteine:
gering sickerfähig aber gute Wasserspeicherfähigkeit und Wiederverdunstung
- Drainsteine:
problematisch: Wasserdurchlässigkeit auch nach mehrmaliger Reinigung zwangsläufig abnehmend

obere Tragschicht:

- Schotter, Kies gemäß RVS 08.15.01
- Zentralgemischte Kantkörnung (sieblinienkonstantes, korngestuftes Mineralgemisch gemäß RVS 08.15.01)
- Drainbeton

Abbildung 9 stellt den Aufbau einer Rasengitterpflasterbefestigung dar.

Abb.9.: Darstellung einer Rasengitterpflasterdecke

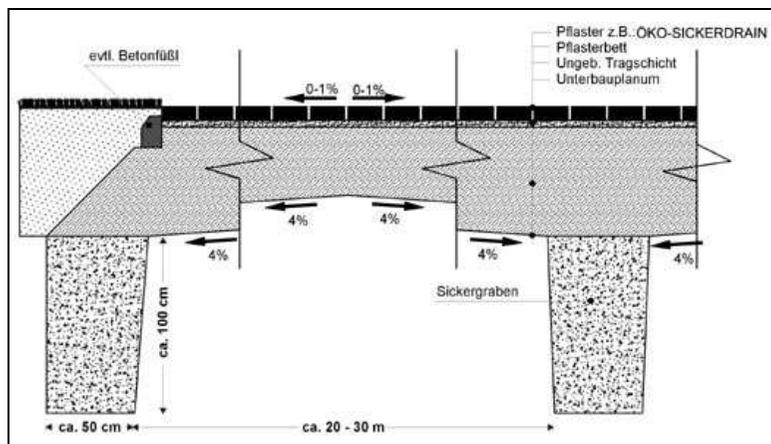


Sickergraben- und Rigolenversickerung

Diese Entwässerungsmöglichkeit kommt bei Regenintensitäten größer als die Versickerungsfähigkeit der Pflasterbefestigung ($> 270 \text{ l/(s.ha)}$) bzw. bei nicht ausreichender Untergrunddurchlässigkeit ($k_f < 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) zur Anwendung.

Die Ableitung des überschüssigen Niederschlagswassers in einen mit Kies gefüllten Graben (Sickergraben) ist vorzuziehen. Somit wird eine unterirdische Speichervolumenvergrößerung der wasserdurchlässigen Pflasterdecke erzielt, die das direkte Einsickern des Wassers in den Untergrund mit einer Zeitverzögerung ermöglicht. Es kann somit auf die teure nicht ökologische Einschließung zur Kanalisation verzichtet werden. Der Mindestabstand zu Grundwasserleiter darf jedoch 1,0 m nicht unterschreiten.

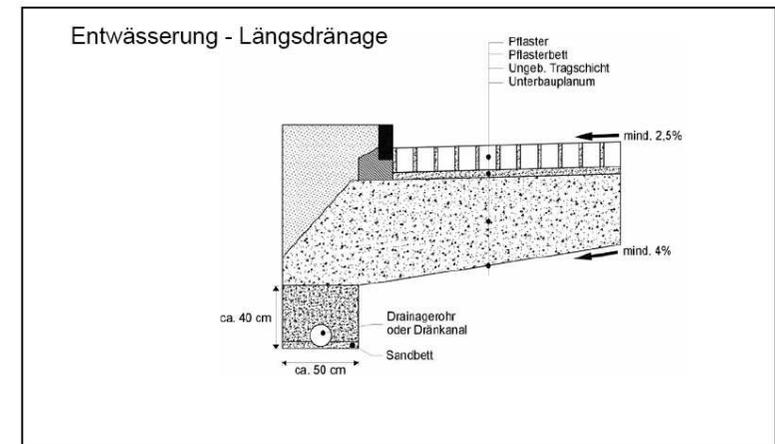
Abb. 10: Wasserdurchlässige Pflasterdecke – Entwässerung über Sickergräben



Die Ableitung des Niederschlagswassers kann auch in einen unterirdisch in Kies gebetteten, perforierten Rohrstrang (Rigol) geleitet werden. Die Rohr- und Rigolenversickerung wird vor allem bei ungünstigen, undurchlässigen Bodenverhältnissen (z.B. Lehm- und Mischböden), bei einer gewissen Abdichtung des Unterplanums, sowie bei dem Einbau von Geotextilien (Vlies) unter der Frostschutzschicht eingesetzt. Die Rigolen sollen jedoch an einem Kanal angeschlossen werden, da der überschüssige Niederschlag nicht immer vollkommen durch die Rigolenöffnungen versickern kann, was aber nicht mehr zur Gänze dem Sinn der ökologischen Entwässerung entspricht.

Die Abbildung 11 zeigt eine mögliche Ausführung von Pflasterbefestigungen mit Entwässerungsdrainage.

Abb. 11: Entwässerung von Pflasterbefestigungen mithilfe von Längsdrainage



Muldenversickerung

Ist genügend Platz seitlich der Verkehrsfläche vorhanden und wird die vollständige Niederschlagsversickerung durch die Pflasterbefestigung allein oder mithilfe von Sickergräben und/oder Rigolen bzw. Drainagen nicht möglich, so könnte eine zusätzliche seitliche Entwässerung durch Mulden vorgesehen werden.

Sickermulden sind offene, begrünte Mulden, in denen auch eine vorübergehende Speicherung des Wassers möglich ist. Wesentliche Voraussetzung dafür sind genügendes Fassungsvermögen, ein durchlässiger Untergrund und eine entsprechende vertikale Sickerstrecke. Der begrünte Boden sorgt für eine ausreichende Reinigung.

Die Mulden sollten nur kurzzeitig eingestaut werden, um die Gefahr der Verschlammung der Oberfläche gering zu halten. Als ausreichend hat sich eine Einstauhöhe von 30 cm bewährt. Das Verhältnis der angeschlossenen befestigten Fläche zur versickerungswirksamen Fläche ist in der Regel kleiner als 15 zu wählen. Die Zuleitungen zur Mulde sollten möglichst oberirdisch erfolgen, um geringe Muldentiefen zu erzielen. Das Ausmaß einer erforderlichen Vorbehandlung zur Vermeidung von Kolmation (z.B. Schlammfang mit Tauchbogen, Absetzbecken, Zuleitung über Mulden und Gräben) vor der Sickeranlage muss im Einzelfall geprüft werden.

Die Dimensionierung von Sickermulden wird in ÖNorm B 2506-1 detailliert behandelt.

Die nachfolgenden Abbildungen stellen Beispiele einer Muldenausführung schematisch und in praktischer Anwendung in Kombination mit einer Rasengitterpflasterbefestigung dar.

Abb. 12: Schematische Darstellung von Muldenausbildung

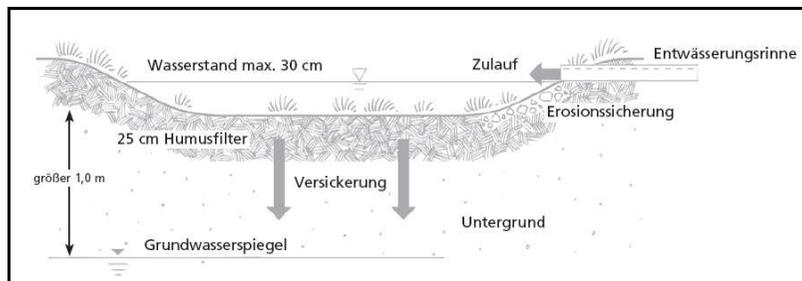


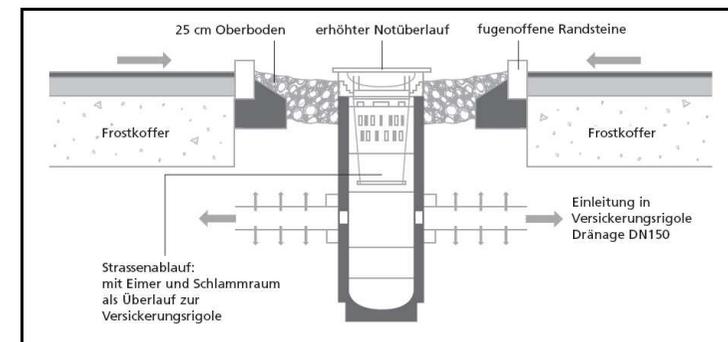
Abb. 13: Kombination Parkplatz mit Rasengittersteinen und Sickermulde



Durch Einsetzen von fugenoffenen Randsteinen, die die Parkfläche vom Grünbereich trennen, wird die Niederschlagszufuhr zu der Mulde problemlos gewährleistet.

Wenn die Durchlässigkeit des Untergrundes nicht groß genug ist, um die anfallenden Niederschlagsabflüsse vollständig über die Mulde zu versickern (k_f -Werte $< 10^{-6}$ m/s), kann eine Kombination von Mulde mit unterirdischer Versickerungsrigole eingesetzt werden. Hier findet, neben der Versickerung in den Untergrund über die Mulde, in der Regel auch eine gedrosselte Ableitung der nicht versickernden Wassermengen über ein Drainrohr an der Sohle der Rigole in die Vorflut statt. Die Mulde verfügt über einen erhöht liegenden Überlauf in die Rigole, so dass bei Starkregenzufuhr die Anlage erst bei Vollfüllung des Mulden- und Rigolenspeichers entlastet.

Abb. 14: Mulden- Rigolensystem mit Notüberlauf



Entwässerung mithilfe von Kanalanschluss

Ist eine vollständige Versickerung des Niederschlagswassers durch die bereits behandelten Maßnahmen nicht möglich, kann das restliche Wasser über Kanalisation eingeleitet werden.

Um auf einen Kanalanschluss gänzlich verzichten zu können, wird eine Wasseraufnahme der Befestigung von 200 - 270 l/(s.ha) und eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds gefordert.

Die Voraussetzungen bzw. Anforderungen für den Einsatz von versickerungsfähigen Pflasterbefestigungen in Kombination mit Straßenkanalisationsentwässerung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Regenwasserspende > Rückhaltevolumen der Pflasterbefestigung selbst;
- beengte Platzverhältnisse (hoher Platzbedarf für allein funktionierende Pflasterbefestigung);
- schadstoffbelastetes Regenwasser darf nicht direkt in Vorfluter eingeleitet werden;
- unzureichende Wasserdurchlässigkeit des Bodens;
- Existierendes Kanalnetz: Misch- oder Trennsysteme;
- Entlastung bei starkem Regen bzw. Schneefall;
- Absicherung gegen Lackenbildung;
- Straßengefälle > 5%.

Abb. 15: Straßen- und Parkstreifenentwässerung, Heiligenstädter Straße (Wien)



Die Versickerungsfähigkeit der Pflasterdecke kann wesentlich durch die geringe Fugenbreiten zwischen den Pflastersteinen, durch Verunreinigungen, durch die mit der Zeit immer stärker verdichteten Tragschichten und eine etwa höhere Längsneigung der Verkehrsfläche beeinträchtigt werden.

Begriffsbestimmung

Als **Pflaster** (v. lat. (em)plastrum) wird eine Befestigung für Verkehrsflächen im Straßen- und Wegebau bezeichnet. Pflastersteine werden aus Naturstein, Beton, oder Klinker hergestellt. Die Pflastersteine sollen bruchfest sowie frostbeständig sein und sich durch eine hohe Abriebsfestigkeit auszeichnen.

Das Pflaster wird zur Befestigung von innerstädtischen Straßen, Fuß- und Radwegen, Parkplätzen sowie Flächen mit hohen Ansprüchen an die Gestaltung und an die Aufenthaltsqualität, wie beispielsweise Fußgängerzonen oder öffentliche Plätze, eingesetzt.

Die **Pflasterdecke** besteht aus den eigentlichen Pflastersteinen (Betonsteine, Betonverbundsteine, Betonplatten, Natursteine), die in einer Pflasterbettung liegen. Sie ist begrenzt wasserdurchlässig (Fugen), sofern nicht eine gebundene Bauweise Anwendung findet. Die Pflasterdecke wird grundsätzlich nach drei Bauweisen ausgeführt: ungebundene, gebundene und gemischte Bauweisen.

Bei der **ungebundenen Bauweise**, der derzeitigen Regelbauweise, werden die Pflastersteine bzw. Pflasterplatten in eine Bettung ohne Zusatz eines Bindemittels gepflastert bzw. verlegt. Die Fugenfüllung wird ebenfalls ohne Zusatz eines Bindemittels hergestellt. Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen dauerhaft wasserdurchlässig ausgeführt werden (gem. RVS 08.18.01).

Bei der **gebundenen Bauweise** werden die Pflastersteine bzw. Pflasterplatten in eine Bettung aus Mörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels, gepflastert bzw. verlegt. Bei Pflasterplatten ist dabei besonders auf die kraftschlüssige Verbindung zwischen Platte und Bettung zu achten. Die Fugenfüllungen werden aus Fugenmörtel, d.h. mit Zusatz eines Bindemittels, hergestellt.

Die darunter liegenden Oberbauschichten müssen dauerhaft wasserdurchlässig ausgeführt werden. Temperaturverursachte Risse in den Fugen sind unvermeidbar (gem. RVS 08.18.01).

Als „**Ökopflaster**“ werden **wasserdurchlässige Pflasterdecken** bezeichnet. Die Versickerung des Niederschlagswassers erfolgt durch die Fugen zwischen den Pflastersteinen oder durch die in den Stein eingelassenen Hohlräume (z.B. Rasengittersteine) oder aber direkt durch den Stein (Sickersteine (Drainsteine) aus haufwerksporigem Beton).

Für eine wirksame Entsiegelung müssen sowohl Fugenverfüllung, Pflasterbett, Tragschicht als auch der Unterbau wasserdurchlässig sein.

Verbände und Institutionen

Institutionen

Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr: Herausgeber der Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS), Wien.

ON - Österreichisches Normungsinstitut Wien II., Heinestraße 38.

Verbände

Fachverband der Stein- und keramischen Industrie FORUM Qualitätspflaster

VÖB - Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilewerke

ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

ÖIAV – Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein

Liste der größten Hersteller von wasserdurchlässigen Pflasterprodukten in Österreich

Insgesamt sind in Österreich etwa 25 Unternehmen mit der Produktion von Betonsteinen beschäftigt. (Lt. FORUM QUALITÄTSPFLASTER©, c/o Verband österreichischer Beton- und Fertigteilewerke).

Die 5 bedeutendsten Pflaster- und Pflastersystemanbieter Österreichs mit deren wasser-durchlässigen Pflasterprodukten:

1. Ebenseer Betonwerke GmbH & Co. KG : „Uni-Ökosteine“: UNI VERBUND Pflaster, UNI Rasenverbundplatte, Sickerdrain Pflaster, Rasenplatte, Rasengitterstein, Rasenstein
2. Semmelrock Baustoffindustrie GmbH (Wienerberger AG): Ökodrain und Ökodrain DV, Ökogreen, Rasengitterstein, Grüne Fuge (Abstandhalter für Rasenfugen)
3. Frühwald GmbH & Co. KG : Öko-Fugensteine, Rasengittersteine
4. GÖTZINGER Gestaltung für Haus und Garten GmbH: DRAIN-Stein, RASENGITTER-Stein
5. Weissenböck Baustoffwerk GmbH : „Forum Sickerpflaster“, Rasenstein, Öko-Pflaster

Literaturquellen:

Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft: Oberflächenentwässerung – Leitfaden zum Umgang mit Niederschlagswässern aus Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächen, Bregenz, 1. Auflage Juli 2007

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ): Regenwasserversickerung durch Pflasterflächen, Zement-Merkblatt Straßenbau S.15, , Köln, 06/2003, <http://www.BDZement.de>

FRÜHWALD Ges.m.b.H.& Co KG, <http://www.fruehwald.co.at/>

JANDA, G.: Erarbeitung eines Bemessungs-vorschlages für Pflaster- und Plattenbefestigungen, Diplomarbeit an der TU Wien, 2003.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz: Flächenverbrauch verringern auf kommunaler Ebene, Grün- und Freiflächen, Merkblatt 1, Baden-Württemberg, 2008.

LITZKA, J. und PREGL, O.: Pflasterdecken aus UNI-Ökosteine. Untersuchung zur Anwendung und Bauausführung. Studie (unveröffentlicht), Wien 1989. (im Auftrag von Ebenseer Betonwerke GesmbH)

Magistrat der Stadt Wien: Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch (Bauordnung für Wien – BO für Wien), 08/2008: <http://www.magwien.gv.at/recht/landesrecht-wien/rechtsvorschriften/html/b0200000.htm>

MUTH, W.: Versickerung von Verbundpflaster. Versuchsanstalt für Wasserbau der Fachhochschule Karlsruhe, 1988.

o.A.: [http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_\(Belag\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_(Belag))

Regenwasserversickerung, (o.A.): <http://www.wien.gv.at/kanal/technik/strategie/regen.htm>

Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS):

Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien.

RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung, Ausgabe 1.04.2008.

RVS 08.18.01 - Technische Vertragsbedingungen für Straßenbauten; Deckenarbeiten; Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen, Entwurf 10.2008.

RVS 04.04.11- Gewässerschutz an Straßen, Ausgabe 07.11.2002.

RVS 08.15.01 – ungebundene Tragschicht, Ausgabe 04.04.2008.

RStO 01: Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001.

SHACKEL, B.: Handbuch Betonsteinpflaster, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1996.

Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz: Regen bringt Segen: Versickern statt Ableiten, Karlsruhe, Juli 2006.

Umweltverband, Vorarlberger Gemeindehaus: Ökoleitfaden Vorarlberg: Verkehr, Befestigung von Verkehrsflächen- Oberbaumaterialien, 2. überarbeitete Auflage, Dornbirn, April 2001:
http://www.umweltverband.at/fileadmin/Image_Archive/umweltverband/downloads/PDFÖkoleitfaden/intern/indexBau.php

VERBAND ÖSTERREICHISCHER BETON- UND FERTIGTEILWERKE (VÖB): Außenanlagen/Flächenbefestigungen/ Verlegung,
<http://www.wohnbeton.at/>

Weissenböck Baustoffwerk GesmbH: Richtig Pflaster verlegen: Aushub, Frostschutzschicht und Feinplanie, <http://www.weissenboeck.co.at/>