

Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken aus Beton (ungebundene Ausführung)

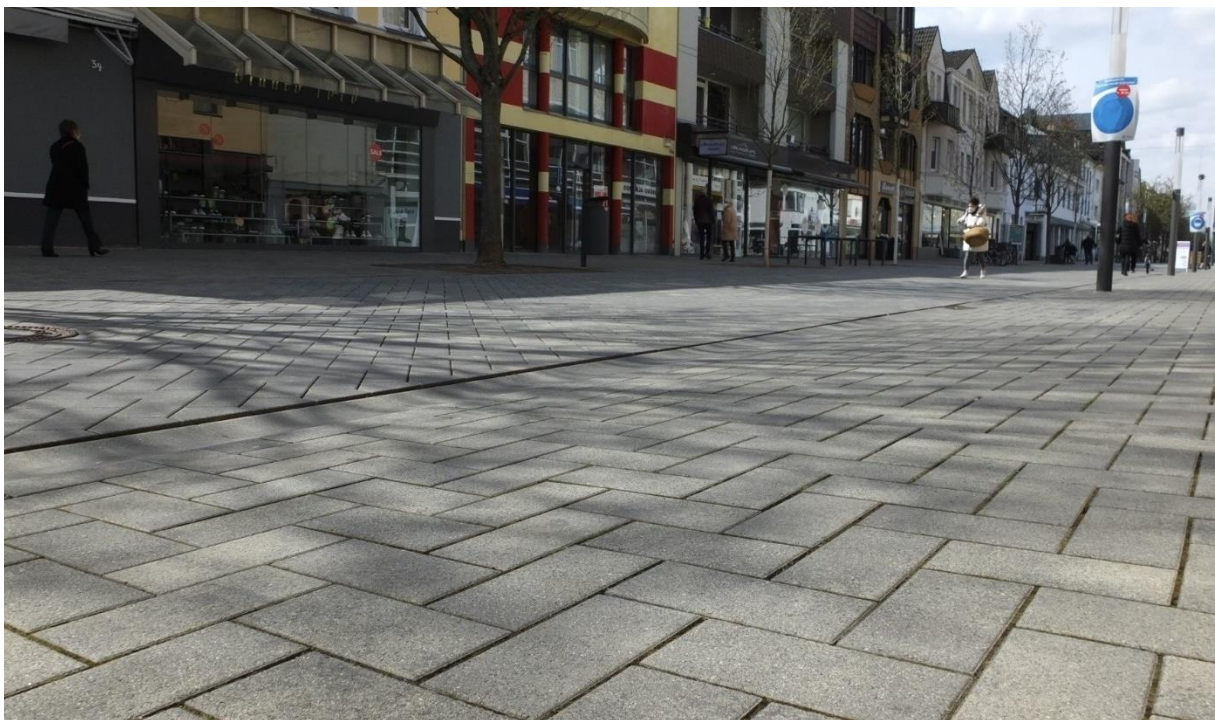
Einleitung

Der nachfolgende Aufsatz soll ein gewisses Maß an Grundwissen zur Planung und Ausführung von Verkehrsflächenbefestigungen mit ungebundener Betonpflasterdecke vermitteln. Zur Vertiefung der Gesamtmaterie oder einzelner Punkte wird auf das Technische Handbuch „Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen“ (SLG, 2014) des Betonverbands SLG verwiesen. Derzeit steht die Fassung aus Juni 2014 zur Verfügung und kann beim Herausgeber angefordert werden. Diese Fassung berücksichtigt jedoch noch nicht die im September 2019 erschienene ATV DIN 18318 sowie die im August 2020 erschienene ZTV Pflaster-StB. Das Technische Handbuch „Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen“ wird aber derzeit im Betonverband SLG überarbeitet und wird voraussichtlich in der 2. Jahreshälfte 2021 neu erscheinen.

Fachtechnische Abhandlungen, wie die nachfolgende, und technische Broschüren, wie das vorgenannte Technische Handbuch, ersetzen nicht das Studium und die Beachtung der einschlägigen technischen Regelwerke des Straßen- und Wegebau. Die wichtigsten werden in dieser Abhandlung genannt und sind am Schluss im Abschnitt 6 aufgeführt.

Die Angaben in diesem Aufsatz wurden nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Inhaltliche Fehler können dennoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten kann daher nicht übernommen werden.

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG), Bonn
April 2021



In der Troisdorfer Innenstadt (Kölner Platz und Umgebung) kann man fachlich und handwerklich einwandfrei ausgeführte Betonpflasterflächen anschauen (Foto: SLG)

Inhalt

1	Allgemeine Grundlagen	4
2	Einsatzbereiche von Betonpflasterbefestigungen	5
3	Technische Grundlagen	5
3.1	Allgemeines	5
3.2	Art der Pflasterdecke	6
3.3	Art der Unterlage	7
3.4	Einflüsse auf das Tragverhalten der Befestigung	7
4	Technische Regelwerke für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecke	8
5	Planung und Ausführung	9
5.1	Untergrund bzw. Unterbau	9
5.2	Tragschichten	9
5.2.1	Allgemeines	9
5.2.2	Tragschichten ohne Bindemittel	10
5.2.3	Tragschichten mit Bindemittel	11
5.3	Dimensionierung des Oberbaus	11
5.4	Entwässerung	12
5.4.1	Allgemeines	12
5.4.2	Entwässerung der Pflasterdecke	13
5.4.3	Entwässerung des Oberbaus	14
5.5	Planung und Ausführung der Pflasterdecke	15
5.5.1	Allgemeines	15
5.5.2	Bettung	15
5.5.3	Fugen und Fugenfüllung	17
5.5.4	Pflastersteine aus Beton	19
5.5.4.1	Allgemeines	19
5.5.4.2	Materialspezifische Anforderungen	20
5.5.4.3	Form und Abmessungen der Pflastersteine	21
5.5.5	Verbände	22
5.5.6	Anschlüsse an Einbauten, Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen	25
5.5.7	Beschaffenheit von Pflastersteinen	26
5.5.8	Hochpunkte bei Neigungswechseln	30
5.5.9	Verfugen, Verdichten, Fugenschluss	30
6	Literaturverzeichnis	34
	Impressum	36

1 Allgemeine Grundlagen

Verkehrsflächenbefestigungen mit einer Betonpflasterdecke gehören zum Fachgebiet des Straßen- und Wegebbaus. Dieses Fachgebiet wiederum ist Teil des Verkehrswegebbaus, zu dem beispielsweise auch der Eisenbahnbau und der Bau von Wasserwegen zu zählen ist. Der Straßen- und Wegebau umfasst den Entwurf, die Herstellung und die Erhaltung unter anderem von Straßen und Wegen für den Fahrzeug- und Fußgängerverkehr.

Der Bau von Flächenbefestigungen ist erforderlich, weil der natürlich gewachsene Boden als Fläche für den Transport von Menschen und Waren ungeeignet ist und den Beanspruchungen, die zum Beispiel von Fahrzeugen ausgehen, im wahrsten Wortsinn nicht gewachsen ist. Jede Flächenbefestigung muss den Grundbedürfnissen der Nutzer nach Sicherheit und Nutzungskomfort genügen. Daraus ergeben sich die grundlegenden Anforderungen an eine Verkehrsflächenbefestigung, die unter Berücksichtigung der zu erwartenden Beanspruchung, einer ordnungsgemäßen Erhaltung und dem Gebot der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit über die vorgesehene Nutzungsdauer erfüllt sein müssen:

- Tragfähigkeit
- Verformungsbeständigkeit (Standfestigkeit)
- Frostsicherheit
- Ebenheit und
- Griffigkeit.

Flächenbefestigungen sind schichtenförmig angeordnete Baukörper, die in der Regel auf dem gewachsenen, zuvor fachgerecht präparierten Boden aufgebaut werden. Dabei wird durch fachgerechte Planung, Baustoffauswahl und Ausführung erreicht, dass die Steifigkeit der einzelnen Schichten – das sind ungebundene und/oder gebundene Tragschichten – von unten nach oben zunimmt. Den oberen Abschluss der Flächenbefestigung bildet die Decke, zum Beispiel eine Betonpflasterdecke, die sowohl funktionalen als auch oftmals gestalterischen Anforderungen genügen muss. Die an der Oberfläche der Verkehrsfläche eingetragenen Lasten, zum Beispiel aus dem rollenden Verkehr, werden mit zunehmender Tiefe auf eine größere Fläche verteilt, so dass die Spannung an jeder Schichtoberfläche reduziert wird (Bild 1).

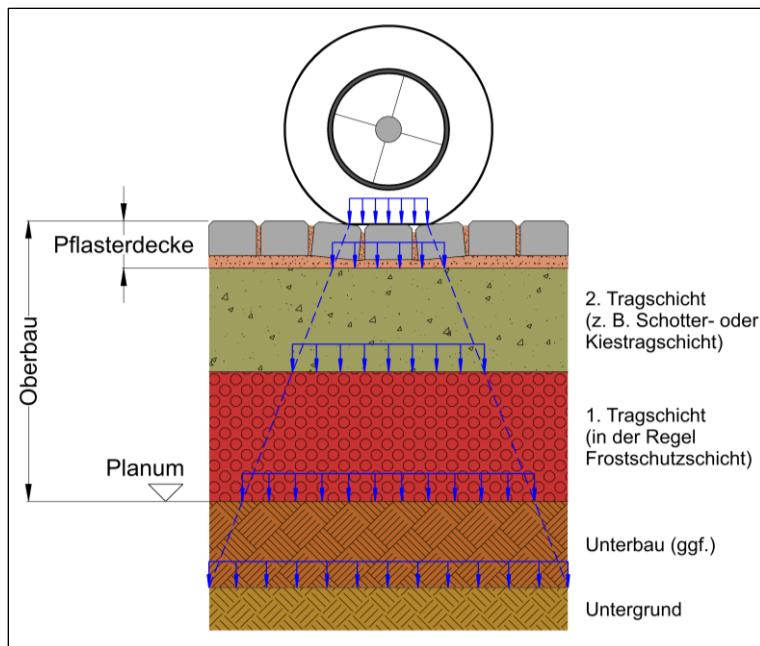


Bild 1: Prinzip der Lastabtragung und des Spannungsabbaus innerhalb der Schichten einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke (Zeichnung: SLG)

2 Einsatzbereiche von Betonpflasterbefestigungen

Die Einsatzbereiche für Flächenbefestigungen mit einer Betonpflasterdecke sind ausgesprochen vielfältig. Sie reichen von Flächen im privaten Wohnumfeld, die ausschließlich begangen werden, über Flächen für den ruhenden Kfz-Verkehr bis hin zu Flächen, die regelmäßig von Schwerfahrzeugen genutzt werden. Betonpflasterbefestigungen eignen sich auch für Fahrbahnen von Straßen, jedoch sollte die zulässige Geschwindigkeit für den Kfz-Verkehr auf 50 km/h und die Nutzung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs begrenzt sein. Letzteres ergibt sich, insbesondere für öffentliche Verkehrsflächen, nach den RStO durch Bestimmung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung und Zuordnung zu einer Belastungsklasse.

Pflasterdecken sind aus dem Blickwinkel der RStO zur Befestigung von Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk0,3 bis Bk3,2 sowie für Rad- und Gehwege anwendbar. Für über Bk3,2 hinausgehende Verkehrsbelastungen wird die Bauweise mit Pflasterdecke gemäß den einschlägigen Technischen Regelwerken nicht empfohlen.

Die große Vielfalt der Anwendungen mit Betonpflastersteinen ist sowohl auf die gestalterischen, als auch auf die bautechnischen, als auch auf die produktionstechnischen Möglichkeiten, die mit diesen modernen Produkten geboten werden, zurückzuführen. So stehen hochwertige und dauerhafte Produkte mit einer großen Auswahl an Formen und Größen, an Farben und Oberflächentexturen sowie an Oberflächenvergütungen flächendeckend zur Verfügung, mit denen wirtschaftliche und ökologisch verträgliche Bauweisen für Flächenbefestigungen realisiert werden können.

3 Technische Grundlagen

3.1 Allgemeines

Bei einer Flächenbefestigung wird durch die Anordnung der einzelnen Schichten des Oberbaus eine kontinuierliche Steigerung der Steifigkeiten von unten nach oben erzielt. Die an der Oberfläche der Befestigung anfallenden Lasten verteilen sich demnach mit zunehmender Tiefe auf eine größere

Fläche. Auftretende Spannungen werden so an jeder Schichtoberfläche reduziert. Auf dem Boden des Straßenkörpers (der Befestigung) angekommen, sind die Spannungen dann so weit herabgesetzt, dass sie über lange Zeit ohne Schädigungen, wie zum Beispiel bleibenden Verformungen, aufgenommen werden können. Einen typischen Oberbau mit einer Pflasterdecke zeigt das Bild 2.

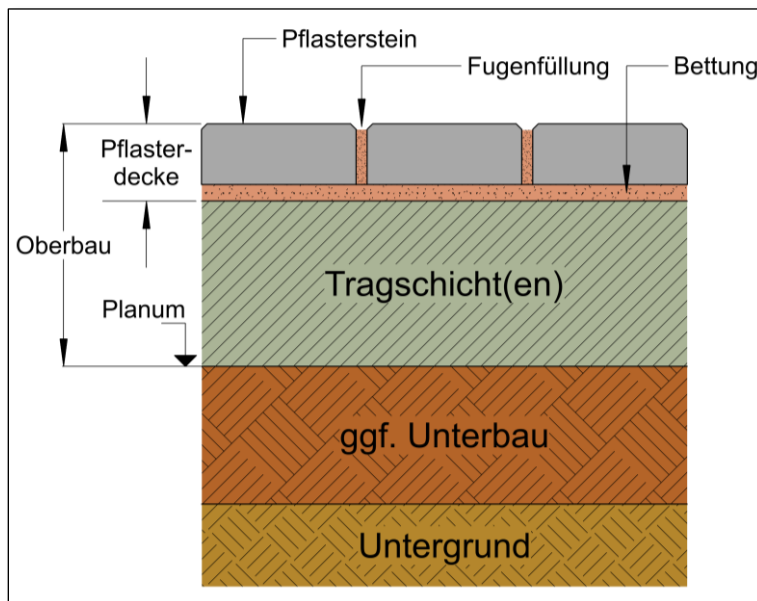


Bild 2: Typischer Oberbau für eine Flächenbefestigung mit Pflasterdecke (Zeichnung: SLG)

3.2 Art der Pflasterdecke

Die Pflasterdecke besteht aus der Bettung, den Pflastersteinen und der Fugenfüllung (Bild 2). Sie kann ungebunden oder gebunden ausgeführt werden.

Die ungebundene Ausführung wird hierzulande überwiegend ausgeführt. Bei dieser Ausführung ist sowohl die Bettung, als auch die Fugenfüllung ungebunden (Bild 3, links und Mitte).

Gebundene Pflasterdecken haben in Deutschland eine geringere Verbreitung als ungebundene, aber durchaus ihre Berechtigung. Sie sind jedoch ausführungstechnisch erheblich schwieriger in den Griff zu bekommen und bergen daher ein relativ großes Fehler- und Schadenspotenzial. Bei einer gebundenen Pflasterdecke des Straßenbaus ist sowohl die Bettung, als auch die Fugenfüllung gebunden, das heißt, unter Verwendung eines Bindemittels, zum Beispiel Zement, hergestellt (Bild 3, rechts).

Pflasterdecken in Mischbauweise, bei denen gebundenes Fugenmaterial mit ungebundenem Bettungsmaterial kombiniert wird (Bild 4 rechts), sind nach Straßenbaumaßstäben nicht fachgerecht und daher in den Regelwerken der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) nicht beschrieben. Im minderbelasteten Wegebau wird diese Bauweise jedoch durchaus angewendet (siehe zum Beispiel ZTV-Wegebau), wenngleich sie auch dort nicht unumstritten ist. Die Leistungsfähigkeit einer Pflasterdecke in Mischbauweise zum Beispiel, ist erheblich eingeschränkt; daher wird sie nur für untergeordnete Belastungen, zum Beispiel für ausschließlich fußläufige Nutzung, angewendet.

Eine Bauweise für eine Pflasterdecke mit ungebundener Fugenfüllung und gebundener Bettung wird weder im Straßenbau noch im Wegebau als fachgerecht angesehen.

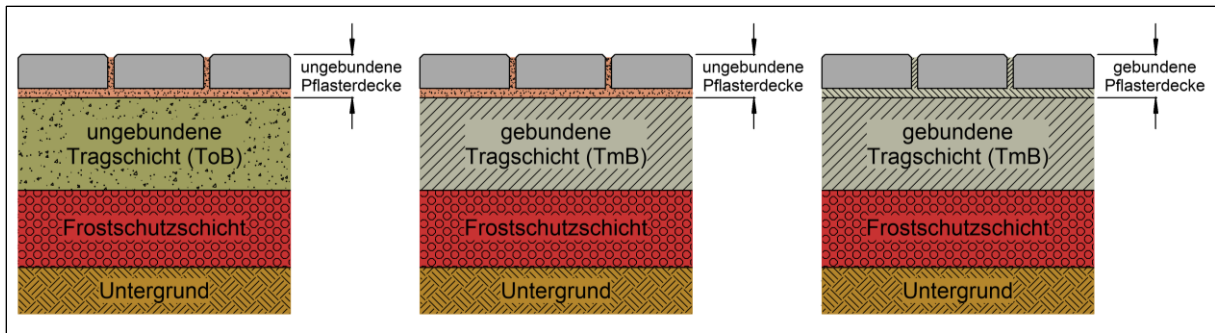


Bild 3: Klassische Oberbaukonstruktionen im Straßenbau mit ungebundener oder gebundener Ausführung der Pflasterdecke (Zeichnung: SLG)

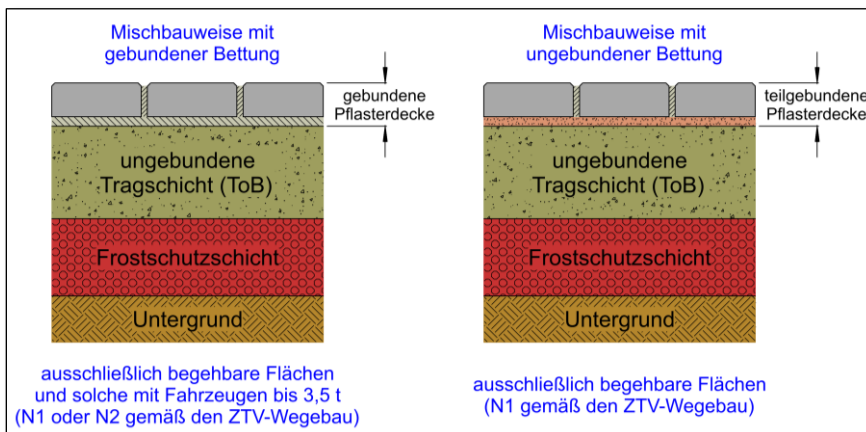


Bild 4: Oberbaukonstruktionen in so genannter Mischbauweise nach den ZTV-Wegebau (Zeichnung: SLG)

3.3 Art der Unterlage

Auch bei der Art der Unterlage muss nach Maßstäben des Straßen- und des Wegebaus unterschieden werden.

- Straßenbau: Auf einer ungebundenen Tragschicht, wie einer Schotter- oder Kiestragschicht, muss die Pflasterdecke immer ungebunden hergestellt werden (Bild 3, links). Auf einer gebundenen Tragschicht, wie einer wasserdurchlässigen Asphalttragschicht oder einer Dränbetontragschicht, kann die Pflasterdecke ungebunden oder auch gebunden ausgeführt werden (Bild 3, rechts und Mitte). Alle drei Bauweisen sind grundsätzlich für eine Verkehrsbelastung bis einschl. Bk3,2 nach den RStO geeignet.
- Wegebau: Nach den ZTV-Wegebau kann auf einer ungebundenen Tragschicht auch eine gebundene Pflasterdecke (Bettung und Fugenfüllung sind gebunden) ausgeführt werden (Bild 4, links). Allerdings ist auch diese Bauweise in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt und darf nur für eine begrenzte Belastung angewendet werden. Zu Bild 4, rechts, siehe auch Abschnitt 3.2.

3.4 Einflüsse auf das Tragverhalten der Befestigung

Die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten der Verkehrsflächenbefestigung wird zwar zu einem gewissen Teil von der Qualität der Pflasterdecke mitbestimmt (siehe dazu Abschnitt 5.5.1), jedoch sind die Einflüsse aus der Qualität der Tragschichten, zum Beispiel hinsichtlich Dicke, Verdichtungsgrad, Verformungsmodul, Verformungswiderstand und Wasserdurchlässigkeit, und aus der Güte des Untergrundes bzw. des Unterbaus erheblich größer.

4 Technische Regelwerke für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecke

Die vielfältigen Einsatzbereiche von Pflasterdecken spiegeln sich auch in den in Deutschland zur Verfügung stehenden Regelwerken wider. Für den Bereich des öffentlichen Straßenverkehrs (im weitesten Sinne handelt es sich dabei um die so genannten gewidmeten Verkehrsflächen) sind grundsätzlich die Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) anzuwenden. Für den Bereich außerhalb des Straßenverkehrs, den man im weitesten Sinnen auch als Wegebau oder Garten- und Landschaftsbau bezeichnen kann, steht seit 2013 ein Regelwerk der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), die ZTV-Wegebau, zur Verfügung. Die Unterscheidung nach diesen beiden Typen von Regelwerken ist deswegen wichtig, weil in den ZTV-Wegebau zum Beispiel so genannte Mischbauweisen beschrieben werden, die das FGSV-Regelwerk „nicht kennt“ (siehe auch Abschnitt 3.2 und Abschnitt 3.3).

Das Bild 5 zeigt einen typischen Aufbau einer Befestigung mit Pflasterdecke nach „Straßenbaukriterien“, getrennt nach ungebundener und gebundener Ausführung der Decke, mit Angabe der wesentlichen zugehörigen Regelwerke. Das Bild 6 zeigt einen typischen Aufbau einer Befestigung mit Pflasterdecke außerhalb des Straßenverkehrs mit Angabe der wesentlichen zugehörigen Regelwerke.

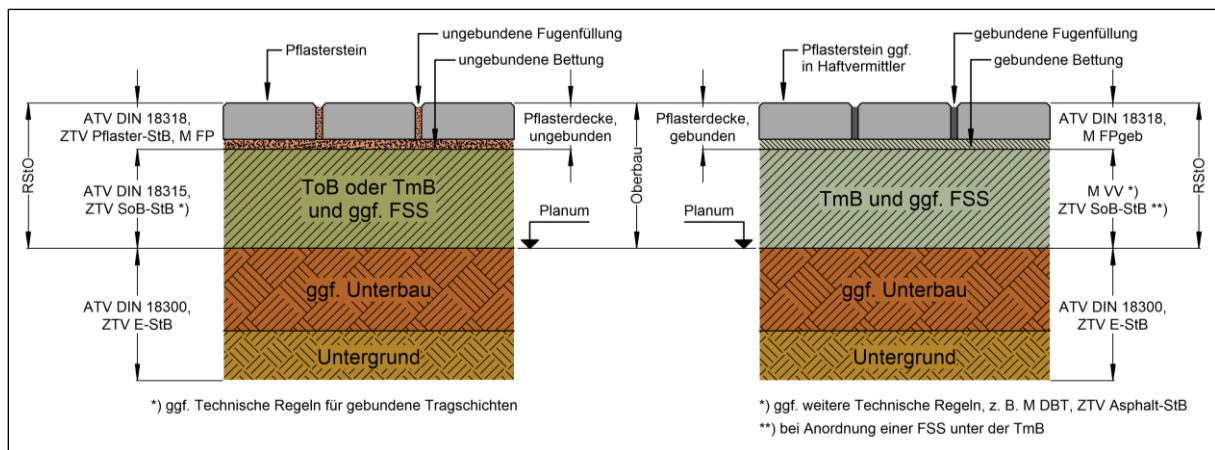


Bild 5: Aufbau einer Flächenbefestigung mit Pflasterdecke nach „Straßenbaukriterien“ unter Angabe der wesentlichen zugehörigen Regelwerke (Zeichnung: SLG)

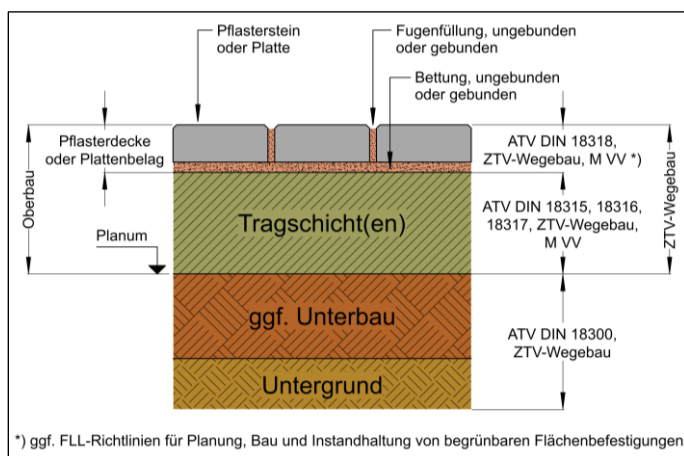


Bild 6: Aufbau einer Flächenbefestigung mit Pflasterdecke außerhalb des Straßenverkehrs unter Angabe der wesentlichen zugehörigen Regelwerke (Zeichnung: SLG)

5 Planung und Ausführung

5.1 Untergrund bzw. Unterbau

Der Oberbau, bestehend aus der Pflasterdecke sowie einer oder mehreren Tragschichten, wird in der Regel direkt auf dem anstehenden, höhen- und profilgerecht abgezogenen Boden, als „Untergrund“ bezeichnet, eingebaut. Nur wenn zunächst eine Schüttung notwendig ist, um zum Beispiel die höhen- und profilgerechte Lage des Planums herzustellen, ist in Form dieser Schüttung ein so genannter Unterbau vorhanden.

Der Untergrund bzw. Unterbau muss dauerhaft tragfähig und verformungsbeständig sein und daher hinreichend verdichtet werden, damit der Oberbau, beginnend mit der ersten Tragschicht (in der Regel ist dies eine Frostschutzschicht), auf dem Planum eingebaut und anforderungsgerecht verdichtet werden kann. Damit wird im Allgemeinen sichergestellt, dass die Auflast durch den Oberbau und die Verkehrsbelastungen schadlos aufgenommen werden können.

Die in Deutschland vorzufindenden Böden sind hinsichtlich ihrer bautechnischen Eignung in Bodenklassen eingeordnet (siehe DIN 18196). Anhand der Zusammensetzung des Bodens aus Kies, Sand, Schluff und/oder Ton sowie dessen Plastizität, die in den Bodenklassen beschrieben ist, ergibt sich gemäß den ZTV E-StB die Frostempfindlichkeit in den Stufen F 1 (nicht frostempfindlich), F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) und F 3 (sehr frostempfindlich). Eine ausführliche Beschreibung der Böden für bautechnische Zwecke nach DIN 18196 wird in (SLG, 2021a) vorgenommen.

Bei der Planung der Betonpflasterbefestigung sind die Frostempfindlichkeit und die Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu berücksichtigen sowie Anforderungen an dessen Tragfähigkeit und dessen Verformungsbeständigkeit, das heißt an den Verdichtungsgrad, zu stellen. Die Erdarbeiten haben nach den ZTV E-StB zu erfolgen.

Ist der Untergrund bzw. Unterbau nicht ausreichend wasserdurchlässig (Infiltrationsbeiwert geringer als $k_i = 1 \times 10^{-5}$ m/s), sollten besondere Maßnahmen durchgeführt werden, zum Beispiel Anordnung einer Planumsentwässerung. Eine solche sollte auch bei aufsteigendem oder seitlich in den Oberbau eindringendem Wasser und/oder bei einem verfestigten Untergrund/Unterbau angeordnet werden.

Weitere Hinweise zum Untergrund bzw. Unterbau sind (SLG, 2014) und (SLG, 2021a) zu entnehmen.

5.2 Tragschichten

5.2.1 Allgemeines

Tragschichten sind schichtenförmige Bauteile (Baukörper), welche die aus dem Verkehr über die Decke in die Straßenbefestigung eingebrachten Lasten aufnehmen und zum Untergrund hin soweit verteilen, dass das Planum keine schädlichen Verformungen erleidet. Tragschichten unter Pflasterdecken müssen insofern tragfähig, verformungsstabil und ausreichend wasserdurchlässig sein. Sie müssen zudem eine profilgerechte Lage sowie eine ebene und ausreichend geneigte Oberfläche aufweisen.

Werden Tragschichten vorübergehend befahren, zum Beispiel als Baustraße oder im Zuge von innerörtlichen Baumaßnahmen (Bild 7), sind vor dem Aufbringen der Pflasterdecke Maßnahmen zur Sicherstellung einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit zu treffen.



Bild 7: Durch vielfache Befahrung abgedichtete Tragschicht im Zuge einer innerörtlichen Baumaßnahme (Foto: SLG)

5.2.2 Tragschichten ohne Bindemittel

Tragschichten ohne Bindemittel (ToB) – so genannte ungebundene Tragschichten – sind Schichten aus frostunempfindlichem Material (SfM), Frostschuttschichten (FSS) sowie Schottertragschichten (STS) und Kiestragschichten (KTS). Zu Herstellung einer SfM werden bestimmte frostsichere Böden gemäß der DIN 18196 verwendet. Die Baustoffgemische und Böden für diese Tragschichten sind ansonsten den TL SoB-StB geregelt.

Sofern ein frostempfindlicher Boden (F2- oder F3-Boden) ansteht, ist auf dem Planum als erste Tragschicht eine Frostschuttschicht (FSS) oder eine Schicht aus frostunempfindlichem Material (SfM) anzuordnen. Die Dicke der ToB ergibt sich anhand der Dimensionierung nach den RStO. Die Mindestdicke einer ToB ist abhängig vom Größtkorn des verwendeten Bodens/Baustoffgemisches.

Für die Ausführung von ToB gelten die ZTV SoB-StB.

ToB sollten nur soweit verdichtet werden, wie es die Anforderungen an die Verdichtungsqualität (Verformungsmodul, Verdichtungsgrad, Verhältniswert E_{v2}/E_{v1}) gerade erfordern. Dies ist von Bedeutung, weil mit zunehmender Verdichtung die Oberfläche der ToB infolge Kornzertrümmerung und Abnahme des Porenvolumens dichter wird. Die Wasserdurchlässigkeit einer ToB kann daher bei Überverdichtung deutlich abnehmen, was der Pflasterbefestigung insgesamt erheblich schaden würde.

Die Ausführung von ToB hat nach den ZTV SoB-StB zu erfolgen. Wichtige Hinweise sind zudem dem *Merkblatt für Schichten ohne Bindemittel M SoB* zu entnehmen.



Bild 8: Bei der Herstellung der ToB ist darauf zu achten, dass es nicht zu Entmischungen kommt, die eine ungleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit zur Folge haben (Foto: SLG)

5.2.3 Tragschichten mit Bindemittel

Tragschichten mit Bindemittel (TmB) – so genannte gebundene Tragschichten – sind Dränbetontragschichten (DBT) und wasserdurchlässige Asphalttragschichten (WDA). Sie verfügen über eine höhere Tragfähigkeit und einen höheren Verformungswiderstand als ToB. Ihr Einsatz ist daher für Verkehrsflächen mit einem vergleichsweise hohen Schwerverkehrsanteil und/oder mit Besonderen Beanspruchungen sinnvoll (zu „Besonderen Beanspruchungen“ siehe RStO).

Auf der anderen Seite sind TmB hinsichtlich Technologie und praktischer Ausführung auf der Baustelle schwieriger zu handhaben als ToB. Der fachgerechte Einbau einer TmB erfordert daher ein hohes Maß an Erfahrung auf der bauausführenden Seite. Aufwand und Kosten für die Herstellung einer Tragschicht mit Bindemittel sind im Allgemeinen höher als bei einer Tragschicht ohne Bindemittel.

Dränbetontragschichten (DBT) werden grundsätzlich nach dem M DBT hergestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die darin beschriebenen Schichten ursprünglich als konstruktiv ausgebildete Entwässerungsschicht unter Betonfahrbahnen konzipiert wurden. In diesem Einsatzgebiet unterliegt eine DBT jedoch einer nicht so hohen mechanischen Beanspruchung wie eine DBT, die unmittelbar unter einer Pflasterdecke mit einem hohen Schwerverkehrsanteil angeordnet ist. Für eine DBT unter einer Pflasterdecke sollten daher die Anforderungen, zum Beispiel zur Zusammensetzung, Druckfestigkeit und Prüfung, nach dem M VV beachtet werden.

Für wasserdurchlässige Asphalttragschichten (WDA) sind hinsichtlich Zusammensetzung, Einbau und Prüfung grundsätzlich die Anforderungen und Empfehlungen des M VV zu beachten.

Hinweise zur erforderlichen Dicke einer TmB sind den vorgenannten Regelwerken sowie der RStO zu entnehmen. Weitere Hinweise, zum Beispiel zu Anforderungen, Planung und Ausführung, sind (SLG, 2014) und (SLG, 2021a) zu entnehmen.

5.3 Dimensionierung des Oberbaus

Für die Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen sind stets die Kriterien „Frotsicherheit“ und „Tragfähigkeit“ zu berücksichtigen. Das grundsätzlich maßgebende Regelwerk hierfür sind die *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)*. Darin sind technisch geeignete und wirtschaftliche Bauweisen beschrieben, die zum Teil empirische und zum Teil

wissenschaftliche Basis haben. In den RStO werden Bauweisen mit Asphaltdecke, Betondecke und Pflasterdecke behandelt.

Der Oberbau kann ausschließlich aus ungebundenen Tragschichten (ToB) oder aus einer Kombination von ungebundenen Tragschichten und einer gebundener Tragschicht (TmB) bestehen. Die Steifigkeit der Schichten der Befestigung nimmt von unten nach oben zu.

Die Entscheidung darüber, wie der Oberbau für ein bestimmtes Bauvorhaben letztlich konstruiert wird (Schichtenart und Schichtenfolge), hängt neben der Verkehrsbelastung und der Art der Ausführung der Pflasterdecke (ungebunden oder gebunden, siehe Abschnitt 3.2) zum Beispiel auch davon ab,

- welche Funktion und Lage die Verkehrsfläche hat
- wie die anstehenden Bodenverhältnisse sind
- welche örtlichen Zwänge es unter Umständen gibt (zum Beispiel unterirdische Leitungen, begrenzte Aufbauhöhen)
- welche Baustoffe regional zur Verfügung stehen
- welche Erfahrungen bei den für die Ausführung in Frage kommenden Unternehmen vorliegen.

Für Verkehrsflächenbefestigungen in innerörtlichen Bereichen, dem Haupteinsatzgebiet von Pflasterdecken, bestimmt sich die erforderliche Gesamtdicke des Oberbaus oftmals aus Gründen der Tragfähigkeit, zumindest beim Vorhandensein eines gewissen Schwerverkehrsanteils. Dies ergibt sich aus den häufig vorherrschenden günstigen örtlichen Gegebenheiten im Innerortsbereich, wie zum Beispiel einer geschlossenen seitlichen Bebauung entlang der Verkehrsfläche und/oder der Entwässerung der Verkehrsfläche über Rinnen bzw. Abläufe. Diese Einflüsse wirken sich bei der Festlegung der Dicke des Oberbaus aus Frostgründen abmindernd aus, und die so ermittelte Dicke unterschreitet dann oft die aus Tragfähigkeitsgründen erforderliche. Gleichwohl ist bei jeder Dimensionierung zur Sicherheit abschließend zu prüfen, ob die aus Tragfähigkeitsgründen ermittelte Oberbaudicke auch aus Gründen der Frostsicherheit ausreicht. Der Aufwand dafür ist vergleichsweise gering.

5.4 Entwässerung

5.4.1 Allgemeines

Eine ausreichende Entwässerung ist für die Dauerhaftigkeit der Befestigung mit Pflasterdecke besonders wichtig. Deshalb sollte im Rahmen der Ausführungsplanung auch immer eine Entwässerungsplanung erfolgen. Auf die RAS-Ew wird verwiesen.

Nachfolgend ist jeweils ein beispielhafter Aufbau einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke innerhalb sowie außerhalb geschlossener Ortslage mit den zugehörigen Entwässerungseinrichtungen in Anlehnung an die RStO dargestellt (Bild 9 und Bild 10).

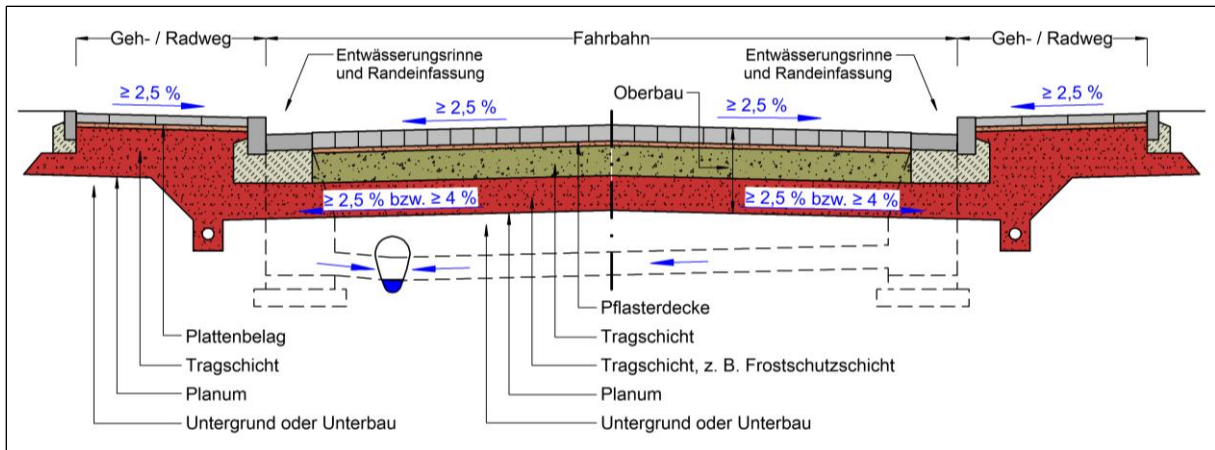


Bild 9: Beispielhafter Aufbau einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke in geschlossener Ortslage mit Entwässerungseinrichtungen in Anlehnung an die RStO (Zeichnung: SLG)

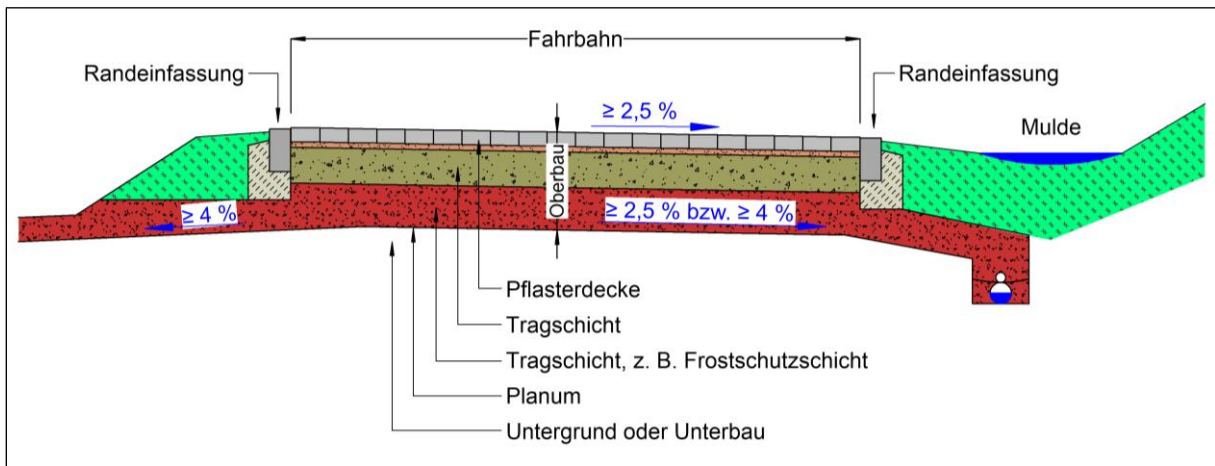


Bild 10: Beispielhafter Aufbau einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke außerhalb geschlossener Ortslage in Anlehnung an die RStO (Zeichnung: SLG)

5.4.2 Entwässerung der Pflasterdecke

Die Entwässerung der Oberfläche der Pflasterdecke erfolgt im Wesentlichen durch ihre Neigung. Daher ist die Erstellung eines Höhenplanes – insbesondere bei größeren zusammenhängenden Flächen – unter Berücksichtigung etwaig vorhandener oder vorgegebener örtlicher Zwangspunkte im Allgemeinen unerlässlich.

Während bei Fahrbahnen, Fahrgassen und ähnlichen Verkehrsflächen in der Regel längs entwässert wird, kann es sich bei größeren Platzsituationen durchaus anbieten, zum Beispiel aus Gründen der Topographie, eine punktförmige Entwässerung der Fläche vorzusehen. Mal abgesehen von dem Vorteil, dass bei dieser Art der Entwässerung keine Entwässerungsrinnen gebaut werden müssen, hat die punktförmige Entwässerung jedoch eine Reihe von Nachteilen. Es entsteht ein Mehraufwand bei der profilgerechten Herstellung der einzelnen Schichten. Die zahlreichen nicht zu vermeidenden Knickpunkte sind nicht nur gestalterisch unschön, sie stellen auch eine ungünstige betriebliche Situation hinsichtlich der Straßenreinigung und der Schneeräumung im Winter dar. Werden die Steinformate für die Pflasterfläche nicht mit Bedacht gewählt, können die häufigen Neigungsänderungen zu einem erheblichen Schneideaufwand bei der Verlegung führen. Es wird daher empfohlen, eine punktförmige Entwässerung von Pflasterdecken auf nicht vermeidbare Situationen zu beschränken.

Bei der Festlegung der Oberflächenneigung sollten die Hinweise und Empfehlungen der einschlägigen Entwurfsrichtlinien beachtet werden (siehe zum Beispiel bei (SLG, 2014)).

Die *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen* (RASt) und die *Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung* (RAS-Ew) sehen für anbaufreie Hauptverkehrsstraßen eine Mindestquerneigung von $q = 2,5 \%$ vor. Dies gilt auch für Radwege nach den ERA. Die ATV DIN 18318 sehen unter anderem für die resultierende Neigung von Betonpflasterdecken einen Mindestwert von $q = 1,5 \%$ für begehbare Flächen bzw. von $q = 2,0 \%$ für befahrbare Flächen vor.

Es wird jedoch empfohlen, die Vorgaben der ZTV Pflaster-StB zugrunde zu legen. Danach sollte die abflusswirksame Neigung in der Regel mindestens $2,5 \%$ betragen (siehe auch Bild 9 und Bild 10). Eine planmäßige, abflusswirksame Neigung von $2,0 \%$ sollte grundsätzlich nicht unterschritten werden, um Gefährdungen und Beeinträchtigungen infolge Wasserrückhalt zu vermeiden. Sie sollte andererseits aber auch etwa 6% nicht überschreiten, um ein Ausspülen der Fugen, zum Beispiel durch Starkregenereignisse, zu vermeiden.

Die ausführungsbedingten Abweichungen von einer planmäßig vorgegebenen Neigung dürfen $\pm 0,4 \%$ (absolut) betragen.

Verwindungsbereiche sind in der Planung besonders zu berücksichtigen. Zur Vertiefung dieser speziellen Thematik siehe zum Beispiel (SLG, 2021a) und (Mentlein, 2020).

Aus bautechnischen Gründen ist die Querneigung der Pflasterdecke grundsätzlich in allen Schichten der Verkehrsflächenbefestigung einschließlich des Planums vorzusehen. Stehen wasserempfindliche, das heißt bindige Böden oder Baustoffe an, muss die Querneigung des Planums mit mindestens 4% vorgesehen werden. Daraus ergibt sich die im Bild 9 und Bild 10 dargestellte konstruktive Ausbildung des Fahrbahnaufbaus in Verbindung mit den Entwässerungseinrichtungen. Siehe des Weiteren auch Abschnitt 5.4.3.

5.4.3 Entwässerung des Oberbaus

In den Oberbau mit einer Pflasterdecke dringt während der Nutzungsdauer zumindest zeitweise Wasser über die Fugen ein. Dies bedingt, dass alle Schichten der Befestigung ausreichend wasserdurchlässig zu gestalten und untereinander filterstabil abzustimmen sind. Entsprechende Hinweise hierzu sind insbesondere (SLG, 2014) zu entnehmen.

Das in die Befestigung eingedrungene Wasser wird dann bei frostsicheren Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 1 in der Regel direkt versickert. Eine Querneigung des Planums ist dann aus entwässerungstechnischen Gründen nicht notwendig, aus bautechnischen Gründen jedoch sinnvoll (Bild 11, links).

Bei frostempfindlichen Böden (F 2- und F 3-Böden) versickert das Wasser nur zu einem geringen Teil oder so gut wie gar nicht. Der Teil, der nicht versickern kann, wird durch die Neigung des Planums aus der Befestigung abgeleitet. Die Neigung des Planums richtet sich bei derartigen Böden daher nach der Neigung der Pflasterdecke und nach der Frostempfindlichkeit des jeweiligen Bodens. Bei F 2-Böden (gering bis mittel frostempfindlich) beträgt die Mindestneigung des Planums $2,5 \%$ (Bild 11, Mitte), bei F 3-Böden (sehr frostempfindlich) 4% (Bild 11, rechts). Der Ausgleich etwaiger Neigungsunterschiede zwischen Planum und Pflasterdecke hat so zu erfolgen, dass die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus an jeder Stelle eingehalten ist.

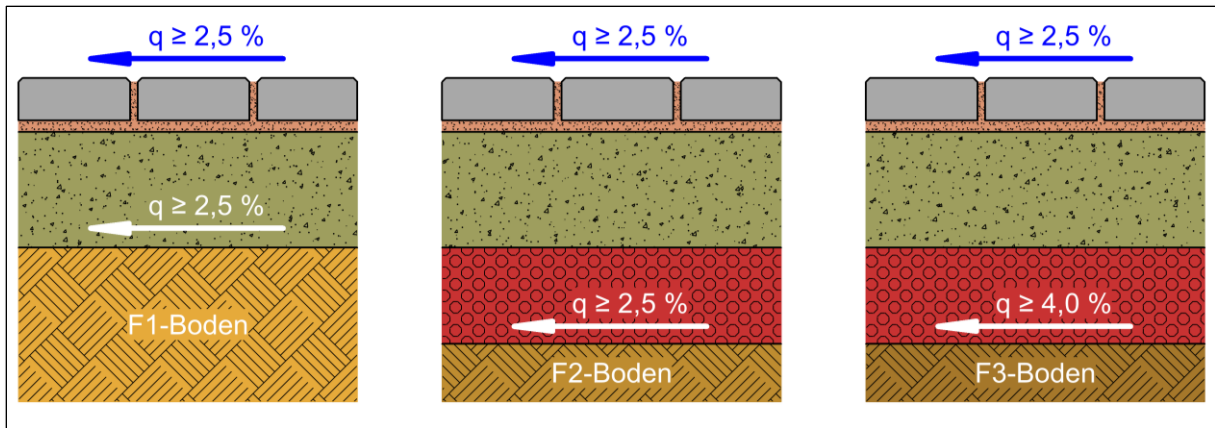


Bild 11: Prinzip der Entwässerung des Oberbaus in Abhängigkeit von der Frostempfindlichkeit des Bodens (Zeichnung: SLG)

Das gesammelte Wasser aus Oberflächen- und Planumsentwässerung sowie gegebenenfalls zusätzlich aus Schichtenwasser ist umweltgerecht an eine entsprechende Vorflut, das heißt in die Kanalisation oder in offene Gewässer, abzugeben. Für Planung und Ausführung einer Planumsentwässerung und von Sickeranlagen sind die Hinweise und Vorgaben der einschlägigen Regelwerke, insbesondere RAS-Ew und ZTV Ew-StB, zu beachten.

5.5 Planung und Ausführung der Pflasterdecke

5.5.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit und die Verformungsstabilität der Pflasterdecke werden neben der Intensität des Kraftfahrzeugverkehrs auch von anderen Einflussparametern bestimmt, die zu berücksichtigen sind. Es sind dies vor allem die Bettung, die Fugenfüllung, Form und Abmessungen der Pflastersteine sowie die geometrische Anordnung der Pflastersteine, das heißt, der Verband.

5.5.2 Bettung

Die Pflasterbettung stellt das Auflager (das Bett) für die Pflastersteine dar. Die verdichtete Bettung muss die in die Pflastersteine eingetragenen Lasten verformungsstabil und praktisch 1:1 in die obere Tragschicht einleiten. Sie dient außerdem dazu, die Dickentoleranzen der Pflastersteine auszugleichen (Bild 12). Sie muss insofern ausreichend verdichtungswillig sein. Die Bettung kann ihre Funktion am besten ausüben, wenn sie aus einem geeigneten Bettungsmaterial so dünn wie möglich und nur so dick wie notwendig hergestellt wird und eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit über den geplanten Nutzungszeitraum aufweist.

Die Dicke der Bettung soll im verdichteten Zustand möglichst gleichmäßig 3 cm oder 4 cm betragen. Abweichungen von der Solldicke von ± 1 cm sind zulässig. Die Bettungsdicke darf an keiner Stelle dünner als 2 cm und dicker als 5 cm sein. Ungleichmäßige Bettungsdicken und gleichmäßige, aber zu große Bettungsdicken führen häufig zu Verformungen der Pflasterdecke (siehe Bild 13 und Bild 14).

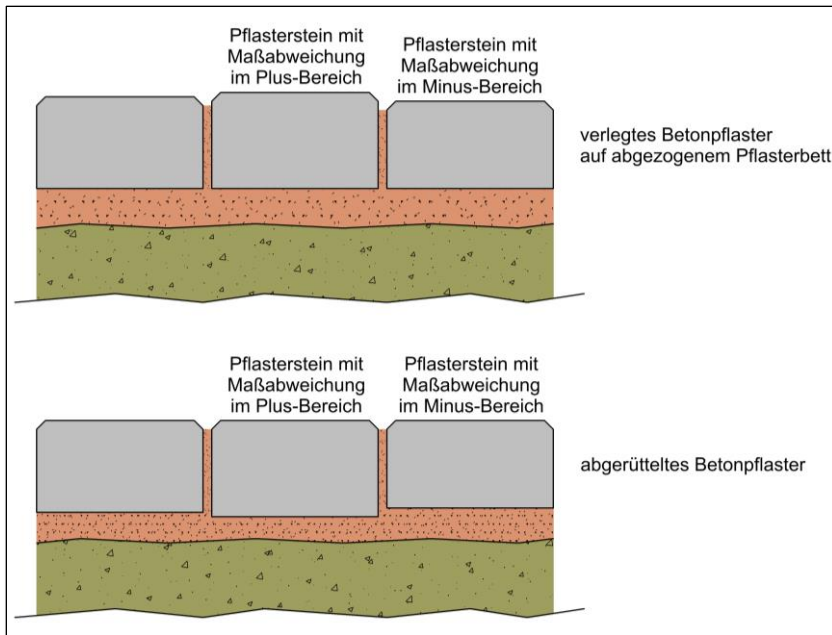


Bild 12: Ausgleich zulässiger Dickentoleranzen der Betonpflastersteine innerhalb der Bettung (Zeichnung: SLG)

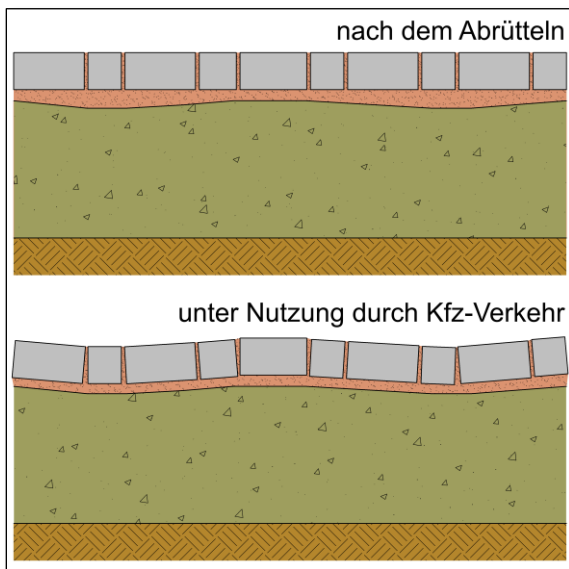


Bild 13: Verformungen in der Pflasterbettung durch unzulässige große Dickenschwankungen (Zeichnung: SLG)

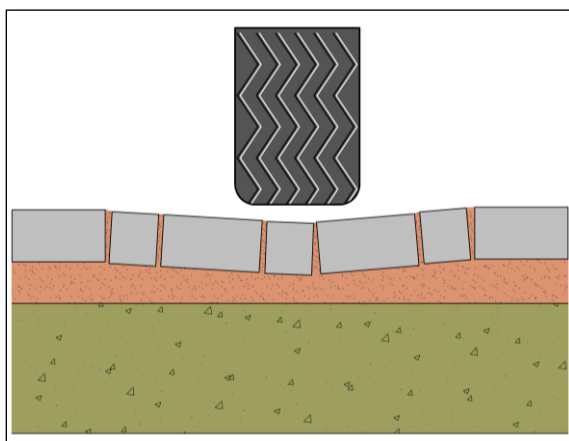


Bild 14: Verdrückungen in der Pflasterbettung bei zu großer Bettungsdicke (Zeichnung: SLG)

Als Bettungsmaterial eignen sich Baustoffgemische 0/4, 0/5 oder 0/8 – vor allem aus gebrochenen Gesteinskörnungen – nach den TL Pflaster-StB, die besonders feinteilarm sein sollten. Für untergeordnete Belastungen kann auch Splitt 1/3 oder Splitt 2/5 als Bettungsmaterial verwendet werden. Dann ist jedoch im Hinblick auf die notwendige Filterstabilität besonderes Augenmerk auf die Auswahl des Fugenmaterials zu richten. In jedem Fall sollte das Bettungsmaterial aus einem Gestein mit einem hohen Widerstand gegen Kornzertrümmerung bestehen. Das Bettungsmaterial muss zudem so beschaffen sein, dass es zum einen nicht in die Tragschicht abwandern kann (filterstabil zum Baustoffgemisch der Tragschicht) und zum anderen im eingebauten Zustand dauerhaft ausreichend wasserdurchlässig ist.

Zu den Anforderungen an Bettungsmaterialien für ungebundene Pflasterdecken und Plattenbeläge wird auch auf die so genannten Produktdatenblätter (SLG, ZIEGEL, MIRO, 2020) verwiesen.



Bild 15: Massiver Schaden an einer Pflasterbefestigung durch zerriebenes Bettungsmaterial, was eine vollständig abgedichtete Bettung nach sich zog (Fotos: SLG)



Bild 16: Verschiebungen der Pflastersteine nach dem Abwandern des Fugenmaterials in die viel zu grobe (hohlraumreiche) Bettung (Foto: SLG)

5.5.3 Fugen und Fugenfüllung

Die Aufgaben der Fugen bzw. der Fugenfüllung bestehen darin, den Ausgleich der fertigungsbedingten Maßtoleranzen der Pflastersteine zu ermöglichen, die Spannungsfreiheit der Pflasterdecke bei temperaturbedingten Bewegungen sicherzustellen und für eine Lastübertragung durch Aufnahme von Schub- und Scherkräften aus der Verkehrsbelastung (Aufbau einer Verbundwirkung) zu sorgen. Zur Erfüllung dieser Aufgaben müssen die Fugen bei Pflasterdecken grundsätzlich so eng wie möglich, aber so weit wie notwendig ausgeführt werden. In

Untersuchungen (Rohleder, 2002) wurde herausgefunden, dass eine Fugenbreite im Bereich von 3 mm bis 6 mm einen deutlich positiven Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand der Pflasterdecke hat, während sich Fugenbreiten unterhalb und oberhalb dieses Bereiches nachteilig auf den horizontalen Verschiebungswiderstand auswirken.

Die Fugen müssen zudem mit einem geeigneten Fugenmaterial dauerhaft möglichst vollständig gefüllt sein. Ohne eine ordnungsgemäße Fugenfüllung kann es vor allem bei befahrenen Flächen sehr schnell zu Schäden kommen. Die Untersuchungen in (Rohleder, 2002) haben auch ergeben, dass der Fugenfüllungsgrad nur dann einen untergeordneten Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand hat, so lange die Fugen zu mindestens rd. 85 % gefüllt sind. Das heißt, es ist zu erwarten, dass es bei Fugenfüllungsgraden unterhalb dieser Schwelle zu horizontalen Verschiebungen der Pflastersteine kommen kann. Unterhalb dieser Schwelle sollte auch die Erhaltung durch Nachsandern einsetzen.

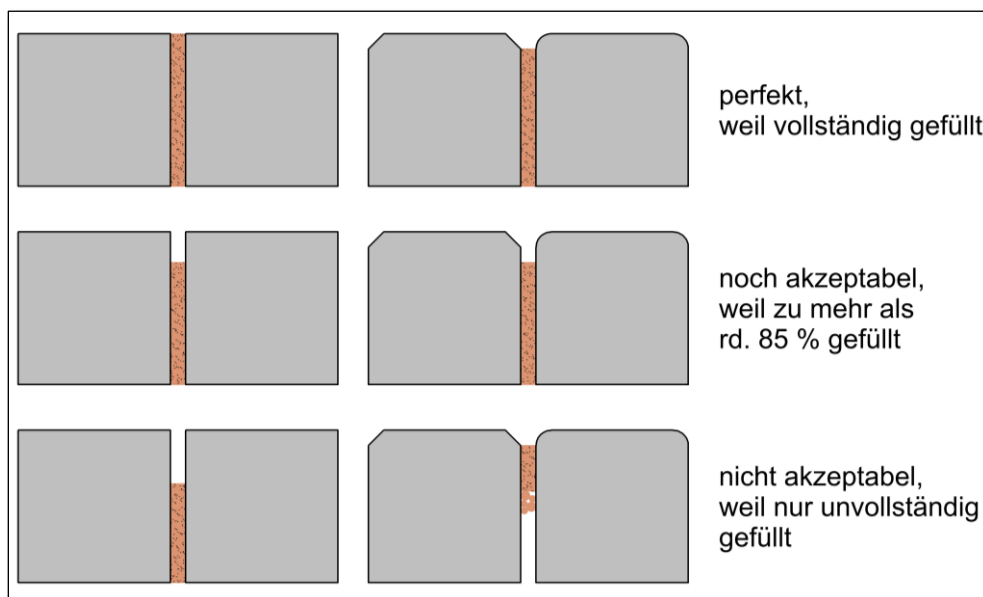


Bild 17: Bewertung unterschiedlicher Fugenfüllungsgrade bei Pflasterdecken (Zeichnung: SLG)

Es hat sich grundsätzlich als zweckmäßig herausgestellt, wenn bei der Verwendung dickerer Pflastersteine breitere Fugen ausgeführt werden, als bei der Verwendung dünnerer Pflastersteine. So wird im Allgemeinen leichter erreicht, dass das Fugenmaterial über die gesamte Steindicke bis nach unten eingebracht werden kann.

Die Sollfugenbreite sollte betragen (siehe auch ZTV Pflaster-StB):

- 4 mm bei Pflastersteinen aus Beton mit einer Nenndicke unter 120 mm und
- 6 mm bei Pflastersteinen aus Beton mit einer Nenndicke ab 120 mm.

Die zulässigen Abweichungen sind derzeit in den ATV DIN 18318 und in den ZTV Pflaster-StB unterschiedlich geregelt. Daher sind sie gegebenenfalls in der Leistungsbeschreibung gesondert anzugeben.

An den Pflastersteinen angeformte Profile geben nicht das Maß der vorgenannten Fugenbreiten vor (Bild 18). Angeformte Profile können hinsichtlich der Kraftübertragung eine ordnungsgemäße Fugenfüllung nicht ersetzen. Bei Verwendung von Pflastersteinen mit angeformten Profilen ist somit sicherzustellen, dass zwischen den Steinen ausreichend Raum für das Verfüllen mit einem geeigneten Fugenmaterial zur Verfügung steht. Nur so kann das flexible Tragverhalten der Pflasterdecke sichergestellt werden.

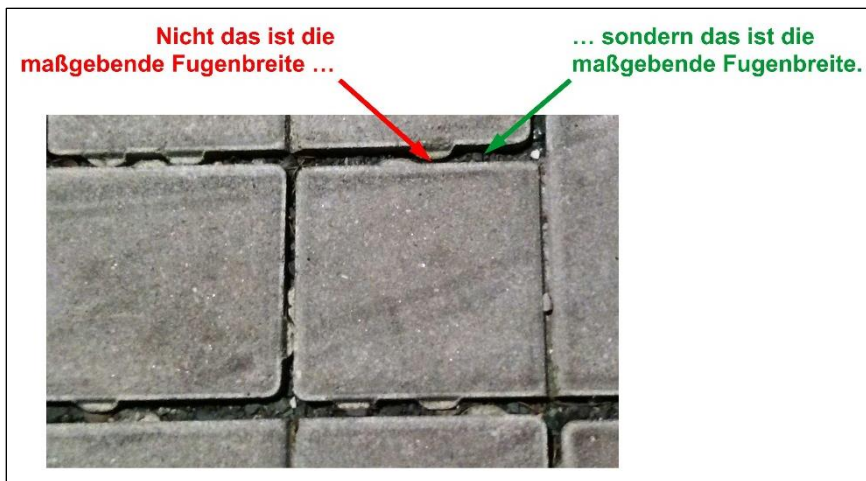


Bild 18: An den Pflastersteinen angeformte Profile geben nicht das Maß der Fugenbreite vor (Foto: SLG)

Als Fugenmaterial eignen sich Baustoffgemische 0/2, 0/3, 0/4 oder 0/5 – vor allem aus gebrochenen Gesteinskörnungen – nach den TL Pflaster-StB bzw. nach den ZTV Pflaster-StB. Das Nenngrößtkorn ist in Anhängigkeit der Sollfugenbreite zu wählen; es sollte mindestens $\frac{2}{3}$ der Sollfugenbreite betragen. In jedem Fall sollte das Fugenmaterial aus einem Gestein mit einem hohen Widerstand gegen Kornzertrümmerung bestehen. Das Fugenmaterial muss zudem so beschaffen sein, dass es nicht in die Bettung abwandern kann (filterstabil zum Bettungsmaterial).

Zu den Anforderungen an Fugenmaterialien für ungebundene Pflasterdecken und Plattenbeläge wird auch auf die so genannten Produktdatenblätter (SLG, ZIEGEL, MIRO, 2020) verwiesen.

Fugenmaterialien dürfen keine bleibenden Verfärbungen auf der Oberfläche der Pflastersteine hinterlassen (Bild 19). Bestehen Zweifel in dieser Hinsicht, sollten Vorversuche durchgeführt werden.



Bild 19: Grundsätzlich ist es bautechnisch von Vorteil, wenn Fugenmaterial längere Zeit auf dem Pflaster verbleibt, dabei darf es jedoch nicht zu dauerhaften Verfärbungen der Pflastersteine kommen (Foto: SLG)

5.5.4 Pflastersteine aus Beton

5.5.4.1 Allgemeines

Pflastersteine aus Beton werden unter Beachtung der Anforderungen der europäisch harmonisierten Norm DIN EN 1338 hergestellt und auf Grundlage der Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) in den Verkehr gebracht.

Pflastersteine aus Beton weisen generell ein Verhältnis von Gesamtlänge zu Nenndicke von ≤ 4 auf (siehe DIN EN 1338). Sie unterscheiden sich somit begrifflich und geometrisch eindeutig von Platten aus Beton nach DIN EN 1339, welche ein Verhältnis von Gesamtlänge zu Nenndicke von > 4 aufweisen.

Während die Produktnorm DIN EN 1338 keine Größenbegrenzung für Pflastersteine aus Beton vorsieht, sind im Geltungsbereich der Anwendungsregeln M FP und ZTV Pflaster-StB die Pflastersteine aus Beton auf solche beschränkt, die eine Gesamtlänge von maximal 400 mm und eine Grundrissfläche (Gesamtlänge \times Gesamtbreite) von maximal 1.024 cm² aufweisen.

5.5.4.2 Materialspezifische Anforderungen

Pflastersteine aus Beton müssen die Anforderungen der DIN EN 1338 und der TL Pflaster-StB erfüllen. Die Erarbeitung der TL Pflaster-StB war seinerzeit notwendig, um die europäischen Normen für Straßenbauerzeugnisse, unter anderem Pflastersteine aus Beton, im deutschen Regelwerk umzusetzen und damit die Anforderungen an Straßenbauerzeugnisse auf die für Deutschland vorhandenen Gegebenheiten, zum Beispiel die klimatischen Verhältnisse, anzupassen. Soweit in der DIN EN 1338 für bestimmte Produkteigenschaften Klassen genannt sind, ist daher eine dieser Klassen in die TL Pflaster-StB übernommen worden.

Die zulässigen Abweichungen von den Maßen der Pflastersteine aus Beton sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Weitere materialspezifische Anforderungen sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 1: Zulässige Maßabweichungen bei Pflastersteinen aus Beton nach DIN EN 1338 bzw. TL Pflaster-StB

Maß		zulässige Maßabweichungen	Bemerkung
Pflastersteine mit Nenndicke < 100 mm	Länge	± 2 mm	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
	Breite	± 2 mm	
	Dicke	± 3 mm	
Pflastersteine mit Nenndicke ≥ 100 mm	Länge	± 3 mm	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
	Breite	± 3 mm	
	Dicke	± 4 mm	
Differenz zweier beliebiger Messungen der Nenndicke eines einzelnen Pflastersteins		≤ 3 mm	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
Differenz zwischen den beiden Flächendiagonalen (gilt nur für rechteckige Pflastersteine und wenn deren Diagonale > 300 mm beträgt)		≤ 3 mm	Entspricht der Klasse 2 der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
konvexe Wölbung bei planmäßig ebener Oberseite (gilt nur für Pflastersteine mit einer größten Länge von > 300 mm)	Messlänge 300 mm	$\leq 1,5$ mm	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
	Messlänge 400 mm	$\leq 2,0$ mm	
konkave Wölbung bei planmäßig ebener Oberseite (gilt nur für Pflastersteine mit einer größten Länge von > 300 mm)	Messlänge 300 mm	$\leq 1,0$ mm	
	Messlänge 400 mm	$\leq 1,5$ mm	
Dicke der Vorsatzschicht bei zweischichtigen Pflastersteinen		-	≥ 4 mm über den Bereich, den der Hersteller als Vorsatzschicht bezeichnet (Messung nach DIN EN 1338, Anhang C).

Tabelle 2: Materialspezifische Anforderungen an Pflastersteine aus Beton nach DIN EN 1338 bzw. TL Pflaster-StB

Materialeigenschaft	Anforderung	Bemerkung
Witterungswiderstand	Der gemäß DIN EN 1338 bestimmte Masseverlust muss $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ (Mittelwert) und $\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$ (Einzelwert) betragen Klasse 3 (Kennzeichnung „D“)	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
mechanische Festigkeit	Der gemäß DIN EN 1338 bestimmte charakteristische Mittelwert der Spaltzugfestigkeit muss $\geq 3,6 \text{ MPa}$ betragen Einzelwert der Spaltzugfestigkeit $\geq 2,9 \text{ MPa}$ Bruchlast $\geq 250 \text{ N/mm}$	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
Abriebwiderstand	Der gemäß DIN EN 1338 bestimmte Abrieb muss an jedem Probekörper $\leq 18000 \text{ mm}^3/5000 \text{ mm}^2$ betragen Klasse 4 (Kennzeichnung „I“)	Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.
Gleit-/Rutschwiderstand	Pflastersteine aus Beton müssen einen ausreichenden Gleit-/Rutschwiderstand aufweisen. Dies ist normalerweise bei diesen Produkten gegeben, sofern ihre Oberseite nicht einer Oberflächenbehandlung unterzogen wurde, die zu einer besonders glatten Oberseite führt (vgl. DIN EN 1338).	Die Dauerhaftigkeit des Gleit-/Rutschwiderstandes bleibt in der Regel während der Nutzungsdauer erhalten. Voraussetzung dafür ist, dass die Pflasterdecke den üblichen Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen unterliegt. Die Beurteilung der Dauerhaftigkeit des Gleit-/Rutschwiderstandes kann nach der CEN/TS 12633 erfolgen. Weitere Hinweise können dem <i>Merkblatt über den Rutschwiderstand von Pflasterdecken und Plattenbelägen für den Fußgängerverkehr</i> entnommen werden. Entspricht der DIN EN 1338 und den TL Pflaster-StB.

5.5.4.3 Form und Abmessungen der Pflastersteine

Die Form und die Abmessungen der Pflastersteine haben einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität und die Nutzungsdauer der Pflasterdecke und sollten in Abhängigkeit von der zu erwartenden Verkehrsbelastung gewählt werden.

Für Verkehrsflächen, welche von Fahrzeugen des Schwerverkehrs befahren werden, sollte die Stein-Nennstärke mindestens 80 mm betragen. In den Belastungsklassen Bk3,2 und Bk1,8 wird die Verwendung von Pflastersteinen mit einer Nennstärke von mindestens 100 mm empfohlen (siehe auch RStO). Zudem sollte eine Pflastersteinform gewählt werden, die eine gute Lastverteilung in vertikaler Richtung gewährleistet, um bleibenden Verformungen, wie zum Beispiel Spurrinnen, besser entgegen wirken zu können.

Bei Verkehrsflächen mit Besonderen Beanspruchungen gemäß den RStO empfiehlt es sich, für die Pflastersteinen ein gedrungenes Format mit einem Verhältnis Länge zu Dicke $L/D \leq 2,5$ und einem Verhältnis Länge zu Breite $L/B \leq 2$ zu wählen (Bild 20). Siehe dazu auch M FP.

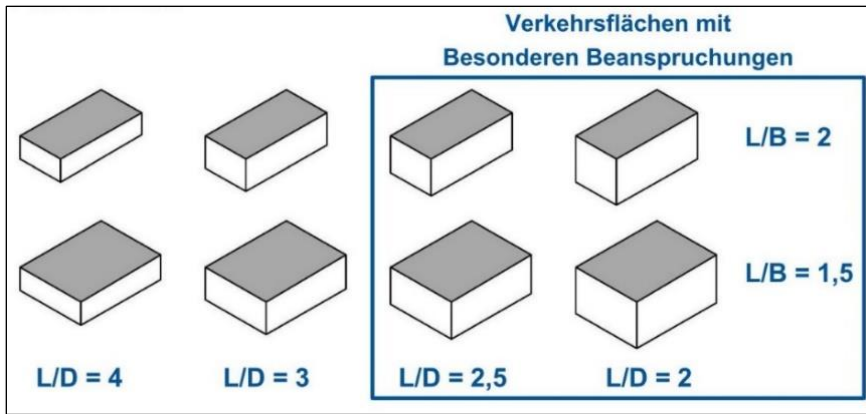


Bild 20: Veranschaulichung von Rechteckpflastersteinen mit einem Verhältnis von $L/B = 2$ und von $L/B = 1,5$ mit unterschiedlichem Verhältnis von L/D (Zeichnung: SLG)

Sind hohe Schubbeanspruchungen zu erwarten, zum Beispiel bei Bushaltestellen, Wendestellen, Brems- und Beschleunigungsbereichen oder Bereichen mit großer Längsneigung, sind Verbundpflastersteine vorzuziehen. Die Steine sollten – sofern es ihre Form erlaubt – im Diagonal- oder Fischgrätverband verlegt werden. Dies ist auch bei Rechtecksteinen von Vorteil. Die Stein-Nennstärke sollte hier in keinem Fall 100 mm unterschreiten.

Eine besonders wichtige Erkenntnis ist, dass sich eine Verbundwirkung im Pflaster – unabhängig von Art, Form und Größe der Pflastersteine – nur dann aufbauen, wenn die Fugen vollständig gefüllt sind und dieser Zustand dauerhaft gegeben ist. Ohne geeignetes Fugenmaterial zwischen den Steinen ist keine Kraftübertragung und damit keine Stabilität der Pflasterdecke erzielbar. Eine Verbesserung der Kraftübertragung durch eine bestimmte Steinform oder durch die so genannten Verschiebsicherungen kann daher grundsätzlich nur bei vollständig gefüllten Fugen eintreten.

5.5.5 Verbände

Für Verkehrsflächen, die von Kraftfahrzeugen befahren werden, sind grundsätzlich Verbände mit in Fahrtrichtung versetzten Fugen vorzusehen, zum Beispiel Läufer- oder Reihenverband. Eine besonders gute Lastverteilung haben diagonal zur Fahrtrichtung angeordnete Verbände, zum Beispiel Fischgrät- und Diagonalverband. Bei dieser Art der Verlegung werden beim Überrollen des Pflasters mehr Steine, das heißt auch ein größerer Fugenanteil – und zwar bis etwa 15 % – von einem Lkw-Rad erfasst und damit zur Lastverteilung herangezogen als bei quer zur Fahrtrichtung verlegten Steinen (Bild 21). Diese Verbände sind deshalb auch für Flächen gut geeignet, bei denen wechselnde Fahrtrichtungen vorliegen können, zum Beispiel Lagerflächen oder Anlieferungszone.

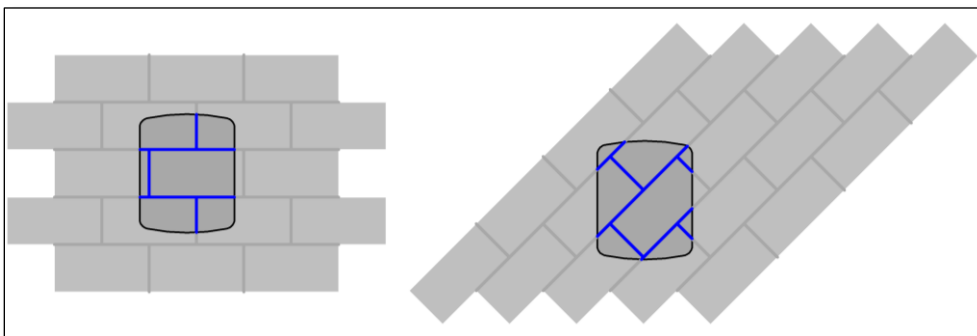


Bild 21: Aufstandsfläche eines Lkw-Rades auf Rechtecksteinen im Läuferverband, quer und diagonal zur Fahrtrichtung (Zeichnung: SLG)

Verbände mit Kreuzfugen oder durchgehenden Längsfugen in der Hauptfahrtrichtung sind für befahrene Pflasterdecken im Allgemeinen ungeeignet, da es leicht zu Verschiebungen oder Verdrehungen der Pflastersteine unter dem Einfluss der dynamischen Beanspruchung kommen kann. Im Allgemeinen stellt sich die Eignung der Verbände aus Betonpflastersteinen im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit gegen Verformungen – von „hoch“ nach „gering“ – wie folgt dar (vgl. auch M FP):

- Fischgrätverband (diagonal angeordneter Ellenbogenverband)
- Ellenbogenverband (Fugen verlaufen in bzw. quer zur Fahrtrichtung)
- Diagonalverband (diagonal angeordneter Läufer- oder Reihenverband)
- Läufer- oder Reihenverband (Fugen verlaufen in bzw. quer zur Fahrtrichtung)
- Verbände mit Kreuzfugen oder durchgehenden Fugen in Fahrtrichtung.

Sollen Verbände mit Kreuzfugen oder durchgehenden Fugen in Fahrtrichtung dennoch zur Ausführung gelangen, zum Beispiel aus gestalterischen Gründen, kann dies nur für gelegentlich befahrene Verkehrsflächen und mit besonderen Maßnahmen vorgesehen werden. Besondere Maßnahmen können zum Beispiel einzeln oder in Kombination sein:

- Verwendung von ausschließlich gebrochenem Fugenmaterial mit einem hohen Widerstand gegen Kornzertrümmerung
- Verwendung von besonders geformten Pflastersteinen, zum Beispiel mit Vertikalverbund oder unterseitiger Profilierung
- Verwendung von Pflastersteinen mit derart angeformten Profilen, dass der Verschiebewiderstand, insbesondere in horizontaler Richtung, deutlich erhöht wird.

Mit gegebenenfalls anzuordnenden besonderen Maßnahmen sollten bereits positive Erfahrungen vorliegen. Zudem ist zu beachten: Jeder Pflasterverband ist nur so gut wie seine Fugenfüllung (vgl. auch Abschnitt 5.5.3).

In dem Bild 22 sind typische Pflasterverbände mit Rechtecksteinen dargestellt. Ein Diagonalverband als Läufer- oder Reihenverband kann auf unterschiedliche Weise hergestellt werden, zum Beispiel bei Fahrbahnen von Straßen (siehe Bild 23).

Bei der Verwendung von unterschiedlich großen Formaten ist zu beachten, dass dies trotz gleicher Nennstärke zu unterschiedlichen Nachsetzungen im Verlauf der Nutzung führen kann, da kleinere Formate bei gleicher vertikaler Belastung eine höhere Flächenpressung in der Bettung erzeugen, als größere Formate.

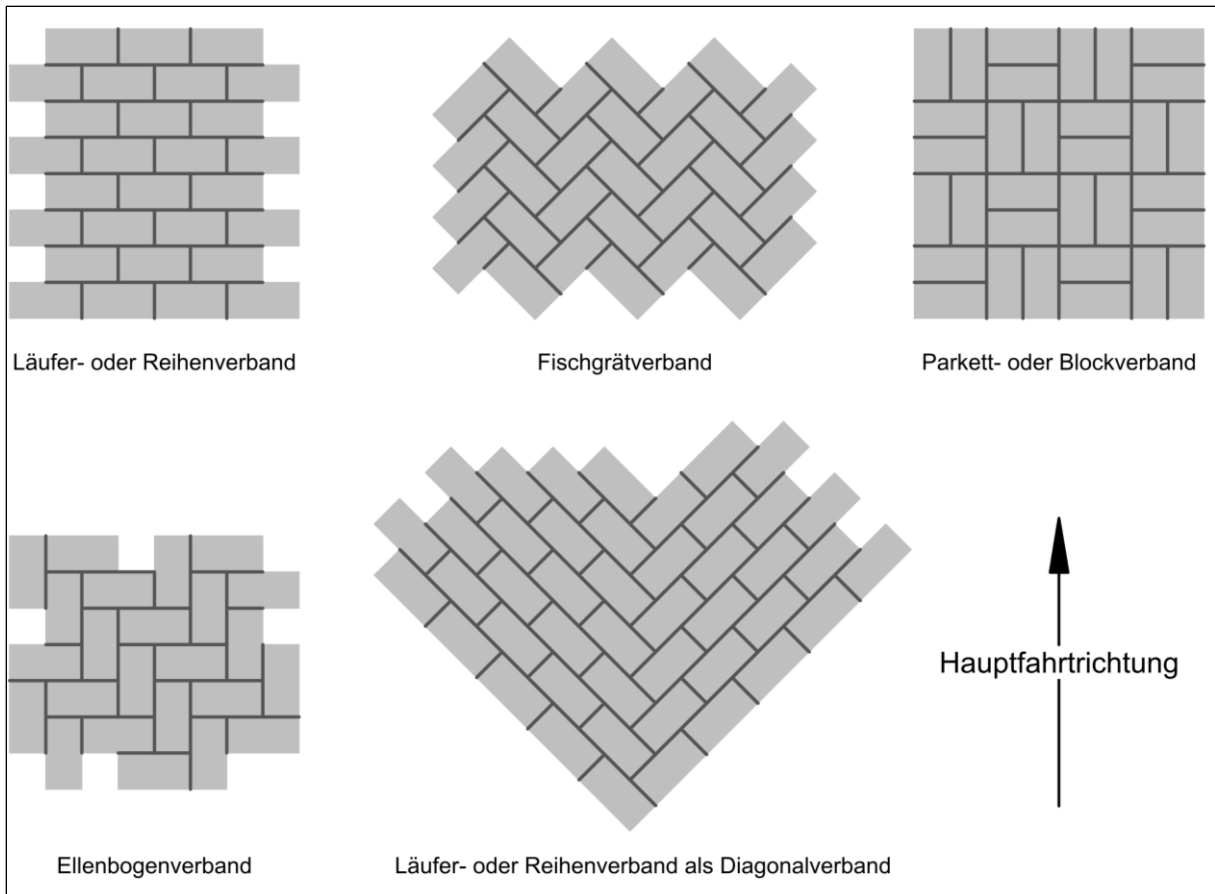


Bild 22: Beispiele für Verbände (Verlegemuster) mit Rechtecksteinen (Zeichnung: SLG)

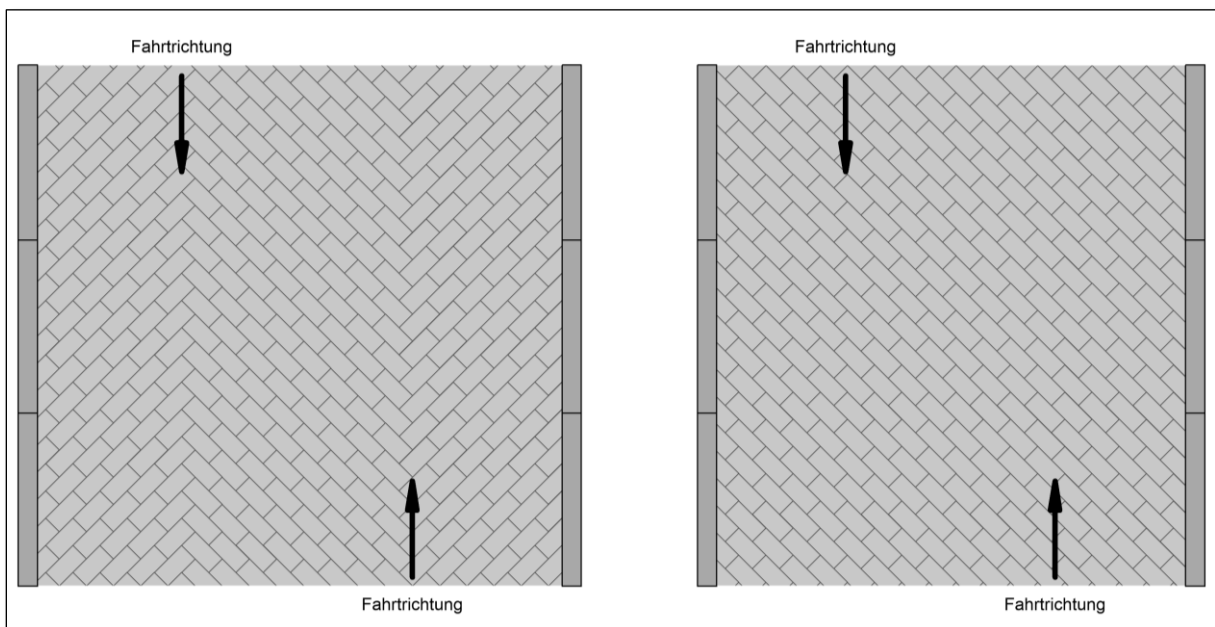


Bild 23: Beispiele für die Anordnung eines Läufer- oder Reihenverbandes diagonal zur Fahrtrichtung bei einer zweispurigen Fahrbahn (Zeichnung: SLG)

5.5.6 Anschlüsse an Einbauten, Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen

Die Fugen der Pflasterdecke, die unmittelbar an Einbauten, Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen angrenzen, gehören zur Pflasterdecke selbst und unterliegen somit den Planungsgrundsätzen, die für die Pflasterdecke gelten, zum Beispiel im Hinblick auf Fugenbreite und Fugenfüllung. Zu breite Fugen am Rand (Bild 24) lassen sich vermeiden, indem die Fugenbreiten zwischen den Pflastersteinen innerhalb der angrenzenden Pflasterzeilen ausgemittelt werden.



Bild 24: Die Fugen im Bereich von Anschlüssen gehören zur Pflasterdecke (Foto: SLG)

Die bei Anschlüssen an Rundungen (Bild 25) oder im Verlauf von Pflasterungen in Kurvenbereichen (Bild 26) zwangsläufig entstehenden keilförmigen Fugen sollten an der breitesten Stelle die ansonsten für die Pflasterdecke festgelegte Sollfugenbreite um nicht mehr als 5 mm überschreiten.



Bild 25: Keilfuge, die im Anschlussbereich der Pflasterdecke an eine Rundung entsteht (Foto: SLG)



Bild 26: Keilfugen, die im Verlauf von Pflasterungen in Kurvenbereichen entstehen (Foto: SLG)

Pflasterdecken müssen über angrenzende Einbauten, Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen überstehen. Die Höhe des Überstandes ist in den ATV DIN 18318 und den ZTV Pflaster-StB nicht einheitlich geregelt und daher gegebenenfalls durch die Leistungsbeschreibung vorzugeben. Es wird empfohlen, dabei die Anforderungen der ZTV Pflaster-StB zugrunde zu legen. Daraus folgt:

- Die Pflasterdecke sollte mindestens 3 mm und höchstens 5 mm über der Oberfläche von Einbauten liegen (Bild 27, linker Pfeil).
- Die Pflasterdecke sollte mindestens 5 mm und höchstens 10 mm über der Oberfläche der Entwässerungsrinne liegen (Bild 27, rechter Pfeil). Dies gilt auch bei Randeinfassungen.



Bild 27: Die Oberfläche der Pflasterdecke muss an Entwässerungsrinnen und Einbauten überstehen (Foto: SLG)

5.5.7 Beschaffenheit von Passteinen

Bei Anschlüssen, zum Beispiel an schräg verlaufende Kanten oder an Rundungen, sind immer Passteine und/oder gegebenenfalls Sonderformsteine erforderlich. Der Aufwand für das Zuarbeiten von Pflastersteinen sollte zunächst einmal dadurch gemindert werden, dass die Verlegebreite der

betreffenden Pflasterfläche auf das Rastermaß der gewählten Steine abgestimmt wird. Zudem sollten immer dort vorgefertigte Formsteine vorgesehen werden, wo das technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Ein Beispiel zeigt das Bild 31.

Beim Anschluss von Pflasterdecken mit Rechtecksteinen an eine schräg verlaufende Kante müssen grundsätzlich zwei Fälle unterschieden werden:

- Anschluss an Schräge unter einem Winkel $> 45^\circ$ (Bild 28) und
- Anschluss an Schräge unter einem Winkel $\leq 45^\circ$ (Bild 29).

Die verbleibende kürzeste Seite des Passsteins sollte mindestens ein Drittel der größten Kantenlänge des unbearbeiteten Steines sowie mindestens der halben Dicke des unbearbeiteten Steines und mindestens 5 cm betragen. Es können auch Passsteine verwendet werden, die größer als der Normalstein sind. Spitz zulaufende Passsteine, das heißt solche, die Winkel unter 45° aufweisen, sollten vermieden werden. Dazu ist es in der Regel erforderlich, den Verband (das Verlegemuster) im Bereich von Anschlüssen zu ändern, obwohl dies gegebenenfalls gestalterischen Vorstellungen widerspricht (Bild 28 und Bild 29).

Stehen vorgefertigte quadratische Steine als Ergänzung zu den Rechteckformaten (Halbsteine) zur Verfügung, wie in dem Bild 28 und dem Bild 29 beispielhaft gewählt, würde sich der Aufwand für das Zuarbeiten von Passsteinen auf der Baustelle unter Umständen erheblich reduzieren.

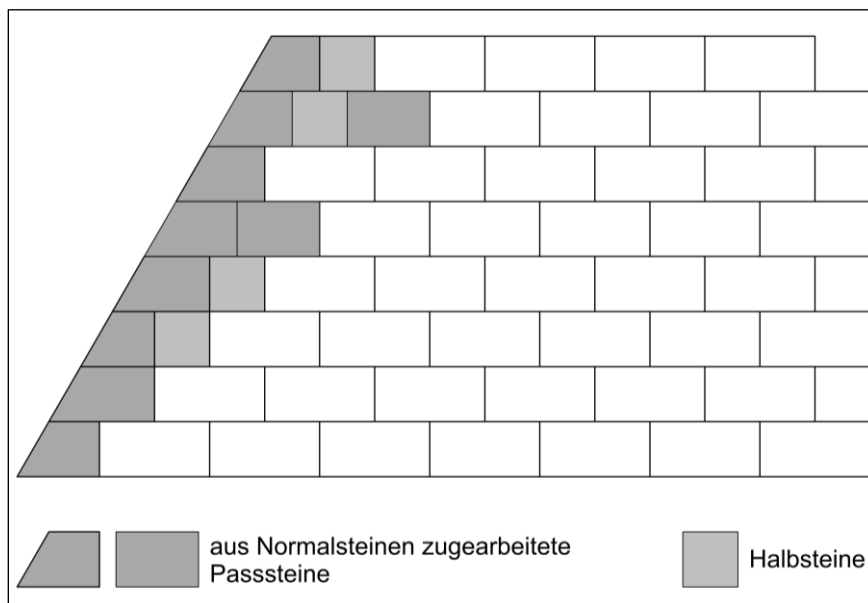


Bild 28: Beispiel für den Anschluss von rechteckigen Pflastersteinen an eine Schräge unter einem Winkel von mehr als 45° (hier: 60°) (Zeichnung: SLG)

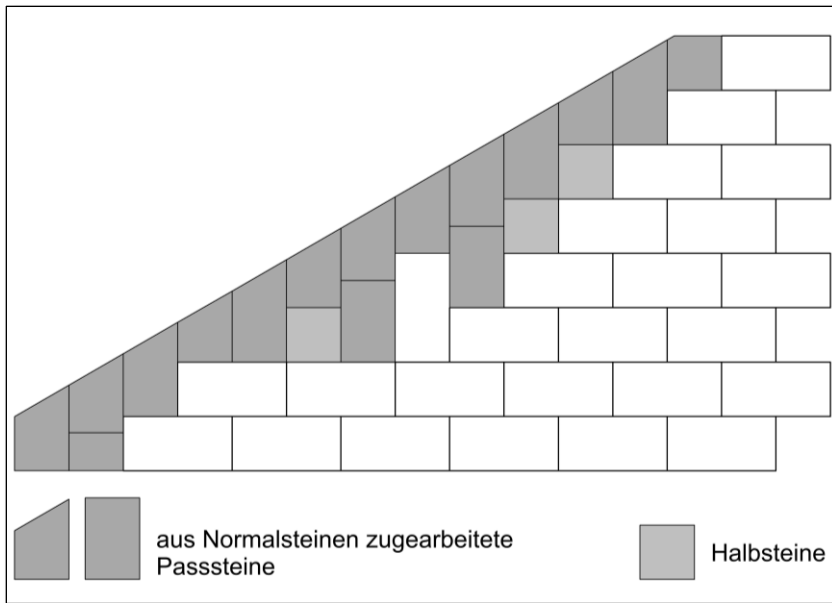


Bild 29: Beispiel für den Anschluss von rechteckigen Pflastersteinen an eine Schräge unter einem Winkel von höchstens 45° (hier: 30°) (Zeichnung: SLG)



Bild 30: Fachlich und handwerklich weitgehender Anschluss einer Pflasterdecke aus Rechtecksteinen an einen Schachtdeckel mit Hilfe von Passsteinen (Foto: SLG)



Bild 31: Fachlich und handwerklich gelungener Anschluss einer Pflasterdecke aus Verbundsteinen an einen Schachtdeckel mit Hilfe von Rechteck- und Sonderformsteinen (Foto: SLG)



Bild 32: Fachlich und handwerklich gelungener Anschluss einer Pflasterdecke aus Rechtecksteinen an einen Kabelschacht mit Hilfe von Passteinen (Foto: SLG)

Die Umsetzung der zuvor beschriebenen handwerklichen Regeln und Empfehlungen bei der Herstellung von Passteinen ist bei rechteckigen Steinen und einem Anschluss an eine Gerade noch vergleichsweise einfach. Schwieriger sind Anschlüsse an Rundungen. Das zeigt zum Beispiel das Bild 30, denn obwohl die Ausführung hier schon recht gut gelungen ist, zeigen sich an einigen Stellen noch Passteine, die zu spitze Winkel aufweisen.

Noch schwieriger bis unmöglich kann die Umsetzung bei Verbundsteinpflasterdecken sein, weil die meisten klassischen Verbundpflastersteine eben keine einfache Rechteckform mehr aufweisen (Bild 33). Hier sollten zwischen den Verantwortlichen – in der Regel Bauherr, Planer und Ausführer – einvernehmlich Lösungen vereinbart werden, um spätere Streitigkeiten zu vermeiden. Hierbei ist auch – an die Adresse des Bauherrn oder des Baulastträgers gerichtet – die Erkenntnis wichtig, dass Anschlussbereiche nicht zu vermeiden sind, die einen erhöhten Erhaltungsbedarf erfordern (Bild 34).

Weitere Hinweise und Empfehlungen zur Beschaffenheit von Passteinen sind auch der Foliensammlung (SLG, 2021b) zu entnehmen (siehe auf der SLG-Homepage unter https://www.betonstein.org/fileadmin/betonstein-de/media/Service/Downloads/2021-01_Handwerkliches_Pflastern_-_2._fachl_%C3%BCberarb_Auflage.pdf).



Bild 33: Für derartige Anschlussbereiche können die Regelwerke des Straßenbaus keine befriedigende fachliche Lösung anbieten; sie sind individuell und einvernehmlich zu gestalten (Foto: SLG)



Bild 34: In Anschlussbereichen mit Verbundsteinen sind Bereiche mit erhöhtem Erhaltungsaufwand nicht immer zu vermeiden (Foto: SLG)

5.5.8 Hochpunkte bei Neigungswechseln

Müssen Pflastersteine mit besonders großen Abmessungen – bezogen auf deren Länge und/oder deren Dicke – verlegt werden, kann es im Hochpunkt eines Neigungswechsels zu Problemen in Form von klaffenden Fugen und/oder zu Steinüberständen kommen. In den betroffenen Bereichen der Pflasterdecke sind daher zur Schadensvermeidung beim Abrütteln oder durch die spätere Nutzung im Zuge der Ausführung besondere Maßnahmen erforderlich. Dies können einzeln oder in Kombination zum Beispiel sein:

- Fugenbreite am Fuß der Pflastersteine verringern
- Nacharbeiten unmittelbarer betroffener Pflastersteine oder Passsteine, zum Beispiel durch Unterwinkeln
- Ausrunden des Scheitelpunktes der Pflasterdecke
- Verwendung von Pflastersteinen mit reduzierter Länge.

Da die vorbeschriebenen und gegebenenfalls weitere Maßnahmen zum Teil kalkulationsrelevant sein können, ist schon bei der Planung darauf zu achten, an welcher Stelle der Pflasterdecke vertikale Keilfugen entstehen könnten.

5.5.9 Verfugen, Verdichten, Fugenschluss

Pflasterdecken benötigen zwingend ein funktionierendes Fugensystem, damit der Belag die Verkehrsbelastungen ordnungsgemäß aufnehmen und in die Unterlage ableiten kann. Vor diesem Hintergrund kommt dem Herstellen der Fugenfüllung und dem Verdichten der Pflasterdecke eine besondere Bedeutung zu. Jüngere Technische Regelwerke, zum Beispiel das M FP und die ZTV Pflaster-StB, haben dieser Bedeutung dadurch Rechnung getragen, dass mindestens jeweils zwei Arbeitsgänge für das Füllen der Fugen und für das Verdichten des Belages vorgesehen sind. Bei größeren Pflastersteindicken oder bei an den Steinen angeformten, ineinandergreifenden Verzahnungssystemen kann es mehr als zweimal erforderlich sein, Fugenmaterial einzuarbeiten, um die Fugen vollständig zu füllen.

Das Verdichten der Pflasterdecke darf – insbesondere bei hochwertig gestalteten Oberflächen – nur bei sauberer, von überschüssigem Fugenmaterial befreiter und oberflächlich trockener Belagsoberfläche erfolgen. Nach einem Einschlammvorgang ist mit dem Verdichten der Pflasterdecke stets solange zu warten, bis die Bettung und insbesondere die Tragschichten ausreichend abgetrocknet sind.

Pflasterdecken sind grundsätzlich in sich überlappenden Bahnen beginnend von den Rändern zur Mitte hin in zu verdichten. Dabei darf der geplante Fugenverlauf nicht beeinträchtigt werden.

Generell dürfen Pflasterdecken mit unverfüllten Fugen nicht verdichtet, das heißt, nicht abgerüttelt, werden.

Für das erste Verdichten genügt in der Regel eine vergleichsweise leichte Vibrationsplatte. Das zweite Verdichten dient dem Erreichen der Ebenheit und der Standfestigkeit der Pflasterdecke und sollte mit einer schwereren Vibrationsplatte erfolgen. Eine Kombination von kleiner Amplitude und hoher Frequenz ist bei Vibrationsplatten für die Verdichtung von Pflasterdecken von Vorteil. In dem Bild 35 sind die Empfehlungen zu den Gewichten und den Zentrifugalkräften von Vibrationsplatten der Fa. BOMAG wiedergegeben. Diese Empfehlungen unterstützt auch der Betonverband SLG.

Zum Verdichten von Pflasterdecken eignen sich zum Beispiel gummiummantelte Walzenrüttler (vielfach auch als Rollenrüttler bezeichnet) oder Vibrationsplatten mit planebener Unterseite (Bild 36). Vibrationsplatten aus Stahl sollten immer mit einer Kunststoffmatte an der Unterseite ausgestattet sein.

Vibrationsplatte mit Kunststoffschürze	Gewicht [kg]	47 bis 83	83 bis 125	≤ 150	≤ 230	≤ 460	> 550
	Zentrifugalkraft [kN]	≤ 12	> 15	≤ 25	≤ 35	≤ 60	> 65
Pflastersteine	Dicke 6 cm						
	Dicke 8 bis 10 cm						
	Dicke ab 12 cm						

Stoneguard	Gewicht [kg]	≤ 150	≤ 230	≤ 460
	Zentrifugalkraft [kN]	≤ 25	≤ 35	≤ 60
Pflastersteine	Dicke 6 cm			
	Dicke 8 bis 10 cm			
	Dicke ≥ 12 cm			
Platten	Dicke ≤ 6 cm			
Platten L ≤ 50 cm	Dicke ≤ 8 cm			
Platten > 50 cm	Dicke ≤ 8 cm			
Riegelformate				

Bild 35: Geeignete Vibrationsplatten für das Verdichten von Pflasterdecken (hergeleitet aus Angaben von Jan Hecktor (Bomag) anlässlich SLG-Fachtagung 11/2018)



Bild 36: Vibrationsplatten mit planebener Unterseite eignen sich sehr gut zum Verdichten von Betonpflasterdecken (Foto: SLG)

Durch das Abrütteln der Pflasterfläche erfolgt die Endverdichtung des Bettungsmaterials, mit dem Ziel, die Standfestigkeit der Pflasterdecke zu erzielen. Durch das Verdichten wird zudem der positive Effekt bewirkt, dass ein Teil des Bettungsmaterials von unten in die Fugen eindringt und diese zusätzlich bereits während des Verdichtungsvorgangs stabilisiert. Das Eindringen von Bettungsmaterial von unten in die Fugen hat zudem den Vorteil, dass es zu einer gewissen Verzahnung der Pflastersteine mit der Bettung führt. Der Effekt nimmt einerseits mit zunehmender Vorverdichtung des Bettungsmaterials ab. Andererseits dringt auch weniger Fugenmaterial von unten in die Fugen ein, wenn anstelle eines kornabgestuften Gemisches eine Splittkörnung verwendet wird. Das Abrütteln darf den geplanten Fugenverlauf nicht beeinträchtigen.

Jede Pflasterdecke sollte vor der Verkehrsfreigabe mindestens ein Mal Wasser „gesehen“ haben (damit ist nicht etwa ein Regenschauer gemeint). Entweder wird die zweite bzw. letzte Fugenfüllung durch Einschlämmen vorgenommen und auf einen Fugenschluss verzichtet oder es wird das zwei- oder mehrmalige Füllen der Fugen ohne Wasser vorgenommen und im Anschluss ein Fugenschluss ausgeführt, wobei Fugenschluss immer Einschlämmen bedeutet. Das Einschlämmen kann manuell oder maschinell erfolgen. Für das maschinelle Einschlämmen werden bereits seit vielen Jahren geeignete Maschinen und Anbaugeräte angeboten, mit denen sich alle gängigen Fugenmaterialien vollständig in die Fugen einarbeiten lassen (Bild 37).



Bild 37: Vollständige Fugenfüllung nach maschinelltem Einschlämmen (Foto: SLG)

Für den Fugenschluss eignet sich eine feinkornreiche Gesteinskörnung 0/2 oder 0/3, die in die Fugen eingeschlämmt wird. Das Fugenschlussmaterial darf nur den oberen Bereich der Fuge „verschließen“ (Bild 38). Es darf nicht als alleinige Fugenfüllung verwendet werden, da es aufgrund der feinen Kornzusammensetzung für das Übertragen der Kräfte von Stein zu Stein nicht geeignet ist.

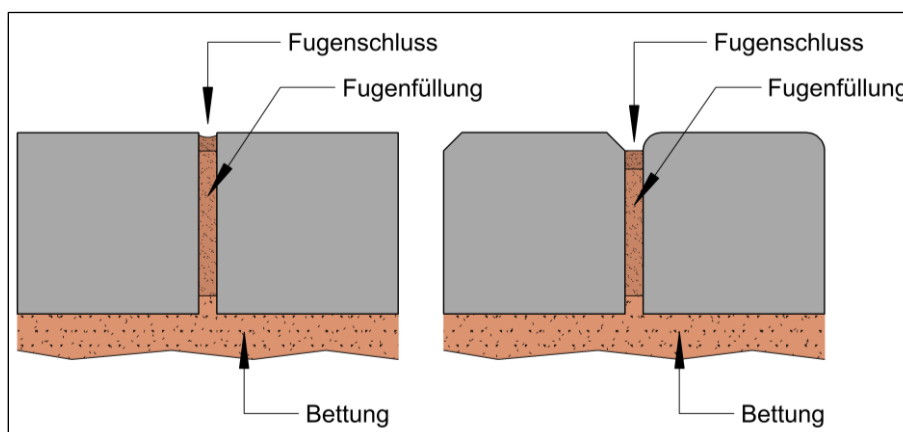


Bild 38: Fugenfüllung einschließlich Fugenschluss bei einer Pflasterdecke (Zeichnung: SLG)

Der Aufwand für eine ordnungsgemäße und vollständige Fugenfüllung ist zugegebenermaßen vergleichsweise hoch, aber der Aufwand lohnt sich. Die Qualität der Pflasterdecke steht und fällt mit der Qualität der Fugenfüllung. Vor allem sorgt eine gute Fugenfüllung dafür, dass sich infolge Querkraftübertragung die Vertikalkräfte auf mehrere Pflastersteine verteilen und so die Bettung vergleichsweise gering belastet wird (Bild 39).

Wenn man sich alte Pflasterflächen anschaut, die tadellos liegen und ihren Dienst tun (Beispiel siehe Bild 40), fallen im Allgemeinen sofort die gut gefüllten und im Laufe der Nutzungsdauer verfestigten Fugen auf, denen auch die Straßenreinigung durch Kehrsaugmaschinen nichts mehr anhaben kann. Solche Pflasterdecken sind derart „verspannt“, dass sie eine hohe Verbundwirkung aufweisen und die ihr zugeordnete Verkehrsbelastung problemlos aufnehmen.

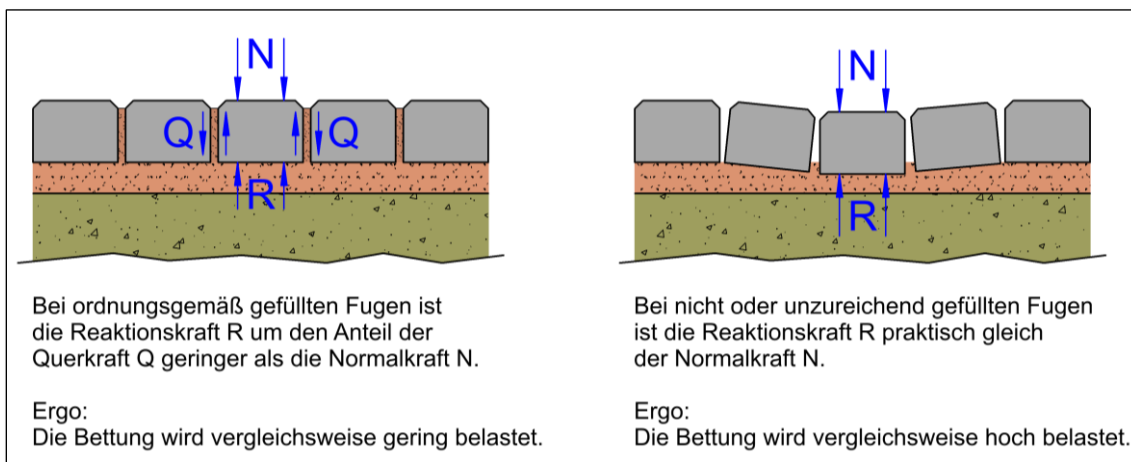


Bild 39: Prinzip des Verlaufs und der Abtragung von Vertikalkräften in den Fugen von Pflasterdecken (Zeichnung: SLG)



Bild 40: Tadellose Pflasterdecke aus Rechtecksteinen im Fischgrätverband in der Ortsdurchfahrt von Wassenberg (Nähe Heinsberg) nach rd. 35jähriger Liegedauer (Foto: SLG)

6 Literaturverzeichnis

ATV DIN 18318 (September 2019). Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.

CEN/TS 12633 (Dezember 2014). Verfahren zur Bestimmung des Griffigkeitsbeiwertes vor und nach Polierung. (Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.

DIN 18196 (Mai 2011). Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 1338 (November 2006). Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1338:2003-08 einschl. Berichtigung 1 zu DIN EN 1338:2003-08; Deutsche Fassung EN 1338:2003/AC:2006. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 1339 (November 2006). Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1339:2003-08 einschl. Berichtigung 1 zu DIN EN 1339:2003-08; Deutsche Fassung EN 1339:2003/AC:2006. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: Beuth Verlag.

ERA (Dezember 2010). Empfehlungen für Radverkehrsanlagen. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

EU-BauPVO (9. März 2011). Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. (Europäische Union (EU), Hrsg.) Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union (ABl.).

M DBT (September 2013). Merkblatt für Dränbetontragschichten. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

M FP (April 2015). Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

M SoB (Februar 2021). Merkblatt für Schichten ohne Bindemittel. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

M VV (Juli 2013). Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

Mentlein, H. (2020). Pflaster Atlas - Planung, Konstruktion und Herstellung (5., aktualisierte und erweiterte Ausg.). Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG.

Merkblatt über den Rutschwiderstand von Pflasterdecken und Plattenbelägen für den Fußgängerverkehr (Februar 2020). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

RAS-Ew (November 2005). Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

RASt (Januar 2009). Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (2006, korr. Nachdr. 2009). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

Rohleder, M. (2002). Horizontale Verschiebungen in Pflasterdecken und deren Visualisierung. Ruhr-Universität Bochum, Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau. Bochum: Prof. Dr.-Ing. Klaus Krass.

RStO (Dezember 2012). Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

SLG (Juni 2014). Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen (Bd. 4. f. und red. überarb. Auflage). (Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V., Hrsg.) Bonn.

SL. (2021a). Merkblatt Plattenbeläge aus Beton für befahrbare Verkehrsflächen. (Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V., Hrsg.) Bonn.

SLG (2021b). Regel- und handwerksgerechte Anschlüsse mit Pflastersteinen und Platten aus Beton - Foliensammlung. Bonn: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.

SLG, ZIEGEL, MIRO (Oktober 2020). Produktdatenblätter Bettungs- und Fugenmaterialien, Referenzfassungen 09/2020 und z. T. 10/2020. (Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V., Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., & Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V., Hrsg.) Bonn, Berlin, Duisburg.

TL Pflaster-StB (Dezember 2015). Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen (Ausg. 2006, Fassg. 2015). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

TL SoB-StB (Dezember 2020). Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (Ausg. 2020). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV E-StB (September 2017). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV Ew-StB (November 2014). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Entwässerungseinrichtungen im Straßenbau. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV Pflaster-StB (Juni 2020). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen sowie von Einfassungen (Ausg. 2020). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV SoB-StB (Dezember 2020). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (Ausg. 2020). (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg.) Köln: FGSV Verlag.

ZTV-Wegebau (August 2013). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

Impressum

Herausgeber:



Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG)

Schloßallee 10, 53179 Bonn

Telefon: 0228 95456-0, Telefax: 0228 95456-90

slg@betoninfo.de

www.betonstein.org

Autor: Dipl.-Ing. Dietmar Ulonska

Bildnachweis:

Alle Bilder und Zeichnungen Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG)