betonstein
natürlich, nur besser.

Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen

Richtig planen und ausführen

SLG Betonverband Straße, Landschaft Garten e.V.

Betonpflasterbauweisen fachgerecht ausführen

Zehn Grundregeln

1. Planum

Als „Planum“ wird die Oberfläche des zuvor verdichteten Untergrundes oder Unterbaus bezeichnet. Es ist profilgerecht, eben und tragfähig herzustellen. Aus bautechnischen Gründen wird die an der Pflasteroberfläche erforderliche Längs-und Querneigung grundsätzlich an allen Schichtoberflächen, so auch auf dem Planum, ausgeführt. Mindestquerneigung: 2,5 %, bei wasserempfindlichen Böden 4 %. (Technisches Handbuch Abs. 3.3.1, 3.3.2 und 3.5.3)

2. Tragschichten

Sie müssen tragfähig, verformungsbeständig und ausreichend wasserdurchlässig sein. Überwiegend werden Tragschichten aus ungebundenen Gesteinskörnungen (Tragschichten ohne Bindemittel, ToB) hergestellt. Sie sind in ausreichender Dicke, profilgerecht, eben, tragfähig sowie hinreichend wasserdurchlässig herzustellen. Die erforderliche Neigung ergibt sich aus der Neigung der Pflasteroberfläche (Mindestquerneigung: 2,5 %). Die Frostschutzschicht zählt ebenfalls zu den Tragschichten ohne Bindemittel. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.4)

3. Prüfung angelieferter Baustoffe

Lieferschein mit Bestellung vergleichen. Bei Betonpflastersteinen z. B. Format, Farbe, Oberflächenbearbeitung und Menge. Gelieferte Ware zudem mit ggf. vorher vereinbarten Mustern vergleichen. Bei Abweichungen ist eine Klärung mit dem Vertragspartner/Lieferanten vor dem Einbau herbeizuführen. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.3)

4. Randeinfassung

Pflasterdecken benötigen eine stabile Randeinfassung. Der Abstand der Randeinfassungen wird unter Beachtung der vereinbarten Verlegebreite durch Auslegen einzelner Steinzeilen vor Beginn der Verlegearbeiten festgelegt. Elemente für die Randeinfassung, z. B. Bord- oder Einfassungssteine, sind höhen- und fluchtgerecht auf ein Fundament aus Beton zu setzen und erhalten eine Rückenstütze aus Beton. Fundament und Rückenstütze werden „frisch in frisch“ hergestellt. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.5)

5. Entwässerungsrinnen

Oberflächlich anfallendes Wasser muss auf möglichst kurzen Fließwegen zügig von der Oberfläche abgeleitet werden. Entwässerungsrinnen erhalten eine Längsneigung von mind. 0,5 %. Die Elemente, z. B. Muldensteine, Rinnenplatten oder Pflastersteine, sind höhen- und fluchtgerecht auf ein Fundament aus Beton zu setzen und mit gebundenem Fugenmaterial zu verfugen. Entwässerungsrinnen sind mit Bewegungsfugen auszuführen. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.5)

6. Pflasterbettung

Sie ist in gleichmäßiger Dicke, höhen- und profilgerecht auszuführen. Dicke im verdichteten Zustand: 4 cm ± 1 cm. Grundsätzlich müssen für befahrene Flächen kornabgestufte Bettungsmaterialien mit einem Größtkorn von mind. 4 mm verwendet werden. Das Bettungsmaterial muss filterstabil zum Tragschichtmaterial sein. Das Bettungsmaterial ist gleichmäßig gemischt und gleichmäßig durchfeuchtet anzuliefern und zügig einzubauen. Nach dem Abziehen darf die Bettung nicht mehr befahren oder betreten werden. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.2)

7. Verlegung

Betonpflastersteine sind im vereinbarten Verband und mit ausreichenden Fugenbreiten von der verlegten Fläche aus zu verlegen. Abstandshilfen an den Steinen geben nicht das Maß der Fugenbreite vor; die Pressverlegung ist zu vermeiden. Die Fugenachsen müssen einen gleichmäßigen Verlauf aufweisen. Geradlinige Fugenverläufe sind durch ausreichendes Schnüren in Längs- und Querrichtung sicherzustellen. Zur Vermeidung unerwünschter Farbkonzentrationen sollten die Steine aus mehreren Paketen gemischt verwendet werden. Passsteine sollten nicht kleiner als der halbe Ausgangsstein und nicht zu spitzwinklig sein. Das Zuarbeiten sollte durch Nassschnitt erfolgen. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.3)

8. Verfugen

Das Einbringen des Fugenmaterials durch Einfegen erfolgt kontinuierlich mit dem Fortschreiten der Verlegearbeiten. Kornabgestufte Fugenmaterialien sind zu bevorzugen; sie müssen filterstabil zum Bettungsmaterial sein. Die Fugen sind vollständig mit Fugenmaterial zu füllen. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.4)

9. Abrütteln

Vor dem Abrütteln ist überschüssiges Fugenmaterial vollständig abzukehren. In der Regel ist die Pflasterdecke nur bei trockener Pflasteroberfläche und nur unter Verwendung einer Vibrationsplatte mit Kunststoffmatte abzurütteln. Dies gilt insbesondere für farbiges Pflaster und solches mit besonderer Oberflächengestaltung. Unverfugte Pflasterflächen dürfen nicht abgerüttelt werden, eingeschlämmte Pflasterflächen erst nach ausreichendem Abtrocknen von Bettung und Unterlage. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.4)

10. Fugenschluss

Ein abschließender Fugenschluss durch Einschlämmen einer feinkornreichen Gesteinskörnung erhöht die Widerstandsfähigkeit der Fugenfüllung und gibt der Pflasterdecke schon anfangs eine gute Stabilität. (Technisches Handbuch Abs. 3.5.6.4)

Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen

Richtig planen und ausführen

Herausgeber: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Bonn
in Zusammenarbeit mit der BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath

Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler
Dipl.-Ing. Dietmar Ulonska
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

4., fachlich und redaktionell überarbeitete Auflage, Juni 2014

Vorbemerkungen 3

1 Einführung 5

2 Die Betonpflasterdecke – eine Bauweise für vielfältige Einsatzbereiche 7
2.1 Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen ... 7
2.2 Pflastersteinarten 8
2.2.1 Definition „Pflasterstein“ 8
2.2.2 Pflastersteinformen 8
2.2.3 Oberflächentexturen und Farben 9
2.2.4 Pflastersteinsysteme und Sonderformen 9
2.2.5 Pflastersteine für die maschinelle Verlegung 9
2.3 Materialtechnische Anforderungen an Betonpflastersteine – Genormte Qualität 9
2.4 Verbände 10
2.5 Optische Beurteilung von Pflasterdecken 13
2.5.1 Allgemeines 13
2.5.2 Verband, Fugenbreite, Fugenverlauf..... 13
2.5.3 Kantenabplatzungen 14
2.5.4 Farb- und Texturabweichungen..... 14
2.5.5 Ausblühungen/Verfärbungen..... 15

3 Planung und Ausführung 16
3.1 Vorbemerkungen 16
3.2 Technische Regelwerke zur Konstruktion und Ausführung 16
3.3 Entwässerung der Verkehrsfläche..... 17
3.3.1 Oberflächenentwässerung 17
3.3.2 Planumsentwässerung 19
3.4 Dimensionierung des Oberbaus 19
3.5 Konstruktive Gestaltung und Ausführung der Verkehrsflächenbefestigung 21
3.5.1 Allgemeines 21
3.5.2 Filterstabilität..... 22
3.5.2.1 Bedeutung der Filterstabilität..... 22
3.5.2.2 Nachweis der Filterstabilität 22
3.5.2.3 Beispiele 24
3.5.3 Untergrund/Unterbau 28
3.5.3.1 Allgemeines 28
3.5.3.2 Tragfähigkeit 28
3.5.3.3 Verdichtung 28
3.5.3.4 Ebenheit und profilgerechte Lage 29
3.5.3.5 Wasserdurchlässigkeit..... 29
3.5.3.6 Probenahme und Prüfverfahren..... 29
3.5.4 Tragschichten 29
3.5.4.1 Allgemeines 29
3.5.4.2 Tragschichten ohne Bindemittel 30
3.5.4.3 Dränbetontragschichten 36
3.5.4.4 Asphalttragschichten 36
3.5.5 Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen 37
3.5.5.1 Allgemeine Planungs- und Ausführungshinweise 37
3.5.5.2 Randeinfassungen 40
3.5.5.3 Entwässerungsrinnen 42
3.5.6 Pflasterdecke 45
3.5.6.1 Allgemeines 45
3.5.6.2 Pflasterbettung 47
3.5.6.3 Pflasterstein und Verlegung 49
3.5.6.4 Fugen, Fugenfüllung, Abrütteln 54

4 Reinigung und Erhaltung 61
4.1 Reinigung 61
4.2 Erhaltung 61
4.3 Aufgrabungen 62

Anhang A: Dimensionierung des Oberbaus ... 64

Anhang B: Bodengruppen und ihre Frostempfindlichkeit 72

Anhang C: Zitierte Normen, Technische Regeln und Literatur 73

Anhang D: Stichwortverzeichnis 78

Dieses technische Handbuch ist ein Leitfaden für die Planung und Ausführung von Verkehrsflächenbefestigungen mit Betonpflasterdecken. Es basiert auf den Vorgaben des Technischen Regelwerks für Verkehrsflächen sowie auf theoretischen Erkenntnissen und praktischen Erfahrungen. Ziel ist es, dauerhaft haltbare Flächenbefestigungen mit Betonpflasterdecken zu bauen und Schäden vermeiden zu helfen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Anforderungen und Empfehlungen des derzeit gültigen Technischen Regelwerks aufgezeigt. Änderungen in diesem Regelwerk bleiben jedoch vorbehalten. In zahlreichen Hinweisen zur Planung und Ausführung von Pflasterflächen sowie zu ihrer Erhaltung wird die Anwendung des Regelwerks anschaulich erläutert.

Ausdrücklich unberücksichtigt bleiben die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs“ (ZTV Wegebau) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), da hierin für Flächen, die nicht oder nur gelegentlich von Kraftfahrzeugen befahren werden, bewusst geringere technische Anforderungen definiert worden sind.

Es wird davon ausgegangen, dass der Leser nicht unbedingt mit dem Bau von Verkehrsflächen vollständig vertraut sein muss. Daher wird empfohlen, sich in Fragen der Wahl der Bauweisen, der Dimensionierung der Schichtdicken, des Erdbaus, der Baustoffe und der Entwässerung von entsprechenden Fachleuten beraten zu lassen.

Das Stichwortverzeichnis ermöglicht ein gezieltes Auffinden von Informationen. Auf eine Auflistung von Begriffsbestimmungen (Glossar) wurde in diesem technischen Handbuch verzichtet. Hierzu wird auf die Internetseite des Herausgebers www.betonstein.org verwiesen, wo unter „Technik/Begriffe von A-Z“ die einschlägigen Begriffsbestimmungen (SLG, 2005) zum kostenlosen Herunterladen zur Verfügung stehen.

Dieses technische Handbuch erläutert ausschließlich die Regelbauweise, d. h. die Ausführung mit ungebundener Decke und Verwendung von Pflastersteinen bis zu einer Kantenlänge – nach derzeitigem Regelwerk – von 320 mm. Sonderbauweisen, wie z. B. versickerungsfähige Pflasterflächen und solche mit großformatigen Betonelementen, werden in speziellen Broschüren des Herausgebers behandelt (SLG 2008, SLG 2009).

Die Angaben in diesem technischen Handbuch 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. Dieses Handbuch dient unter anderem als Unterstützung und Erleichterung bei der Anwendung der Technischen Regeln für die Pflasterbauweise mit Betonsteinen. Es ersetzt die entsprechenden Technischen Regeln jedoch nicht.

Kritik und Anregungen, die sich aus der Arbeit mit diesem Handbuch ergeben, werden vom Herausgeber gerne aufgegriffen.

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V., Bonn

Pflasterbefestigungen sind mehrschichtig aufgebaute Oberbaukonstruktionen zur Aufnahme von statischen und dynamischen Verkehrslasten. Abbildung 1-1 zeigt beispielhaft den Schichtenaufbau in Abhängigkeit von der Frostempfindlichkeit des Bodens.

Für die meisten Anwendungsfälle genügen eine Frostschutzschicht und eine zusätzliche Tragschicht. Alternativ kann bei Verwendung von Schotter- oder Kiestragschichten auch nur eine Tragschicht vorgesehen werden. Nur in besonderen Fällen werden zwei Tragschichten auf der Frostschutzschicht und ggf. ein Unterbau bzw. verbesserter Unterbau ausgeführt.

Pflasterflächen erreichen bei sachgerechter Planung und Ausführung sowie unter der für die Planung vorausgesetzten Beanspruchung durch den Verkehr eine Nutzungsdauer, die der anderer Bauweisen für Verkehrsflächen entspricht.

Unter dem Begriff „Pflaster“ versteht man die Pflastersteine einschließlich der Fugenfüllung. Der Begriff „Pflasterdecke“ hingegen benennt das Pflaster einschließlich der Bettung, d. h., die Pflasterdecke besteht aus Pflastersteinen, Fugenfüllung und Bettung. Der darunter befindliche Aufbau wird als „Unterlage“ für die Pflasterdecke bezeichnet. Die Pflasterdecke mit den darunter angeordneten Tragschichten bilden den „Oberbau“. Werden mehrere Tragschichten angeordnet, so befinden sich steifere Tragschichten oberhalb der weniger steifen Schichten (z. B. Schottertragschicht auf Frostschutzschicht oder gebundene Tragschicht auf Tragschicht ohne Bindemittel).

Der Oberbau wird im Allgemeinen auf dem anstehenden und entsprechend vorbereiteten Boden, der als „Untergrund“ bezeichnet wird, aufgebaut. Ist zunächst eine Schüttung erforderlich (z. B. in Dammbereichen), wird diese als „Unterbau“ bezeichnet. Die vor der Herstellung des Oberbaus profil- und höhengerecht hergestellte sowie verdichtete Oberfläche des Unterbaus/Untergrunds ist das „Planum“.

Wie Erfahrungen aus der Baupraxis zeigen, führen fehlerhafte Planung, Ausschreibung und/oder Ausführung immer wieder zu Schäden. Häufige Planungsfehler sind die unzutreffende Abschätzung der während der geplanten Nutzungsdauer auftretenden Verkehrsbelastung, eine fehlerhafte Auswahl der Schichtenart und/oder der Baustoffe. Häufige Ausführungsfehler sind mangelnde Verdichtung der Schichten, ungleichmäßige Bettungsdicke, zu geringe Fugenbreiten und nicht oder unvollständig gefüllte Fugen. Die Schäden werden stets an der Oberfläche sichtbar und beeinträchtigen

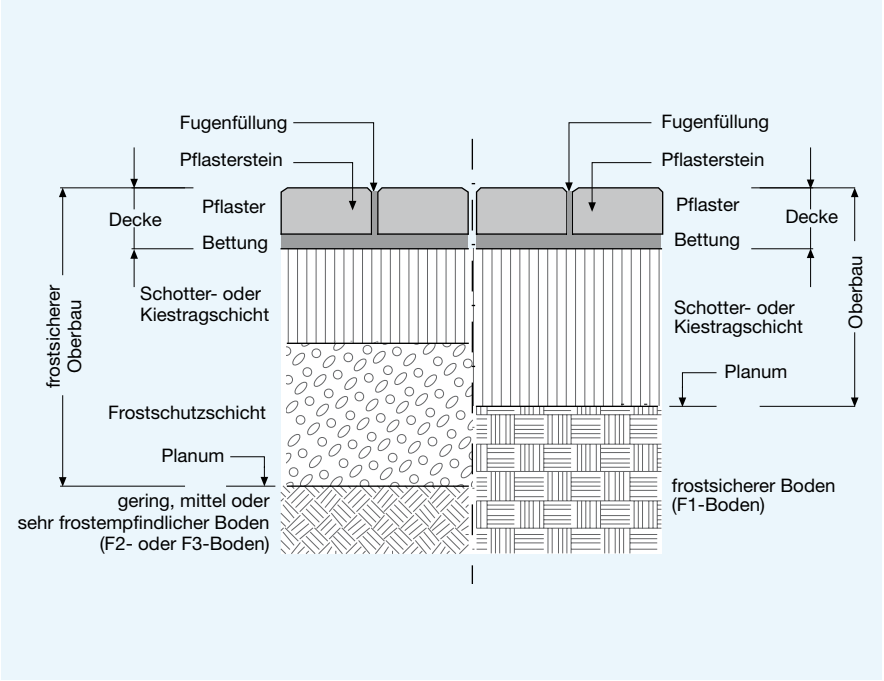


Abbildung 1-1: Typischer Aufbau einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke in Abhängigkeit von der Frostempfindlichkeit des Bodens (Beispiele)

in der Regel Gebrauchsfähigkeit sowie Sicherheit der Verkehrsfläche. Folgende Schadensbilder können auftreten:

- Verformungen des Pflasters (horizontale und/oder vertikale Verschiebungen der Pflastersteine)
- Klapperpflaster, Sägezahnpflaster
- gerissene, beschädigte oder zerstörte Pflastersteine.

Ursachen sind häufig:

- in der Planungsphase nicht richtig abgeschätzte Verkehrsbelastung, insbesondere betreffend der Fahrzeuge des Schwerverkehrs
- wasserundurchlässige Bettung, z. B. infolge der Kornzertrümmerung von ungeeignetem Bettungsmaterial
- wasserundurchlässige Tragschicht, z. B. durch zu intensive Verdichtung oder Wahl eines ungeeigneten Tragschichtmaterials
- ungleichmäßige oder zu große Dicke der Bettung
- offene oder teilentleerte Fugen, z. B. durch fehlende Filterstabilität zum Bettungsmaterial oder durch zu häufigen Einsatz von Kehrsaugmaschinen im jungen Alter der Pflasterdecke.

Schäden werden oftmals vorschnell und ohne nähere Prüfung der Umstände den Pflastersteinen angelastet. Erfahrungsgemäß ist die überwiegende Zahl aller Schäden an Pflasterbefestigungen jedoch nicht auf Qualitätsmängel der verwendeten Steine zurückzuführen.

2.1 Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen

Innerörtliche Verkehrsräume werden entsprechend der Entwurfsphilosophie des „ganzheitlichen Straßenraumentwurfes“ geplant. Die Planung erfolgt unter Abwägung der funktionalen Nutzungsansprüche an den Verkehrsraum unter Wahrung der städtebaulichen Zusammenhänge. Daneben werden gestalterische und ökologische Belange berücksichtigt. In den Entwurfsrichtlinien wird daher auch auf die gestalterische und ökologische Bedeutung der Verkehrsflächenbefestigung hingewiesen. Der Einsatz von Betonpflasterdecken kommt den formulierten Ansprüchen in besonderer Weise nach.

Wichtige Entwurfsvorgaben für innerörtliche Straßenräume:

- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt)
- Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete (ESG)
- Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA)
- Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA)
- Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR)
- Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen (H BVA).

Die Anwendungsmöglichkeiten für Betonpflastersteine sind ausgesprochen vielfältig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass neben den gestalterischen auch hohe bautechnische Anforderungen mit Betonpflasterdecken erfüllt werden können. Die große Auswahl an Formen, Farben, Oberflächentexturen, Steingrößen und Steindicken trägt wesentlich zur Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten bei. Aber auch andere Kriterien, wie Kostenaspekte und Wiederverwendbarkeit führen häufig zur Wahl von Betonpflaster als Verkehrsflächenbelag. Die Ökobilanz von Betonpflasterbauweisen ist zum Teil deutlich besser als die anderer Bauweisen. Gerade hinsichtlich der im Fokus stehenden Umweltthemen „Energieeinsparung“ und „CO_2-Ausstoß“ ist die Herstellung von Verkehrswegekonstruktionen unter Verwendung von Betonpflaster oftmals besonders sinnvoll (SLG, 2011 und SLG, 2012).

Bei der Planung von Pflasterflächen wird dem gestalterischen Aspekt häufig die maßgebende Bedeutung zugesprochen. Bei der Anwendung von Betonpflasterbauweisen ist es jedoch unabdingbar, gestalterische und bautechnische Anforderungen aufeinander abzustimmen. Tabelle 2-1 zeigt die Einsatzbereiche von Betonpflasterbauweisen unter Berücksichtigung des bautechnischen Anforderungsniveaus, welches sich aufgrund der Belastungskategorie ergibt. Die Übergänge sind fließend. Das Anforderungsniveau ist nicht allein von der Art der Verkehrsfläche, sondern auch von den Ansprüchen des Bauherrn bzw. des Nutzers abhängig.

Auf Fahrbahnen mit Pflasterdecke besteht beim Befahren mit Fahrgeschwindigkeiten ab etwa 60 km/h

Tabelle 2-1: Einsatzbereiche für Betonpflasterbauweisen unter Berücksichtigung der Belastung

Belastungskategorie		
1	2	3
hohe Verkehrsbelastungen	mittlere bis geringe Verkehrsbelastungen	außergewöhnliche Belastungen
- hohe Achslasten, hohe Schwerverkehrsbelastung (Belastungsklasse Bk3,2 bis Bk1,0) - hohe Horizontalbelastungen - häufige Rangiervorgänge	- mittlere bis niedrige Schwerverkehrsbelastung (Belastungsklasse Bk1,0 bis Bk0,3) - geringe sonstige Belastungen	- hohe statische Lasten - hohe mechanische Verschleißbelastung - außergewöhnlich hohe, für öffentliche Straßen nicht zugelasse Achslasten
Beispiele: - Hauptgeschäftsstraßen, Sammelstraßen - Lkw-Abstellflächen und -Fahrgassen - Busverkehrsflächen - Kreisverkehre - Plätze und Fußgängerzonen mit Ladeverkehr - Containerumschlagflächen - Industriestraßen und -verkehrsflächen - Zufahrten zu Hafenanlagen	Beispiele: - Wohnstraßen und -wege - Abstellflächen für Pkw - land- und forstwirtschaftliche Wege - Bereiche von Plätzen und Fußgängerzonen ohne Lade- und Busverkehr - Geh- und Radwege - Grundstückszufahrten, Hofflächen, Feuerwehrwege - Terrassen und Gartenanlagen - Bahnsteige	Beispiele: - Containerabstellplätze - Straßen für militärische Fahrzeuge - befahrene Gleisbereiche - Flugbetriebsflächen

aufgrund ihrer Ebenheitsmerkmale ein eingeschränkter Fahrkomfort. Betonpflasterdecken sollten daher für Straßen, die mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden, nicht verwendet werden. Eine weitere Einsatzgrenze ergibt sich aus der zu erwartenden Verkehrsbelastung. Die Pflasterbauweise ist für Verkehrsflächen mit hoher bis sehr hoher Schwerverkehrsbelastung, dies sind Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk100, Bk32 und Bk10 nach den RStO, nicht zu empfehlen (siehe Abschnitt 3.5.6.1).

Grundstückszufahrten und Hofflächen, welche auch nur gelegentlich von Fahrzeugen des Schwerverkehrs befahren werden, z. B. zur Zustellung und Abholung von Absetzmulden, sollten mindestens der Belastungsklasse Bk0,3 gemäß den RStO zugeordnet werden. Es wird dringend empfohlen, für Betonpflasterbauarbeiten stets die ZTV Pflaster-StB als bauvertragliche Grundlage zu vereinbaren.

2.2 Pflastersteinarten

2.2.1 Definition „Pflasterstein“

Gemäß der DIN EN 1338 ist ein Pflasterstein als vorgefertigtes Betonerzeugnis für den Einsatz in Verkehrsflächenbefestigungen durch folgende Festlegungen beschrieben:

1. In einem Abstand von 50 mm von jeder Kante darf kein Querschnitt ein horizontales Maß von weniger als 50 mm aufweisen.
2. Die Gesamtlänge L des Steines dividiert durch seine Dicke D ist kleiner oder gleich 4. Für nicht rechteckige Pflastersteine ist als Gesamtlänge die Länge des umschließenden Rechtecks mit kleinstem Flächeninhalt anzunehmen.

Die erste Forderung richtet sich ausschließlich an den Hersteller bzw. Konstrukteur eines Betonpflastersteins. Damit soll sichergestellt werden, dass Pflastersteine aus Beton gewisse Mindestabmessungen aufweisen. Die zweite Forderung ist von genereller Bedeutung für die Bauweise. Die genannten Festlegungen gelten nicht für Ergänzungssteine.

Unterschied zwischen „Stein“ und „Platte“

Bei einem Pflasterstein aus Beton ist das Verhältnis von seiner Gesamtlänge zu seiner Dicke immer kleiner oder höchstens 4. Ist das Verhältnis größer als 4, spricht man defintionsgemäß von einer Platte aus Beton (vgl. auch DIN EN 1339). Der Begriff „Pflasterplatte“ ist veraltet und sollte nicht mehr verwendet werden.

Eine normative Größenbegrenzung für Pflastersteine aus Beton ist in der zugehörigen DIN EN 1338 nicht enthalten. Die ZTV Pflaster-StB beschränken die Anwendung von Pflastersteinen aus Beton auf solche mit einer Gesamtlänge von maximal 320 mm.

2.2.2 Pflastersteinformen

Hinsichtlich ihrer lastverteilenden Wirkung (vertikal und horizontal) lassen sich Betonpflastersteine wie folgt einteilen:

- Steine mit horizontalem Verbund
  - Winkelsteine (z. B. L-, T- oder Kreuzform),
  - Steine mit zweiseitigem oder allseitigem Verbund,
- Steine mit vertikalem Verbund,
- Steine ohne Verbund.

Daneben werden auch Pflastersteine für spezielle Anwendungsbereiche angeboten, z. B. für versickerungsfähige Beläge, auf die jedoch in diesem Handbuch nicht näher eingegangen wird.

Das Erscheinungsbild des einzelnen Steines lässt sich durch Form, Größe, Kantenausbildung und Oberflächengestaltung beeinflussen. Bei der Gestaltung der Oberfläche muss weiter nach Farbe, Textur und werksteinmäßiger Bearbeitung unterschieden werden. Größe und Abmessungen variieren von Mosaikpflastersteinen mit Kantenlängen von 60 bis 80 mm bis zu größeren Produkten mit Kantenlängen von z. B. 200 x 200 oder 300 x 300 mm. Am gebräuchlichsten sind Steine, die eine gute Verlegung mit der Hand ermögli-

chen und meist ein Gewicht von 4,5 kg nicht wesentlich überschreiten. Die überwiegend verwendeten Steindicken sind 80 und 100 mm.

2.2.3 Oberflächentexturen und Farben

Je nach Herstellungsverfahren und Einsatzbereich lassen sich ebene und texturierte sowie glatte bis sehr raue Oberflächen herstellen. Gestaltungsmöglichkeiten der Oberflächentextur sind durch werksteinmäßige Bearbeitung gegeben. Die Hersteller bedienen sich hierbei einiger für den Betonwerkstein üblicher Bearbeitungsmethoden. Insbesondere durch Feinwaschen, Kugelstrahlen, Altern (z. B. Rumpeln), Schleifen oder Stocken der Steine können sehr vielfältige und gestalterisch ansprechende Texturen erzielt werden. Die Definitionen der verschiedenen Bearbeitungsmethoden sind in der DIN V 18500 „Betonwerkstein“ zu finden. Pflastersteine aus Beton, darunter auch solche, die werksteinmäßig bearbeitet sind, werden jedoch ausschließlich nach DIN EN 1338 geprüft. Diese Norm lässt dem Hersteller bei der Wahl der Oberflächenbehandlung ausdrücklich freie Hand.

Durch den Einsatz von Pigmenten und farblich angepassten Gesteinskörnung können – neben ungefärbten, grauen Steinen – Erzeugnisse mit unterschiedlichen Farben hergestellt werden. Gebräuchlich sind Anthrazit, Rot, Braun und Gelb sowie nuancierte Farbtöne. Insbesondere bei größeren Formaten und repräsentativen Flächen ist ein Trend zu einer Kombination von unterschiedlichen Grautönen zu erkennen.

2.2.4 Pflastersteinsysteme und Sonderformen

Betonpflastersteine werden praktisch immer als System angeboten. Ein System kann z. B. aus mehreren, maßlich aufeinander abgestimmten Hauptsteinen – häufig in Quadrat- und Rechteckform – oder aus einem Normalstein und Ergänzungssteinen bestehen. Ergänzungssteine – wie beispielsweise Rand-, End- oder Diagonalsteine (letztere auch Bischofsmützen genannt) – werden für den handwerklich einwandfreien Randabschluss der Flächen benötigt. So können aufwändige Schneidearbeiten vermieden werden.

Zur Gestaltung von Kreisen, Bögen und Kurven werden besondere Steine bzw. Steinsysteme zur Verfügung gestellt. Kurvensteine und Kurvensteinsätze als Ergänzung zu Verbundpflastersteinsystemen werden weniger aus gestalterischen als mehr aus bautechnischen Gründen bereitgestellt. Bei befahrenen Verkehrsflächen ist es sinnvoll, die besondere Verbundwirkung der Steine auch in Kurven aufrecht zu erhalten, da gerade in diesen Bereichen verstärkt Horizontalkräfte auf die Fläche wirken können. Die speziellen Steinsysteme bieten zudem den Vorteil, dass dadurch Keilfugen in der Pflasterdecke vermieden werden.

2.2.5 Pflastersteine für die maschinelle Verlegung

Infolge des ständig steigenden Drucks, Pflasterdecken rationell und kostengünstig herzustellen, sowie der gesetzlichen Vorgaben zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen ist eine Zunahme maschinell verlegter Pflasterflächen zu erkennen. Somit gewinnen auch speziell darauf abgestimmte Pflastersteinsysteme an Bedeutung. Das Thema wird im vorliegenden Handbuch nicht vertieft. Auf das „Merkblatt für die maschinelle Verlegung von Betonpflastersteinen“ des Herausgebers (SLG, 2004) wird hingewiesen.

2.3 Materialtechnische Anforderungen an Betonpflastersteine – Genormte Qualität

Die DIN EN 1338[a] für Pflastersteine aus Beton beschreibt Ausgangsstoffe, Eigenschaften, Anforderungen und Prüfverfahren für Betonpflastersteine und Ergänzungssteine und regelt die Kennzeichnung sowie die Beurteilung der Übereinstimmung der Produkte mit der Norm. Für folgende Materialeigenschaften sind unterschiedliche Klassen angegeben bzw. wählbar:

- Differenz der Diagonalen (Winkligkeit)
- Witterungswiderstand
- Abriebwiderstand.

Die Einteilung von Produkteigenschaften (Produktanforderungen) in verschiedene Klassen (mitunter auch als Kategorien bezeichnet) ist typisch für europäische Normen, um den unterschiedlichen Bedingungen und Interessen der Mitgliedsstaaten Rechnung tragen zu können. Durch die Auswahlmöglichkeit unterschiedlicher Klassen können Betonpflastersteine unterschiedlicher Qualität als genormtes Produkt und mit der CE-Kennzeichnung im europäischen Binnenmarkt frei gehandelt werden. Nicht alle der möglichen und der Norm entsprechenden Qualitäten eignen sich aber für die Anwendung in Deutschland – schon allein aus klimatischen Gründen nicht. Daher war es notwendig, mit den TL Pflaster-StB ein erforderliches Mindestniveau im nationalen Regelwerk festzulegen.

[a] Die Norm befindet sich seit 2010 auf europäischer Ebene in der Überarbeitung

Folgende Klassen wurden in den TL Pflaster-StB als Mindestanforderung und durch Querverweis auch in den ATV DIN 18318 – dort als Regelanforderung – definiert:

- zulässige Differenz der Diagonalen (Winkligkeit): Klasse 2, Kennzeichnung „K“
- Witterungswiderstand: Klasse 3, Kennzeichnung „D“
- Abriebwiderstand: Klasse 4, Kennzeichnung „I“.

Damit ergibt sich das für Deutschland festgelegte Anforderungsprofil an Pflastersteine aus Beton, wie in Tabelle 2-2 dargestellt – und zwar unter zusätzlicher Berücksichtigung jener Anforderungen der DIN EN 1338, für die keine Klassenauswahl möglich ist, für die es also jeweils nur eine Anforderung bzw. nur einen Anforderungswert gibt.

2.4 Verbände

Betonpflastersteine lassen sich zu vielfältigsten Verbänden (Verlegemustern) verarbeiten. Allein mit einer einzelnen Steinform, z. B. dem weit verbreiteten Rechteckstein für das Rastermaß 100 x 200 mm, lassen sich mindestens fünf verschiedene Verbände realisieren (Abbildung 2-1). Mit Pflastersteinsystemen, die aus drei, vier oder mehr maßlich aufeinander abgestimmten Einzelsteinen bestehen können, sind leicht 30 und mehr unterschiedliche Verbände ausführbar.

Tabelle 2-2: Materialtechnische Anforderungen an Pflastersteine aus Beton in Deutschland nach den TL Pflaster-StB (Mindestanforderungen) bzw. nach den ATV DIN 18318 (Regelanforderungen) auf der Grundlage der DIN EN 1338

Zulässige Abweichungen von den Nennmaßen			
Steindicke	Länge	Breite	Dicke
< 100 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 3 mm
≥ 100 mm	± 3 mm	± 3 mm	± 4 mm
alle Steindicken	Differenz zweier beliebiger Dickenmessungen am Stein ≤ 3 mm		
Zulässige Differenz der Diagonalen (Winkligkeit): Gilt nur für rechteckige Steine und wenn deren Diagonale über 300 mm beträgt.			
Klasse	Kennzeichnung	Anforderung	
2	K	≤ 3 mm	
Zulässige Abweichungen von Ebenheit und Wölbung Quantitative Anforderungen bei Steinen ab einer bestimmten Größe sind festgelegt.			
Witterungswiderstand			
Klasse	Kennzeichnung	Anforderung	
3	D	Masseverlust nach Frost-Tausalz-Prüfung ≤ 1,0 kg/m² (im Mittel) und ≤ 1,5 kg/m² (Einzelwert)	
Mechanische Festigkeit			
Charakteristische Spaltzugfestigkeit		≥ 3,6 N/mm²	
Einzelwert Spaltzugfestigkeit		≥ 2,9 N/mm²	
Bruchlast		≥ 250 N/mm	
Abriebwiderstand			
Klasse	Kennzeichnung	Anforderung	
4	I	≤ 20 mm nach „Referenzverfahren“; ≤ 18 cm³/50 cm² nach „Böhme-Verfahren“	
Gleit-/Rutschwiderstand			
Pflastersteine aus Beton haben einen ausreichenden Gleit-/Rutschwiderstand, vorausgesetzt, dass ihre obere Oberfläche nicht geschliffen oder poliert oder so hergestellt wurde, dass eine glatte Oberfläche entstanden ist. Sollte im Ausnahmefall ein Wert für den Gleit-/Rutschwiderstand erforderlich sein, muss das in DIN EN 1338 beschriebene Prüfverfahren (SRT-Pendel) angewendet werden, und der Mindestwert des Gleit-/Rutschwiderstandes muss angegeben werden.			
Beschaffenheit, Aussehen, Farbe			
Die Steine müssen frei von Beschädigungen wie Rissen und Abplatzungen sein. Bei Ausführung mit Vorsatzbeton muss dieser mindestens 4 mm dick sein und darf sich nicht vom Kernbeton ablösen. Ausblühungen beeinträchtigen nicht die Gebrauchstauglichkeit der Pflastersteine. Farb- und Texturabweichungen können vorkommen.			

Zu beachten sind insbesondere zwei Punkte:

1. Das für die Planung einer Pflasterfläche zu beachtende Rastermaß setzt sich immer aus dem Steinmaß zuzüglich dem aus bautechnischen Gründen erforderlichen Fugenmaß zusammen. Dies gilt auch bei der Verwendung von unterschiedlich großen Steinen innerhalb einer Fläche. Den Zusammenhang zwischen Stein-Nennmaß und Rastermaß zeigt Abbildung 2-2 am Beispiel eines Systems aus drei maßlich aufeinander abgestimmten Steinen einschließlich Randeinfassung.
2. Nicht alle Verbände (Verlegemuster) sind für befahrene Verkehrsflächen geeignet (vgl. auch Abbildung 2-1 sowie Hinweise im „Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen Teil 1: Regelbauweise“ (M FP 1, in Überarbeitung).

Durch die große Zahl möglicher, unterschiedlicher Verbände erfüllen Betonpflastersteine die vielfältigsten gestalterischen Anforderungen. Zusätzlich muss aber stets auch die zu erwartende Verkehrsbelastung in die Wahl der Steinform und des Verbandes einbezogen werden. Folgende Hinweise sind zu berücksichtigen (siehe Kasten).

- Pflasterdecken mit Verbundsteinen weisen eine höhere Stabilität (Widerstand gegen Verdrehen und Verkippen der Steine) auf als solche mit unverzahnten Steinen.
- Von den üblichen Verlegemustern kann z. B. der Fischgrätverband als weniger anfällig gegenüber Spurrinnenbildung eingestuft werden als der Läuferverband (Abbildung 2-3) (Gleitz, Roßberg, Wellner, 1995)
- Diagonal zur Fahrtrichtung verlegte Steine, z. B. Fischgrätverband, tragen Horizontalkräfte besser ab als quer zur Fahrtrichtung verlegte Steine.
- In Fahrtrichtung durchgehende Längsfugen sind zu vermeiden (Abbildung 2-4); siehe auch Abschnitt 3.5.6.3 und vgl. (Koch, Roßberg, Wellner et al., 1997; Wellner, Leutner et al., 2003).
- Wissenschaftliche Untersuchungen lassen zudem Aussagen zum Einfluss des Steinformates und der Steindicke zu (siehe auch Abschnitt 3.5.6.3 und vgl. Koch, Roßberg, Wellner et al., 1997; Krass, Jungfeld, Rohleder, 2002; Wellner, Leutner et al., 2003).

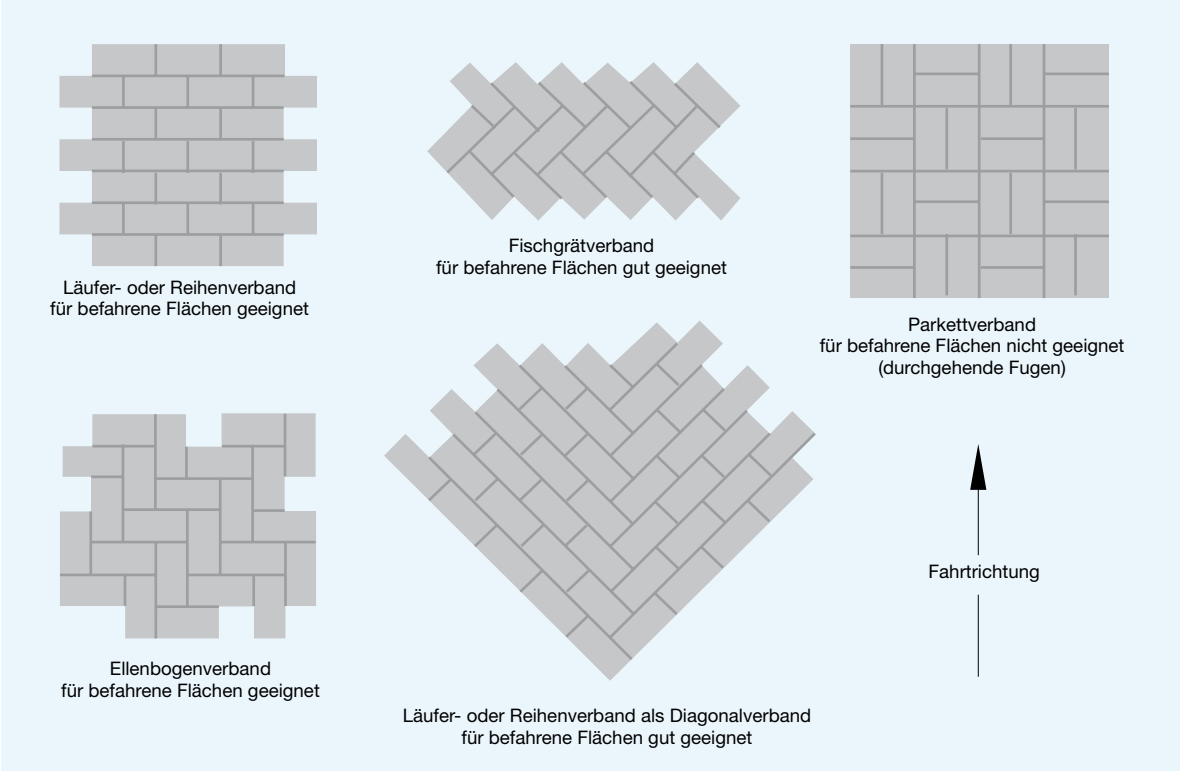


Abbildung 2-1: Beispiele für Verbände (Verlegemuster) mit Rechtecksteinen

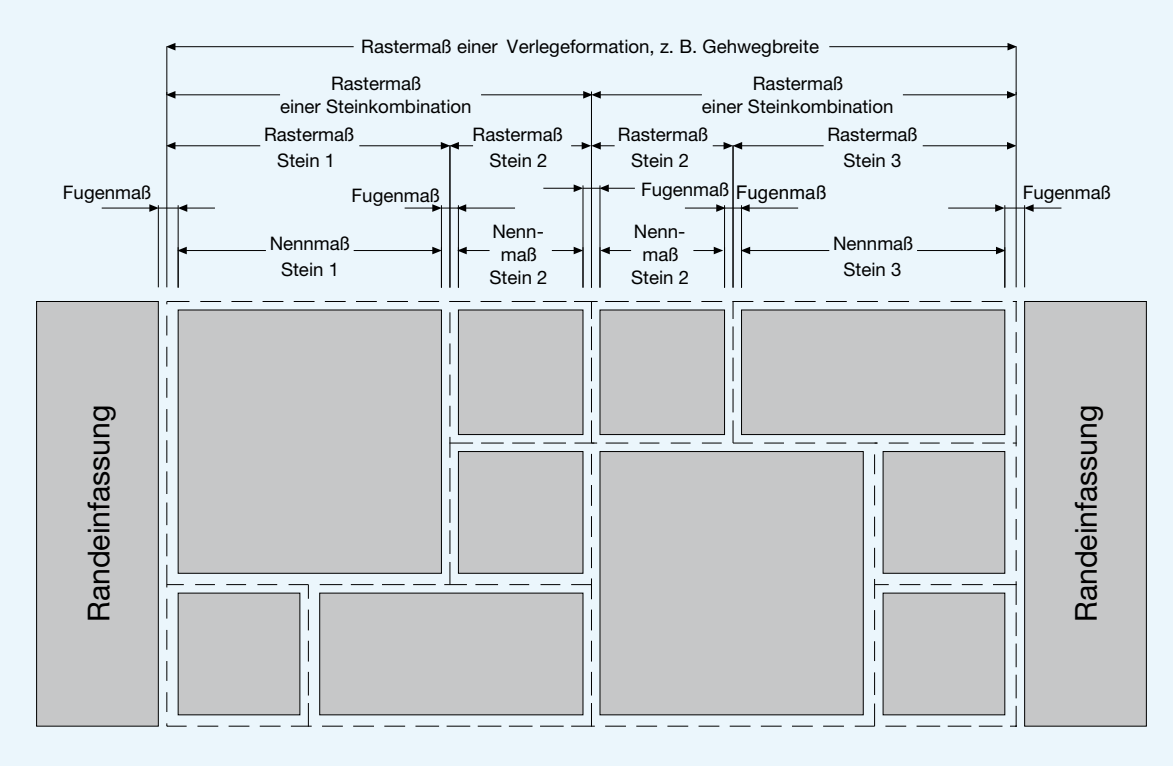


Abbildung 2-2: Zusammenhang zwischen Stein-Nennmaß und Rastermaß am Beispiel eines Steinsystems einschließlich Randeinfassung (Maßketten gelten sinngemäß auch in Querrichtung)

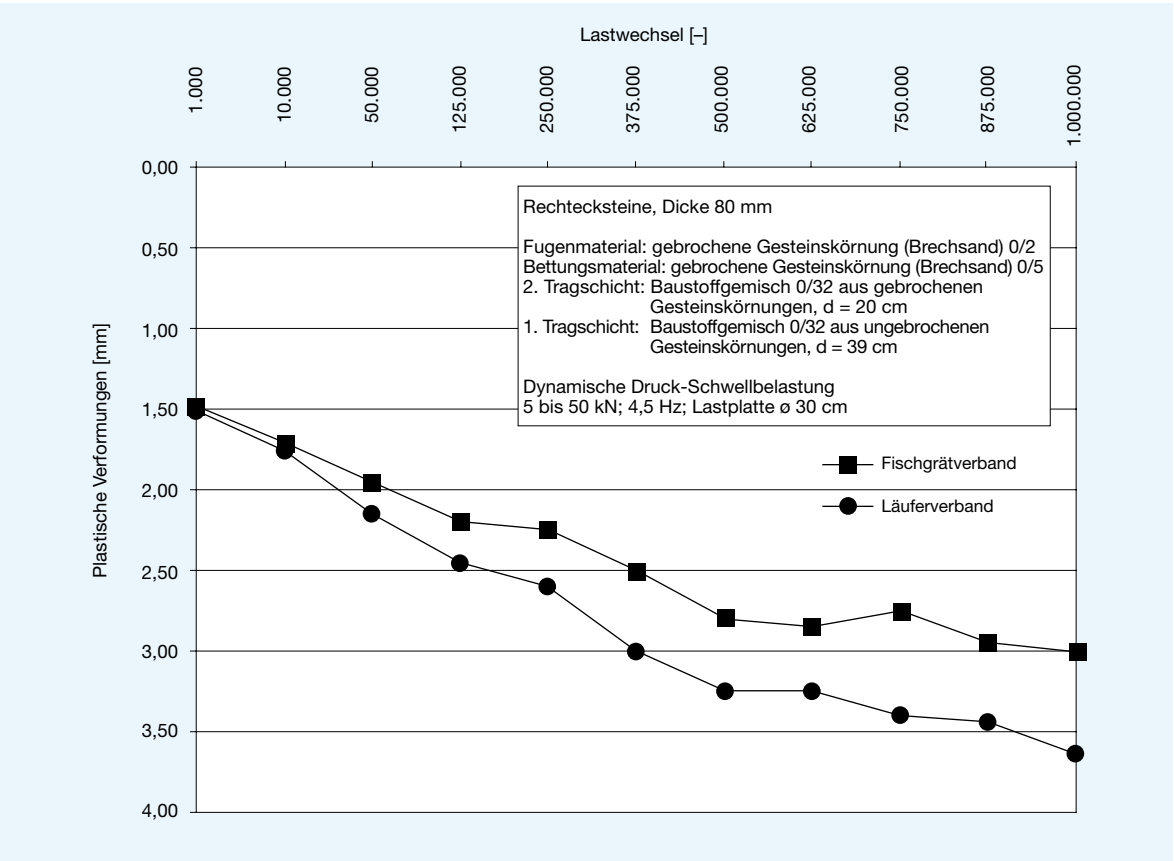


Abbildung 2-3: Einfluss der Verbandes auf das Langzeitverhalten bei Vertikalbelastung von Betonpflasterdecken (Gleitz, Roßberg, Wellner, 1995)

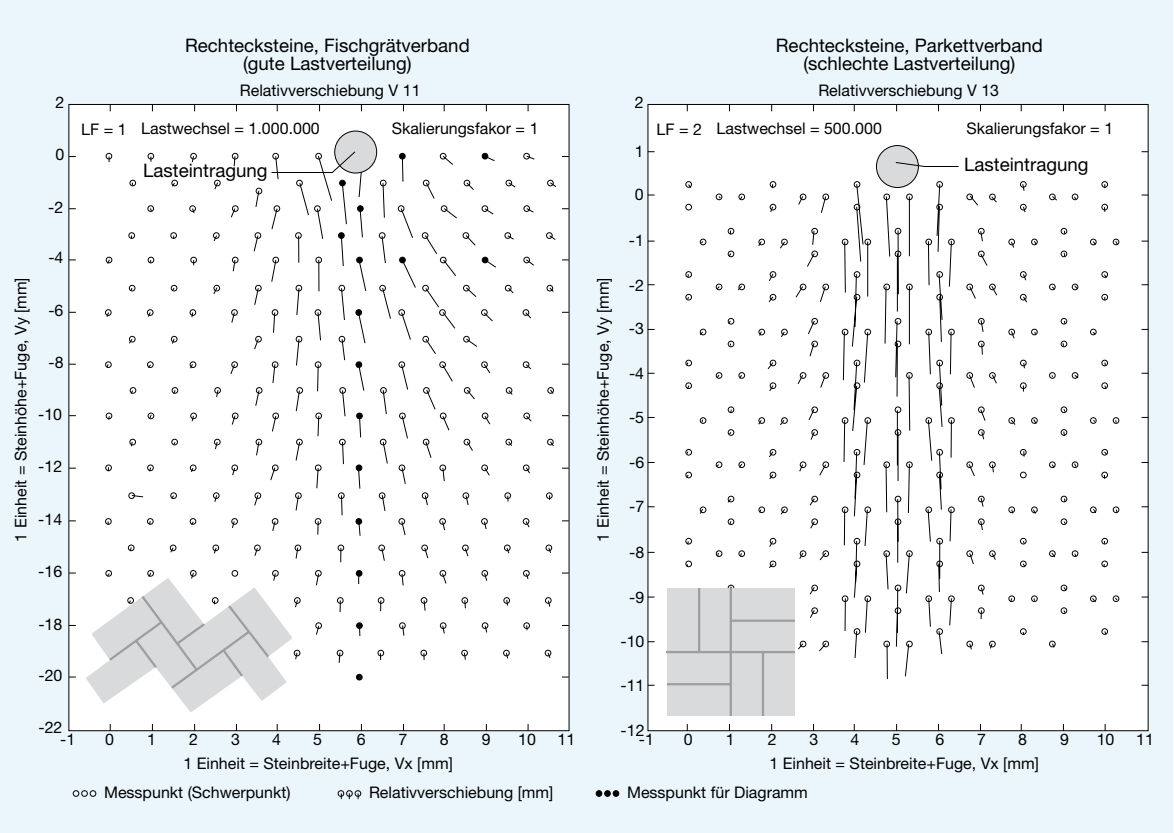


Abbildung 2-4: Einfluss der Verbandes auf das Langzeitverhalten bei Vertikal- und Horizontalbelastung von Betonpflasterdecken (Wellner, Leutner et al., 2003)

Beim Verlegen von Steinen mit unterschiedlich großer Grundfläche in einem zusammenhängenden Belag ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Formate aufgrund produktionstechnischer Vorgaben in aller Regel separat hergestellt werden. Innerhalb der verschiedenen Formate kann es daher zu geringen Farb- und/oder Texturabweichungen an der Oberfläche der Steine kommen.

2.5 Optische Beurteilung von Pflasterdecken

2.5.1 Allgemeines

Gestalterische Ansprüche an Betonpflastersteine können im Vorfeld durch Bemusterung festgelegt werden. Werden solche Vergleichsmuster vereinbart, sollten sie aus einer genügend großen Anzahl von Pflastersteinen bestehen, um das Aussehen der endgültigen Fläche in Bezug auf Farbe, Textur und Oberflächenbeschaffenheit sowie deren unvermeidliche Schwankungsbreite hinreichend beurteilen zu können. Weitere Hinweise sind dem Merkblatt M FP 1 zu entnehmen.

2.5.2 Verband, Fugenbreite, Fugenverlauf

Der vereinbarte Verband (das Verlegemuster) muss in den dafür vorgesehenen Flächen – dies können auch Teilflächen sein – grundsätzlich gleichmäßig ausgeführt werden. Dies gilt auch bei maschineller Verlegung. Dabei müssen die Fugenachsen einen gleichmäßigen Verlauf aufweisen (vgl. ATV DIN 18318). Zulässige Abweichungen werden von den ATV DIN 18318 nicht genannt. Es wird empfohlen, bezogen auf eine 4 m langen Messstrecke, keine größeren Abweichungen als ± 5 mm von den planmäßigen Fugenachsen zuzulassen. Derartige Abweichungen werden erfahrungsgemäß in den meisten Fällen nicht als „störend“, also subjektiv als „noch gleichmäßiger Fugenverlauf“ empfunden.

Das Aufheben der gleichmäßigen Anordnung der Pflastersteine kann in Anschlussbereichen, Kurven, Rundungen oder Abwinkelungen erforderlich sein, um die Anforderungen der ZTV Pflaster-StB an „Anschlüsse“ zu erfüllen (siehe auch Abschnitt 3.5.6.3).

Die in den Technischen Regeln genannten Fugenbreiten sollten grundsätzlich eingehalten werden.

2.5.3 Kantenabplatzungen

Die im eingebauten Zustand sichtbaren Kanten von Pflastersteinen aus Beton können unterschiedlich ausgebildet sein. Je nach Produkttyp sind die Kanten scharfkantig, gebrochen, abgerundet, gefast, abgeschrägt und/oder unregelmäßig geformt. Die Beschreibung der Eigenschaft „scharfkantig“ ist in der DIN EN 1338 ausgeführt. Die Ausbildung der Kanten hat z. B. Einfluss auf das optische Erscheinungsbild im eingebauten Zustand. In technischer Hinsicht ergibt sich ein Einfluss auf die Rollgeräuschemissionen und auf das Abflussverhalten oberflächlich anfallenden Wassers.

Scharfkantige Bauteile haben eine höhere Kantenempfindlichkeit als z. B. gefaste Bauteile. Dies gilt auch für Pflastersteine. Geringfügige Ausbrüche oder Abplatzungen an den Kanten von Pflastersteinen sind daher nicht zu vermeiden und stellen im Allgemeinen keinen Produktmangel dar. Ausbrüche oder Abplatzungen gelten als geringfügig, wenn die Beschreibung der Eigenschaft „scharfkantig“ der DIN EN 1338 eingehalten ist. Dies gilt auch für Pflastersteine im eingebauten Zustand. Pflastersteine, die zu engfugig oder mit Stein-zu-Stein-Kontakt – und somit nicht fachgerecht – verlegt worden sind oder deren Unterlage (Tragschichten und Untergrund) nicht ausreichend tragfähig und frostsicher ist, werden infolgedessen – eventuell bereits beim Abrütteln – Kantenbeanspruchungen ausgesetzt, denen auch hochwertige Betone nicht widerstehen können. Unsachgemäße Verlegung kann somit auch bei mängelfreien, d. h. DIN EN-gerecht gelieferten Betonpflastersteinen zu Abplatzungen führen, die nicht mehr geringfügig sind. Kantenabplatzungen können auch nutzungsbedingt auftreten, wenn z. B. auf dem Pflaster befindliche, größere Gesteinskörner von Fahrzeugreifen in einen Fugenspalt gedrückt werden.

Kantenabplatzungen können die Nutzungssicherheit, z. B. für Fußgänger, auf der betroffenen Fläche einschränken. Gefaste oder ähnlich ausgebildete Kanten mindern generell die Gefahr von Kantenabplatzungen. Die Herstellerunterlagen geben in der Regel Auskunft über die lieferbaren Produkttypen.

2.5.4 Farb- und Texturabweichungen

Farb- und Texturabweichungen sind aufgrund der Verwendung von natürlichen Rohstoffen (z. B. Gesteinskörnungen, Zement), die natürlichen Schwan-

kungen unterliegen, nicht vermeidbar. Darüber hinaus haben Form und Größe der Pflastersteine, technisch nicht vermeidbare Schwankungen der Betonzusammensetzung, Witterung, Betonalter usw. Einfluss auf die Farbe sowie auf die Textur der Betonprodukte. Dies gilt sowohl für nicht nachträglich bearbeitete Erzeugnisse, als auch für solche mit werksteinmäßig bearbeiteter Oberfläche.

Farb- und Texturabweichungen können daher bei Pflastersteinen aus Beton fertigungs- und rohstoffbedingt auftreten. Zufällige Unregelmäßigkeiten sind für die Technologie dieser Erzeugnisse charakteristisch; dies ist bei der Beurteilung des Gesamteindruckes des Gewerkes zu berücksichtigen. Der optische Gesamteindruck des Gewerkes kann nur aus dem üblichen Betrachtungsabstand des Nutzers und unter gebrauchsüblichen Beleuchtungs- und sonstigen Randbedingungen beurteilt werden. Insofern stellen fertigungs- und rohstoffbedingte Farb- und Texturabweichungen, je nach Einzelfallbetrachtung, in der Regel keinen Mangel dar. Farb- und Texturabweichungen sind technisch unbedenklich und beeinträchtigen nicht die mechanischen Eigenschaften der Pflastersteine sowie die der daraus hergestellten Flächenbefestigung (vgl. auch DIN EN 1338).

Die Bewitterung und die mechanische Beanspruchung führen bei Pflasterdecken zu einer Veränderung von Farbe und Oberflächentextur. Eventuell anfangs vorhandene Unterschiede gleichen sich im Laufe der Nutzung an. Das ursprüngliche Erscheinungsbild der Pflasterfläche verändert sich mit zunehmender Nutzungsdauer. Dieser Prozess wird zusätzlich durch Art und Intensität der Reinigungs- und Pflegearbeiten beeinflusst.

Wird die Wahl für einen bestimmten Pflasterstein z. B. anhand von Musterflächen oder Bauwerken getroffen, die bereits der Witterung und Nutzung ausgesetzt sind, ist zu berücksichtigen, dass gleichartige neue Produkte diesen Einflüssen noch nicht ausgesetzt sind und Farb- und Texturunterschiede zur ursprünglichen Musterfläche bzw. zum ursprünglichen Bauwerk aufweisen können. Dies gilt sinngemäß auch für Nachlieferungen.

Bei der Verlegung sollte aus mehreren Paketen gleichzeitig gearbeitet werden. So fallen gegebenenfalls vorhandene Farb- und Texturabweichungen am wenigsten auf. Auch innerhalb eines Steinpaketes können nicht alle Steine hinsichtlich ihrer Farbe und Textur identisch sein.

2.5.5 Ausblühungen / Verfärbungen

Unter Ausblühungen wird eine vorübergehende, im trockenen Zustand sichtbare, weißliche Ablagerung auf der Oberfläche der Produkte verstanden, die unterschiedlich intensiv und/oder fleckenartig sein kann. Verunreinigungen, z. B. durch Lagerung von Baumaterialien, Bauabfällen usw., können ein ähnliches Erscheinungsbild aufweisen, sind jedoch keine Ausblühungen.

Das Auftreten von Ausblühungen wird in erster Linie durch besondere Witterungsbedingungen hervorgerufen, denen die Erzeugnisse insbesondere im jungen Alter ausgesetzt sind. Sie sind technisch unbedenklich und beeinträchtigen nicht die mechanischen Eigenschaften der Pflastersteine sowie die der daraus hergestellten Flächenbefestigung (vgl. auch DIN EN 1338).

Unter normaler Beanspruchung (Witterung, Verkehr usw.) nehmen Ausblühungen mit der Zeit ab. Da nur der Anteil Kalk aus dem Zement an die Oberfläche treten kann, der nicht von anderen Ausgangsstoffen im Beton fest gebunden ist, kommt es nach dem Abklingen von Ausblühungen in der Regel nicht erneut zu diesem Effekt. Ein Auswechseln der Produkte oder andere Maßnahmen gegen Ausblühungen sind daher nicht empfehlenswert.

Ausblühungen können auch bei bereits fertig gestellten, unter Nutzung befindlichen Pflasterdecken entstehen und sind dann häufig die Folge einer mangelhaften Ausführung der Unterlage. Weisen die Tragschicht und / oder die Bettung keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf, nimmt die Tendenz zur Entstehung von Ausblühungen drastisch zu (Voß, 2013).

3 Planung und Ausführung

3.1 Vorbemerkungen

Die Gestaltung von öffentlichen und privaten Verkehrsflächen erfolgt häufig im Wesentlichen unter architektonischen Gesichtspunkten. Um eine möglichst lange Nutzungsdauer bei gleichzeitiger Minimierung des Erhaltungsaufwandes zu erreichen, ist es aber zwingend notwendig, auch die bautechnischen Anforderungen einzuhalten.

Innerörtliche Hauptverkehrs- und Erschließungsstraßen werden entsprechend den „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt 06)“ entworfen. Dabei werden, je nach Straßenkategorie, typische Entwurfssituationen zugeordnet. Als Ergebnis ergeben sich, in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Straßenraumbreite, die jeweiligen Breiten der Verkehrsflächen. Für jede Verkehrsfläche wird anschließend die Art und Ausführung der Verkehrsflächenbefestigung festgelegt. Dabei stehen häufig gestalterische Anforderungen im Vordergrund. Insbesondere für Flächen, die von Kraftfahrzeugen befahren werden, sind zusätzlich eine Reihe bautechnischer Grundsätze und Anforderungen zu beachten und mit den gestalterischen Anforderungen in Einklang zu bringen, um eine möglichst lange und weitgehend schadensfreie Nutzungsdauer der Flächenbefestigung zu erzielen.

Bei der Gestaltung von Verkehrsflächen sind die Belange der Barrierefreiheit angemessen zu berücksichtigen, um mobilitätseingeschränkten Verkehrsteilnehmern eine selbstständige Orientierung und Bewegung im Verkehrsraum zu ermöglichen. Dies erfordert gegebenenfalls den Einbau von Bodenindikatoren als Orientierungshilfe für Blinde und Sehbehinderte. Ausführungsmuster und Anforderungen zur Ausführung von Bodenindikatoren sind den „Hinweisen für barrierefreie Verkehrsanlagen“ (H BVA) und der DIN 32984 „Bodenindikatoren im öffentlichen Raum“ zu entnehmen. Daneben sind von den Straßenbauverwaltungen einiger Bundesländer entsprechende Gestaltungsleitfäden erhältlich. Zur Herstellung von Bodenindikatoren für Blinde und Sehbehinderte gemäß der DIN 32984 sowie zur Ausführung von Rampen und Bordabsenkungen sind entsprechende Betonprodukte erhältlich, die sich problemlos in Betonpflasterdecken integrieren lassen.

3.2 Technische Regelwerke zur Konstruktion und Ausführung

Die Einhaltung der nachfolgend genannten Technischen Regeln (siehe Kasten) sind im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden sowie von Streitfällen zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber von großer Bedeutung. Sie bilden die Grundlage für Planung, Ausschreibung und Bauausführung, speziell von Verkehrsflächenbefestigungen mit Pflasterdecke.

Oberflächenentwässerung
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Entwässerungseinrichtungen im Straßenbau ZTV Ew-StB
- Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung RAS-Ew

Dimensionierung des Oberbaus
- Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO

Ausführung allgemein
- ATV DIN 18299 Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

Ausführung Untergrund/Unterbau
- ATV DIN 18300 Erdarbeiten
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau ZTV E-StB
- Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau

Ausführung Tragschichten
- ATV DIN 18315 Verkehrswegebauarbeiten, Oberbauschichten ohne Bindemittel
- ATV DIN 18316 Verkehrswegebauarbeiten, Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln
- ATV DIN 18317 Verkehrswegebauarbeiten, Oberbauschichten aus Asphalt
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau ZTV SoB-StB
- Merkblatt für die Herstellung von Trag- und Deckschichten ohne Bindemittel
- Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen M VV
- Merkblatt für Dränbetontragschichten M DBT

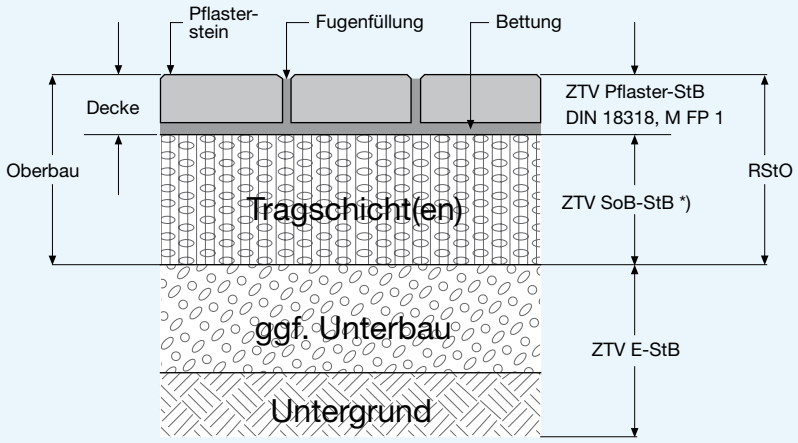
Planung und Ausführung der Pflasterdecke

- ATV DIN 18318 Verkehrswegebauarbeiten, Pflasterdecken und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen ZTV Pflaster-StB[b]
- Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen TL Pflaster-StB[b]
- Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen Teil 1: Regelbauweise (Ungebundene Ausführung) M FP 1[b]

Aufgrabungen

- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen ZTV A-StB

[b] Derzeit in Überarbeitung.



*) Ggf. Technische Regeln für gebundene Tragschichten.

Abbildung 3-1: Aufbau einer Pflasterbefestigung und wesentliche, zugehörige Technische Regelwerke

3.3 Entwässerung der Verkehrsfläche

3.3.1 Oberflächenentwässerung

Bereits im Rahmen des verkehrstechnischen und gestalterischen Entwurfes von Straßen, Wegen und Plätzen ist unter anderem auch die Quer- und Längsneigung der Oberfläche der jeweiligen Verkehrsfläche im Einklang mit der gewählten Deckenbauweise festzulegen. So sollten für übliche Verkehrsflächenbefestigungen mit Asphalt-, Beton- oder konventionellen Pflasterdecken die in den einschlägigen Richtlinien und Empfehlungen (siehe Kasten) enthaltenen Mindestwerte für die Längs-, Quer- und Schrägneigung der Verkehrsflächen beachtet werden.

für Landstraßen

- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL

für Innerortsstraßen

- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RASt

für Anlagen des ruhenden Verkehrs
(Parkplätze, Parkstände, Parkbauten)

- Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR

für Radverkehrsanlagen

- Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA

für Fußgängerverkehrsanlagen

- Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen EFA

Um eine Beeinträchtigung oder Gefährdung der Verkehrsteilnehmer durch einen behinderten Wasserabfluss von der Fahrbahnoberfläche (Pfützenbildung) zu vermeiden, müssen Verkehrsflächen eine ausreichende abflusswirksame Neigung besitzen.

Die „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt) sehen, ebenso wie die „Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung“ (RAS-Ew), für anbaufreie Hauptverkehrsstraßen eine Mindestquerneigung von q = 2,5 % vor. Dies gilt nach den ERA auch für Radwege. Für angebaute Stadtstraßen hingegen ist in den RASt eine Höchstquerneigung von q = 2,5 % festgelegt. Auch die Gehwege sollten nach den EFA eine Höchstquerneigung von 2,5 % aufweisen; an Grundstückszufahrten sollten 6 % nicht überschritten werden. Obwohl angebaute Stadtstraßen und Gehwege somit eine Querneigung von unter 2,5 % aufweisen dürfen, sollten auch hier, zur Sicherung eines zügigen Wasserabflusses, derartige Flächen möglichst klein gehalten werden.

Die ATV DIN 18318 sehen für Betonpflasterdecken und Plattenbeläge aus Beton für die resultierende Neigung einen Mindestwert von q = 2,5 % vor. Dieser Mindestwert der abflusswirksamen Neigung sollte nicht unterschritten werden, um Gefährdungen und Beeinträchtigungen infolge Wasserrückhalt zu vermeiden. Ein Aufstau des Niederschlagswassers auf der Fläche bewirkt zudem ein verstärktes Einsickern von Wasser in die Pflasterfugen, was eine Verminderung der Tragfähigkeit der Pflasterdecke nach sich ziehen kann. Bei besonderen örtlichen Gegebenheiten (z. B. bei Plätzen) ist die Oberfläche so anzulegen, dass

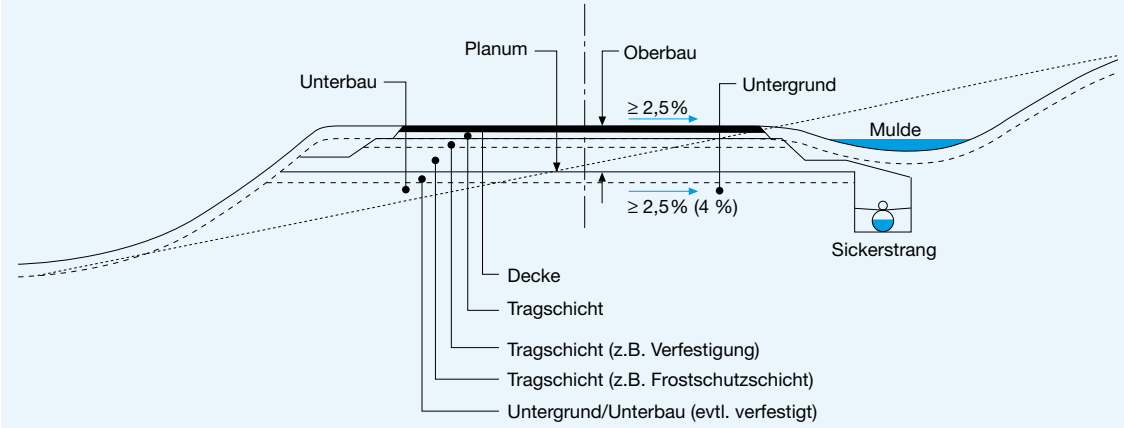


Abbildung 3-2: Beispielhafter Aufbau einer Befestigung außerhalb geschlossener Ortslage in Anlehnung an die RStO

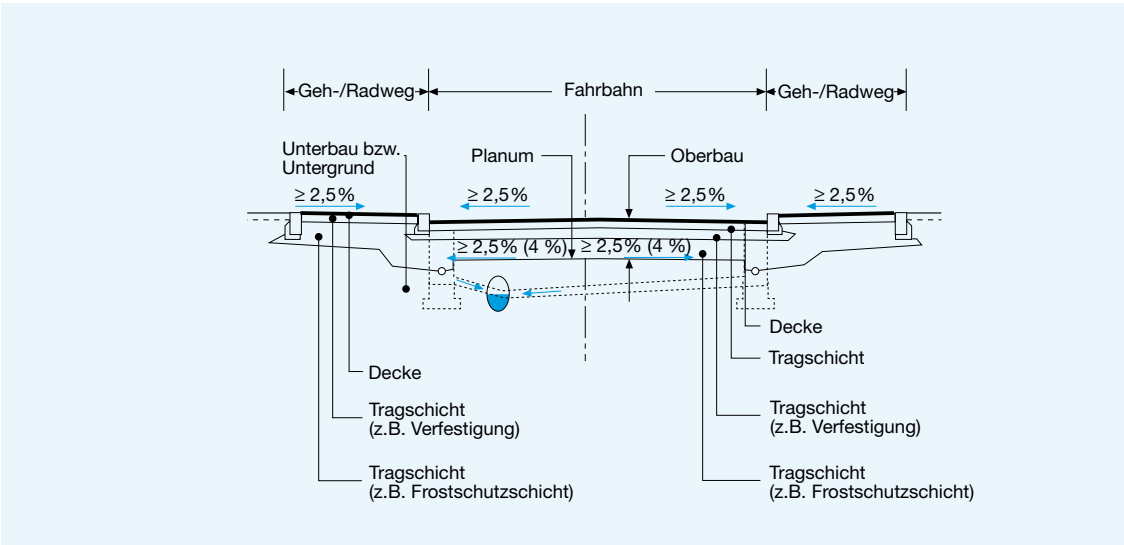


Abbildung 3-3: Beispielhafter Aufbau einer Befestigung in geschlossener Ortslage mit Entwässerungseinrichtungen in Anlehnung an die RStO (Querneigung der Pflasterdecke ≥ 2,5 %)

das Niederschlagswasser schnell und zuverlässig abgeführt werden kann; gegebenenfalls ist die Fläche in abflusswirksame Teilflächen zu gliedern.

Aus bautechnischen Gründen wird die Neigung der Pflasterdecke von in der Regel 2,5 % in allen Schichten der Verkehrsflächenbefestigung einschließlich des Planums hergestellt. Daraus ergibt sich die in den Abbildungen 3-2 und 3-3 dargestellte konstruktive Ausführung des Fahrbahnaufbaus in Verbindung mit den Entwässerungseinrichtungen. Nur falls der Untergrund/ Unterbau aus einem wasserempfindlichen Boden besteht, ist abweichend davon eine Querneigung des Planums von mindestens 4,0 % auszuführen.

3.3.2 Planumsentwässerung

Anlagen zur Planumsentwässerung sind erforderlich, falls die Verkehrsflächenbefestigung auf wasserempfindlichen Böden – in der Regel sind dies F2- und F3-Böden nach den ZTV E-StB – ausgeführt werden soll. Pflasterdecken sind – zumindest zeitweilig – während ihrer Nutzungsdauer wasserdurchlässig, d. h Oberflächenwasser kann über die Fugen in die Befestigung einsickern. Die Planumsentwässerung ist daher von besonderer Bedeutung für die Dauerhaftigkeit der Befestigung. Sie dient der Ableitung des in die Befestigung eindringenden Niederschlags- bzw. Schichtenwassers.

Für die Funktionsfähigkeit der Planumsentwässerung sind erforderlich:

- Ausreichende Querneigung des Planums.
- Ableitung des Wassers aus der Befestigung am Tiefpunkt des Planums, wenn möglich durch Sickerschichten (in Dammlage), anderenfalls durch Sickerstränge oder Dränageleitungen. Diese sind nach dem Kriterium der hydraulischen Leistungsfähigkeit zu bemessen.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass generell alle verwendeten ungebundenen Baustoffgemische filterstabil aufeinander abzustimmen sind (siehe hierzu Abschnitt 3.5.2). Anderenfalls kann es zu Kornumlagerungen an den Schichtgrenzen (Erosionserscheinungen) kommen, welche die Wasserdurchlässigkeit reduzieren und die Funktionsfähigkeit der Planumsentwässerung beeinträchtigen können.

3.4 Dimensionierung des Oberbaus

Die Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen mit Pflasterdecke erfolgt auf der Grundlage der „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO). Die hierin aufgeführten Standardbauweisen umfassen die Befestigungen für Fahrbahnen, für sonstige Verkehrsflächen sowie für Rad- und Gehwege. Außerdem enthalten die RStO Regelungen für die Dimensionierung des Oberbaus bei der Erneuerung von Verkehrsflächenbefestigungen.

Die wesentlichste begriffliche Änderung der RStO 12 gegenüber den RStO 01 ist die Einführung des Begriffes „Belastungsklasse“ an Stelle des Begriffes der „Bauklasse“. Die Belastungsklasse wird mit Bk und einer an das Kürzel angehängten Zahl, z. B. 3,2, geschrieben „Bk3,2“, abgekürzt. Die Zahl entspricht der oberen Grenze der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B der bezeichneten Belastungsklasse.

Die Berücksichtigung der Dimensionierungskriterien (siehe Kasten) erfolgt unabhängig von der Bauweise und gilt demzufolge auch für solche mit Pflasterdecke. Sie sind in den RStO ausführlich und exemplarisch beschrieben.

Kriterien für die Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen sind:

- die Verkehrsbelastung, repräsentiert durch die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B = Anzahl gewichteter äquivalenter 10-t-Achsen im Dimensionierungszeitraum (in der Regel 30 Jahre)
- die örtlichen Gegebenheiten mit ihrem Einfluss, insbesondere auf die erforderliche Dicke des frostsicheren Oberbaus
- die Tragfähigkeit des Untergrundes bzw. Unterbaus.

Die Dicke des Aufbaus der Verkehrsflächenbefestigung ist demnach so festzulegen, dass ausreichende Tragfähigkeit und Frostsicherheit gewährleistet sind.

Zur Festlegung der erforderlichen Schichtdicken für eine standardisierte Bauweise ist schrittweise wie folgt vorzugehen.

1. Schritt: Zuordnung der Belastungsklasse
Dies kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen.

a) Durch Ermittlung (Berechnung) der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B nach Methode 1 oder Methode 2 gemäß den RStO (siehe Anhang A). Diese Vorgehensweise sollte der Regelfall sein. Voraussetzung ist die Kenntnis der durchschnittlichen täglichen Verkehrsmenge der Fahrzeuge des Schwerverkehrs ($DTV^{(SV)}$) bzw. das Vorliegen von Daten aus Achslastwägungen im Verkehr.
b) Im Ausnahmefall – für Verkehrsflächen mit ruhendem Verkehr, für Busverkehrsflächen bzw. wenn die Verkehrsbelastung nicht bekannt ist oder nicht ermittelt werden kann – darf gemäß den RStO die Zuordnung der Belastungsklasse anhand der „Typischen Entwurfssituationen" nach den RASt erfolgen. Die entsprechenden Tabellen können dem Anhang A dieses Handbuches entnommen werden.

2. Schritt: Ermittlung der Dicke des frostsicheren Oberbaus
Ein frostsicherer Oberbau dient der Verhinderung von Schäden während der Frost-Tau-Perioden. Die frostsichere Dicke des Oberbaus hängt von der Frostempfindlichkeit des vorhandenen (anstehenden) Bodens, von den örtlichen Gegebenheiten, z. B. Klima und Bedingungen, welche die Anwesenheit von Wasser in der Befestigung begünstigen, sowie von der Verkehrsbelastung ab. Das Vorgehen zur Festlegung der Dicke des frostsicheren Oberbaus gemäß den RStO ist dem Anhang A zu entnehmen.

3. Schritt: Wahl der Bauweise
In den RStO sind verschiedene Bauweisen standardisiert, die sich durch unterschiedliche Tragschichten bzw. Tragschichtkombinationen kennzeichnen. Die Auswahl einer bestimmten Bauweise ist u. a. davon abhängig, welche Baustoffe örtlich wirtschaftlich eingesetzt werden können, welche Erfahrungen mit den Bauweisen vorliegen und/oder welche Leistungsfähigkeit die in Frage kommenden Bauunternehmen besitzen.

4. Schritt: Schichtdicken
Die für die standardisierten Pflasterbauweisen empfohlenen Schichtdicken sind der Tafel 3 bzw. der Tafel 6 der RStO 12 zu entnehmen. Die in diesen Tafeln angegebenen Werte für die Dicke des frostsicheren Oberbaus gelten für frostempfindlichen Unterbau/Untergrund (F2- bzw. F3-Boden). Die Dicke der hierfür notwendigen Frostschutzschicht ist in Abhängigkeit von der Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus festzulegen.

Steht ein frostsicherer Boden (F1-Boden) in ausreichender Dicke an, so ist keine Frostschutzschicht notwendig. In der Regel ist es dann jedoch aus Tragfähigkeitsgründen erforderlich, eine Tragschicht anstelle der Frostschutzschicht anzuordnen. Für die Festlegung ihrer Dicke dient Tabelle 8 der RStO 12 als Orientierung.

5. Schritt: Tragfähigkeit
Die Tragfähigkeit (Verformungsmodul E_{v2}) gemäß den Anforderungen der ZTV E-StB bzw. der ZTV SoB-StB ist einzuhalten. Die Anforderungswerte sind mit der Planung festzulegen und während der Bauausführung, z. B. mit Hilfe des Plattendruckversuches nach DIN 18134, nachzuweisen.

In Bk3,2, also in der höchsten Belastungsklasse für Pflasterbauweisen nach den neuen RStO 12, wird zur Erhöhung der Sicherheit der Pflasterbefestigung mit Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) im Unterschied zu den RStO 01 und in Übereinstimmung mit den

ZTV SoB-StB jetzt ein Wert von $E_{v2} \geq 180$ MPa auf der oberen Tragschicht empfohlen. Zudem wird für diese Bauweise empfohlen, als Tragschicht ohne Bindemittel ausschließlich eine Schottertragschicht zu verwenden. Diese Bauweise wird außerdem auch nur dann empfohlen, wenn regionale positive Erfahrungen vorliegen. Die Bauweise mit Kiestragschicht ist in der Belastungsklasse Bk3,2 nicht mehr standardisiert. Es liegen zwischenzeitlich ausreichende Erfahrungen vor, die darauf schließen lassen, dass eine Kiestragschicht gegenüber plastischen Verformungen (Spurrinnenbildung) in diesem Belastungsbereich nicht ausreichend resistent ist.

Es ist bekannt, dass bei ungebundenen Gesteinskörnungsgemischen die Forderungen nach einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit einerseits, und einer hohen Tragfähigkeit andererseits, konkurrierende Anforderungen darstellen. Bekannt ist aber auch, dass Schäden an Pflasterbefestigungen wesentlich häufiger infolge einer mangelnden Wasserdurchlässigkeit auftreten, als infolge einer zu geringeren Tragfähigkeit der Tragschicht. Gerade ein intensives Verdichten der Tragschicht zur Sicherstellung eines hohen Tragfähigkeitswertes aber führt häufig zu Kornzertrümmerungen und damit der Bildung von zusätzlichen Feinanteilen in der oberen Zone der Tragschicht und bewirkt so eine Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit.

Diese Erkenntnis führte bei der Erstellung der RStO 01 zur Empfehlung des E_{v2}-Wertes von „lediglich“ ≥ 150 MPa als Mindestwert für die obere Tragschicht – auch bis in Bauklasse III, und dies in Abweichung von den Anforderungen der ZTV SoB-StB. Für die Wiedereinführung der Empfehlung von $E_{v2} \geq 180$ MPa in den RStO 12 – zumindest für die Belastungsklasse Bk3,2 – sprach die Argumentation, dass dieser Mindestwert im Einsatzbereich von Pflasterbefestigungen mit sehr hoher Verkehrsbelastung, gekoppelt an die Anforderung einer ausreichend hohen Wasserdurchlässigkeit, die Qualität und die Dauerhaftigkeit der betreffenden Befestigungen in jedem Falle erhöht.

Obwohl die Technische Prüfvorschrift zur Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Modifizierten Standrohr-Infiltrometer (TP Gestein-StB, Teil 8.3.2) veröffentlicht ist, sind Anforderungswerte für den Infiltrationsbeiwert noch nicht festgelegt. Es muss deshalb vorläufig auf die Formulierung der ZTV Pflaster-StB verwiesen werden, wonach die Unterlage unter der Pflasterdecke „ausreichend“ wasserdurchlässig sein muss, dies jedoch ohne Quantifizierung der Anforderung und somit der Möglichkeit einer Überprüfung dieser auf der Grundlage des vertragsrelevanten Regelwerkes. Es kann vorerst die Empfehlung des Merkblattes M FP 1 aufgegriffen werden, wonach der Infiltrationsbeiwert der oberen Tragschicht mindestens 10^{-5} m/s betragen sollte. Es kann in diesem Zusammenhang nicht oft genug darauf hingewiesen werden, dass bei einer derart hohen Verkehrsbelastung (Belastungsklasse Bk3,2), welche zudem häufig an eine repräsentative Gestaltung der betreffenden Pflasterbefestigung gekoppelt ist, generell hohe Anforderungen an die Baustoffe, sowie an Planung und Ausführung gestellt werden müssen, um Schäden zu vermeiden.

Auf Folgendes wird daher hingewiesen: Sind die ZTV SoB-StB Bestandteil des Bauvertrages, muss auf Schottertragschichten ≥ 20 cm Dicke und auf Kiestragschichten ≥ 25 cm Dicke (sofern sich darunter eine Frostschutzschicht mit E_{v2} von ≥ 120 MPa befindet) ein Verformungsmodul E_{v2} von ≥ 180 MPa erreicht und nicht nur, wie in den RStO 12 dargestellt, von mindestens 150 MPa nachgewiesen werden (vgl. ZTV SoB-StB 04, 2.3.4.2). Dabei ist jedoch zwingend darauf zu achten, dass die erforderliche Wasserdurchlässigkeit nicht durch eine zu starke Verdichtung gefährdet wird. Die Bauweise mit Kiestragschicht ist in der Belastungsklasse Bk3,2 nicht mehr standardisiert. Es liegen zwischenzeitlich ausreichende Erfahrungen vor, die darauf schließen lassen, dass eine Kiestragschicht gegenüber plastischen Verformungen (Spurrinnenbildung) in diesem Belastungsbereich nicht ausreichend resistent ist.

3.5 Konstruktive Gestaltung und Ausführung der Verkehrsflächenbefestigung

3.5.1 Allgemeines

Den in den RStO standardisierten Bauweisen liegen die Anforderungen

- an die Frostsicherheit und
- an die Tragfähigkeit

der Verkehrsflächenbefestigungen zugrunde. Außerdem müssen die Schichten so beschaffen sein, dass sich eine ausreichende

- Verformungsbeständigkeit im Gebrauchszustand

ergibt.

Die Begriffe „Tragfähigkeit“ und „Verformungsbeständigkeit“ sind auf der nächsten Seite erläutert.

Für Oberbaukonstruktionen mit Pflasterdecke in Regelbauweise (ungebundene Ausführung) ist zudem eine ausreichende

- Wasserdurchlässigkeit aller Schichten einschließlich der Bettung,

verbunden mit der notwendigen Erosionsfestigkeit, erforderlich.

Die entsprechenden Anforderungen sind

- für den Untergrund/Unterbau in den ZTV E-StB
- an die Frostschutzschicht und an die Tragschichten in den ZTV SoB-StB

beschrieben.

Tragfähigkeit
Definition: Mechanischer Widerstand gegen kurzzeitige Verformungen.

- In der Befestigung über die Schichtdicken beeinflussbar.
- In den Tragschichten ohne Bindemittel über die Anzahl an Kornkontakten beeinflussbar. Je höher die Anzahl der Kornkontakte ist, desto besser ist die Tragwirkung der Schicht. Die Einhaltung der Sieblinenbereiche gemäß den ZTV SoB-StB ist hierfür notwendig.

Verformungsbeständigkeit
Definition: Widerstand gegen bleibende Verformung

- In den Tragschichten ohne Bindemittel über die Reibung in den Kornkontaktpunkten/Kornkontaktflächen und den Verdichtungsgrad beeinflussbar. Die Anwendung gebrochener Gesteinskörnungen ist deshalb insbesondere bei Verkehrsbelastungen entsprechend den Belastungsklassen Bk3,2, Bk1,8 und Bk1,0 zu empfehlen.

3.5.2 Filterstabilität

3.5.2.1 Bedeutung der Filterstabilität

Pflasterdecken sind – zumindest zeitweilig – während ihrer Nutzungsdauer wasserdurchlässig, d. h. Oberflächenwasser kann über die Fugen in den Oberbau einsickern. Sofern die Sieblinien von zwei aneinander grenzenden Gesteinskörnungsgemischen voneinander abweichen, kann es infolge Durchsickerung bei zu hoher Fließgeschwindigkeit des Wassers an den Schichtgrenzen zu hydraulisch bedingten Kornumlagerungen kommen. Deformationen des Korngerüstes sowie die Verringerung der Wasserdurchlässigkeit durch Umlagerung, insbesondere von Feinanteilen, sind dann nicht auszuschließen. Dies betrifft alle Schichtgrenzen, also zwischen Fugen- und Bettungsmaterial, zwischen Bettungsmaterial und oberer Tragschicht, zwischen Tragschichten untereinander und zwischen unterer Tragschicht und Untergrund/Unterbau. Die Nichtbeachtung dieser Vorgänge kann zu schwerwiegenden Schäden an der Befestigung führen. Deshalb müssen die Gesteinskörnungsgemische aneinandergrenzender Schichten filterstabil aufeinander abgestimmt werden.

Die Beständigkeit an einer von Wasser durchströmten Schichtgrenze zweier benachbarter Gesteinskörnungsgemische gegen Kornumlagerungen wird als „Filterstabilität“ bezeichnet. Zu ihrer Beurteilung werden Filterregeln verwendet. Als Eingangsgröße dienen dabei die Sieblinien der betreffenden Gesteinskörnungsgemische. Die Struktur des Korn- bzw. Porensystems der Schichten wird somit vereinfachend aus den Sieblinien abgeleitet. Die Filterstabilität wird vorwiegend durch den Abstand der Sieblinien der Gesteinskörnungsgemische beeinflusst. Dieser ist gekennzeichnet durch die Korngröße bei bestimmten Siebdurchgängen der Sieblinie in Verbindung mit der Ungleichförmigkeitszahl C_U.

3.5.2.2 Nachweis der Filterstabilität

Der Nachweis der Filterstabilität nach dem derzeit gültigen Regelwerk (siehe ZTV Pflaster-StB) erfolgt anhand der folgenden drei Bedingungen:

1. Durchlässigkeitsbedingung:
   Die Beurteilung, ob ein druck- und rückstaufreier Durchfluss des Wassers ermöglicht wird, erfolgt anhand des Abstandsverhältnisses D_{15}/d_{15}.
2. Bedingung für die Sicherheit gegen Erosion:
   Es soll vermieden werden, dass sich die kleinen Körner des feinkörnigen Materials mit dem Durchmesser d durch die Poren des grobkörnigen Korngerüstes hindurchbewegen, das aus Körnern mit dem Durchmesser D bestehen. Das Porensystem des grobkörnigen Materials muss also das feinkörnige Material abfiltern. Als Kenngröße dient das Abstandsverhältnis D_{15}/d_{85}.
3. Bedingung für die Sicherheit gegen Kontakterosion:
   Kontakterosion tritt an der Schichtgrenze von grob-

zu feinkörnigen Schichten auf, wobei es durch die Erosion des feinkörnigen Korngerüstes zu einem Einsacken grober Körner in die feinkörnige Schicht kommt. Als Beurteilungsgröße dient hier das Abstandsverhältnis D_{50}/d_{50}.

Zum Nachweis der Filterstabilität von Gesteinskörnungsgemischen mit einer Ungleichförmigkeitszahl $C_U \geq 15$ wird eine bewährte Regel, basierend auf den Filterregeln von TERZAGHI verwendet (Filterregel 1). Diese ist gemäß den ZTV Pflaster-StB für den Nachweis zwischen Bettungsmaterial und oberer Tragschicht anzuwenden. Die Durchlässigkeitsbedingung wird von den ZTV Pflaster-StB nicht gefordert. Ihre Einhaltung ist jedoch zu empfehlen, damit das über die Fugen eindringende Wasser rückstaufrei über die Bettung in die Tragschichten einsickern kann.

Filterregel 1:

$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 1$ Durchlässigkeitsbedingung

$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion

$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 25$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion (Abstand der Sieblinien)

Ist die Ungleichförmigkeitszahl eines der aneinander grenzenden Materialien $C_U < 15$, was bei einer Reihe von Böden und Baustoffgemischen für Tragschicht, Bettung und Fugenfüllung vorkommen kann, ist die vorbeschriebene Filterregel nicht mehr anwendbar. Für derartige Fälle wird die Anwendung der nachfolgend beschriebenen Filterregel 2 empfohlen. Sie beruht auf Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Filterstabilität von Bettungs- und Fugenmaterialien (Krass und Görener 2005).

Filterregel 2:

$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 1$ Durchlässigkeitsbedingung

$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 4$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion

$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 5$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion (Abstand der Sieblinien)

mit:

D_{15}, D_{50} Korndurchmesser [mm] des Filtermaterials (grobkörnigeres Material) bei 15 bzw. 50 M.-% Siebdurchgang

d_{15}, d_{50}, d_{85} Korndurchmesser [mm] des abzufilternden Materials (feinkörnigeres Material bzw. Boden) bei 15, 50 bzw. 85 M.-% Siebdurchgang

Die Ungleichförmigkeitszahl C_U ist ein dimensionsloser Wert, der den Verlauf der Sieblinie einer Gesteinskörnung, eines Baustoffgemisches oder eines Bodens im Bereich zwischen d_{10} und d_{60} beschreibt.

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

mit

d_{10}, d_{60} Korndurchmesser [mm] des Gesteinskörnungs-, Baustoffgemisches oder Bodens bei 10 bzw. 60 M.-% Siebdurchgang

3.5.2.3 Beispiele

Beispiel 1:
Prüfung der Filterstabilität an der Schichtgrenze zwischen Frostschutzschicht und Untergrund

Gegeben sind ein Untergrund aus einem gemischtkörnigen Boden (schwach schluffiger Kiessand GU nach DIN 18196) und ein Baustoffgemisch für eine Frostschutzschicht 0/45 nach den TL SoB-StB mit den in der Abbildung 3-4 dargestellten Sieblinien und den sich daraus ergebenden Kenndaten (siehe Tabelle 3-1):

Prüfung:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = \frac{0{,}90}{0{,}09} = 10{,}0 > 1$$ Durchlässigkeitsbedingung ist erfüllt

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} = \frac{0{,}90}{8{,}11} = 0{,}11 < 5$$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion ist erfüllt

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{9{,}29}{1{,}14} = 8{,}1 < 25$$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion ist erfüllt

Ergebnis:
Die Frostschutzschicht ist gegenüber dem darunter befindlichen Untergrund filterstabil.

Tabelle 3-1: Kenndaten der Sieblinien zu Beispiel 1

Frostschutzschicht: Baustoffgemisch 0/45	
D_{15} = 0,90 mm	
D_{50} = 9,29 mm	
D_{10} = 0,50 mm	$C_U = D_{60} / D_{10} = 30{,}5$
D_{60} = 15,23 mm	
Untergrund: schwach schluffiger Kiessand GU	
d_{15} = 0,09 mm	
d_{50} = 1,14 mm	
d_{85} = 8,11 mm	
d_{10} = 0,04 mm	$C_U = d_{60} / d_{10} = 52{,}8$
d_{60} = 2,11 mm	

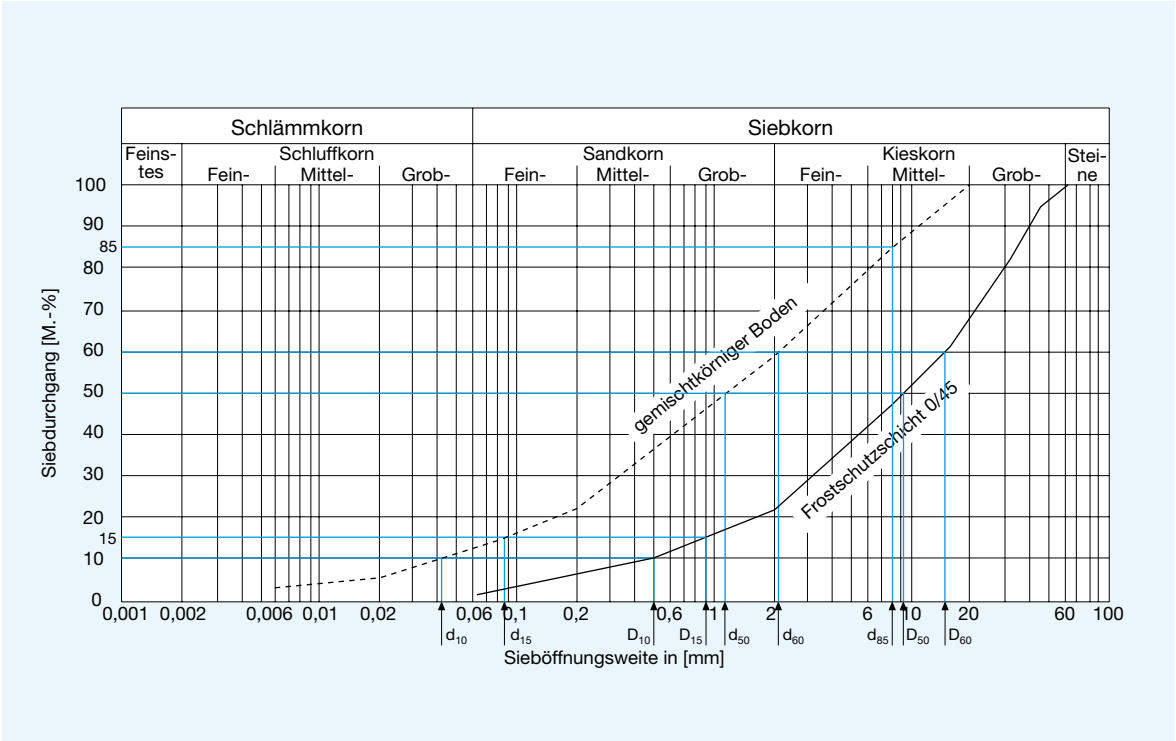


Abbildung 3-4: Sieblinien und zugehörige Kenndaten zu Beispiel 1

Beispiel 2:
Prüfung der Filterstabilität an der Schichtgrenze zwischen oberer Tragschicht und Bettung

Gegeben sind ein Schottertragschichtmaterial 0/45 nach den TL SoB-StB und ein Bettungsmaterial 0/5 nach den ZTV Pflaster-StB mit den in der Abbildung 3-5 dargestellten Sieblinien und den sich daraus ergebenden Kenndaten (siehe Tabelle 3-2):

Prüfung:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = \frac{1{,}00}{0{,}10} = 10{,}0 > 1$$ Durchlässigkeitsbedingung ist erfüllt

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} = \frac{1{,}00}{3{,}59} = 0{,}28 < 5$$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion ist erfüllt

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{12{,}37}{1{,}00} = 12{,}4 < 25$$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion ist erfüllt

Ergebnis:
Die Baustoffe sind filterstabil zueinander. Wasser aus der Bettung kann rückstaufrei in die Tragschicht einsickern.

Tabelle 3-2: Kenndaten der Sieblinien zu Beispiel 2

Bettungsmaterial: gebrochene Gesteinskörnung 0/5 (alte Bezeichnung: Brechsand-Splitt-Gemisch 0/5)	
d_{15} = 0,10 mm	
d_{50} = 1,00 mm	
d_{85} = 3,59 mm	
d_{10} = 0,08 mm	$C_U = d_{60} / d_{10} = 26{,}1$
d_{60} = 2,09 mm	
Schottertragschichtmaterial: Baustoffgemisch 0/45	
D_{15} = 1,00 mm	
D_{50} = 12,37 mm	
D_{10} = 0,56 mm	$C_U = D_{60} / D_{10} = 30{,}7$
D_{60} = 17,20 mm	

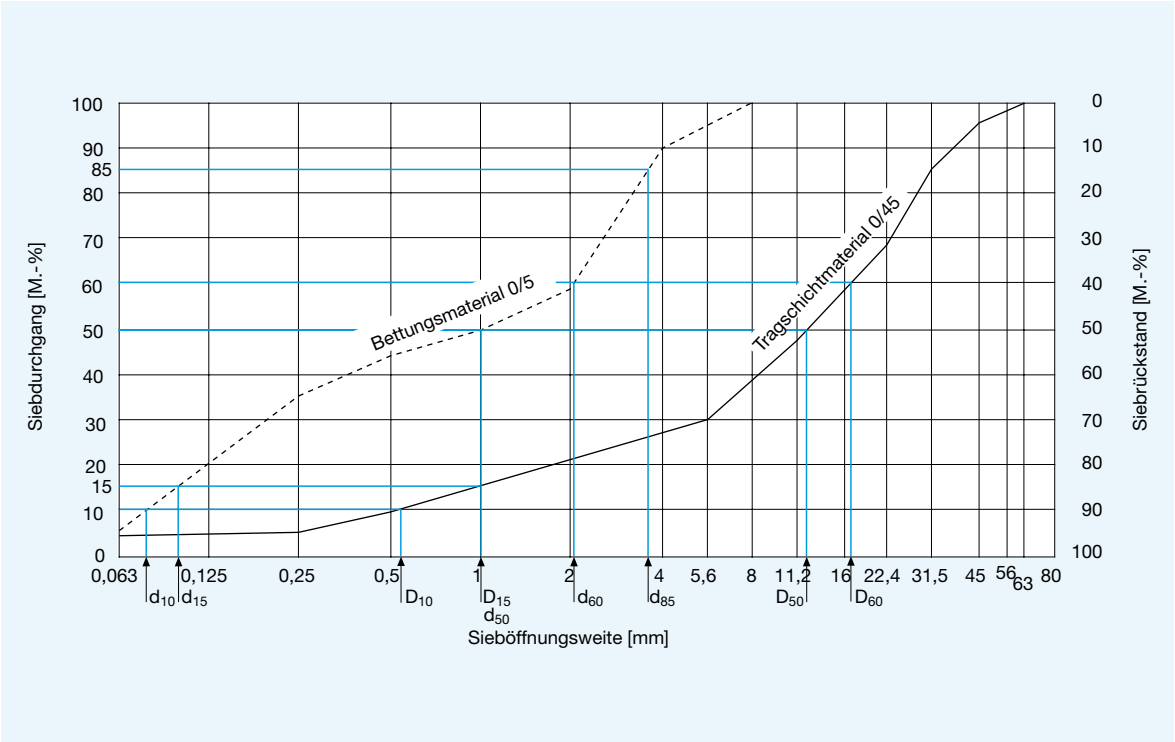


Abbildung 3-5: Sieblinien und zugehörige Kenndaten zu Beispiel 2

Beispiel 3:
Prüfung der Filterstabilität an der Schichtgrenze zwischen Bettung und Fugenfüllung

Gegeben sind ein relativ grobes Bettungsmaterial 0/5 und ein Fugenmaterial 0/2 nach den ZTV Pflaster-StB mit den in der Abbildung 3-6 dargestellten Sieblinien und den sich daraus ergebenden Kenndaten (siehe Tabelle 3-3):

Prüfung:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = \frac{0{,}50}{0{,}09} = 5{,}6 > 1$$ Durchlässigkeitsbedingung ist erfüllt

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} = \frac{0{,}50}{1{,}55} = 0{,}30 < 4$$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion ist erfüllt

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{2{,}52}{0{,}62} = 4{,}1 < 5$$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion ist erfüllt

Ergebnis:
Die Gesteinskörnungen sind filterstabil zueinander. Wasser aus der Fugenfüllung kann rückstaufrei in die Bettung einsickern.

Tabelle 3-3: Kenndaten der Sieblinien zu Beispiel 3

Fugenmaterial: rundkörnige Gesteinskörnung 0/2 (alte Bezeichnung: Sand 0/2)	
d_{15} = 0,09 mm	
d_{50} = 0,62 mm	
d_{85} = 1,55 mm	
d_{10} = 0,08 mm	$C_U = d_{60} / d_{10} = 10{,}1$
d_{60} = 0,81 mm	
Bettungsmaterial: gebrochene Gesteinskörnung 0/5	
D_{15} = 0,50 mm	
D_{50} = 2,52 mm	
D_{10} = 0,25 mm	$C_U = D_{60} / D_{10} = 12{,}7$
D_{60} = 3,18 mm	

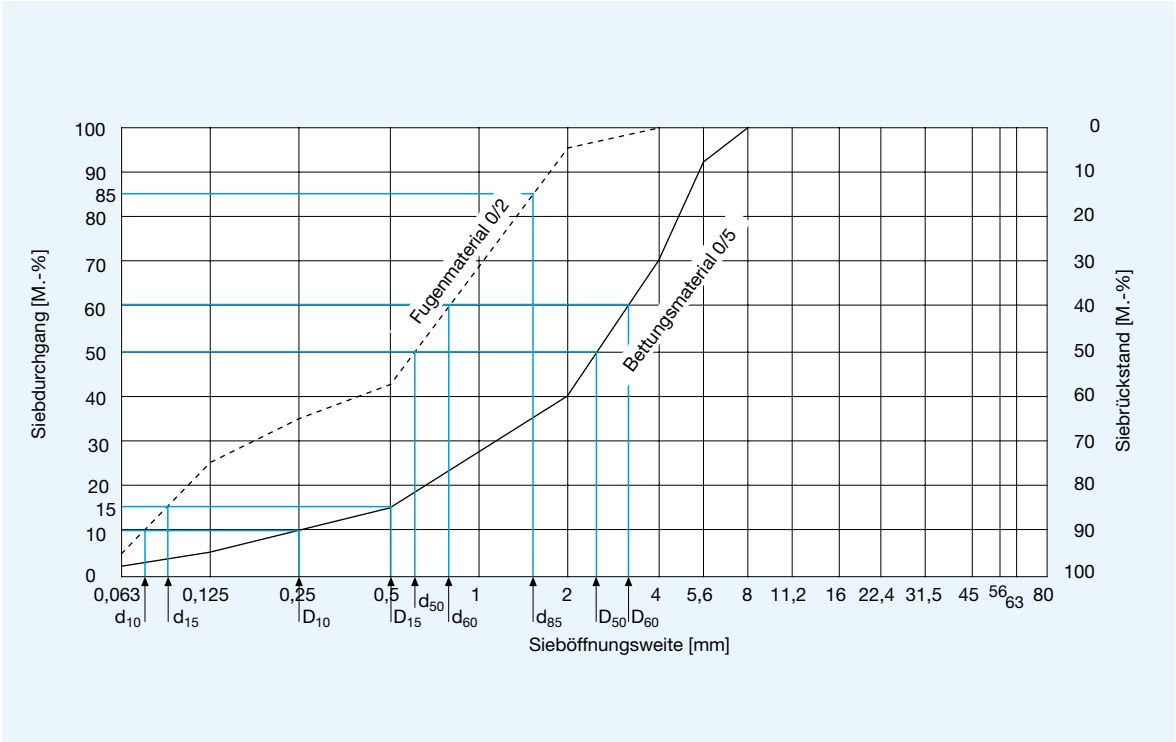


Abbildung 3-6: Sieblinien und zugehörige Kenndaten zu Beispiel 3

Beispiel 4:
Prüfung der Filterstabilität an der Schichtgrenze zwischen Bettung und Fugenfüllung

Gegeben sind ein annähernd gleichkörniges Bettungsmaterial 2/5 und ein relativ feinkörniges Fugenmaterial 0/2 mit den in der Abbildung 3-7 dargestellten Sieblinien und den sich daraus ergebenden Kenndaten (siehe Tabelle 3-4):

Prüfung:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = \frac{2{,}18}{0{,}15} = 14{,}5 > 1$$ Durchlässigkeitsbedingung ist erfüllt

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} = \frac{2{,}18}{0{,}46} = 4{,}7 > 4$$ Sicherheitsbedingung gegen Erosion ist nicht erfüllt!

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{3{,}39}{0{,}26} = 13{,}0 > 5$$ Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion ist nicht erfüllt!

Tabelle 3-4: Kenndaten der Sieblinien zu Beispiel 4

Fugenmaterial: rundkörnige Gesteinskörnung 0/2 (alte Bezeichnung: Sand 0/2)	
d_{15} = 0,15 mm	
d_{50} = 0,26 mm	
d_{85} = 0,46 mm	
d_{10} = 0,14 mm	$C_U = d_{60} / d_{10} = 2{,}2$
d_{60} = 0,31 mm	
Bettungsmaterial: gebrochene Gesteinskörnung 2/5 (alte Bezeichnung: Splitt 2/5)	
D_{15} = 2,18 mm	
D_{50} = 3,39 mm	
D_{10} = 2,05 mm	$C_U = D_{60} / D_{10} = 1{,}9$
D_{60} = 3,84 mm	

Ergebnis:
Die Sieblinien der beiden Gesteinskörnungen liegen zu weit auseinander. Die Gesteinskörnungen sind nicht filterstabil zueinander. Anstelle der ungeeigneten Körnung 2/5 muss ein korngestuftes Material, z. B. 0/5, verwendet werden. Zudem ist die viel zu feinkörnige Gesteinskörnung 0/2, die im Übrigen nicht den TL Gestein-StB entspricht, gegen eine Gesteinskörnung 0/2 mit gleichmäßiger Kornabstufung auszutauschen.

Eine gleichmäßige Kornabstufung ergibt sich, wenn neben Feinsand auch angemessene Anteile von Mittel- und Grobsand enthalten sind und damit die Sieblinie zwischen den Korndurchmessern 0,063 mm und 2 mm einen gleichmäßig steigenden Verlauf aufweist. Gemäß den ZTV Pflaster-StB muss der Siebdurchgang durch das Sieb mit einer Öffnungsweite von 1 mm 40 bis 70 M.-% betragen.

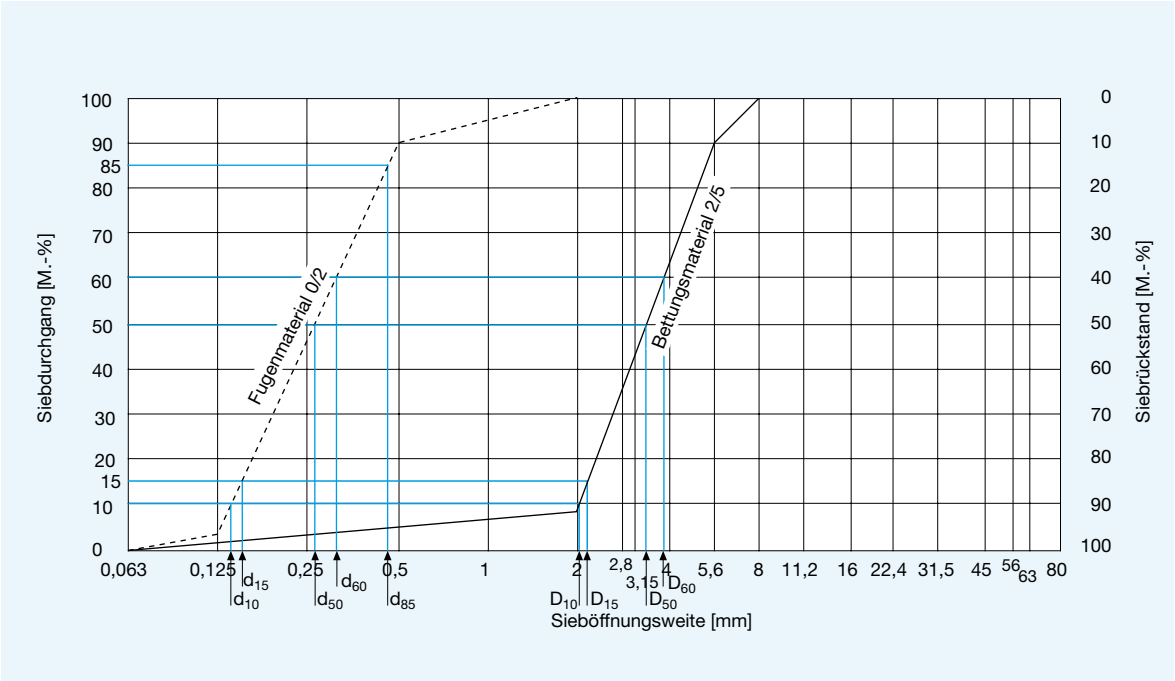


Abbildung 3-7: Sieblinien und zugehörige Kenndaten zu Beispiel 4

3.5.3 Untergrund/Unterbau

3.5.3.1 Allgemeines

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

Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass das Planum nur befahren werden darf, wenn dadurch keine schädlichen Verdrückungen entstehen, die den Wasserabfluss behindern würden.

3.5.3.2 Tragfähigkeit

Es ist ein Verformungsmodul $E_{V2} \geq 45$ MPa nachzuweisen. Kann bei dem anstehenden Untergrund diese Tragfähigkeitsanforderung nicht erreicht werden, ist eine Bodenverbesserung oder Bodenverfestigung in Verbindung mit einer Planumsentwässerung (vgl. Abschnitt 3.3.2) auszuführen oder gegebenenfalls ein Bodenaustausch, ebenfalls in Verbindung mit einer Planumsentwässerung (vgl. Abschnitt 3.3.2), vorzunehmen.

3.5.3.3 Verdichtung

Die anforderungsgerechte Verdichtung ist durch geeignete, dem Boden angepasste Verdichtungsmethoden zu erbringen. Hinweise dazu sind dem „Merkblatt für

Tabelle 3-5: Anforderung an das 10 %-Mindestquantil[1)] für den Verdichtungsgrad D_{Pr} bzw. das 10 %-Höchstquantil[2)] für den Luftporenanteil n_a nach den ZTV E-StB (siehe auch Abbildung 3-8)

Zeile	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} [%]	n_a [Vol.-%]
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	
3	Planum bis Dammsohle und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU[3)], OT[3)]	97	12[4)]

[1)] Das Mindestquantil ist das kleinste zugelassene Quantil, unter dem nicht mehr als der vorgegebene Anteil von Merkmalswerten (z. B. für den Verdichtungsgrad) der Verteilung zugelassen ist.

[2)] Das Höchstquantil ist das größte zugelassene Quantil, über dem nicht mehr als der vorgegebene Anteil von Merkmalswerten (z. B. für den Luftporenanteil) der Verteilung zugelassen ist.

[3)] Für Böden der Gruppen OU und OT gelten die Anforderungen nur dann, wenn ihre Eignung und Einbaubedingungen gesondert untersucht und im Einvernehmen mit dem Auftraggeber festgelegt wurden.

[4)] Wenn die Böden nicht verfestigt oder qualifiziert verbessert werden, empfiehlt sich bei Einbau von wasserempfindlichen gemischt- und feinkörnigen Böden eine Anforderung an das 10 %-Höchstquantil für den Luftporenanteil von 8 Vol.-%, bei Einbau von veränderlich festen Gesteinen eine entsprechende Anforderung von 6 Vol.-%. Diese Anforderungen sind in der Leistungsbeschreibung festzulegen.

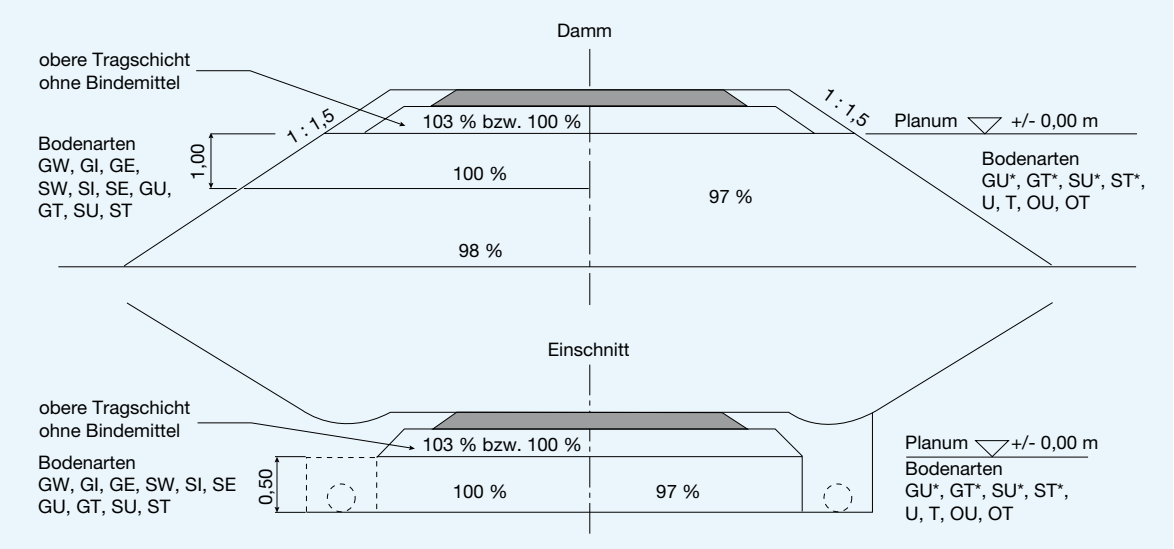


Abbildung 3-8: Darstellung der Anforderungen an den Verdichtungsgrad D_{Pr} von Böden und von Tragschichten ohne Bindemittel (siehe auch Abschnitt 3.5.4.2 sowie Tabellen 3-5 und 3-7)

die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaus im Straßenbau“ zu entnehmen. Für die Verdichtung des Untergrundes/Unterbaus werden je nach Art des anstehenden bzw. eingebauten Bodens die in Tabelle 3-5 dargestellten Verdichtungsgrade gefordert.

Abbildung 3-8 veranschaulicht die Anforderungen der Tabellen 3-5 und 3-7.

3.5.3.4 Ebenheit und profilgerechte Lage

Das Planum ist profilgerecht und eben auszuführen. Die nachfolgend genannten Anforderungen sind in den ZTV E-StB beschrieben.

Die Abweichung des Planums von der Sollhöhe darf nicht mehr als ± 3 cm betragen, wenn eine Schicht ohne Bindemittel darüber eingebaut wird (Regelfall) bzw. nicht mehr als ± 2 cm, wenn eine gebundene Schicht darüber eingebaut wird. Die Ebenheitsanforderungen sollen sicherstellen, dass

- eine ausreichende Entwässerung des Planums über die Querneigung erfolgen kann,
- die erforderliche Tragschichtdicke durchgängig hergestellt werden kann und
- der Materialbedarf zum Ausgleich der Unebenheiten bei der Herstellung der darüber liegenden Tragschichten begrenzt wird.

Die Querneigung des Planums sollte der Querneigung der Pflasterdecke entsprechen, mindestens aber 2,5 % betragen, bei unverbesserten/unverfestigten wasserempfindlichen Böden mindestens 4,0 %. Verwindungsbereiche sind so kurz wie möglich zu halten.

3.5.3.5 Wasserdurchlässigkeit

Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit sind derzeit im einschlägigen Regelwerk nicht formuliert. Als ausreichend wasserdurchlässig kann in der Regel ein Untergrund/Unterbau angesehen werden, wenn der Schnelltest nach dem „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen“ (M VV) auf dem anforderungsgerecht hergestellten Untergrund/Unterbau einen Infiltrationsbeiwert von $k_i > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s ergibt. Wird ein Infiltrationsbeiwert zwischen $1 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1 \cdot 10^{-6}$ m/s erreicht, sollte die Dicke der Frostschutzschicht aus Tragfähigkeitsgründen um mindestens 10 cm erhöht werden.

Wird ein Infiltrationsbeiwert von unter $1 \cdot 10^{-6}$ m/s erreicht oder ist mit aufsteigendem oder seitlich eindringendem Wasser zu rechnen, ist eine Planumsentwässerung anzuordnen (siehe Abschnitt 3.3.2). Bei verfestigten Böden ist ebenfalls eine Planumsentwässerung vorzusehen, da die Wasserdurchlässigkeit derartiger Verfestigungen in der Regel nicht ausreichend ist.

3.5.3.6 Probenahme und Prüfverfahren

Art und Umfang der Prüfungen für Tragfähigkeit und Verdichtung sind in den ZTV E-StB beschrieben.

Zur Prüfung der Tragfähigkeit des Planums wird der Plattendruckversuch nach DIN 18134 angewendet. Alternativ können der dynamische Plattendruckversuch zur Bestimmung des dynamischen Verformungsmoduls nach den TP BF-StB Teil B 8.3 oder eine Flächendeckende Verdichtungskontrolle (FDVK) nach den TP BF-StB Teil E 2 zum Nachweis der Tragfähigkeit eingesetzt werden. Voraussetzung ist die Kalibrierung des jeweiligen Verfahrens je Prüffeld auf gleichem Boden relativ zum Plattendruckversuch nach DIN 18134.

Die erreichte Dichte vor Ort ist mit dem Ballonverfahren, Sandersatzverfahren oder dem Ausstechzylinderverfahren nach DIN 18125-2 zu bestimmen. Die Bestimmung der Proctordichte als Bezugswert zur Berechnung des Verdichtungsgrades ist nach DIN 18127 durchzuführen. Auch hier kann der Nachweis des Verdichtungsgrades mit Hilfe der FDVK erfolgen. Voraussetzung ist die Kalibrierung je Prüffeld relativ zum Verdichtungsgrad.

Zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit eignen sich nach derzeitigem Stand Infiltrationsmessungen (siehe „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen“ sowie TP Gestein-StB, Teil 8.3.2). Der Umfang der Prüfung richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten, z. B. den Bodenverhältnissen. Es wird empfohlen, mindestens eine Prüfung je angefangene 1000 m² durchzuführen.

3.5.4 Tragschichten

3.5.4.1 Allgemeines

Die Tragschicht stellt das Element dar, welches die aus der Pflasterdecke eingebrachten Lasten verteilen und in den Untergrund abführen muss. Insofern müssen Tragschichten ausreichend tragfähig sein. Zudem müssen sie, ebenso wie die Pflasterdecke, ausreichend verformungsbeständig sein, sich also infolge der Verkehrsbelastung nicht bleibend verformen. Sowohl in Bezug auf ihre Kornzusammensetzung und weitere Baustoffeigenschaften, als auch hinsichtlich der Einbauqualität werden daher an Tragschichten entsprechende Anforderungen gestellt.

Die Pflasterdecke ist zumindest zeitweise während ihrer Nutzungsdauer wasserdurchlässig. Daher ist es notwendig, sämtliche Tragschichten wasserdurchlässig zu konzipieren, um das einsickernde Oberflächenwasser durch den Oberbau hindurch nach unten abführen zu können.

Die Baustoffzusammensetzung von Tragschichten muss auf die Anforderungen an:

- die Tragfähigkeit,
- die Verformungsbeständigkeit und zusätzlich
- an die Wasserdurchlässigkeit

abgestimmt werden. Den genannten Anforderungen, insbesondere an die Wasserdurchlässigkeit, genügen am besten die Tragschichten ohne Bindemittel. Jedoch können auch gebundene Tragschichten wasserdurchlässig konzipiert werden. Für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk3,2 sollten vorzugsweise Bauweisen mit wasserdurchlässiger Asphalttragschicht oder mit Dränbetontragschicht bevorzugt werden. Dies gilt insbesondere für Ortsdurchfahrten klassifizierter Straßen.

Bei Tragschichten ohne Bindemittel muss stets eine ausreichende Filterstabilität der Tragschichten untereinander sowie gegenüber der Pflasterbettung und gegenüber dem Untergrund/Unterbau gegeben sein (vgl. Wellner, 2001 und Velske, Mentlein und Eymann, 2013). Siehe auch Abschnitt 3.5.2.

3.5.4.2 Tragschichten ohne Bindemittel

Anforderungen an die Baustoffgemische

Grundsätzlich sind alle den ZTV SoB-StB entsprechenden Tragschichten ohne Bindemittel geeignet und zwar:

- Schichten aus frostunempfindlichen Material (SfM): gemäß den ZTV SoB-StB 04 und den TL SoB-StB 04 (dort jeweils Abschnitt 2.2), zu deren Herstellung frostsichere Böden der Bodengruppen GE, GW, GI, SE, SW und SI gemäß der DIN 18196 verwendet werden,
- Frostschutzschichten (FSS): gemäß den ZTV SoB-StB 04 und den TL SoB-StB 04 (dort jeweils Abschnitt 2.2), die aus frostunempfindlichen Baustoffgemischen und/oder Böden hergestellt werden, sowie
- Kies- (KTS) und Schottertragschichten (STS): gemäß den ZTV SoB-StB 04 und den TL SoB-StB 04 (dort jeweils Abschnitt 2.3), die unter Verwendung korngestufter rundkörniger (KTS) oder gebrochener (STS) Baustoffgemische hergestellt werden.

Gesteinskörnungen zur Herstellung von Tragschichten ohne Bindemittel müssen die Anforderungen der TL SoB-StB und der TL Gestein-StB erfüllen und zwar hinsichtlich:

- der stofflichen Zusammensetzung
- der Korngrößenverteilung
- der Kornform
- des Gehalts an Feinanteilen (Korngröße < 0,063 mm)
- des Widerstandes gegen Zertrümmerung und
- des Frostwiderstandes.

Die Eigenschaften der Gesteinskörnungen sowie die geforderten Kategorien (Mindestwerte) sind im Anhang E der TL Gestein-StB 04 tabellarisch zusammengestellt.

Die Gesteinskörnungen in Tragschichten ohne Bindemittel unterliegen statischen und dynamischen Beanspruchungen während des Einbaus sowie während der Nutzungsdauer infolge Verkehrsbelastung und Witterung. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind daher ein hoher Zertrümmerungs- und Frostwiderstand sowie ein geringer Feinanteil. Im Anlieferungszustand darf der Feinanteil daher nur maximal 5 M.-% betragen. Im eingebauten Zustand hingegen darf der Feinanteil maximal 7 M.-% betragen, wodurch einbaubedingte Kornverfeinerungen berücksichtigt sind. Daneben müssen Baustoffgemische für Tragschichten ohne Bindemittel im eingebauten Zustand eine Sieblinie aufweisen, die innerhalb des jeweiligen Sieblinienbereiches nach den ZTV SoB-StB verläuft. In den Abbildungen 3-9 bis 3-13 sind beispielhaft für Pflasterbauweisen häufig verwendete Baustoffgemische dargestellt.

Zur Herstellung weitgehend verformungsbeständiger und dauerhaft wasserdurchlässiger Tragschichten ohne Bindemittel sollten neben den Anforderungen der TL SoB StB und der ZTV SoB StB einige zusätzliche Empfehlungen beachtet werden:

- Im Hinblick auf eine hohe Verformungsbeständigkeit sind Schottertragschichten den Kiestragschichten vorzuziehen (Wellner, 2001). Die Entscheidung über die Verwendung von gebrochenen anstelle von rundkörnigen Gesteinskörnungen sollte aber zusätzlich unter Transport- und Kostenaspekten abgewogen werden. Für die Belastungsklasse Bk3,2 ist gemäß den RStO 12 eine Pflasterbefestigung mit Schottertragschicht standardisiert, nicht jedoch mit Kiestragschicht.

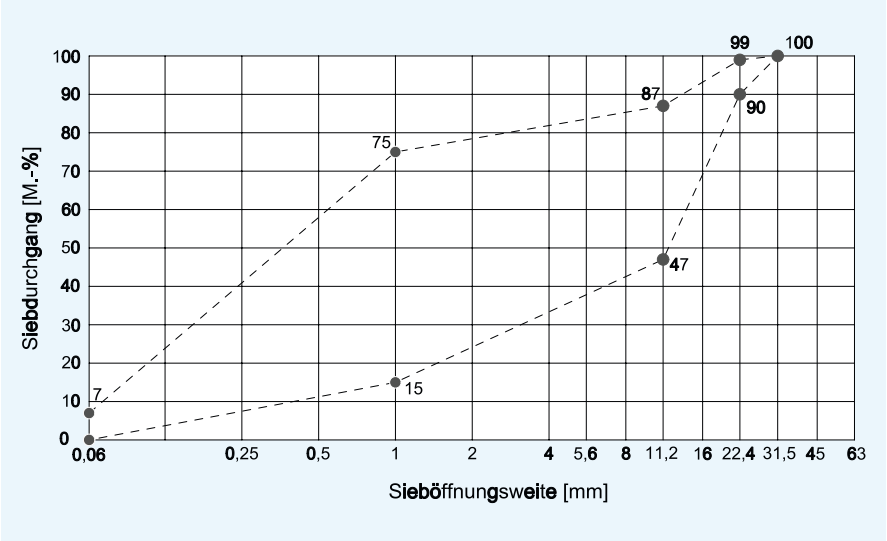


Abbildung 3-9: Sieblinienbereich für Frostschutzschichten 0/22 im eingebauten Zustand gemäß den ZTV SoB-StB

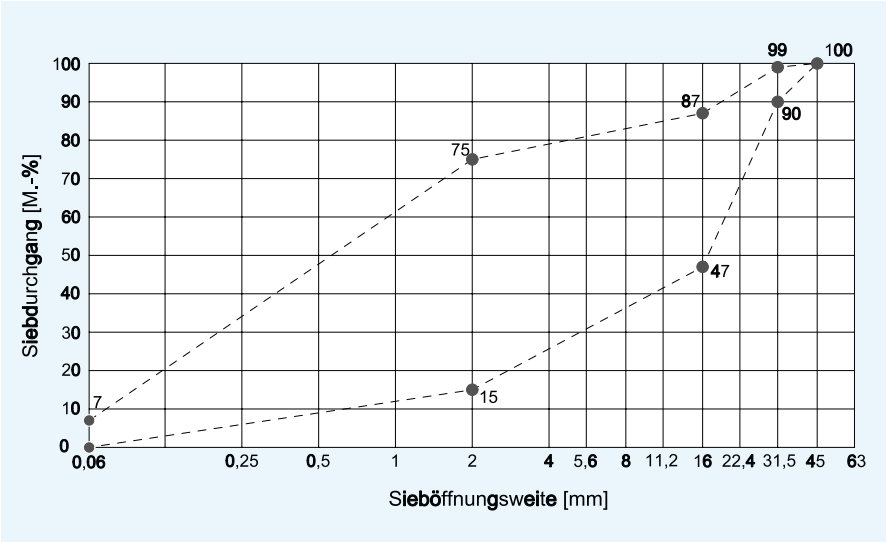


Abbildung 3-10: Sieblinienbereich für Frostschutzschichten 0/32 im eingebauten Zustand gemäß den ZTV SoB-StB

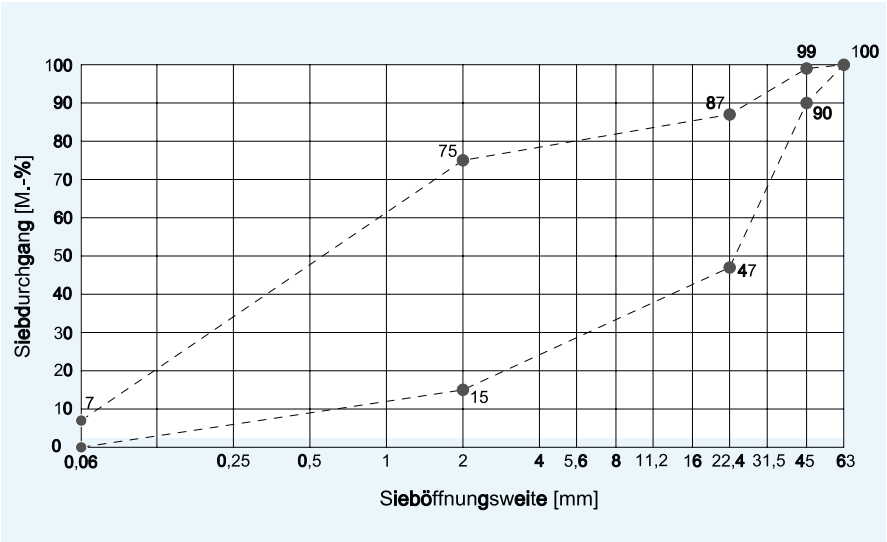


Abbildung 3-11: Sieblinienbereich für Frostschutzschichten 0/45 im eingebauten Zustand gemäß den ZTV SoB-StB

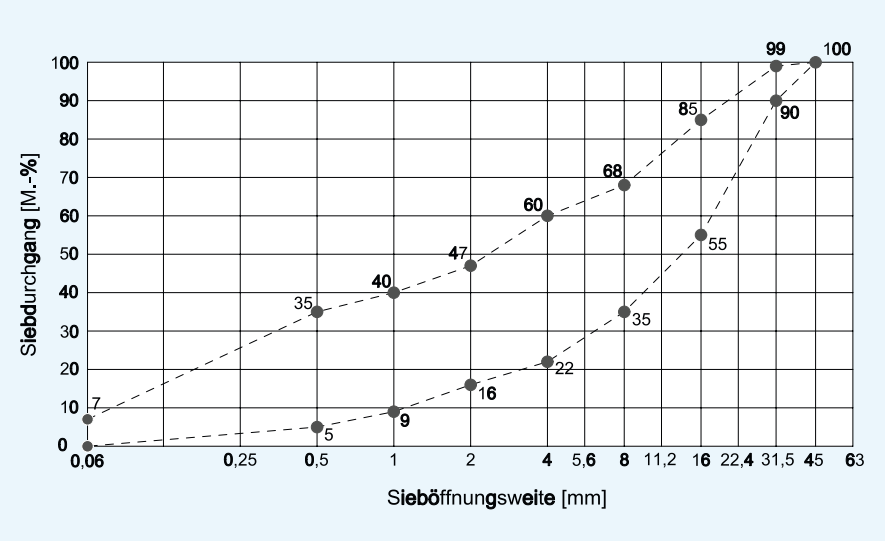


Abbildung 3-12: Sieblinienbereich für Kies- und Schottertragschichten 0/32 im eingebauten Zustand gemäß den ZTV SoB-StB

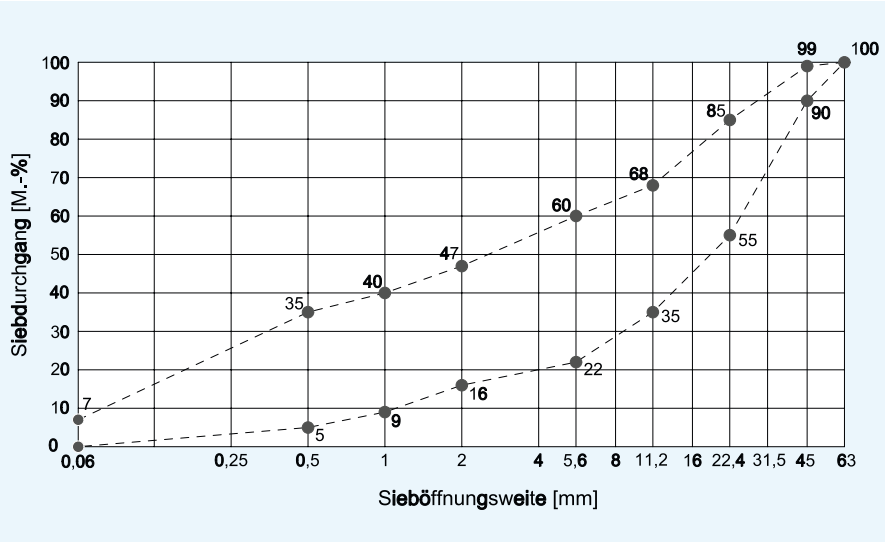


Abbildung 3-13: Sieblinienbereich für Kies- und Schottertragschichten 0/45 im eingebauten Zustand gemäß den ZTV SoB-StB

- Im Hinblick auf die notwendige Filterstabilität sollte das Größtkorn der Baustoffgemische 45 mm nicht überschreiten. Vielerorts lässt sich mit den verfügbaren Bettungsmaterialien die notwendige Filterstabilität zu Tragschichtmaterialien mit größerem Größtkorn ansonsten nur selten herstellen.
- Zur Sicherstellung einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit und Frostsicherheit sollte abweichend von den ZTV SoB-StB der Feinanteil (Korndurchmesser < 0,063 mm) im eingebauten Zustand 5 M.-% nicht überschreiten (anstelle von 7 M.-%).
- Zu empfehlen sind Gemische aus natürlichen Gesteinskörnungen, deren Sieblinie nahe der jeweils unteren Grenzsieblinie der in den TL SoB-StB bzw. den ZTV SoB-StB angegebenen Sieblinienbereiche verläuft. Die Ungleichförmigkeitszahl des Gemisches sollte $C_U \geq 13$ sein.
- Zur Vermeidung von Kornzertrümmerungen und Kornverfeinerungen während des Einbaus sollten die Gesteinskörnungen einen hohen Zertrümmerungswiderstand besitzen. Sie sollten – in Ergänzung zu den TL SoB-StB – daher maximal einen Los-Angeles-Wert von LA ≤ 25 (alternativ einen Schlagzertrümmerungswert von SZ ≤ 22) aufweisen.
- Gesteinsarten, die während der Nutzungsdauer Feinanteile ausbilden, welche die Wasserdurchlässigkeit herabsetzen und/oder sich unter Einfluss von Feuchtigkeit mörtelähnlich verfestigen können, sind auszuschließen.

Baustoffgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen werden in Steinbrüchen oder Kiesgruben durch mechanische Aufbereitung gewonnen und – zumindest überwiegend bei der Herstellung von Kies- oder

Schottertragschichtmaterial – gezielt aus Korngruppen zu einer bestimmten Kornzusammensetzung zusammengemischt.

Alternativ zu natürlichen Gesteinskörnungen wird oftmals die Verwendung von Gesteinskörnungen aus Recycling-Baustoffen oder industriellen Nebenprodukten erwogen. Ihre Anwendung ist grundsätzlich möglich, setzt aber voraus, dass es sich um gemäß den TL SoB-StB güteüberwachte Gesteinskörnungen handelt. Die Anforderungen der TL SoB-StB und der ZTV SoB-StB sowie die zuvor aufgeführten Empfehlungen gelten uneingeschränkt auch für die Verwendung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten. Zusätzlich sind die „Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau“ (RuA-StB) zu beachten.

Hinweise zum Transport und zum Einbau
Eine wesentliche Voraussetzung für eine gute Verarbeitbarkeit und Verdichtbarkeit der Baustoffgemische sowie zur Vermeidung von Entmischungen ist die Einhaltung des vorgegebenen Einbauwassergehaltes. Dieser wird aus der im Labor an dem betreffenden Material ermittelten Proctorkurve unter Beachtung des auf der Baustelle zu erzielenden Verdichtungsgrades abgeleitet (siehe „Merkblatt für die Herstellung von Trag- und Deckschichten ohne Bindemittel“). Bei trockenem und warmem Wetter ist die Verdunstung von Wasser aus dem Gemisch, bei Regen das Eindringen von Wasser bzw. das Ausspülen von Fraktionen mit geringem Korndurchmesser durch Abdecken des Baustoffgemisches zu verhindern.

Die Baustoffgemische müssen im Herstellerwerk gleichmäßig durchfeuchtet und gemischt werden. Auf der Baustelle müssen sie sorgfältig eingebaut und verdichtet werden, um Entmischungen zu vermeiden. Entmischungen treten bei Transport- und Abkippvorgängen auf, weshalb diese Vorgänge zahlen- und zeitmäßig zu minimieren sind. Werden Entmischungen noch während des Einbaus beobachtet, ist diesen durch mehrmaliges Umwälzen des Materials mit dem Schild des Planiergerätes zu begegnen.

Ein Zwischenlagern von Tragschichtmaterialien auf der Baustelle ist wegen der Gefahr des Entmischens und des Austrocknens unbedingt zu vermeiden. Die profilgerechte Verteilung des Materials und das anschließende Verdichten müssen zügig, ohne längere Arbeitsunterbrechungen durchgeführt werden. Art und Anzahl der Einbaugeräte sind dementsprechend einzuplanen und vorzuhalten.

Der Einbau von Kies- und Schottertragschichten sollte mit Straßenfertigern erfolgen. Im Bereich kommunaler Verkehrsflächen können jedoch wegen zahlreicher Einbauten und häufig wechselnder Querschnittsbreiten nicht immer Straßenfertiger eingesetzt werden. Hier bietet sich der Einbau mit Grader oder Planiergerät an. Dies erfordert jedoch Erfahrung und besondere Sorgfalt bei der Bauausführung.

Beim Antransport des Tragschichtmaterials dürfen die eingesetzten Fahrzeuge keine Verformungen des Planums in Form von Spuren oder Verdrückungen erzeugen. Bei derart geringer Tragfähigkeit des bereits hergestellten Planums ist daher der Vor-Kopf-Einbau des Tragschichtmaterials erforderlich. Weitere Hinweise zum Einbau sind dem „Merkblatt für die Herstellung von Trag- und Deckschichten ohne Bindemittel“ zu entnehmen.

Anforderungen an eingebaute Tragschichten
Analog zum Untergrund/Unterbau bestehen auch für Tragschichten Anforderungen bezüglich Tragfähigkeit, Verdichtung und Ebenheit (siehe ZTV SoB-StB).

Zudem muss vermieden werden, dass Bettungsmaterial in die obere Tragschicht eindringen kann. Hierzu ist die Abstimmung der Korngrößenverteilungen von Bettungs- und Tragschichtmaterial erforderlich (Nachweis der Filterstabilität siehe Abschnitt 3.5.2).

Tragfähigkeit
Zum Nachweis der Tragfähigkeit ist der Verformungsmodul E_{v2} mit Hilfe des Plattendruckversuches nach DIN 18134 zu bestimmen. Die in Tabelle 3-6 genannten Werte für den Verformungsmodul E_{v2} sind einzuhalten.

Bei einem standardisierten Oberbau mit Schottertragschicht für die Belastungsklasse Bk3,2 gemäß den RStO sollte ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 180$ MPa auf der Schottertragschicht erreicht werden. Bei einer derart hohen Tragfähigkeit ergibt sich wegen der hierfür erforderlichen intensiven Verdichtung für die Schottertragschicht häufig nicht die notwendige Wasserdurchlässigkeit. Im Hinblick darauf, dass aber eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit notwendig ist, sollte mit Hilfe eines Probeeinbaues geprüft und sichergestellt werden, das sich beide Anforderungen gleichermaßen erfüllen lassen. Gegebenenfalls sollte ein anderes Baustoffgemisch verwendet werden.

Tabelle 3-6: Mindestwerte für den Verformungsmodul auf Tragschichten ohne Bindemittel gemäß den ZTV SoB-StB

Auf Frostschutzschicht ausgehend von einem Verformungsmodul auf dem Planum von $E_{v2} \geq 45$ MPa	
in den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0: $E_{v2} \geq 120$ MPa ($E_{v2} \geq 100$ MPa)[1)] in Belastungsklasse Bk0,3: $E_{v2} \geq 100$ MPa ($E_{v2} \geq 80$ MPa)[2)] Die Anforderungen gelten nicht für Schichten aus frostunempfindlichem Material.	
[1)] Wenn sich durch die Verdichtung der darüber liegenden Kies- oder Schottertragschicht diese Anforderung nachträglich erreichen lässt, kann in der Leistungsbeschreibung für die Frostschutzschicht ein E_{v2}-Wert von ≥ 100 MPa vorgesehen werden. [2)] Wenn sich durch die Verdichtung der darüber liegenden Kies- oder Schottertragschicht diese Anforderung nachträglich erreichen lässt, kann in der Leistungsbeschreibung für die Frostschutzschicht ein E_{v2}-Wert von ≥ 80 MPa vorgesehen werden.	
Auf Tragschicht ausgehend von einem Verformungsmodul auf der Frostschutzschicht von $E_{v2} \geq 120$ MPa	
Kiestragschicht in den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0 Dicke ≥ 20 cm: $E_{v2} \geq 150$ MPa Dicke ≥ 25 cm: $E_{v2} \geq 180$ MPa	**Schottertragschicht** in den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk 1,0 Dicke ≥ 15 cm: $E_{v2} \geq 150$ MPa Dicke ≥ 20 cm: $E_{v2} \geq 180$ MPa
Auf Tragschicht ausgehend von einem Verformungsmodul auf der Frostschutzschicht von $E_{v2} \geq 100$ MPa	
Kiestragschicht in Belastungsklasse Bk0,3 Dicke ≥ 20 cm: $E_{v2} \geq 120$ MPa Dicke ≥ 25 cm: $E_{v2} \geq 150$ MPa	**Schottertragschicht** in Belastungsklasse Bk0,3 Dicke ≥ 15 cm: $E_{v2} \geq 120$ MPa Dicke ≥ 20 cm: $E_{v2} \geq 150$ MPa
Auf Kies- oder Schottertragschicht direkt auf dem Planum mit $E_{v2} \geq 45$ MPa	
in den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0: $E_{v2} \geq 150$ MPa in Belastungsklasse Bk0,3: $E_{v2} \geq 120$ MPa bei Rad- und Gehwegen: $E_{v2} \geq 80$ MPa	

Liegen regional positive Erfahrungen mit Schottertragschichten vor, auf denen in der Belastungsklasse Bk3,2 ein Verformungsmodul von lediglich $E_{v2} \geq 150$ MPa nachgewiesen wurde, so kann gemäß den RStO diese Bauweise weiterhin angewendet werden.

Verdichtung

Die Frostschutzschicht bzw. Schicht aus frostunempfindlichem Material ist so zu verdichten, dass mindestens der Verdichtungsgrad D_{Pr} nach Tabelle 3-7 erreicht wird.

Für Kies- oder Schottertragschichten wird ein Verdichtungsgrad D_{Pr} von mindestens 103 % gefordert. Ausnahmen bilden Verkehrsflächen mit vielen Einbauten (Schächte, Schieber usw.), welche die Verdichtung behindern. Hier wird lediglich ein Verdichtungsgrad von mindestens 100 % gefordert.

Soll anstelle einer Verdichtungsprüfung eine ersatzweise Beurteilung der Verdichtungsqualität anhand der Ergebnisse des Plattendruckversuchs erfolgen, so gilt gemäß ZTV SoB –StB 04: „Der Verhältniswert der Ver-

Tabelle 3-7: Mindestanforderungen für den Verdichtungsgrad D_{Pr} von Baustoffgemischen und Böden in der Frostschutzschicht bzw. der Schicht aus frostunempfindlichem Material in Anlehnung an die ZTV SoB-StB

Nr.	Bereiche	Baustoffgemische und Böden[1)] gemäß ZTV SoB-StB, Abschnitt 2.2.2	Verdichtungsgrad D_{Pr} [%]	
			Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3	Bei B < 100.000[2)], Rad- und Gehwegen, sonstigen Verkehrsflächen
1	Oberfläche Frostschutzschicht bis 0,2 m Tiefe	0/8 bis 0/63 und Böden GW und GI	103	100
2	Frostschutzschicht unterhalb des Bereiches Nr. 1 und Schicht aus frostunempfindlichem Material	alle Baustoffgemische und Böden des Bereiches Nr. 1 sowie SE, SW, SI, GE sowie Gesteinskörnungen 0/2 und 0/5	100	

[1)] Bodengruppen nach DIN 18196
[2)] Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B gemäß den RStO 12

dichtungsmoduln E_{v2}/E_{v1} darf nicht größer als 2,2 sein, wenn ein Verdichtungsgrad $D_{Pr} > 103$ % vorgeschrieben ist. Wird ein Verdichtungsgrad D_{Pr} unter 103 % gefordert, darf der Verhältniswert E_{v2}/E_{v1} nicht größer als 2,5 sein. Höhere Verhältniswerte E_{v2}/E_{v1} als 2,2 bzw. 2,5 sind zulässig, wenn der E_{v1}-Wert mindestens das 0,6fache des geforderten E_{v2}-Wertes beträgt."

Wasserdurchlässigkeit
Damit eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Tragschichten ohne Bindemittel gegeben ist, sollte im verdichteten Zustand der Infiltrationsbeiwert auf diesen Schichten mindestens $k_i \geq 10^{-5}$ m/s betragen.

Es wird empfohlen, den Infiltrationsbeiwert vor Ort nach Herstellung der jeweiligen Schicht zu überprüfen. Anders als bei dem Laborverfahren nach DIN 18130-1 zur Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes k_f wird bei den Feldmethoden der Infiltrationsbeiwert gemessen. Dies kann mit Hilfe von Infiltrometern (z. B. Doppelring-Infiltrometer oder Modifiziertes Standrohr-Infiltrometer gemäß TP Gestein, Teil 8.3.2) erfolgen.

Zur näherungsweisen Überprüfung kann mit Hilfe des Schnelltests nach dem M VV auf der jeweiligen anforderungsgerecht hergestellten Tragschicht der Infiltrationsbeiwert bestimmt werden. Der Nachweis eines ausreichenden Infiltrationsbeiwertes von $k_i \geq 10^{-5}$ m/s kann als erbracht angesehen werden, wenn die Wassermenge von 2 l innerhalb des Messringes (Durchmesser: 300 mm) innerhalb von 50 Minuten versickert ist. Das Messergebnis ist zu verwerfen, wenn es zu einem flächenhaften Wasseraustritt an der Tragschichtoberfläche kommt. Es wird empfohlen, eine Anforderung und ein Prüfverfahren bauvertraglich zu vereinbaren.

Ebenheit und profilgerechte Lage
Eine ausreichende Ebenheit und profilgerechte Lage der Frostschutzschicht soll sicherstellen, dass die darüber liegende Tragschicht mit möglichst konstanter Dicke eingebaut werden kann und der Materialbedarf für diese Tragschicht sinnvoll begrenzt wird. Die Anforderungen an die Ebenheit sind in Tabelle 3-8 aufgeführt.

Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Bettungsdicke wird empfohlen, für die obere Tragschicht eine erhöhte Ebenheitsanforderung zu stellen und die zulässigen Unebenheiten auf ≤ 1,0 cm innerhalb einer 4 m langen Messstrecke zu begrenzen.

Die profilgerechte Lage ist gemäß den ZTV SoB-StB gegeben, wenn die Abweichungen der Oberfläche der Tragschichten von der Sollhöhe nicht mehr als ± 2,0 cm betragen.

Einbaudicke
Bei Kies- und Schottertragschichten dürfen nach den ZTV SoB-StB die Mittelwerte der Einbaudicke die vereinbarten Werte um nicht mehr als 10 % unterschreiten. Die Einzelwerte der Einbaudicke dürfen den vereinbarten Wert um nicht mehr als 3,5 cm unterschreiten. Die in den ZTV SoB-StB in Abhängigkeit vom Größtkorn angegebenen Mindestdicken dürfen nicht unterschritten werden.

Probenahme und Prüfverfahren
Für die Entnahme und Vorbereitung von Proben aus Tragschichtmaterial gelten die DIN EN 932-1, die DIN EN 932-2 und die DIN 52101.

Zur Überprüfung der Tragfähigkeit ist der Plattendruckversuch nach der DIN 18134 unter Verwendung einer Lastplatte von 300 mm Durchmesser durchzuführen. Die Anwendung des dynamischen Plattendruckversuches in Form des Leichten Fallgewichtsgerätes nach den TP BF, Teil 8.3 bzw. des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes nach den TP Gestein-StB, Teil 8.2.1 oder eine Flächendeckende Verdichtungskontrolle (FDVK) nach den TP BF, Teil E 2 zum Nachweis der Tragfähigkeit ist möglich (vgl. auch Abschnitt 3.5.3.6). Voraussetzung ist die Kalibrierung relativ zum Verformungsmodul E_{v2}.

Die erreichte Dichte vor Ort ist mit dem Ballonverfahren nach der DIN 18125-2 zu bestimmen. Die Bestimmung der Proctordichte als Bezugswert zur Berechnung des Verdichtungsgrades ist nach den TP Gestein-StB Teil 8.1.1 in Verbindung mit der DIN EN 13286-2 durchzuführen.

Tabelle 3-8: Anforderungen an die Ebenheit der Oberfläche von Tragschichten ohne Bindemittel

Schicht	Abweichung von der Ebenheit innerhalb einer 4 m langen Messstrecke	gemäß
Frostschutzschicht	≤ 3 cm	DIN 18315
Kies- oder Schottertragschicht	≤ 2,0 cm	ZTV SoB-StB

Die Ebenheit wird mit der 4 m Messlatte überprüft. Hinweise hierzu sind den TP Eben-StB Teil: Berührende Messungen zu entnehmen.

Art und Umfang der Prüfungen sind in den ZTV SoB-StB beschrieben. Der Umfang der Prüfung des Verdichtungsgrades bzw. des Verformungsmoduls kann auch in Anlehnung an die ZTV E-StB (Methode M1 oder M2) festgelegt werden.

3.5.4.3 Dränbetontragschichten

Sollen für Verkehrsflächenbefestigungen mit Pflasterdecke Dränbetontragschichten eingesetzt werden, sind diese grundsätzlich nach dem „Merkblatt für Dränbetontragschichten“ (M DBT) auszuführen. Dränbetontragschichten nach diesem Merkblatt wurden jedoch ursprünglich als konstruktiv ausgebildete Entwässerungsschicht unter Betonfahrbahnen konzipiert. In diesem Einsatzgebiet unterliegt die Dränbetontragschicht einer geringeren mechanischen Beanspruchung als unter befahrenen Pflasterdecken. Daher sollte eine Dränbetontragschicht unter einer Pflasterdecke eine höhere Festigkeit aufweisen. Hinweise dazu sind dem M VV zu entnehmen.

Als Dränbetontragschichten unter konventionellen Pflasterdecken können die Dränbetontragschichten DBT 22 und DBT 32 gemäß dem M VV mit den Druckfestigkeitsklassen C12/15 und C16/20 verwendet werden. In den Belastungsklassen Bk3,2 und Bk1,8 sollte mindestens ein Dränbeton der Festigkeitsklasse C16/20 vorgesehen werden. Durch die Verwendung polymermodifizierter Dränbetone wird zudem ein höherer Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand erzielt.

Die gezielt wasserdurchlässige Konzeptionierung von Dränbetontragschichten erfolgt im Wesentlichen durch die Verwendung von Gesteinskörnungen mit unstetiger Sieblinie (Ausfallkörnung) im Korngrößenbereich 2/4 mm oder 2/8 mm mit möglichst geringem Sandanteil. Die Gesteinskörnungen sollten grundsätzlich die Anforderungen für den Verwendungszweck „Betontragschicht“ gemäß den TL Beton-StB 07, Anhang A, erfüllen. Erhöhte Anforderungen gelten für den Widerstand gegen Frost sowie für die Kornform von groben Gesteinskörnungen.

Die zweckmäßige Zusammensetzung des Einbaugemisches wird in einer Erstprüfung ermittelt. Dabei sollten die folgenden Empfehlungen für Dränbetontragschichten unter konventionellen Pflasterdecken berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den Anforderungen nach den TL Beton-StB sind gemäß dem M VV nachzuweisen:

- Mindestwert für den von außen zugänglichen Hohlraumgehalt: 15 Vol.-%
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 5 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand.

Aufgrund der hohlraumreichen Gefügestruktur von Dränbetontragschichten ergibt sich erfahrungsgemäß keine Filterstabilität zu den üblichen ungebundenen Bettungsmaterialien. Um ein Abwandern von Bettungsmaterial in die Hohlräume der Dränbetontragschicht zu verhindern, kann auf deren Oberfläche ein Filtervliesstoff (Geotextil) angeordnet werden. Dabei sollte ein mechanisch verfestigter Vliesstoff der Geotextilrobustheitsklasse GRK4 oder GRK5 verwendet werden. Für den Vliesstoff sind die charakteristische Öffnungsweite O_{90} und die Wasserdurchlässigkeit $k_{v,\,5\%}$ senkrecht zur Vliesstoffebene gemäß den Verfahren des M Geok E und der TL Geok E-StB festzulegen, wobei eine möglichst große Wasserdurchlässigkeit anzustreben ist. Erfahrungen zum langfristigen Verhalten der Vliesstoffe bezüglich der Kolmation liegen bisher nicht vor.

Einbau und Verdichtung des Dränbetons sind auf dessen spezielle Kornzusammensetzung abzustimmen, damit die offenporige Struktur der Tragschicht im eingebauten Zustand und während der Nutzungsdauer erhalten bleibt. Es wird daher empfohlen, Schütthöhe und Anzahl der erforderlichen Verdichtungsübergänge mit dem vorgesehenen Verdichtungsgerät anhand eines Probeeinbaus zu ermitteln. Auf eine exakte Steuerung der Höhen- und Neigungseinstellung des Einbaugerätes ist unbedingt zu achten, da Schichthöhendifferenzen, Neigungsfehler oder unzulässig große Unebenheiten in der darüber auszuführenden Pflasterdecke nicht ausgeglichen werden dürfen. Der Einbau der Pflasterdecke bzw. die Befahrung der Dränbetontragschicht durch den Baustellenverkehr dürfen erst erfolgen, wenn der Dränbeton mindestens 70 % der geforderten Druckfestigkeit erreicht hat.

Als Prüfverfahren zur Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes der eingebauten Dränbetontragschicht eignen sich der Schnelltest gemäß dem M VV oder das Modifizierte Standrohr-Infiltrometer gemäß den TP Gestein-StB, Teil 8.3.2.

3.5.4.4 Asphalttragschichten

Asphalttragschichten für Verkehrsflächenbefestigungen mit Pflasterdecke müssen prinzipiell die Anfor-

derungen der ZTV Asphalt-StB und der TL Asphalt-StB (Mischgutart AC T) erfüllen. Darüber hinaus müssen sie eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Vorgaben zur Baustoffzusammensetzung, zum Einbau und zur Prüfung wasserdurchlässiger Asphalttragschichten der Mischgutsorten PA 22 T WDA und PA 16 T WDA sind dem M VV zu entnehmen.

Die Mischgutkonzeption erfolgt im Rahmen einer Erstprüfung gemäß den TL Asphalt-StB, und entspricht dem Vorgehen für Offenporigen Asphalt (OPA). Dabei sollte insbesondere auf eine gute Affinität zwischen Bindemittel und Gesteinskörnungen geachtet werden.

Der Einbau wasserdurchlässiger Asphalttragschichten muss bei Temperaturen (Luft und Unterlage) von über 10 °C erfolgen. Bei Regen und/oder starkem Wind sollte kein Einbau erfolgen. Weitere Einbauhinweise sind im Merkblatt M VV enthalten. Beim Einbau wasserdurchlässiger Asphalttragschichten ist unbedingt auf eine exakte Steuerung der Höhen- und Neigungseinstellung des Straßenfertigers zu achten, da Schichthöhendifferenzen, Neigungsfehler oder unzulässig große Unebenheiten in der darüber auszuführenden Pflasterdecke nicht ausgeglichen werden dürfen.

Wasserdurchlässige Asphalttragschichten müssen im eingebauten Zustand einen Mindest-Hohlraumgehalt von 13 Vol.-% (bei PA 22 T WDA) bzw. von 15 Vol.-% (bei PA 16 T WDA) aufweisen. Werden die Mindest-Hohlraumgehalte bei der Bestimmung am Bohrkern nicht erreicht, so kann an Bohrkernen ersatzweise die Wasserdurchlässigkeit in vertikaler Richtung ermittelt werden. Für Kontrollprüfungen auf der fertigen Asphalttragschicht eignen sich der Schnelltest gemäß dem M VV oder das Modifizierte Standrohr-Infiltrometer gemäß den TP Gestein-StB Teil 8.3.2.

3.5.5 Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen

3.5.5.1 Allgemeine Planungs- und Ausführungshinweise

3.5.5.1.1 Planung

Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen in bzw. entlang von Verkehrsflächen können unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt sein. Sie sollen Verschiebungen der Pflastersteine im Randbereich während der Herstellung und der Nutzung der Pflasterdecke verhindern. Die Auswahl der Baustoffe sowie die Art der Ausführung sind in Abhängigkeit von der zu erwartenden Belastung zu planen.

Keine Pflasterdecke ohne Randeinfassung
Eine fachgerecht hergestellte Randeinfassung gibt der Pflasterdecke den notwendigen seitlichen Halt. Sie verhindert, dass sich die Pflastersteine im Randbereich verschieben und sich die Fugen öffnen können.

Eine *geringe Belastung* liegt vor, wenn kein An-, Be- oder Überfahren durch Schwerverkehr und nur gelegentliches An-, Be- oder Überfahren durch Pkw zu erwarten ist.

Eine *mittlere Belastung* liegt vor, wenn gelegentliches An-, Be- oder Überfahren durch Schwerverkehr und regelmäßiges An-, Be- oder Überfahren durch Pkw zu erwarten ist. Bei Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk1,0 und Bk0,3 nach den RStO kann mindestens von einer mittleren Beanspruchung der Randeinfassung bzw. der Entwässerungsrinne ausgegangen werden.

Eine *hohe Belastung* liegt vor, wenn regelmäßiges An-, Be- oder Überfahren durch Schwerverkehr, insbesondere mit hohen Achslasten, sowie regelmäßiges oder häufiges Anfahren durch Schwerverkehr zu erwarten ist. Bei Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk1,8 und Bk3,2 nach den RStO sowie insbesondere bei schmalen Fahrbahnquerschnitten, engen Kurvenbereichen, Bushaltestellen und Grundstückszufahrten ist grundsätzlich von einer hohen Belastung der Randeinfassung bzw. der Entwässerungsrinne auszugehen.

Eine *sehr hohe Belastung* liegt vor, wenn regelmäßiges An-, Be- oder Überfahren durch Schwerverkehr, insbesondere mit hohen Achslasten, sowie regelmäßiges oder sehr häufiges Befahren durch Schwerverkehr zu erwarten ist, z. B. bei Innenringen von Kreisverkehrsplätzen und Busverkehrsflächen.

Grundsätzlich sind Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen mit einem Fundament aus Beton herzustellen. Randeinfassungen sind zudem grundsätzlich mit einer Rückenstütze aus Beton zu versehen. Entwässerungsrinnen sind ebenso – falls sie auch als Randeinfassung dienen – mit einer Rückenstütze aus Beton zu versehen. Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen sind insofern selbständige Konstruktionselemente, die in der Regel vor der Ausführung der Pflasterdecke hergestellt werden und somit auch die Funktion des Widerlagers beim Verdichten der angrenzenden Tragschichten ausüben.

Weitere funktionelle Aufgaben von Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen bestehen in der Wasserführung sowie darin, Flächen unterschiedlicher Nutzung im Straßenraum deutlich voneinander abzutrennen und den Kraftfahrzeugverkehr optisch zu führen. Darüber hinaus sind sie wesentliche Elemente der Straßenraumgestaltung und daher nicht ausschließlich unter technischen Gesichtspunkten zu betrachten.

Mitunter wird der Randeinfassung im Zusammenhang mit der weit verbreiteten Vorstellung der „Gewölbewirkung von Pflasterdecken“ eine Widerlagerfunktion zugeschrieben. Die angenommene Gewölbewirkung kann sich jedoch aufgrund der vollständigen Auflagerung der Pflasterdecke nicht ausbilden und würde im Übrigen Horizontalkräfte am „Widerlager“ erzeugen, die eine einfache Betonbordkonstruktion nicht aufnehmen könnte. Das im Querschnitt bogenförmige Verlegen der Pflasterdecke kann aber dennoch aus entwässerungstechnischen und gegebenenfalls gestalterischen Gründen sinnvoll sein.

Die genauen Maße für die Dicke und die Breite des Fundamentes sind von folgenden Faktoren abhängig:

- Art und Größe der zu verwendenden Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen
- Dicke der angrenzenden Schichten (Tragschicht, Pflasterdecke usw.). Es ist darauf zu achten, dass die angrenzende Tragschicht durch das Fundament möglichst in voller Dicke eingefasst wird
- gegebenenfalls Höhenunterschied der zu trennenden Flächen (Bordhöhe)
- Breite der Rückenstütze(n).

Es wird empfohlen, im Zuge der Planung maßstabsgetreue Querschnittzeichnungen von Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen anzufertigen.

Die in der Tabelle 3-9 in Kurzform beschriebenen Regelausführungsarten können für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen vorgesehen werden.

Bei geringer Belastung der Randeinfassung bzw. der Entwässerungsrinne kann die Ausführungsart A, B oder C, bei mittlerer Belastung sollte die Ausführungsart B oder C, und bei hoher Belastung sollte die Ausführungsart C geplant werden.

Eine **Haftbrücke** ist eine adhäsiv wirkende Zwischenschicht zur Verbesserung des Haftverbundes zwischen einem vorgefertigten Betonprodukt und dem Fundamentbeton. Es sollten nur Haftbrücken verwendet werden, für die positive Erfahrungen vorliegen. Der Einsatz einer Haftbrücke erfordert ausreichend raue Kontaktflächen.

In Bereichen mit sehr hoher Belastung der Randeinfassung sollte die Gestaltung der Verkehrsflächen so erfolgen, dass ein regelmäßiges Überfahren weitestgehend vermieden wird. In den Bereichen, bei denen die Befahrung unvermeidbar ist, sind besondere Maßnahmen bereits während der Planung vorzusehen. Durch nachfolgend aufgeführte Maßnahmen kann der Widerstand gegenüber der auftretenden Belastung und die Nutzungsdauer erhöht werden:

- die Verwendung von speziellen, massiveren Bordsteinprofilen,
- deutliche Verbreiterung der Rückenstütze,
- die Verwendung von Betonen höherer Festigkeit für Fundament und Rückenstütze und/oder
- die Ausführung von Fundament und Rückenstütze in Stahlbeton, gegebenenfalls nach vorausgegangener statischer Berechnung.

Tabelle 3-9: Kurzbeschreibung der unterschiedlichen Regelausführungsarten für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen

Kurzbezeichnung	Kurzbeschreibung der Regelausführungsart
A	Versetzen der Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton (Regelausführung nach ATV DIN 18318).
B	Bei Randeinfassungen: Versetzen der Bauteile in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton. Bei Entwässerungsrinnen: Versetzen von Bauteilen mit vergleichsweise kleinen Grundrissabmessungen, z. B. Pflastersteine, in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton.
C	Bei Randeinfassungen: Versetzen der Bauteile in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton unter Verwendung einer Haftbrücke an der Unterseite der Bauteile. Bei Entwässerungsrinnen: Versetzen von Bauteilen mit vergleichsweise kleinen Grundrissabmessungen, z. B. Pflastersteine, in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton unter Verwendung einer Haftbrücke an der Unterseite der Bauteile.

Es ist trotzdem mit erhöhtem Erhaltungsaufwand während der Nutzungsdauer zu rechnen.

Werden Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen in Ausnahmefällen, z. B. bei Sanierungsmaßnahmen, auf einen bereits erhärteten Fundamentbeton gesetzt, sollten ein geeignetes Mörtelbett als Zwischenlage sowie gegebenenfalls eine geeignete Haftbrücke jeweils unter und über dem Mörtelbett vorgesehen werden.

Beispiele für Randeinfassungen zeigen die Abbildungen 3-14 bis 3-16; Beispiele für Entwässerungsrinnen zeigen die Abbildungen 3-18 bis 3-20.

3.5.5.1.2 Ausführung

Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen sind stets vor dem Einbau der angrenzenden Flächenbefestigung herzustellen. Ihre Abstände sollten auf die Nennmaße der zu verwendenden Pflastersteine unter Berücksichtigung der geforderten Fugenbreite abgestimmt werden. Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen sind höhen- und fluchtgerecht einzubauen.

Abweichungen der Oberfläche von der Sollhöhe und dem Sollabstand von der Bezugsachse dürfen an keiner Stelle mehr als 20 mm betragen (ATV DIN 18318).

Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen sind an den Fugen höhengleich zu versetzen. Bei Bauteilen mit ebener Oberfläche ist eine Abweichung bis höchstens 2 mm zulässig. Dies gilt für die Auftritt- und Vorderflächen bei Bauteilen für Randeinfassungen und für die Seitenflächen von Bauteilen für Entwässerungsrinnen.

Die Bauteile für die Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen sind in Abhängigkeit von der zu erwartenden Beanspruchung entweder mit oder ohne Haftbrücke auf den noch frischen Fundamentbeton zu versetzen. Sie müssen gegebenenfalls vorgenässt werden, damit dem Frischbeton / der Haftbrücke kein Wasser entzogen wird. Nach dem Versetzen der Bauteile für die Randeinfassung ist der gegebenenfalls erforderliche Rückenstützenbeton frisch in frisch mit dem Fundamentbeton einzubauen und zu verdichten. Dabei sind Maßnahmen vorzusehen, die ein Ausweichen der Einfassungs- bzw. Rinnenelemente infolge der Verdichtung des Rückenstützenbetons verhindern.

„Frisch in frisch“
Einen Beton bezeichnet man im Allgemeinen als „frisch“, solange sein Erstarrungsbeginn noch nicht eingesetzt hat. Den Zeitraum unmittelbar nach dem Anmischen bis zum Erstarrungsbeginn bezeichnet man als Ansteifen, den Zeitraum nach dem Erstarrungsbeginn als Erhärten. Der Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns ist von zahlreichen Faktoren abhängig, so z. B. vom Wasserzementwert, der Frischbetontemperatur, der Umgebungstemperatur und der verwendeten Zementart. Spezielle Zusätze können das Ansteifen und Erstarren des Frischbetons gezielt hinauszögern.

Wenn Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen auf den bereits erhärteten Fundamentbeton aufgebracht werden, muss dessen Oberfläche eine ausreichende Rauheit aufweisen. Vor dem Aufbringen der Haftbrücke ist die Fundamentoberfläche von Staub und lose anhaftenden Teilen zu befreien und gegebenenfalls vorzunässen. Der Bettungsmörtel wird auf die zuvor aufgebrachte und noch verarbeitbare Haftbrücke aufgebracht. Im Anschluss sind die Bauteile für Randeinfassungen bzw. Entwässerungsrinnen an ihrer Unterseite mit einer Haftbrücke zu versehen und sofort in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Bettungsmörtel durch hammerfestes Versetzen in ihre endgültige Lage zu bringen. Die Dicke des verdichteten Mörtelbettes sollte in der fertig hergestellten Randeinfassung bzw. Entwässerungsrinne 5 cm nicht überschreiten.

Bei der Ausführung von Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen ist darauf zu achten, dass deren Herstellung abgeschlossen ist, bevor der Erstarrungsbeginn der hydraulisch erhärtenden Baustoffe (Fundament- und Rückenstützenbeton, Bettungsmörtel, Haftbrücke) einsetzt. Es ist insofern zweckmäßig, die Ausführung in Teilabschnitten vorzunehmen.

Die Bauteile aus zementgebundenen Baustoffen sind nachzubehandeln, um darin die für die Hydratation benötigte Wassermenge zu halten. Insbesondere bei hohen Temperaturen und/oder starker Sonneneinstrahlung sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, z. B. Abdecken mit feucht zu haltenden Geotextilien. Bei Lufttemperaturen über 30 °C und direkter Sonneneinstrahlung sowie bei Lufttemperaturen unter 5 °C und dürfen hydraulisch erhärtende Baustoffe nicht verarbeitet werden. Bettungsmörtel dürfen nicht auf gefrorener Unterlage eingebaut werden.

Müssen Bauteile für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen angepasst werden, z. B. in Kurvenbe-

reichen oder an Straßenabläufen, sollte dies immer durch Nass-Schnitt erfolgen. Entwässerungsrinnen in Bögen lassen sich ohne großen Schneideaufwand mit Rinnenpflastersteinen oder speziellen Formsteinen, z. B. Kurven- oder Keilsteinen, ausführen.

Der Einbau der Tragschicht(en) entlang des Fundamentes der Randeinfassung bzw. Entwässerungsrinne sollte erst erfolgen, wenn der Fundamentbeton ausreichend erhärtet ist und seine Widerlagerfunktion ausüben kann.

3.5.5.2 Randeinfassungen

3.5.5.2.1 Ergänzende Planungshinweise

Pflasterdecken benötigen eine ihrem Nutzungszweck und ihrer Beanspruchung angepasste Randeinfassung. Sie dient als Einfassung und Begrenzung und bildet die optische und konstruktive Trennung unterschiedlicher Nutzungsbereiche der Verkehrsfläche. Darüber hinaus sind Randeinfassungen oftmals Bestandteil der Wasserführung im Zuge der Entwässerung der Verkehrsfläche.

Während des Betriebes der Verkehrsfläche müssen Randeinfassungen sowohl die von der Pflasterdecke ausgehenden Horizontalkräfte, z. B. durch Bremsen oder Kurvenfahrten, als auch die durch Be-, Über- und Anfahren entstehenden Kräfte schadlos aufnehmen können. Besonders hohe Kräfte, die z. B. bei einem Anprall durch ein von der Fahrbahn abkommendes Schwerfahrzeug entstehen, können von der Randeinfassung – auch bei fachgerechter Ausführung – in der Regel nicht schadlos aufgenommen werden. Dies überfordert den Zweck der Randeinfassung; sie ist kein Rückhaltesystem, wie z. B. die Schutzwand im Mittelstreifen einer Autobahn.

Randeinfassungen werden in der Regel ohne Bewegungsfugen hergestellt. Ist vor der Randeinfassung jedoch eine Rinne zur Wasserführung vorgesehen oder sollen die Fugen zwischen den Randeinfassungselementen mit Fugenmörtel verfugt werden, sind Bewegungsfugen im Abstand von nicht mehr als 12 m, bei befahrenen Randeinfassungen im Abstand von 4 bis 6 m, einzuplanen.

Bewegungsfugen sind durchgängig durch Randeinfassung sowie der gegebenenfalls angeordneten Rinne einschließlich Fundament und Rückenstütze herzustellen.

3.5.5.2.2 Betonelemente für Randeinfassungen

Im Bereich des Straßenbaus und bei anderen ähnlich beanspruchten Verkehrsflächen kommen praktisch ausschließlich Bordsteine nach DIN EN 1340 und DIN 483 zur Anwendung. Zu der Produktgruppe „Bordsteine“ gehören seit der Umstellung der entsprechenden Normen neben den klassischen „Straßenbordsteinen“, wie Hochbord, Rundbord, Flachbord, Tiefbord, auch so genannte Einfassungssteine sowie Bordrinnen- und Muldensteine aus Beton. Dies ergab sich durch die Formulierung des Anwendungsbereiches in DIN EN 1340, welche wie folgt lautet: „Trennung, physische oder visuelle Begrenzung, Entwässerung oder Einfassung befestigter Bereiche oder sonstiger Flächen.“ Die materialtechnischen Anforderungen an Bordsteine für den Straßenbau sind in den TL Pflaster-StB als Mindestanforderung und in den ATV DIN 18318 als Regelanforderungen beschrieben.

Im Garten- und Landschaftsbau werden Einfassungen von Pflasterdecken häufig auch mit Palisaden oder anderen Gartenbauerzeugnissen aus Beton hergestellt. Derartige Produkte sind in DIN EN 13198 genormt. Der Einbau erfolgt prinzipiell wie bei Bordsteinen. Für Randeinfassungen in befahrenen Bereichen sollten diese Elemente jedoch nicht eingesetzt werden.

Für Flächen, die nicht von Kraftfahrzeugen befahren werden, können auch Pflastersteine als Einfassungselemente verwendet werden. Auch sie sollten immer in Beton gesetzt werden, um die Stabilität der Einfassung sicher zu stellen.

3.5.5.2.3 Ergänzende Ausführungshinweise

Die Bauteile für Randeinfassungen sind auf ein mindestens 20 cm dickes Fundament mit Rückenstütze aus Beton zu versetzen (Regelausführung nach den ATV DIN 18318). Die Fundamentbreite ergibt sich in Anhängigkeit von dem verwendeten Einfassungselement zuzüglich der Rückenstütze. Die Rückenstütze ist mindestens 10 cm breit auszuführen, wenn die Randeinfassungselemente eine Nennbreite bis 80 mm aufweisen und mindestens 15 cm, wenn die Randeinfassungselemente eine Nennbreite über 80 mm aufweisen. Die Höhe der Rückenstütze richtet sich nach der Dicke der angrenzenden Flächenbefestigung. Die Oberfläche der Rückenstütze ist nach außen abzuschrägen.

Die Druckfestigkeit des Betons von Fundament und Rückenstütze am fertigen Bauteil muss mindestens 8,0 N/mm^2 betragen, bei Randeinfassungen, die planmäßig überfahren werden, 15,0 N/mm^2.

Bei der unverfugten Ausführung (Regelausführung) sind die Bauteile für die Randeinfassung mit 3 bis 5 mm

breiten Stoßfugen zu versetzen, die nicht verfugt zu werden brauchen. Gleichwohl sollten die Stoßfugen immer dann geschlossen oder abgedichtet werden, wenn eine Pflasterdecke oder ein Plattenbelag in ungebundener Ausführung anschließt, um das Ausrieseln von Bettungs- und Fugenmaterial zu verhindern. Dafür eignen sich z. B. Kunststoffeinlagen oder ein einfacher Mörtelstrich.

Ist die Verfugung der Einfassungselemente mit Mörtel vorgesehen, sollten die Elemente – analog zur Ausführung von Entwässerungsrinnen (vgl. Abschnitt 3.5.5.3.3) – mit 8 bis 12 mm breiten Fugen versetzt werden. Die Fugenspalten sind vor dem Verfugen von losen Bestandteilen zu säubern und im Anschluss mit einem auf die Fugenbreite abgestimmten geeigneten Mörtel vollständig zu füllen. Es ist darauf zu achten, dass durch den Fugenmörtel keine Verunreinigung angrenzender Bauteile, z. B. von Bordsteinen oder Pflastersteinen, entsteht.

Fugenmörtel für Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen

Fugenmörtel sollten grundsätzlich den Empfehlungen des „Arbeitspapiers Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Ausführung“ entsprechen. Der Fugenmörtel ist auf die Festigkeitseigenschaften der einzusetzenden Einfassungs-/Rinnenbauteile abzustimmen. Langzeiterfahrungen liegen hierzu bisher nicht vor.

Sind Bewegungsfugen anzuordnen, sind diese mindestens 8 mm und höchstens 15 mm breit auszuführen. Sie sind in der Regel durch eine Fugeneinlage und einen mindestens 30 mm tiefen Fugenschluss aus Pflasterfugenmasse nach den ZTV Fug-StB herzustellen. Bei der Verwendung der Pflasterfugenmasse sind Vorkehrungen zu treffen, welche eine Dreiflächenhaftung verhindern.

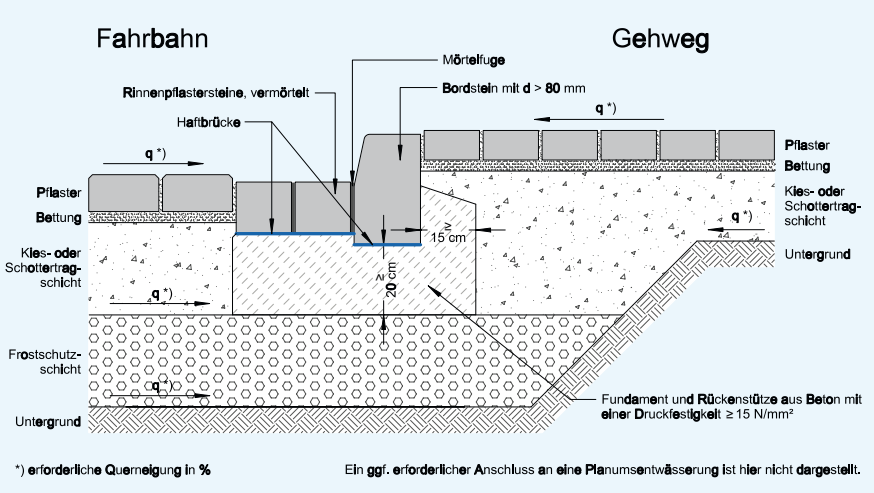


Abbildung 3-14: Beispiel für eine Randeinfassung durch Hochbordsteine in Kombination mit einer zweizeiligen Entwässerungsrinne

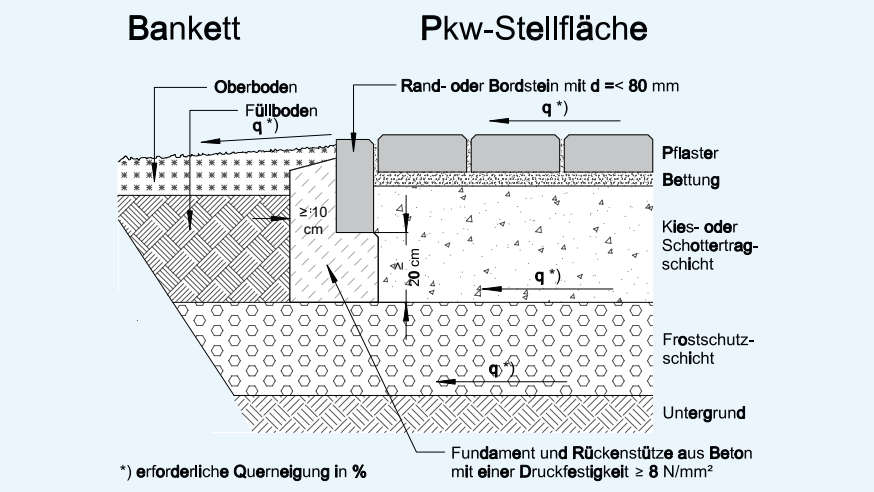


Abbildung 3-15: Beispiel für eine Randeinfassung durch Tiefbordsteine (Entwässerung in eine unbefestigte Fläche)

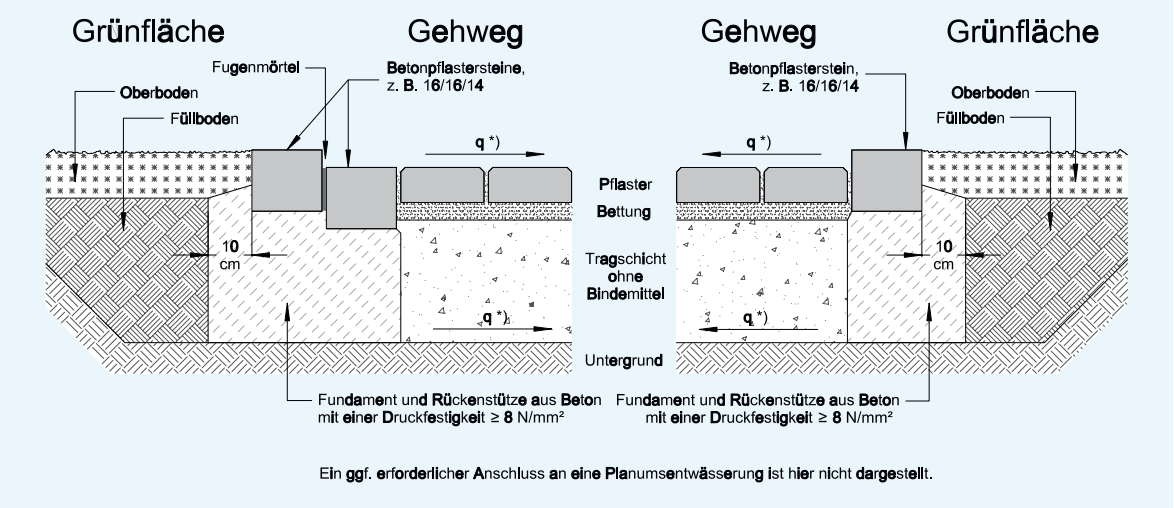


Abbildung 3-16: Beispiele für eine Randeinfassung mit Pflastersteinen (für nicht von Kfz befahrene Flächen)

Randeinfassungen in Bögen mit einem Radius bis einschließlich 12 m sind mit Bogensteinen herzustellen. Bei Bögen mit einem Radius über 12 m können gerade Steine mit einer Länge von 500 mm, mit einem Radius ab 20 m können gerade Steine mit einer Länge von 1000 mm verwendet werden.

Für die Absenkung der Randeinfassung im Bereich von Überfahrten stehen besondere Übergangssteine zur Verfügung. Mit ihnen lassen sich nicht nur unterschiedliche Höhen, sondern auch unterschiedliche Bordsteinprofile maßgenau anpassen, z. B. Übergang von Hochbord- auf Rundbordprofil.

3.5.5.3 Entwässerungsrinnen

3.5.5.3.1 Ergänzende Planungshinweise

Die Entwässerung von Betonpflasterdecken erfolgt unter anderem an der Oberfläche durch deren Neigung. Zur Ableitung des anfallenden Wassers wird häufig eine Längsentwässerung durch Bord- oder Muldenrinnen erforderlich. Diese werden entlang oder zwischen Verkehrsflächen angelegt. Sie haben die Aufgabe, das von den Verkehrsflächen zufließende Wasser aufzunehmen und es Straßenabläufen oder direkt dem Vorfluter zuzuleiten. Man unterscheidet offene und geschlossene Entwässerungsrinnen.

Die Planungsgrundsätze für die Entwässerung von Verkehrsflächen sind in den RAS-Ew enthalten.

Die Fundamentbreite ergibt sich aus der Breite der im Zusammenhang mit der Entwässerungsrinne in „starrer Bauweise“ versetzten Bauteile. Dies können die Entwässerungselemente allein (Abbildung 3-18), zusätzlich aber auch unmittelbar angrenzende Pflasterzeilen oder eine Rückenstütze sein (Abbildungen 3-19 und 3-20).

Werden Entwässerungsrinnen regelmäßig von Fahrzeugen des Schwerverkehrs befahren, sollten zusätzlich zu den Hinweisen im Abschnitt 3.5.5.1 Maßnahmen vorgesehen werden, die eine ausreichende Tragfähigkeit der Unterlage unter und neben dem Fundament der Entwässerungsrinne sicherstellen und somit Setzungen vermeiden. Das Fundament unter der Rinne bzw. dem Bordstein sollte einerseits mindestens 20 cm dick sein und andererseits die angrenzende(n) Tragschicht(en) in ihrer vollen Höhe einfassen, d. h. das Fundament wird auf einer durchgehenden Schicht, meistens der Frostschutzschicht, gegründet (vgl. Abbildungen 3-18 bis 3-20).

Bei besonderen baulichen Gegebenheiten kann es aufgrund eines zu geringen Abstandes zwischen Unterkante Rinnen-Formteil bzw. Bordstein und Oberkante Frostschutzschicht erforderlich werden, auch die Frostschutzschicht zum Teil oder über ihre volle Dicke einzufassen. Liegt ein solcher Fall vor, kann z. B. gemäß der Abbildung 3-21 geplant werden.

Darüber hinaus können eine statische Berechnung sowie eine Ausführung des Fundamentes und gegebenenfalls der Rückenstütze in Stahlbeton erforderlich sein. Derartige Lösungen können insbesondere bei Containerstellflächen und Industrieflächen erforderlich werden.

3.5.5.3.2 Betonelemente für Entwässerungsrinnen

Als Bauteile für offene Entwässerungsrinnen kommen z. B. Pflastersteine, Rinnenplatten, Muldensteine und

Bordrinnensteine zur Anwendung. Diese Erzeugnisse zählen im Sinne des Regelwerks für den Straßenbau zu den „Bauprodukten für die Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen“. Ihre materialtechnischen Eigenschaften müssen folglich den Anforderungen der TL Pflaster-StB genügen.

Für geschlossene Entwässerungsrinnen kommen z. B. Kasten- und Schlitzrinnen nach DIN EN 1433 zur Anwendung.

3.5.5.3.3 Ergänzende Ausführungshinweise

Entwässerungsrinnen sind mit einer Längsneigung von mindestens 0,5 % auf einem mindestens 20 cm dicken Fundament aus Beton auszuführen. Werden Entwässerungsrinnen gleichzeitig als Randeinfassung verwendet, müssen sie mit einer Rückenstütze von mindestens 15 cm Breite nach den ATV DIN 18318 ausgeführt werden (vgl. auch Abschnitt 3.5.5.1).

Die Druckfestigkeit des Fundaments und der gegebenenfalls vorhandenen Rückenstütze am fertigen Bauteil muss mindestens 15,0 N/mm^2 betragen.

Die Bauteile für offene Entwässerungsrinnen sind mit Fugenbreiten von 8 bis 12 mm auszuführen (ATV DIN 18318). Die Fugen zwischen den Bauteilen sind mit einem auf die Fugenbreite abgestimmten, geeigneten Mörtel vollständig zu füllen (siehe auch „Kasten“ auf Seite 41). Die freien senkrechten Fugenspalten sollten vorher, z. B. mit einem Mörtelstrich, abgedichtet werden, damit der Fugenmörtel nicht seitlich entweichen kann (Abbildung 3-17).

Vor dem Verfüllen sind alle Fugen von losen Bestandteilen zu säubern. Es ist darauf zu achten, dass durch den Fugenmörtel keine Verunreinigung angrenzender Bauteile, z. B. von Bordsteinen oder Pflastersteinen, entsteht. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass bei unverfugten Randeinfassungen kein Mörtel in deren Fugen gelangt.

Offene Entwässerungsrinnen sind nicht fachgerecht ausgeführt, wenn deren Fugen nicht vollständig oder mit ungebundenem Fugenmaterial gefüllt sind.

Für die Ausführung der Fugen von geschlossenen Entwässerungsrinnen und solchen mit Nut-und-Feder-Prinzip sind die Herstellerangaben zu beachten.

Die Ausführung der Fugen von Entwässerungsrinnen sollte zeitnah im Anschluss an die vorangegangenen Arbeiten erfolgen, um u. a. eine Verschmutzung der Fugenspalte zu verhindern.

Entwässerungsrinnen sind mit Bewegungsfugen mit mindestens 8 mm und höchstens 15 mm Breite herzustellen. Der Abstand der Bewegungsfugen soll maximal 12 m betragen; bei befahrenen Rinnen muss er 4 bis 6 m betragen. Bewegungsfugen sind durchgehend durch Fundament und gegebenenfalls Rückenstütze auszuführen. Ist die Entwässerungsrinne Teil einer Randeinfassung (siehe Abbildung 3-14), sind die Dehnungsfugen auch durchgehend durch die Randeinfassung anzuordnen.

Bewegungsfugen sind in der Regel durch eine Fugeneinlage und einen mindestens 30 mm tiefen Fu-

Abbildung 3-17: Seitlich verschlossene Fugenspalten einer Entwässerungsrinne vor dem Einbringen des Fugenmörtels

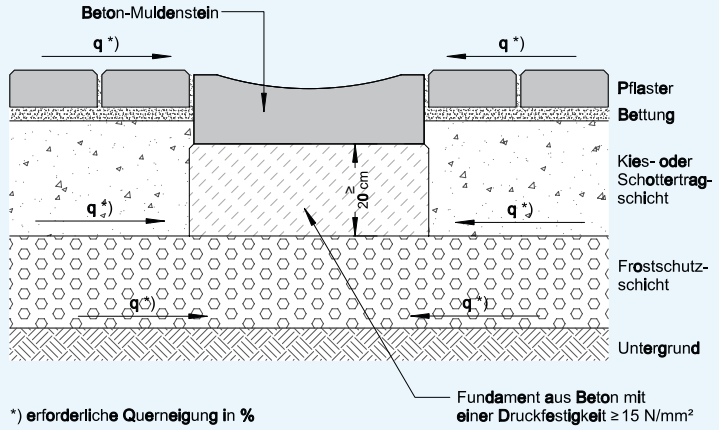


Abbildung 3-18: Beispiel für eine Muldenrinne aus Beton-Formsteinen zwischen nicht oder selten befahrenen Verkehrsflächen

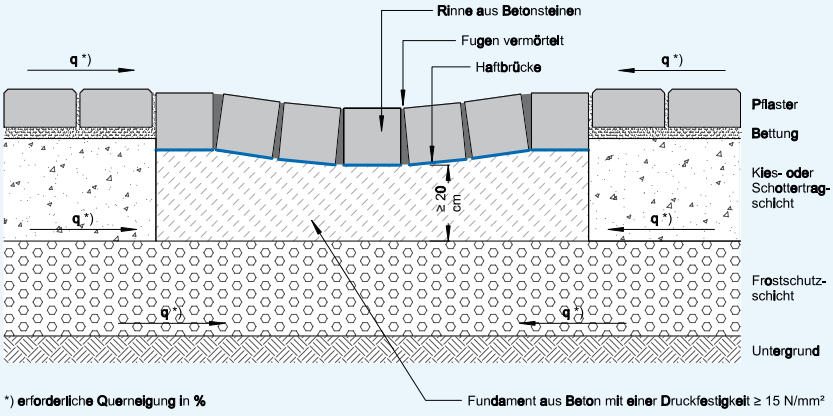


Abbildung 3-19: Beispiel für eine Muldenrinne aus Pflastersteinen zwischen regelmäßig befahrenen Verkehrsflächen

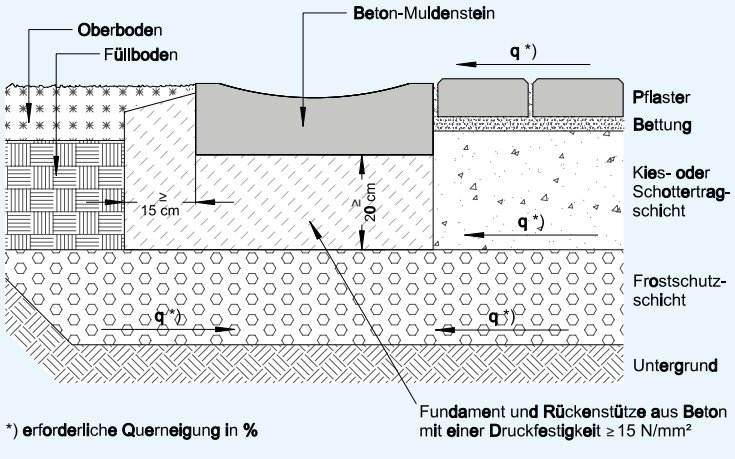


Abbildung 3-20: Beispiel für eine planmäßig nicht zu befahrende Muldenrinne aus Beton-Formsteinen mit Funktion als Entwässerungs-rinne und Randeinfassung

genschluss aus Pflasterfugenmasse nach den ZTV Fug-StB herzustellen. Bei der Verwendung der Pflasterfugenmasse sind Vorkehrungen zu treffen, welche eine Dreiflächenhaftung verhindern.

3.5.6 Pflasterdecke

3.5.6.1 Allgemeines

Pflasterdecken sind zur Befestigung von Verkehrsflächen mit einer Verkehrsbelastung gemäß den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3 nach den RStO sowie für Rad- und Gehwege anwendbar (vgl. Abschnitt 3.4). Für höhere, über Bk3,2 hinausgehende Verkehrsbelastungen ist die Bauweise mit Pflasterdecke nicht geeignet.

Nachfolgend wird die Planung und Ausführung von Pflasterdecken in Regelbauweise, also unter Verwendung ungebundener Bettungs- und Fugenmaterialien, beschrieben. Die gebundene Bauweise (vermörtelte Fugen, Mörtelbett) ist keine Regelbauweise und wird daher in diesem Handbuch nicht behandelt.

Üblicherweise wird die Auswahl der Pflastersteinform, der Farbe, der Oberflächentextur und der Verlegemuster nach gestalterischen Aspekten entschieden. Konstruktive Gesichtspunkte sind vor allem dann vorrangig zu berücksichtigen, wenn die Pflasterdecke von Fahrzeugen des Schwerverkehrs befahren werden soll bzw. hohe Horizontalbeanspruchungen zu erwarten sind (z. B. an Wendestellen oder infolge von Lenk-, Brems- und Beschleunigungsvorgängen).

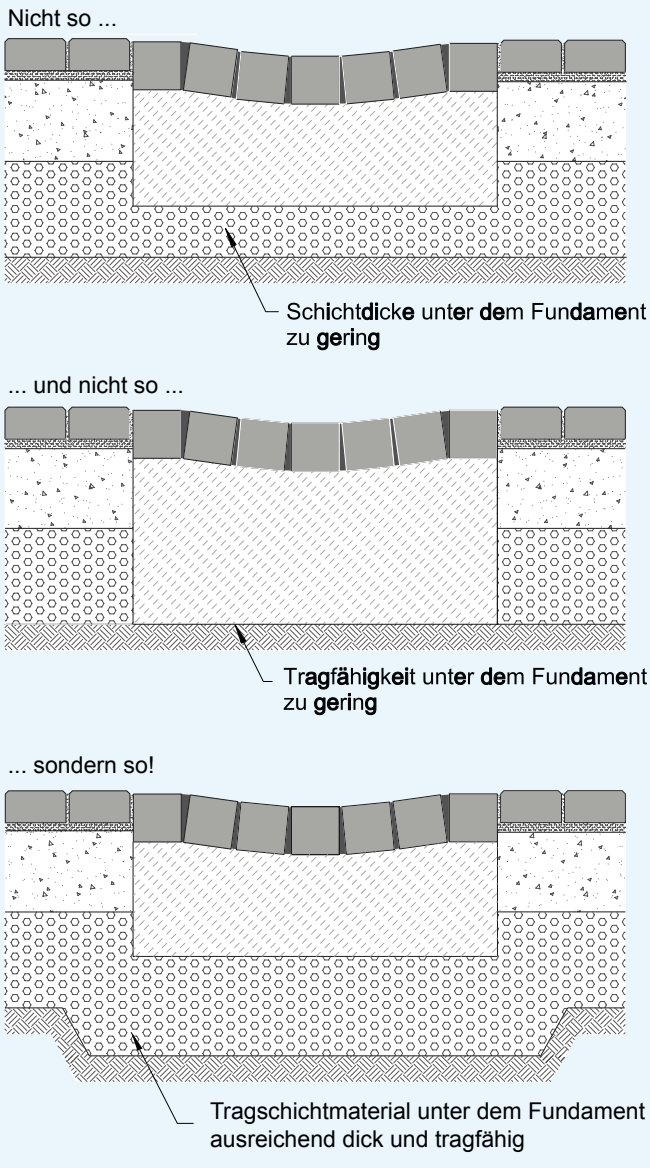


Abbildung 3.21: Schematische Darstellung der Fundamentausbildung am Beispiel einer regelmäßig befahrbaren Muldenrinne

Der Verband (das Verlegemuster) sollte mit Verlegeplänen eindeutig vorgegeben werden. Die Größe der Flächen bzw. die Verlegebreiten sind dabei auf das Rastermaß des gewählten Pflastersteinsystems abzustimmen, um unnötige Schneidearbeiten zu vermeiden.

Vor Beginn der Herstellung der Pflasterdecke ist prüfen, ob die Unterlage den Anforderungen des Technischen Regelwerks hinsichtlich

- der Tragfähigkeit,
- der Verdichtungsqualität,
- der planmäßigen Höhenlage, Neigung und Ebenheit,

entspricht. Aufgrund der Notwendigkeit einer gleichmäßigen Bettungsdicke dürfen Unebenheiten der Unterlage höchstens 1,0 cm auf einer 4 m langen Messstrecke betragen. Ergänzend ist zu untersuchen, ob die Unterlage eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweist.

Die Pflasterdecke ist höhengerecht sowie im vereinbarten Längs- und Querprofil herzustellen. Abweichungen der Oberfläche von der Sollhöhe dürfen an keiner Stelle mehr als 20 mm betragen. Unebenheiten der Oberfläche, bezogen auf eine 4 m lange Messstrecke dürfen nicht größer als 10 mm sein. Das Verfahren zur Bestimmung der Ebenheit ist in den TP Eben-StB Teil: Berührende Messungen beschrieben.

Die Pflastersteine sind an den Fugen höhengleich zu verlegen. Die zulässige Höhendifferenz von Stein zu Stein bei ebener Steinoberfläche nach dem Abrütteln beträgt 2 mm. Neben Randeinfassungen und Einbauten müssen die Anschlüsse 3 bis 5 mm über deren Oberfläche liegen, neben wasserführenden Rinnen 3 bis 10 mm über der Rinne. Ausführungsbedingte

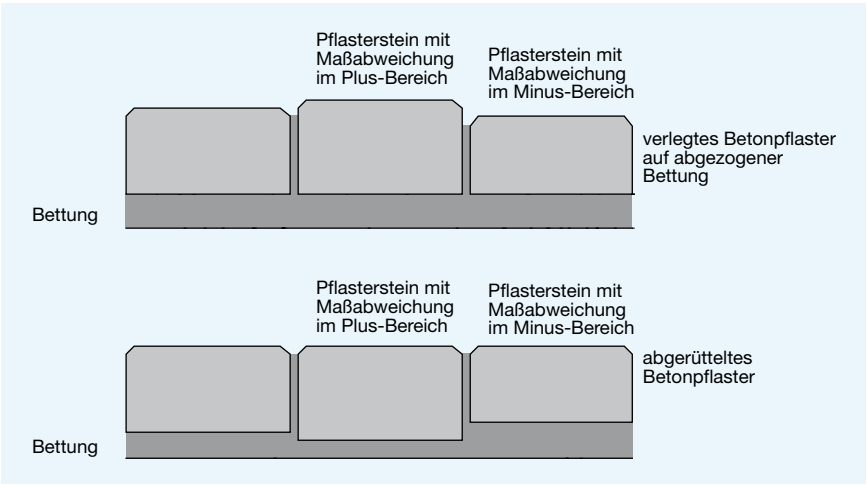


Abbildung 3-22: Ausgleich zulässiger Dickentoleranzen der Betonpflastersteine innerhalb der Bettung

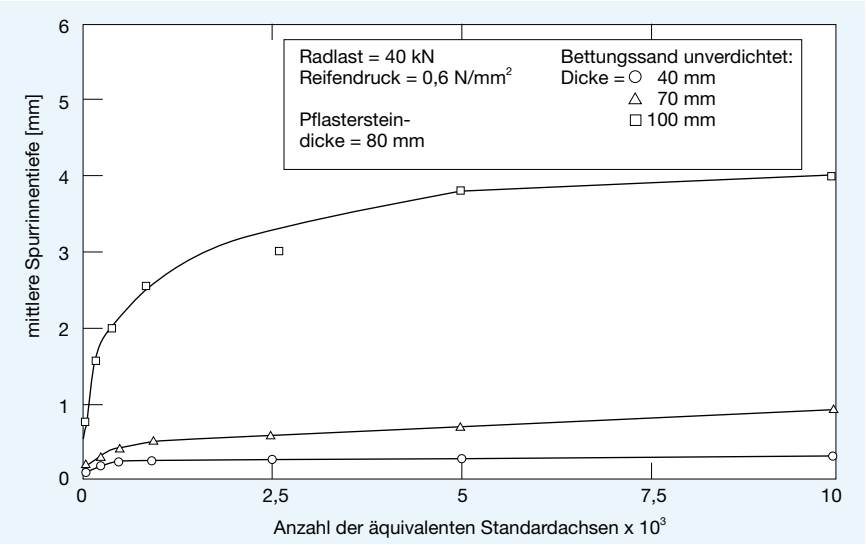


Abbildung 3-23: Einfluss der Dicke der Bettung auf das Verhalten der Pflasterdecke (Shackel 1980)

Abweichungen von der planmäßigen Neigung dürfen nicht mehr als 0,4 % (absolut) betragen (vgl. auch ATV DIN 18318).

3.5.6.2 Pflasterbettung

Die Pflasterbettung stellt das Auflager der Pflastersteine dar. Sie dient außerdem dazu, Maßtoleranzen bezüglich der Pflastersteindicke auszugleichen (Abbildung 3-22). Nach den ATV DIN 18318 muss die Dicke des Pflasterbettes grundsätzlich 30 bis 50 mm im eingebauten Zustand betragen. Bei Steinen mit einer Nenndicke der Pflastersteine ab 120 mm kann sie auch 40 mm bis 60 mm betragen. Es wird jedoch empfohlen, eine Bettungsdicke von 50 mm, unabhängig von der Steindicke, nicht zu überschreiten.

In ungünstigen Fällen können sich durch Überlagerung von Unebenheiten der Tragschicht und der Pflasterdecke Dickenschwankungen der Bettung ergeben, die nicht mehr dieser Vorgabe entsprechen. Nach den ZTV Pflaster-StB ist daher die Unterschreitung des unteren Wertes um 1 cm (minimale Dicke des Pflasterbettes: 2 cm) zulässig. Die Mindestdicke der Bettung ist für eine einwandfreie Einbettung der Pflastersteine erforderlich. Die Einhaltung der Maximaldicke ist aus Gründen der Vermeidung von Spurrinnen und Verdrückungen zwingend notwendig (Abbildungen 3-23 und 3-24). Unzulässig hohe Schwankungen der Bettungsdicke bergen zudem die Gefahr der Ausbildung von Unebenheiten und sollten daher unbedingt vermieden werden (Abbildung 3-25).

Anforderungen an das Bettungsmaterial

Als Bettungsmaterial sind Baustoffgemische der Lieferkörnungen 0/4, 0/5 oder 0/8 gemäß den TL Pflaster-StB zu verwenden. Besonders geeignet sind Baustoffgemische mit kornabgestufter Zusammensetzung (stetige Sieblinie) und einem hohen Widerstand gegen Kornzertrümmerung, die nach dem Abrütteln der Pflasterdecke eine hohe Lagestabilität aufweisen und durch die Verkehrsbeanspruchung nicht zerrieben werden. Durch dynamische Beanspruchung können sich bei Baustoffgemischen mit geringer Kornfestigkeit Feinanteile bilden, welche die Wasserdurchlässigkeit der Bettung deutlich herabsetzen und die Schadensanfälligkeit der Decke erheblich erhöhen. Zudem bewirkt die Bildung der Feinanteile, dass mehr Wasser im Bettungsmaterial festgehalten wird und sich die Bettung bei Feuchtigkeitsabgabe mörtelähnlich verfestigt. Die Wasserdurchlässigkeit der Bettung ist damit nicht mehr ausreichend, und Schäden an der Pflasterdecke sind meist nicht mehr abzuwenden.

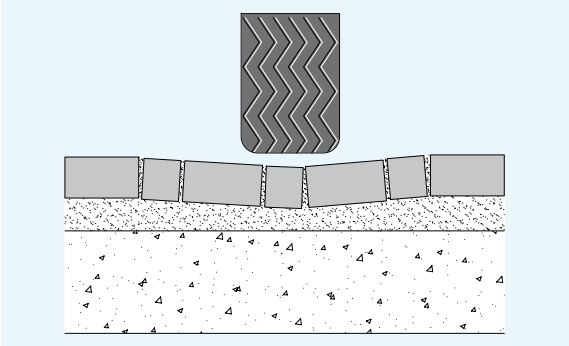


Abbildung 3-24: Verdrückungen in der Bettung bei zu großer Bettungsdicke

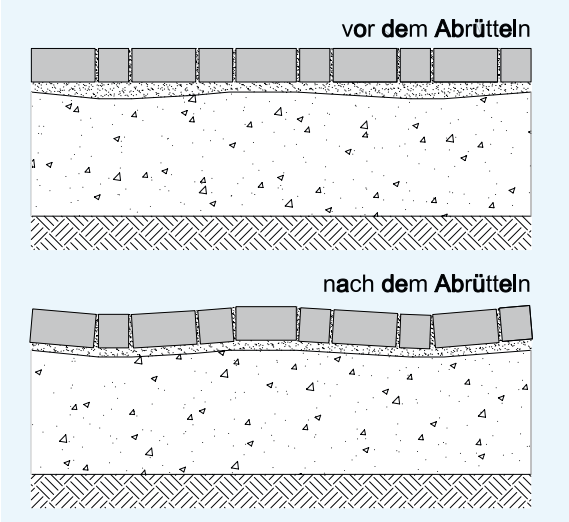


Abbildung 3-25: Verformungen in der Bettung durch ungleichmäßige Bettungsdicke

Die Baustoffgemische müssen so beschaffen sein, dass mit ihnen im eingebauten und verdichteten Zustand eine dauerhaft ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Bettung erreicht werden kann.

Seit der Ausgabe April 2010 der ATV DIN 18318 wird darin der Begriff „Bettungsstoff“ verwendet. In den TL Pflaster-StB wird für denselben Baustoff der Begriff „Bettungsmaterial“ verwendet. In diesem Handbuch wird in Anlehnung an die TL Pflaster-StB ausschließlich der Begriff „Bettungsmaterial“ verwendet.

Zur Sicherstellung der notwendigen Frostsicherheit und einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit der Bettung darf das Bettungsmaterial einen Feinanteil (Korndurchmesser < 0,063 mm) von höchstens 5 M.-% (Kategorie UF_5) aufweisen.

Für Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3 sind Bettungsmaterialien zu verwenden, die den folgenden Anforderungen der TL Pflaster-StB an den Verlauf der Korngrößenverteilung entsprechen:

- Bettungsmaterial 0/4 und 0/5 (TL Pflaster-StB 06, Tabelle 4, Zeile 1, Kategorie $G_{U,B}$): Siebdurchgang 30 bis 60 M.-% bei einer Sieböffnungsweite von 2 mm,
- Bettungsmaterial 0/8 (TL Pflaster-StB 06, Tabelle 5, Zeile 1, Kategorie G_U): Siebdurchgang 30 bis 75 M.-% bei einer Sieböffnungsweite von 2 mm und 50 bis 90 M.-% bei einer Sieböffnungsweite von 4 mm.

Es wird empfohlen, diese Anforderungen auch an ein Bettungsmaterial zu stellen, das für geringer beanspruchte Verkehrsflächen verwendet wird.

Weitere Anforderungen an die Korngrößenverteilung werden in den TL Pflaster-StB bzw. in den ZTV Pflaster-StB nicht gestellt. Um eine gute Kornabstufung des Bettungsmaterials sicherzustellen, sollte dessen Kornverteilungslinie zusätzlich innerhalb der nachfolgend darstellten Sieblinienbereiche verlaufen (Abbildungen 3-26, 3-27 bzw. 3-28). Unter Beachtung der Regeln der Filterstabilität gegenüber dem Tragschicht- und Bettungsmaterial ist aus Gründen des Handlings während

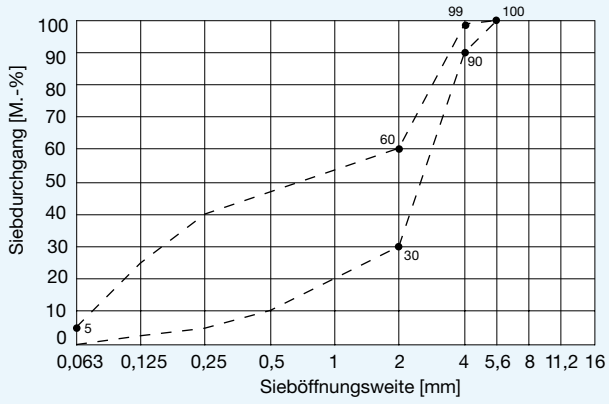


Abbildung 3-26: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Bettungsmaterial 0/4

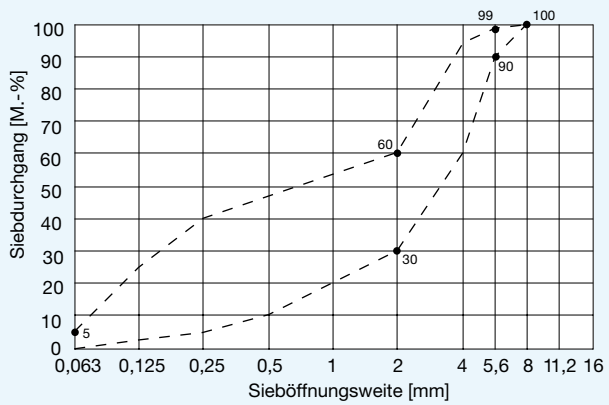


Abbildung 3-27: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Bettungsmaterial 0/5

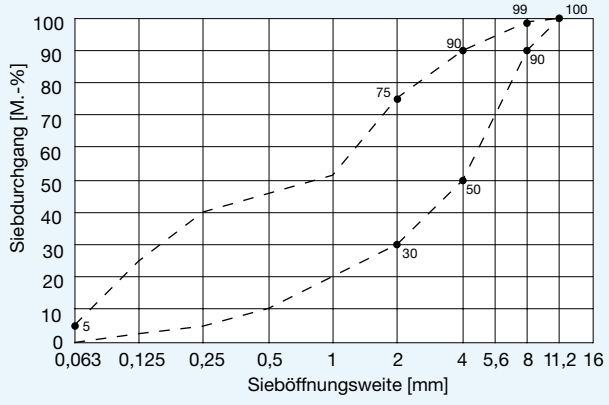


Abbildung 3-28: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Bettungsmaterial 0/8

des Einbaus zu empfehlen, sich an der jeweils unteren Grenzsieblinie zu orientieren.

Lieferkörnungen bzw. Baustoffgemische 2/5, 2/8 oder 2/11 mm sollten auf befahrenen Flächen nicht als Bettungsmaterial eingesetzt werden. Eine Vielzahl von Schäden an Pflasterflächen kann auf die Verwendung derartiger Bettungsmaterialien zurückgeführt werden, die überwiegend keine ausreichende Filterstabilität zum Fugenmaterial ergeben.

Für Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0 sind Gesteinskörnungsgemische zu verwenden, deren Fließkoeffizient der Kategorie $E_{CS}35$ (vgl. TL Pflaster-StB) entsprechen muss. Der Anteil gebrochener Oberflächen muss der Kategorie $C_{90/3}$ entsprechen (vgl. TL Gestein-StB). Die genannten Anforderungen werden in aller Regel nur von gebrochenen Gesteinskörnungen erfüllt. Gesteine, die zur Herstellung von Bettungsmaterial für Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk1,8 und Bk1,0 verwendet werden, sollten einen Zertrümmerungswiderstand aufweisen, der hinsichtlich des Schlagzertrümmerungswertes der Kategorie SZ_{22} , hinsichtlich des Los-Angeles-Wertes der Kategorie LA_{25} entspricht. Für Verkehrsflächen mit besonderen Beanspruchungen sowie generell für die Belastungsklasse Bk3,2 sollten erhöhte Anforderungen an den Zertrümmerungswiderstand des Bettungsmaterials, z. B. Kategorie SZ_{18} bzw. LA_{20} , gestellt werden.

Von besonderer Bedeutung ist die Filterstabilität der Bettung gegenüber der oberen Tragschicht, um ein Abwandern von Bettungsmaterial in die Tragschicht zu vermeiden. Kriterien zur Abschätzung der Filterstabilität sind in den ZTV Pflaster-StB enthalten (Filterregeln und Beispiele siehe Abschnitt 3.5.2 dieses Handbuchs).

Für Bettungsmaterialien nach den aktuellen Technischen Regeln wurden Produkt-Datenblätter erarbeitet, die z. B. unter www.betonstein.org kostenlos heruntergeladen werden können. Die Datenblätter stellen eine erhebliche Erleichterung für den Umgang mit diesen Materialien dar und werden daher zur Anwendung empfohlen.

Einbau des Bettungsmaterials

Das Bettungsmaterial muss gleichmäßig gemischt und durchfeuchtet angeliefert und eingebaut werden. Ein für die spätere Verdichtung günstiger Wassergehalt sollte bereits werksseitig eingestellt werden. An der Einbaustelle wird das Material möglichst ohne Zwischenlagerung zügig auf der Tragschichtoberfläche in möglichst gleichbleibender Dicke verteilt. Erkennbare Entmischungen des Bettungsmaterials sind durch Nacharbeiten zu beseitigen. Im Anschluss wird das Bettungsmaterial mit Lehren auf die geplante Höhe, zuzüglich eines Zuschlages für die Zusammendrückung durch die spätere Verdichtung (das Abrütteln), abgezogen. Die Mehrdicke hierfür (Verdichtungs- oder Vorhaltemaß) ist u. a. abhängig von der Art des Bettungsmaterials. Sie beträgt erfahrungsgemäß, z. B. bei einem kornabgestuften Bettungsmaterial, ca. 20 % bis 25 % der Dicke der abgezogenen, unverdichteten Bettung. Die Verlegung der Pflastersteine sollte möglichst unmittelbar nach dem Vorbereiten der Bettung erfolgen, um Veränderungen des Wassergehaltes im Bettungsmaterial – z.B. durch Austrocknung – zu vermeiden.

Ist eine Handverlegung der Pflastersteine vorgesehen, sollte das Bettungsmaterial nicht vorverdichtet werden. Bei maschineller Verlegung hingegen ist eine Vorverdichtung des Bettungsmaterials zu empfehlen, insbesondere bei Verwendung sandreicher Bettungsmaterialien. Hierdurch werden Verformungen durch das Befahren mit Transport- und Verlegegeräten des bereits verlegten, aber noch nicht abgerüttelten Pflasters verhindert. Die Vorverdichtung sollte vorzugsweise durch Einsatz eines Straßenfertigers mit Vibrationsbohle erfolgen, da dieses Gerät das Abziehen des Bettungsmaterials in einem Arbeitsgang mit dem Vorverdichten erlaubt. Es kann auch mit einer üblichen Vibrationsplatte oder einer leichten statischen Walze (bis 2 t) vorverdichtet werden. Da im Anschluss üblicherweise ein nochmaliges höhen- und profilgerechtes Abziehen der Bettung erforderlich wird, ist es zweckmäßig zuvor eine dünne Schicht Bettungsmaterial gleichmäßig aufzubringen. Das Vorbereiten einer vorverdichteten Bettung hat so zu erfolgen, dass eine homogene Unterlage für die Pflastersteine entsteht und Unebenheiten während der Nutzung vermieden werden.

Die Verdichtung bzw. Endverdichtung der Bettung erfolgt durch das im Anschluss durchzuführende Abrütteln der Pflasterdecke, die dafür eine ausreichende Fugenfüllung aufweisen muss, damit sich die Pflastersteine durch das Abrütteln nicht verschieben können.

3.5.6.3 Pflasterstein und Verlegung

Die Dicke und die Form 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-Nenndicke mindestens 80 mm betragen. In den Belastungsklassen Bk3,2 und Bk1,8 wird die Verwendung von Pflastersteinen mit einer Nenndicke von mindestens 100 mm empfohlen (siehe RStO). Zudem sollten Pflastersteinformen und/oder Pflasterverbände gewählt werden, welche eine gute Lastverteilung in vertikaler Richtung gewährleisten. Bleibende Verformungen, wie Spurrinnen und Längsunebenheiten, können dadurch wirksamer verhindert werden.

Sind hohe Schubbeanspruchungen zu erwarten (z. B. bei Bushaltestellen, Brems- und Beschleunigungsbereiche vor Knotenpunkten bzw. mit großer Längsneigung, Wendestellen), sind Verbundpflastersteine vorzuziehen. Die Steine sollten – sofern es ihre Form erlaubt – im Fischgrätverband verlegt werden. Die Stein-Nenndicke sollte hier in keinem Fall 100 mm unterschreiten.

Steine mit Nenndicken unter 80 mm können für Geh- und Radwege oder sonstige Flächen angewendet werden, wenn die Benutzung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs ausgeschlossen werden kann.

Die Verbundwirkung von Verbundpflastersteinen vermindert die Gefahr von Schäden, wie z. B. das Kippen der Steine (so genanntes Sägezahnpflaster). Derartigen Schäden kann auch bzw. zudem entgegengewirkt werden, wenn die Steine im Diagonal- oder Fischgrätverband angeordnet werden. Bei dieser Art der Verlegung werden beim Überrollen des Pflasters mehr Steine, d.h. auch ein größerer Fugenanteil, vom Fahrzeugrad erfasst und damit zur Lastverteilung herangezogen als bei quer zur Fahrtrichtung verlegten Steinen (Abbildung 3-29).

Eine Verbundwirkung im Pflaster kann sich, unabhängig von Art, Form und Größe der Pflastersteine, nur dann aufbauen, wenn die Fugen eine anforderungsgerechte Breite aufweisen, 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 die Steinform (z. B. Verbundstein) und/oder den Verband (Verlegemuster) kann nur bei vollständig gefüllten Fugen eintreten.

Verlegung von Betonpflastersteinen

Der Bedarf an Steinen pro Quadratmeter verlegter Fläche wird unter Berücksichtigung der bautechnisch erforderlichen Fugenbreiten ermittelt. Dementsprechend wird die Liefermenge an Betonpflastersteinen so bemessen, dass die betreffende Fläche unter Einhaltung des Rastermaßes (und damit unter Berücksichtigung der Normfugenbreite) verlegt werden kann.

Unmittelbar nach Eintreffen der Steine auf der Baustelle ist eine Überprüfung der angelieferten Produkte erforderlich. Hinweise hierzu sind dem Abschnitt „Eigenüberwachung“ der ZTV Pflaster-StB zu entnehmen. Insbesondere ist – zumindest anhand des Lieferscheines, durch Inaugenscheinnahme und gegebenenfalls durch den Vergleich mit Mustersteinen – zu prüfen, ob die Lieferung der Bestellung entspricht und ob die Produkte erkennbar mängelfrei sind. Bestehen Zweifel oder Bedenken, darf mit den Verlegearbeiten nicht begonnen werden, bis eine Klärung der Angelegenheit erfolgt ist. Das Ausbleiben einer unmittelbaren

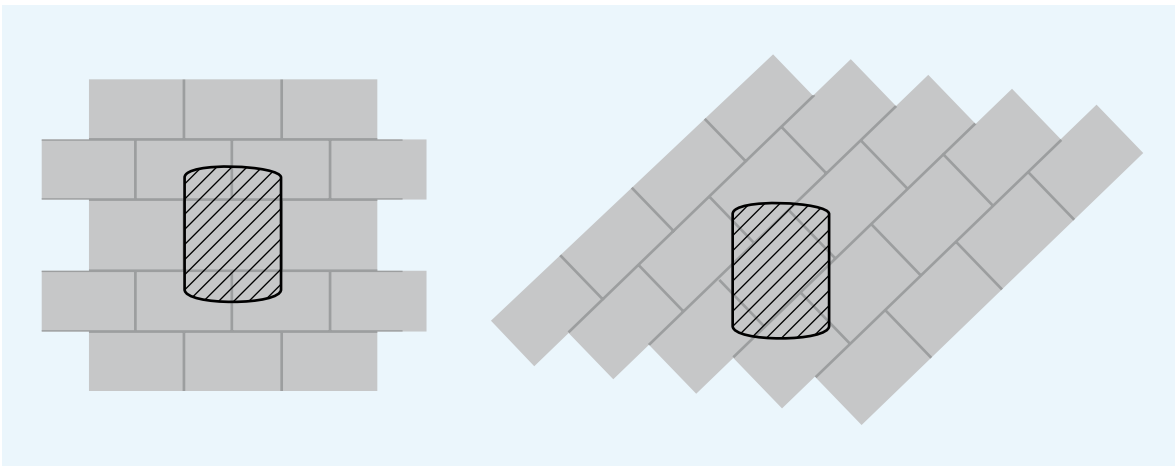


Abbildung 3-29: Aufstandsfläche eines Lkw-Rades auf Rechtecksteinen im Läuferverband, quer und diagonal zur Fahrtrichtung

Mängelrüge kann zum Verlust von Gewährleistungsansprüchen führen.

Pflastersteine müssen fluchtgerecht, höhengleich und im vereinbarten Verband bzw. Verlegemuster verlegt werden. Bei der Verlegung der Pflastersteine ist auf die Ausbildung einer gleichmäßigen Fugenbreite von 3 bis 5 mm zu achten. Bei Steinen mit einer Nenndicke ab 120 mm muss die Fugenbreite, abweichend davon, 5 bis 8 mm betragen. Geradlinige Fugenverläufe sind durch ausreichendes Schnüren in Längs- und Querrichtung sicherzustellen.

Betonpflastersteine werden von der bereits verlegten Fläche aus vor Kopf verlegt. Das vorbereitete Pflasterbett darf nicht betreten werden. Die Verlegung kann erfolgen

- von Hand,
- mit Handverlegegeräten oder
- mit motorisierten Verlegegeräten (Verlegemaschinen).

Dementsprechend unterscheidet sich die Verlegeleistung.

Maschinelle Verlegung
Die Wirtschaftlichkeit eines Maschineneinsatzes ist von der Größe und der Art der herzustellenden Pflasterdecke abhängig. Die Art der Verlegung ist bei Planung sowie bei der Ausschreibung und Bestellung der Pflastersteine zu berücksichtigen, damit diese in verlegegerechter Form geliefert werden können. Nähere Angaben sowie Hinweise zur Planung und Ausführung sind dem „Merkblatt für die maschinelle Verlegung von Betonpflastersteinen“ (SLG, 2004) zu entnehmen.

Entgegen der weit verbreiteten Ansicht, wonach sich maschinenverlegbare Pflastersteine nicht mit ausreichend breiten Fugen verlegen lassen, sei hier betont, dass dies selbstverständlich mit dem heutigen technischen Standard der Verlegegeräte und -maschinen problemlos möglich ist. Dazu müssen die Pflastersteine angeformte Abstandshilfen aufweisen, die im geklammerten Zustand einen Abstand von ca. 2 bis 2,5 mm zwischen den Steinen erzeugen. Durch das Nachlassen der Einspannkraft beim Ablegen der Steine in Verbindung mit einer speziellen Anlegehilfe oder Abdrückvorrichtung (in der Regel bei modernen Verlegemaschinen vorhanden) werden diese aus der Verlegeklammer bogenförmig nach unten heraus abgelegt. Dies bewirkt eine Vergrößerung der Fugenbreite auf das anforderungsgerechte Maß. Das horizontale Aneinanderdrücken der Steine im Anschluss an das Ablegen, z. B. mit Hilfe von Vorschlaghammer und Kantholz, sollte unbedingt unterbleiben. Bei Bedarf ist ein Ausrichten der Steine zur Vergleichmäßigung des Fugenbildes durchzuführen. Dies darf jedoch nicht

Abbildung 3-30: Positivbeispiel – Vorbildlich gepflasterte Anschlüsse im Bereich einer Straßeneinmündung

[Foto: Architekturbüro Sauer, Köthen]

Abbildung 3-31: Positivbeispiel – Handwerklich korrekte Ausführung beim Anschluss an eine schräg verlaufende Randbegrenzung

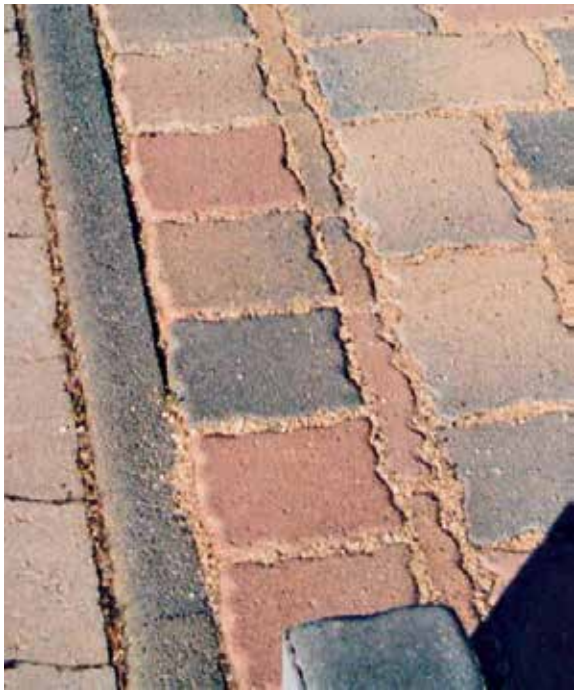


Abbildung 3-32: Negativbeispiel – Eine Reihe viel zu schmaler Pass-Stücke im Anschluss an einen überfahrbaren Gehweg

Abbildung 3-33: Negativbeispiel – Extrem spitz zugeschnittene Pass-Stücke bei einer Grundstückszufahrt

zu knirsch aneinander liegenden Pflastersteinen und zur Unterschreitung der regelgerechten Fugenbreite führen. Der unsachgemäße Einsatz von Richteisen kann zu Kantenabplatzungen an den Steinen führen.

Randausbildung und Anschlüsse bei Pflasterdecken
Bei der Planung von Pflasterflächen sollte die Verlegebreite nach Möglichkeit immer auf das Rastermaß der gewählten Steine abgestimmt werden, um unnötige Schneidearbeiten in den Randbereichen zu vermeiden. Ist es erforderlich, Pass-Steine zu schneiden, darf die kürzere Länge des Pass-Steines nicht kleiner als die Hälfte der größten Kantenlänge des Ausgangssteines sein (vgl. auch ZTV Pflaster-StB). Es können auch Pass-Steine verwendet werden, die größer als der Normalstein sind. Sehr spitz zulaufende Pass-Steine, d. h. Winkel unter 45° sollten vermieden werden. Grundsätzlich sollte immer angestrebt werden, die Anzahl der Pass-Steine auf ein Minimum zu reduzieren. Um diese Vorgaben einhalten zu können, ist es in der Regel erforderlich, den Verband (das Verlegemuster) im Bereich von Anschlüssen zu ändern, obwohl dies gegebenenfalls gestalterischen Vorstellungen widerspricht. Beispiele hierzu sind in den Abbildungen 3-30 und 3-31 dargestellt.

Es ist in der Praxis leider häufig zu beobachten, dass – entgegen den handwerklichen Regeln – Pass-Steine mit ungeeigneten Abmessungen verarbeitet werden (Abbildungen 3-32 und 3-33). Derartige Pass-Steine vermindern die Stabilität der Pflasterdecke, da sie sich meist schon nach kurzer Zeit lockern oder brechen.

Pflasterung in Kurven
Bei befahrenen, insbesondere vom Schwerverkehr genutzten Flächen, ist es besonders wichtig, die Verbundwirkung auch in Kurven aufrecht zu erhalten, da hier hohe Schubkräfte von der Pflasterdecke aufgenommen werden müssen. In Kurven sollten daher spezielle Formsteine, so genannte Kurvensteine oder Kurvensteinsätze, verwendet werden. Die Hersteller bieten in der Regel zu den verschiedenen Verbundpflastersteinsystemen derartige Formsteine an. Bei Geh- und Radwegen kann in Kurven auch der so

[Foto: Wellner]

Abbildung 3-34: Odenwälder Verband aus Rechtecksteinen bei einem kurvenförmig verlaufenden Gehweg

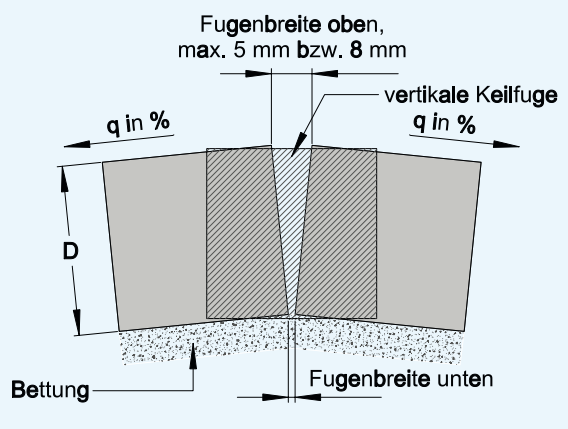


Abbildung 3-35: Prinzip einer vertikalen Keilfuge im Hochpunkt einer Pflasterdecke

genannte Odenwälder Verband ausgeführt werden (Abbildung 3-34).

Ausbildung der Hochpunkte bei Neigungswechseln
Der Ausbildung von Pflasterdecken in den Hochpunkten von Neigungswechseln ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, um Schäden vorzubeugen.

Zum einen entstehen vertikale Keilfugen, die bei Verwendung von besonders dicken Pflastersteinen und entsprechender Neigung besondere Maßnahmen erfordern, um die Fugenbreiten an den oberen und gegebenenfalls auch an den unteren Rändern der Steine zu begrenzen. Dies können sein:

- Fugenbreite am Fuß der Pflastersteine verringern,
- gegebenenfalls Nacharbeiten der unmittelbar betroffenen Pflastersteine durch Unterwinkeln (Abbildung 3-36)
- Ausrunden des Scheitelpunktes, d. h. die Größe einer Keilfuge auf mehrere Fugen verteilen.

Schon bei der Planung ist darauf zu achten, an welcher Stelle der Pflasterdecke vertikale Keilfugen entstehen könnten. Maßnahmen, wie vor beschrieben, sollten dann bereits in der Leistungsbeschreibung vorgesehen werden.

Die Abbildung 3-35 zeigt das Prinzip einer vertikalen Keilfuge im Hochpunkt eines Neigungswechsels. Die Fugenbreite am oberen Rand sollte die maximale Regelfugenbreite nach den ATV DIN 18318 von 5 mm – bzw. von 8 mm bei Steinen mit einer Nenndicke ab 120 mm – nicht überschreiten.

Neben der Entstehung von vertikalen Keilfugen können in den Hochpunkten von Pflasterdecken auch Steinüberstände entstehen, die von den Grundrissabmessungen der verwendeten Steine und der Neigung der Pflasterdecke abhängig sind. Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit der Pflasterdecke, d. h. zur Vermeidung von Stolperkanten, aber auch zur Vermeidung von Rüttelschäden an den Pflastersteinen sind Überstände von mehr als 2 mm zu vermeiden.

Zur Vermeidung oder Verminderung von Überständen können folgende Maßnahmen einzeln oder in Kombination angewendet werden:

- Ausrunden des Scheitelpunktes der Pflasterdecke bei allen Verbänden, d. h. Verringerung der Überstände durch Verteilung auf mehrere Pflastersteine (Abbildung 3-38),
- Verwendung von Pflastersteinen mit reduzierter Länge (im Minimum Halbsteine) im Bereich der Hochpunkte (Abbildung 3-39).

Die Verwendung von Pflastersteinen mit gefasten oder abgerundeten Kanten mindern zwar grundsätzlich die

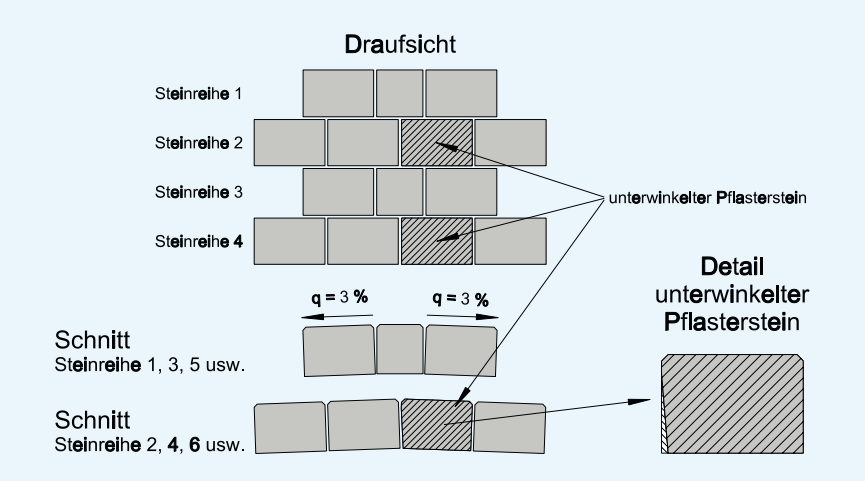


Abbildung 3-36: Beispiel für die fachgerechte Lösung eines Hochpunktes einer Pflasterdecke zur Begrenzung der Fugenbreite durch Nacharbeiten (Unterwinkeln) von Pflastersteinen

Neigung von Kantenabplatzungen, jedoch können Pflastersteine mit kleinen Fasen oder gering abgerundeten Kanten die Problematik der vorbeschriebenen Überstände nicht maßgeblich lösen.

Schon bei der Planung ist daher darauf zu achten, an welcher Stelle der Pflasterdecke Überstände entstehen könnten. Maßnahmen, wie vor beschrieben, sollten dann bereits in der Ausschreibung vorgesehen werden.

Die Abbildung 3-37 zeigt das Prinzip der Bildung von Überständen im Hochpunkt eines Neigungswechsels in Abhängigkeit von der Kantenlänge des Pflastersteins. Der Abbildung kann zudem entnommen werden, ab welcher Steinlänge/Steinbreite bzw. ab welcher Neigung Maßnahmen – wie vor beschrieben – zu empfehlen sind.

3.5.6.4 Fugen, Fugenfüllung, Abrütteln

In der Regelbauweise werden ungebundene Gesteinskörnungen und Baustoffgemische als Fugenmaterial verwendet.

Bei dieser Bauweise muss die Fugenbreite 3 mm bis 5 mm betragen. Bei Verwendung von Pflastersteinen mit einer Nenndicke ab 120 mm muss die Fugenbreite

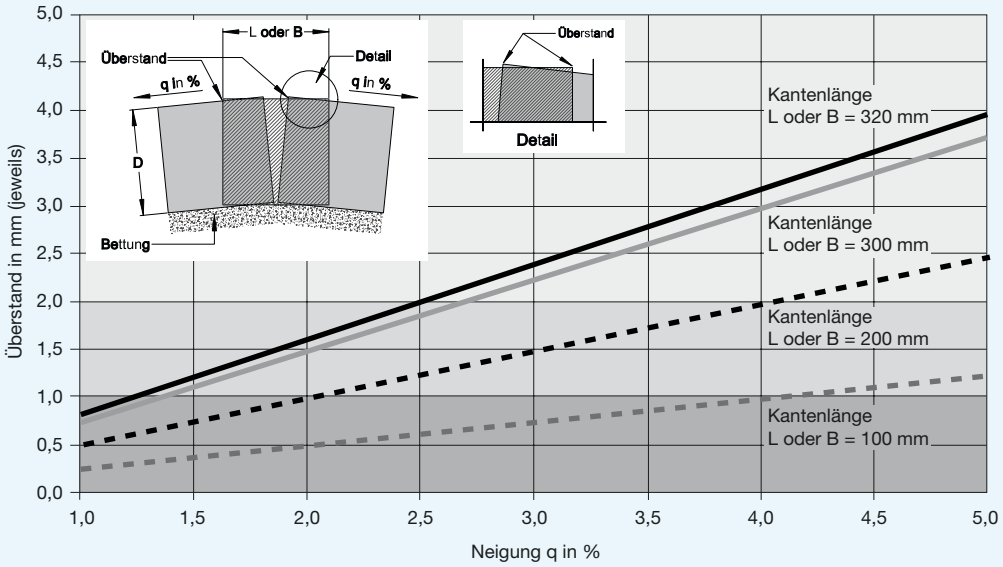


Abbildung 3-37: Überstände in Hochpunkten von Pflasterdecken in Abhängigkeit von der Kantenlänge der Pflastersteine und der Neigung der Pflasterdecke

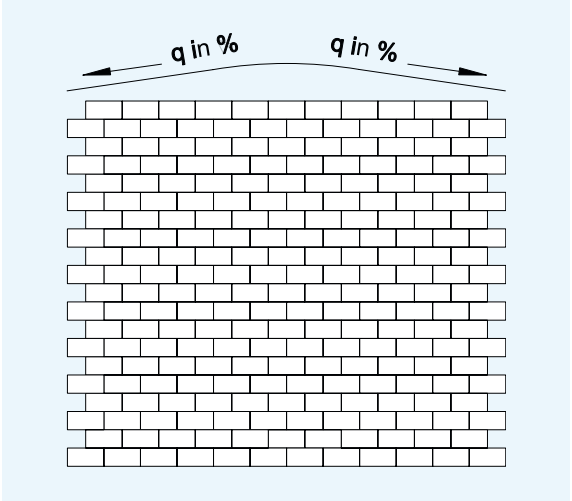


Abbildung 3-38: Beispiel zur Verminderung von Überständen bei einer Pflasterdecke im Bereich des Hochpunktes eines Neigungswechsels durch Ausrunden des Scheitelpunktes

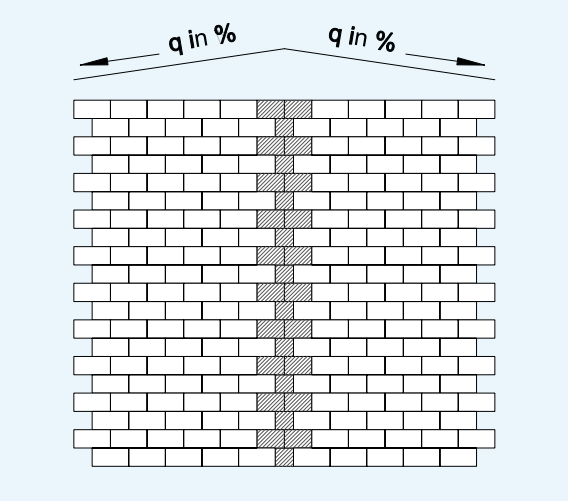


Abbildung 3-39: Beispiel zur Verminderung von Überständen bei einer Pflasterdecke im Bereich des Hochpunktes eines Neigungswechsels durch Verwendung von Pflastersteinen mit reduzierter Länge

hingegen 5 bis 8 mm betragen (vgl. ATV DIN 18318). Die jeweilige Untergrenze der Fugenbreite stellt eine ausreichende Breite sicher, welche noch eine vollständige Verfüllung der Fugen über die gesamte Fugenhöhe – bei Verwendung eines geeigneten Fugenmaterials – ermöglicht. Die jeweilige Obergrenze stellt eine noch ausreichende Abstützung der Steine untereinander und eine gewisse Querkraftübertragung bei vollständiger Fugenfüllung sicher. Eine weitere Aufgabe der Fugen besteht darin, zulässige und unvermeidbare Maßtoleranzen der Steine auszugleichen.

Zu breite Fugen bedeuten nicht nur einen Stabilitätsverlust der Pflasterdecke; sie können auch, insbesondere bei maschineller Reinigung der Pflasterdecke zu einem vermehrten Austrag von Fugenmaterial führen. Darüber hinaus besteht bei zu breiten Fugen die Gefahr, dass Fugenmaterial durch abfließendes Oberflächenwasser ausgespült wird, insbesondere in Bereichen mit hoher Längsneigung.

Die Einhaltung der regelgerechten Fugenbreite ist somit eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine Pflasterdecke mit einem hohen Verschiebewiderstand (Krass, Jungfeld und Rohleder, 2002).

Gegebenenfalls an den Pflastersteinen vorhandene Abstandshilfen entbinden den Ausführenden nicht von der Einhaltung der vorgeschriebenen Fugenbreite (vgl. auch ZTV Pflaster-StB). Die Pressverlegung, also die Verlegung mit unmittelbarem Stein-zu-Stein-Kontakt, ist nicht zulässig (Abbildung 3-40), weil sie das Tragverhalten der Pflasterdecke negativ beeinflusst.

Anforderungen an das Fugenmaterial

Als Fugenmaterial sind gebrochene, kornabgestufte Gesteinskörnungen (frühere Bezeichnung: Brechsand-Splitt-Gemische) besonders geeignet. Das Größtkorn ist auf die Fugenbreite abzustimmen. Das Fugenmaterial sollte einen hohen Widerstand gegen Austragen, z. B. durch Kehrsaugmaschinen, besitzen.

Die ZTV Pflaster StB schreiben Baustoffgemische der Körnungen 0/4 mm, 0/5 mm, 0/8 mm und 0/11 mm als Fugenmaterial vor. Um jedoch ein vollständiges Einkehren des Fugenmaterials zu ermöglichen und ein Blockieren der Fugenöffnung durch gröbere Gesteinskörner zu vermeiden, wird empfohlen, das Größtkorn nicht größer als die maximale Fugenbreite zu wählen. Es sollten daher in der Regel Fugenmaterialien 0/4 und 0/5 verwendet werden.

Bei Einsatz bestimmter Verbundpflastersteinsysteme mit geringeren Fugenbreiten kann die Verwendung eines Gesteinskörnungsgemisches 0/3, hergestellt

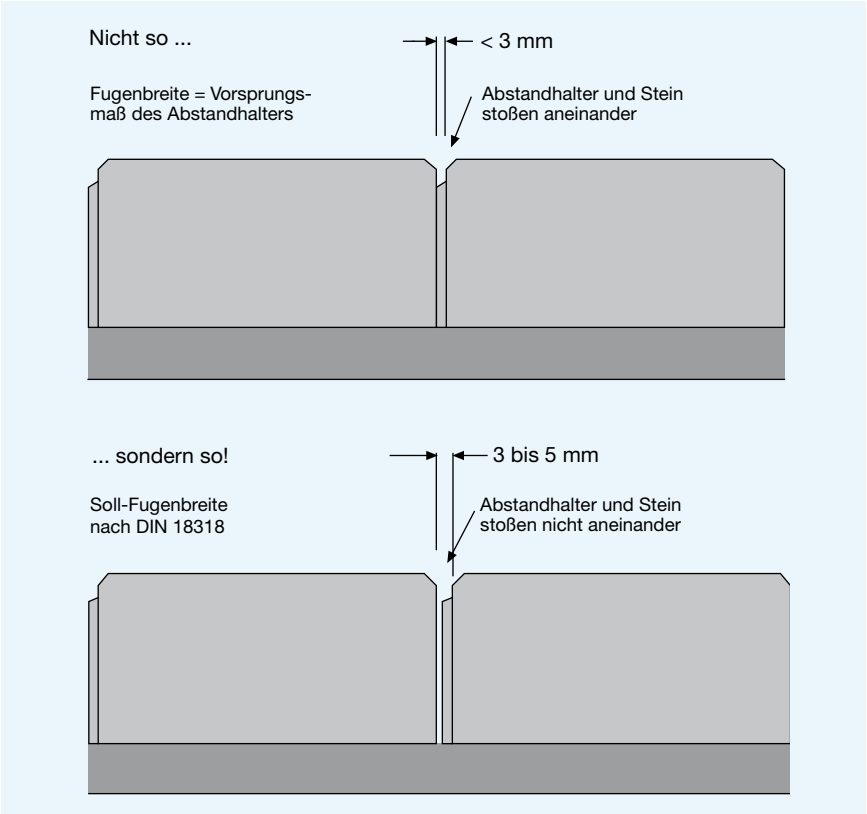


Abbildung 3-40: Pflasterfuge und Abstandshilfe oben: nicht fachgerecht unten: fachgerecht

aus den Gesteinskörnungen 0/2 und 1/3 oder eine Gesteinskörnung 0/2 als Fugenmaterial zweckmäßig sein.

Zur Sicherstellung der notwendigen Frostsicherheit der Fugenfüllung darf das Fugenmaterial einen Feinanteil (Korndurchmesser < 0,063 mm) von höchstens 9 M.-% aufweisen (Kategorie UF_9). Daneben enthalten die TL Pflaster-StB die Forderung nach einem Mindestgehalt an Feinanteilen (Korndurchmesser < 0,063 mm) von 2 M.-% (Kategorie LF_2).

Die Baustoffgemische 0/4 bzw. 0/5 dürfen einen Überkornanteil von höchstens 10 M.-% aufweisen (Kategorie $G_{U,F}$). Bei der Siebgröße, die dem 1,4fachen des Größtkorns entspricht, muss der Durchgang 100 M.-% betragen. Die Gesteinskörnung 0/2 darf einen Überkornanteil von höchstens 15 M.-% aufweisen (Kategorie G_F85). Bei der Siebgröße 4 mm (2D) muss der Durchgang 100 M.-% betragen. Zusätzlich gilt für eine Gesteinskörnung 0/2 aus Rundkorn (ungebrochenes Material), dass der Durchgang bei der Siebgröße 2,8 mm (1,4D) mindestens 95 M.-% betragen muss.

Seit der Ausgabe April 2010 der ATV DIN 18318 wird darin der Begriff „Fugenfüllstoff“ verwendet. In den TL Pflaster-StB wird für denselben Baustoff der Begriff „Fugenmaterial“ verwendet. In diesem Handbuch wird in Anlehnung an die TL ausschließlich der Begriff „Fugenmaterial“ verwendet.

Für Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3 sind Fugenmaterialien mit den nachfolgend aufgeführten Anforderungen hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung gemäß den TL Pflaster-StB zu verwenden:

- Fugenmaterial 0/4 und 0/5 (TL Pflaster-StB 06, Tabelle 11, Zeile 1): Siebdurchgang 30 bis 75 M.-% bei einer Sieböffnungsweite von 2 mm,
- Für Fugenmaterial 0/8 bestehen Anforderungen an den Siebdurchgang durch die Zwischensiebe gemäß Tabelle 12 bzw.13 der TL Pflaster-StB 06.
- Wird ein Fugenmaterial 0/2 verwendet, gilt nach den ZTV Pflaster-StB 06: Siebdurchgang 40 bis 70 M.-% bei einer Sieböffnungsweite von 1 mm.

Darüber hinaus sollte ein besonderer Verlauf der Sieblinie vereinbart werden, um ein gut kornabgestuftes Fugenmaterial zu erhalten. Die empfohlenen Sieblinienbereiche sind den Abbildungen 3-41 bis 3-44 zu entnehmen. Diese geben die vorgenannten Anforderungen wieder und orientieren sich ansonsten an den Empfehlungen des Merkblattes M FP 1.

Für Verkehrsflächen gemäß den Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3 sind ausschließlich Baustoffgemische zu verwenden, deren Fließkoeffizient der Kategorie $E_{CS}35$ entsprechen (vgl. TL Pflaster-StB) muss. Der Anteil gebrochener Oberflächen muss der Kategorie $C_{90/3}$ entsprechen, d. h. der Anteil vollständig und teilweise gebrochener Körner muss 90 bis 100 M.-% betragen; der Anteil vollständig gerundeter Körner darf 3 M.-% nicht überschreiten (vgl. TL Gestein-StB). Diese Anforderungen werden in aller Regel nur von Baustoffgemischen aus gebrochenen Gesteinskörnungen erfüllt.

Baustoffgemische aus rundkörnigen Gesteinskörnungen dürfen gemäß den ZTV Pflaster-StB nicht für Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk0,3 verwendet werden. In einigen Regionen Deutschlands sind im Allgemeinen aber nur rundkörnige Gesteinskörnungen verfügbar. Sollten positive Erfahrungen mit der Verwendung rundkörniger Gesteinskörnungen als Fugenmaterial vorliegen, kann ihre Verwendung erfolgen, wenn dies ausdrücklich im Bauvertrag vereinbart wird. Fugenmaterialien aus rundkörnigen Gesteinskörnungen haben den Vorteil, dass sie sich vergleichsweise leicht in die Fugen einarbeiten lassen; sie bieten allerdings auch einen geringeren Widerstand gegen Fugenaustrag als gebrochene Gesteinskörnungen. Fugenmaterialien aus rundkörnigen Gesteinskörnungen sollten ein Größtkorn von maximal 4 mm und eine gleichmäßig gestufte Korngrößenverteilung aufweisen.

Praxiserfahrungen zeigen, dass Fugenmaterialien 0/4 und 0/5 mm in der Regel nicht vollständig in Fugen der Regelbreite von 3 mm bis 5 mm eingearbeitet werden können. Dies ist einerseits durch den Überkornanteil im Fugenmaterial bedingt. Andererseits behindern einzelne Gesteinskörner, die sich an der Fugenoberkante verkeilen, zudem eine vollständige Fugenfüllung. Im Sinne der durch das Regelwerk geforderten Abstimmung der Korngrößenverteilung des Fugenmaterials auf die Fugenbreite sollte gegebenenfalls die Verwendung eines Fugenmaterials 0/3 als Alternative erwogen werden. Dieses lässt sich beispielsweise durch Mischung von Gesteinskörnungen 0/2 und 1/3 herstellen. Abbildung 3-45 zeigt den empfohlenen Sieblinienbereich für ein Fugenmaterial 0/3, welches den Bedingungen der Filterstabilität zu einem Bettungsmaterial 0/5 gemäß der Abbildung 3-27 genügt.

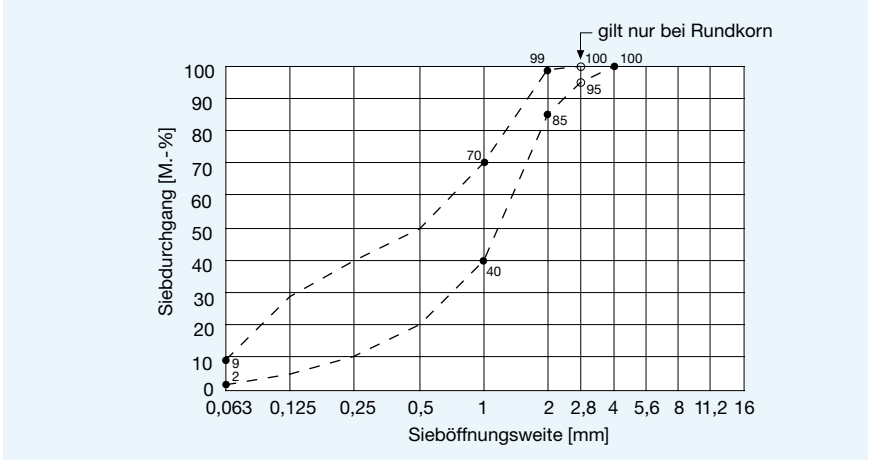


Abbildung 3-41: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Fugenmaterial 0/2

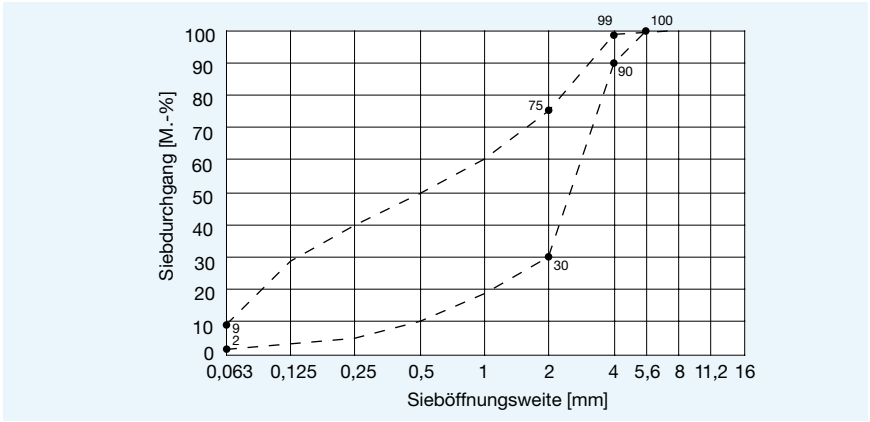


Abbildung 3-42: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Fugenmaterial 0/4

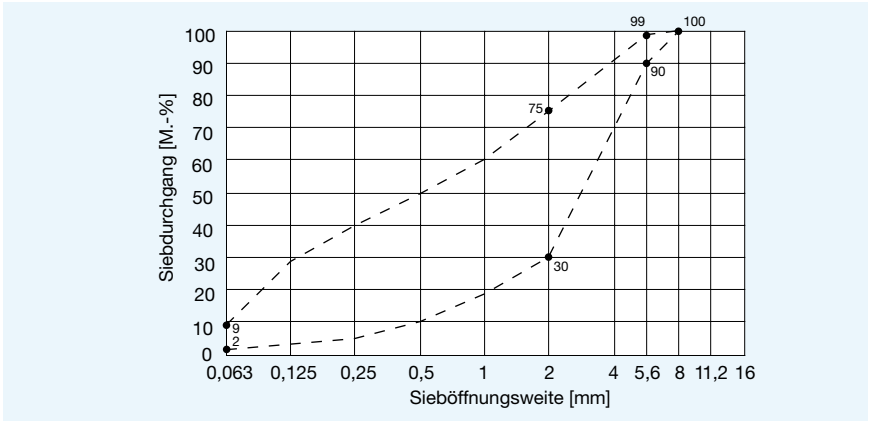


Abbildung 3-43: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Fugenmaterial 0/5

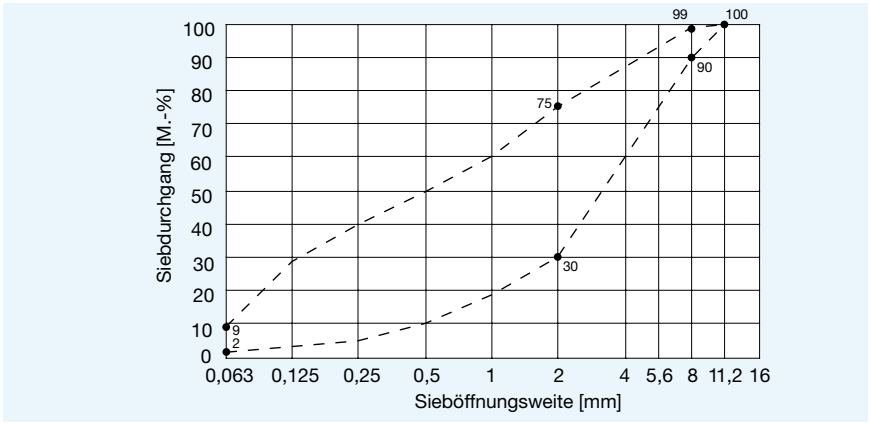


Abbildung 3-44: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Fugenmaterial 0/8

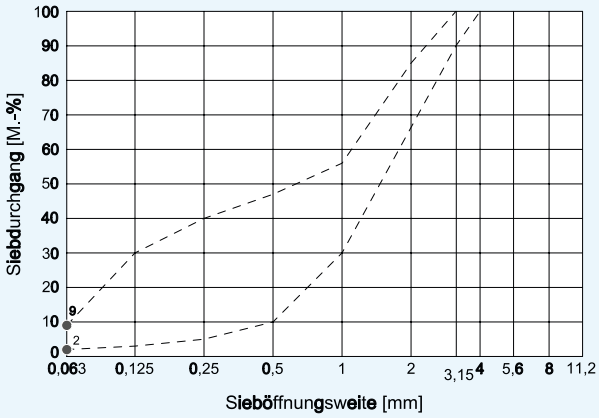


Abbildung 3-45: Empfohlener Sieblinienbereich für ungebundenes Fugenmaterial 0/3, welches filterstabil zu einem Bettungsmaterial 0/5 gemäß der Abbildung 3-27 ist

Von besonderer Bedeutung ist die Filterstabilität des Fugenmaterials gegenüber dem Bettungsmaterial. Ist die Filterstabilität nicht gegeben, kann Fugenmaterial in die Bettung eindringen. Die Fugen bleiben dann nicht dauerhaft gefüllt. Die Lagestabilität der Pflasterfläche wird dadurch gefährdet. Die Abbildung 3-46 zeigt einen dadurch entstandenen Schaden an einer Pflasterdecke, der zudem durch den Kreuzfugenverband begünstigt wurde. Kriterien zur Abschätzung der Filterstabilität sind in den ZTV Pflaster-StB enthalten. Die anzuwendenden Filterregeln sowie Beispiele dazu werden in diesem Technischen Handbuch im Abschnitt 3.5.2 ausführlich behandelt. Sie geben eine Hilfestellung bei der notwendigen Abstimmung der Korngrößenverteilung von Fugen- und Bettungsmaterial.

Für Fugenmaterialien nach den aktuellen Technischen Regeln wurden Produkt-Datenblätter erarbeitet, die z. B. unter www.betonstein.org kostenlos heruntergeladen werden können. Die Datenblätter stellen eine erhebliche Erleichterung für den Umgang mit diesen Materialien dar und werden daher zur Anwendung empfohlen.

Abbildung 3-46: Schadhafte Pflasterfläche durch Abwandern des Fugenmaterials aufgrund fehlender Filterstabilität zwischen Fugen- und Bettungsmaterial

Fugenfüllung, Abrütteln und Fugenschluss

Die Herstellung einer vollständigen Fugenfüllung sowie das Verdichten der Pflasterdecke bis zum Erreichen der Ebenheit und Standfestigkeit durch das Abrütteln sind keine voneinander getrennt zu betrachtenden Arbeitsschritte. Vielmehr muss das Erreichen der vorgenannten Anforderungen prinzipiell als eine Bauaufgabe verstanden werden, bei der die einzelnen Arbeitsschritte wechselweise und gegebenenfalls mehrfach durchgeführt werden. Die nachstehend beschriebene Vorgehensweise hat sich als zweckmäßig erwiesen:

- Das Verfüllen der Fugen erfolgt kontinuierlich mit dem Fortschreiten der Verlegearbeiten. Dazu wird Fugenmaterial auf das Pflaster aufgebracht, gleichmäßig verteilt und ohne Wasserzugabe in die Fugen eingefegt, so dass diese weitgehend gefüllt sind. Damit werden die Pflastersteine soweit fixiert, dass sie sich durch das anschließende, erste Abrütteln nicht verschieben können. Gemäß ZTV Pflaster-StB ist eine Wasserzugabe bereits vor dem ersten Abrütteln durchzuführen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass es zweckmäßig sein kann, auf die Wasserzugabe vor dem ersten Abrütteln

Abbildung 3-47: Vollständige Fugenfüllung nach maschinellem Einschlämmen

zu verzichten. Unverfugte Pflasterflächen dürfen nicht abgerüttelt werden.

- Im Anschluss ist überschüssiges Fugenmaterial zu beseitigen und die Pflasterfläche sauber abzukehren, da sonst die Gefahr von Verunreinigung und Beschädigung der Pflastersteine durch das Abrütteln besteht.
- Das erste Abrütteln (siehe Kasten rechts oben) sollte mit einer leichten Vibrationsplatte erfolgen; es dient weniger der Verdichtung der Pflasterdecke als vielmehr der Mobilisierung des Fugenmaterials, mit dem Ziel, dass sich dieses tiefer in die Fugen einarbeitet, dabei verdichtet und somit Platz für weiteres Fugenmaterial schafft.
- Anschließend wird erneut Fugenmaterial auf das Pflaster aufgebracht, gleichmäßig verteilt und unter begrenzter Wasserzugabe in die Fugen eingeschlämmt (siehe Kasten rechts Mitte).
- Danach ist die Pflasterfläche erneut von überschüssigem Fugenmaterial zu befreien. Der sauber abgekehrte und hinreichend abgetrocknete Belag wird dann mit einer Vibrationsplatte bis zum Erreichen der Ebenheit und Standfestigkeit verdichtet. Mit dem Abrütteln ist aber solange zu warten, bis die Bettung und deren Unterlage ausreichend abgetrocknet sind. In dieser Zeit ist die Pflasterdecke von Fahrzeugen und schweren Geräten freizuhalten.
- Die Arbeitsschritte „Aufbringen von Fugenmaterial“ und „Abrütteln“ sind gegebenenfalls mehrfach zu wiederholen, bis nach einem Abrütteln kein Absacken von Fugenmaterial mehr festgestellt werden kann.
- Nach dem letzten Abrütteln sollte ein Fugenschluss erfolgen. Dazu wird eine feinkornreiche Gesteinskörnung 0/2 in die Fugen eingefegt und eingeschlämmt (siehe Kasten unten). Es kann ein mehrmaliges Einschlämmen erforderlich sein, um die Widerstandsfähigkeit der Fugenfüllung gegen Aussaugen zu verbessern.

Abrütteln

Das Abrütteln erfolgt in mehreren nebeneinander liegenden, sich überlappenden Bahnen. Es ist grundsätzlich von den Rändern beginnend zur Mitte hin bzw. entgegen der Neigung der Pflasterdecke (von unten nach oben) durchzuführen. Durch das Abrütteln der Pflasterfläche erfolgt die Verdichtung bzw. Endverdichtung des Bettungsmaterials. Durch das Verdichten wird zudem 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 nimmt mit zunehmender Vorverdichtung des Bettungsmaterials ab. Das Abrütteln darf den geplanten Fugenverlauf nicht beeinträchtigen.

In der Regel ist die Pflasterdecke nur bei trockener Oberfläche und nur unter Verwendung einer Vibrationsplatte mit Kunststoffmatte abzurütteln. Dies gilt insbesondere für farbiges Pflaster und solches mit besonderer Oberflächengestaltung.

Einschlämmen

Das Einschlämmen kann von Hand 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 (Abbildung 3-47).

Warum Fugenschluss?

Aufgrund der Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen (Rohleder, 2002) kann in Verbindung mit praktischen Erfahrungen davon ausgegangen werden, dass bei Pflasterdecken mit einer erst kurzen Liegedauer (etwa ein bis zwei Jahre unter Verkehr) ein geringerer Verschiebewiderstand vorliegt, als dies bei älteren Pflasterdecken mit deutlich längerer Liegedauer der Fall ist. Dies steht vermutlich in direktem Zusammenhang mit der unter Verkehrsbelastung stattfindenden Nachverdichtung des Fugenmaterials

sowie dem Eintrag von Feinanteilen in die Fugen, der im Laufe der Liegedauer zunimmt und die Pflasterdecke zunehmend stabilisiert.

Durch den Fugenschluss wird das mit zunehmender Liegedauer zu erwartende Eintragen von Feinanteilen in die Fugen und die damit verbundene Zunahme der Stabilisierung der Pflasterdecke quasi vorgezogen. Gleichzeitig wird durch den Fugenschluss der Widerstand gegen Austrag des Fugenmaterials erhöht.

Geeignete Vibrationsplatten

Die zu verwendenden Vibrationsplatten müssen nach Angaben der Hersteller der Vibrationsplatten für den jeweiligen Einsatz geeignet sein (Beispiel siehe Tabelle 3-10). Sie müssen insbesondere hinsichtlich ihres Betriebsgewichtes, ihrer Zentrifugalkraft und ihrer Frequenz auf die Dicke der Pflasterdecke und auf die Beschaffenheit (Steifigkeit) der Unterlage abgestimmt sein. In der Praxis haben sich Frequenzen ab 70 Hz als sinnvoll erwiesen. Vibrationswalzen dürfen für die Verdichtung der Pflasterdecke nicht eingesetzt werden.

Tabelle 3-10: Empfehlungen für Vibrationsplatten mit Kunststoffmatte in Abhängigkeit der Nenndicke der verwendeten Pflastersteine (Quelle: BOMAG GmbH, 2013)

Vibrationsplatte	Gewicht [kg]	≤ 90	90 - 130	130 - 160	200 - 250	380 - 450	400 - 450	500 - 600
	Zentrifugalkraft [kN]	10	18 - 20	20 - 25	30 - 40	45 - 50	55 - 60	70
Nenndicke der Pflastersteine [mm]	60	+	+	+	+	-	-	-
	80 bis 100	-	-	+	+	+	+	+
	≥ 120	-	-	-	-	+	+	+

+ = Anwendung möglich
- = Anwendung nicht empfohlen

4.1 Reinigung

Betonpflasterflächen können mit den üblichen Straßenreinigungsgeräten, also mit Kehr- oder Kehrsaugmaschinen, gereinigt werden. Das Reinigen der Flächen darf allerdings nicht zu einer erheblichen Entleerung der Fugen führen, da dies die Stabilität der Pflasterdecke gefährden würde. Besonders zu beachten ist, dass die maschinelle Reinigung erst einsetzen sollte, wenn sich das Fugenmaterial mit Feinanteilen derart angereichert und verfestigt hat, dass es gegen Fugenaustrag ausreichend widerstandsfähig ist. Je nach örtlicher Lage und Nutzung der Fläche sind hierzu unterschiedlich lange Zeiträume erforderlich.

Wissenschaftliche Untersuchungen, bei denen der horizontale Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken mit einem Spreizgerät gemessen wurde (Krass, Jungfeld und Rohleder, 2002), zeigen, dass neue Pflasterdecken bis zu einem Alter von etwa ein bis zwei Jahren einen geringeren Verschiebungswiderstand aufweisen als ältere bzw. deutlich ältere Pflasterdecken.

In den ersten drei Monaten nach Verkehrsübergabe sollte daher auf eine maschinelle Reinigung gänzlich verzichtet werden und die Reinigung nur von Hand erfolgen. Kehrmaschinen mit Saugwirkung sollten erst nach etwa einjähriger Liegezeit der Pflasterdecke verwendet werden, sofern festgestellt wird, dass sich das Fugenmaterial bis dahin ausreichend stabilisiert hat. Zu bevorzugen sind Kehrsaugmaschinen mit lediglich horizontaler Saugwirkung. Auf Kehrsaugmaschinen mit vertikaler Saugwirkung sollte nach Möglichkeit verzichtet werden.

Führt die Reinigung dazu, dass die Fugen nicht mehr vollständig mit Fugenmaterial gefüllt sind, muss unverzüglich fehlendes Fugenmaterial ergänzt werden. Unvollständig gefüllte Fugen können zu Verschiebungen und Verkantungen einzelner Pflastersteine, insbesondere in stark beanspruchten Bereichen, führen und die Funktionsfähigkeit der Pflasterdecke erheblich einschränken. Der Gefahr des Austrags von Fugenmaterial sollte bereits bei der Planung durch Auswahl eines für die jeweiligen Bedingungen geeigneten Fugenmaterials entgegengewirkt werden (siehe Tabelle 4-1).

Hierzu ist anzumerken, dass der Einsatz von Fugenmörteln keine empfehlenswerte Variante darstellt. Alternativ wird empfohlen, auch in überdachten Bereichen mit ungebundenem Fugenmaterial zu arbeiten und hier auf den Einsatz maschineller Reinigungsgeräte nach Möglichkeit ganz zu verzichten.

4.2 Erhaltung

Betonpflasterdecken haben bei fachgerechter Planung und Ausführung sowie bei sorgfältiger Auswahl der Baustoffe und Baustoffgemische eine lange Nutzungsdauer, die vor allem durch die Dauerhaftigkeit der Tragschichten sowie der Bettung und Fugenfüllung bestimmt wird. Die normgerecht hergestellten Betonpflastersteine selbst haben oftmals eine sehr viel längere Lebensdauer als die mit ihnen hergestellte Verkehrsflächenbefestigung.

Eine regelmäßige Erfassung des Zustandes der Pflasterdecke durch den Baulastträger ist – wie bei anderen Bauweisen auch – erforderlich. Wesentliches Augenmerk ist dabei auf den Zustand der Fugen und der Fugenfüllung zu legen. Sind die Fugen nicht mehr vollständig gefüllt, muss unverzüglich fehlendes Fugenmaterial ergänzt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Pflasterdecke Horizontalkräfte nicht mehr ordnungsgemäß übertragen kann. Verschiebungen und Verkantungen von Pflastersteinen wären die Folge. Weitreichende Schäden an der Fläche wären zu erwarten. Wie die Ergebnisse einer Forschungsarbeit (Rohleder, 2002; Lerch, 2006) zeigen, ist ab einer Fugenentleerung von ca. 20 % der Steindicke/Fugenhöhe bereits die Stabilität der Pflasterdecke

Tabelle 4-1: Fugenmaterial in Abhängigkeit von der Reinigungsart und der Lage der Pflasterdecke (Anforderungen an das Fugenmaterial siehe Abschnitt 3.5.6.4)

Art der Reinigung	Lage der Fläche	Fugenmaterial[1)]
von Hand (trocken)	im Freien	Baustoffgemische aus gebrochenen oder ungebrochenen Gesteinskörnungen der Körnungen 0/4, 0/5, aber auch 0/2
	Überdacht	Baustoffgemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen (Fließkoeffizient Kategorie $E_{CS}35$) der Körnungen 0/4, 0/5, aber auch 0/2
maschinell (Kehren, Saugen, Spülen)	im Freien	Baustoffgemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen (Anteil gebrochener Oberflächen Kategorie $C_{90/3}$, Fließkoeffizient Kategorie $E_{CS}35$) der Körnungen 0/4, 0/5

[1)] Ggf. auch Fugenmaterial als 0/3 (s. Seite 56 und Abbildung 3-45)

gemindert. Im Sinne eines vereinfachten Vorgehens bei der Zustandserfassung ist ab einer Fugenentleerung von 1 cm Tiefe – gemessen ab Oberkante Stein bzw. ab Unterkante Fase – „Unvollständige Fugenfüllung“ zu dokumentieren.

Werden bei der Zustandserfassung Unebenheiten, z. B. als mulden- oder wellenartige Verformung, festgestellt und sind sie so stark ausgeprägt, dass sie einen Wasserrückhalt verursachen können, so sind sie unverzüglich zu beseitigen.

Bei Aufgrabungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten können in der Regel mehr als 90 % der aufgenommenen Steine ohne besondere Aufbereitung wiederverwendet werden. Diese Aussage gilt jedoch nur für die Regelbauweise mit ungebundenen Bettungs- und Fugenmaterialien. Um nicht wiederverwertbare oder fehlende Steine ersetzen zu können, wird empfohlen, je nach Projekt und Steinsorte einen angemessenen Steinvorrat vorzuhalten.

4.3 Aufgrabungen

Betonpflastersteine aus ungebundenen Pflasterdecken lassen sich problemlos abschnittsweise aufnehmen und später an gleicher Stelle wieder verlegen. Die Pflasterbauweise bietet daher den Vorteil, Aufgrabungen, z. B. zur Verlegung oder Reparatur von Ver- und Entsorgungsleitungen, so durchzuführen, dass in der Regel keine optischen und verkehrstechnischen Beeinträchtigungen der Verkehrsfläche verbleiben. Hierzu ist jedoch wesentlich, dass die aufgenommenen Steine sorgfältig zwischengelagert werden, damit sie später für die Wiederherstellung der Pflasterfläche wieder vollständig zur Verfügung stehen. Insbesondere bei größeren Aufgrabungen muss sichergestellt werden, dass keine Steine mit dem Aushubmaterial oder durch Diebstahl verloren gehen. Müssen ersatzweise neue Steine geliefert werden, sind Farbabweichungen zu den bereits vorhandenen Steinen in der Regel gegeben. In Einzelfällen, insbesondere, wenn die Fläche gestalterisch in Teilflächen untergliedert ist, kann es daher zweckmäßig sein, die Pflastersteine einer zusammenhängenden, von der Aufgrabung betroffenen Teilfläche komplett auszutauschen. Lässt sich die Aufgrabungsfläche unter Verwendung der Steine nicht vollständig schließen, so ist ggf. das Schneiden von Pass-Steinen notwendig.

Bei der Herstellung eines Leitungsgrabens oder einer Baugrube ist das Pflaster so breit aufzunehmen, dass beim weiteren Aushub der verbleibende Belag nicht mehr beschädigt oder gelöst wird. Nach den ZTV A-StB muss in einem Bereich, dessen Breite über die Grabenbreite hinausgeht, die Pflasterdecke aufgenommen werden, um die gelockerten Randbereiche der ungebundenen Tragschicht nachverdichten zu können. Es sind deshalb parallel zur Grabenkante Abtreppungen auf jeder Seite der Aufgrabung in einer Breite von mindestens 15 cm bei Grabentiefen bis zu 2,00 m und von mindestens 20 cm bei Grabentiefen von mehr als 2,00 m vorzusehen (vgl. Maß „c“ in Abbildung 4-1). Bei gepflasterten Fahrbahnen und Parkstreifen sind verbleibende Reststreifen mit einer Breite bis zum Pflasterrand von weniger als 40 cm ebenfalls aufzunehmen. Bei Geh- und Radwegen müssen Reststreifen von einer Formatbreite oder einer Breite von bis zu 20 cm einschließlich der eventuell vorhandenen gebundenen Tragschicht entfernt werden.

Je nach vorgefundenem Bettungsmaterial besteht die Gefahr, dass beim Verdichten der Grabenverfüllung oder der ungebundenen Tragschicht Bettungsmaterial unter den Steinen am Grabenrand ausrieselt und sich die Steine lockern. Ist an den Fugenbreiten erkennbar, dass sich der Pflasterverband seitlich neben dem Grabenrand in größeren Bereichen gelockert hat, so sind entsprechend größere Randstreifen, mindestens in Formatbreite, aufzunehmen.

Die gleiche Problematik entsteht, wenn Pflasterdecken in einer ungebundenen Bettung auf einer gebundenen Tragschicht (z. B. Asphalttragschicht) verlegt wurden. Hier muss vor dem Einbau der gebundenen Tragschicht ein Rückschnitt dieser Schicht nach den ZTV A-StB erfolgen, um die darunter befindliche ungebundene Trag- bzw. Frostschutzschicht im Randbereich nachverdichten zu können. In der Pflasterdecke ist eine zusätzliche Abtreppung von einer Formatbreite erforderlich (vgl. Maß „e“ in Abbildung 4-1). Zusätzlich kann die Aufnahme weiterer Pflastersteine notwendig werden, wenn diese sich augenscheinlich gelockert haben. Wurden die Pflastersteine in einer Mörtelbettung auf der gebundenen Tragschicht verlegt, lockern sich diese im Allgemeinen nicht. Die Abtreppung gemäß den ZTV A-StB ist dennoch erforderlich.

Die Wiederherstellung der Pflasterdecke ist nach den Vorgaben der ZTV A-StB, der ZTV Pflaster-StB und den ATV DIN 18318 durchzuführen. Dies gilt insbesondere für die Wiederherstellung von Zwickelflächen oder von Anschlüssen und das damit verbundene Anfertigen von Pass-Steinen.

Gemäß den ZTV A-StB ist das einzubauende Pflaster in Form und Farbe an die vorhandene Pflasterdecke anzupassen. Dort, wo ganze Pflastersteine vorhanden waren, sind auch wiederum ganze Steine in gleicher Farbe zu verwenden. Dabei ist darauf zu achten, dass wiederverwendete Pflastersteine in den Bereichen eingebaut werden, in denen sie aufgenommen wurden. Neue, als Ersatz für beschädigte Pflastersteine zu verwendende Steine sollten in zusammenhängenden Flächen eingebaut werden.

Das für die Wiederherstellung der Aufgrabung zu verwendende Bettungs- und Fugenmaterial sollte dem jeweils vorgefundenen Material entsprechen. Entspricht das vorgefundene Material nicht den Vorgaben der TL Pflaster-StB bzw. den ZTV Pflaster-StB, ist vor der Wiederherstellung mit dem Auftraggeber zu vereinbaren, wie zu verfahren ist.

Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Wiederherstellung ist die sorgfältige Reinigung der aufgenommenen Steine von gegebenenfalls anhaftenden Resten von Bettungs- oder Fugenmaterial (Pflasterkitt). Nur mit sorgfältig gereinigten Steinen kann wieder eine durchgängige, den Technischen Regeln entsprechende Fugenfüllung erreicht werden, die für die Standfestigkeit der Pflasterdecke unabdingbare Voraussetzung ist.

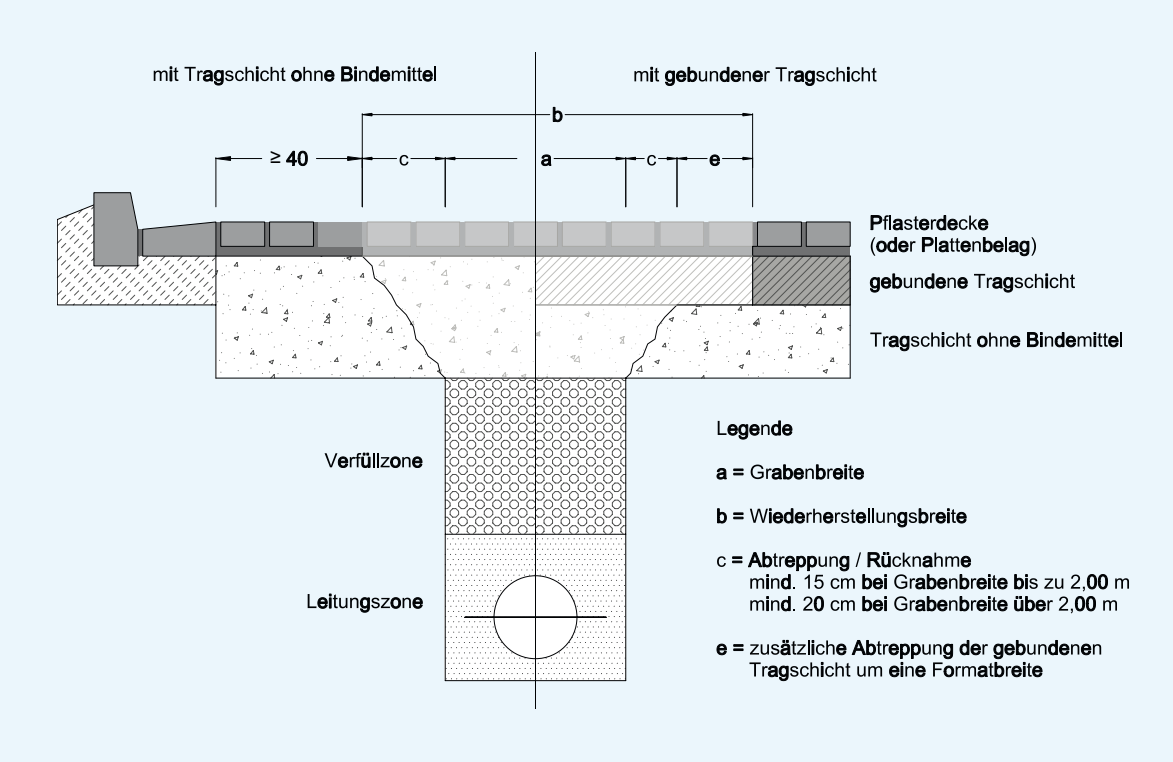


Abbildung 4-1: Abtreppung bei Pflasterdecken und Plattenbelägen gemäß den ZTV A-StB

Die Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen mit Pflasterdecke erfolgt prinzipiell auf der Grundlage der „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO).

Das schrittweise Vorgehen nach den RStO ist im Folgenden detailliert dargestellt:

1. Schritt: Zuordnung der Belastungsklasse

In Abhängigkeit von der Belastung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs können Verkehrsflächen in sieben unterschiedliche Belastungsklassen (Bk100 bis Bk0,3) eingeteilt werden. Bei Fahrbahnen ist als Kenngröße der Verkehrsbelastung die dimensionierungsrelevante Verkehrsbeanspruchung B zugrunde zu legen (Tabelle A-1). Die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B entspricht der Anzahl der gewichteten äquivalenten 10-t-Achübergänge im vorgesehenen Nutzungszeitraum.

Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B
Die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B kann gemäß den RStO nach zwei Methoden ermittelt werden:

- Methode 1 wenn nur $DTV^{(SV)}$-Angaben vorliegen,
- Methode 2 wenn detaillierte Achslastdaten vorliegen.

Methode 1 ist anzuwenden, wenn keine detaillierten Angaben zu Achslasten vorliegen. In diesen Fällen kann aus den $DTV^{(SV)}$-Werten[e] die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B rechnerisch unter Annahme einer durchschnittlichen Anzahl von Achsen je Fahrzeug des Schwerverkehrs sowie die Annahme des Auslastungsgrades der Fahrzeuge über den mittleren Lastkollektivquotienten berechnet werden.

Tabelle A-1: Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B und zugeordnete Belastungsklasse nach den RStO

Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B äquivalente 10-t-Achsübergänge in Mio.				Belastungsklasse
über	32[1)]			Bk100
über	10	bis	32	Bk32
über	3,2	bis	10	Bk10
über	1,8	bis	3,2	Bk3,2
über	1,0	bis	1,8	Bk1,8
über	0,3	bis	1,0	Bk1,0
		bis	0,3	Bk0,3

[1)] Bei einer dimensionierungsrelevanten Beanspruchung größer 100 Mio. sollte der Oberbau mit Hilfe der RDO dimensioniert werden

Methode 2 ist anzuwenden, wenn Achslastdaten vorliegen. Dies können sowohl Angaben aus Achslastwägungen als auch genaue Kenntnisse über die zu erwartenden Fahrzeuge des Schwerverkehrs sein (z. B. bei der Dimensionierung der Befestigung von Industriehöfen oder Busbuchten). Mit Methode 2 sind genauere Ergebnisse zu erwarten als mit Methode 1. Daher sollte Methode 2 vorgezogen werden.

Zu Methode 1
Die Methode 1 beinhaltet das Vorgehen zur Bestimmung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B aus $DTV^{(SV)}$-Werten. Die Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B erfolgt nach folgender Gleichung (Methode 1.1, RStO):

$$B = 365 \cdot q_{Bm} \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^{N} [DTA^{(SV)}_{i-1} \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot (1 + p_i)]$$

$$\text{mit } DTA^{(SV)}_{i-1} = DTV^{(SV)}_{i-1} \cdot f_{Ai-1}$$

mit:

- B Äquivalente 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum
- N Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraumes; in der Regel 30 Jahre
- q_{Bm} Einer bestimmten Straßenklasse zugeordneter mittlerer Lastkollektivquotient (siehe Tabelle A 1.2 der RStO), der die straßenklassenspezifische mittlere Beanspruchung der jeweiligen tatsächlichen Achsübergänge ausdrückt (Quotient aus der Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge und der Summe der tatsächlichen Achsübergänge des Schwerverkehrs (SV) für einen festgelegten Zeitraum in einem Fahrstreifen).
- f_3 Steigungsfaktor (siehe Tabelle A 1.5 der RStO)
- $DTV^{(SV)}_{i-1}$ Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1 [Fz/24h]
- $DTA^{(SV)}_{i-1}$ Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1 [Aü/24h]
- f_{Ai-1} Durchschnittliche Achszahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs (Achszahlfaktor) im Nutzungsjahr i-1 [A/Fz] (siehe Tabelle A 1.1 der RStO)
- f_{1i} Fahrstreifenfaktor im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.3 der RStO)
- f_{2i} Fahrstreifenbreitenfaktor im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.4 der RStO)
- p_i Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.6 der RStO).

[e] $DTV^{(SV)}$: Durchschnittlicher Verkehr der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs (über 3,5 t zul. Gesamtgewicht) in der Einheit [Fahrzeuge/24h].

Ist abzusehen, dass sich über den betrachteten Zeitraum keine Änderung an der Verkehrflächenbefestigung (keine zusätzlichen Fahrstreifen, keine Veränderungen der Fahrbahnbreiten usw.) ergeben, d. h. die Faktoren f_1, f_2, f_3, f_A , und q_{Bm} konstant sind, kann die o. g. Gleichung vereinfacht werden. Die Berechnung kann dann für den Betrachtungszeitraum mit jeweils konstanten Werten für f_1, f_2, f_3, f_A, q_{Bm} und f_z erfolgen. Die Gleichung vereinfacht sich für den Betrachtungszeitraum (N > 1) zu (Methode 1.2, RStO):

$$B = N \cdot DTA^{(SV)} \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365$$

mit $DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A$

f_z ergibt sich zu: $f_z = \dfrac{(1 + p)^N - 1}{p \cdot N}$

mit:

p Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs (siehe Tabelle A 1.6 der RStO).

f_z Mittlerer jährlicher Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs (siehe Tabelle A 1.7 der RStO).

Zu Methode 2

Die Methode 2 beinhaltet das Vorgehen zur Bestimmung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B aus Achslastdaten. Die Achslastdaten können aus Achslastwägungen gewonnen werden, können aber auch anhand der zu erwartenden Verkehrsbelastung abgeschätzt werden. Letzteres ist z. B. möglich bei der Berechnung von B für Verkehrsflächen für Busse oder für industriell genutzte Verkehrsflächen, wenn die zu erwartende Anzahl und Art der Fahrzeuge bekannt sind. Die Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B erfolgt nach folgender Gleichung (Methode 2.1, RStO):

$$B = 365 \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^{N} [EDTA_{i-1}^{(SV)} \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot (1 + p_i)]$$

$$\text{mit } EDTA_{i-1}^{(SV)} = \sum_k \left[DTA_{(i-1)k}^{(SV)} \cdot \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right]$$

mit:

B Äquivalente 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum

N Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraumes; in der Regel 30 Jahre

f_3 Steigungsfaktor (siehe Tabelle A 1.5 der RStO)

$EDTA_{i-1}^{(SV)}$ Durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1

$DTA_{i-1}^{(SV)}$ Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i-1 [Aü/24h]

k Lastklasse, als Gruppe von Einzelachslasten definiert

L_k Mittlere Achslast in der Lastklasse k

L_0 Bezugsachslast: 10 t

f_{1i} Fahrstreifenfaktor im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.3 der RStO)

f_{2i} Fahrstreifenbreitenfaktor im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.4 der RStO)

p_i Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i (siehe Tabelle A 1.6 der RStO). Für das erste Jahr wird $p_1 = 0$ angesetzt.

Ist auch hier abzusehen, dass sich über den betrachteten Zeitraum keine Änderung an der Verkehrflächenbefestigung (keine zusätzlichen Fahrstreifen, keine Veränderungen der Fahrbahnbreiten usw.) ergeben, d. h. die Faktoren f_1, f_2, f_3, als konstant über die gesamte Liegezeit anzusetzen sind, kann die o. g. Gleichung vereinfacht werden. Die Gleichung vereinfacht sich für den Betrachtungszeitraum (N > 1) zu (Methode 2.2, RStO):

$$B = N \cdot EDTA^{(SV)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365$$

f_z ergibt sich wiederum zu: $f_z = \dfrac{(1 + p)^N - 1}{p \cdot N}$

mit:

p Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs (siehe Tabelle A 1.6 der RStO)

f_z Mittlerer jährlicher Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs (siehe Tabelle A 1.7 der RStO)

Die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B entspricht damit der Anzahl der gewichteten äquivalenten 10-t-Achübergänge im vorgesehenen Nutzungszeitraum.

Zuordnung der Belastungsklasse anhand der typischen Entwurfssituation nach RASt

Die Belastungsklasse darf für Innerortsstraßen in Ausnahmefällen auch anhand der typischen Entwurfssituation (früher: Straßenart) zugeordnet werden (Tabelle A-2). Für Busverkehrsflächen, Neben- und Rastanlagen und Abstellflächen erfolgt eine tabellarische Zuordnung der Belastungsklasse (Tabelle A-3 bzw. A-4.1 bzw. A-4.2).

Tabelle A-2: Mögliche Belastungsklassen gemäß den RStO für die typischen Entwurfssituationen nach den RASt

Typische Entwurfssituation	Straßenkategorie	Belastungsklasse
Anbaufreie Straße	VS II, VS III	Bk10 bis Bk100
Verbindungsstraße	HS III, HS IV	Bk3,2 / Bk10
Industriestraße	HS IV, ES IV, ES V	Bk3,2 bis Bk100
Gewerbestraße	HS IV, ES IV, ES V	Bk1,8 bis Bk100
Hauptgeschäftsstraße	HS IV, ES IV	Bk1,8 bis Bk10
Örtliche Geschäftsstraße	HS IV, ES IV	Bk1,8 bis Bk10
Örtliche Einfahrtsstraße	HS III, HS IV	Bk3,2 / Bk10
Dörfliche Hauptstraße	HS IV, ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Quartiersstraße	HS IV, ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Sammelstraße	ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Wohnstraße	ES V	Bk0,3 / Bk1,0
Wohnweg	ES V	Bk0,3

Tabelle A-3: Belastung von Busverkehrsflächen und zugeordnete Belastungsklasse gemäß den RStO

Verkehrsbelastung		Belastungsklasse
über 1400 Busse / Tag		Bk100
über 425 Busse / Tag	bis 1400 Busse / Tag	Bk32
über 130 Busse / Tag	bis 425 Busse / Tag	Bk10
über 65 Busse / Tag	bis 130 Busse / Tag	Bk3,2
	bis 65 Busse / Tag[1)]	Bk1,8

[1)] Wenn die Verkehrsbelastung weniger als 15 Busse/Tag beträgt, kann eine niedrigere Belastungsklasse gewählt werden

Tabelle A-4.1: Verkehrsflächen in Neben- und Rastanlagen und zugeordnete Belastungsklasse gemäß den RStO

Verkehrsart	Belastungsklasse
Schwerverkehr	Bk3,2 bis Bk10
Pkw-Verkehr einschließlich geringem Schwerverkehrsanteil	Bk0,3 bis Bk1,8

Tabelle A-4.2: Abstellflächen und zugeordnete Belastungsklasse gemäß den RStO

Verkehrsart	Belastungsklasse
Schwerverkehr	Bk3,2 bis Bk10
Nicht ständig von Schwerverkehr genutzte Flächen	Bk1,0 / Bk1,8
Pkw-Verkehr (Befahren durch Fahrzeuge des Unterhaltungsdienstes möglich)	Bk0,3

2. Schritt: Ermittlung der Dicke des frostsicheren Oberbaus

Zur Vermeidung von Schäden infolge Frosteinwirkung ist für den Oberbau eine Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus einzuhalten. Diese ist festzulegen in Abhängigkeit von

- der Frostempfindlichkeitsklasse des Bodens gemäß den ZTV E-StB (siehe Anhang B dieses Handbuchs),
- den örtlichen klimatischen Bedingungen, u. a. der Frosteinwirkungszone (siehe Abbildung A-1),
- den örtlichen Verhältnissen (bautechnischen Randbedingungen), welche die Frosteindringung beeinflussen (siehe Tabelle A-7) sowie
- der Belastungsklasse (siehe Tabelle A-1 bis A-4.2).

Die in den DIN 18196 genormten Böden sind hinsichtlich ihrer Frostempfindlichkeit in den ZTV E-StB in die Frostempfindlichkeitsklassen F1 (frostsicher), F2 (frostempfindlich) und F3 (sehr frostempfindlich) eingeteilt.

Dicke des Oberbaus bei nicht frostsicherem Untergrund/Unterbau
Für F2- und F3-Böden ergibt sich die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus durch Addition des Ausgangswertes (Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus (Tabelle A-5)) und der Werte infolge örtlicher Verhältnisse (Tabelle A-7).

Dicke des Oberbaus bei frostsicherem Untergrund/ Unterbau
Es sind keine Frostschutzmaßnahmen notwendig, wenn der Untergrund bzw. Unterbau unmittelbar unter dem Oberbau aus Boden der Frostempfindlichkeitsklasse F1 besteht und wenn die Tiefe 1,2 m (1,3 m bei Frosteinwirkungszone II; 1,5 m bei Frosteinwirkungszone III) unter der Fahrbahnoberfläche beträgt. Die Dicke der anstelle der Frostschutzschicht zu verwendenden Tragschicht ergibt sich dann aufgrund von Tragfähigkeitsanforderungen.

- **Erfüllt** der F1-Boden alle Anforderungen an Frostschutzschichten bezüglich des Verdichtungsgrades D_{Pr} und des Verformungsmoduls E_{v2}, kann die Frostschutzschicht vollständig entfallen. Die übrigen Schichten werden direkt auf dem Untergrund/Unterbau angeordnet. Ihre Reihenfolge und Schichtdicke ergibt sich für die gewählte Bauweise aus Tafel 3 der RStO.
- **Erfüllt** der F1-Boden die Anforderungen an Frostschutzschichten – ausgenommen der Tragfähigkeitsforderung – ist anstelle der Frostschutzschicht

Tabelle A-5: Ausgangswerte für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus gemäß den RStO

Frostempfindlichkeitsklasse	Dicke in cm bei Belastungsklasse		
	Bk100 bis Bk10	Bk3,2 bis Bk1,0	Bk0,3
F2	55	50	40
F3	65	60	50

Tabelle A-6: Anhaltswerte für die aus Tragfähigkeitsgründen erforderlichen Schichtdicken von Tragschichten ohne Bindemittel gemäß den RStO in Abhängigkeit von den E_{v2}-Werten der Unterlage sowie von der Tragschichtart (Dickenangaben in cm)

	E_{v2}-Wert [MPa] auf Oberfläche ToB	≥ 80	≥ 100	≥ 120	≥ 150	≥ 100	≥ 120	≥ 150	≥ 120	≥ 150	≥ 180	≥ 150	≥ 180
		↑				↑			↑			↑	
Art des Tragschichtmaterials	STS [cm]	15*	15*	25	35**	-	20	25	15*	20	30	15*	20
	KTS [cm]	15*	15*	30	50**	-	25	35	20	30		20	
	FSS [cm] aus überwiegend gebrochenem Material	15*	20	30		15*	25						
	FSS [cm] aus überwiegend ungebrochenem Material	20	25	35		-	-						
		↑				↑			↑			↑	
E_{v2}-Wert [MPa] der Unterlage		45				80			100			120	
Unterlage		Planum							Frostschutzschicht				

nicht mögliche Kombination | - nicht gebräuchliche Kombination

15* technologische Mindestdicke mit 0/45
** bei örtlicher Bewährung auch geringere Dicke möglich

eine zusätzliche Tragschicht erforderlich. Ihre Dicke wird anhand des auf dem Planum (Oberfläche des F1-Bodens) vorhandenen Verformungsmoduls E_{v2} und der Anforderung auf der sonst notwendigen Frostschutzschicht festgelegt. Anhaltswerte hierfür können der Tabelle A-6 entnommen werden.

Nach der Ermittlung, ob und in welcher Dicke eine Frostschutzschicht bzw. eine Tragschicht ohne Bindemittel notwendig wird, kann für die jeweilige Bauweise die Dicke der übrigen Schichten aus Tafel 3 der RStO 12 abgelesen werden. Als Summe der Schichtdicken ergibt sich die Oberbaudicke.

Auf die Abbildung der Karte der Frosteinwirkungszonen gemäß den RStO wird hier verzichtet. Die Karte steht u. a. auf der Homepage der Bundesanstalt für Straßenwesen (www.bast.de) sowie auf der Homepage des FGSV-Verlages (www.fgsv-verlag.de) zum kostenlosen Download zur Verfügung. Mit ihr lässt sich für jede örtliche Lage in Deutschland die Frostzone anhand von Gauss-Krüger-Koordinaten exakt bestimmen.

Für Rad- und Gehwege sind bei Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F1 keine Frostschutzmaßnahmen erforderlich. Es ist jedoch eine Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 80$ MPa auf der Unterlage der Pflasterdecke sicherzustellen. Stehen Böden der Frostempfindlichkeitsklassen F2 und F3 an, ist außerhalb geschlossener Ortschaften eine Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus von 30 cm ausreichend. Ungünstige klimatische Bedingungen und Wasserverhältnisse sind auf die Gesamtdicke des Gehweg-/Radweg-Oberbaus anzurechnen. Hierfür sollten örtliche Erfahrungen berücksichtigt werden.

Die Befestigungsdicke von Überfahrten für Kraftfahrzeuge (z. B. Grundstückszufahrten) ist für die jeweils maßgebende Verkehrsbelastung zu ermitteln. Liegen Überfahrten in kurzen Abständen nebeneinander, sollte die für die Überfahrten gewählte Bauweise und maßgebende Dicke im gesamten Geh- und Radwegbereich ausgeführt werden.

Tabelle A-7: Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse gemäß den RStO

Örtliche Verhältnisse		A	B	C	D	E
Frost-einwirkung	Zone I	± 0 cm				
	Zone II	+ 5 cm				
	Zone III	+ 15 cm				
Kleinräumige Klimaunter-schiede	ungünstige Klimaeinflüsse z.B. durch Nordhang oder in Kammlagen von Gebirgen		+5 cm			
	keine besonderen Klimaeinflüsse		± 0 cm			
	günstige Klimaeinflüsse bei geschlossener seitlicher Bebauung entlang der Straße		– 5 cm			
Wasser-verhältnisse im Untergrund	kein Grund- und Schichtenwasser bis in eine Tiefe von 1,5 m unter Planum			± 0 cm		
	Grund- oder Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum			+ 5 cm		
Lage der Gradiente	Einschnitt, Anschnitt				+ 5 cm	
	Geländehöhe bis Damm ≤ 2,0 m				± 0 cm	
	Damm > 2,0 m				– 5 cm	
Entwässerung der Fahrbahn / Ausführung der Randbereiche	Entwässerung der Fahrbahn über Mulden, Gräben bzw. Böschungen					± 0 cm
	Entwässerung der Fahrbahn und Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen					– 5 cm

Tabelle A-8: Bauweisen mit Pflasterdecke für Fahrbahnen auf F2- und F3-Untergund/Unterbau gemäß den RStO

(Dickenangaben in cm; ▼ E_{v2}-Mindestwerte in MPa)

Zeile	Belastungsklasse	Bk100				Bk32				Bk10				Bk3,2				Bk1,8				Bk1,0				Bk0,3			
	B [Mio.]	> 32				> 10 - 32				> 3,2 - 10				> 1,8 - 3,2				> 1,0 - 1,8				> 0,3 - 1,0				≤ 0,3			
	Dicke des frostsicheren Oberbaus[1]	55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65	75	45	55	65	75	45	55	65	75	35	45	55	65
1	**Schottertragschicht auf Frostschutzschicht**[13]																												
	Pflasterdecke[9]																												
	Schottertragschicht																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht													-	-	26[3]	36	-	-	26[3]	36	-	-	33[2]	43	-	18[3]	28	38
2	**Kiestragschicht auf Frostschutzschicht**																												
	Pflasterdecke[9]																												
	Kiestragschicht																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht																	-	-	-	31[2]	-	-	28[3]	38	-	-	23[2]	33
3	**Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material**[13]																												
	Pflasterdecke[9]																												
	Schotter- oder Kiestragschicht																												
	Schicht aus frostunempfindlichem Material																												
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	Ab 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen																											
4	**Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht**																												
	Pflasterdecke[9]																												
	wasserdurchlässige Asphalttragschicht[10]																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht													-	27[3]	37	47	-	27[2]	37	47	-	31[2]	41	51	-	23[2]	33	43
5	**Asphalttragschicht und Schottertragschicht auf Frostschutzschicht**																												
	Pflasterdecke[9]																												
	wasserdurchlässige Asphalttragschicht[10]																												
	Schottertragschicht																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht													-	-	26[3]	36	-	-	26[2]	36	-	20[2]	30	40	-	-	20[2]	30
6	**Asphalttragschicht und Kiestragschicht auf Frostschutzschicht**																												
	Pflasterdecke[9]																												
	wasserdurchlässige Asphalttragschicht[10]																												
	Kiestragschicht																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht																31[2]	-	-	-	31[2]	-	25[3]	35	45	-	-	15[3]	25
7	**Dränbetontragschicht auf Frostschutzschicht**																												
	Pflasterdecke[9]																												
	Dränbetontragschicht (DBT)[10]																												
	Frostschutzschicht																												
	Dicke der Frostschutzschicht													-	-	31[2]	41	-	-	31[2]	41	18[3]	28	38	48	-	18[3]	28	38

[1] Bei abweichenden Werten sind die Dicken der Frostschutzschicht bzw. des frostempfindlichen Materials durch Differenzbildung zu bestimmen, siehe auch Tab. 8 der RStO 12

[2] Mit rundkörnigen Gesteinskörnungen nur bei örtlicher Bewährung anwendbar

[3] Nur mit gebrochenen Gesteinskörnungen und bei örtlicher Bewährung anwendbar

[9] Abweichende Steindicke siehe Abschnitt 3.3.5 der RStO 12

[10] Siehe ZTV Pflaster-StB

[11] Bei Kiestragschichten in Belastungsklassen Bk1,8 und BK3,2 in 40 cm Dicke, in Belastungsklassen Bk0,3 und Bk1,0 in 30 cm Dicke

[13] Anwendung in Bk3,2 nur bei örtlicher Bewährung

[15] Mit E_{v2} ≥ 150 MPa bei bewährten regionalen Bauweisen anwendbar

[19] Nur Schottertragschicht

3. Schritt: Wahl der Bauweise

Die Bauweisen mit Pflasterdecke für Fahrbahnen sind in Tafel 3 der RStO zusammengestellt (Tabelle A-8). Sie sind grundsätzlich bautechnisch geeignet für dimensionierungsrelevante Beanspruchungen (äquivalente 10-t-Achsübergänge) B < 3,3 Mio., d. h. für die Belastungsklasse Bk3,2 bis Bk0,3. Für höhere Verkehrsbelastungen (B > 3,3 Mio.) werden Pflasterdecken nicht empfohlen. Die Bauweisen mit Pflasterdecke sind unter wesentlicher Berücksichtigung der Anforderungen an den Straßenbau in geschlossener Ortslage festgelegt worden. Sie können dabei untereinander und im Vergleich zu den in dieselbe Belastungsklasse eingeordneten Bauweisen mit Asphalt- oder Betondecke hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Nutzungsdauer ungleichwertig sein (vgl. Abschnitt 2.4.1 der RStO 12).

Bauweisen mit Pflasterdecken sind für eine Erneuerung nicht standardisiert. Für die Erneuerung des gesamten Oberbaus gelten folglich die standardisierten Bauweisen gemäß Tafel 3 der RSTO (Tabelle A-8). Die Erneuerung nur der Pflasterdecke kann erfolgen, wenn die vorhandene Unterlage ausreichend tragfähig, eben und wasserdurchlässig ist (siehe Abschnitt 3.5.4). Weiterhin ist auf ausreichende Filterstabilität zwischen Bettungs- und Tragschichtmaterial zu achten (siehe Abschnitt 3.5.2).

Die Bauweisen mit Pflasterdecke für Rad- und Gehwege sind in den RStO 12, Tafel 7, zusammengestellt (Tabelle A-9).

Jede Zeile innerhalb der Tabellen A-8 und A-9 repräsentiert eine Bauweise. Die Auswahl der für die jeweilige Baumaßnahme technisch und wirtschaftlich günstigsten Bauweise kann nach folgenden Gesichtspunkten erfolgen:

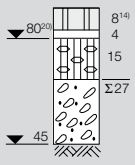
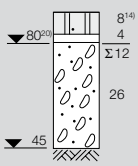
- örtlich verfügbare Baustoffe,
- regionale Erfahrungen,
- Leistungsfähigkeit der in Frage kommenden Bauunternehmen
- zu erwartende Beanspruchung.

4. Schritt: Festlegung der Schichtdicken

Für die gewählte Bauweise werden im entsprechenden Feld (Tabellen A-8 und A-9) die Schichtdicken abgelesen. Die RStO legen 10 cm dicke Pflastersteine für Bk3,2 und Bk1,8, 8 cm dicke Steine für Bk1,0 und Bk0,3 sowie für Rad- und Gehwege als Regeldicke zugrunde. Für Bk3,2 und Bk1,8 können auch Pflastersteine mit größerer Dicke verwendet werden. Kleinere Dicken, jedoch nicht unter 6 cm, können bei Vorliegen ausreichend positiver Erfahrungen mit entsprechenden regionalen Bauweisen angewendet werden. Gemeint

Tabelle A-9: Bauweisen mit Pflasterdecke oder Plattenbelag für Rad- und Gehwege auf F 2- und F 3-Untergrund/Unterbau gemäß den RStO

(Dickenangaben [cm]; ▼ E_{v2}-Mindestwerte in MPa)

Zeile	Bauweise	Pflasterdecke (Plattenbelag)	
	Dicke des frostsicheren Oberbaus	30	40
1	**Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichen Material**		
	Decke		
	Schotter- oder Kiestragschicht		
	Schicht aus frostunempfindlichem Material		
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material[16)]	-	13
2	**ToB auf Planum**		
	Decke		
	Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht		
	Dicke der Schotter-, Kiestragschicht oder Frostschutzschicht	18	28

[14)] Auch geringere Dicke möglich
[16)] Aus 12 cm aus frostunempfindlichen Material, geringere Restdicke ist mit dem darüberliegenden Material auszugleichen
[20)] Bei Belastung durch Fahrzeuge (Wartungs-/Unterhaltungsanspruch) E_{v2} = 100 MPa

sind stets Stein-Nenndicken, die ansonsten üblicherweise in mm angegeben werden, z. B. DIN EN 1338, ATV DIN 18318.

Die festgelegte Dicke des frostsicheren Oberbaus muss auch bei Verwendung von Pflastersteinen beibehalten werden, welche von der Regeldicke abweichen. Die Abweichung wird durch Veränderung der Dicke der Frostschutzschicht oder der Schicht aus frostunempfindlichem Material (bei Mehrdicken) oder der oberen ToB (bei Minderdicken) ausgeglichen. Die Dicke der Frostschutzschicht ergibt sich aus dem festgelegten Maß des frostsicheren Oberbaus abzüglich der Schichtdicken des Pflasters, der Bettung und der Tragschicht.

5. Schritt: Zuordnung der Tragfähigkeit

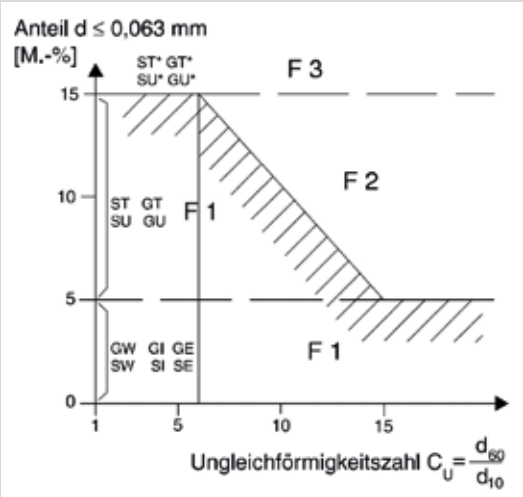
Die für die einzelnen Schichten angegebenen Tragfähigkeitswerte sind Empfehlungen. Für die Ausführung gelten die Anforderungen gemäß den ZTV E-StB und den ZTV SoB-StB (siehe Abschnitte 3.5.3 und 3.5.4).

Anhang B Bodengruppen und ihre Frostempfindlichkeit

Tabelle B-1: Klassifikation von Bodengruppen nach der Frostempfindlichkeit gemäß den ZTV E-StB einschließlich Erläuterungen der Bodengruppen nach der DIN 18196

Frost-empfind-lichkeits-klasse	Frostempfindlichkeit	Bodengruppe nach DIN 18196	Erläuterungen
F1	nicht frostempfindlich	grobkörnige Böden der Gruppen: GW, GI, GE, SW, SI, SE Feinanteil ≤ 0,063 mm: bis 5 M.-%	G= Kies (Grant) S= Sand GW, GI = weit/intermittierend gestufte Kies-Sand-Gemische GE = eng gestufte Kiese SW, SI = weit /intermittierend gestufte Sand-Kies-Gemische SE = eng gestufte Sande
F2	gering bis mittel frostempfindlich	gemischtkörnige Böden GU[1)], GT[1)] SU[1)], ST[1)] Feinanteil ≤ 0,063 mm: 5 bis 15 M.-%	U = Schluff T = Ton GU, SU = Kies-Schluff- und Sand-Schluff-Gemische GT, ST = Kies-Ton- und Sand-Ton-Gemische A = ausgeprägt plastisch H = Torf O = organisch K = kalkige, kiesige Bindungen
		feinkörniger Boden TA Feinanteil ≤ 0,063 mm: über 40 M.-%	
		organogene und Böden mit organischen Beimengungen OT, OH, OK	
F3	sehr frostempfindlich	gemischtkörnige Böden GU*, GT* SU*, ST* Feinanteil ≤ 0,063 mm: über 15 bis 40 M.-%	U= Schluff T = Ton O = organisch K = kalkige, kiesige Bindungen GU, SU = Kies-Schluff- und Sand-Schluff-Gemische GT, ST = Kies-Ton- und Sand-Ton-Gemische L = leicht plastisch M = mittel plastisch A = ausgeprägt plastisch O = organisch
		feinkörnige Böden TL, TM, UL, UM, UA Feinanteil ≤ 0,063 mm: über 40 M.-%	
		organogener und Boden mit organischen Beimengungen OU	

[1)] Zu F1 gehörig bei einem Anteil an Korn unter 0,063 mm von 5,0 M.-% bei $C_U \geq 15{,}0$ oder 15,0 M.-% bei $C_U \leq 6.0$. Im Bereich $6{,}0 < C_U < 15{,}0$ kann der für eine Zuordnung zu F1 zulässige Anteil an Korn unter 0,063 mm linear interpoliert werden (s. Bild).



Normen

DIN 483 Bordsteine aus Beton, Ausgabe Oktober 2005; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2005

DIN EN 932-1 Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1: Probenahmeverfahren, Ausgabe November 1996; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 1996

DIN EN 932-2 Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben, Ausgabe März 1999; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 1999

DIN EN 1338 Pflastersteine aus Beton, Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabe August 2003; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2003

DIN EN 1339 Platten aus Beton, Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabe August 2003; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2003

DIN EN 1340 Bordsteine aus Beton, Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabe August 2003; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2003

DIN EN 1433 Entwässerungsrinnen für Verkehrsflächen – Klassifizierung, Bau- und Prüfgrundsätze, Kennzeichnung und Beurteilung der Konformität, Ausgabe 2002 + AC:2004 + A1:2005; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2005

DIN EN 13198 Betonfertigteile – Straßenmöbel und Gartengestaltungselemente, Ausgabe 2003; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2003

ATV DIN 18299 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

ATV DIN 18300 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

ATV DIN 18315 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Verkehrswegebauarbeiten – Oberbauschichten ohne Bindemittel, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

ATV DIN 18316 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Verkehrswegebauarbeiten – Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

ATV DIN 18317 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Verkehrswegebauarbeiten – Oberbauschichten aus Asphalt, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

ATV DIN 18318 Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

DIN 18125-2 Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens, Teil 2: Feldversuche, Ausgabe März 2011; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2011

DIN 18127 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch, Ausgabe September 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

DIN 18130-1 Baugrund – Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes, Teil 1: Laborversuche, Ausgabe Mai 1998; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 1998

DIN 18134 Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Plattendruckversuch, Ausgabe April 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2012

DIN 18196 Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, Ausgabe Mai 2011; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2011

DIN V 18500 Betonwerkstein, Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung, Ausgabe Dezember 2006; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2006

DIN 18501 Pflastersteine aus Beton, Ausgabe November 1982; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 1982 (zurückgezogen)

DIN 32984 Bodenindikatoren im öffentlichen Raum, Ausgabe Oktober 2011; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.); Berlin 2011

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen, Technische Lieferbedingungen, Richtlinien, Merkblätter, Empfehlungen, Arbeitspapiere

(herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV; Köln)

EAR 05 Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs, Ausgabe 2005; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2005

EAÖ Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs, Ausgabe 2003; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2003

EFA Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen, Ausgabe 2002; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2002

ERA Empfehlungen für Radverkehrsanlagen, Ausgabe 2010; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2010

ESG Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete, Ausgabe 2011; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2011

Merkblatt für die Herstellung von Trag- und Deckschichten ohne Bindemittel, Ausgabe 1995; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 1995

Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau, Ausgabe 2003; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2003.

M DBT Merkblatt für Dränbetontragschichten, Ausgabe 2013; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2013

M Geok E-StB Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues, Ausgabe 2005; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2005

H BVA Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen, Ausgabe 2011; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2011

M FP 1 Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen, Teil 1: Regelbauweise (Ungebundene Ausführung), Ausgabe 2003; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2003 (in Überarbeitung)

M VV Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen, Ausgabe 2013; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2013

RAS-Ew Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung, Ausgabe 2005; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2005

RAS-L Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Linienführung, Ausgabe 1995, berichtigter Nachdruck 1999; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 1999

RASt 06 Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, Ausgabe 2006; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2006

RStO 12 Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2012

RuA-StB 01 Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau, Ausgabe 2001; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2001

TL Asphalt-StB Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, Ausgabe 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007

TL Beton-StB 07	Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
TL Geok E-StB	Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaues, Ausgabe 2005; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2005
TL Pflaster-StB 06	Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen, Ausgabe 2006; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln
TL SoB-StB 04	Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
TL G SoB-StB 04	Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Teil Güteüberwachung, Ausgabe 2004; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2004
TL Gestein-StB 04	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
TP BF-StB Teil E 2	Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau Teil E 2: Flächendeckende dynamische Prüfung der Verdichtung, Ausgabe 1994; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 1994
TP BF-StB Teil B 8.3	Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2012
TP Eben – Berührende Messungen	Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil Berührende Messungen, Ausgabe 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
TP Eben – Berührende Messungen	Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil Berührungslose Messungen, Ausgabe 2009; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2009
TP Gestein-StB Teil 8.1.1	Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Teil 8.1.1: Bestimmung der Proctordichte, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2012
TP Gestein-StB Teil 8.3.2	Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Teil 8.3.2: Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Modifizierten Standrohr-Infiltrometer – in situ-Verfahren, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2012
ZTV A-StB 12	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2012
ZTV Asphalt-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Ausgabe 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
ZTV Ew-StB 91	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Entwässerungseinrichtungen im Straßenbau, Ausgabe 1991, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 1991
ZTV Fug-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Fugenfüllungen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2001; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2001

ZTV SoB-StB 04	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2007
ZTV E-StB 09	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2009; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2009
ZTV Pflaster-StB 06	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen, Ausgabe 2006; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.); Köln 2006

Literatur

Bomag Fayat Group: Light Equipment Empfehlungen Pflasterbau; Folienpräsentation; BOMAG GmbH, Boppard 2013

Borgwardt, S.; Gerlach, A.; Köhler, M.: Versickerungsfähige Verkehrsflächen – Anforderungen, Einsatz und Bemessung; Springer Verlag; Berlin Heidelberg 2000

Gleitz, T.; Roßberg, K.; Wellner, F.: Dynamische Belastungsversuche an Pflasterkonstruktionen, Forschungsbericht; Schriftenreihe des Lehrstuhls Straßenbau der Technischen Universität Dresden, Fachbereich Bauingenieurwesen, Heft 2; 1995

Koch, C.; Roßberg, K.; Wellner, F.; Gleitz, T.; Leutner, R.; Abu-Khiarah, M.; Dröge, C.: Untersuchung über die Verteilung von auftretenden Schub- und Torsionskräften in Pflasterbelägen; Schlussbericht zum Forschungsprojekt 6.058 des Bundesministeriums für Verkehr; Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität Dresden, Universität Stuttgart, Technische Universität Braunschweig; 1997

Krass, K.; Görener, E.: Anforderungen an das Bettungs- und Fugenmaterial für Pflasterdecken bei statischer und dynamischer Verkehrsbeanspruchung; Schlussbericht zum Forschungsprojekt 6.078 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; Ruhr-Universität Bochum, Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau; Bochum 2005

Krass, K.; Jungfeld, I.; Rohleder, M.: Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken; Schlussbericht zum AIF-Forschungsprojekt 12126 N; Ruhr-Universität Bochum, Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau; Bochum 2005

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen / Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Leitfaden 2012 „Barrierefreiheit im Straßenraum“, Gelsenkirchen 2012

Lerch, T.: Untersuchungen zum Verformungsverhalten von Betonpflasterkonstruktionen unter praxisrelevanter Belastung; Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Schriftenreihe Professur für Straßenbau, Heft 15; 2006

Mentlein, H.: Pflaster Atlas – Planung, Konstruktion und Herstellung, 3., aktualisierte Auflage; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller; Köln 2009

Rohleder, M.: Horizontale Verschiebungen in Pflasterdecken und deren Visualisierung; Schriftenreihe des Instituts für Straßenwesen und Eisenbahnbau der Ruhr-Universität Bochum, Heft 15; Bochum 2002

Shackel, B.: An Experimental Investigation of the Roles of the Bedding and Jointing Sands in the Performance of Interlocking Concrete Block Pavements; in: Concrete / Beton, No. 19/1980

Shackel, B.: Handbuch Betonsteinpflaster, Bemessung, Konstruktion, Ausführung; Beton-Verlag; Düsseldorf 1996

SLG: Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau e.V. (Hrsg.): Merkblatt für die maschinelle Verlegung von Betonpflastersteinen; Bonn 2004

SLG: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (Hrsg.): Begriffe von A-Z (Erläuterung von Fachbegriffen); http://www.betonstein.de/technik/begriffe-von-a-z.html; Bonn 2005

SLG: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (Hrsg.): Verkehrsflächenbefestigungen – Vergleichende Ökobilanz von Oberbaukonstruktionen, Beispiel Wohnsammelstraße; Bonn 2011

SLG: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (Hrsg.): Verkehrsflächenbefestigungen – Vergleichende Ökobilanz von Oberbaukonstruktionen, Beispiel Gehweg; Bonn 2011

SLG: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (Hrsg.): Verkehrsflächenbefestigungen – Vergleichende Ökobilanz von Oberbaukonstruktionen, Beispiel Repräsentative Verkehrsfläche; Bonn 2012

Velske, S.; Mentlein, H.; Eymann, P.: Straßenbau Straßenbautechnik, 7. Auflage; Werner Verlag; Köln 2013

Voß, K.-U.: Ausblühungen auf Betonwaren – Ursachen und Einflussgrößen; in: BWI – Betonwerk International, Heft 5/2013, S. 16-24, und Heft 6/2013, S. 80-84; 2013

Wellner, F.: Tragschichten unter Pflasterdecken; in: Die Naturstein-Industrie, Heft 4/2001, S. 12-18; 2001

Wellner, F.; Leutner, R.; Lerch, T.; Numrich, R.; Hampel, U.; Lorenzl, H. : Weiterführende Untersuchungen zum Verhalten von Pflasterdecken unter horizontaler Belastung; Schlussbericht zum Forschungsprojekt 6.072 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau; Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen; 2003

Anhang D Stichwortverzeichnis

Abdrückvorrichtung 51
Abrütteln 14, 49, 54, 58, 59
Abstandshilfe 51, 55
Abziehen, der Bettung 49
Anlegehilfe 51
Asphalttragschicht 30, 36, 37, 62
Aufgrabungen 17, 62
Ausblühungen 10, 15
Austrag, von Fugenmaterial / Fugenaustrag 55, 56, 60, 61

Beanspruchung, dimensionierungsrelevant 19, 20, 34, 65, 66, 71
Befestigung außerhalb geschlossener Ortslage 18
Befestigung in geschlossener Ortslage 18
Belastungsklasse 7, 8, 19, 20, 21, 22, 30, 33, 34, 36, 37, 45, 48, 49, 50, 56, 65, 66, 67, 68, 71
Bereiche, überdacht 61
Betonelemente, großformatige 3
Bettungsdicke 5, 35, 46, 47
Bettungsmaterial, Anforderungen 6, 12, 22, 23, 25, 26, 27, 32, 33, 36, 47, 48, 49
Bettungsmaterial, Einbau 47, 49, 59
Bettungsstoff 47
Bewegungsfugen 40, 41, 43
Boden, feinkörnig 28, 73
Boden, frostempfindlich 5, 20, 68, 69, 73
Boden, frostsicher 5, 21, 30, 68
Boden, gemischtkörnig 24, 73
Boden, grobkörnig 73
Boden, wasserempfindlich 19, 28, 29
Bodenaustausch 28
Bodengruppen 28, 30, 34, 73
Bodenverbesserung 28
Bodenverfestigung 28

Dimensionierung 3, 16, 19, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72
DIN EN 1338 ..... 8, 9, 10, 14, 15
Dränbetontragschicht 16, 30, 36, 70

Einbaudicke 35
Einbauwassergehalt 33
Einsatzbereiche 7
Einsatzgrenzen 7
Einschlämmen 59
Entwässerung 3, 16, 17, 18, 19, 28, 29, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 69
Entwässerung, Planum 18, 19, 28, 29
Entwässerungseinrichtung 16, 18 19
Entwässerungsrinnen 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43
Entwurfssituation, typische 16, 20, 66, 67
Erdarbeiten 16
Erhaltung 3, 16, 39, 61

Fahrbahn 7, 18, 19, 36, 37, 40, 62, 65, 66, 68, 69, 70, 71
Farbabweichungen 10, 13, 14, 15, 62
Feinanteile 21, 22, 30, 32, 47, 56, 60, 61
Filterregeln 22, 23, 49, 58
Flächendeckende Verdichtungskontrolle 29, 35
„Frisch in frisch“ 39
Frosteinwirkungszone 68, 69
Frostempfindlichkeitsklasse 68, 69, 73
Frostschutzschicht 5, 18, 20, 21, 22, 24, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 42, 62, 68, 69, 70, 71, 72
Frostsicherheit 19, 21, 32, 47, 56
frostunempfindliches Material 30, 34, 70, 71, 72
Fugenachsen 13
Fugenaustrag 56, 61
Fugenbreite 5, 13, 39, 41, 43, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 62
Fugenfüllstoff 56
Fugenmaterial, Anforderungen 55, 56, 57, 58, 59
Fugenmörtel 40, 41, 43, 61
Fugenschluss 41, 58, 59, 60
Fugenverlauf 13, 51, 59
Fundament 37, 38, 39, 40, 42, 43, 45

Haftbrücke 38, 39
Horizontalkräfte 9, 11, 38, 40, 61

Infiltrationsbeiwert 21, 29, 35, 36

Kantenabplatzungen 14, 52, 54
Keilfuge 9, 53
Kiestragschicht 5, 21, 30, 34, 70, 71
Korngrößenverteilung 30, 33, 48, 56, 58
Kornzertrümmerung 6, 21, 30, 32, 47, 49
Knirschverlegung, Pressverlegung 52, 55
Kunststoffmatte 59, 60
Kurvensteine 9, 52

Längsneigung 17, 43, 50, 55
Langzeitverhalten 12, 13
Lastverteilung 13, 50

Mindestanforderung 10, 34, 40
Mindestquerneigung 18
Mörtelstrich 41, 43
Muldenrinne 42, 44, 45

Nachbehandeln 39
Nebenprodukte, industrielle 33
Neigung 17, 18, 19, 29, 36, 37, 42, 43, 46, 47, 50, 53, 54, 59
Neigungswechsel 53, 54
Nenndicke 47, 50, 51, 53, 54, 60, 72
Nennmaß 10, 11, 12, 39
Nutzungsdauer 5, 15, 16, 19, 22, 30, 32, 36, 38, 39, 49, 61, 71

Nutzungszeitraum 65, 66

Oberbau, frostsicher....5, 20, 68, 69, 70, 71, 72
Oberflächenentwässerung 16, 17
Oberflächentextur....7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 45
Odenwälder Verband....52, 53

Pass-Steine 52, 62
Pflasterbettung 30, 47
Pflasterflächen, versickerungsfähige....3, 8, 16, 29
Pflasterfugenmasse....41, 45
Planum 5, 18, 19, 28, 29, 33, 34, 68, 69, 71
Planumsentwässerung 19, 28, 29
Plattendruckversuch 20, 29, 33, 34, 35
Pressverlegung....52, 55
Proctordichte....29, 35
Proctorkurve....33

Querkraftübertragung....55
Querneigung....18, 19, 29

Randeinfassung....11, 12, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46
Rastermaß 10, 11, 12, 46, 50, 52
Recycling-Baustoffe 33
Regelanforderung....10, 40
Regelbauweise 3, 11, 17, 22, 45. 54, 62, 75
Regeldicke....71, 72
Reinigung 15, 55, 61, 63
Rückenstütze....37, 38, 39, 40, 42, 43

Scheitelpunkt....53, 54
Schichtdicken....3, 20, 22, 68, 69, 71, 72
Schlagzertrümmerungswert 32, 49
Schneidearbeiten 9, 46, 52
Schottertragschicht..5, 21, 25, 30, 32, 33, 34, 35, 70
Schrägneigung 17
Schubbeanspruchung....50
Schubkräfte....52
Schwerverkehr, Schwerverkehrsbelastung....6, 7, 8, 20, 37, 42, 45, 50, 52, 65, 66, 67
Sieblinienbereich 30, 32, 48, 56, 57, 58
Spurrinnen....11, 21, 46, 47, 50
Standardbauweise, standardisierte Bauweise 19, 20, 21, 30, 33, 71
Standfestigkeit 58, 59, 63
Steinformen....8, 50
Stein-Nenndicke, siehe Nenndicke
Steinüberstände, siehe Überstände
Straßenkategorie....16, 67

Texturabweichungen 10, 13, 14, 15
Tragfähigkeit....18, 19, 20, 21, 22, 28, 29, 30, 33, 35, 42, 46, 68, 69, 71, 72
Tragschicht ohne Bindemittel....5, 16, 20, 21, 22, 28, 29, 30, 34, 35, 68, 69
Tragschicht, Asphalt – Asphalttragschicht....16, 30, 36, 37, 62, 70
Tragschicht, Dränbeton – Dränbetontragschicht...16, 30, 36, 70
Tragschicht, Kies – Kiestragschicht.....5, 21, 30, 32, 34, 35, 70, 71
Tragschicht, Schotter – Schottertragschicht.....5, 21, 25, 30, 32, 33, 34, 35, 70, 71

Überstände – Steinüberstände....53, 54
Ungleichförmigkeitszahl 22, 23, 32
Unterbau....5, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 28, 29, 30, 33, 68, 70, 71
Untergrund 5, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 28, 29, 30, 33, 68, 69, 70, 71
Unterlage....5, 14, 15, 21, 37, 39, 42, 46, 49, 59, 60, 68, 69, 71

Verband 10, 11, 12, 13, 46, 50, 51, 52, 53, 58, 62
Verbund 8, 9, 11, 38, 50, 52
Verbundpflastersteine....8, 9, 11, 52, 50, 55
Verbundwirkung 9, 50, 52
Verdichtung 5, 6, 16, 21, 28, 29, 33, 34, 36, 39, 46, 49, 59, 60
Verdichtungsgrad 22, 28, 29, 33, 34, 35, 36, 68
Verdichtungsmethode 28
Verdichtungsprüfung/-kontrolle....29, 34, 35
Verdrückungen 28, 33, 47
Verformung....6, 33, 47, 49, 50, 62
Verformung, elastische....22
Verformung, plastische....6, 12, 21, 22, 47, 50
Verformungsbeständigkeit 21, 22, 28, 29, 30
Verformungsmodul....20, 21, 28, 29, 33, 34, 35, 36, 68, 69
Vergleichsmuster....13
Verkehrsbelastung/-beanspruchung....5, 6, 7, 8, 11, 19, 20, 21, 28, 29, 30, 45, 47, 49, 59, 65, 66, 67, 69, 71
Verlegemuster....10, 11, 13, 45, 46, 50, 51, 52
Verlegung....8, 13, 14, 15, 49, 50, 51, 55, 62
Verlegung, maschinelle....9, 13, 49, 51
Verschiebung, Verschiebungswiderstand 6, 13, 37, 61
Vertikalbelastung....12, 13
Vibrationsplatte 49, 59, 60
Vorverdichtung 49, 59

Wasserdurchlässigkeit....15, 19, 21, 22, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 46, 47, 70, 71
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert....35, 36
Wassergehalt....33, 49

Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler (links)
Geboren 1960 in Hildesheim. Studium des Bauingenieurwesens, Vertiefungsrichtung „Verkehrswesen“, an der Universität Hannover; 1989 bis 1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet „Konstruktiver Straßenbau“ im Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover; 1995 Promotion zum Dr.-Ing. mit der Dissertation „Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung des strukturellen Zustandes flexibler Fahrbahnbefestigungen“; 1995 bis 1997 Lehraufträge an der Universität Hannover und an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminden, seit 1998 Professor für das Lehrgebiet „Straßenwesen, insbes. Erd- und Straßenbau“ am Fachbereich Bauingenieurwesen der Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold; Lehr- und Forschungsschwerpunkte: Dimensionierung, Betriebsverhalten und Erhaltung, besonders von innerörtlichen Verkehrswegebefestigungen sowie Infrastrukturmanagement; seit 1992 beratende, bauplanerische und gutachterliche Tätigkeit als Partner in der Ingenieurgemeinschaft ConVia. Mitglied der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure, der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft sowie der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) und mehrerer ihrer Gremien.

Anschrift:
Ingenieurgemeinschaft ConVia, Hellerweg 52, 32052 Herford

Dipl.-Ing. Dietmar Ulonska (Mitte)
Geboren 1958 in Peine. 1980 bis 1984 Studium des Bauingenieurwesens an der FH Hildesheim; 1984 bis 1988 Tätigkeit in der Baustoffprüfung, u. a. Projektleitung von Forschungsvorhaben für die rheinische Bims- und Leichtbetonindustrie; 1988 bis 1994 Tätigkeit in der Baustoffindustrie mit Schwerpunkt Betonerzeugnisse; 1994 bis 2005 Referent für den Fachbereich Straßen- und Gartenbauerzeugnisse im Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie e. V.; seit 1999 Geschäftsführer Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. – SLG; von Oktober 2005 bis April 2010 stellvertretender Vorsitzender des Vereins Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e. V.; von November 2007 bis März 2010 Geschäftsführendes Vorstandsmitglied für den Fachbereich Technik im Bundesverband Betonbauteile Deutschland; seit April 2013 Vorsitzender der Construction Product Information Confederation (CONPICO) e. V. Mitarbeiter in nationalen und internationalen Gremien. Verfasser zahlreicher Fachpublikationen und Referent zahlreicher Vorträge mit Schwerpunkt „Pflasterbauweisen mit Betonsteinen“.

Anschrift:
Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Schloßallee 10, 53179 Bonn

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner (rechts)
Geboren 1957 in Glauchau/Sachsen. Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Dresden (TUD); 1981 bis 1985 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl „Verkehrs- und Versorgungsbau“ der TUD; 1986 Promotion; 1985 bis 1987 Mitarbeiter, später in leitender Funktion im Ingenieurtief- und Verkehrsbaukombinat Karl-Marx-Stadt (heute Chemnitz); 1987 bis 1996 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl Straßenbau der TUD; 1990 bis 1996 Beratender Ingenieur; 1993 Habilitation; 1996 bis 1999 Universitätsprofessor und Leiter des Fachgebiets Konstruktiver Straßenbau der Universität Hannover; Seit 1996 selbstständige Tätigkeit als Sachverständiger; Seit Oktober 1999 Universitätsprofessor, Leiter des Lehrstuhls Straßenbau und Direktor des Instituts Stadtbauwesen und Straßenbau der TUD; 2000 bis 2005 Prüfstellenleiter der nach RAP-Stra zugelassenen Prüfstelle der TUD; Seit September 2005 Gastprofessor an der Jiaotong Universität Chongqing, VR China; Mitglied und Vorstandsmitglied der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) und mehrerer ihrer Gremien, u. a. in leitenden Funktionen; Mitglied der SEPT-Group (Small Element Pavement Technology), Gruppe zur Organisation und Betreuung der ICCBP (International Conference on Concrete Block Pavements); Leiter des Wissenschaftlichen Beirates und Vorstandsmitglied des Deutschen Asphalt Instituts (DAI), Seit 2009 Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mitglied in der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure Sachsens (VSVI).

Anschrift:
Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Mommsenstraße 13, 01069 Dresden

Der Betonverband SLG bündelt das Know-how namhafter deutscher Hersteller. Als selbstständige und unabhängige Interessenvertretung sowie als kompetenter Ansprechpartner repräsentieren wir bundesweit die erste Adresse für alle Fragen zum Bauen mit Pflastersteinen und Galabau-Produkten aus dem Werkstoff Beton. Von unserer Fachkenntnis profitieren u. a. Planer, Ausführende, Bauherren und Sachverständige.

Ein Schwerpunkt unserer Tätigkeit liegt in der Gremienarbeit mit dem Fokus auf Produktnormung, Anwendungs- und Herstellungstechnik. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert; die Publikationen sind über unsere Homepage erhältlich.

Eines unserer Kernziele ist die fachgerecht erstellte Pflasterbauweise aus Betonprodukten. Daher engagieren wir uns u. a. auch im Verein Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e. V., zu dessen Gründungsmitgliedern wir gehören.

Ein hervorragender Baustoff – natürlich, ökologisch, faszinierend und vielfältig – ist unsere Triebfeder; der Erfolg aller an der Betonpflasterbauweise Beteiligten ist unser Anliegen.

Mitgliedschaften:
- Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V.
- Construction Product Information Confederation e. V. (CONPICO)
- Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
- Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e. V.
- Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e. V.
- Verein zur Förderung der Normung im Bereich Bauwesen e. V. im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

SLG Betonverband Straße, Landschaft Garten e.V.

Schloßallee 10
53179 Bonn
Telefon 0228 / 954 56-22
Telefax 0228 / 954 56-90
E-Mail slg@betoninfo.de
Internet www.betonstein.org

Impressum

Herausgeber
Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Bonn
in Zusammenarbeit mit der
BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath

Autoren
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler
Dipl.-Ing. Dietmar Ulonska
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

Gestaltung und Gesamtproduktion
Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2014

Schutzgebühr 21,50 €

Beton

Es kommt drauf an,
was man draus macht.