

GUTACHTEN

zu Schäden an der Pflasterdecke des Bauvorhabens: Neubau der Straße in

I. Auftrag:

Im Straßenpflaster des o. g. Bauvorhabens sind zusätzlich zu den Abplatzungen Absenkungen einzelner Pflastersteine aufgetreten.

II. Ortstermin:

Am 1999-09-08, beginnend 11:30 Uhr habe ich eine Ortsbesichtigung durchgeführt. Dabei wurden in meinem Beisein einzelne Steine entnommen. Die Absenkungen betrage teilweise bis zu rd. 5 mm.

Ich habe festgestellt, dass die abgesenkten Steine in der Höhe nur unbedeutend untermaßig sind. Untermaßig bedeutet in der Technischen Fachsprache, dass die Höhe innerhalb oder außerhalb zulässiger Maßtoleranzen von der Sollhöhe abweicht. Die Untermaßigkeiten sind um 1 mm. An keiner Stelle habe ich mehr als 2 mm gemessen.

III. Bewertung der Feststellung:

1. Pflastersteine aus Beton

Pflastersteine aus Beton sind ein durch technische Vorschriften geregeltes Erzeugnis.

Sie haben folgende Bedingungen zu erfüllen:

Nach DIN 18.501¹, Ziff. 4.3 gilt:

"Pflastersteine aus Beton werden mit Vorzugshöhen ¹⁾ von 60, 80, 100, 120 und 140 mm sowie einer maximalen Länge von 280 mm hergestellt. Die übrigen Herstellmaße des Pflastersteins richten sich nach der Verlegeart und dem Fugenraster, vorzugsweise 1 m, und sind auf volle Millimeter gerundet anzugeben.

Die zulässigen Abweichungen von den Herstellmaßen betragen für Längen und Breiten ± 3 mm, für die Höhe ± 5 mm. Eine Seitenfläche bzw. –kante gilt als eben bzw. gerade, wenn keine Ausbuchtung bei Steinhöhen ≤ 80 mm über 2 mm und bei Steinhöhe > 80 mm über 3 mm vorhanden ist."

¹⁾ Die Pflastersteinhöhe ist unter Berücksichtigung von Pflasterbett, Unterlage, Belastung und Steinform zu wählen."

¹ DIN 18.501 – Pflastersteine aus Beton, Ausgabe November 1982

Nach dem Merkblatt für Flächenbefestigungen², Ziff. 4.3.1 gilt:

"Das Pflaster wird in der Regel auf ein Pflasterbett verlegt.

Das Pflasterbett wird meist zwischen Lehren abgezogen. Dabei muß die Oberfläche des Pflasterbettes mit der geforderten Querneigung und mit dem gleichen Genauigkeitsgrad wie die Pflasteroberfläche hergestellt werden.

Auf der Unterlage wird in der Regel ein Pflasterbett aus geeignetem Sand 0/2 oder 0/4, Splitt 1/3 mm oder Brechsand-Splitt-Gemisch 0/5 mm aufgebracht. Das Größtkorn soll 8 mm nicht überschreiten. Bei wasserdurchlässigen Belägen ist ein Bettungsmaterial zu verwenden, das einerseits ausreichend wasserdurchlässig ist und andererseits nicht in die darunterliegende Tragschicht ohne Bindemittel eingespült wird (Filterstabilität). Die Dicke des Pflasterbettes beträgt im verdichteten Zustand 3-5 cm. Sie soll den oberen Wert nicht überschreiten, damit Verformungen der Pflasterdecke unter dem Einfluß von Verkehrslasten nicht eintreten können.

Das Pflasterbett ist so zu überhöhen, daß die Sollhöhe der Pflasterdecke nach dem Rütteln oder Rammen bis zur Standfestigkeit erreicht ist. Die Überhöhung ist abhängig von den verwendeten Pflastersteinen und der Art des Materials für das Pflasterbett."

In Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen³, S. 41 ist folgendes dargelegt:

"Für die Verlegung der Steine von Hand erfolgt der Einbau des Bettungsmaterials unverdichtet auf die geplante Höhe zuzüglich eines Zuschlages für die Zusammendrückung durch die Verdichtung. Die Mehrdicke hierfür beträgt ca. 0,5 bis 1 cm. Das unverdichtete Pflasterbett wird abgezogen und darf nicht betreten oder befahren werden.

Bei der maschinellen Steinverlegung hingegen ist eine leichte Vorverdichtung des Pflasterbettes zu empfehlen, insbesondere bei Verwendung sandreicher Bettungsmaterialien. Hierdurch wird verhindert, daß beim Befahren der darauf abgelegten Steine mit Transport- und Verlegegeräten bleibende Verformungen verursacht werden. Die Vorverdichtung erfolgt üblicherweise durch Einsatz eines Straßenfertigers mit Rüttelbohle.

Die Verdichtung bzw. Endverdichtung der Bettung erfolgt gemeinsam mit dem Pflaster. Durch den Verdichtungs Vorgang soll erreicht werden, daß ein Teil des Bettungsmaterials von unten in die Fuge eindringt und diese stabilisiert."³

Nach dem Merkblatt für Flächenbefestigungen, Ziff. 4.4 gilt:

"... Höhenmäßige Abweichungen sollten bei Anschlüssen und zwischen benachbarten Pflastersteinen nicht mehr als 2 mm betragen."

² Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflaster und Plattenbelägen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (Hrsg.), Ausgabe 1989, ergänzte Fassung 1994

³ Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen, Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie e. V. Bonn, Ausgabe 1997, S. 41

Nach Brian Shackel⁴, S. 198, Tafel 6.4 gilt:

Betreff	zul. Abweichung
Lage im Grundriß	≤ 10 mm innerhalb 3-m-Meßstrecke ≤ 20 mm innerhalb 10-m-Meßstrecke
Höhenlagen - an Bordsteinen, Einbauten, Entwässerungs- rinnen und Randeinfassungen - anderswo - untereinander - von der Sollhöhe	$\leq + 3$ mm/- 0 mm innerhalb 3-m-Meßstrecke $\leq + 10$ mm/ $\leq - 15$ mm innerhalb 3-m-Meßstrecke ≤ 3 mm $\leq + 10$ mm/ $\leq - 15$ mm
Fugenbreite Anteil der Fugen außerhalb der Grenzwerte entlang der Hauptachse des Verbandes Sollfugenbreite = 3 mm	2 bis 4 mm ≤ 10 % entlang einer 10-m-Linie

Tafel 6.4: Typische zulässige Verlegetoleranzen

Bei den vorhandenen Steinen ohne Fase und mit glatter Oberfläche, ist als Maß der höchstzulässigen Abweichung zweier Steine untereinander das von 2 mm anzusehen.

Nach Straßenbau heute⁵, Ziff. 3.3.6 ist zu beachten:

"Die Steine werden palettiert bzw. pakettiert in Transporteinheiten von 5-7 m² verlegter Fläche angeliefert. Bei Handverlegung müssen die Steine nach Entfernen der Paketbefestigung scheinweise mit einem Transportkarren zum Verleger gefahren und in Griffweite abgestellt werden. ...

Ein entscheidender Schritt zur Rationalisierung des Verlegens wurde mit der Erfindung von Verlegegeräten und Verlegemaschinen getan. Hierzu ist im allgemeinen erforderlich, daß die Steine werkseitig in verlegerechter Formation angeliefert werden. Die Größe der Verlegeeinheiten richtet sich nach den Möglichkeiten der Betonsteinmaschine und liegt zwischen 0,35 und 0,70 m².

Die Verlegeeinheiten werden entweder mittels handgeschobener Verlegekarren oder von fahrbaren Verlegemaschinen "scheinweise" auf dem vorverdichteten Pflasterbett abgesetzt. ...

Beim späteren Abrütteln dürfen eventuelle Höhenunterschiede der Steine nicht mit Gewalt ausgeglichen werden (siehe auch technische Hinweise zum Einbau von Straßenbauerzeugnissen aus Beton)."

⁴ Brian Shackel, Handbuch Betonsteinpflaster; Bemessung, Konstruktion, Ausführung, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1996, S. 198

⁵ Straßenbau heute, Vorgefertigte Betonbauteile, Schriftenreihe Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband Deutscher Zementindustrie, Heft 3

In der einschlägigen Fachliteratur wird der Ausgleich von Höhen nur für den Fall beschrieben, dass einzelne Betonpflastersteine in der Höhe übermäßig sind. Ein solches Übermaß kann innerhalb gewisser Grenzen bei der maschinellen Verlegung und dem Einrütteln ausgeglichen werden.

Bei der traditionellen Verlegung von Hand im Pflasterbett kann ein Untermaß, soweit es sich innerhalb zulässiger Toleranzen bewegt, durch Variation der Bettungsdicke ausgeglichen werden. Ein Höhenausgleich ist dabei nur innerhalb der höchstzulässigen Maßtoleranzen möglich, da sich sonst das wesentlich dickere Material der Bettung beim Rütteln übermäßig stark verdichtet und zusammendrückt.

Für den Fall, dass innerhalb einer auf den Paletten abgelegten Lage untermaßige Steine sind, ist dieses beim maschinellen Verlegen im gewöhnlichen Arbeitsablauf nicht erkennbar.

Bei der maschinellen Verlegung soll die Bettung vorverdichtet werden, um ein ausreichendes Verlegen und Öffnen der Fugen zu erreichen. Allein durch den Ablegevorgang erfolgt eine Nachverdichtung, die den einzelnen Unterschied der Höhen nicht ohne Weiteres erkennen lässt.

Beim Abrütteln der Flächen ist, anders als bei den übermäßigen Steinen, nicht gewährleistet, dass der untermaßige Stein mit der gleichen Kraftanwendung in die Bettung eingearbeitet wird.

Wegen der unvermeidbaren und somit planmäßig stattfindenden elastischen Verformung der Fahrbahndecke kommt es dazu, dass die ausreichend gebetteten normalmaßigen Steine eine elastische Verformung erfahren.

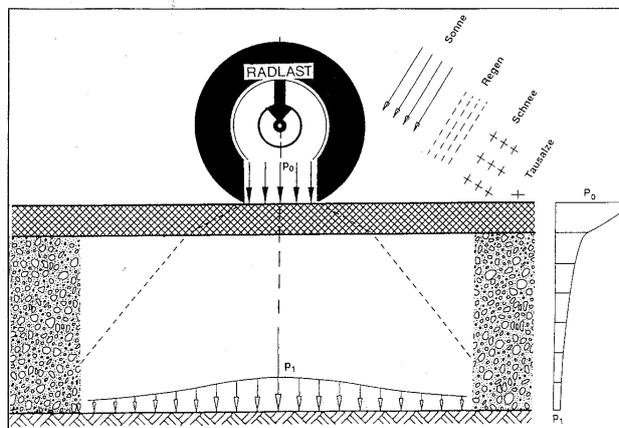


Abb. 1.2: Belastungen von Verkehrsflächen⁶

Durch die vertikalen Belastungen kommt es zu zeitweiligen Verformungen der Fahrbahnoberfläche, hier konkret der Pflasterdecke.

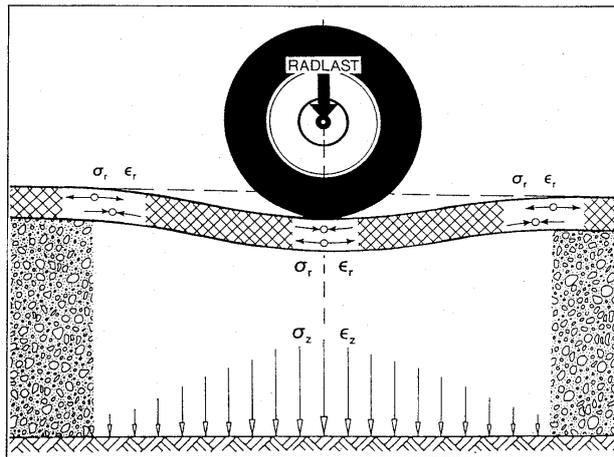


Abb. 1.4: Spannungen und Dehnungen innerhalb der Verkehrsflächenbefestigung infolge einer Radlast auf der Fahrbahn⁶

Bei untermäßig verlegten Steinen tritt eine zusätzliche Nachverdichtung der Bettung ein, so dass sie "nach unten wandern".

Der Verarbeiter des maschinenverlegbaren Pflasters kann mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand weder untermäßige Steine erkennen noch bei der Verarbeitung dafür Sorge tragen, dass keine bleibende Nachverformung eintritt.

Aus diesem Grunde gilt nach überwiegender Meinung eine Höhendifferenz zwischen zwei benachbarten Pflastersteinen bis zu einem Maß von 2 mm als kein Verstoß gegen die Allgemein anerkannten Regeln der Technik, sondern als hinzunehmende Unzulänglichkeit bei der Herstellung, Verarbeitung und dem Langzeitverhalten des Werks Betonpflasterdecke.

Die volle Ausschöpfung der höchstzulässigen Maßtoleranzen nach DIN 18.501¹, Ziff. 4.3 für die Höhe von ± 5 mm ist bei handverlegbarem Pflaster kein Mangel.

Bei der Handverlegung können derartige Unterschiede durch das Vorbereiten des Pflasterbetts ausgeglichen werden.

Bei der Herstellung maschinenverlegbaren Pflasters führt die volle Ausschöpfung der höchstzulässigen Maßtoleranzen bis zu einer Höhe von - 5 mm (untermäßige Steine) führen regelmäßig zu einem Mangel in der Pflasterdecke, da bei maschineller Verlegung dieses nicht soweit ausgeglichen werden kann, dass in der fertigen Pflasterdecke keine Maßabweichungen zwischen zwei benachbarten Steinen von mehr als 2 mm entstehen.

Für eine Mangelbeseitigung wäre es erforderlich, dass Betonpflastersteine, die sich infolge ihrer Untermäßigkeit übermäßig abgesenkt haben, ausgewechselt werden. Dieses ist bei Pflastersteinen mit einem hohen Grad der Einspannung nicht in jedem Fall zerstörungsfrei möglich. Regelmäßig werden dabei auch benachbarte Steine mit beschädigt.

Die Maßabweichungen der stichprobenartig gewonnenen Steine sind aber so gering, dass dieses mit Sicherheit als Ursache für die Absenkung der Steine ausscheidet.

⁶ Dr. Sönke Borgwardt u. a., Planung und Ausführung von Pflasterbelägen aus Beton, Grundlegender Einsatz und neueste Entwicklungen für die Anwendung in Sonderbereichen, Kontakt & Studium, Band 524, Expert Verlag Renningen-Malmsheim 1998, S. 6

2. Verlegetechnik

Ein potentieller Fehler, der zu einer übermäßigen Absenkung einzelner Pflastersteine infolge fehlerhafter Verlegung führen könnte, ist der, dass die vorbereitete Bettung mit Rand- bzw. Ecksteinen aufgrund nichtparallelen Aufsetzens so beschädigt wird, dass diese absinken.

Durch Auszählen wurde festgestellt, dass dieses als Ursache ausscheidet, da es sich bei den abgesenkten Steinen nicht um solche handelt, die am Rand oder in den Ecken des Verlegetpakets gelegen haben könnten.

Die Ursache für das Absinken muss also darin liegen, dass Fehler im Untergrund, insbesondere in der Bettung, vorliegen.

Bevor die Pflasterdecke eingerüttelt wird, sind die Fugen gleichmäßig mit Sand zu verfüllen. Danach ist die Pflasterdecke, von den Rändern beginnend zur Mitte hin, bis zur Standfestigkeit zu rütteln. Das Einrütteln erfolgt in eng begrenzten Bereichen, was ähnlich zu einer Verformung der Pflasterdecke wie bei dem Einwirken einer Radlast führt.

Bei dem Einrüttelvorgang müssen Bettung, Fugensand und die Betonsteine zueinander in einen quasi tixotropen Zustand versetzt werden. Somit tritt kein Verkeilen der einzelnen Betonpflastersteine untereinander und die Ausbildung einer bogen- bzw. kappenförmigen Tragwirkung der Decke auf, die das Abrütteln in dem entsprechenden Bereich verhindert.

Bei dem Abrütteln ist es durchaus gewollt, dass Teile der Bettung von unten in die Fugen eindringen, um so eine ausreichende Verfestigung zu erreichen.

Da infolge der in meinem Gutachten vom 1999-06-28 beschriebenen Fehler bei der Ausbildung der Abstandhalter ein "knirsches" Aneinanderliegen der Betonpflastersteine vorliegt, kann der erforderliche quasi tixotrope Zustand nicht eintreten. Die Pflastersteine verkeilen sich beim Abrütteln gegeneinander und es bildet sich eine Tragwirkung innerhalb der Pflasterdecke aus.

Diese Tragwirkung führt dazu, dass die beim Rütteln eingetragene Schwingungsenergie als elastisches Federn abgefangen wird. Ein Einrütteln in den Untergrund kann deswegen nur unvollständig vorgenommen werden.

Die Tragwirkung der Pflasterdecke erfolgt auf einen nicht unwesentlichen Teil durch die Klemmwirkung untereinander. Das ist auch bei dem Entfernen einzelner Steine bemerkbar.

Steine innerhalb einer Pflasterdecke, die infolge einer derartigen Klemmwirkung tragen, verschieben sich bei der planmäßigen Einwirkung durch den Fahrverkehr vertikal.

Die Tatsache des Verkeilens der Steine untereinander beim Abrütteln ist auch aus der Angabe des Herrn, plausibel, dass eine Vielzahl von Versuchen unternommen worden ist, das Pflaster abzurütteln.

Zusammenfassung:

Das auffällige Absinken einzelner maschinenverlegter Pflastersteine kann grundsätzlich durch übermäßige Untermaßigkeit der Steine sowie durch Fehler bei der Herstellung des Unterbaus und beim Einbau hervorgerufen werden.

Pflastersteine, die infolge der vorhandenen Fehler bei der Ausbildung der Abstandhalter "knirsch" verlegt worden sind, lassen sich nicht ausreichend in den Untergrund abrütteln.

Das "knirsche" Aneinanderlegen der Steine aufgrund der mangelhaft ausgebildeten Abstandhalter ist Ursache für das übermäßige Absinken einzelner Steine.