

Abschlußbericht

Projekt: Vergleichende Untersuchungen zum Verformungsverhalten von Betonpflasterflächen mit vermörtelten Fugen unter horizontaler Belastung

Auftraggeber: Apa Tec Advanced Pavement Technology AG
Geschäftsbereich STEIN TEC®
CH-4310 Rheinfelden

Auftragnehmer: Technische Universität Dresden
Professur für Straßenbau

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. F. Wellner

Bearbeiter: Dipl.-Ing. T. Lerch

1. Gesamtziel

Im Auftrag der Firma Advanced Pavement Technology AG, Geschäftsbereich STEIN TEC® wurden im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden dynamische Dauerbelastungsversuche an Betonpflasterflächen mit vermörtelten Fugen auf einer Mörtelbettung durchgeführt. Zur Verwendung kamen für die Bettung die Produkte STEIN TEC® BM 04 S, für die Verfugung STEIN TEC® HD 02 S und als Haftbrücke zwischen Pflasterstein und Bettung der Haftkleber STEIN TEC® HAFTFIX. Die schnellbindenden 'S' Produkte wurde gewählt, weil aus zeitlichen Gründen keine Abbindezeit von 28 Tagen vor dem jeweiligen Versuchsbeginn zur Verfügung stand. Die Verarbeitung erfolgte nach Herstellervorschrift.

Ziel dieser Untersuchungen war es, durch Laborversuche das Verhalten solcher Pflasterbefestigungen mit verschiedenen Tragschichtausführungen bei gleichzeitiger Einleitung von Horizontal- und Vertikallast zu erfassen und zu vergleichen. Es sollten die Auswirkungen realitätsnaher Belastungen durch Brems- und Anfahrkräfte von Fahrzeugen des Schwerverkehrs gezielt untersucht werden.

2. Versuchsaufbau und Randbedingungen

In den Versuchen wurden die auftretenden Verschiebungen und Verformungen an Pflasterkonstruktionen im Maßstab 1:1 bestimmt. Dabei wurden gleichzeitig dynamische Horizontal- und Vertikallasten in die Konstruktionen eingeleitet. Die Lasteintragung erfolgte über eine dynamische Belastungseinrichtung.



Abb. 1: Ansicht des Versuchsstandes

Die vertikale Last entsprach der Regelradlast nach StVZO mit 57,5 kN. Die horizontalen Kräfte lagen entsprechend der auftretenden Brems- und Anfahrkräfte von LKW bei $F_H = \mu * F_V = 34,5 \text{ kN}$ (Reibungsbeiwert $\mu = 0,60$ Gummi auf Beton). Die dynamische Lasteinleitung erfolgte in Form einer Sinusschwingung mit einer Frequenz von 5 Hz und einer Lastwechselzahl von $2,5 * 10^6$. Eine untere Lastgrenze von etwa 10 % der Belastung war erforderlich, um ein Abheben der Belastungseinrichtung im Lastminimum zu verhindern.

Der Straßenaufbau wurde in einen Versuchskasten mit einer Höhe von 1,00 m eingebaut (Abb. 1). Der Kasten bestand aus Stahlprofilen U 100, die an den Ecken mit Winkeln verschraubt waren. Zur Versteifung stützten sich die Seitenwände mit Holzzwischenlagen gegen Stahlstützen.

Die Versuchsfläche war 2,50 m x 5,00 m groß, wobei die horizontalen Kräfte in Längsrichtung wirkten. Als Unterbau war im Versuchskasten eine 20 cm dicke Kiesandschicht eingebaut. Darüber befand sich eine Schottertragschicht. Kies und Schottertragschicht wurden in mehreren Lagen eingebaut und mit einer Vibrationsplatte verdichtet. Es wurden zwei verschiedene vermörtelte Bauweisen mit Rechteckpflaster 10 cm x 20 cm x 10 cm im Läuferverband untersucht.

Im ersten Versuch wurde auf die 29 cm dicke Schottertragschicht eine Tragschicht aus 20 cm Dränbeton aufgebracht. Der Dränbeton wurde vom Betonwerk mit einem Transportbetonmischer angeliefert und mit einem Krankübel im Versuchsstand eingebaut. Die Verdichtung erfolgte in drei Lagen mit einer Vibrationsplatte. Zur Nachbehandlung wurde eine Kunststoffolie aufgelegt. Das Pflaster wurde fünf Tage nach der Herstellung der Tragschicht eingebaut. Nach dem Aufbringen der Haftbrücke wurden die Pflastersteine in den frischen Bettungsmörtel gelegt und in der Höhe nach einer gespannten Schnur ausgerichtet (Abb. 2). Der Einbau erfolgte in Lastrichtung. Nachdem die Pflastersteine auf der gesamten Fläche verlegt waren, wurde der sehr dünnflüssige Fugenmörtel über der Fläche ausgegossen und mit einem Gummischieber verteilt (Abb. 3). Es erfolgte keine Nachbehandlung der Pflasterfläche.

Für den zweiten Versuch wurde das Pflaster im Mörtelbett auf einer 49 cm dicken Schottertragschicht verlegt. Die Fugenfüllung erfolgte wie beim ersten Versuch, eine spezielle Nachbehandlung wurde ebenfalls nicht durchgeführt.

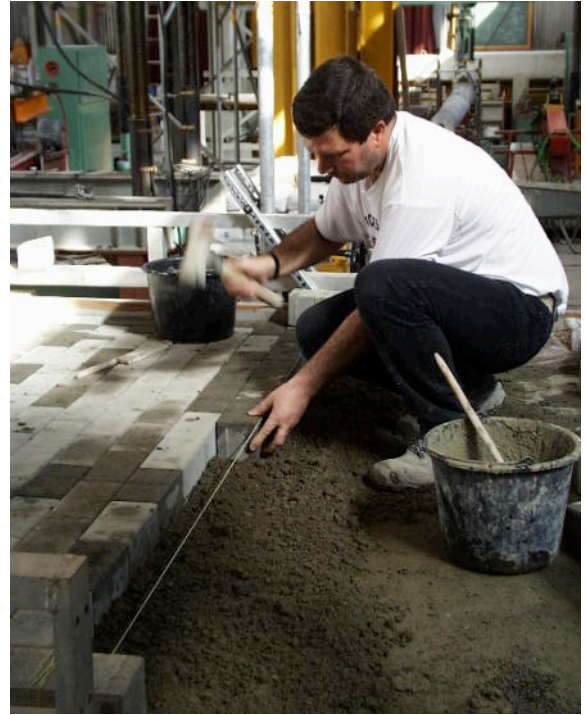


Abb. 2: Auftragen der Haftbrücke und Einbau des Pflasters



Abb. 3: Einbringen des Fugenmörtels

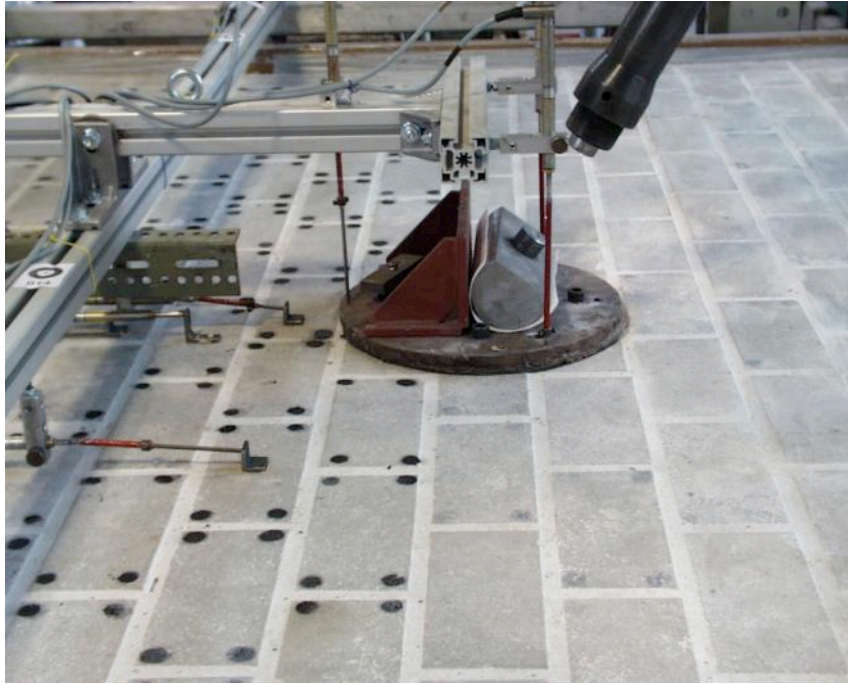


Abb. 4: Lastplatte mit vertikalen und horizontalem Wegaufnehmern

Die Lasteintragung erfolgte über eine Lastplatte aus Stahl mit einem Durchmesser von 300 mm (Abb. 4). Auf der Unterseite war eine Gummiplatte aufgeklebt, damit die Horizontalkräfte durch Reibung übertragen werden konnten. Der Hydraulikzylinder war gelenkig gelagert, um Verspannungen infolge zunehmender horizontaler Verformung zu vermeiden.

Zur Sicherung der Lastplatte auf der Pflasterfläche dienten Stahlbolzen mit 12 mm Durchmesser. Die Lastplatte war zu diesem Zweck mit entsprechenden Bohrungen versehen. Die Aufteilung der Bolzen gewährleistete, daß alle unter der Lastplatte liegenden Steine erfaßt wurden. Die Bohrungen in den Pflastersteinen wurden mit einem Bohrhammer so eingebracht, daß die Bolzen ohne Spiel die Kraft übertragen konnten.

3. Messung der Verformungen

Zur Messung der Verformungen an den Pflastersteinen kamen induktive Wegaufnehmer zum Einsatz. Die Wegaufnehmer waren an einem Meßgerüst befestigt, das unabhängig vom Versuchskasten aufgestellt war (Abb. 5). So ließ sich verhindern, daß Schwingungen auf das Meßgerüst übertragen wurden. Pendelstäbe stellten die Verbindung zwischen Wegaufnehmer und Meßpunkt her (Abb. 6). Aus der Anordnung der Wegaufnehmer leiteten sich die Vorzeichendefinitionen der Verformungen ab. Für vertikale Verformungen gilt, daß ein positives Vorzeichen eine Einsenkung (Verformung nach unten) anzeigt. Bei den horizontalen Verformungen gibt ein negatives Vorzeichen die Bewegung vom Lasteinleitungspunkt weg an.



Abb. 5: Belastungszylinder und Wegaufnehmer im Meßgerüst

Zur Messung der horizontalen Verformungen befanden sich Wegaufnehmer in der horizontalen Lastachse sowie in zwei weiteren Achsen neben der Lastachse (Abb. 6). Die vertikalen Verformungen wurden mit drei Wegaufnehmern auf der Lastplatte gemessen, die in den Drittelpunkten am Rand angeordnet waren. Die Anordnung der Wegaufnehmer auf der Lastplatte zur Messung der vertikalen Verformungen ist in Abb. 7 dargestellt.



Abb. 6: Induktive Wegaufnehmer mit Meßpunkten und Pendelstäben

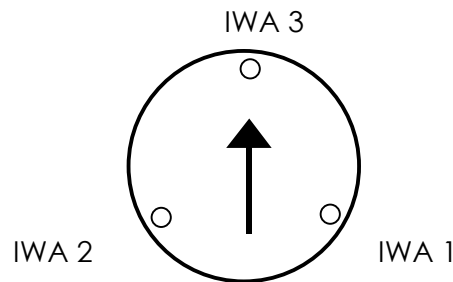


Abb. 7: Anordnung der vertikalen induktiven Wegaufnehmer (IWA) auf der Lastplatte

Um die Ergebnisse der Messung mit den Wegaufnehmern qualitativ zu bestätigen und Aussagen über das Verschiebungsbild treffen zu können, wurden in vorher festgelegten Abständen photogrammetrische Aufnahmen eines 2,00 m x 2,00 m großen Bereiches vor der Lastplatte angefertigt. Die Kamera dafür war senkrecht über der Versuchsfläche an einem Gerüst befestigt, das ebenfalls unabhängig vom Versuchskasten aufgestellt war. Die einzelnen Steine waren mit einer Farbmarkierung versehen. Die Verschiebungen dieser markierten Punkte konnten dann im Vergleich mit dem Ausgangszustand errechnet werden.

4. Auswertung

Aus den mit Hilfe der induktiven Wegaufnehmer gemessenen Werten war zu erkennen, daß über den Zeitraum der Versuche (je 2,5 Millionen Lastwechsel) keine meßbaren plastischen horizontalen Verformungen aufgetreten sind. Auch die elastischen horizontalen Verformungen waren sehr gering und lagen in einem Bereich von max. 20 μm . Dieser Wert ist etwa halb so groß wie bei einer ungebundenen Bauweise mit gleichem Verband und gleichen Steinen.

Für die auf der Lastplatte gemessenen elastischen vertikalen Verformungen ergeben sich Werte, die bei etwa 65 % der Verformungen bei einer vergleichbaren ungebundenen Variante liegen. Dabei ist zu beachten, daß ein Großteil dieser Verformungen aus der Gummiunterlage unter der Lastplatte resultiert. Im Gegensatz zu ungebundenen Varianten traten keine meßbaren plastischen Einsenkungen der Lastplatte auf.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, daß die Versuche in einem geschlossenen Raum durchgeführt wurden. Die Pflasterflächen wurden nicht durch die Witterung in Form von starken Temperaturänderungen, Regen und Frost beeinflusst. Damit fiel ein wesentlicher Teil der im praktischen Einsatz neben der Verkehrslast vorhandenen Beanspruchungen fort.

Nach Beendigung der Versuche wurden die Pflasterflächen einer augenscheinlichen Kontrolle unterzogen. Es waren dabei keine Risse oder sonstigen Veränderungen oder Beschädigungen festzustellen. Auch im Bereich der Lasteinleitung waren keine Veränderungen gegenüber dem Ausgangszustand erkennbar (Abb. 8).



Abb. 8: Bereich der Lastplatte nach 2,5 Mio Lastwechseln

Beim Ausbau der Steine zeigte sich, daß infolge handwerklicher Unzulänglichkeiten einige Fugen Kavitäten aufwiesen. (Bohrkern Abb 9b) Im Vergleich dazu zeigt sich die vollständige Fugenfüllung und der gute Haftverbund des Systems Fuge-Stein-Bettung-Tragschicht in Abb 9a. An einzelnen Stellen traten die Kavitäten bis an die Oberfläche (Abb 10, nach dem Versuch). Trotzdem breitete sich unter der Schwingbeanspruchung auch von diesen Fehlstellen kein Riss aus oder traten sonstige Verformungen/Defekte auf. Der Schichtenverbund zwischen Pflastersteinen und Bettungsmörtel konnte subjektiv als gut eingeschätzt werden.



Abb. 9 a/b: Ansicht der Fugen nach Beendigung der Versuche (Pflaster auf Dränbetontragschicht)



Abb. 10: Ansicht der Fugen nach Beendigung der Versuche (Pflaster auf Schottertragschicht)

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In einem Versuchsstand mit einer Fläche von 2,50 m x 5,00 m wurden zwei verschiedene Pflasterkonstruktionen in gebundener Bauweise auf ihr Verhalten bei gleichzeitiger dynamischer Horizontal- und Vertikalbelastung untersucht. Beide Konstruktionen hatten eine Steindicke von 10 cm und wurden unter gleichen Bedingungen mit Bettungsmörtel und Fugenmörtel eingebaut. Eine Variante hatte eine Dränbetontragschicht, die zweite Variante eine konventionelle Schottertragschicht.

Die Belastung erfolgte über einen schräggestellten Hydraulikzylinder mit Kräften, die einem gebremsten LKW-Rad mit der Regelachslast von 57,5 kN entsprachen. Es wurden mit induktiven Wegaufnehmern die horizontalen Verformungen an ausgewählten Punkten der Pflasterfläche sowie die vertikalen Einsenkungen auf der Belastungseinrichtung gemessen. Die Meßwerte der Wegaufnehmer wurden durch photogrammetrische Messungen ergänzt.

Unter den Bedingungen der Versuchsdurchführung (kein Witterungseinfluß, punktuelle Belastung mit 2,5 Mio Lastwechseln) ließen sich an den vermörtelten Betonpflasterflächen keine plastischen und nur sehr geringe elastische Verformungen messen. Die beiden untersuchten vermörtelten Pflasterbauweisen zeigten eine sehr gute Beständigkeit gegenüber der eingeleiteten punktuellen Belastung.