

Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken

FA AiF 12126 N

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau (Prof. Dr.-Ing. K. Krass)

Bearbeiter: Jungfeld, I. / Rohleder, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) / Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF), Köln

Abschluss: September 2002

1. Aufgabenstellung

Auftretende Schäden an Pflasterdecken weisen häufig vertikale Deformationen an der Oberfläche auf, aber auch starke horizontale Verschiebungen der Pflastersteine. Diese treten meist in vorwiegend horizontal beanspruchten Bereichen mit Brems- und Beschleunigungsvorgängen auf, wie z. B. vor und in Kreuzungsbereichen. Allgemein wird die Haltbarkeit von Pflasterbefestigungen somit maßgeblich vom horizontalen Verschiebungswiderstand der Pflasterdecke beeinflusst.

Im Forschungsvorhaben "Untersuchung über die Verteilung von auftretenden Schub- und Torsionskräften in Pflasterbelägen" des BMV [1] wurde in den Schlussfolgerungen eine qualitative Bewertung verschiedener Einflüsse auf das Verhalten von Pflasterbefestigungen, und somit auch auf den horizontalen Verschiebungswiderstand, vorgenommen.

Zur Erfassung des horizontalen Verschiebungswiderstandes war ein von der Universität Stuttgart entwickeltes Versuchsgerät, das so genannte Spreizgerät, von der TU Braunschweig (TUBS) und der Ruhr-Universität Bochum (RUB) erprobt worden. Mit diesem Spreizgerät wird eine kontrollierte Horizontalast in die Pflasterdecke eingeleitet. Die resultierenden Horizontalverschiebungen der Pflastersteine werden kontinuierlich gemessen.

In den Schlussfolgerungen in dem genannten Forschungsprojekt wird festgestellt:

... "Der horizontale Verschiebungswiderstand einer Pflasterdecke kann mit dem modifizierten Spreizgerät erfasst werden...."

und weiter:

... "Die Verbundwirkung von Pflastersteinen kann messtechnisch erfasst und eingestuft werden. Die Größe der Verschiebungen wird maßgeblich von der Belastungsrichtung und der Art des Verbandes bestimmt."

Damit wurde die Funktionstüchtigkeit des Spreizgerätes für die Praxis nachgewiesen. Es konnten plausible und differenzierbare Ergebnisse gewonnen werden. Wie in den Schlussfolgerungen beschrieben, blieben jedoch die Auswirkungen verschiedener Einflussgrößen wie z. B. des Bettungsmaterials auf den horizontalen Verschiebungswiderstand unklar oder ganz offen. Ein Bewertungshintergrund für dieses Versuchsgerät konnte also noch nicht entwickelt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, Messdaten mit dem Spreizgerät an Betriebsstrecken mit Befestigungen von Betonstein- und Klinkerpflaster zu ermitteln, um daraus einen Bewertungshintergrund für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterflächen erarbeiten zu können. Dazu mussten die Einflüsse der bautechnischen, aber auch einiger orts- und liegedauerabhängiger, Parameter einer Pflasterbefestigung auf

den horizontalen Verschiebungswiderstand näher untersucht werden.

Durch den Bewertungshintergrund und die Einarbeitung in entsprechende Regelwerke wäre eine qualifizierte Bewertung der Pflasterbauweise selbst möglich wie auch eine bessere Differenzierung verschiedener Pflasterbauweisen bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit.

Das Vorhaben wurde aus Mitteln des BMWA im Rahmen der AiF-Forschung gefördert.

2. Untersuchungsmethodik

Zur Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken war es erforderlich, den Einfluss von insgesamt 15 unterschiedlichen Größen zu untersuchen. Dies sind an bautechnischen Parametern bei den Steinen das Material, die Form, die Abmessungen, d. h. das Format und die Steindicke; im Bereich der Fuge sind es die Fugenbreite und der Fugenfüllungsgrad sowie das verwendete Fugenmaterial; bei der Bettung wurden die Dicke und ebenfalls das Material betrachtet; zudem wurden bei den Messungen die Beschaffenheit der Tragschicht sowie der ausgeführte Verband berücksichtigt. Hinzu kommen als äußere Einflussgrößen die Neigung der Fläche, das Alter zum Messzeitpunkt sowie die Verkehrsbelastung und der Einfluss der Witterung. Neben den aufgeführten bautechnischen sowie äußeren Parametern mit Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand musste als weitere versuchstechnische Einflussgröße die Spreizrichtung berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Einfluss einer zusätzlichen vertikalen Belastung konnte in Vorversuchen nicht nachgewiesen werden und musste deshalb als weitere versuchstechnische Einflussgröße nicht beachtet werden.

Da Betriebsstrecken untersucht werden sollten, wurden in einem ersten Schritt die für die Messungen geeigneten Strecken ausgewählt, wozu Kommunen, aber auch Industrie- und Gewerbebetriebe angesprochen wurden. Ziel war es hier nicht nur, Standorte verschiedener, für die Fragestellung interessanter Varianten an Pflasteraufbauten zu ermitteln, sondern auch Daten über den Aufbau, die verwendeten Materialien, die Liegedauer und die Verkehrsbelastung zu erhalten. Außerdem war eine Erlaubnis zur Versuchsdurchführung notwendig.

Als zweiter Schritt folgten die Feldversuche an den ausgesuchten Strecken. Hierbei wurden begleitende Untersuchungen durchgeführt, wie die Prüfung der Ebenheit mit der 4-m-Latte, die Ermittlung der Fugenbreite und die augenscheinliche Kontrolle der Fugenfüllung. Außerdem wurde der Zustand von Fläche und Pflastersteinen, auch durch Fotos, ebenso dokumentiert wie die allgemeinen Versuchsbedingungen, wie Längsneigung der Fläche, das zum Zeitpunkt des Versuches bestehende Wetter, die Umgebung u. a.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Verkehrsflächen musste insbesondere beachtet werden, dass die Strecken möglichst schon einige Jahre unter Verkehr liegen sollten, um die Beurteilung einer Bewährung der Bauweise zu ermöglichen. Als Richtwert wurde eine Liegedauer von 10 ± 5 Jahren vorgegeben.

Außerdem sollten überwiegend Kommunalstraßen untersucht werden, um eine heterogene alltägliche Nutzung und damit eine gute Basis für Aussagen über die Bewährung unter normalen bis hohen Belastungen zu erreichen. Um auch Flächen unter besonders hohen Belastungen in die Untersuchungen einzubeziehen, sollten jedoch daneben auch Industriestraßen untersucht werden.

Ein weiterer Punkt war die Beschränkung auf ungebundene Bauweisen, da diese als Regelbauweisen anzusehen sind und auch nur diese in den ZTV P-StB [2] beschrieben werden. Bei der Suche nach geeigneten Flächen sollten somit Bauweisen mit vermörtelten Fugen und/oder gebundener Bettung ausgeschlossen werden.

Diese Vorgaben konnten für die meisten der untersuchten Flächen eingehalten werden.

Es folgten die eigentlichen Spreizversuche, also die Messungen des horizontalen Verschiebungswiderstandes mit dem Spreizgerät. Zur Erfassung des horizontalen Verschiebungswiderstandes wurde ein in [1] erprobtes Versuchsgerät, das so genannte Spreizgerät, eingesetzt. Mit diesem Spreizgerät wird eine kontrollierte Horizontallast in die Pflasterdecke eingeleitet, wobei die resultierenden Horizontalverschiebungen der Pflastersteine kontinuierlich gemessen werden. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung des Spreizgerätes, das aus einer Lastplatte für den Plattendruckversuch entwickelt wurde.

Die Versuchsdurchführung kann im Wesentlichen wie folgt beschrieben werden:

Auf einer Pflasterfläche werden zwei Steine ausgewählt, deren Schwerpunkte ca. 30 bis 45 cm voneinander entfernt liegen. In diese Steine wird mit Hilfe eines diamantbestückten Kernbohrgerätes mittig je ein Bohrloch mit einem Durchmesser von ca. 22 mm und einer Tiefe von ca. 3/4 der Dicke des Steines erschütterungsarm gebohrt. Eine Bohrung über die volle Dicke des Steines wurde vermieden, um eine Beeinträchtigung des Bettungsmaterials beim Bohren und eine dann mögliche Platzierung der Bolzenspitze in der Bettung auszuschließen. Um die Bohrlöcher orthogonal zur Aufstandsfläche des Spreizgerätes und an exakten Positionen herzustellen, wird eine Bohrschablone mit Stativ verwendet. In die Bohrlöcher werden vergütete Stahlbolzen eingebracht, auf die in jeweils entgegengesetzte Richtung mit Hilfe eines Hydraulikzylinders Horizontalkräfte aufgebracht werden. Durch diese Beanspruchung werden die Stahlbolzen und damit die Pflastersteine horizontal auseinander gedrückt. Während die Belastung mittels einer Hydraulikpumpe kontinuierlich erhöht wird, werden an dem Spreizgerät die horizontalen Relativverschiebungen der Stahlbolzen gemessen. Die Messung des aufgetragenen Druckes und der Verschiebungen erfolgt elektronisch.

Die Darstellung der Messergebnisse aus dem Spreizversuch erfolgt in Form eines Last-Verschiebungsdiagramms (Beispiel: Bild 2).

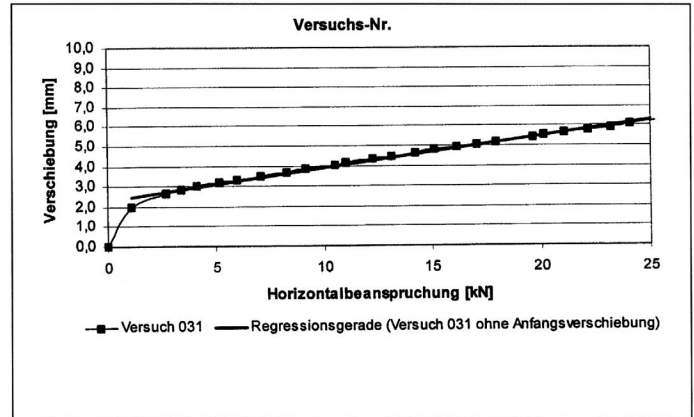


Bild 2: Beispielhafte Darstellung der Verschiebungen infolge Lasteintrag mit dem Spreizgerät

Bild 2 zeigt, dass mit zunehmender Belastung die Verschiebung nahezu linear bis zur Gesamtverschiebung bei einer maximalen Belastung von 25 kN zunimmt. Nach Erreichen dieser Last wird drei Minuten gewartet und die sich einstellende Verschiebung mit der korrespondierenden Kraft abgelesen und gespeichert. Hiernach wird die Fläche entlastet und nach weiteren drei Minuten Wartezeit die bleibende Verschiebung ermittelt.

Neben der Gesamtverschiebung, der Verschiebung nach drei Minuten Wartezeit und der bleibenden Verschiebung ist als wichtigstes Ergebnis aus den Spreizversuchen der Steigungswinkel anzusehen. Der Steigungswinkel ist der Winkel zwischen Abszisse und der aus den Messwerten resultierenden Regressionsgeraden. Dieser Winkel kann als Maß für die Zunahme der Verschiebung [mm/kN] angesehen werden. In einer Versuchsreihe wurden drei Spreizversuche in einer Richtung durchgeführt, deren Resultate für die Auswertung zu jeweils einem arithmetischen Mittelwert zusammengefasst wurden.

Nach der Durchführung der Spreizversuche wurden aus der untersuchten Fläche Proben des Fugen-, Bettungs- und Trag-

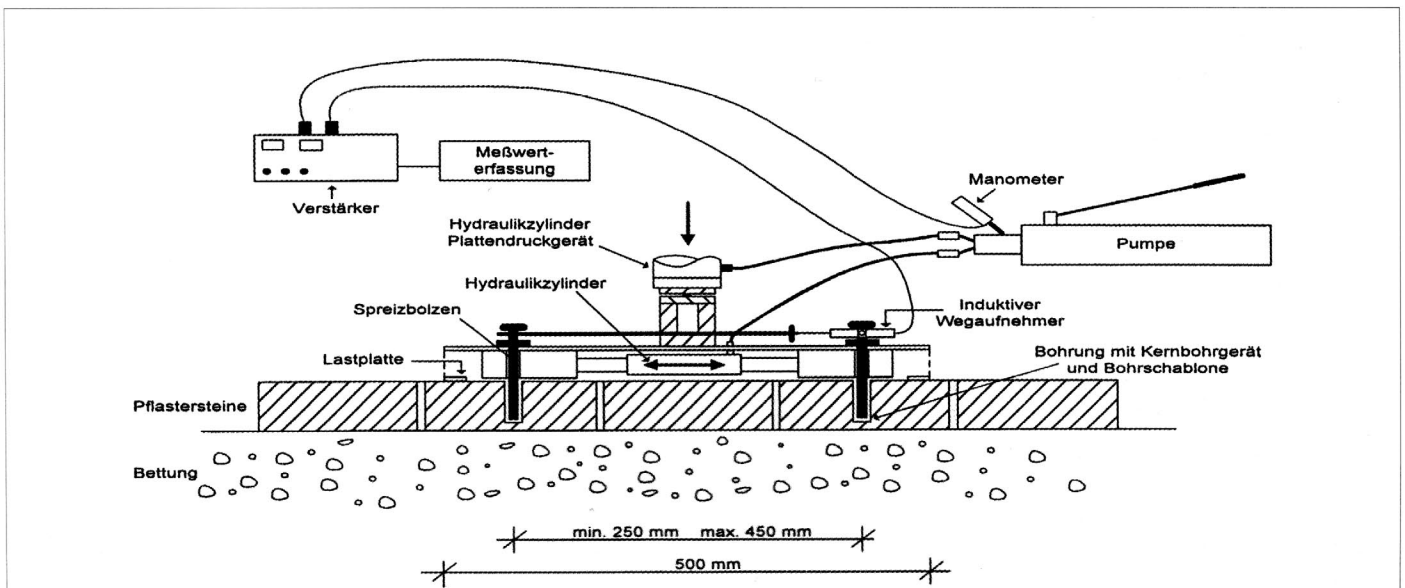


Bild 1: Vereinfachte Darstellung des Spreizgerätes

schichtmaterials entnommen. Auch hier wurde der Zustand der Schichten und Materialien, unterstützt durch Fotos, dokumentiert und beurteilt.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die entnommenen Proben im Labor weiter gehend untersucht, um daraus eine Aussage zur Qualität des untersuchten Pflasteraufbaus ableiten zu können.

Anschließend an den experimentellen Teil erfolgte die Aufbereitung und statistische Auswertung der Versuchsergebnisse. Neben Untersuchungen zur Verteilung der Ergebnisse wurde eine Reihung der Messergebnisse in Abhängigkeit von den Einflussgrößen vorgenommen.

3. Untersuchungsergebnisse

Zusätzlich zu den allgemeinen Vorgaben wurde bei der Auswahl der Klinkerpflasterflächen bezüglich der Pflastersteine der Schwerpunkt auf die am häufigsten verwendeten Steinformate 240 x 118 x 62 mm und 200 x 100 x 62 mm gelegt, wobei letztere auch mit einer Dicke von 71 mm untersucht wurden.

Bei der Auswahl der Verkehrsflächen mit Betonsteinpflaster wurden sowohl Rechtecksteine als auch Verbundsteine bzw. Steine mit anderen Formaten berücksichtigt.

Die untersuchten Flächen lagen in den Bundesländern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Zusätzlich wurden Spreizversuche an Verkehrsflächen der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt, vor allem um den Einfluss der Parameter "Neigung der Fläche und Witterung" auf den horizontalen Verschiebungswiderstand beurteilen zu können.

Die Flächen an der Ruhr-Universität Bochum bieten zur Untersuchung dieser Einflussgrößen einige einmalige Vorteile. Alle hier untersuchten Flächen entstanden kurz nach dem Bau der zugehörigen Gebäude der Universität. Sie weisen somit ein Alter von ca. 30 Jahren auf. Auch wurde seinerzeit ein einheitlicher Aufbau gewählt, was sowohl die verwendeten Materialien als auch die ausschließlich im Läuferverband quer und längs verlegten Verbundsteine betrifft. Damit bot sich hier die Möglichkeit einer eingehenden Untersuchung des Einflusses der äußeren Einflussgrößen bei ansonsten sehr ähnlichen bautechnischen Randbedingungen. Im Wesentlichen konnten auf Grund der unterschiedlichen Verkehrsflächen die Parameter Verkehrsbelastung, Witterungseinfluss und Längsneigung näher untersucht werden.

3.1 Ergebnis der allgemeinen Zustandserfassung

Grundvoraussetzung für eine Aussage über das Verhalten einer Pflasterfläche unter horizontaler Belastung ist ein mindestens befriedigender Zustand der Verkehrsflächen. Aussagen von Flächen mit gestörtem Gefüge liefern kein realistisches Bild. Dementsprechend war eine Beurteilung der untersuchten Flächen notwendig.

Die im Rahmen der Untersuchungen an Verkehrsflächen mit Klinkerpflaster durchgeführte Zustandserfassung ergibt einen insgesamt befriedigenden bis sehr guten Zustand der einzelnen Flächen. Dies gilt insbesondere unter Berücksichtigung des Alters der Versuchsflächen.

Sowohl bei den Längsprofilen als auch bei den Querprofilen sind insgesamt sehr geringe bis eher geringe Unebenheiten ermittelt worden, wobei die Querprofile die etwas niedrigeren Unebenheiten aufweisen.

Vergleichbare Ergebnisse erbrachten auch die Zustandserfassungen und Ebenheitsprüfungen an Verkehrsflächen mit Betonsteinpflaster.

Die Flächen sind somit generell (insbesondere auch unter Berücksichtigung des Alters und der damit verbundenen Ver-

kehrbelastungen und Witterungseinflüsse) in einem guten Zustand.

3.2 Ergebnisse der Spreizversuche auf den Verkehrsflächen

Die Ergebnisse wurden für jede Messstelle in einem Formular zusammengefasst, das auch die weiteren zur Aus- und Bewertung benötigten Informationen zu Art und Bauweise der Verkehrsfläche enthält. Außerdem gehören die Last-Verschiebungsdiagramme mit der zugehörigen Regressionsgeraden zu einer vollständigen Ergebnisdarstellung. Die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Spreizversuche wie Gesamtverschiebung, Verschiebung nach drei Minuten Wartezeit, bleibende Verschiebung und Steigungswinkel erfolgt in Balkendiagrammen.

Insgesamt wurden 422 auswertbare Spreizversuche in 144 Versuchsreihen an 71 Verkehrsflächen in 14 Städten durchgeführt. Die ermittelten Gesamtverschiebungen reichen dabei von 2,0 bis 15,8 mm mit einem arithmetischen Mittelwert von 4,8 mm. Die bleibenden Verschiebungen lagen zwischen 0,1 und 5,2 mm mit einem arithmetischen Mittelwert, der bei 1,5 mm liegt. Zwischen 4,6° und 30,5° wurden die Steigungswinkel aller Regressionsgeraden ermittelt, deren arithmetischer Mittelwert zu 9,6° berechnet wurde.

Weiter gehende statistische Untersuchungen der Ergebnisse haben gezeigt, dass mit dem Spreizgerät bei Durchführung von drei Spreizversuchen ein ausreichend sicheres Ergebnis erreicht werden kann.

Zur Auswertung der Versuchsergebnisse wurden die Daten geordnet nach den unterschiedlichen Parametern zusammengefasst und dargestellt, wobei gleichzeitig eine Reihung vorgenommen wurde. So wurden beispielsweise aus den Ergebnissen aller Klinkerpflasterflächen mit den untersuchten Steinabmessungen von 200 x 100 x 62 mm, 240 x 118 x 62 mm sowie 200 x 100 x 71 mm jeweils die Mittelwerte gebildet und untereinander in Relation gesetzt. Außerdem wurde ein Vergleich mit den bei den jeweils anderen Parametern gebildeten Mittelwerten durchgeführt, der hauptsächlich auf einem Vergleich der Differenzen der Mittelwerte untereinander beruht.

Auf der Grundlage der Auswertung der Spreizversuche an den Klinkerpflasterflächen, an den Betonsteinpflasterflächen sowie an den Flächen aus Verbundsteinpflaster an der Ruhr-Universität Bochum konnte eine Reihung der unterschiedlichen Parameter mit Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand der Bedeutung nach qualitativ für alle untersuchten Verkehrsflächen vorgenommen werden. Diese Reihung ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Qualitativer Einfluss der einzelnen Parameter auf den horizontalen Verschiebungswiderstand und deren Beeinflussbarkeit

Parameter	Einfluss	Parameter	Einfluss
Fugenbreite	++	Steinformat	O
Verkehrsbelastung	++	Steinmaterial	-
Bettungsdicke	++	Fugenfüllung	-
Neigung der Fläche	++	Fugenmaterial	-
Bettungsmaterial	++	Alter	-
Verband	+	Witterung	-
Steinform	O	Tragschicht	--
Steindicke	O		

++ stark + weniger stark O mittel - schwach -- sehr schwach

4. Schlussfolgerungen für die Praxis

Aus den Ergebnissen der 422 auswertbaren Spreizversuche an 138 unterschiedlichen Pflasterflächen können bezüglich des Einflusses der 16 untersuchten Parameter auf den horizontalen Verschiebungswiderstand, geordnet nach der Bedeutung des Einflusses, folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Einen deutlich positiven Einfluss hat eine Fugenbreite im Bereich von 3 bis 6 mm, was nahezu den im Regelwerk vorgesehenen Fugenbreiten von 3 bis 5 mm entspricht. Fugenbreiten unter- sowie oberhalb dieses Bereiches setzen den horizontalen Verschiebungswiderstand erheblich herab. Die Einhaltung der Fugenbreite ist die wichtigste Voraussetzung, um eine Pflasterfläche mit hohem horizontalem Verschiebungswiderstand herzustellen.
- Bei steigender Verkehrsbelastung wird eine bessere Einbettung der Steine und damit eine stärkere Verzahnung der Steine mit der Bettung erzielt, was zu einem deutlichen Anwachsen des horizontalen Verschiebungswiderstandes führt.
- In Zusammenhang mit der Verkehrsbelastung steht der starke Einfluss der Bettungsdicke, die maßgeblich die Einbettung der Steine beeinflusst. Mit einer Bettungsdicke in der vom Regelwerk vorgesehenen Höhe (3 bis 5 cm) sowie auch etwas darüber (bis ca. 5,5 cm) wird eine Verbesserung des horizontalen Verschiebungswiderstandes erreicht. Eine noch dickere Bettung hingegen begünstigt nicht nur höhere horizontale Verschiebungen, sondern bewirkt darüber hinaus auch größere vertikale Verformungen [3, 4, 5, 6 u. a.].
- Die Neigung der Fläche ist neben der Verkehrsbelastung der zweite nicht durch den Aufbau der Pflasterfläche bestimmte Parameter mit hohem Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand. Bei zunehmender Neigung der Fläche wächst der horizontale Anteil der Verkehrsbelastung an und trägt damit zu einer Verfestigung der Pflasterdecke bzw. zu einer Erhöhung des horizontalen Verschiebungswiderstandes bei.
- Beim Vorgang der Einbettung der Steine kommt neben der Bettungsdicke auch dem Bettungsmaterial hohe Bedeutung zu. Dabei ist zusätzlich eine Abstimmung des Größtkorns mit der Fugenbreite wichtig, um eine Verzahnung der Steine mit der Bettung zu ermöglichen. Hierbei ist eine Verringerung der Verschiebungen und Steigungswinkel bei größerem Größtkorn zu beobachten. Neben dem Größtkorn beeinflusst auch die Art des Bettungsmaterials diese Verzahnung. Die Verwendung von Brechsand oder Brechsand-Splitt-Gemisch ergibt dabei durch die bruchflächigen Körner eine stärkere Verzahnung und damit höhere horizontale Verschiebungswiderstände, als das bei Natursand und Natursand-Kies der Fall ist.
- Obwohl der Verband einen etwas weniger starken Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand aufweist als die bisher aufgeführten Parameter, ist er dennoch eine wichtige Einflussgröße. Den höchsten Widerstand bieten Flächen, die im Ellbogenverband verlegt worden sind, gefolgt vom Läuferverband quer zur Fahrtrichtung sowie vom Fischgrätverband. Während die Unterschiede zwischen diesen drei Verbänden eher geringer ausfallen und somit mit jedem dieser Verbände Flächen mit hohem horizontalem Verschiebungswiderstand hergestellt werden können, ist der Abstand zum Läuferverband längs zur Fahrtrichtung, der den geringsten Widerstand aufweist, größer.
- Bezüglich des Einflusses der Steinform kann allgemein festgestellt werden, dass Flächen mit Verbundsteinen einen höheren horizontalen Verschiebungswiderstand aufweisen als Flächen mit Rechtecksteinen, wobei die Unterschiede jedoch nicht in jedem Fall eindeutig sind. So lässt sich ein großer Teil der untersuchten Verkehrsflächen in die drei Kategorien von Shackel [7] einteilen. Nach diesen Kategorien liefern Verbundsteine bessere Ergebnisse als Steine ohne Verbund, also auch als Rechtecksteine. Unter den Verbundsteinen ergeben dabei die Steine mit Vier-Seiten-Verbund bessere Ergebnisse als die mit Zwei-Seiten-Verbund. Andererseits wurden vor allem bei einer ganzen Reihe von Flächen mit Rechteck- bzw. Quadratsteinen Ergebnisse in Höhe der Werte der Verbundsteine ermittelt. Somit bleibt insgesamt festzustellen, dass die Steinform ein bedeutender Parameter für die Höhe des horizontalen Verschiebungswiderstandes ist, gleichzeitig jedoch der Unterschied zwischen Rechteck- bzw. Quadratsteinen – im richtigen Verband gelegt – und Verbundsteinen geringer ausfällt als erwartet.
- Die Steindicke weist lediglich einen mittleren Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand auf. Tendenziell wäre ein Einfluss der Steindicke in der Art, dass eine größere Dicke einen höheren Widerstand bewirkt, zu erwarten.
- Das Steinformat hat eine untergeordnete Bedeutung für den horizontalen Verschiebungswiderstand. Zwar neigen größere Steine tendenziell zu geringeren Verschiebungen, jedoch sind die gefundenen Unterschiede gering und nicht eindeutig, sodass insgesamt der Einfluss des Steinformates bzw. der Steingröße als begrenzt bezeichnet werden kann.
- Die Fugenfüllung war bei den untersuchten Flächen von schwachem Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand. Zwar gilt prinzipiell, dass die horizontalen Verschiebungen bei einer Verringerung der Fugenfüllung größer werden, jedoch lagen bei den hier zu Grunde liegenden Untersuchungen nur Fugenfüllungsgrade im gut verfüllten Bereich (85 bis 100 %) vor, sodass dieses Verhalten nicht beobachtet werden konnte. Zu erwarten ist ein deutlicherer Einfluss des Fugenfüllungsgrades in einem Bereich ab ca. 70 bis 60 %. Insgesamt hat der Fugenfüllungsgrad somit ab einem Fugenfüllungsgrad von ca. 85 % einen untergeordneten Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand.
- Der Einfluss des Fugenmaterials auf den horizontalen Verschiebungswiderstand ist als eher schwach anzusehen. Entscheidend dabei ist vermutlich eher, wie gut das Fugenmaterial in die Fugen eingebracht werden kann. Zusätzlich wird dieser Einfluss durch andere Parameter überlagert, was eine weiter gehende Bewertung erschwert.
- Das Alter selbst hat keinen unmittelbaren Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand. Vielmehr hängt sein Einfluss mit anderen Parametern wie z. B. der Fugenfüllung und der Verkehrsbelastung zusammen. Wenn auch die Untersuchungen keine eindeutigen Rückschlüsse zulassen, so kann dennoch, auch vor dem Hintergrund praktischer Erfahrungen, bei neuen und sehr jungen Flächen bis zu einem Alter von etwa ein bis zwei Jahren unter Verkehr von einem geringeren horizontalen Verschiebungswiderstand ausgegangen werden.
- Der Einfluss des Steinmaterials auf den horizontalen Verschiebungswiderstand kann als schwach angesehen werden. Hier wurden Verkehrsflächen mit Klinkerpflaster sowie mit Betonsteinpflaster verglichen, sodass diese Aussage auch nur diese beiden Pflasterarten betrifft.
- Die Einflüsse der Witterung auf den horizontalen Verschiebungswiderstand sind als gering anzusehen.

- Ein Einfluss der Tragschicht auf den horizontalen Verschiebungswiderstand war nicht nachzuweisen, obwohl sowohl Schottertragschichten als auch Asphalt- sowie Betontragschichten als Unterlage der Pflasterdecken vorgefunden wurden.
- Die Spreizrichtung und ihr Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand müssen im Zusammenhang mit dem vorliegenden Verband gesehen werden, der wiederum normalerweise nach der Fahrtrichtung ausgewählt wird. Der direkte Einfluss der Spreizrichtung ist insgesamt als schwach zu bewerten. Aus Gründen der Versuchsdurchführung sowie der Einheitlichkeit sollten Spreizversuche generell in Fahrtrichtung durchgeführt werden.

Durch die übereinstimmenden Ergebnisse gleicher Parameter bei den unterschiedlichen untersuchten Flächen wird deutlich, dass die Übertragbarkeit der festgestellten Zusammenhänge sowohl auf alle untersuchten Flächen als auch darüber hinaus auf andere Pflasterflächen mit Betonstein- und Klinkerpflaster gewährleistet ist.

Die Untersuchungsergebnisse haben keinen direkten Einfluss des Alters der Pflasterfläche auf den horizontalen Verschiebungswiderstand aufgezeigt. In allen Fällen wurde dieser durch die Einflüsse der anderen Parameter überlagert. Der Einfluss des Alters wirkt sich vielmehr indirekt z. B. über den Fugenfüllungsgrad oder die Verkehrsbelastung aus.

Wenn auch die Untersuchungen keine eindeutigen Rückschlüsse zulassen, so kann vor dem Hintergrund praktischer Erfahrungen bei neuen und sehr jungen Flächen bis zu einem Alter von etwa ein bis zwei Jahren unter Verkehr von einem geringeren horizontalen Verschiebungswiderstand ausgegangen werden. Da keine neuen bzw. sehr jungen Flächen gemessen wurden, ist anzunehmen, dass alle hier untersuchten Flächen bereits in diesem Sinne "verfestigt" waren.

Demnach konnten die notwendigen Erkenntnisse für eine Festlegung eines Abnahmewertes nach dem Bau einer Pflasterfläche im Rahmen dieser Untersuchungen nicht gewonnen werden. Es wäre sinnvoll, entsprechend konzipierte Untersuchungen an neuen Pflasterflächen durchzuführen.

Spreizuntersuchungen an neuen Pflasterflächen über einen Zeitraum von ca. 1 bis 2 Jahren nach der Fertigstellung würden Erkenntnisse über die Entwicklung des horizontalen Verschiebungswiderstandes in den ersten Lebensjahren einer Pflasterfläche liefern.

Die im Folgenden aufgeführten Werte sind dementsprechend als Richtwerte für eine Diskussion um einen Grenzwert zu verstehen, der z. B. bei Untersuchungen an Pflasterflächen zum Einsatz kommen könnte, die ein Alter > 5 Jahren aufweisen.

Darüber hinaus haben Erfahrungen bei den Untersuchungen gezeigt, dass eine Beurteilung auf Grund dieser Werte nur für Pflasterflächen sinnvoll ist, die unter einer entsprechend hohen Verkehrsbelastung liegen. Pflasterflächen, wie z. B. Gehwege oder niedrig frequentierte Pkw-Parkplätze, können auch trotz wesentlich höherer Gesamtverschiebungen und Steigungswinkel einwandfrei funktionsfähig sein.

Wie schon erwähnt, gehören zu einer kompletten Erfassung des horizontalen Verschiebungswiderstandes mit dem Spreizgerät die Betrachtung des Steigungswinkels der Regressionsgeraden und der Gesamtverschiebung. Deshalb werden in Tabelle 2 für diese Ergebnisse Höchstwerte vorgeschlagen, die als Grenzwerte unter Berücksichtigung der entsprechenden Summenhäufigkeit für Pflasterflächen mit einem Alter > 5 Jahren und entsprechender Verkehrsbelastung angesetzt werden können.

Tab. 2: Empfohlene Höchstwerte beim Spreizversuch auf Pflasterflächen mit höherer Verkehrsbeanspruchung

Prüfgröße	Gesamtverschiebung bei 25 kN [mm]	Steigungswinkel der Regressionsgeraden [°]
Empfohlener Höchstwert	8,0	15,5

Literaturverzeichnis

- [1] Untersuchung über die Verteilung von auftretenden Schub- und Torsionskräften in Pflasterbelägen; FA-Nr. 6.058 G92A, Bundesministerium für Verkehr, 1997. Federführende Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum (RUB), Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau
- [2] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Pflasterdecken und Plattenbelägen – ZTV P-StB 2000, Ausgabe 2000, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV-Nr. 699), Köln
- [3] Koch, C.: Zum Tragverhalten von Pflasterbefestigungen, Schriftenreihe des Institutes für Straßenwesen und Eisenbahnbau der Ruhr-Universität Bochum, Heft 13, 1999
- [4] Shackel, B.: Loading and accelerated trafficking evaluations of heavy duty interlocking block pavements in Fremantle, Australian Road Research Board Proceedings, Volume 11, Part 2, 1982
- [5] Shackel, B.; Soller, R.; Schmincke, P.: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss von Bettung und Fugen auf das Verhalten von Decken aus Betonpflastersteinen, Betonwerk + Fertigteil-Technik Heft 1/1984
- [6] Shackel, B.: An experimental investigation of the roles of the bedding and jointing sands in the performance of interlocking concrete block pavements subjected to traffic, South Africa, Concrete Beton No.19, 1980
- [7] Shackel, B.: Handbuch Betonsteinpflaster, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1996 □