

Forschungsbericht Nr. 2724

Untersuchungen zur Standfestigkeit von gebundenen Pflasterflächen auf befahrbaren Dächern

**(Nophadrain BV, Kerkrade
ROMEX PFM GmbH, Euskirchen)**

1. Vorgang

Durch die Firmen Nophadrain BV, Kerkrade und ROMEX PFM GmbH, Euskirchen (nachfolgend als AG bezeichnet) wurde das Prüfamnt für Verkehrswegebau der TU-München beauftragt, die Standfestigkeit von gebundenen Pflasterflächen auf befahrbaren Dächern unter Verwendung von NOPHADRAIN Drain- und Schutzbahnen im Rollprüfstand (siehe Anlage 1.1) zu untersuchen. Durch die Fa. ROMEX wurden hierzu zwei verschiedene Prüfflächen hergestellt, Prüffläche 1 „Betonsteinpflaster verfugt“ und Prüffläche 2 „Natursteinpflaster verfugt“. Vorgesehen waren insgesamt 100.000 Überrollungen der beiden Prüfflächen in beiden Rollrichtungen mit phasenweise gesteigerten Radlasten von jeweils 5kN ("schwere PKW"), 10kN ("Kleintransporter"), 25kN („leichte LKW) und 50 kN ("schwere LKW"). Hierzu wurde der Überroll-Prüfstand des Prüfamtes mit zwei LKW-Rädern bestückt, um die gleichzeitige Belastung beider Prüfflächen zu gewährleisten. Abschließend wurde auf der Teilfläche mit Natursteinpflaster noch eine weitere Versuchsphase zur Simulation schwerer, überladener LKW durchgeführt (Simulation einer 60kN Radlast). Die Versuche waren unter konstanten, klimatischen Randbedingungen, d.h. bei Raumtemperatur (ca. 20°C) und ohne Beregnung durchzuführen.

2. Versuchsprogramm

2.1 Versuchseinrichtung

Der prinzipielle Aufbau des Überroll - Prüfstandes, der insbesondere bei der Simulation von Spurrinneneffekten bei Asphaltstraßen zur Anwendung kommt, ist der Anlage 1 zu entnehmen. Die gewünschte Versuchs-Achslast bzw. -Radlast (hier: $P = 5 \text{ kN}$; 10 kN ; 25 kN ; 50 kN und 70 kN) wird durch einen vertikalen, feststehenden Druckzylinder erzeugt. Durch Anpassung des Reifeninnendruckes an die vorgegebenen Radlasten können auch Belastungen durch PKW-Verkehr simuliert werden. Beispielhaft ist die Reifenkontaktfläche (hier: Semperit 7,50 R 15 STC) für eine Radlast von 50 kN und einem Reifeninnendruck von 9 bar in der Anlage 1.2 beigegeben. Der Überrollvorgang mit einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von ca. 1 km/h wird durch die Verschiebung des Prüfkörpers d.h. der Fahrbahn unter der stehenden Achse erzeugt. Der Überrollweg zwischen den Umkehrpunkten des Prüfkörpers beträgt ca. 90 cm .

2.3 Versuchskörper im Rollprüfstand

Vorgesehen war, dass die beiden Aufbauten mit gebundener Pflasterfläche in einem gemeinsamen Versuchsaufbau einer gleichzeitigen Prüfung im Rollprüfstand unterzogen werden. Im Versuchsrahmen (Breite ca. 151 cm ; Länge ca. 141 cm) der Prüfeinrichtung wurden die beiden unterschiedlichen Fahrbahnaufbauten, getrennt durch eine Längsfuge, durch die Fa. ROMEX eingebaut. Die Aufbauarbeiten am Versuchskörper wurden durch den AG dokumentiert, die Bilder befinden sich in Anhang 1. Beide Teilflächen wurden dann jeweils von einem der beiden LKW-Räder in Längsrichtung überrollt.

Aufbau der beiden Teilflächen nach Vorgabe AG:

Gebundenes Betonsteinpflaster

- 8 cm Betonsteinpflaster (Rechteckformat 20cm x 10cm),
8 cm Fugenverfüllung (ROMPOX D2000);
die ausgeführte Fugenbreite beträgt ca. 10mm bis 15mm
- ROMEX-Haftschlämme
- 6 cm Bettungsmörtel (ROMEX-TRASS-BETTUNG)
- Drainmatte (Nophadrain ND-620hd)
- Schutzschicht (Nophadrain TSF-100)
- Bitumenunterlagsbahn G 200 S4
- 16 cm Ortbeton-Höhenausgleich

Gebundenes Natursteinpflaster

- 10 cm Natursteinpflaster (Format 20cm x 10cm),
Fugenverfüllung (ROMPOX D2000),
die ausgeführte Fugenbreite beträgt ca. 5mm bis 20mm;
- ROMEX-Haftschlämme
- 4 cm Bettungsmörtel (ROMEX-TRASS-BETTUNG)
- 16 cm Dränbetontragschicht
- Drainmatte (Nophadrain ND-620hd)
- Schutzschicht (Nophadrain TSF-100)
- Bitumenunterlagsbahn G 200 S4

Zur Simulation größerer Fahrbahnflächen war gegenüber den Randeinfassungen (Stahlplatten) des Versuchstroges eine elastisch verformbare Randeinfassung durch das allseitige Anordnen von Gummigranulatmatten vorgesehen (siehe Bilder Anhang 1). Hingewiesen sei, dass sich die Untersuchungen damit auf die Verhältnisse innerhalb gebundener Pflasterflächen beziehen. Das Verhalten von gebundenen Pflasterflächen im Bereich der Ränder, das Überrollen von Fugen bzw. unplanmäßigen Rissen, die sich ggf. infolge von Temperaturänderungen einstellen könnten, wird in diesem Versuch nicht abgebildet.

2.4 Belastungsphasen

Zur Versuchsdurchführung waren insgesamt ca. 100.000 Lastwechsel in zunächst 4 Belastungsphasen jeweils bei Raumtemperatur und ohne Beregnung vorgesehen:

- Phase 1: Belastung durch schwere PKW mit einer maximalen Achslast von 10 kN entsprechend einem Gesamtgewicht von 2 t.
- Phase 2: Belastung durch Kleintransporter mit einer maximalen Achslast von 20 kN entsprechend einem Gesamtgewicht von 4 t.
- Phase 3: Belastung durch leichte LKW mit einer maximalen Achslast von 50 kN entsprechend einem Gesamtgewicht von 7.5t bis 10t.
- Phase 4: Belastung durch schwere LKW mit einer maximalen Achslast von 100 kN. Hierbei ist anzumerken, dass schwere LKW-Antriebsachsen i.d.R. mit Zwillingsreifen ausgestattet sind, wodurch sich infolge der größeren Aufstandsfläche eine günstigere Beanspruchung des Fahrbahnaufbaues ergibt. Andererseits ist das geringere Biegemoment infolge begrenzter Abmessungen im Versuchsaufbau der Teilfläche „Natursteinpflaster“ zu kompensieren!

Abschließend wurde nach dem Ausbau der Teilfläche mit Betonsteinpflaster und Einbau einer Betonplombe die Belastung der Teilfläche mit Natursteinpflaster weiter gesteigert:

- Phase 5: Belastung durch schwere, überladene LKW mit einer maximalen Achslast von ca. 120 kN. Unter Berücksichtigung des ca. 15% geringeren Biegemomentes infolge begrenzter Prüfkörperabmessungen im Versuchsstand wurde eine Radlast von 70kN, d.h. Achslast 140kN aufgebracht.

Zu Beginn jeder Belastungsphase wurden Querprofilmessungen (siehe Anlage 2) durchgeführt, um ggf. Veränderungen der Höhenlage der Pflastersteine insbesondere im Bereich der Rollspur detektieren zu können.

Tab. 1: Belastungsphasen

| Phase | Simulierte Achslast [kN] | Radlast im Versuch [kN] | Reifeninnendruck [bar] | Überrollungen |
|-------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 10 | 5 | 3 | 30.000 |
| 2 | 20 | 10 | 5 | 20.000 |
| 3 | 50 | 25 | 7 | 20.000 |
| 4 | 100 | 50 | 9 | 20.000 |
| 5 | 120 | 70* | 10 | 10.000 |

*) im Versuch aufgebrauchte Radlast zur Simulation einer Achslast von ca. 120kN bzw. Radlast 60kN bezogen auf die im Versuch aktivierte Biegebeanspruchung der gebundenen Natursteinpflasterfläche.

3. Ergebnisse

Abgesehen von einer anpassungsbedingten, geringen Setzung (< 1mm) der Pflasterflächen insgesamt und etwas Reifenabrieb konnten während der Versuchsphasen 1 bis einschließlich 3 (25kN Radlast) keinerlei Veränderungen bzw. Schäden festgestellt werden.

Durch die Laststeigerung mit Beginn der Phase 4 (50kN Radlast) wurde in der Teilfläche mit Betonsteinpflaster nach ca. 5.000 Lastwechsel ein quer zu Rollrichtung verlaufender Riss mit einer Breite von max. 0.3mm festgestellt (siehe Anhang 2.2; Bilder 3 und 4). Der Riss verlief i.d.R. in der Fuge entlang der Betonsteinkante (Haftung zwischen Fugenmörtel und Betonstein unterbrochen), jedoch auch quer durch einen Betonstein. Bewegungen am Riss, Lockerungen von Steinen oder plastische Verformungen (Stufenbildungen) wurden in diesem Stadium nicht beobachtet.

Im Verlauf der weiteren 15.000 Lastwechsel der Stufe 4 wurde zunächst eine, vom Querriss ausgehende Längsrissbildung in der Teilfläche mit Betonsteinpflaster beobachtet. Demzufolge ergaben sich weitere Risse durch Betonsteine sowie Risse entlang der Fugenflanken, verbunden mit dem Herauslösen von Steinen aus dem Verbund (siehe Anhang 2.3; Bilder 5 bis 8). Zunehmende Bewegungen von ausgebrochenen Steinen, verbunden mit Setzungen bis ca. 3mm (siehe Anhang 2.4; Bild 7), wurden gegen Ende der Phase 4 beobachtet. Die Querprofilmessungen (siehe Anlage 2) nach Abschluss der Phase 4 zeigen ebenfalls das Eindringen gelockerter Betonsteine im Bereich der Rollspur (Bereich Betonsteinpflaster von 0mm bis 750mm im Querprofil).

Nach Rücksprache mit dem AG wurde die Teilfläche mit Betonsteinpflaster nach Abschluss der Phase 4 (insgesamt 90.000 Lastwechsel) ausgebaut. Eine Dokumentation des Ausbaus ist in den Anlagen 2.5 bis 2.8 enthalten.

Festzuhalten ist, dass der erste aufgetretene Querriss deckungsgleich mit dem Ende der Überlappung der Schutzbahnlage der Drainbahn im Stoßbereich ist. Es ist erkennbar, dass der eingebrachte Bettungsmörtel diesen Stoßbereich teilweise unterlaufen hat, womit im Stoßbereich Hohllagen und damit ungleichmäßige Auflagerbedingungen für die Pflasterdecke entstanden sind. Ein Abkleben der Schutzbahnüberlappung vor Einbau des Bettungsmörtels könnte hier Abhilfe schaffen!

Infolge des ersten Querisses nimmt die Tragfähigkeit (Lastverteilung durch die Fahrbahn) in diesem Bereich ab. Bei zunehmender Rissöffnung entspricht die Überrollung des Risses damit dem Lastfall „freier Plattenrand“! Senkrecht zum Querriss verlaufende, weitere Risse sind die Folge. Weiter wurden einzelne Betonsteine im Bereich der Rollspur aus dem Verbund gelöst, womit die Lastverteilung innerhalb der gebundenen Pflasterdecke entfällt und die Drainbahn überlastet wird (Einknicken der Noppen; siehe Anhang 2.8). Gelockerte Steine innerhalb der Rollspur werden in die Drainbahn eingedrückt.

Die Teilfläche mit Natursteinpflaster zeigte nach Abschluss der Phase 4 keinerlei Schäden oder signifikante Verformungen.

Nach Rücksprache mit dem AG wurde das ausgebaute Betonsteinpflaster durch Ort beton ersetzt, um eine weitere Versuchsphase auf der Seite mit Natursteinpflaster (Phase 5) mit erhöhten Radlasten (Simulation von 60kN Radlast) und 10.000 Lastwechsel anschließen zu können.

Die Teilfläche mit Natursteinpflaster zeigte auch nach Abschluss der Phase 5 keinerlei Schäden oder signifikante Verformungen.

4. Schlussfolgerungen

Die Bauweise der Teilfläche mit "gebundenem Betonsteinpflaster" kann die Verkehrsbelastungen bis zu einer Achslast von 50 kN (25 kN Radlast), entsprechend einem Fahrzeug-Gesamtgewicht von ca. 7.5t bis 10t, unbeschadet aufnehmen.

Belastungen von über 50 kN Achslast (25 kN Radlast) erfordern eine lastverteilende Tragschicht aus Dränbeton entsprechend der Bauweise der Teilfläche mit "gebundenem Natursteinpflaster". Diese kann die Verkehrsbelastung bis zu einer Achslast von 120 kN (60 kN Radlast), entsprechend einem Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von ca. 40 t, unbeschadet aufnehmen.

Zu beachten ist, dass sich o.g. Feststellungen auf kontinuierlich aufgebaute Flächen beziehen. Das Verhalten der gebunden Flächen an Unstetigkeitsstellen aller Art, wie Randabschlüsse, Fugen, ungeplante Risse etc. sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen und Schlussfolgerungen.

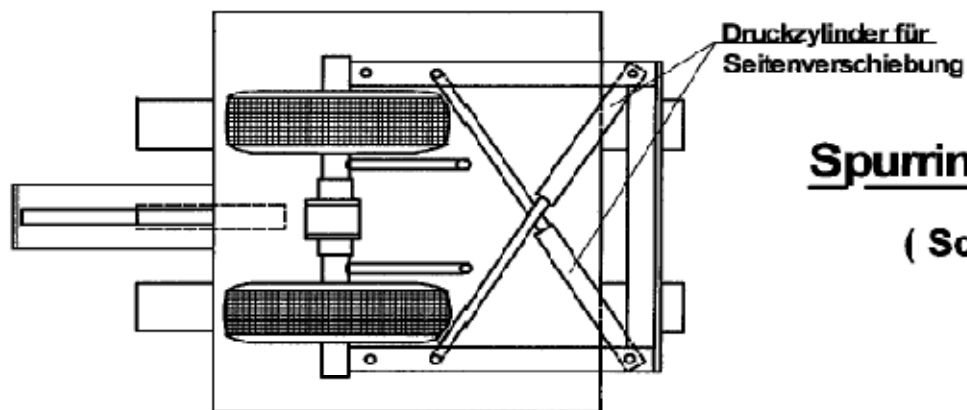
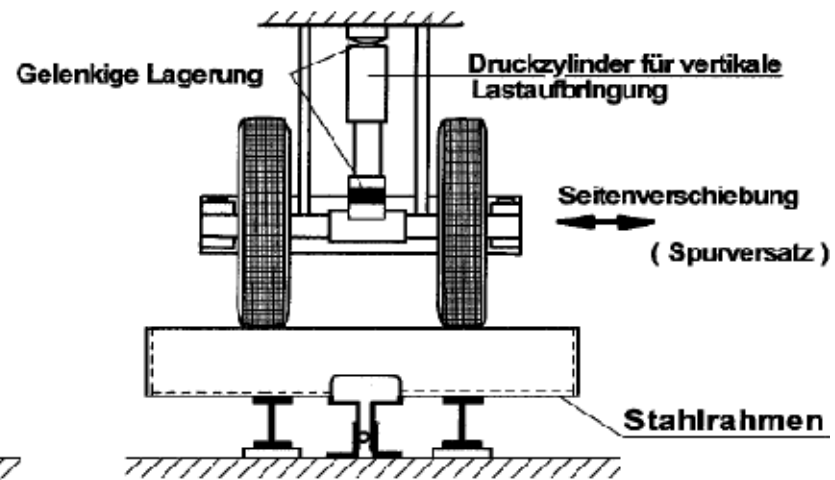
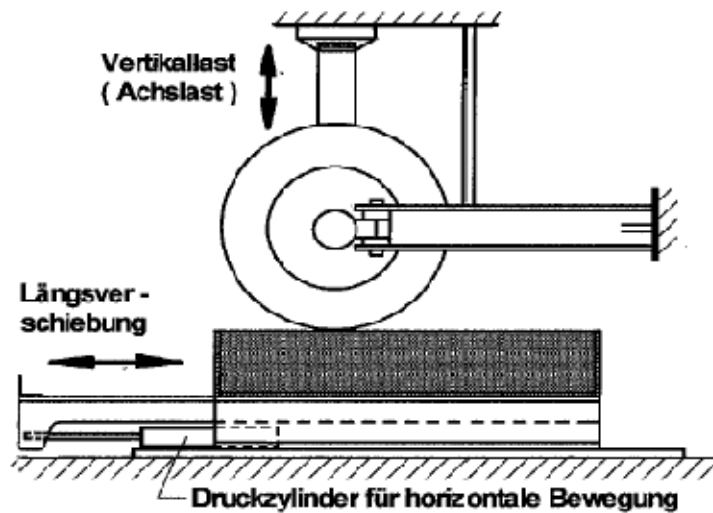
München, 25.02.2011

(Dr.-Ing. S. Freudenstein)
Univ.-Prof.



Für die Durchführung und
Auswertung der Versuche:

(Dr.-Ing. B. Lechner)

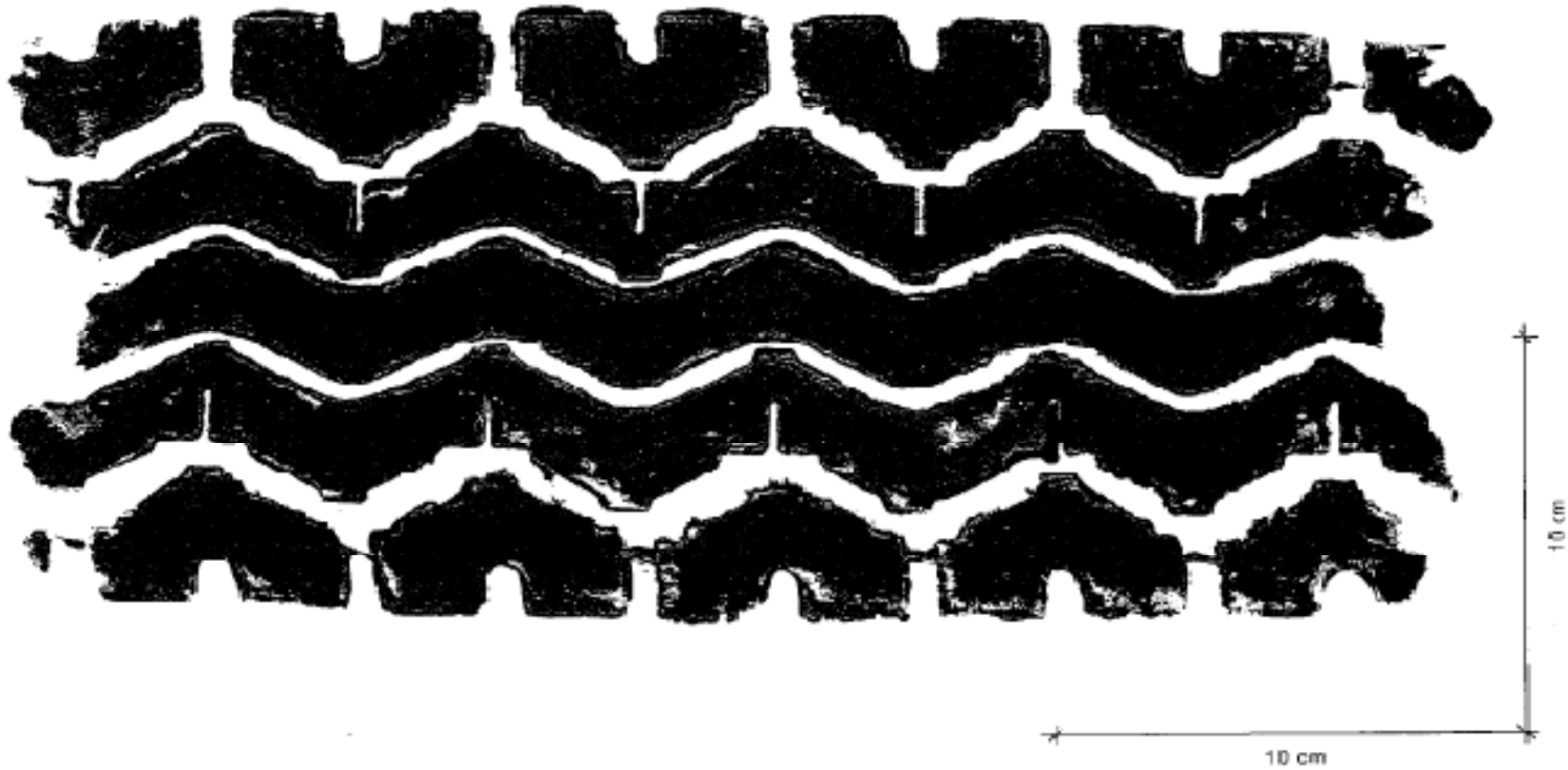


Spurinnentest - Prüfmaschine

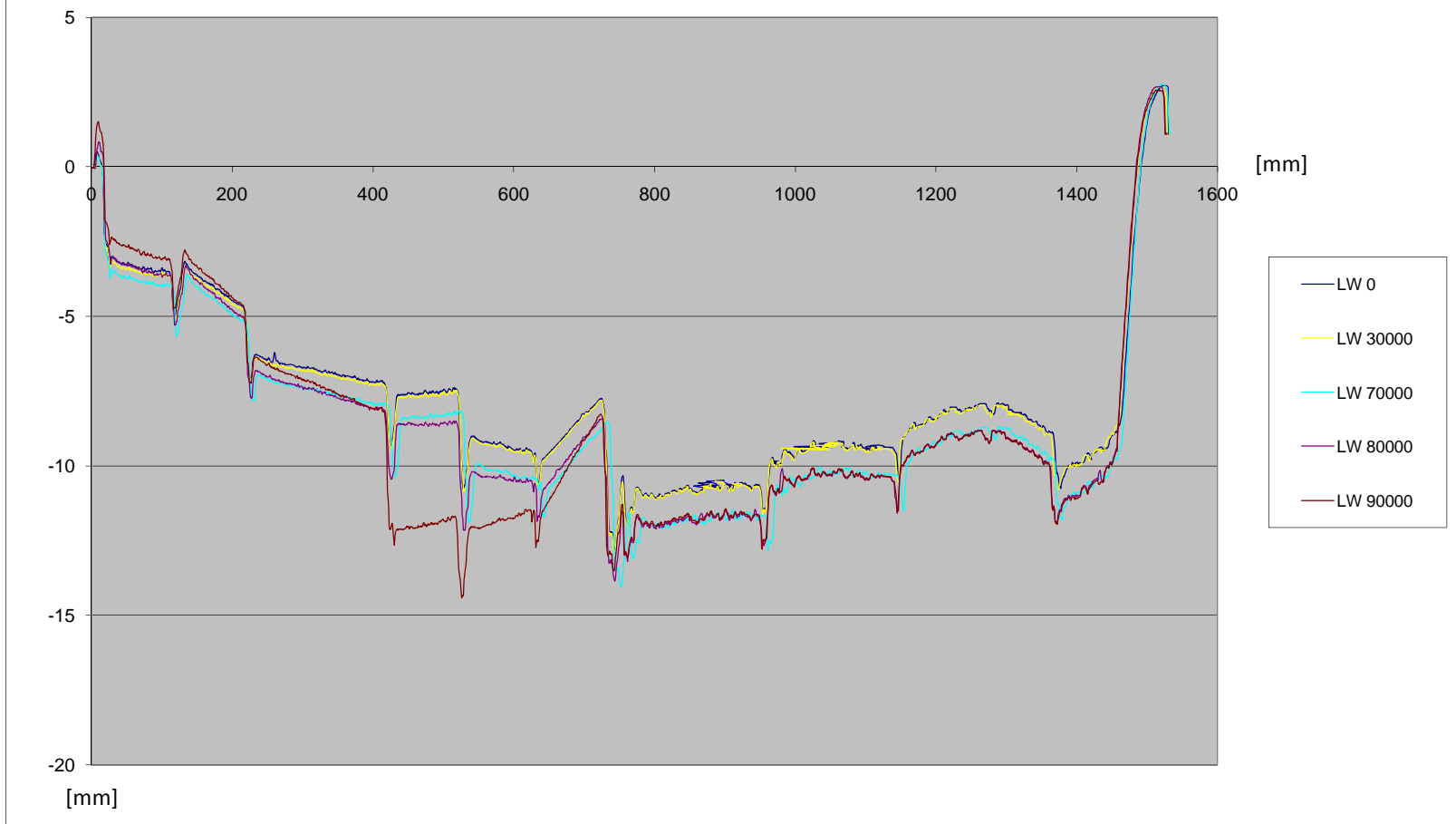
(Schematische Darstellung)

Reifenkontaktfläche für

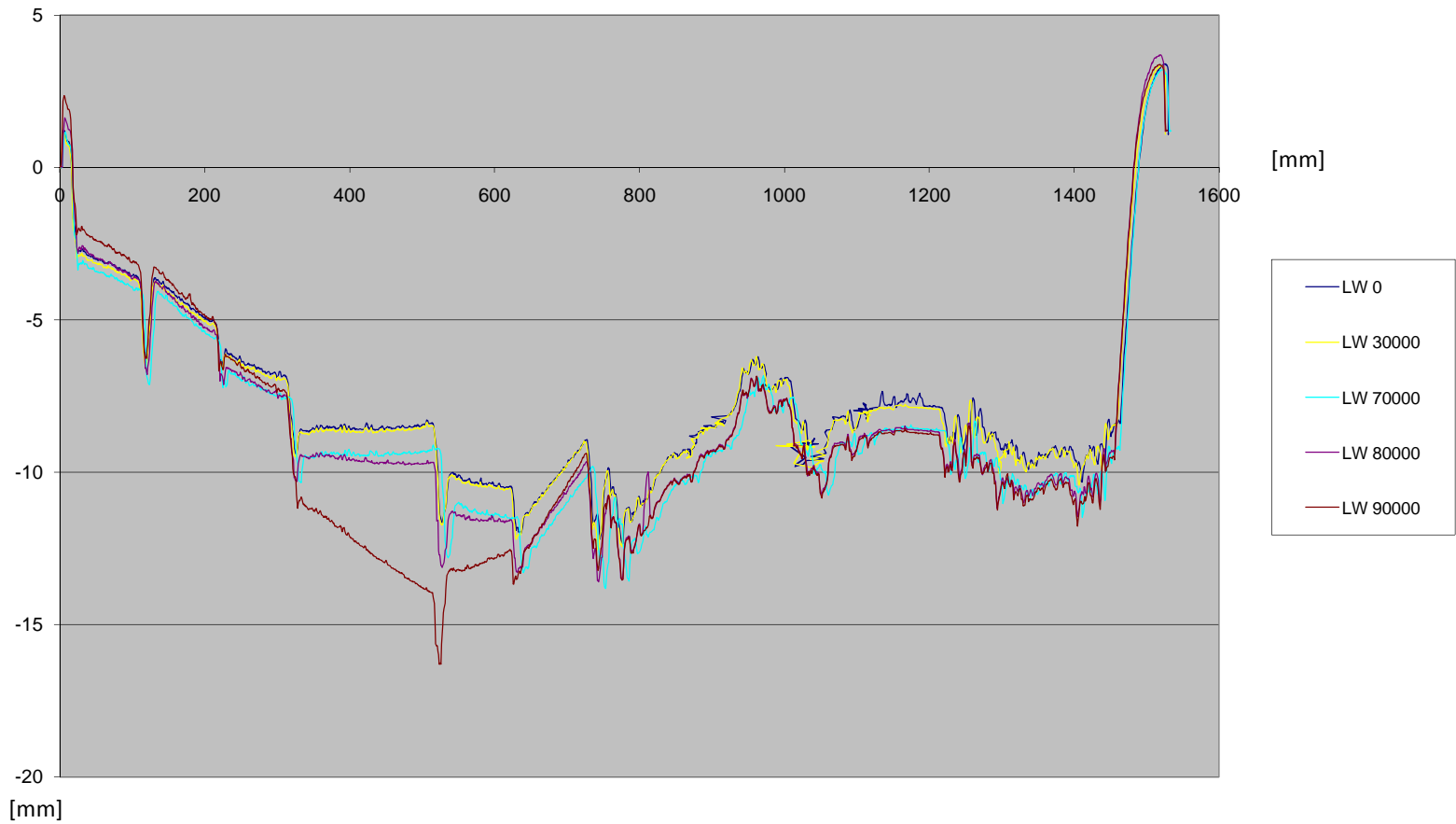
50 kN Radlast
9 bar Fülldruck



QP1



QP2



Anhang 1.1



Bild 1: Höhenausgleich mit Ortbeton für die Teilfläche „Betonsteinpflaster“. Aufschmelzen der Bitumenunterlagsbahn G 200 S4.

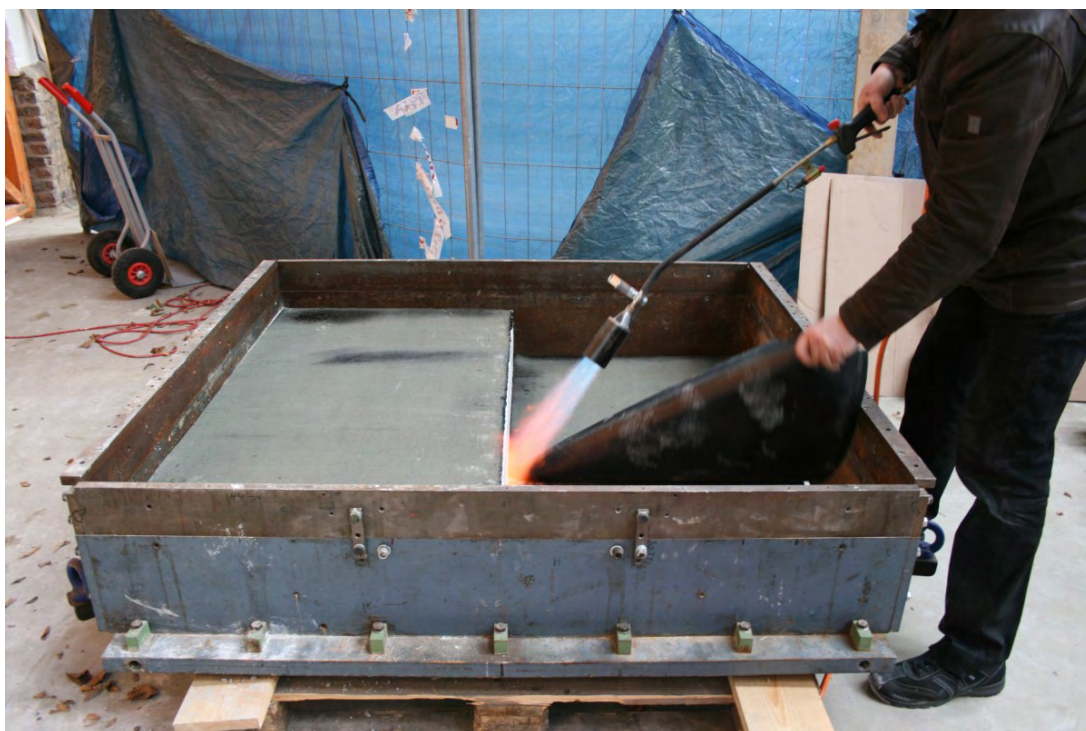


Bild 2: Aufschmelzen der Bitumenunterlagsbahn G 200 S4 im Stahltrog für die Teilfläche „Natursteinpflaster“.

Anhang 1.2



Bild 3: Einlage von Nophadrain-Schutzbahnen beidseits



Bild 4: Auflage der Nophadrain Bahnen beidseits. Stoßfugen jeweils mittig, d.h. bei halber Überrolllänge.

Anhang 1.3



Bild 5: Einbau der Drainbetontragschicht für die Teilfläche „Natursteinpflaster“. Die Teilflächen werden vertikal durch zwei Schutzbahnlagen getrennt.



Bild 6: Einbringen des Bettungsmörtels (ROMEX-TRASS-BETTUNG) für die Teilfläche „Betonsteinpflaster“.

Anhang 1.4



Bild 7: Vorbereitung des Betonsteinpflasters mit Auftrag der Haftbrücke (ROMEX Haftschlämme).



Bild 8: Verlegen des Betonsteinpflasters auf die Bettungsschicht (ROMEX Trass-Bettung).



Bild 9: Verlegung Natursteinpflaster auf Bettungsmörtel (ROMEX Trass-Bettung).



Bild 10: Abschluss der Verlegearbeiten.

Anhang 1.6



Bild 11: Ausbringung des Kunstharz-Pflasterfugenmörtels ROMPOX D2000 auf der Prüffläche „Betonsteinpflaster“.



Bild 12: siehe Bild 11.

Anhang 1.7



Bild 13: Reinigung der Oberfläche „Betonsteinpflaster“ mit einem groben Straßenbesen.



Bild 14: Endreinigung mit einem feinen Besen.

Anhang 1.8



Bild 15: Ausbringen des Kunstharz-Pflasterfugenmörtels ROMPOX D2000 auf der Prüffläche „Natursteinpflaster“.



Bild 16: siehe Bild 15.

Anhang 1.9



Bild 17: Fertiggestellter Versuchskörper.

Anhang 2.1



Bild 1: Situation im Überrollversuchsstand: linke Seite Natursteinpflaster, rechte Seite Betonsteinpflaster.



Bild 2: Überrollung der Teilflächen parallel zur Trennfuge.

Anhang 2.2



Bild 3: Detektion eines ersten Querrisses (Rissbreite 0.3mm) nach ca. 5.000 Lastwechseln der Phase 4 (50kN Radlast).



Bild 4: siehe Bild 3; erkennbarer Verlauf des Risses rot markiert.

Anhang 2.3

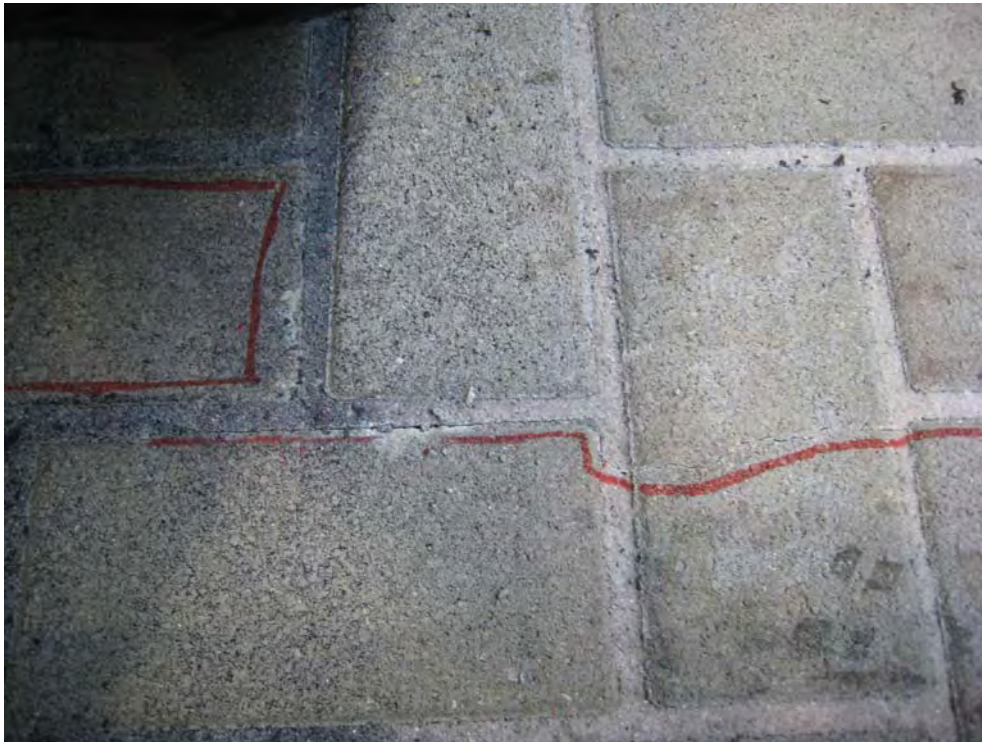


Bild 5: Bildung weiterer Längs- und Querrisse, Lockerung einzelner Steine während weiterer Überrollungen, Bruch weiterer Steine in der Versuchsphase 4.



Bild 6: siehe Bild 5.

Anhang 2.4



Bild 7: Abschluss der Phase 4; einzelne Steine wurden mehrere Millimeter eingedrückt.



Bild 8: Position der Querprofilmessungen Nr. 1 und Nr. 2.

Anhang 2.5



Bild 9: Rissbildung ausgehend vom Stoß der Drainbahn (hier verursacht durch Unterlaufen von Bettungsmaterial im Überlappungsbereich der Schutzbahn).



Bild 10: siehe Bild 9

Anhang 2.6



Bild 11: Verlauf des Querrisses entlang des Stoßes der Drainbahn.



Bild 12: Verlauf sekundärer Längs- und Querrisse im Bereich der Rollspur.

Anhang 2.7



Bild 13: Vertikale Deformation der Drainbahn unter einem gelockerten Betonstein.



Bild 14: Detail siehe Bild 13.

Anhang 2.8



Bild 15: Deformierte Noppen der Drainbahn unterhalb der lockeren Steine.



Bild 16: Detail siehe Bild 15.