

URBANINFRA

Monitoringsystem zur Schwingungsüberwachung von Festen Fahrbahnen

Helmut Venghaus

ACCON GmbH, 86926 Greifenberg, E-Mail: helmut.venghaus@accon.de

Einleitung

Im Rahmen des Eurostars Programm der EU wurde ein kosteneffizienter, widerstandsfähiger und umweltfreundlicher Unterbau für eine durch Straßen- und Schienenverkehr gemeinsam genutzte Infrastruktur entwickelt. Das Forschungsvorhaben E!10018 URBANINFRA (Shared infrastructures for urban rail and road traffic) wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennzeichen: 01QE1622).

In diesem Beitrag werden Ergebnisse dargestellt, welche für eine sachgerechte Berücksichtigung von lärmrelevanten Einflüssen in einem kostenoptimierten Instandhaltungskonzept für gemeinsam genutzte Fahrbahnen von Bedeutung sind. Besonderes Augenmerk soll hier auf die gewonnenen Erkenntnisse über die Veränderungen der Plattensteifigkeiten durch kontinuierliche Beanspruchungen aus Lasten von Rad und Schiene und den daraus ableitbaren Hilfestellungen für die Instandhaltungsarbeiten gelegt werden.

Das Projekt wurde gemeinschaftlich bearbeitet von der D2S (Belgien) und ACCON GmbH (Deutschland) in der Projektlaufzeit vom 01.06.2015 bis 31.05.2018.

Theoretische Basis

Im innerstädtischen Bereich müssen in vielen Bereichen die Fahrwege von Straßen- und Schienenfahrzeugen gemeinschaftlich genutzt werden. Hier werden sehr häufig Rillenschienen auf Betontragplatten gelagert, um auch für Straßenfahrzeuge eine möglichst ebene Fahrfläche bereitzustellen zu können.

Die Herstellung solcher Betontragplatten ist sehr kostenintensiv. Von großem Interesse sind kostengünstige Alternativen welche nicht die Qualität der Fahrbahn verschlechtern oder die Kosten für den Erhaltungsaufwand erhöhen.

Besonders naheliegend ist eine vertretbare Reduktion der Plattendicke, was neben Materialeinsparungen auch Einsparungen von Arbeitszeit bei Herstellung und Einbau (geringerer Aushub) ermöglicht. Allerdings wird bei verminderter Plattendicke die Tragfähigkeit der Platte herabgesetzt, was zu höheren Instandhaltungskosten führen kann. Anhand von theoretischen Berechnungen via FEM wurde eine Gruppe von Testobjekten definiert, welche anschließend hergestellt und im Weiteren auf einem Prüfstand untersucht wurden.

Prüfstands Aufbau

Als Prüfstand für die Dauerversuche wurde die Rundlaufanlage der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (STUVA) in Köln genutzt [1], welche sich

schon für ähnliche Untersuchungen in der Vergangenheit bewährt hat.



Abbildung 1: Rundlaufprüfstand der STUVA. Zentral angeordneter Antrieb von zwei Lkw-Rädern mit jeweiliger Last von ca. 50 kN

Es wurden 8 Testobjekte in Trapezform hergestellt, von denen jeweils die Hälfte eine Plattendicke von 320 mm bzw. 280 mm aufweisen. In zentraler Achse wurde in einem Elastomer eine Rillenschiene eingelagert.

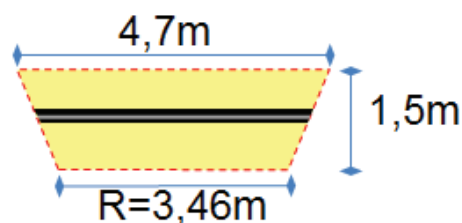


Abbildung 2: Skizze eines Testobjekts zur Verdeutlichung der Dimensionen

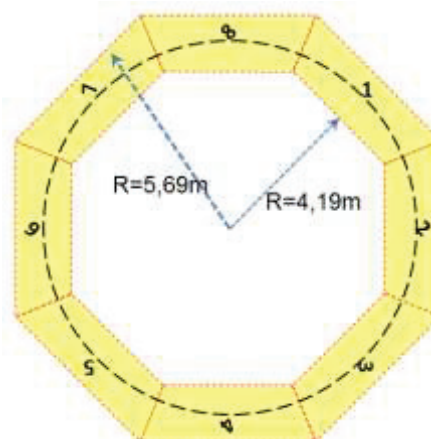


Abbildung 3: Anordnung der 8 Testobjekte auf dem

Rundlaufprüfstand der STUVA

Die 8 Testobjekte wurden derartig zusammengefügt, dass die Räder der Rundlaufanlage entlang der gestrichelten Linie in Abbildung 3 die Platten mit insgesamt 1,3 Millionen Überfahrten belasteten.

Zur Simulation unterschiedlicher Bodeneigenschaften wurden unterhalb der Tragplatten verschieden harte Elastomermatten eingefügt.

Messungen

Die Tragplatten werden in Schwingungen versetzt, wenn die Räder auf die Platte fahren (größerer Impuls) und verlassen (kleinerer Impuls). Das Schwingverhalten wurde von jeweils 2 Schwingschnelle-Sensoren (Geophone) pro Testobjekt aufgenommen und digital gespeichert. Die Abtastrate der Signale lag bei 1024 Hz.



Abbildung 4: Positionen der Geophone auf der Mittelachse eines Testobjekts

Der Abstand der Räder (= Durchmesser Rundlaufanlage) beträgt 10 Meter. Bei 1,3 Millionen Überfahrten und einer mittleren Geschwindigkeit der Räder von ca. 38 km/h betrug die netto Messdauer mehr als 540 Stunden (ca. 23 Tage).

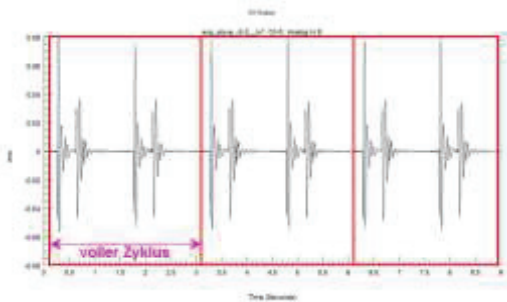


Abbildung 5: Zeitsignal auf einem Testobjekt für 3 Zyklen

Die Abbildungen 6 und 7 sollen verdeutlichen, dass die Signale aus den Überfahrten eines Rades für einen begrenzten Zeitabschnitt in sich eine extrem hohe Ähnlichkeit besitzen.

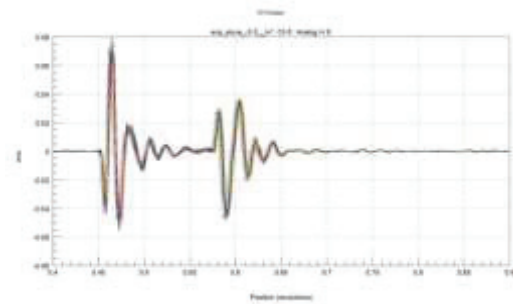


Abbildung 6: Überlagerung der Zeitsignale von 50 Überfahrten eines Rades auf einem Testobjekt, 280 mm Platte auf weicher Lagerung

Die Signale der unterschiedlichen Platten weichen sehr stark voneinander ab. Die weichgelagerte dünne Platte (Abb.6) zeigt eine wesentlich höhere Impulsantwort als die dicke Platte auf hartem Untergrund (Abb.7)

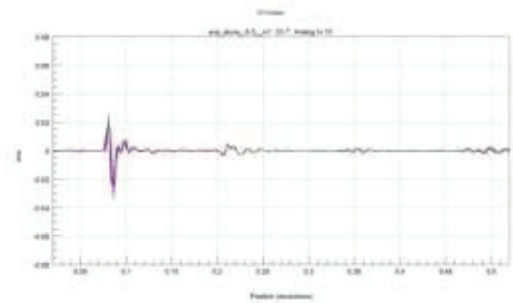


Abbildung 7: Überlagerung der Zeitsignale von 50 Überfahrten eines Rades auf einem Testobjekt, 320 mm Platte auf harter Lagerung

Vergleicht man jedoch die Zeitsignale an einem Messpunkt zu Beginn der Messreihe nach ca. 13000 Überfahrten (Abbildung 8) mit dem Zeitsignal an diesem Messpunkt nach ca. 220.000 Überfahrten (Abbildung 9), so kann man erkennen, dass sich an neuralgischen Spitzen der Zeitsignale wesentliche Veränderungen eingestellt haben.



Abbildung 8: Überlagerung der Schwingensignale an einer Messposition auf einer 280mm starken Platte mit „weichem“ Untergrund bei 20 aufeinander folgenden Überfahrten bei ca. 13.000 Überfahrten

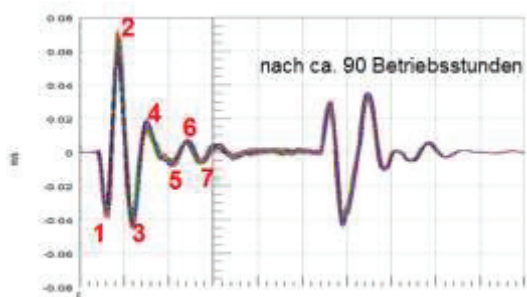


Abbildung 9: Überlagerung der Schwingensignale an einer Messposition auf einer 280mm starken Platte mit „weichem“ Untergrund bei 20 aufeinander folgenden Überfahrten bei ca. 220.000 Überfahrten

Frequenzanalyse der Messdaten

Die Verweildauer eines Rades auf einem Testobjekt beträgt ca. 0,39 Sekunden. Für eine Frequenzanalyse der Impulssignale wurde ein Fenster mit der Länge von 0,5 Sekunden gewählt, um eine FFT-Analyse mit ungewichteter Zeitfensterfunktion wählen zu können. Es wurden für die Messpunkte jeweils Frequenzanalysen aus 10 verschiedenen Zeitabschnitten der 1,3 Millionen Überfahrten für jeweils 10 Überfahrten eines Rades erstellt.

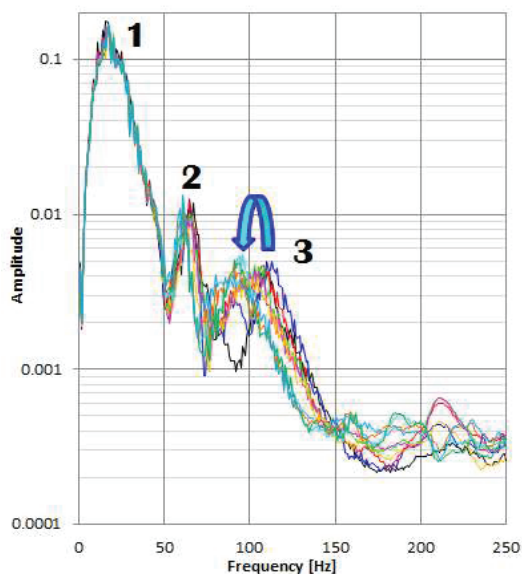


Abbildung 10: Frequenzanalysen aus 10 unterschiedlichen Zeitabschnitten am Messpunkt 9 (280 mm Platte, weich gelagert) aus 1,3 Millionen Überfahrten

Die Ergebnisse der Frequenzanalysen der Messpunkte wiesen alle eine ähnliche Charakteristik auf. Es sind 3 lokale Maxima zu erkennen. Das Maximum „1“ ergibt sich aus der schwingenden Masse der Platte auf der elastischen Lagerung und bleibt über den gesamten Untersuchungszeitraum sehr konstant. Das Maximum „2“ wird der Kippneigung der Platte zugeordnet, die sich aus dem Auffahren bzw. Verlassen des Rades auf der Platte ergibt. Es ist mit zunehmender Belastungsdauer eine leichte Verschiebung zu niedrigeren Frequenzen zu erkennen, was darauf hindeuten mag, dass das Elastomer unter der Platte weicher wird. Die größte Frequenzverschiebung ist bei Maximum „3“ zu

erkennen. Diese Verschiebung ist so groß, dass sie nur über eine Veränderung der Plattenstruktur zu erklären ist.

Bei der Gegenüberstellung der Frequenzspektren und der Zeitpunkte, an denen diese Spektren gewonnen wurden, konnte bei 2-dimensionaler Darstellung kein logischer Zusammenhang gefunden werden. Listet man jedoch die Spektren in einem Wasserfalldiagramm auf, so lässt sich erkennen, dass relativ schnell nach Start der Untersuchung eine Verschiebung der Maxima in der Gruppe „3“ zu erkennen ist. Nach unterschiedlicher Dauer, die durch die Dicke der Platte und Steifigkeit des Untergrundes definiert wird, stoppt diese Frequenzverschiebung und bleibt weitgehend stabil.

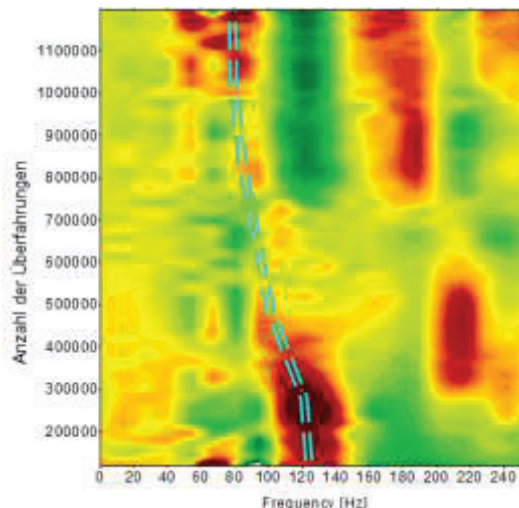


Abbildung 11: Frequenzanalysen aus 10 unterschiedlichen Zeitabschnitten am Messpunkt 9 (280 mm Platte, weich gelagert) aus 1,3 Millionen Überfahrten, dargestellt als Wasserfalldiagramm; die blaue Linie stellt die Frequenzverschiebung des Maximums „3“ dar.

Rissbildung in den Tragplatten

Die in den Abbildungen 10 und 11 dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Betonplatten durch die Belastungen aus den Überfahrten weicher geworden sind.

Nach Demontage der Testanlage wurden die Stirnflächen der Platten in Augenschein genommen. Es konnten Risse in unterschiedlich starker Ausprägung an beiden Stirnflächen aller Platten festgestellt werden, welche ausgehend von den beiden Eckpunkten der Schieneneinlagerung schräg nach außen verlaufen. .

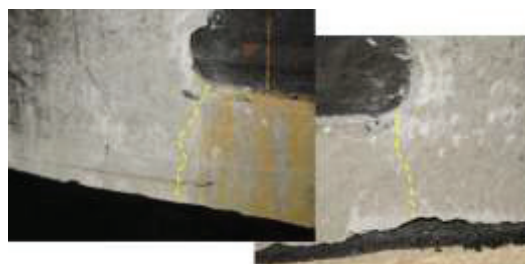


Abbildung 12: Rissbildung ausgehend von den unteren Eckpunkten der Schieneneinlagerung zum Boden der Betonplatten (Risse zur Verdeutlichung in gelb nachgezeichnet)

Aus der Betontechnik ist bekannt, dass Betonplatten bei dynamischer Beanspruchung Risse entwickeln, die eine Reduktion der Biegesteife der Platte bewirken, die sich in der Verringerung der Resonanzfrequenz nachweisen lässt. Es wird vermutet, dass die sich einstellende Biegsamkeit der Betonplatte über einen längeren Zeitraum konstant bleiben wird. Unter Einwirkung zusätzlicher Effekte wie dem Eindringen von Wasser oder Auffrieren wird zusätzlich zu einer Vergrößerung der Risse führen und das Versagen der Platte beschleunigen [2].

Zusammenfassung der Messergebnisse

- Platte Dicke 280 mm gelagert auf weichem Untergrund
 - Die Resonanzfrequenz der Platte bildet sich im ersten Zeitbereich der Untersuchung sehr präzise ab. Im weiteren Verlauf der Test wird das Bild diffuser, es prägen sich weitere Resonanzen deutlicher aus.
 - Nach ca. 350.000 Zyklen bildet sich ein Übergangsbereich, die Resonanzfrequenz geht von ca. 100 Hz auf ca. 65 Hz über.
- Platte Dicke 280 mm gelagert auf hartem Untergrund
 - Die Resonanzfrequenz der Platte bildet sich im ersten Zeitbereich der Untersuchung sehr präzise ab.
 - Nach ca. 400.000 Zyklen bildet sich ein Übergangsbereich, die Resonanzfrequenz geht von ca. 130 Hz auf ca. 70 Hz über.
- Platte Dicke 320 mm gelagert auf weichem Untergrund
 - Die Resonanzfrequenz der Platte bildet sich im ersten Zeitbereich der Untersuchung sehr präzise ab.
 - Nach ca. 350.000 Zyklen bildet sich ein Übergangsbereich, die Resonanzfrequenz geht von ca. 95 Hz auf ca. 60 Hz über.
- Platte Dicke 320 mm gelagert auf hartem Untergrund
 - Die Resonanzfrequenz der Platte bildet sich im ersten Zeitbereich der Untersuchung sehr präzise ab. Im weiteren Verlauf der Test wird das Bild diffuser, es prägen sich weitere Resonanzen deutlicher aus.
 - Nach ca. 380.000 Zyklen bildet sich ein Übergangsbereich, die Resonanzfrequenz geht von ca. 115 Hz auf ca. 75 Hz über.

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt URBANINFRA

Auf dem Rundlaufprüfstand konnten die Belastungszustände der Betonplatten in hoher Qualität überprüft werden.

Eine Reduktion der Plattendicke ist in Abhängigkeit von der Steifigkeit des Untergrunds möglich, weshalb Vielerorts Betontragplatten mit geringerer Dicke als gemeinsam genutzte Fahrbahnen Verwendung finden könnten.

Die Lebenszykluskosten (LCC) [3] lassen sich durch optimierte Plattendicken aufgrund der geringeren Herstell- und Einbaukosten senken, weil kein höherer Erhaltungsaufwand zu berücksichtigen ist.

Kosten für die Erhaltung gemeinsam genutzter Fahrbahnen lassen sich reduzieren, wenn anhand verbauter Schwingungssensoren der Schädigungsgrad der Platten durch die zyklischen Belastungen kontinuierlich erfasst wird. So lassen sich notwendige Erhaltungsarbeiten an den Betontragplatten präzise anhand des aufgezeichneten Verlaufs der Schädigung erkennen und Schadstellen lokal eingrenzen. In jedem Fall wird so auch die Verfügbarkeit der Trasse erhöht [4].

Literatur

- [1] Untersuchungen zur schall- und erschütterungstechnischen Wirkung von Gleisen in Straßenfahrbahnen sowie zu deren Dauerhaltbarkeit unter Belastung durch LKW und Busse, Schlussbericht, Teil 1: Dauerhaltbarkeit, Bericht 70.816/2008 Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Köln, Januar 2010
- [2] Risse im Beton, Zement-Merkblatt Betontechnik; B18 2.2014; www.beton.org
- [3] INNOTRACK, D 6.2.2 Benchmark of LCC tools, EU FP 6 Programme Project no. TIP5-CT-2006-031415O, 25.01.2008
- [4] EN 50126 Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); Deutsche Fassung EN 50126:1999