

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Philipp Truffer, dipl. Bauing. ETH/SIA
c/o Truffer Ingenieurberatung AG, Visp

1. Einleitung

Die Erhaltung der bestehenden Bausubstanz stellt eine wichtige Aufgabe für alle am Bau Beteiligten dar. Bei der Erhaltung von Verkehrsbauwerken stellen sich dabei zusätzlich ganz spezifische Problemstellungen. Hierzu zählt u.a. das Bauen unter Betrieb.

Im nachfolgenden Vortrag sollen Erfahrungen bei der Behandlung von dynamischen Problemstellungen bei der Instandsetzung von Brücken der Nationalstrasse A9 über den Simplon im Wallis vorgestellt werden. Dabei sollen bewusst eher ungewöhnliche Fragestellungen behandelt werden. Es soll die Vielfalt der möglichen Anwendungsgebiete der Baudynamik bei Brückeninstandsetzungen vorgestellt werden.

2. Erschütterungseinwirkungen auf jungen Beton

Bestehende Brücken müssen meistens unter Beibehaltung bzw. Gewährleistung des Verkehrs instandgesetzt werden. Die Lösung der betrieblichen und organisatorischen Fragestellungen stellt dabei eine wichtige Aufgabe des Projektingenieurs dar. Müssen im Rahmen der Instandsetzung noch gleichzeitig Betonarbeiten durchgeführt werden, kann dies u.U. zu Problemen führen.

2.1. Materialtechnologische Grundlagen

Die Erhärtung des Betons verläuft in den ersten Stunden anfänglich langsam und dann schneller ab. Die entsprechende Erhärtungskurve ist in diesem Zeitraum entgegengesetzt gekrümmt. Der Wendepunkt und gleichzeitig das Maximum der Erhärtungsgeschwindigkeit liegen dabei etwas zwischen 6 und 12 Stunden. Man bezeichnet den Beton zwischen dem Abschluss des Einbringens (grüner Beton) bis zum Wendepunkt der Erhärtungskurve als jungen Beton.

Erschütterungseinwirkungen auf jungen Beton sind ungefährlich, solange sich der Beton im plastischen Zustand befindet. Die Erhärtung verläuft in den ersten Stunden relativ langsam ab (abhängig von der Betonzusammensetzung). Erschütterungen können in dieser Phase durchaus positiven Einfluss (Nachverdichtung) auf den Beton haben. Werden die für die inneren Zusammenhalt des frischen Betons bestimmenden Kräfte (Kohäsionskräfte, innere Reibung, Wassergehalt) durch ausreichend grosse äussere Krafteinwirkungen, wie etwas Erschütterungen, überschritten, so verhält sich der Beton weitgehend wie eine Flüssigkeit. Bei sachgemäss zusammengesetzten und verdichteten, aber noch nicht erhärteten Betonen kann dieses Fließen zu einer Nachverdichtung und damit in der Regel zu einer grösseren Dichtigkeit und höheren Festigkeit führen.

Mit fortschreitendem Erstarren sind jedoch Zug- und Scherbeanspruchungen auf den jungen Beton schädlich. Bei Überschreitung der Dehnfähigkeit/Festigkeit kann es zu Rissbildungen oder gar zu Gefügestörungen im Beton kommen. Ob und wann es zu einer Schädigung des jungen Betons kommt hängt einerseits von der Art und der Stärke der Erschütterung sowie andererseits vom Zeitpunkt und der Dauer der Erschütterungseinwirkungen ab. Für die Quantifizierung der erwähnten Einflussgrössen liegen zum aktuellen Zeitpunkt nur begrenzte Erfahrungs- bzw. Richtwerte vor. In diesem Bereich herrscht ein wissenschaftlicher Nachholbedarf. Die in Praxis zur Anwendung kommenden Richtwerte stammen aus Untersuchungen von Bonzel und Schmidt [1] Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Dabei werden nachfolgende Grenzen für die Erschütterungseinwirkungen definiert unterhalb derer grundsätzlich keine nachteiligen Folgen für die Festigkeit des Festbetons zu erwarten sind:

- Schwinggeschwindigkeit kleiner 20 mm/s
- Amplituden kleiner 0.7 mm

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

- kritische Zeitphase auf jungen Beton: zwischen 3 bis 14 Stunden nach der Betonherstellung

In der Fachliteratur wird weiter eine minimale Druckfestigkeit des Betons von rund 5 N/mm^2 definiert. Sobald der Beton diese Mindestfestigkeit aufweist, sollten selbst Erschütterungen um 100 mm/s zu keinen Schäden führen.

2.2. Dynamische Grundlagen

Brückenbauwerke werden durch das Befahren von Fahrzeugen in Schwingungen versetzt. Auf das Beschreiben der dazugehörigen Mechanismen wird im Rahmen des vorliegenden Vortrages verzichtet und auf die entsprechende Fachliteratur (z.B. [2]) verwiesen. Mögliche Einflussfaktoren für das Schwingungsverhalten sind etwa die Abmessungen (Spannweite, Schlankheit) der Brücke, das Fahrzeuggewicht, die Fahrgeschwindigkeit sowie die Ebenheit der Fahrbahn.

2.3. Instandsetzung Brunnenbrücken

Bei den Brunnenbrücken 1 und 2 handelt es sich um zwei über 130 m lange Stahlbetonbrücken, welche in den Jahren 1977/78 erbaut wurden. Beide Brücken sind sehr schlanke Konstruktionen (Schlankheiten (Spannweite zu Plattenstärke): Brunnenbrücke I: 32, Brunnenbrücke II: 48.5). Die Brücken wurden bereits vorgängig im Rahmen einer dynamischen Messkampagne [3] detailliert untersucht. Dabei zeigte es sich, dass sie durch Verkehrseinwirkungen zu erheblichen Schwingungen angeregt werden.

Im Jahre 2005 wurden beide Brunnenbrücken instandgesetzt sowie im Rahmen einer Erdbebenverstärkung zusammengehängt und schwimmend gelagert. Bei den Instandsetzungsarbeiten mussten u.a. die Konsolköpfe erneuert werden. Aufgrund der früheren Erkenntnisse wurden daher während der Bauphase Erschütterungsmessungen auf den Brücken durchgeführt. Mit den Messungen wollte man feststellen, ob die Schwingeinwirkungen möglicher Weise die Betonarbeiten auf den Brücken beeinträchtigen könnte und gegebenenfalls Massnahmen einzuleiten wären.

Die Erschütterungssensoren wurden dabei jeweils in Feldmitte zwischen zwei Brückenpfeilern angeordnet (siehe Abb. 2-1 und 2-1). Die Messsensoren waren dabei wie folgt angeordnet:

- x-Komponente: Horizontalschwingungen quer zur Brücke
- y-Komponente: Horizontalschwingungen längs zur Brücke
- z-Komponente: Vertikalschwingung

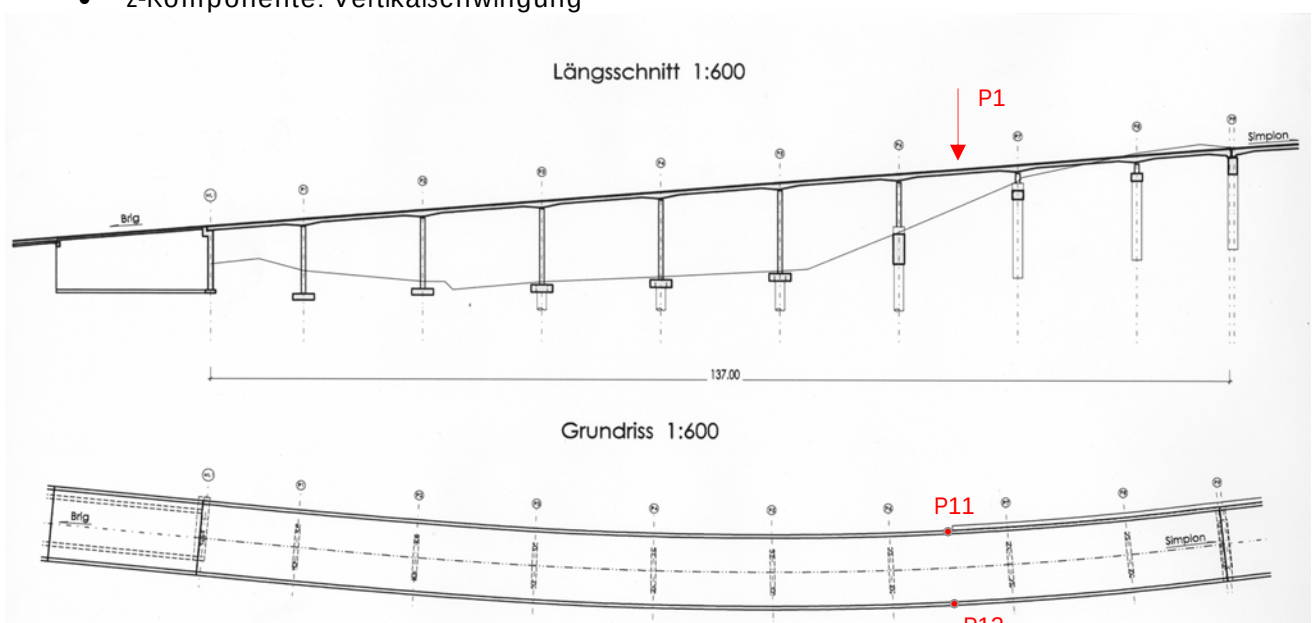


Abb. 2-1 Brunnenbrücke I, Messpunkte P1

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

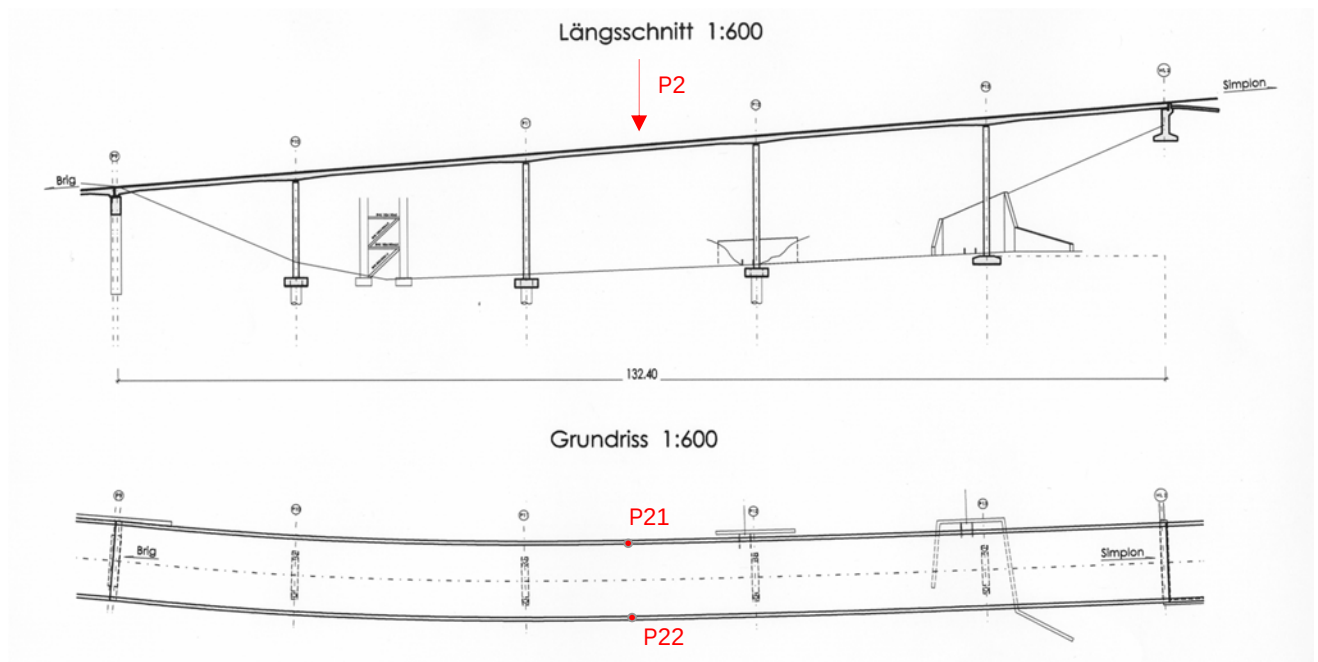


Abb. 2-2 Brunnenbrücke II, Messpunkte P2

Bedingt durch den Bauablauf ergaben sich jeweils zwei unterschiedliche Bauzustände, welche sich auf das Schwingungsverhalten entsprechend ausgewirkt haben.

- **Bauphase 1:**
Instandsetzung talseitige Konsolen, Verkehr wurde einspurig bergseitig über die Brücken geführt, Fahrbahn mit Belag
Messperiode: 29.06 – 06.07.2005
- **Bauphase 2:**
Abbrucharbeiten bergseitige Konsolen, Verkehr wurde einspurig talseitig über die Brücken geführt, Fahrbahn ohne Belag (grössere Unebenheiten auf der Fahrbahn)
Messperiode: 18.07. – 10.08.2005

Die nachfolgenden Messresultate zeigen dabei jeweils die maximalen Schwinggeschwindigkeiten eines 4-Minuten-Intervalls. Grundsätzlich sind die gemessenen Vertikalschwingungen gegenüber den Horizontalschwingungen wesentlich grösser. Aus diesem Grund werden nachfolgend nur die entsprechenden Vertikalkomponenten grafisch dargestellt.

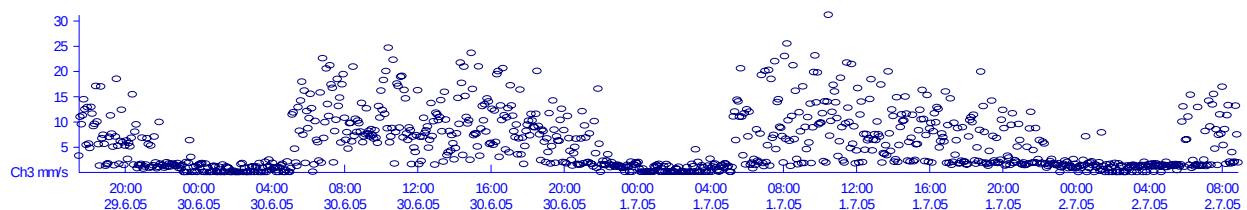


Abb. 2-3 Brunnenbrücke I, Messperiode 29.06.-02.07.2005 (Bauphase 1)
von oben nach unten:
Vertikal-Komponente

Während der Bauphase 1 wurde der Verkehr über den Belag, während der Bauphase 2 über die nackte Fahrbahnplatte geführt. Die durch die Belagsentfernung entstandenen Unebenheiten führen zu einer markanten Verstärkung der Schwingensignale (siehe Abb. 2-4). Es wurden vereinzelt sogar Werte bis über 100 mm/s gemessen. Rot ist der Richtwert (siehe 2.1.) von 20 mm/s eingezeichnet.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

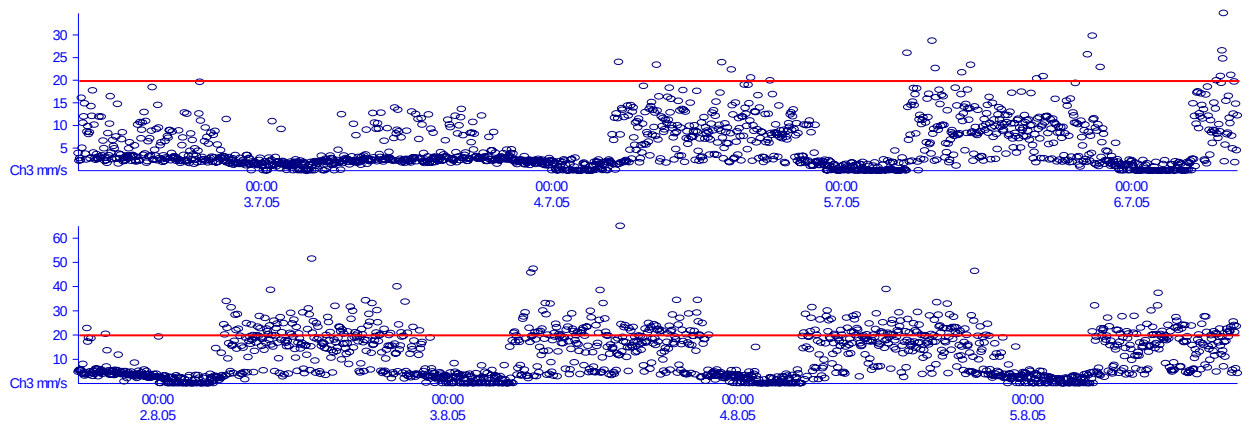


Abb. 2-4 Brunnenbrücke II, Vertikalschwingungen
 - oben Bauphase 1 (Messperiode 02.07.-06.07.2005)
 - unten Bauphase 2 (Messperiode 01.08.-05.08.2005)

Die starken Erschütterungssignale werden hauptsächlich durch den Schwerverkehr (40to-Lastwagen) verursacht. Die Messergebnisse zeigen jedoch, dass auch an den Wochenenden durch den Normalverkehr erhöhte, wenn auch kleinere Erschütterungen ausgelöst werden.

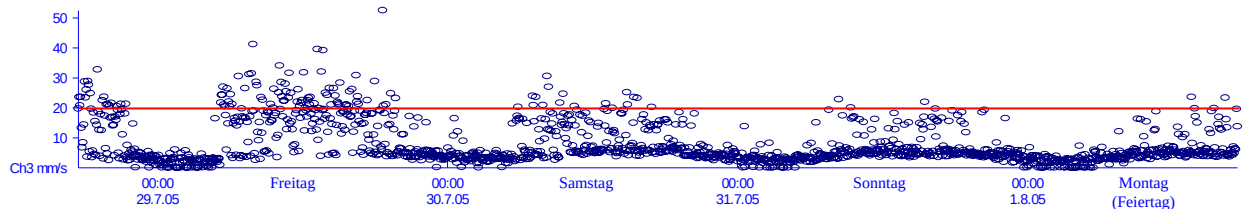


Abb. 2-5 Brunnenbrücke II, Vertikalschwingungen Messperiode 28.07.-01.08.2005 (Bauphase 2)

Die Erschütterungen können klar dem Verkehr und auch dem Verkehrsaufkommen zugeordnet werden. Dabei kann ebenfalls eine charakteristische Verteilung über den Tag festgestellt werden. Ab ca. 06.00 Uhr bis gegen 21.30 Uhr sind erhöhte Erschütterungseinwirkungen, vorher und nachher wesentlich kleinere zu erkennen (Nachtlastwagenverbot).

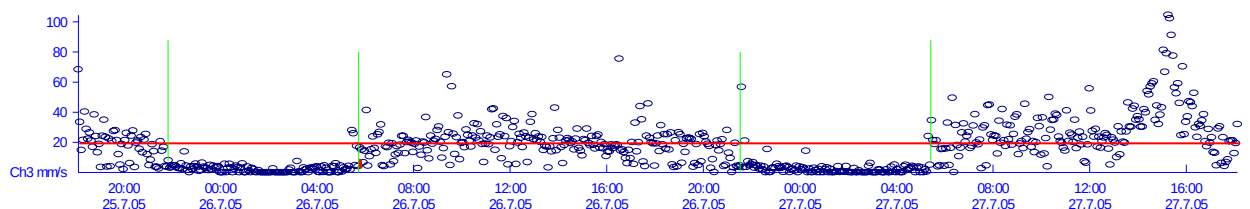


Abb. 2-6 Brunnenbrücke II, Vertikalschwingung Messperiode 25.07.-27.07.2008

In der Abbildung 2-7 ist ein einzelnes Schwingensignal dargestellt. Dabei wurde der unter 2.1. erwähnte Wert der maximalen Amplitude von 0.7 mm rot markiert. Die Amplituden der Vertikalschwingungen überschreiten den aufgeführten Wert.

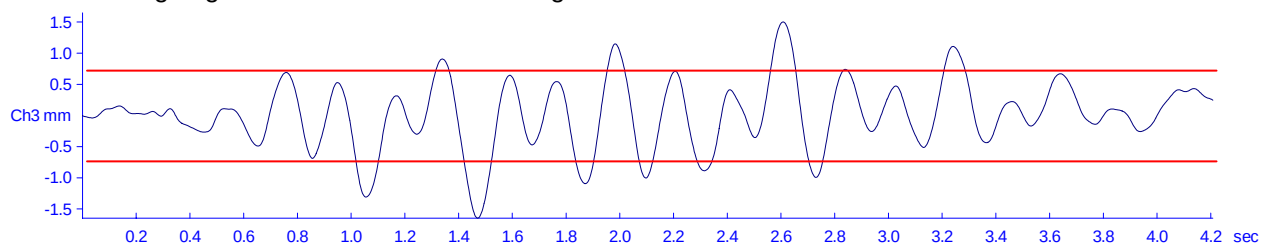


Abb. 2-7 Auswertung eines einzelnen Schwingensignals bei der Brunnenbrücke II, 21.07.2005, 08.02 Uhr, z-(Vertikal-)Komponente

Die zum Einsatz kommenden Betonrezepturen wurden hinsichtlich des Abbindeverhaltens nicht näher untersucht.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Die durchgeführten Schwingungsmessungen bei den Brunnenbrücken I und II zeigten klar, dass durch die verkehrsinduzierten Erschütterungen Schäden am frischen und jungen Beton zu erwarten sind. Die Erschütterungen werden durch die unebene Fahrbahn infolge der Belagsentfernung (Bauetappe 2) noch erheblich verstärkt.

Um mögliche Schäden bei den Betonarbeiten zu minimieren, wurden neben den normalen Qualitätssicherungsmassnahmen (Vor- und Nachbehandlung des Betons) zusätzlich nachfolgende organisatorische und konstruktive Massnahmen vorgeschlagen:

- Beschränkung der Betonierzeiten und -etappengrössen
auf die unkritischen Phasen. Als kritische Phasen gelten grundsätzlich die Zeiten drei bis zehn (vierzehn) Stunden nach der Betonherstellung. Aufgrund des Verkehrsaufkommens sollte die Betonherstellung frühestens um 18.00 Uhr begonnen werden. Die Betonieretappen sollten so gewählt werden, dass die Arbeiten gegen 22.00 Uhr abgeschlossen werden können. Mit dem verstärkten Verkehrsaufkommen gegen 06.00 Uhr in der Frühe kann die kritische Phase für den Frischbeton somit mehrheitlich umgangen werden.
- Konstruktive Massnahmen
Es sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass bei den Auffahrten auf die Brücken keine allzu grossen Schläge entstehen. Die vorhandenen Belagskeile sollten entsprechend angepasst werden.

Die eingeleiteten Massnahmen haben sich im vorliegenden Fall bewährt. Es ist zu keinem nennenswerten Schaden an den Frischbetonteilen gekommen.

3. Schäden bei ECC-Mörtelbelägen

3.1. Ausgangslage und Zielsetzung

Bei Brückeninstandsetzungen wird seit langem erfolgreich ein epoxyvergüteter Fließmörtel auf Zementbasis (ECC-Mörtel) zum Ausgleich oder Reprofilieren von Betonuntergründen eingesetzt. Dabei sinkt nach der Applikation der Feuchtegehalt des ECC-Mörtels nach rund 24 Stunden (bei 20 °C und 75 % rel. Feuchte) auf unter 4 M-% ab. Dies erlaubt ein rasches Weiterarbeiten. Der ECC-Mörtel wirkt dabei gleichzeitig als temporäre Feuchtigkeitssperre.

Bei der Instandsetzung von verschiedenen Brückenbauwerken der Nationalstrasse A9 am Simplon ergaben sich in den Jahren 2003 und 2004 jedoch Probleme mit der Anwendung des ECC-Mörtels. Es kam zu Abbindeproblemen, zu Oberflächenunregelmässigkeiten (Entmischen/Bluten, klebrige Oberfläche) und zu grossflächigen Modulausscheidungen (siehe Abb. 3-1 bis 3-2). Die Reprofilierungen zeigten dunkelgraue Verfärbungen und Filmbildungen an der Oberfläche. An der Oberfläche aufgeschwommenes Modul zeigte vielfach deutliche Fließspuren. Die Reprofilierungen erreichten dabei vielfach nicht die geforderten Haftzugfestigkeiten.

Im Rahmen einer intensiven Untersuchungskampagne konnten jedoch keine abschliessenden Ursachen für die aufgetretenen Schäden ermittelt werden. Das Schadensbild trat fast ausschliesslich an Brücken mit einem Längsgefälle von 7 bis 8% auf. Die Brücken wurden dabei einseitig mit Verkehr befahren. Da der Schaden bei der Durstbachbrücke (Oktober 2004) nach dem Befahren der Brücke durch eine Panzerkolonne auftrat, drängte sich allmählich die Vermutung auf, dass die aufgetretenen Schäden u.U. durch Erschütterungen ausgelöst werden könnten.

Um diese Vermutung abzustützen wurde im Rahmen der Instandsetzung der Feldgrabenbrücke am 13. Mai 2005 ein Feldversuch durchgeführt. Dabei sollte versucht werden, das aufgetretene Schadensbild (siehe Abbildungen 3-1 und 3-2) durch Erschütterungen infolge Verkehr auszulösen.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Abb. 3-1 Schadensbild grossflächige Modulausscheidungen bei der Ledischleifbrücke (Oktober 2003)



Abb. 3-2 dunkelgraue Modulausscheidungen bei der Ledischleifbrücke (Oktober 2003)

3.2. Versuch

In der Mitte der grössten Spannweite (51.5 m) der Feldgrabenbrücke wurde die Fahrbahnplatte mit einer Fräse vorbereitet. Als Versuchsfläche wurde eine rund 2.0 m breite und 10 m lange Fläche ausgewählt (siehe Abb. 3-3). Die Feldgrabenbrücke weist ein Längsgefälle von rund 7 % auf.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen



Abb. 3-3 Applikation des ECC-Mörtels auf der Versuchsfläche

Zur Verstärkung der Erschütterungseinwirkungen wird auf der durch den Verkehr befahrenen Fahrbahn ein Brett aufgestellt. Damit soll das Befahren einer unebenen Fahrbahn z.B. nach dem Entfernen des Belags simuliert werden.

3.3. Erkenntnisse

Vor der Verstärkung der Erschütterungen wurden keine Schädigungen am ECC-Mörtelbelag festgestellt. Unmittelbar nach der Erschütterungsverstärkung durch das Brett konnte an einigen Stellen festgestellt werden, dass sich an der Oberfläche des Sikafloor Falten bildeten (siehe Abb. 3-5 und 3-6). Der Mörtel begann sich in Brückenlängsrichtung zu bewegen.

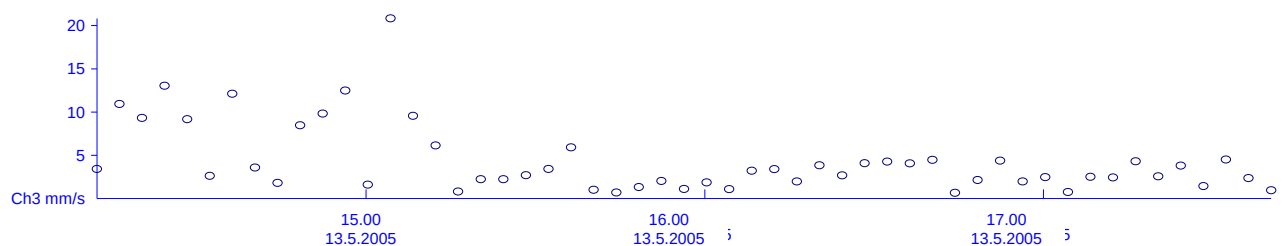


Abb. 3-4 Erschütterungssignal in z-Richtung (vertikal)

Im Rahmen des durchgeführten Versuches an einer Probefläche bei der Feldgrabenbrücke der A9 Simplon konnte festgestellt werden, dass es an der Oberfläche des ECC-Mörtels zu Faltenbildung infolge plastischen Verformungen kam. Inwieweit es bei weiteren oder grösseren Erschütterungseinwirkungen zu den an den anderen Brücken festgestellten Entmischungserscheinungen und Modulausscheidungen kommen würde, konnte dabei nicht abschliessend beurteilt werden. Hingegen konnte eindeutig die Wirkung der Erschütterungen aus dem Verkehr auf den frisch applizierten ECC-Mörtel aufgezeigt werden.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

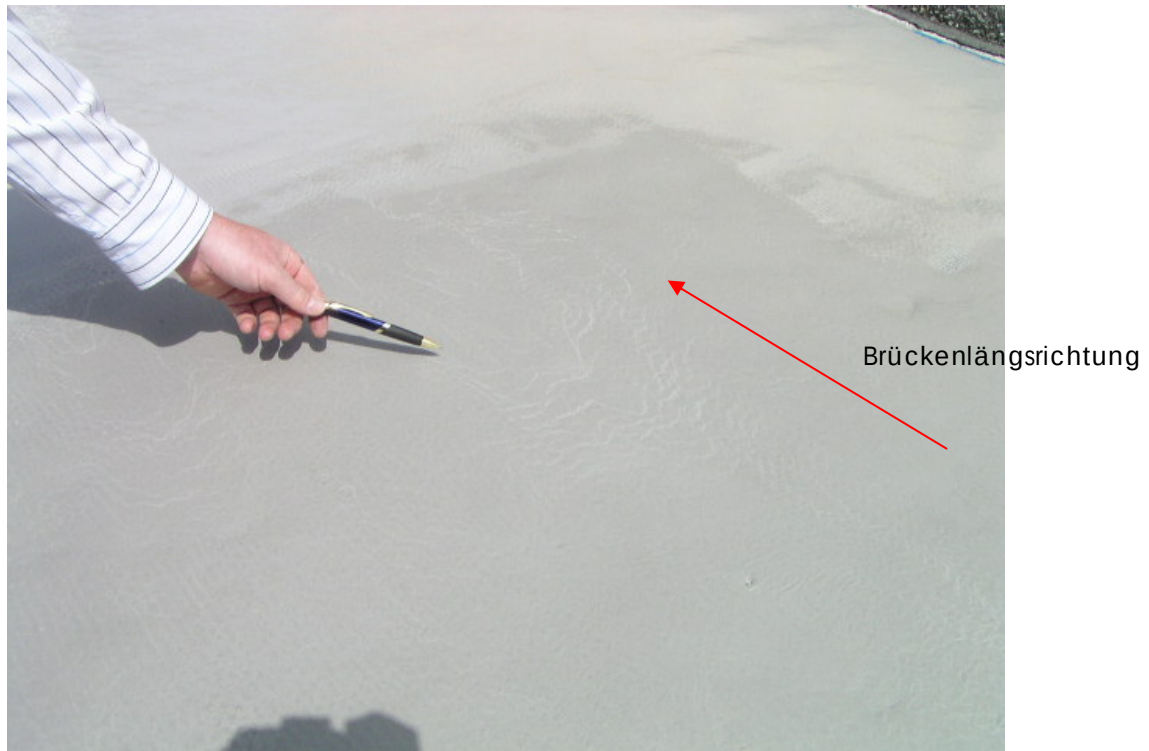


Abb. 3-5 Beginn von Fliesserscheinungen auf dem ECC-Mörtel



Abb. 3-6 Detailaufnahme

4. Präzisionsdeformationsmessung mit dem MR2002

4.1. Problemstellung

Die Lingwurmbrücke ist ein Bauwerk der Nationalstrasse A9 über den Simplon. Dabei handelt es sich um eine 1983 erbaute schief gelagerte Spannbetonbrücke. Die Brücke wurde 2005 instandgesetzt. Da die Anwohner sich über erhöhte Lärmbelastungen durch das Befahren der Brücke beklagten, wurde die Lösung dieses Problems schwerpunktmässig bei der Instandsetzung bearbeitet.

Vorgängig durchgeführte Lärmmessungen zeigten, dass vor allem das Befahren der bestehenden Fahrbahnübergänge die Hauptlärmquelle war (siehe Abb. 4-1). Bei den Messungen ging es nicht darum, die Messwerte mit den Anforderungen der Lärmschutzverordnung zu vergleichen. Es sollten vielmehr die relativen Unterschiede der Lärmimmissionen beim Befahren der Brücken aufgezeigt werden. Hierzu wurden willkürlich ausgewählte Fahrzeuge beim Überfahren der Brücken messtechnisch erfasst.

Auf der Grundlage der durchgeführten Messungen und Beobachtungen kann festgehalten werden, dass sich das - durch das Befahren der Fugenübergänge erzeugte impulsartige Geräusch - je nach Fahrzeugtyp, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit deutlich vom allgemeinen Fahrgeräusch der Fahrzeuge unterscheidet.

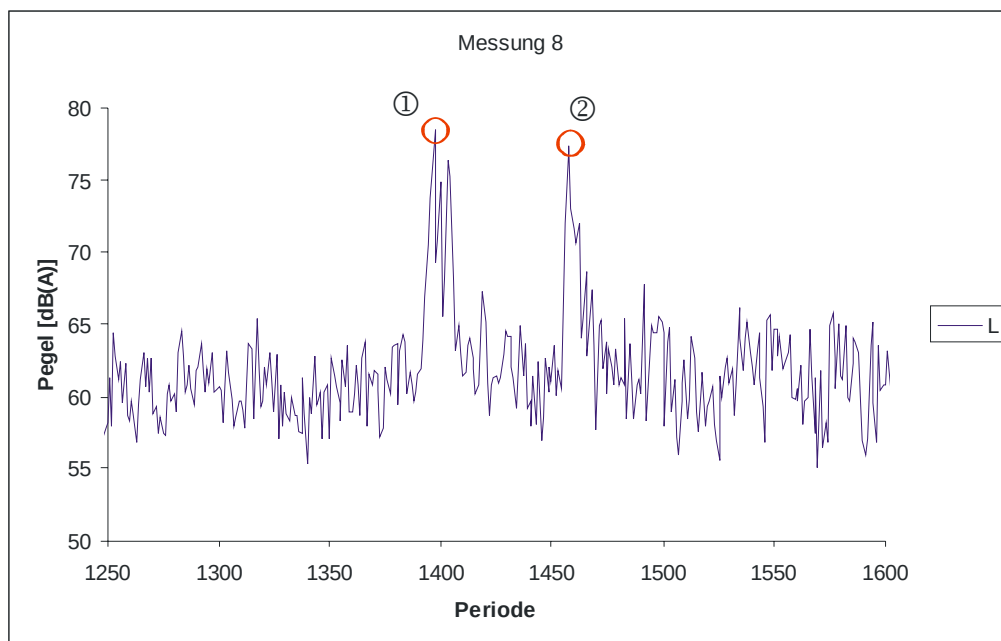


Abb. 4-1 Lärmmessung bei der Durchfahrt eines Lastwagens (2-Achser)

L_{Max} : Maximalpegel in [dB(A)] beim befahren des Fahrbahnüberganges

L_M vor Mittelungspegel [dB(A)] (ca. 100 Perioden) vor dem Ereignis

L_M nach Mittelungspegel [dB(A)] (ca. 100 Perioden) nach dem Ereignis

ΔL arithmetische Differenz zwischen L_{Max} und L_M

Periode: Periodenangabe des Ereignisses

Zwischen den kurz vor oder kurz nach dem Überfahren der Fugen festgehaltenen Pegel und den Lärmpegeln, welche durch das Befahren der Trennfugen erzeugt werden, liegen je nach Situation 3.9 bis 16.3 dB(A).

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass die impulsartigen Lärmgeräusche u.a. durch einen relativen Höhenversatz bei den Fahrbahnübergängen (bis zu 25 mm) verursacht wurden (siehe Abb. 4-2). Ziel der Instandsetzung war es u.a. neue ebene Fahrbahnübergänge einzubauen.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Im Bereich der spitzwinkligen Plattenecke stellte sich dabei die Frage, ob die entsprechende Ecke (siehe Abb. 4-3) mittels konstruktiven Massnahmen in der vertikalen Bewegung infolge Verkehrseinwirkungen fixiert werden muss. Dies hätte zu einer aufwendigen Verstärkungsmassnahme geführt.



Abb. 4-2 Fahrbahnübergang Lingwurmbrücke Seite Brig-Glis

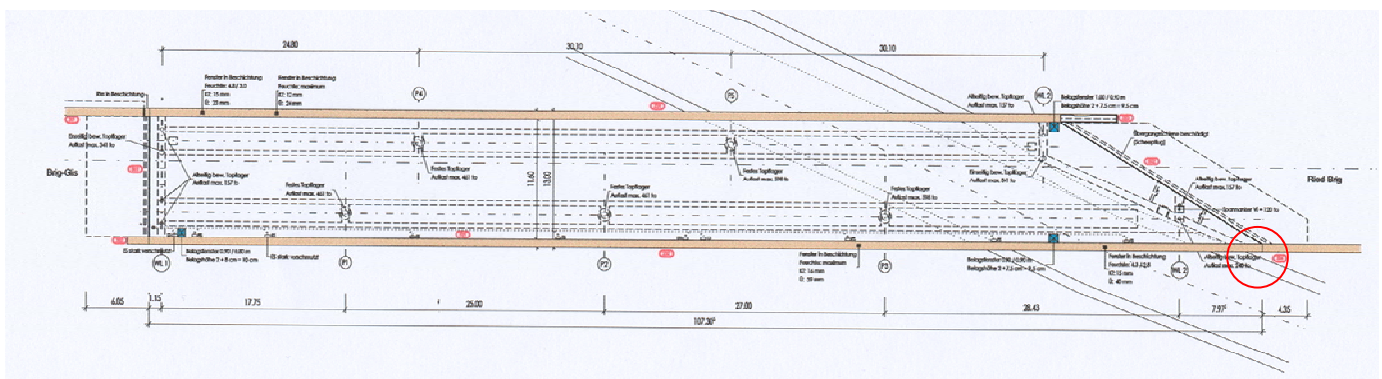


Abb. 4-3 Grundriss Lingwurmbrücke, schiefe Lagerung mit der kritischen Ecke (Kreis)

Zur Beantwortung dieser Frage wurden Deformationsmessungen im Bereich der spitzwinkligen Ecke durchgeführt. Hierzu wurde auf die Erfahrungen im Rahmen einer breit angelegten Untersuchungskampagne zur Bestimmung von dynamischen Kennwerten auf Brücken bei Nationalstrasse A9 über den Simplon [3] zurückgegriffen. Für die Messungen wurde das Messgeräte MR2002 von SYSCOM mit dem Beschleunigungssensor MS2002 und dem Wegsensor Temposonics-MH (Abb. 4-4) verwendet.



Abb. 4-4 Wegaufnehmer Temposonics-MH

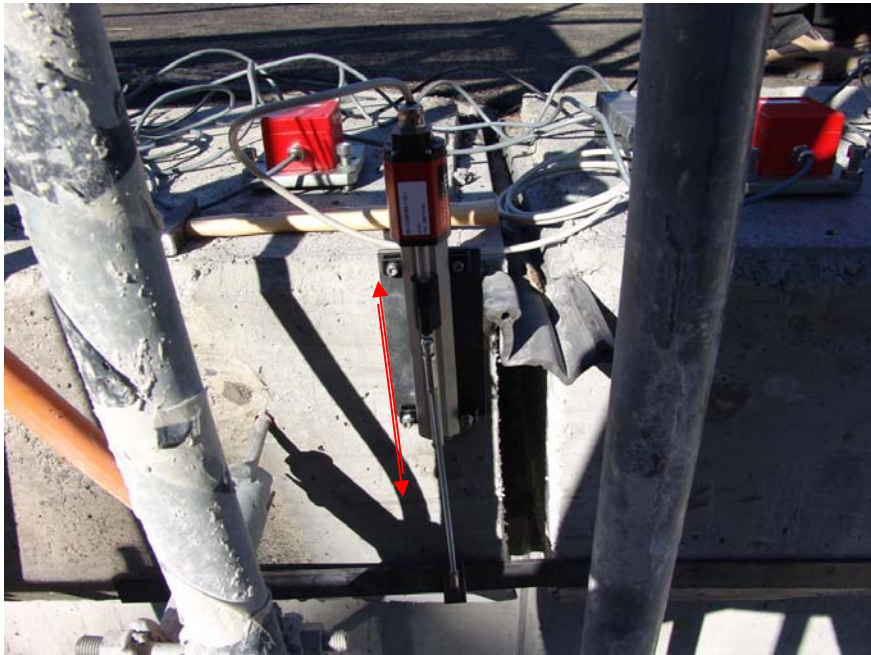


Abb. 4-5 Position des Wegsensors und der beiden Beschleunigungssensoren

Mit dem Wegsensor wurde die Relativbewegung zwischen Fahrbahnplatte und Widerlager und mit den Beschleunigungssensoren die Beschleunigung der Fahrbahnplatte und des Widerlagers erfasst.

4.2. Resultate

Für die Erfassung der Bewegung der Fahrbahnplatte unter Verkehr wurde während mehreren Stunden der Verkehr auf Brücke gemessen. Aufgrund des Bauzustandes wurde die Brücke am Messtag nur einspurig im Ampelbetrieb befahren. Die Einzelmessungen wurden jeweils vor Ort ausgewertet und analysiert.

Beispielhaft ist nachfolgend das Deformationsverhalten der Fahrbahn beim Hin- und Wegfahren einer Vibrationswalze (Gewicht 9.5 to) dargestellt.



Abb. 4-6 Vibrationswalze (Gewicht 9.5 to) im Bereich der auskragenden Fahrbahnplatte

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Abb. 4-7 zeigt den Weg-Zeit-Verlauf beim Wegfahren der Walze. In den ersten 9 Sekunden ist die Walze unmittelbar vor dem Fugenübergang parkiert. Mit dem Wegfahren der Walze (ab Sekunde 9) bewegt sich der brückenseitige Fugenübergang um 1.2 mm zurück in die Null-Lage und hebt sich um 0.6 mm, während die Walze die Brückenmitte erreicht (Sekunde 14). Während die Walze das gegenüberliegende Brückenende erreicht, bewegt sich der brücken-seitige Fugenübergang wieder zurück in die Null-Lage. Die maximale Einsenkung unter der Walze beträgt 1.3 mm. Bild 4-8 zeigt zwei weitere Weg-Zeit-Diagramme für das Hin- und Wegfahren der Walze.

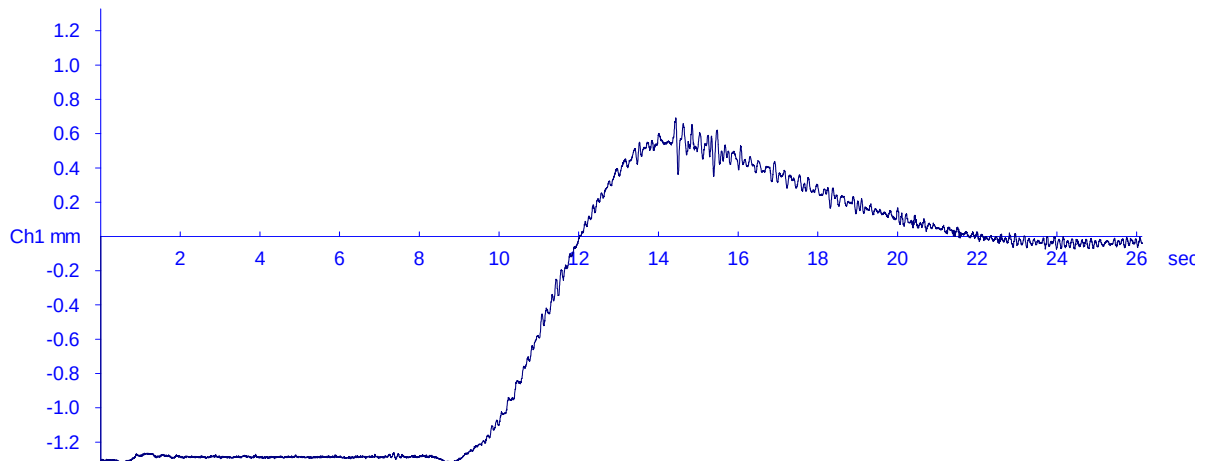


Abb. 4-7 Weg-Zeit-Verlauf beim Wegfahren der Walze

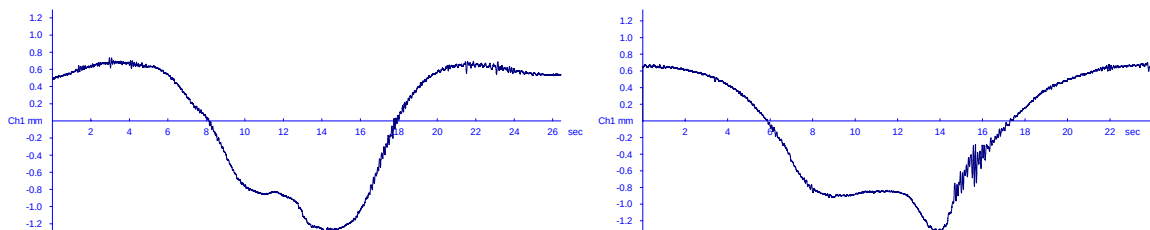


Abb. 4-8 Weg-Zeit-Diagramme beim Hin- und Wegfahren der Walze

Weitere Beispiele von Lastwagendurchfahrten auf der Tal- bzw. Bergspur sind in den Abbildungen 4-9 und 4-19 dargestellt.

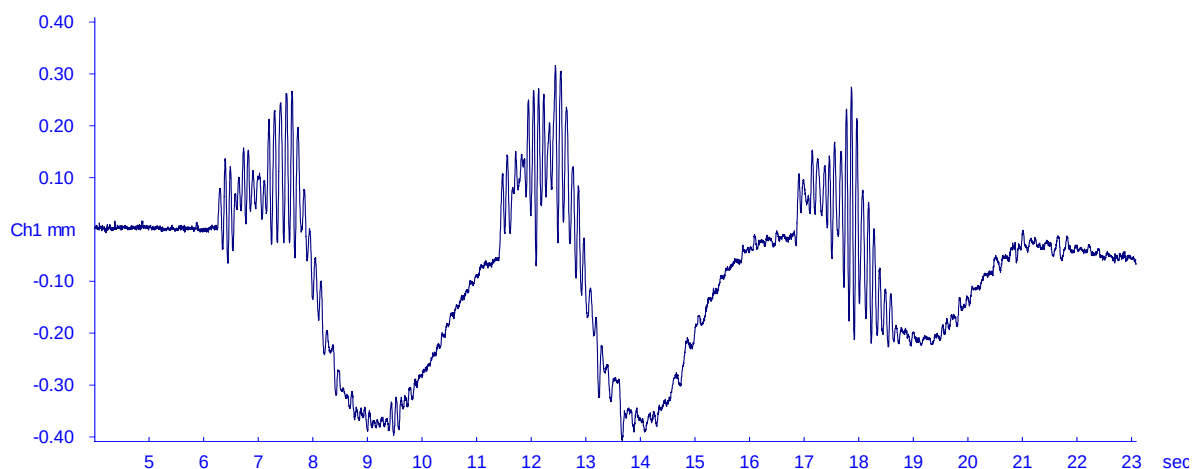


Abb. 4-9 Weg-Zeit-Diagramm bei der Durchfahrt von drei Lastwagen mit Talfahrt

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

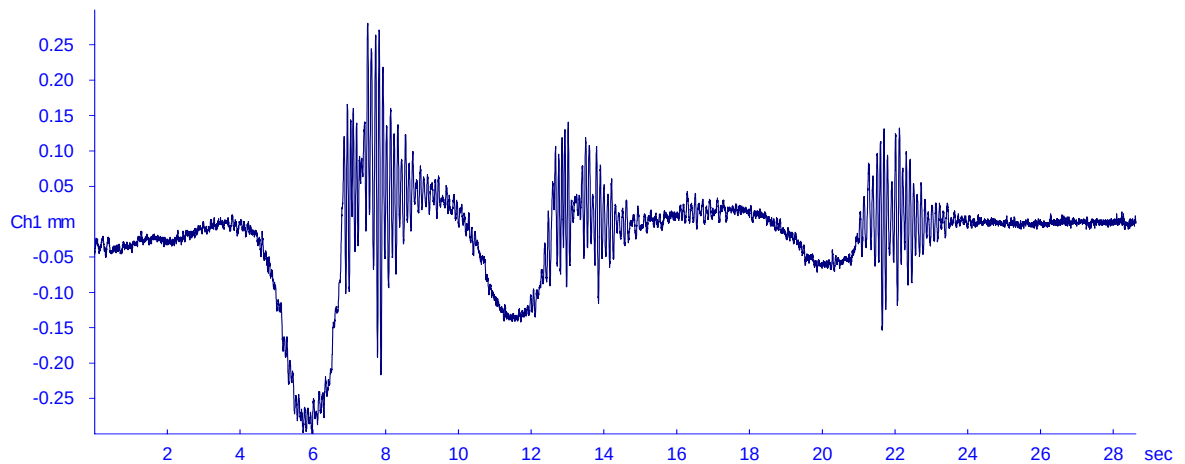


Abb. 4-10 Weg-Zeit-Diagramm bei der Durchfahrt von drei Lastwagen mit Bergfahrt

Eine zusammenfassende Auswertung der gesamten Messungen ist in Abb. 4-11 dargestellt.

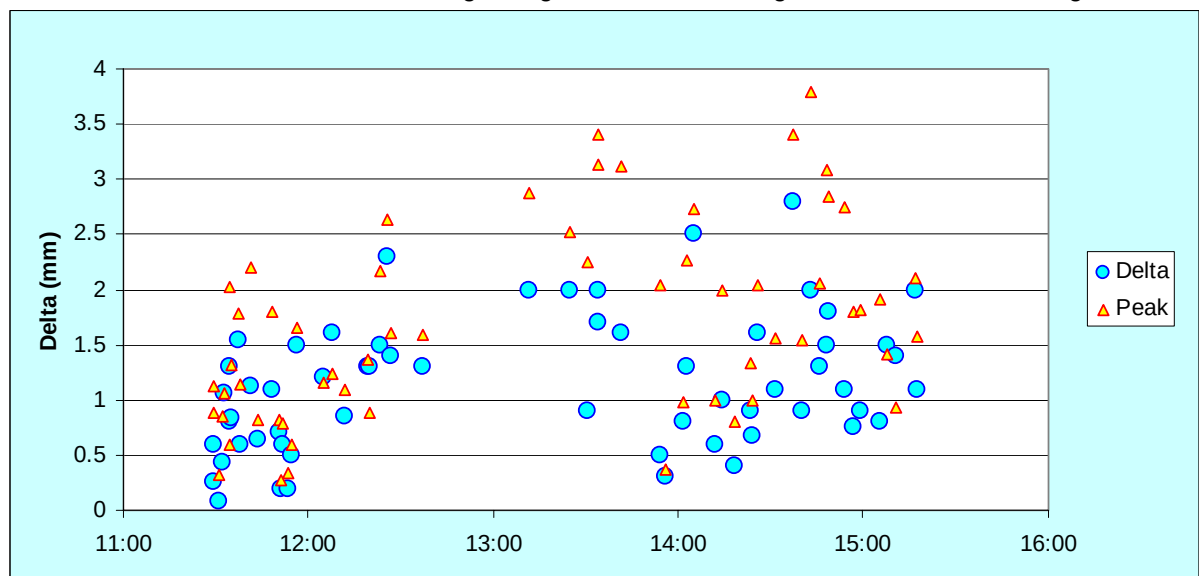


Abb. 4-11 Maximale Relativ-Verschiebungen beim Fahrbahnübergang während der Durchfahrt von Lastwagen

4.3. Schlussfolgerungen

Aus der durchgeführten Messkampagne konnten nachfolgende Schlussfolgerungen getroffen werden.

- Die maximalen Niveauunterschiede zwischen den beiden Rändern des Fahrbahnübergangs lagen stets unter 3 mm.
- Bei beladenen LKW's liegen die Niveauunterschiede zwischen 1,5 und 3 mm, bei leeren LKW's zwischen 0,7 und 1,5 mm.
- Bei Personenwagen liegen die Niveauunterschiede unter 0,5 mm.
- Die Niveauunterschiede sind bei der Befahrung der Talspur (d.h. der vom Messpunkt entfernten Spur) erwartungsgemäss sehr klein und liegen im Bereich von 0,2 bis 0,4 mm.
- Die parallel zu den Weg-Messungen durchgeführten Beschleunigungsmessungen ergaben für die kurzzeitigen Bewegungen die gleichen Ergebnisse wie die Wegmessungen.

Dynamische Probleme bei Brückeninstandsetzungen

Aufgrund dieser relativ kleinen Deformationen wurde zusammen mit dem Bauherrn beschlossen auf konstruktive Massnahmen zur Fixierung der vertikalen Bewegungen des spitzwinkligen Ecks zu verzichten. Die bisherigen Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit des getroffenen Entscheids.

- [1] Einfluss von Erschütterungen auf frischen und auf jungen Beton
Justus Bonzel und Michael Schmidt, Beton 9/80 und 10/80
- [2] Beitrag zur Dynamik von Strassenbrücken unter der Überfahrt schwerer Fahrzeuge
Reto Cantieni, EMPA Dübendorf, 1992
- [3] Dynamische Untersuchungen an Brückenbauwerken der Nationalstrasse A9 am Simplon
Philipp Truffer, 5. Symposium Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen
EMPA Dübendorf, Juni 2002