

Überprüfung der Rissbildung in einem historischen Brückenpfeiler mit Hilfe der Schallreflexionsanalyse

von Dr.-Ing. Oswald Klingmüller und Dipl.-Ing. Christian Mayer

Inhalt

1. Einleitung
2. Beschreibung der Messmethode
3. Bestimmung der Wellengeschwindigkeit an Sandsteinblöcken
4. Überprüfung der Homogenität des Pfeilers

Zusammenfassung

Unter Anwendung der Schallreflexionsanalyse (impact-echo) wurde der Zustand eines historischen Brückenpfeilers untersucht. An einer außen sichtbaren Rissbildung wurden Risslinieale zur Überwachung montiert. Wegen der Inhomogenität des Pfeilers – grobkörniges vermörteltes Haufwerk im Innern mit Sprengkammern unter einer äußeren Sandsteinschale – war fraglich, wie die Rissbildung im Inneren verläuft. Insbesondere wurde festgestellt, in welchen Bereichen der Riss soweit geöffnet ist, dass eine Verpressmaßnahme erfolgreich durchgeführt werden kann. Bei den Prüfungen in Längsrichtung (Ost-West-Richtung) konnte bis auf zwei Steinlagen ein Wellendurchgang festgestellt werden. In der 5. und 6. Steinlage zeigte sich kein bzw. ein reduzierter Wellendurchgang, d.h. in diesem Bereich ist von einem durchgängigen Riss auszugehen.

1. Einleitung

Im Zuge der Erneuerung einer alten Eisenbahnbrücke wurde am südlichen Pfeiler (Pfeiler 20) eine vertikale Rissbildung auf beiden Seiten festgestellt. Da sich der Rissverlauf auf der Nord- und Südseite jeweils im westlichen Endbereich des Pfeilers zeigte, stellte sich die Frage, ob der Riss über den ganzen Querschnitt in vertikaler Richtung durchgängig ist.



Da der Pfeiler auch für den neuen Überbau genutzt werden muss und hierbei durch das Einschleiben des neuen Überbaus in Querrichtung auch ungewöhnliche Lasten aufnehmen muss, wurde der außen sichtbare Riss durch Risslineale markiert, um die Entwicklung zu überprüfen.

Unter Anwendung der Schallreflexionsanalyse (impact-echo), d.h. in diesem Fall Messung des Wellendurchgangs bei einem Impulseintrag, wurde die Homogenität des Pfeilers untersucht.

2. Beschreibung der Messmethode

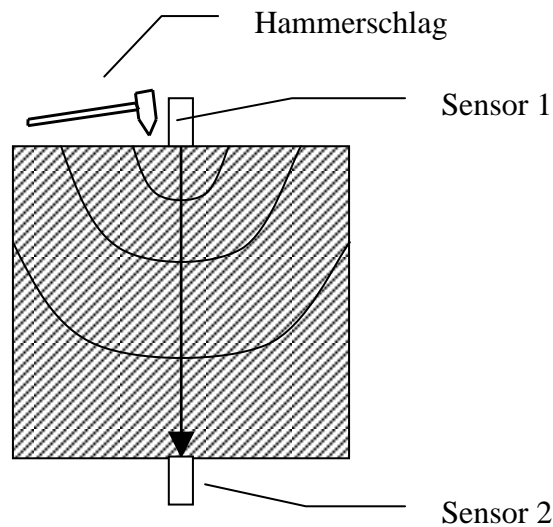


Bild 1: Messmethode

Zur Kontrolle der Homogenität des Pfeilers, d.h. ob ein monolithischer Verbund gegeben ist, wird der Wellendurchgang unter Anwendung der Messmethode der Schallreflexionsanalyse überprüft. Es wird mit einem Hammer ein Schallimpuls in den Prüfkörper (Wand, Pfeiler, o.ä.) eingebracht. Mit zwei Aufnehmern auf gegenüberliegenden Seiten wird jeweils ein Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf, der Impuls und je nach Prüfbedingungen ein Rückwandecho beinhaltet, aufgenommen.

Zur Messung wurde das zweikanalige PDI-Gerät PIT-FV-Collector eingesetzt, welches bei einer Abtastrate von 50 bis 150 kSPS den Wellendurchgang erfassen kann.

Nach der Stosswellentheorie gibt es für die Messung des Wellendurchgangs von einer Seite als Schallreflexion folgende Zusammenhänge:

$$T = 2 * L/c$$

$$f = 1/T = c/(2*L)$$

$$L = c/(2*f)$$

- mit T : Laufzeit der Stoßwelle [s] - gemessen,
 f : Frequenz der Stoßwelle [Hz] – aus T errechnet,
 L : vorhandene Querschnittslänge; hier Pfeilerdicke [m] - gemessen,
 c : Wellengeschwindigkeit [m/s] – geschätzt oder durch Kalibrierung
bestimmt, (Materialkonstante : $c_{\text{Beton}} = 3500 \div 4500$ m/s, $c_{\text{Stahl}} = 5170$ m/s).

3. Bestimmung der Wellengeschwindigkeit an Sandsteinblöcken

Zur Kalibrierung und Überprüfung der Wellengeschwindigkeit wurde an ausgebauten Sandsteinblöcken Schallreflexionsanalysen zur Bestimmung der Wellengeschwindigkeit vorgenommen.

Dazu wurde die Dicke der Sandsteinblöcke gemessen und dann mit Hilfe der Schallreflexionsanalyse die Frequenz der Stosswelle bestimmt.

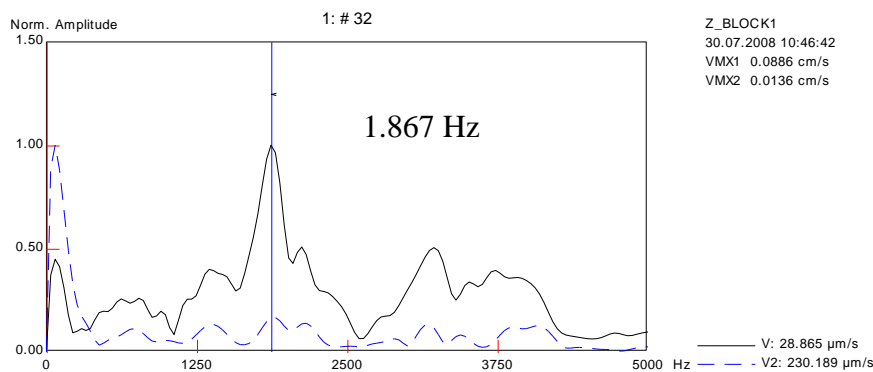


Bild 2: Frequenzanalyse Sandsteinblock

Die Messungen ergaben eine Frequenz der Stosswelle von ca. 1.870 Hz (siehe Bild 2). Daraus ergibt sich eine Wellengeschwindigkeit von ca. 5.200 m/s.

Die ermittelte Wellengeschwindigkeit konnte auch mit dem Ultraschallmessgerät ACT (Acoustic-Concrete-Tester) von PDI bestätigt werden. Beim ACT werden gegenüber dem PIT-Collector

Ultraschallwellen verwendet. Vom Sender wird die Ultraschallwelle in den Prüfkörper eingebracht und vom Empfänger die Laufzeit der Ultraschallwelle gemessen.

Die Wellengeschwindigkeit von 5.200 m/s ist für Sandstein relativ hoch, jedoch bestätigt dies die festgestellten hohen Stein-Druckfestigkeiten von $46-55 \text{ N/mm}^2$, die durch Druckproben bestimmt wurden.

Bei den Messungen am Pfeiler selbst, d.h. in Längsrichtung sowie in Querrichtung ergaben sich geringere Wellengeschwindigkeit von ca. 2.000 bis 2.500 m/s.

Diese reduzierte Wellengeschwindigkeit, die sich als mittlere Wellengeschwindigkeit entlang des Laufweges ergibt, ist aufgrund des Einflusses von vorhandenen Inhomogenitäten (hohe Stein-Druckfestigkeit, geringe Mörtel-Druckfestigkeit, Sprengkammern) zurückzuführen. Besonders wirkt sich dies auf dem längeren Messweg in Längsrichtung aus.

4. Überprüfung der Homogenität des Pfeilers

Zur Überprüfung der Anwendung der Messmethode wurden zuvor Messungen in Querrichtung sowie exemplarische Messungen in Quer- und Längsrichtung an dem intakten Pfeiler 10 auf der Nordseite des Neckars durchgeführt.

Hinsichtlich der Homogenität des ca. 1880 erbauten Sandsteinpfeilers ist zu berücksichtigen, dass nachträglich 4 Sprengkammern mit Durchmesser 50 cm eingebracht wurden. Nach Angabe der Baustelle verlaufen in der Mitte 2 vertikale Sprengkammern mit Länge 3 m. Die am Rand liegenden Sprengkammern sind nach innen geneigt und haben eine Länge von ca. 6 m und reichen somit bis in den Sockelbereich. Die beiden östlichen Sprengkammern sind noch ursprünglich mit losem Steinwerk verfüllt, die beiden westlichen Sprengkammern sind bereits ausbetoniert worden.

Auf der Südseite im westlichen oberen Bereich ist eine Art Betonblombe vorhanden, was eine Beschädigung durch einen Bombenangriff vermuten lässt.

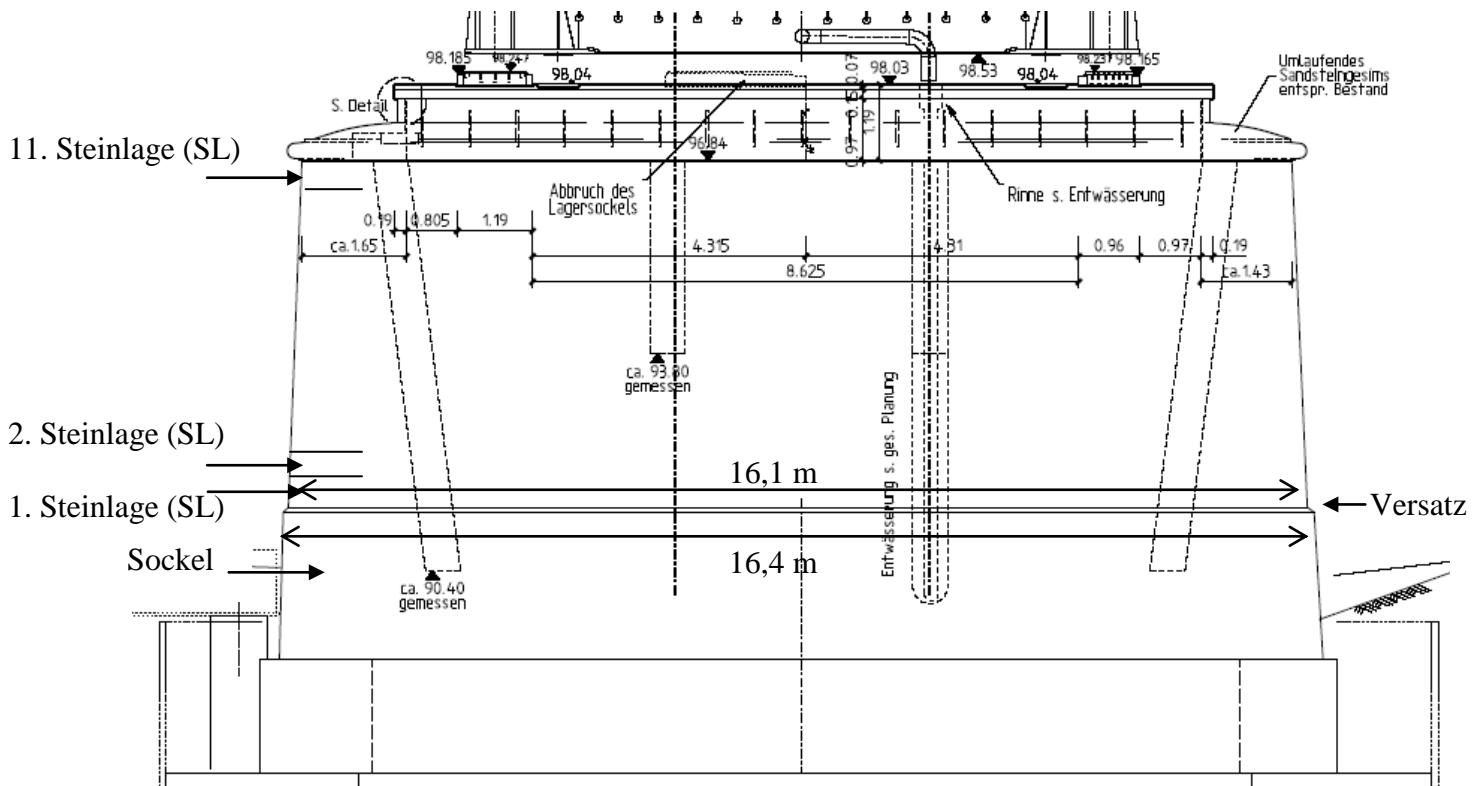


Bild 3: Längsansicht Pfeiler 20, Bezeichnung Messpositionen, nicht maßstäblich

Maßgebend zur Überprüfung der Homogenität des Pfeilers bzgl. des Risses sind die Längsmessungen durch den Pfeiler. In verschiedenen Steinlagen verteilt über die Höhe wurde jeweils der horizontale Wellendurchgang überprüft.

Gemessen wurde im Sockelbereich 50 und 15 cm unterhalb des Sockel-Versatzes, sowie in verschiedenen Steinlagen oberhalb des Sockel-Versatzes. Die Nummerierung der Steinlagen beginnt mit der 1. Steinlage oberhalb des Sockel-Versatzes. Die oberste Steinlage unterhalb des Sandsteingesimses ist die 11. Steinlage.

Nachfolgend sind die einzelnen Geschwindigkeits-Zeitverläufe der einzelnen Steinlagen (von oben nach unten) in Längsrichtung zusammengestellt.

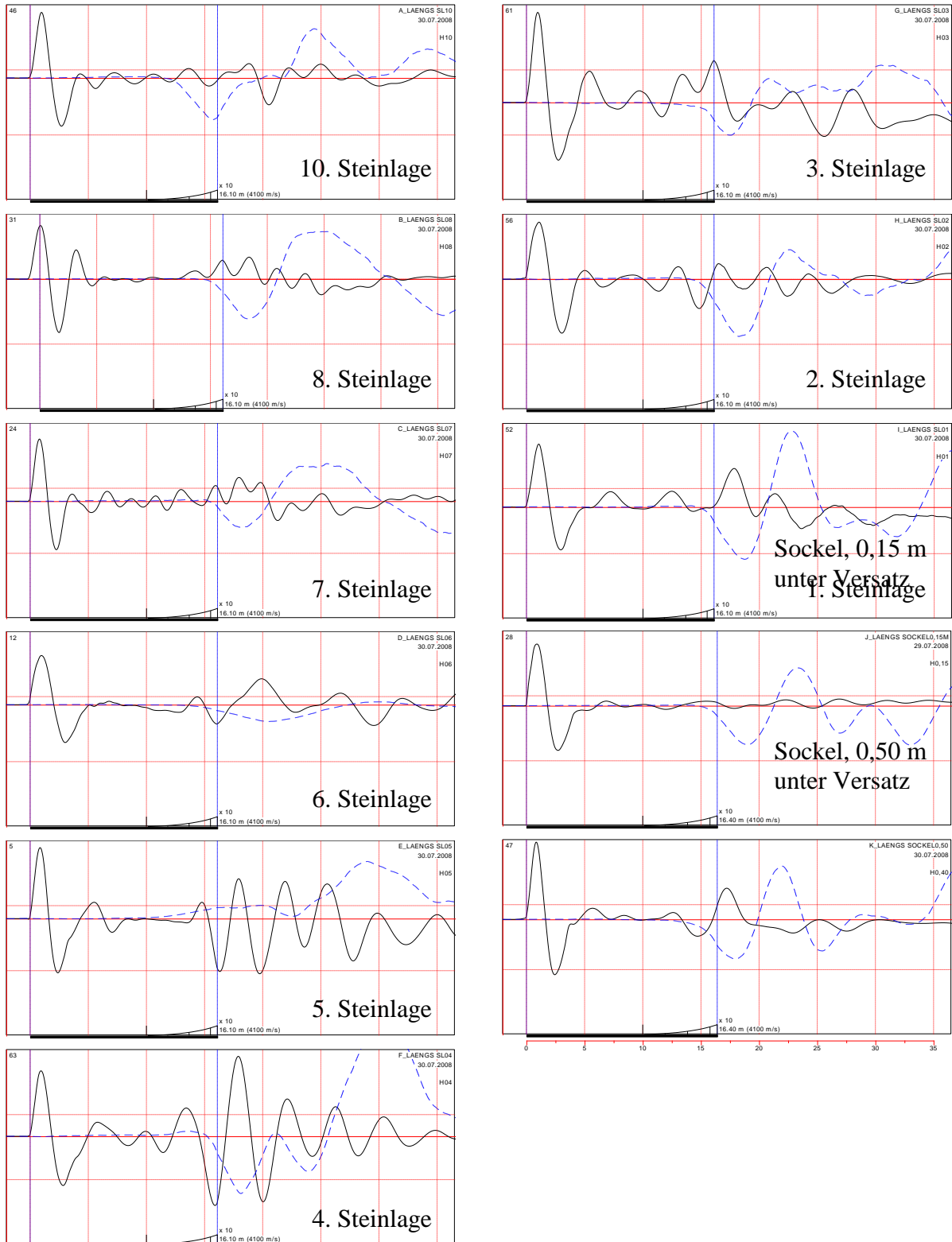


Bild 4: Geschwindigkeits-Zeitverläufe, Längsmessungen Pfeiler 20

Bei den in Bild 4 dargestellten Verläufen zeigt die durchgezogene schwarze Linie die Bewegung (Geschwindigkeit) auf der Seite der Schlägeinleitung. Die gestrichelte blaue Linie zeigt die Bewegung (Geschwindigkeit) auf der Gegenseite.

Es ist zu erkennen, dass die Stosswelle jeweils nach ca. 8 ms auf der Gegenseite eintrifft. Im Sockelbereich sowie in den darüberliegenden Steinlagen konnte bis auf die 5. und 6. Steinlage (über Versatz Sockel) ein Wellendurchgang festgestellt werden.

In der 10. Steinlage wurde ein zeitlich früherer Wellendurchgang festgestellt, was auf die Einbauten des neuen Widerlagers zurückzuführen sein kann.

In der 5. Steinlage wurde kein Wellendurchgang festgestellt und in der 6. Steinlage zeigte sich ein in der Intensität reduzierter Wellendurchgang, d.h. in diesem Bereich ist von einem durchgängigen Riss auszugehen.

Soweit es die Messmethode zulässt, kann in den anderen Steinlagen von einem intakten Mauerwerk ausgegangen werden. Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ein vorhandener Riss über die Jahre mit festem Material zugesetzt und so einen Wellendurchgang ermöglicht hat.

