

Der König ist tot. Lang lebe der König.

Sprengabbruch der alten Sinntalbrücke bei Bad Brückenau (Deutschland)

Im Zuge des Ersatzneubaus der Sinntalbrücke auf der Bundesautobahn A7 bei Bad Brückenau wurde am 22. Juni 2013 die alte Sinntalbrücke mit einer Länge von 770 m durch Sprengen abgerissen. Aufgrund der fehlenden Erfahrungen in Deutschland mit dem Sprengabbruch von Brückenbauwerken dieser Größenordnung wurde dem Auftraggeber ein entsprechendes Abbruchkonzept inklusive statischer Berechnungen vorgelegt, welches auch die Wirkung von Erschütterungen auf benachbarte bauliche Anlagen beurteilte. Da beide Brückenbauwerke nur wenige Meter voneinander entfernt standen, waren eine fachliche Überprüfung dieser Planungsunterlagen, eine umfassende Beweissicherung ausgewählter baulicher und technischer Anlagen sowie vergleichende Erschütterungsprognosen und -messungen nach DIN 4150 notwendig. Diese Aufgabe übernahm die Bluhm Partner AG im März 2013. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick zum Abbruchkonzept, zur Beweissicherung sowie zu den Erschütterungsprognosen und -messungen.

Keywords Beweissicherung; Erschütterungsmessung; Erschütterungsprognose; DIN 4150; Brücke; Sprengung; Abbruch

The king is dead. Long live the king. The demolition of the old Sinntal Bridge near Bad Brückenau (Germany)

As part of the new construction replacement of the Sinntal bridge on the A7 motorway at Bad Brückenau on 22 June 2013 the old Sinntal bridge with a length of 770 m was demolished by blasting. Due to the lack of experience in Germany with the blasting demolition of bridges of this size an appropriate demolition concept including static calculations was presented to the client, which also evaluated the effect of vibrations on adjacent buildings and structures. Since both bridges were only a few meters apart, a technical review of the planning documents, a comprehensive preservation of evidence of selected structural and technical facilities as well as comparative vibration predictions and measurements according to DIN 4150 were necessary. This task was given to the Bluhm Partner AG in March 2013. This article gives an overview of the demolition concept, the preservation of evidence and the vibration predictions and measurements.

Keywords preservation of evidence; vibration measurement; vibration prediction; DIN 4150; bridge; blasting; demolition

1 Das Brückenbauwerk

Die alte Sinntalbrücke (Bild 1) überstreckte seit 1968 bei Bad Brückenau das Tal der Sinn. Seit jeher war sie ein imposantes und zugleich ästhetisches Brückenbauwerk der Bundesautobahn A7, die eine der wichtigsten Verkehrsverbindungen zwischen Deutschlands Norden und Süden darstellte. Mit ca. 770 m Länge zählte die alte Sinntalbrücke zwar nicht zu den größten Straßenbrücken Deutschlands, jedoch setzt sie in der Kategorie der Sprengabbrüche den Maßstab in Deutschland und sehr wahrscheinlich auch in Europa.

Der *Brückenüberbau* der alten Sinntalbrücke ist eine geschweißte Stahlkonstruktion, die aus zwei Vollwandträgern und der Fahrbahnkonstruktion besteht. Die Fahrbahnkonstruktion wird aus 0,9 m hohen Querträgern gebildet, die untereinander einen Abstand von ca. 3,1 m aufweisen. Die Brückenfahrbahn besteht aus einer orthotropen Stahlplatte mit einem Eigengewicht von etwa 200 kg/m² und einem bituminösen Belag. Bis auf die Widerlagerbereiche (4 m) sind beide Vollwandträger 5 m hoch. Der Brückenüberbau ist inklusive der Gehwegkragarme 30,5 m breit. Das statische System ist ein Durchlaufträger mit acht Feldern, deren Stützweiten



Quelle: Bluhm Partner AG

Bild 1 Neue und alte Sinntalbrücke bei Bad Brückenau mit Widerlager Süd (links) und Wohnhäusern (Mitte und rechts)
New and old Sinntal bridge at Bad Brückenau with abutment south (left) and residential buildings (center and right)



Bild 2 Im Hintergrund die alte Sinntalbrücke mit Widerlager Nord (links) und Widerlager Süd (rechts); links im Bild das Brückenpfeilerpaar der Achse 1; im Vordergrund die neue (zu schützende) Sinntalbrücke
In the background the old Sinntal bridge with abutment north (left) and abutment south (right); on the left the bridge pier pair in axis 1; in the foreground the new (to be protected) Sinntal bridge



Bild 3 Brückenüberbau der alten Sinntalbrücke (links) und Schutzwalle mit Lastverteilern (Gehwegkragarme) einige Tage vor dem Sprengabbruch
Bridge superstructure of the old Sinntal bridge (left) and ramparts with load balancers (walkway cantilevers) few days before demolition

110 m¹ (Felder 2 bis 7) und 60 m (Feld 1 an WL Nord, links im Bild 1) bzw. 80 m (Feld 8 an WL Süd) betragen.

Die *Brückenpfeiler* in den Achsen 3 und 4 sind als feste Auflager ausgewiesen. Gemessen von OK Pfeilerkopf bis OK Fundamenteinspannung weisen die Brückenpfeiler an den Widerlagern Höhen von 19 m (Achse 1 an WL Nord, Bild 2) bzw. 25 m (Achse 7 an WL Süd) und in Talmitte von maximal 45,5 m (Achse 6) auf. Alle Pfeiler besitzen einen Rohrquerschnitt (s. Bild 9) mit einer Wanddicke von 0,35 m bzw. 0,30 m (Achsen 1 und 7) und einem Durchmesser von 4,20 m bzw. 3,60 m (Achsen 1 und 7).

2 Das Konzept

Ausgangspunkt ist das Konzept zum Sprengabbruch, welches durch das Planungsbüro für Bauwerksabbruch Dr.

1 Das Feld 2 besitzt eine Stützweite von nur 80 m

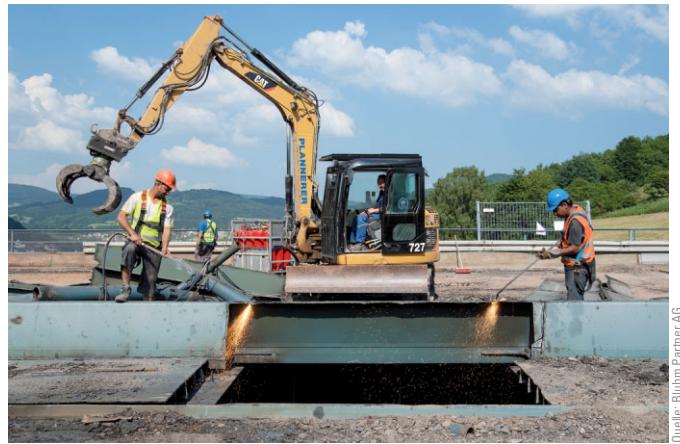


Bild 4 Entfernen der Gehwegkragarme zur Reduktion des Fallgewichtes
Remove of the walkway cantilevers to reduce the drop weight

Melzer aufgestellt wurde und durch Bluhm Partner fachlich, unter den Aspekten Sicherheit und Schäden an baulichen und technischen Anlagen infolge Erschütterungen, zu überprüfen war.

Das Konzept geht davon aus, dass grundsätzlich alle sieben Brückenpfeilerpaare durch eine zweiteilige Sprengfaltung (Fußpunkt und Pfeilermitte) geschwächt werden und diese ähnlich wie ein Zollstock kontrolliert in sich zusammenklappen. Die Knick- bzw. Kipprichtung der Brückenpfeiler wurde so gewählt, dass sie von den zu schützenden Objekten weggerichtet sind. Infolge der Sprengungen biegt sich der Brückenüberbau durch und kommt senkrecht im Tal zum Liegen. Die Durchbiegung führt dabei zu einer Verkürzung an den Widerlagern in horizontaler Richtung, sodass der Brückenüberbau von den Widerlagern abgezogen wird. Ein ausführliches Video zum Sprengabbruch ist auf www.bluhmpartner.com [1] zu finden.

Um die einwirkenden Kräfte im Vorfeld soweit wie möglich zu reduzieren, wurden am Brückenüberbau beide Gehwegkragarme sowie der mittlere Stahlblechstreifen entfernt. Letzteres diente auch dazu, Segeleffekte entgegenzuwirken, die ein unkontrolliertes Seitwärtsbewegen in Richtung der neuen Sinntalbrücke verursachen könnten. Ferner wurden im Aufprallbereich zahlreiche Schutzwälle geschüttet (Bild 3), um kreuzende Medienleitungen zu schützen und zugleich die Erschütterungen wirksam zu reduzieren. Um die Energiedissipation infolge der Verdichtung der Schutzwälle zu aktivieren, wurden diese mit den abgeschnittenen (lastverteilenden) Gehwegkragarmen abgedeckt.

Der Sprengabbruch, welcher von der Thüringer Sprenggesellschaft ausgeführt wurde, erfolgte mit einem patentierten und gelatinösen Sprengstoff und einer Gesamt-sprengstofflademenge von ca. 190 kg. Dabei wurden die Sprengmäuler so geplant, dass deren Anteil mindestens 55 % des Gesamtumfangs der Brückenpfeiler ausmachte. Zur Minimierung des Streufluges infolge der Sprengung wurden die Sprengmäuler mit Geotextilvlies und Maschendraht ummantelt (Bild 3). Dem Streuflug infolge

des Aufpralls wurde hingegen mit Schutzwällen Rechnung getragen.

3 Die Beweissicherungen

Um eine Grundlage für eventuelle Schadensersatzansprüche infolge von abbruchbedingten Erschütterungssimulationen zu schaffen, wurden im Vorfeld des Sprengabbruchs ausgewählte bauliche und technische Anlagen durch Bluhm Partner beweisgesichert. Hierzu zählten ein Wohnhaus inklusive aller Außenanlagen und ein Wasserkraft-Kleinkraftwerk inklusive des Wasserkanals, die kleine Sinnbrücke sowie die Brunnen der Stadtwerke Bad Brückenau. Die Beweissicherung der neuen Sinnbrücke war nicht Bestandteil der Untersuchungen. Alle baulichen und technischen Anlagen wurden in einer Zustands- und Veränderungsfeststellung fotografisch dokumentiert und in einem abschließenden Bericht beurteilt. Hierzu wurden die Risse wie in Tab. 1 gezeigt definiert.

Im Ergebnis der Veränderungsfeststellung wurden keine Schäden infolge des Sprengabbruchs dokumentiert. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen, welche in Abschn. 4.2 gezeigt sind.

Tab. 1 Einteilung von Bauwerksrissen nach der Rissbreite, Quelle: Bluhm Partner AG
Classification of building cracks by crack width

Riss	Rissbreite
Feiner Riss	$\leq 0,2 \text{ mm}$
Mittlerer Riss	$> 0,2 \text{ mm} \text{ bis } 1 \text{ mm}$
Breiter Riss	$> 1 \text{ mm} \text{ bis } 3 \text{ mm}$
Klaffender Riss	$> 3 \text{ mm} \text{ bis } 5 \text{ mm}$
Durchgehender Riss	$> 5 \text{ mm}$

4 Die Erschütterungen

4.1 Prognosen

Die für die *Fallenergie* maßgebende Masse ergibt sich beim Brückenüberbau aus einem halben Feld von 110 m zu rund 366 t. In Anbetracht der Energiedissipation aus Materialfließen, Lösen von Verbindungen und Segeleffekten wurde für die Betrachtungen eine reduzierte Masse von etwa 330 t angesetzt. Aus den Brückenpfeilern in Achse 5 ergeben sich mit einer Pfeilerhöhe rund 43 m und ca. 43 t schweren Pfeilerköpfen zusätzliche Fallmassen von insgesamt 922 t. Somit beträgt die Aufprallmasse in etwa 1252 t bzw. das Fallgewicht rund 12 MN, was wiederum einer potenziellen Energie von ca. 340 MNm entspricht. Auf der sicheren Seite liegend wurde die Energiedissipation aus dem dynamischen Verdichten der Schutzwälle nicht berücksichtigt.

Aus der Fallenergie lassen sich nach DIN 4150, Teil 1 [2] näherungsweise die *Erschütterungen* im Freifeld be-

rechnen (s. Formel unten). Aufgrund fehlender vergleichbarer Sprengabbrüche konnten der Beiwert k und die Kennzahl m nicht empirisch ermittelt werden und wurden auf der sicheren Seite liegend gewählt. Bild 5 zeigt die Schwinggeschwindigkeitsamplitude in Abhängigkeit von der Entfernung zur Aufprallstelle. Die Ergebnisse der Erschütterungsprognosen sind in Tab. 1 dokumentiert.

$$v_{\max} = k \cdot \left(\frac{E}{E_0} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-m} \quad \begin{array}{l} \text{Freifelderschüttung} \\ \text{nach DIN 4150,} \\ \text{Teil 1 [2]} \end{array}$$

E Fallenergie in kNm

E_0 Bezugsgröße der Fallenergie, 1 kNm

R Entfernung von der Aufprallstelle in m

R_0 Bezugsgröße der Entfernung, 1 m

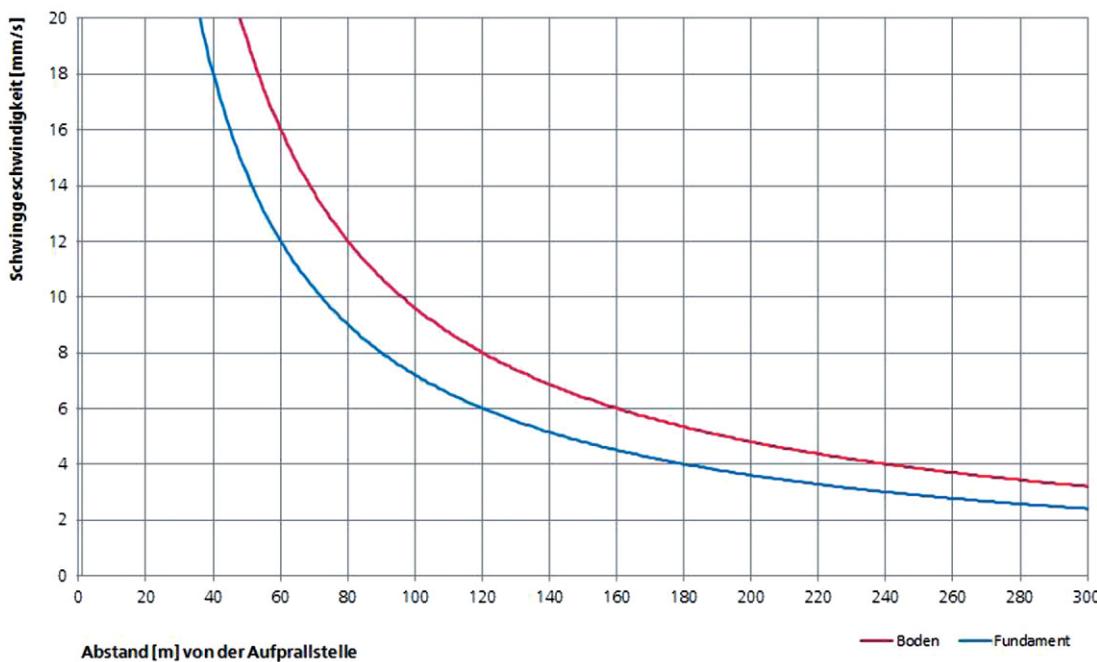
k, m Beiwert und Kennzahl

Aus den Prognoseergebnissen geht hervor, dass keine Schäden an den baulichen und technischen Anlagen infolge des Sprengabbruchs zu erwarten waren, da diese unter den Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 3 [3] liegen.

4.2 Messungen

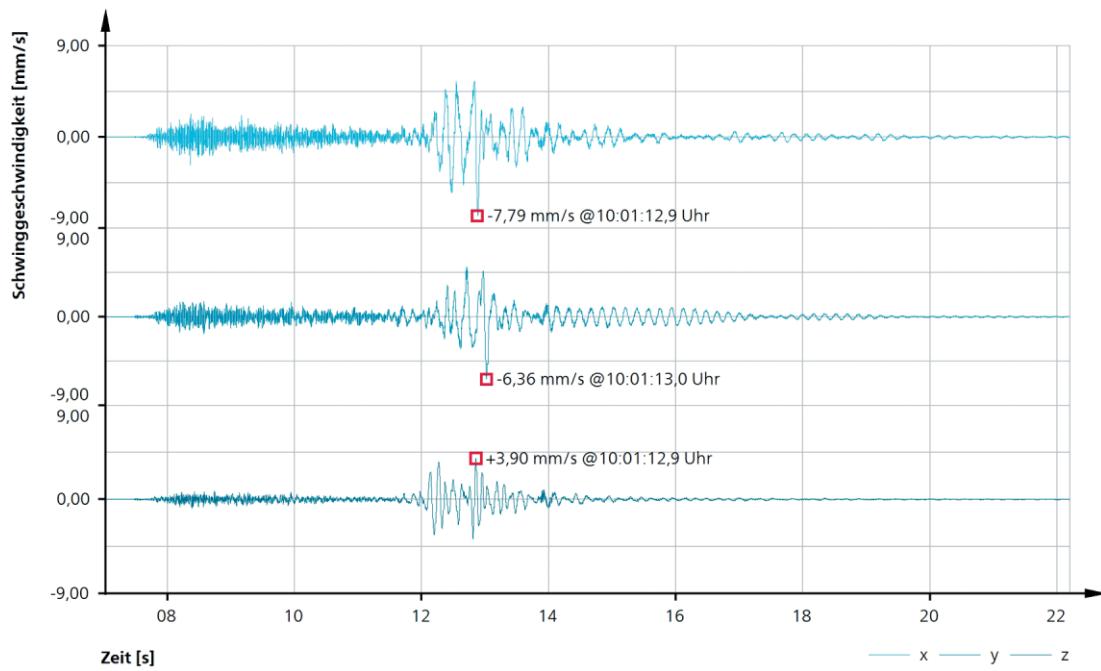
Zur Überprüfung der Erschütterungsprognosen sowie zum Zweck einer fremdüberwachten Eigenüberwachung waren durch Bluhm Partner entsprechende Erschütterungsmessungen an ausgewählten baulichen und technischen Anlagen durchzuführen. Im Umgriff des Sprengabbruchs wurden gemäß DIN 45669 [4, 5] und DIN 4150, Teil 3 [3] Erschütterungsmessungen an zwei Brückenpfeilerfundamenten der neuen Sinnbrücke (Achse 50 und 60), am Widerlager der kleinen Sinnbrücke und im Wohnhaus 1 durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Durchführung und Beurteilung von Erschütterungsmessungen nach DIN 4150, Teil 3 ist in [6] enthalten. Ergänzend zu den o. g. Messorten erfolgten Messungen am Brunnen der Stadtwerke Bad Brückenau und an einem Wasserkraft-Kleinkraftwerk. Bei Letzterem erfolgten im Vorfeld des Sprengabbruchs zusätzlich Schwingungsmessungen nach ISO 10816 an einer OSSBERGER-Turbine (hier nicht dargestellt). Detaillierte Ausführungen zu Schwingungsmessungen an Maschinen sind in [7] enthalten. Im Nahbereich des Sprengabbruchs wurden die Messungen manuell gestartet, wohingegen die Erschütterungsmessungen am Brunnen der Stadtwerke Bad Brückenau mittels Triggerung ($v_{\text{trig}} = 0,7 \text{ mm/s}$) durchgeführt wurden. In Tab. 1 sind, neben den Prognosewerten, die gemessenen Spitzenwerte der Schwinggeschwindigkeit aufgeführt und den normativen Anhaltswerten gegenübergestellt.

Im Ergebnis der Erschütterungsmessungen wurden Schwinggeschwindigkeiten gemessen, die deutlich unter den definierten Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 3 liegen (Tab. 2). Aus den Amplitudenzeitverläufen in



Quelle: Bluhm Partner AG

Bild 5 Abnahme der Schwinggeschwindigkeitsamplitude mit der Entfernung von der Aufprallstelle nach DIN 4150, Teil 1
Decrease of the vibration velocity amplitude with distance from the impact point in accordance with DIN 4150, Part 1



Quelle: Bluhm Partner AG

Bild 6 Amplitudenzzeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit in allen Raumrichtungen am östlichen Brückenpfeilerfundament in Achse 60
Transients of vibration velocity in all directions at the bridge pier foundation in axis 60

Tab. 2 Prognostizierte und gemessene Spitzenwerte der Schwinggeschwindigkeit infolge Sprengabbruch sowie Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 3
Predicted and measured peak velocities during demolition and vibration limits according to DIN 41650, part 3, Quelle: Bluhm Partner AG

Objekt	Entfernung	Prognose	Messung	Anhaltswert
Brückenpfeiler 60	39 m	16,7 mm/s	7,79 mm/s	20 mm/s
Brückenpfeiler 50	-	-	5,34 mm/s	20 mm/s
WK Kleinkraftwerk	70 m	9,3 mm/s	3,32 mm/s	20 mm/s
Wohnhaus 1	126 m	5,2 mm/s	2,79 mm/s	5 mm/s
Wohnhaus 2	130 m	5,0 mm/s	-	5 mm/s
Brunnen SW	> 300 m	-	< 0,7 mm/s	5 mm/s



Quelle: Bluhm Partner AG

Bild 7 Der Sprengabbruch der alten Sinntalbrücke wurde von zahlreichen Zuschauern außerhalb des 300 m-Sprengbereiches mitverfolgt
Demolition of the old Sinntal bridge was followed by a big crowd outside the 300 m blasting area



Quelle: Bluhm Partner AG

Bild 8 Brückenüberbau und Brückenpfeiler der alten Sinntalbrücke nach dem Sprengabbruch
Bridge superstructure and bridge pier of the old Sinntal bridge after the demolition

Bild 6 sind die Amplituden, die sich aus dem Sprengknall ergeben, sowie die deutlich größeren Amplituden aus direkter Erschütterungseinwirkung gut zu erkennen.

Aus den erfolgten Prognosen und den vergleichenden Messungen ist ersichtlich, dass die Prognosen weit

auf der sicheren Seite liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Erschütterungsreduktion infolge der dynamischen Verdichtung der Schutzwälle nicht berücksichtigt wurde und dass sich durch das Lösen von Verbindungen und dem möglichen Plastizieren des Brückenüberbaus Unsicherheiten in der Energiedissipation ergeben.

Literatur

- [1] Bluhm Partner AG: *Der König ist tot. Lang lebe der König.* Video zum Sprengabbruch der alten Sinntalbrücke bei Bad Brückenau, <http://www.bluhmpartner.com/de/23-leistungsexperten>.
- [2] DIN 4150: *Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.* Fassung Juni 2001.
- [3] DIN 4150: *Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen.* Fassung Februar 1999.
- [4] DIN 45669: *Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen.* Fassung September 2010.
- [5] DIN 45669: *Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren.* Fassung Juni 2005.
- [6] BLUHM, J.; HASENSTAB, A.: *Messen und Beurteilen von Erschütterungen im Bauwesen.* Messtechnik im Bauwesen, Special 1 (2009), S. 22–23.
- [7] BLUHM, J.; BLUHM, R.: *Schwingungsmonitoring an Generatoren,* Bautechnik 90 (2013), Heft 11, S. 732–736.

Autor

Dipl.-Ing. (Univ.) Ján Bluhm
Bluhm Partner Aktiengesellschaft
Helene-Mayer-Ring 14/2
80809 München
munich@bluhmpartner.com
www.bluhmpartner.com