

Grosssprengversuch "SHIELD" – Wie effektiv ist die Decken-Schubbewehrung in Zivilschutzbauten?

G. Feltrin, EMPA, Dübendorf, CH

Abstract

Im Jahr 2017 wurde eine neue Version der Schweizerischen Richtlinien zur Bemessung von Zivilschutzanlagen (TWK 2017) in Kraft gesetzt. Durch die Revision SIA 262 im Jahr 2013 ausgelöst, verlangt diese Richtlinie eine Schubbewehrung in der Deckenplatte, während die vorherige Richtlinie (TWK 1994) keine Schubbewehrung vorsah. Da nahezu alle bestehenden Schutzräume ohne Scherbewehrung ausgeführt wurden, stellte sich die Frage, wie die bestehenden Schutzräume bezüglich ihrer Schutzwirkung beurteilt werden sollten.

Um die Wirksamkeit der Schubbewehrung zu untersuchen, startete das Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS eine Versuchsprogramm, das sowohl quasi-statische Laborversuche als auch einen Grosssprengversuch umfasste. Dieser Beitrag berichtet über den Sprengversuch, der im August 2019 im Rahmen des internationalen Projekts SHIELD (Super Heavy Improvised Explosive Loading Demonstration) in Schweden durchgeführt wurde, bei dem 37,6 t ANFO-Sprengstoff zur Detonation gebracht wurden (30 t QTNT). Motiviert durch längerfristige Auslandseinsätze und Sprengstoffanschlägen an zivile und militärische Einrichtungen, hatte das Projekts SHIELD zum Ziel, die Leistungscharakterisierung diverser baulicher Schutzmassnahmen zu untersuchen.

Der Schweizer Versuchsaufbau bestand aus zwei unterirdischen Modellschutzbauten, die sich in einem Abstand von ca. 56 m bzw. 83 m zur Sprengladung befanden. Die Modellschutzbauten bestanden jeweils aus einer Stahlbetonwanne, die vor Ort hergestellt wurde. Die Stahlbetonwannen wurden jeweils durch zwei Probekörpern aus Stahlbeton überdacht, einer mit und einer ohne Schubbewehrung, die an der Empa hergestellt und nach Schweden transportiert wurden. Die Probekörper wurden entsprechend den erwarteten Druckbelastungen an den beiden Standorten mit Spitzendrücken von 11,6 bar bzw. 3,8 bar ausgelegt (siehe den Beitrag von Dr. Lorenz Brenner, BABS Labor Spiez, "Grosssprengversuch «SHIELD» – Numerische Simulation der Druckwelle"). An den Prüfkörpern mit Schubbewehrung wurden an einem Ende eine konventionelle Schubbewehrung und am anderen Ende Schubdübel eingebaut.

Zur Messung der Stahldehnungen wurde die Längs- und Schubbewehrung mit Dehnmessstreifen ausgerüstet. Die Probekörper ohne Schubbewehrung wurden mit 6 Messstellen an der Längsbewehrung versehen. Die Probekörper mit Schubbewehrung verfügten neben den 6 Messstellen an der Längsbewehrung noch über 10 weitere Messstellen an der Schubbewehrung. Die Dehnungsmessung an den Schubdübeln wurde mit speziellen Dehnmessstreifen ausgeführt, die in einer dünnen Bohrung eingeführt und verklebt waren.

Zur Messung der Dehnungen wurden Messverstärker HBM Quantum X eingesetzt, die insgesamt 24 Messkanäle zur Verfügung stellten. Neben 20 Messkanälen für die Dehnungen, waren 2 Messkanäle für die Durchbiegung der Probekörper in Feldmitte und 1 Messkanal für das Triggersignal zur Auslösung der Messung vorgesehen. Die Messverstärker wurden an einen Recorder, ebenfalls von HBM, angeschlossen, auf dem das Datenerfassungsprogramm lief und die erfassten Daten lokal speicherte. Die Datenerfassungsrate betrug 20 kHz.

Zur Messung der Luftdrücke und der Beschleunigungen, die durch die Armasuisse W+T durchgeführt wurde, ist ein Hochgeschwindigkeits-Datenerfassungsgerät Elsys eingesetzt worden. Dieses Gerät lieferte auch das Triggersignal für die Auslösung der Dehnungsmessungen. Die Datenerfassungsrate betrug 1 MHz. Die Messgeräte waren in einer Vorkammer der Stahlbetonwanne untergebracht. Sie wurden über eine Glasfaserleitung mit Computern in einer Messzentrale verbunden, die etwa 1.0 km Luftlinie von der Detonationsstelle entfernt war.

Die Probekörper mit und ohne Schubbewehrung zeigten ein qualitativ ähnliches Verhalten. Ein komplettes Versagen der Probekörper blieb aus. Bleibende Verformungen traten hingegen auf. Beide Probekörper wiesen einen konzentrierten Riss und Betonstauchungen an den Einspannstellen und verteilte Risse in Feldmitte auf. Die grössten Durchbiegungen in Feldmitte waren ähnlich. Die Längsbewehrung in Feldmitte und an den Einspannstellen erfuhr plastische Dehnungen. An den Einspannstellen zeigten die Probekörper ohne Schubbewehrung deutlich grössere bleibende Dehnungen auf als jene mit Schubbewehrung. Die Schubbewehrung blieb hingegen im elastischen Bereich.

Insgesamt lieferte der Sprengversuch interessante Daten, die jedoch noch im Detail analysiert und interpretiert werden müssen.

Willkommen
Welcome
Bienvenue

Grosssprengversuch SHIELD

Wie effektiv ist die Decken-Schubbewehrung in Zivilschutzbauten?

Glauco Feltrin
glauco.feltrin@empa.ch



Grosssprengversuch SHIELD



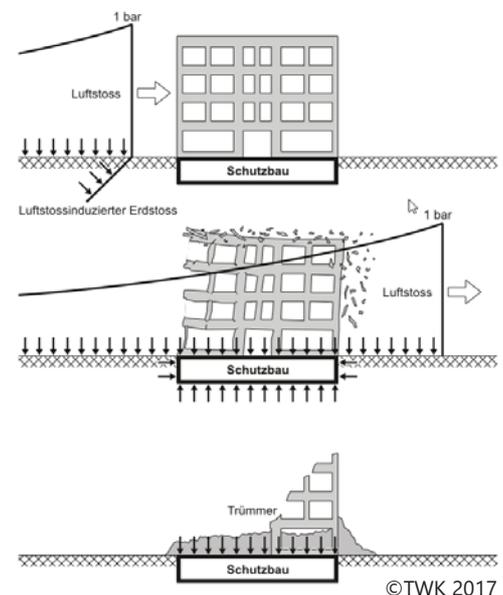
SIM Studiengruppe Schutz Infrastruktur Militär SG SIM
Board of Experts for Military Infrastructure Protection

BABS-Projekt «Civil protection shelter»

- Im Jahr 2017 wurden die neuen Schweizerischen Richtlinien für die Bemessung von Zivilschutzanlagen (TWK 2017) eingeführt
- Die Richtlinie verlangt eine Schubbewehrung in der Deckenplatte (durch Revision SIA 262 im 2013 ausgelöst), während die alte Richtlinie (TWK 1994) keine Schubbewehrung vorgesehen hatte
- Fragen:
 - ➔ Wie effektiv ist die Schubbewehrung?
 - ➔ Wie sollen die bestehenden Schutzräume bezüglich ihrer Schutzwirkung beurteilt werden?

Schutzbauten

- Basisschutz gegen die Wirkungen moderner Waffen (K-, A-, C- und B-Waffen)
- Schäden bei Waffeneinwirkung in Kauf genommen
- Nutzung des Schutzraums bleibt gewährleistet (kein Einsturz)
- Bemessung
 - plastisch/plastisch
 - ausreichendes Verformungsvermögen



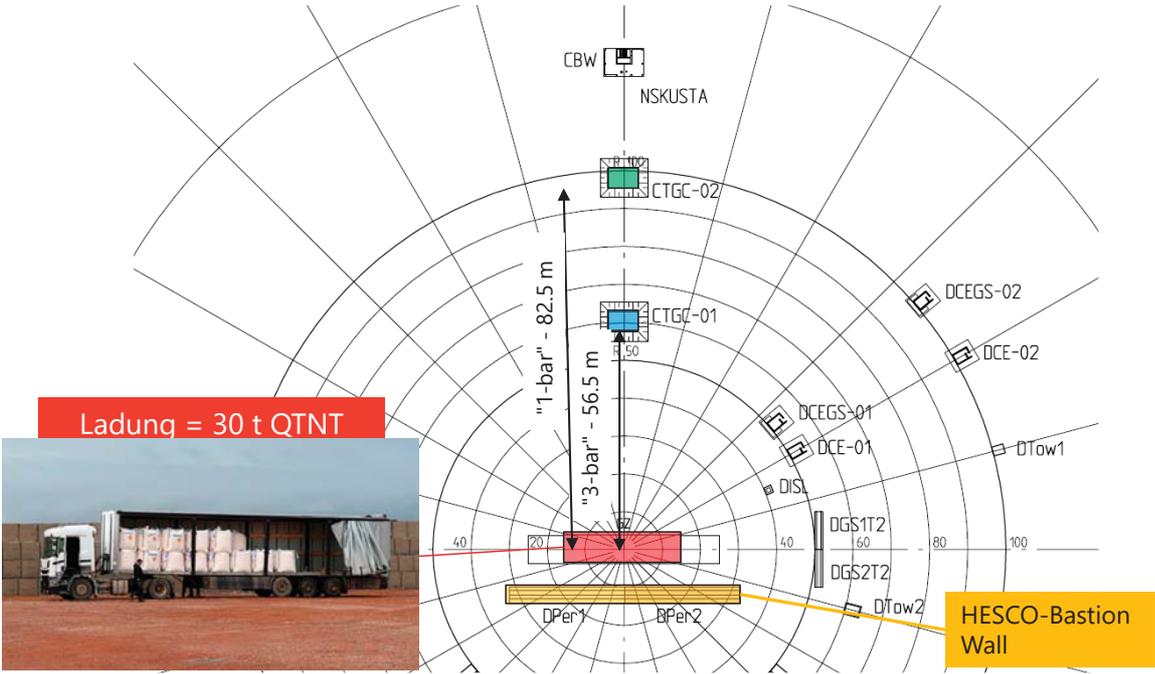
Ziel

- Tragverhalten eines Modells der Schutzraumdecke mit und ohne Schubbewehrung durch Versuche untersuchen
- Quasi-statische Versuche an der Empa
- Dynamische Versuche (Grosssprengversuch SHIELD)
 - „3bar“-Bereich: Grosse Deformationen, Abplatzungen am Prüfkörper. Besseres Verhalten des Prüfkörpers mit Schubbewehrung erwartet.
 - „1bar“-Bereich: Tragverhalten gemäss der Bemessungsphilosophie der TWK 2017 zu verifizieren. Kein grosser Unterschied zwischen den Prüfkörpern mit bzw. ohne Schubbewehrung erwartet.

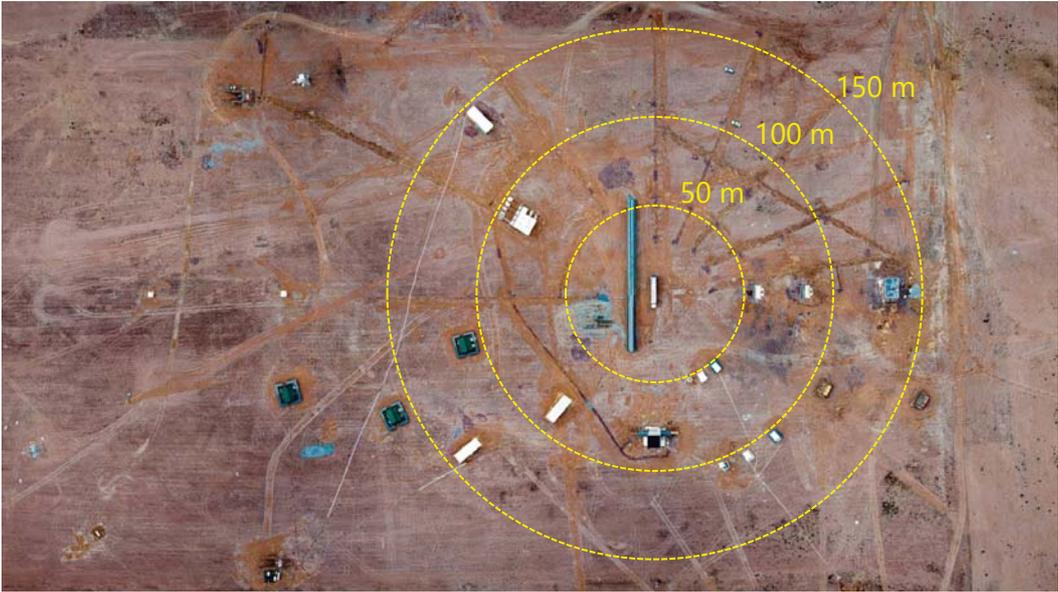
Projektpartner

- Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS)
 - Projektleitung
 - Numerische Simulationen Druckwellenausbreitung und -wirkung
- EBP Schweiz AG
 - Planung der Probekörper
 - Analyse der Versuchsdaten
- Armasuisse W+T
 - Übergeordnete Messsystem und Datenkommunikation beim Grosssprengversuch SHIELD
- Empa
 - Herstellung und Instrumentierung der Probekörper
 - Quasi-Statistische Versuche
 - Messsystem und Datenaufzeichnung beim Grosssprengversuch SHIELD

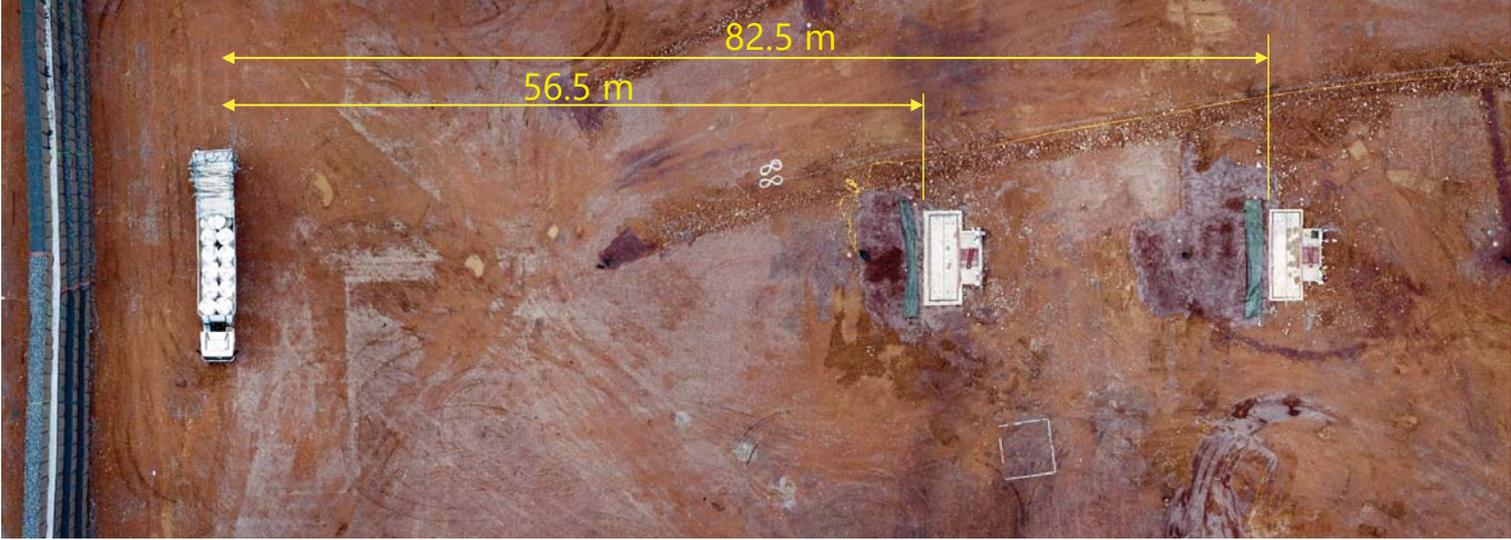
Grosssprengversuch SHIELD – Layout Testfeld



Grosssprengversuch SHIELD – Layout Testfeld

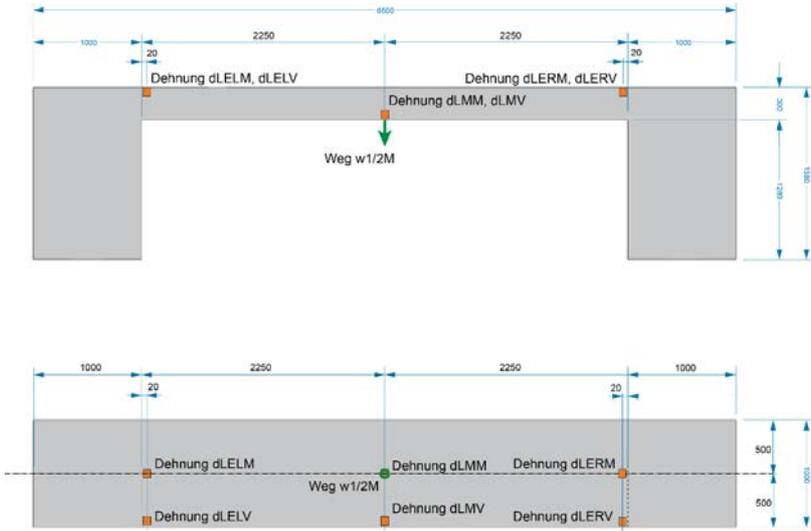


Lage Modellschutzbauten



Instrumentierung Probekörper (ohne Schubbewehrung)

- 6 Dehnungen an der Längsbewehrung



Instrumentierung vor Ort

- Anschluss Verkabelung DMS an Datenerfassungsgerät
- Aufbau Weg-, Beschleunigungs- und Druckmessung
- Aufbau Knautschkörper aus Aluminium (max. Weg)



Datenerfassung

- HBM Quantum X, Abtastrate 20 kHz
- Elsys High-Speed Datenerfassungsgerät, Abtastrate 1 MHz





Wirkung auf Modellschutzraum

Vorher



Nachher



Wirkung auf Modellschutzraum

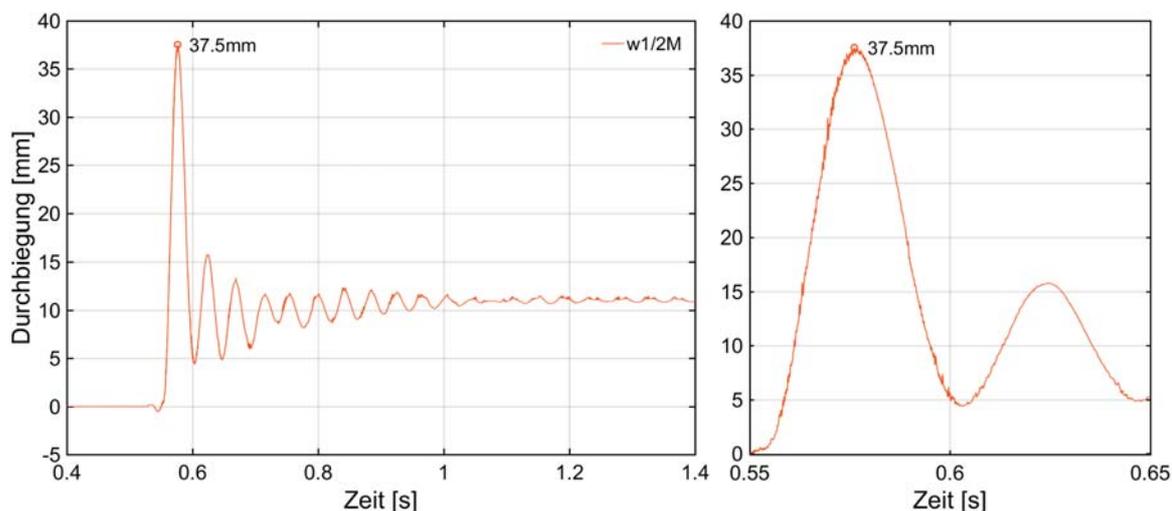
Vorher



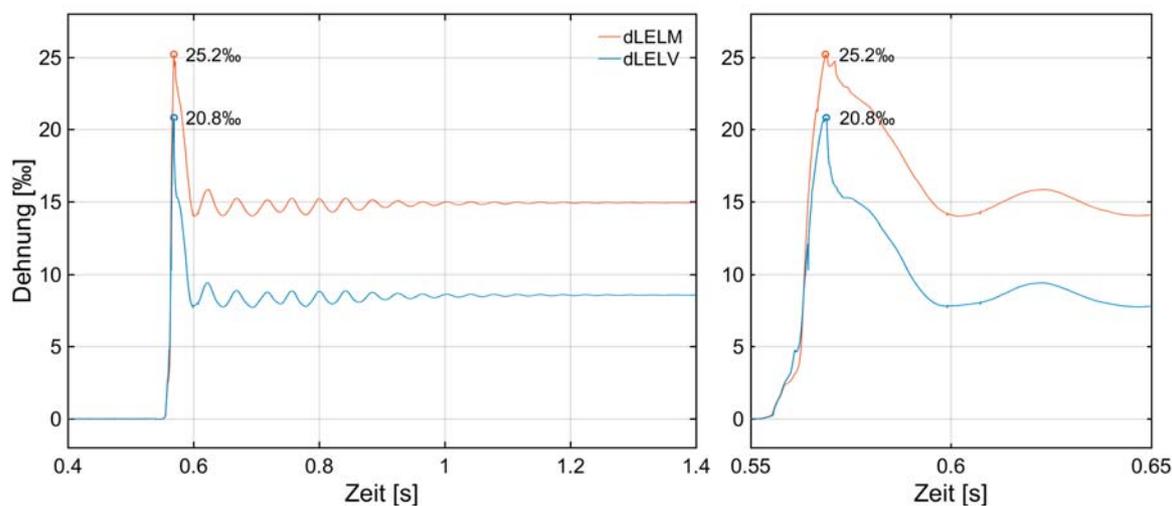
Nachher



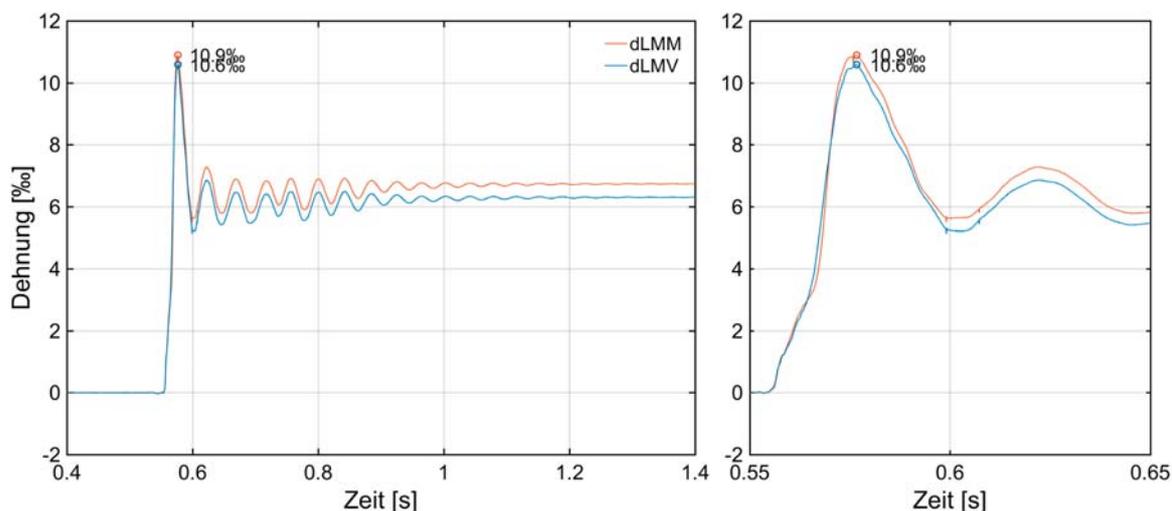
Durchbiegung in Feldmitte Prüfkörper mit Schubbewehrung (82.5 m)



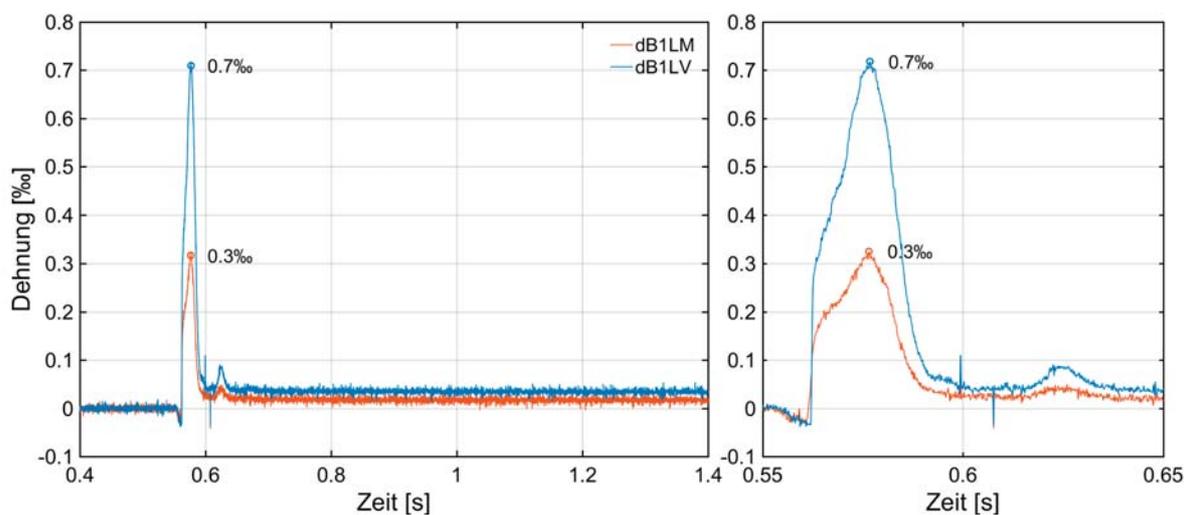
Dehnung Längsbewehrung Einspannstelle Prüfkörper ohne Schubbewehrung (82.5 m)



Dehnung Längsbewehrung Feldmitte Prüfkörper ohne Schubbewehrung (82.5 m)

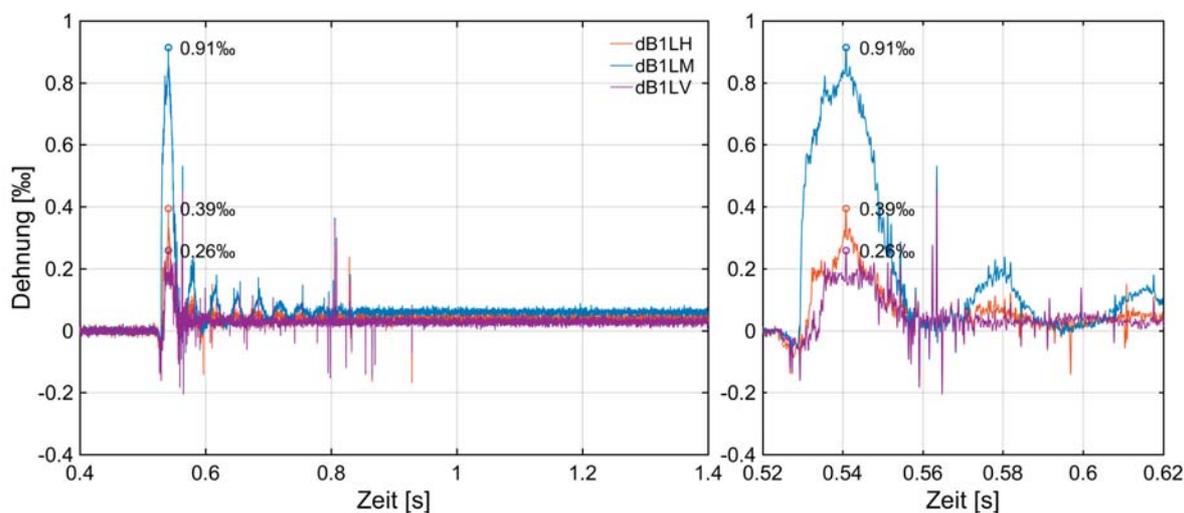


Dehnung Schubbewehrung Prüfkörper mit Schubbewehrung (82.5 m)



Dehnung Schubbewehrung

Prüfkörper mit Schubbewehrung (56.5 m)



Höchstwerte Verformungen/Dehnungen

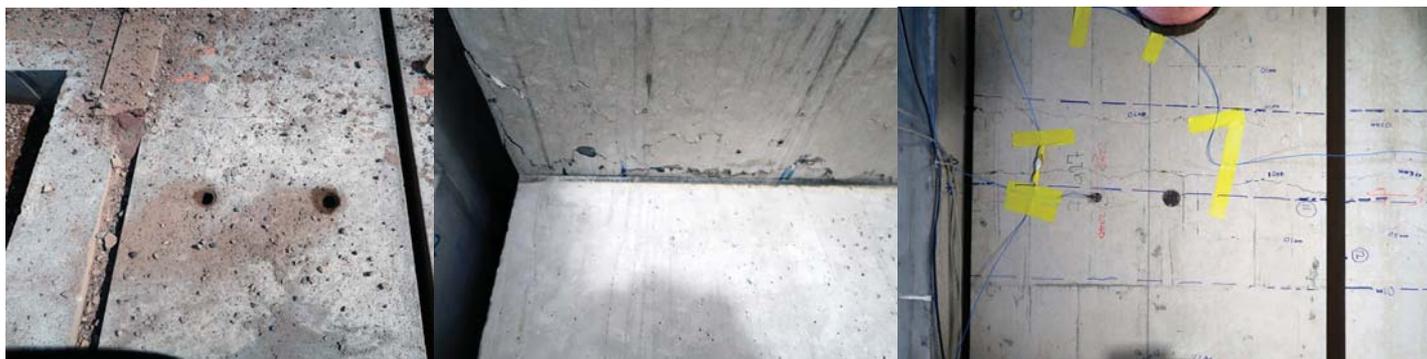
Prüfkörper	Weg [mm]	LBew M [‰]	LBew E [‰]	SBew [‰]
11 (82.5 m, mit)	37.5	19.7	19.4	0.70
12 (82.5 m, ohne)	31.9	10.9	25.6	—
13 (56.5 m, mit)	27.1	15.8	18.0	0.91
14 (56.5 m, ohne)	24.7	11.1	19.1	—

Bleibende Verformungen/Dehnungen

Prüfkörper	Weg [mm]	LBew M [‰]	LBew E [‰]	SBew [‰]
11 (82.5 m, mit)	10.9	10.7	3.1	—
12 (82.5 m, ohne)	8.9	6.7	14.9	—
13 (56.5 m, mit)	6.5	7.5	4.6	—
14 (56.5 m, ohne)	6.4	7.3	13.1	—

Rissbildung

- Ein Riss an den Einspannstellen
- Betonstauchung an den Einspannstellen
- Viele Risse in der Mitte der Spannweite



Zusammenfassung Ergebnisse

- Die Probekörper mit und ohne Schubbewehrung zeigten ein qualitativ ähnliches Verhalten
- Die Längsbewehrung wurde plastisch verformt
- Die Schubbewehrung blieb elastisch

- Der Sprengversuch lieferte interessante Daten, die jedoch noch analysiert und interpretiert werden müssen

Verdankung

