

A | S | F | i | N | A | G

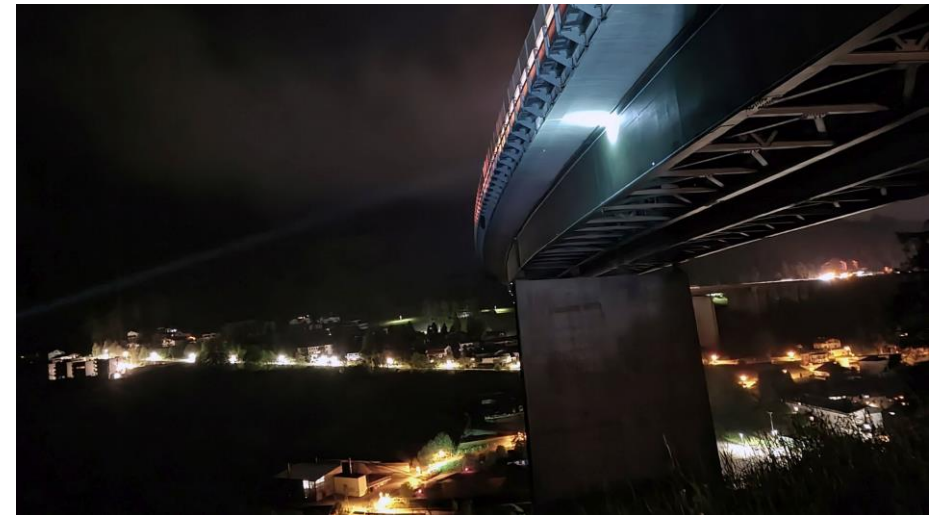
Monitoring und Nachrechnung von Belastungsversuchen an der Gschnitztalbrücke

Patrick Huber, FCP

Werner Lienhart, TU Graz

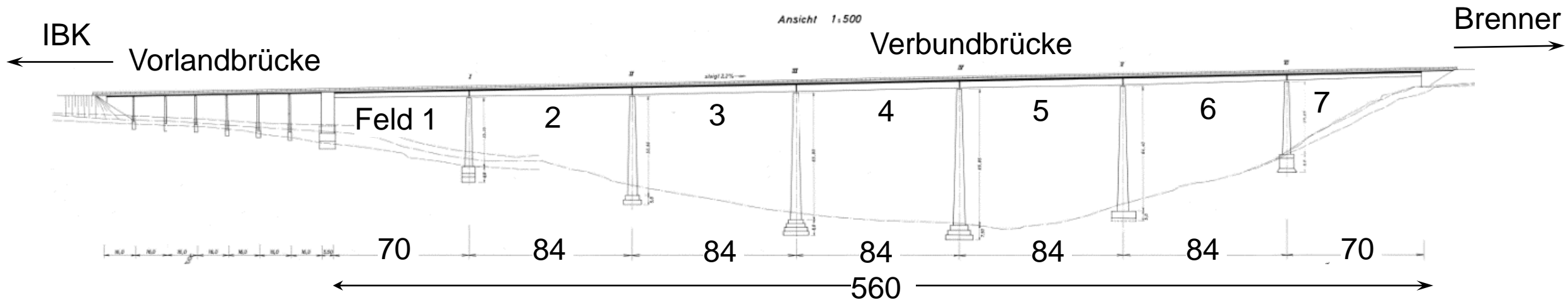
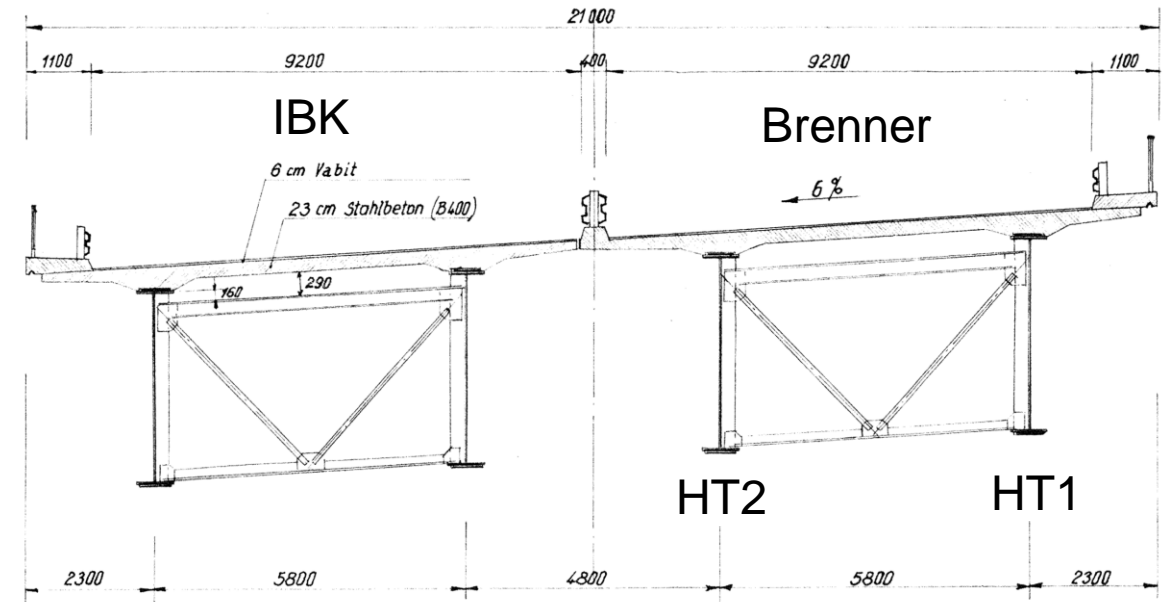
Inhalt

- Beschreibung der Gschnitztalbrücke
- Wieso Belastungsversuche?
- Wie wurden die Belastungsversuche durchgeführt?
- Monitoring und Ergebnisse der Belastungsversuche
- Nachrechnung der Belastungsversuche: Vergleich zwischen Messung und Modell
- Zusammenfassung



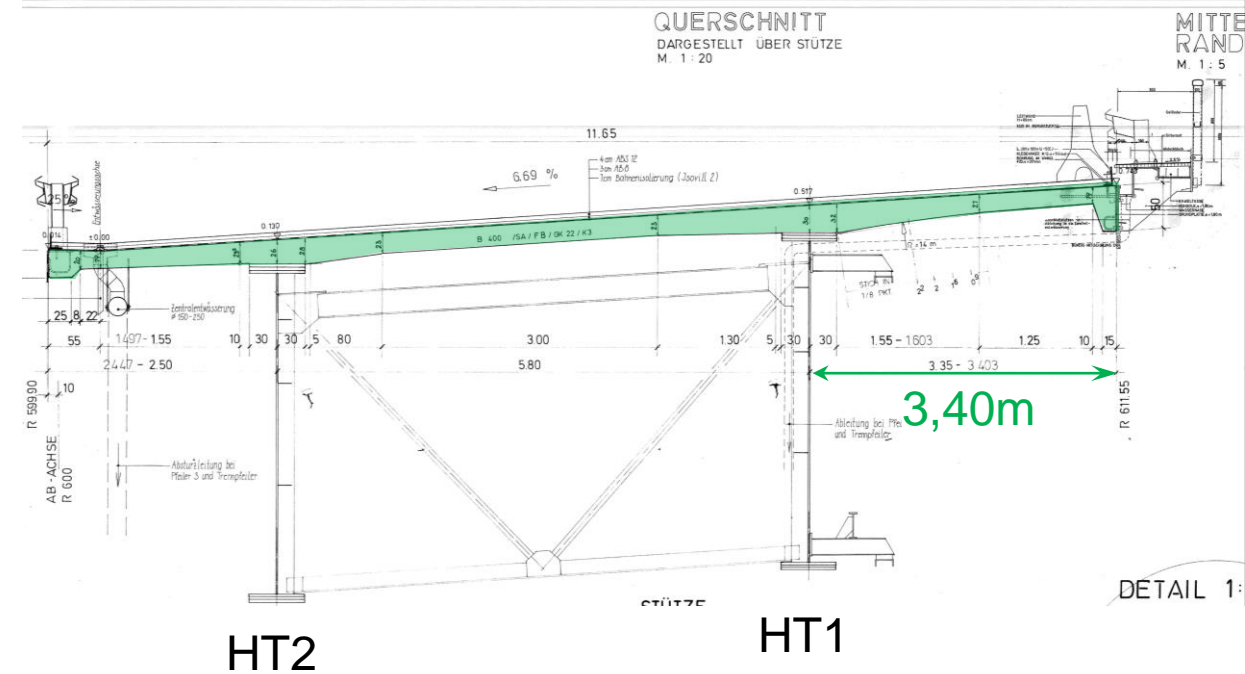
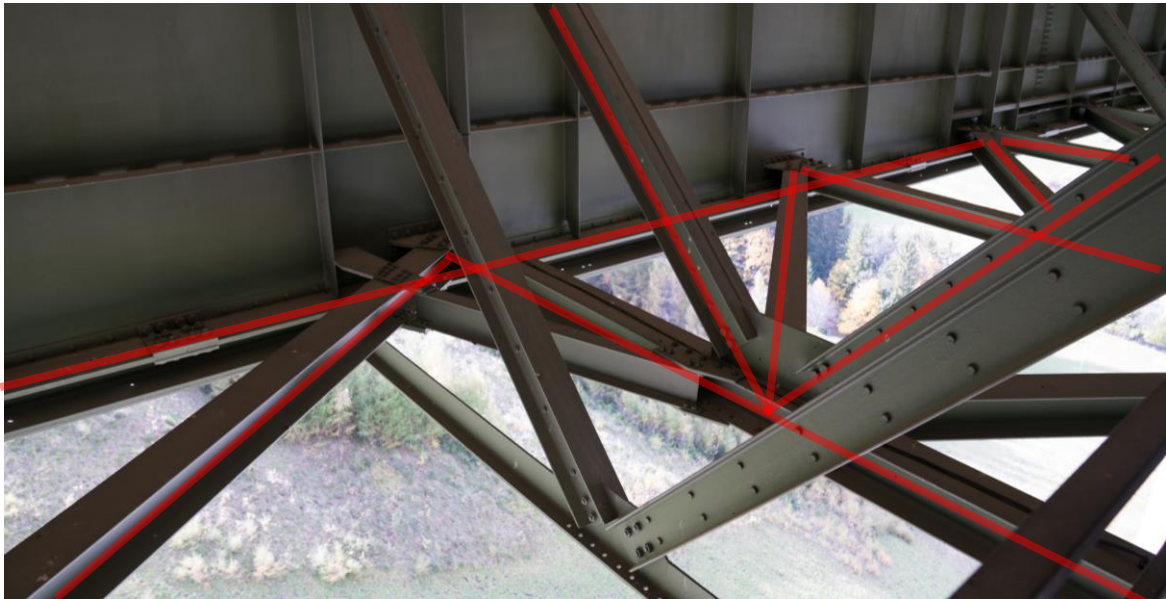
Eckdaten zur ursprünglichen Gschnitztalbrücke A13, Steinach am Brenner:

- 7-feldrige, zweistegige Stahl-Verbundbrücke (l = 560 m)
- R = 600 m
- Errichtungszeitraum: 1965 – 1968 (55 Jahre)
- Pfeilerhöhe: ca. 20 bis 72m



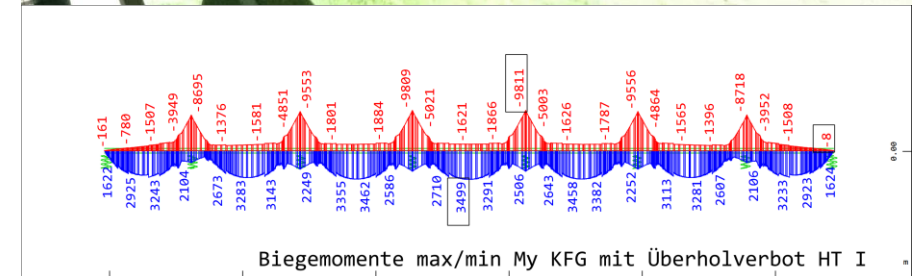
Ertüchtigungen

- 1987 - 1988: **Verbreiterung Fahrbahnplatte um 1,3 m**: quervorgespannt, voller Verbund
- 2001: **Verstärkung Untergurt am HT1**
- 2008 - 2009: **Austausch Verbände** infolge Ermüdungsbrüche

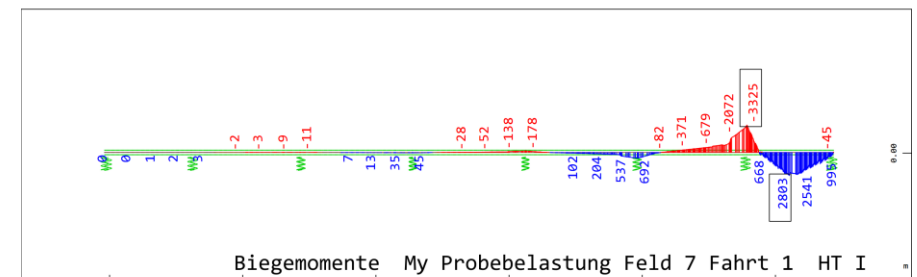


Wieso Belastungsversuche?

- sehr hohe rechnerische Auslastung der Längsträger
- ÖNORM B4008-2: Kap. 8.2: Experimentelle Bewertung des Systemverhaltens
- Einsatz von komplementären Messverfahren
- Kalibrierung des Berechnungsmodells für die Nachrechnung
- Vergleich Belastungsversuche mit „realer“ Belastung gemäß KFG-Modell



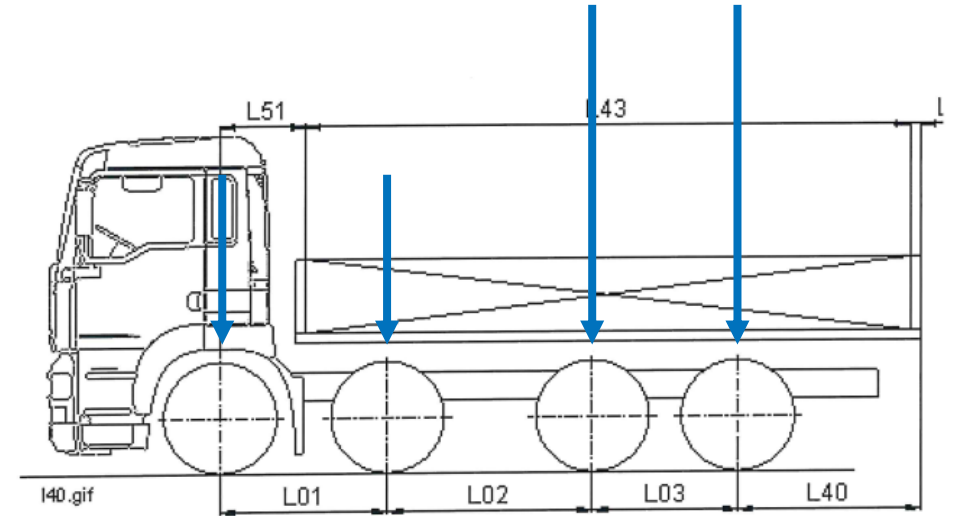
Systemausschnitt Gruppe 11 63
Stabelemente , Biegemoment My, Lastfall 18359 (BA 180070) MAX-VY QUAD ON B 4008 LKH+UDL_KF , 1 cm = 5000. kNm (Max=3499.) M 1 : 3082



Systemausschnitt Gruppe 11 63
Stabelemente , Biegemoment My, Lastfall 803 2xLKM Feld 7 / Spur 1 , 1 cm = 5000. kNm (Min=-3325.) (Max=2803.) M 1 : 3082

Wie wurden die Belastungsversuche durchgeführt?

- Belastung: 2 x 4-Achs LKW (vollbeladen mit Schotter)
- Durchführung: Nacht 23.-24. Mai 2023



L01 180cm L02 240 cm L03 140 cm

LKW 1: 5,6t 8,1t 20,0t 20,1t 53,8t

LKW 2: 8,7t 10,4t 17,7t 17,0t 53,8t

Wie wurden die Belastungsversuche durchgeführt?

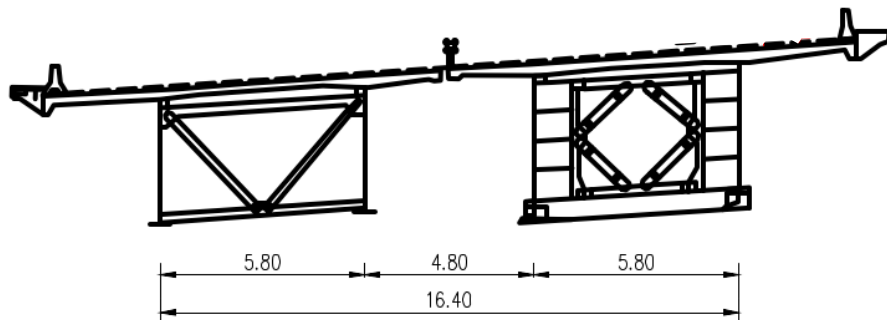
▪ Versuchsp parameter:

- Laststellung in Längsrichtung: max. Belastung: **Feld 6, Pfeiler 6, Feld 7**
- Fahrspur **1** und **2**
- **statische/dynamische** Überfahrt
- **dynamische** Überfahrt **5km/h** und **30km/h**

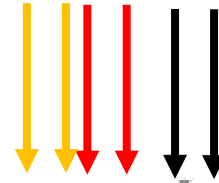
Fahrspur **2** **1**

RFB Innsbruck

RFB Brenner



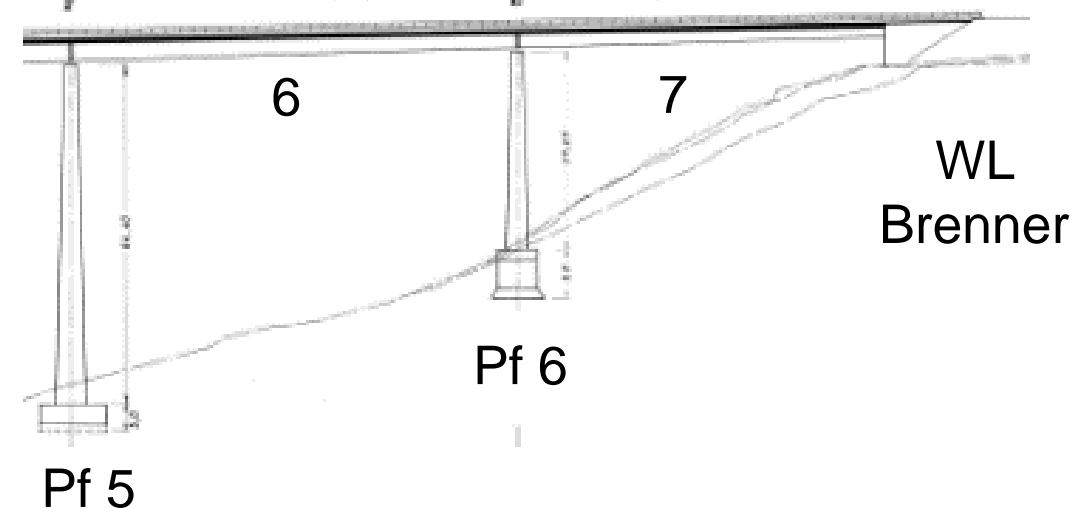
LK LKW 2 1



LKW 2



1

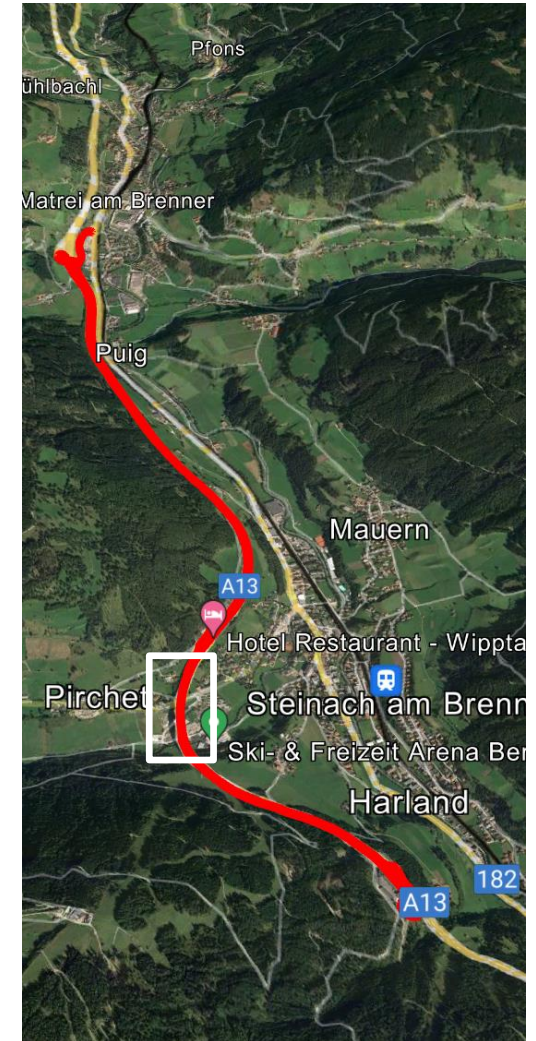


- Belastung entspricht Biegebeanspruchung von 87% des KFG-Modells mit 2 Fahrspuren und Überholverbot

Messungen während der Belastungstest

Lage und Geschwindigkeit der Fahrzeuge

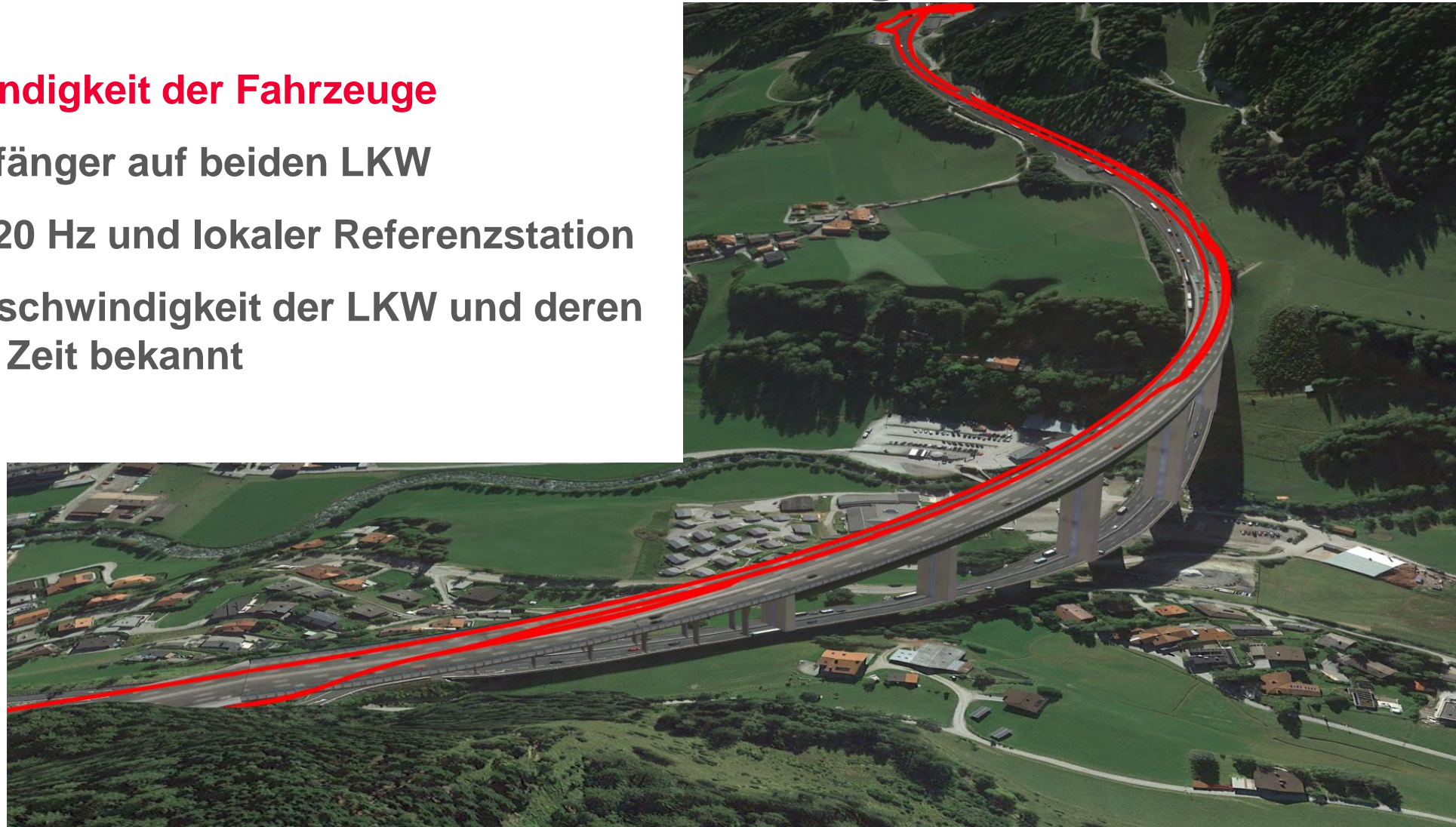
- GNSS RTK Empfänger auf beiden LKW
- Messungen mit 20 Hz und lokaler Referenzstation
- Position und Geschwindigkeit der LKW und deren Achsen zu jeder Zeit bekannt



Messungen während der Belastungstest

Lage und Geschwindigkeit der Fahrzeuge

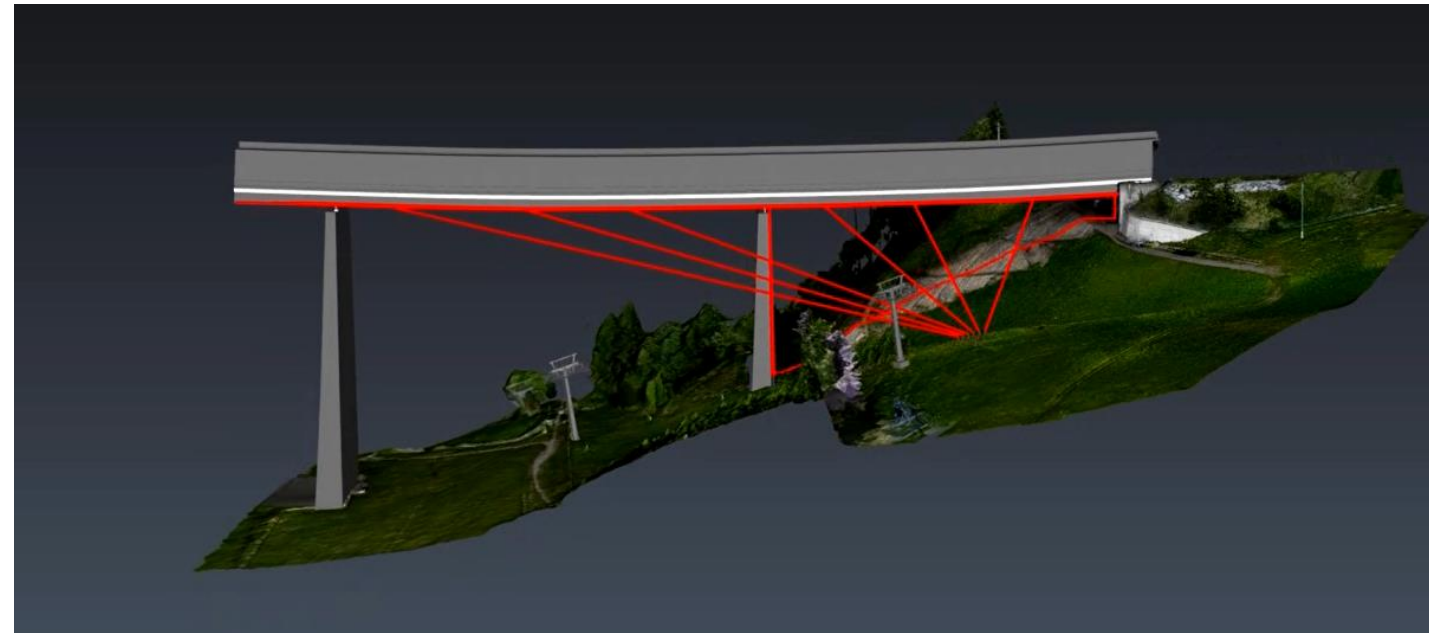
- GNSS RTK Empfänger auf beiden LKW
- Messungen mit 20 Hz und lokaler Referenzstation
- Position und Geschwindigkeit der LKW und deren Achsen zu jeder Zeit bekannt



Statische Belastungen

Messsysteme

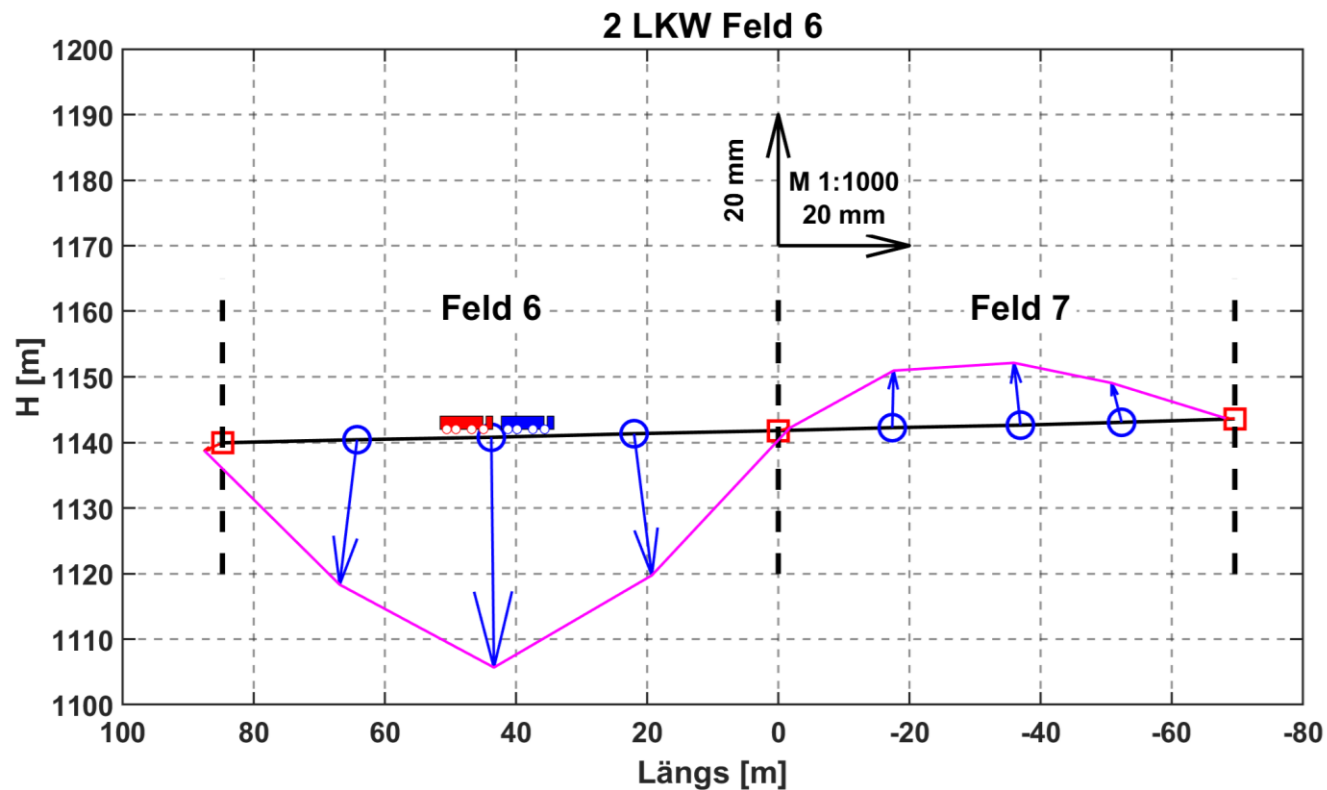
- Automatisierte Totalstation
 - 3 Prismen in Feld 6 + 7
- Profillaserscanner
 - 1 Profil Feld 6
 - 1 Profil Feld 7
- IoT Neigungssensoren
- Hochauflösendes verteiltes faseroptisches Messsystem
 - Obere und untere Messlinien von Feld 6 und 7



Statische Belastungen: 2 LKW auf Feld 6, Fahrspur 1

Totalstationsmessungen

- Vertikale Deformationen: bis zu 35 mm



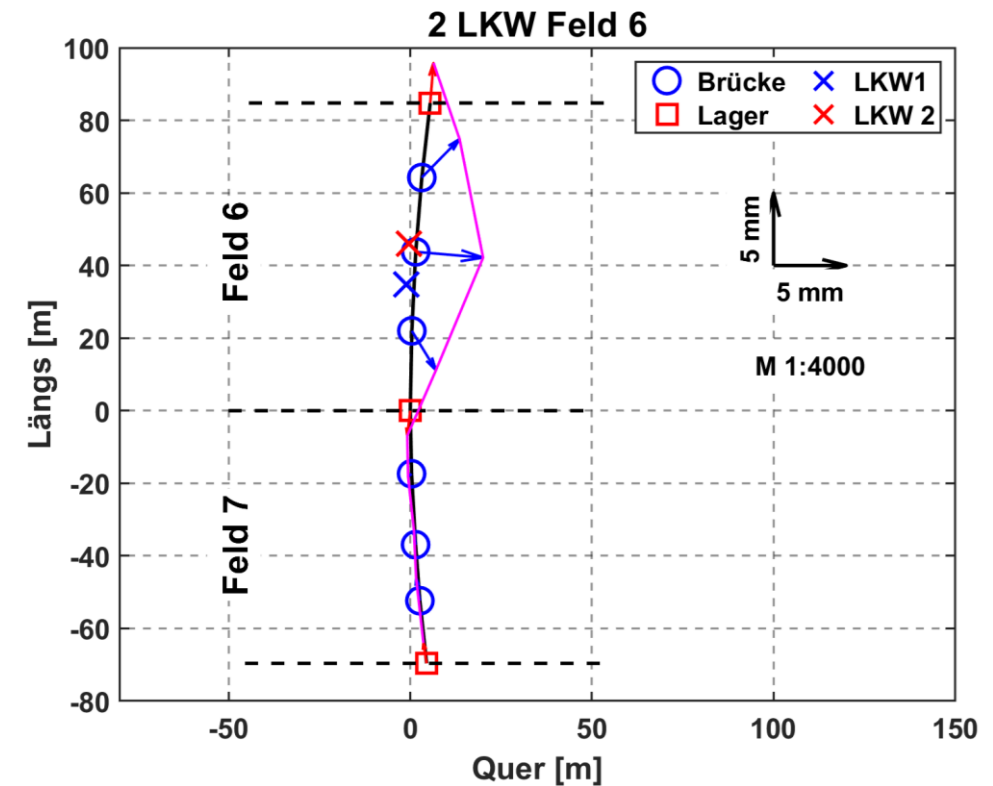
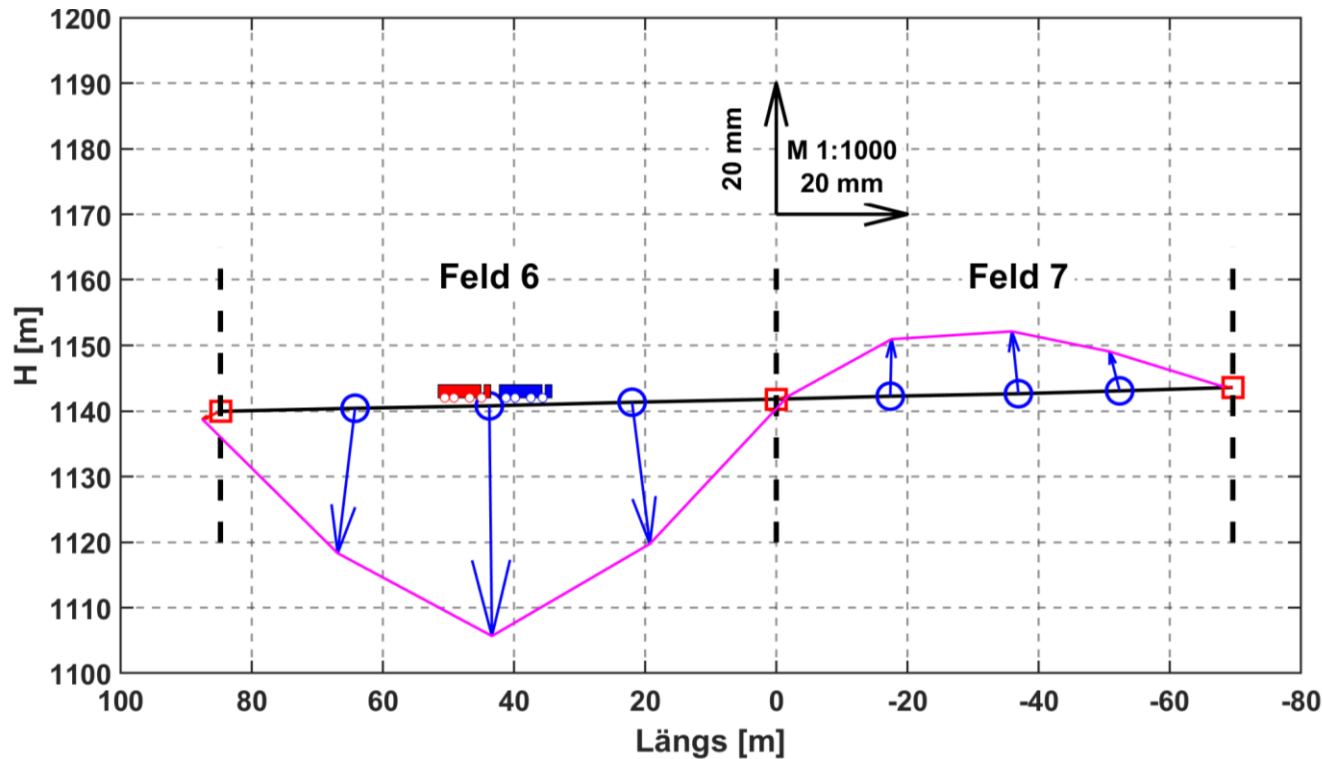
B61		B62		B63		B71		B72		B73	
Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH
2,7	-22,1	-0,4	-35,1	-2,7	-21,6	-0,2	8,7	1,0	9,5	1,5	6,0

Statische Belastungen: 2 LKW auf Feld 6, Fahrspur 1



Totalstationsmessungen

- Vertikale Deformationen: bis zu 35 mm
- Totalstation liefert vollständige 3D Information

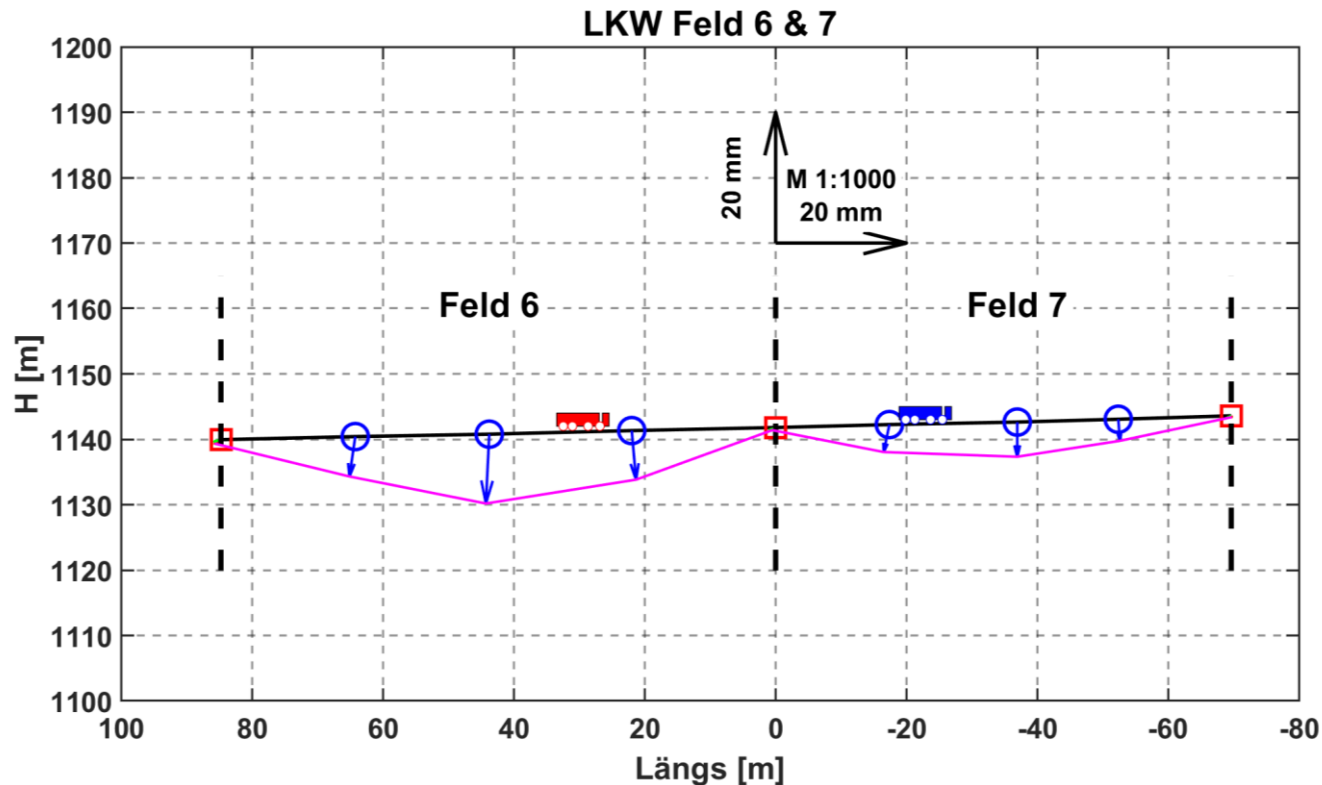


Statische Belastungen: 1 LKW auf Feld 6 & 7, Fahrspur 1



Totalstationsmessungen

- Vertikale Deformationen: < 11 mm



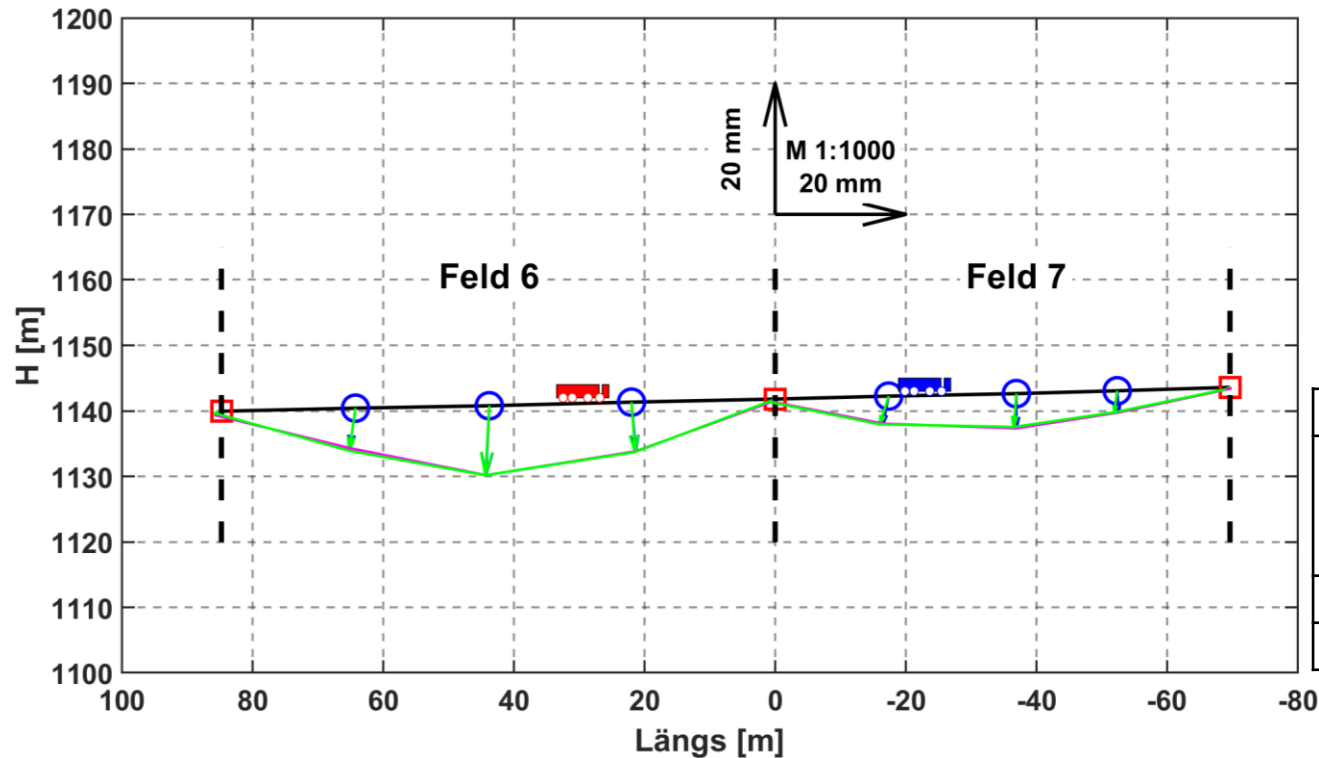
B61		B62		B63		B71		B72		B73	
Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH
0,9	-6,1	0,5	-10,6	-0,7	-7,5	0,9	-4,2	0,0	-5,3	-0,3	-3,3

Statische Belastungen: 1 LKW auf Feld 6 & 7, Fahrspur 1



Totalstationsmessungen

- Vertikale Deformationen: < 11 mm
- Gute Reproduzierbarkeit: Diff. wenige 1/10 mm



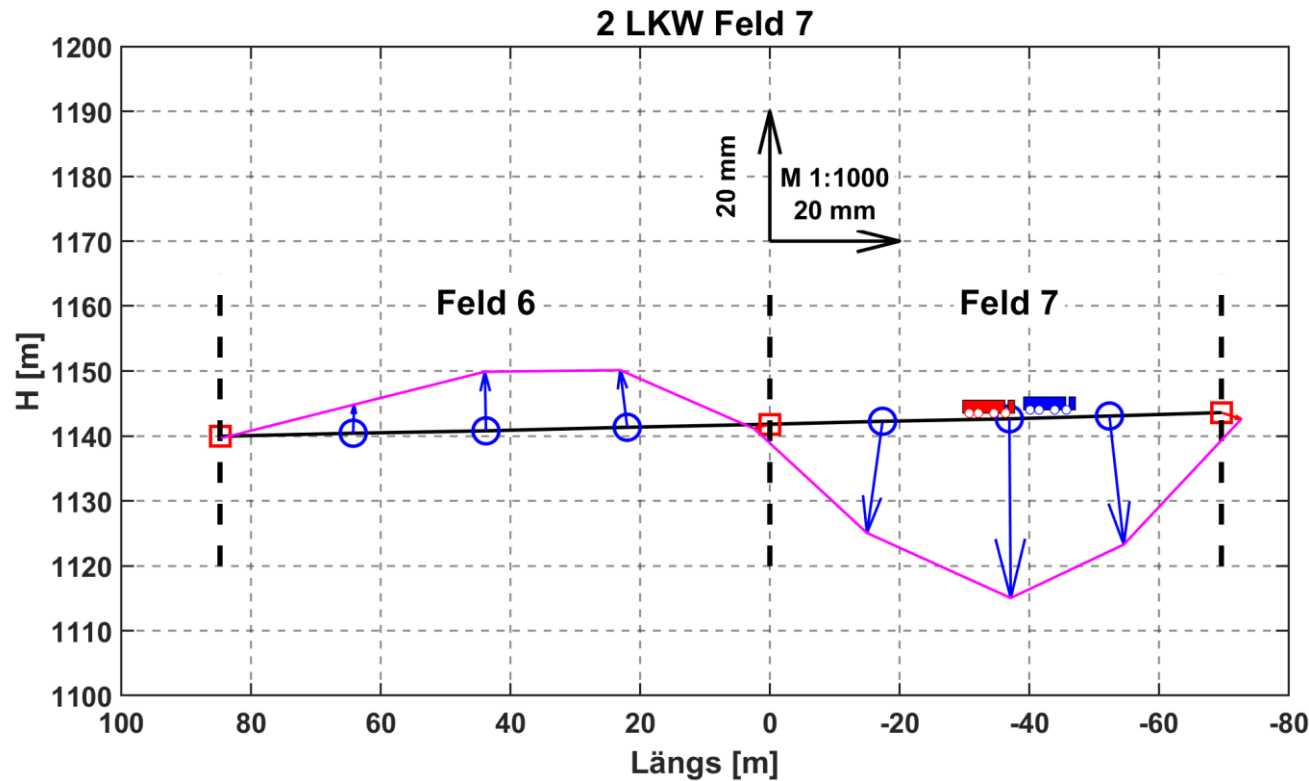
	B61		B62		B63		B71		B72		B73	
	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH	Δl	ΔH
V3	0,9	-6,1	0,5	-10,6	-0,7	-7,5	0,9	-4,2	0,0	-5,3	-0,3	-3,3
V6	0,9	-6,5	0,6	-10,6	-0,6	-7,6	1,4	-4,3	0,4	-5,1	0,5	-3,3
Mittel	0,9	-6,3	0,6	-10,6	-0,7	-7,6	1,2	-4,3	0,2	-5,2	0,1	-3,3
Diff	0,0	-0,4	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,5	-0,1	0,4	0,2	0,8	0,0

Statische Belastungen: 2 LKW auf Feld 7, Fahrspur 1



Totalstationsmessungen

- Vertikale Deformationen: bis zu 28 mm

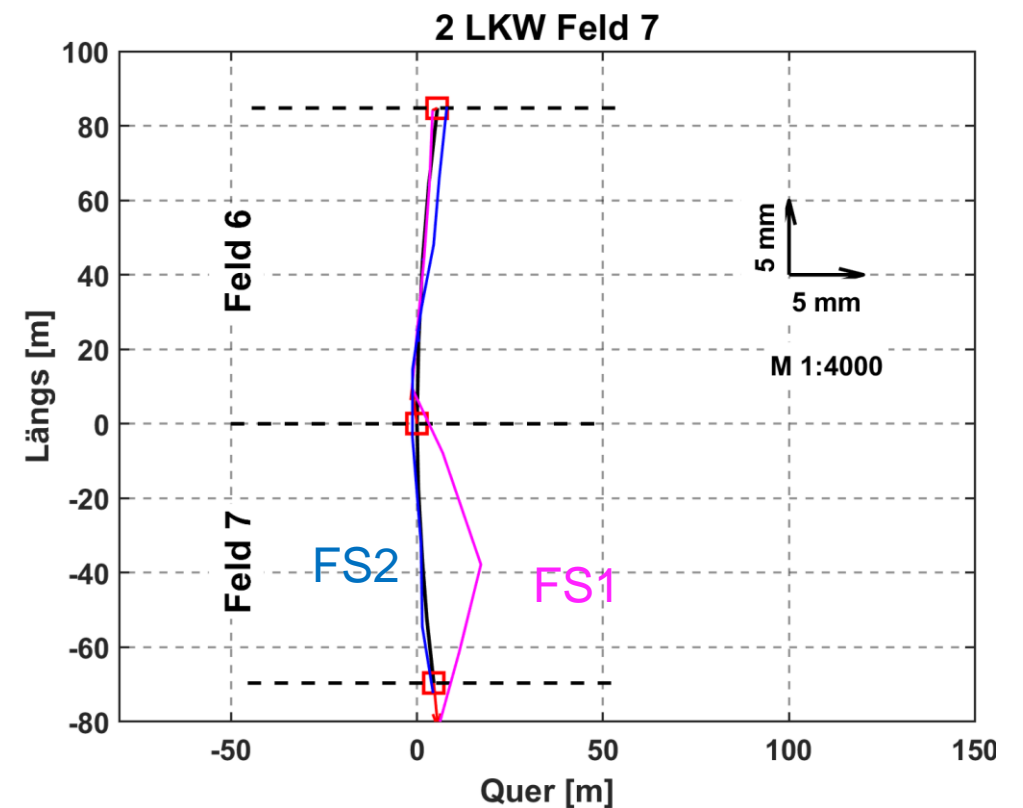
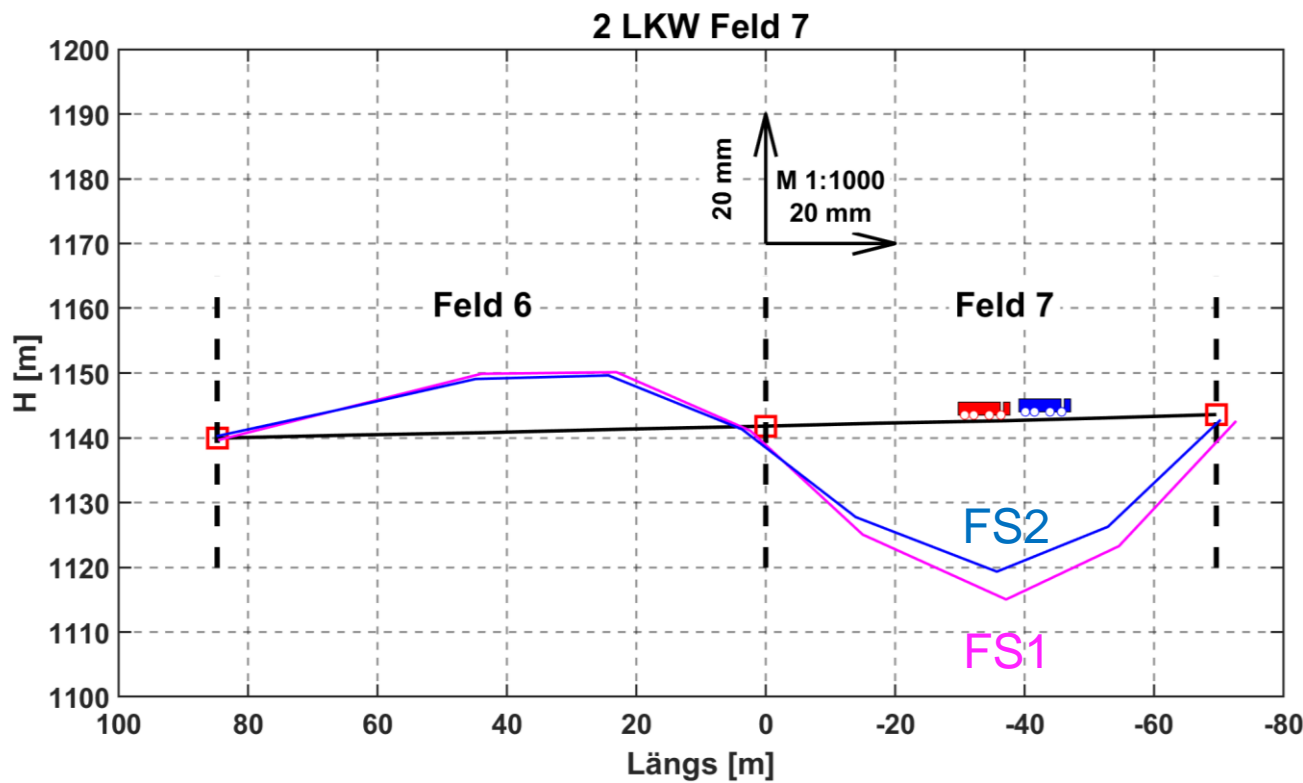


Statische Belastungen: 2 LKW auf Feld 7



Vergleich Fahrspur 1 & 2

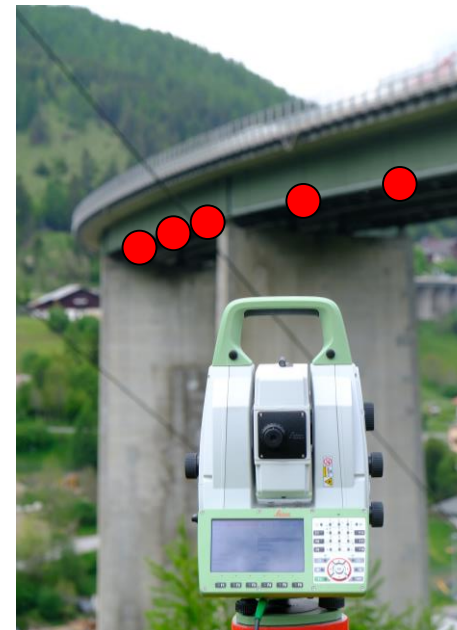
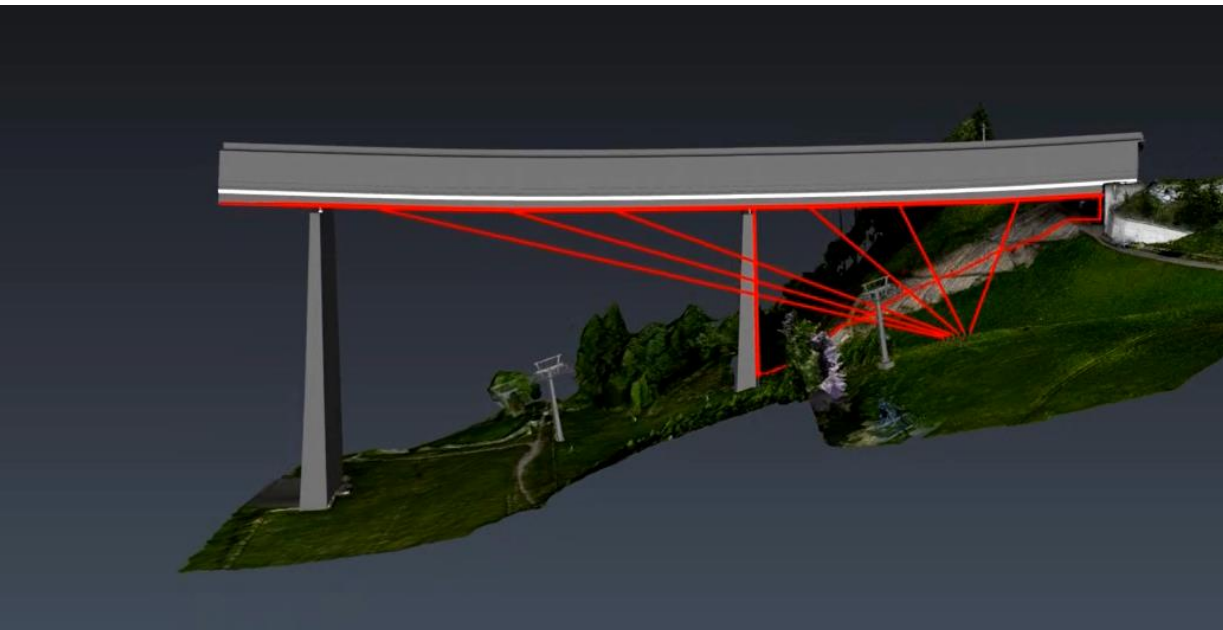
- Wesentlich geringer Deformation wenn LKWs auf FS2



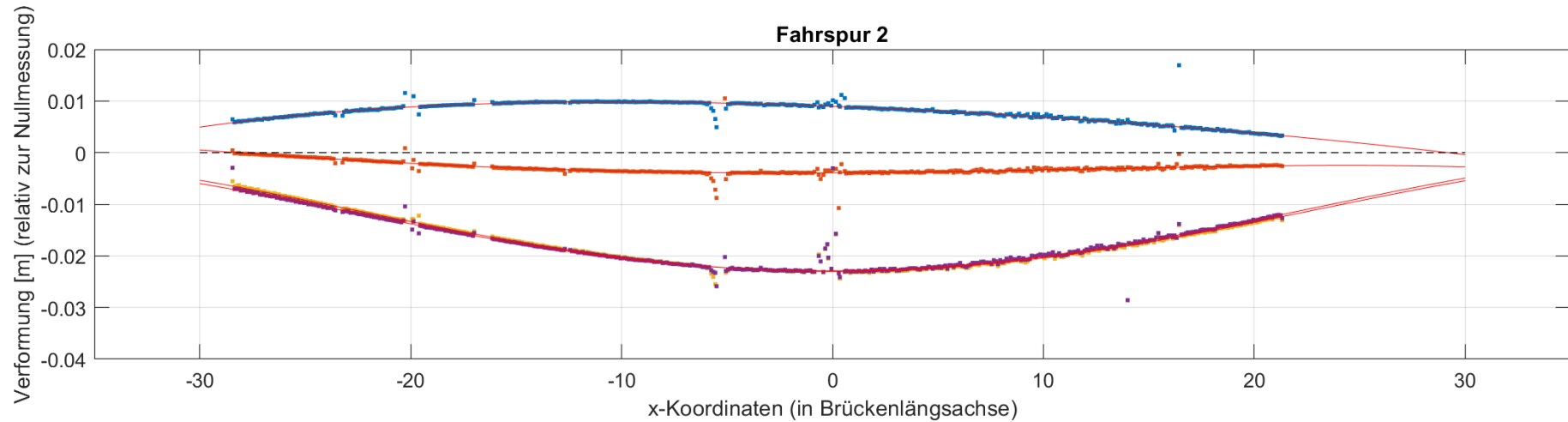
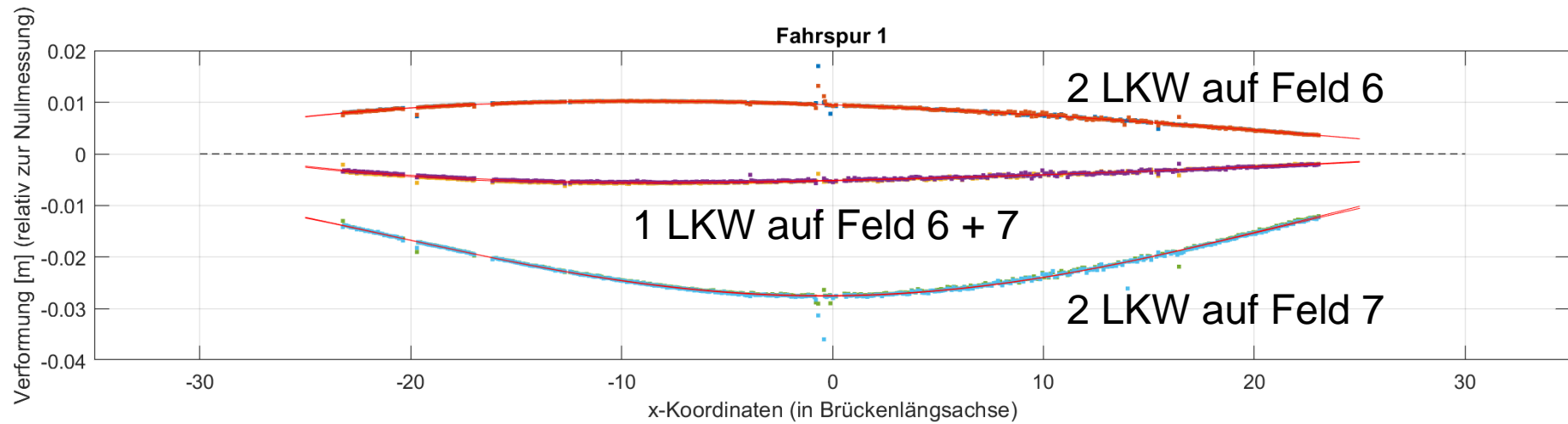
Statische Belastungen

Vergleich Totalstation und Profillaserscanner

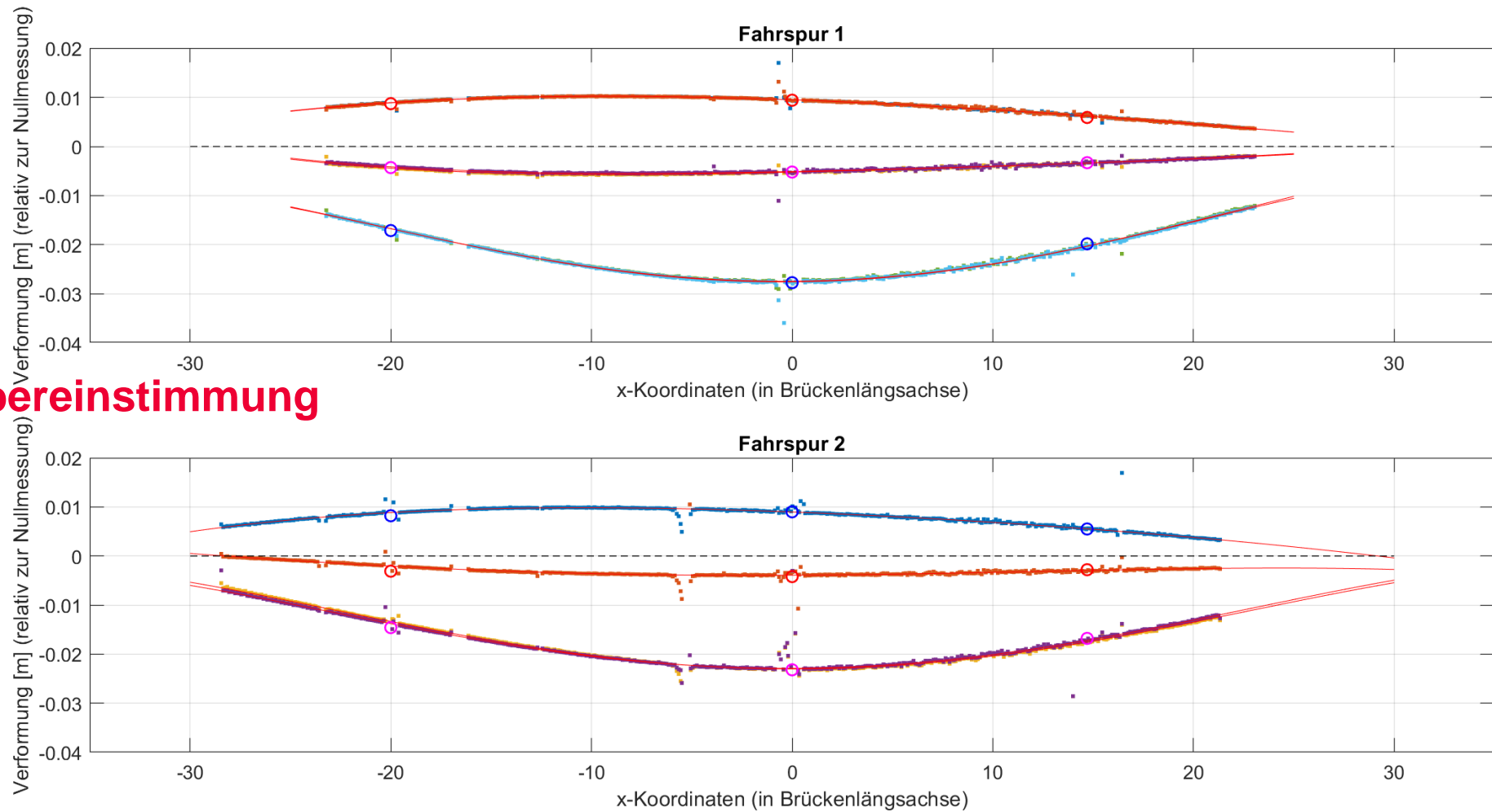
- Totalstation: Punktweise 3D Deformation
- Profils Scanner: Distanzänderungen in Blickrichtung entlang eines Profils
 - Ableitung der Höhenänderung entlang des Profils



Ergebnisse Profillaserscanner: Feld 7



Vergleich: Profils Scanner + Totalstation



Sehr gute Übereinstimmung



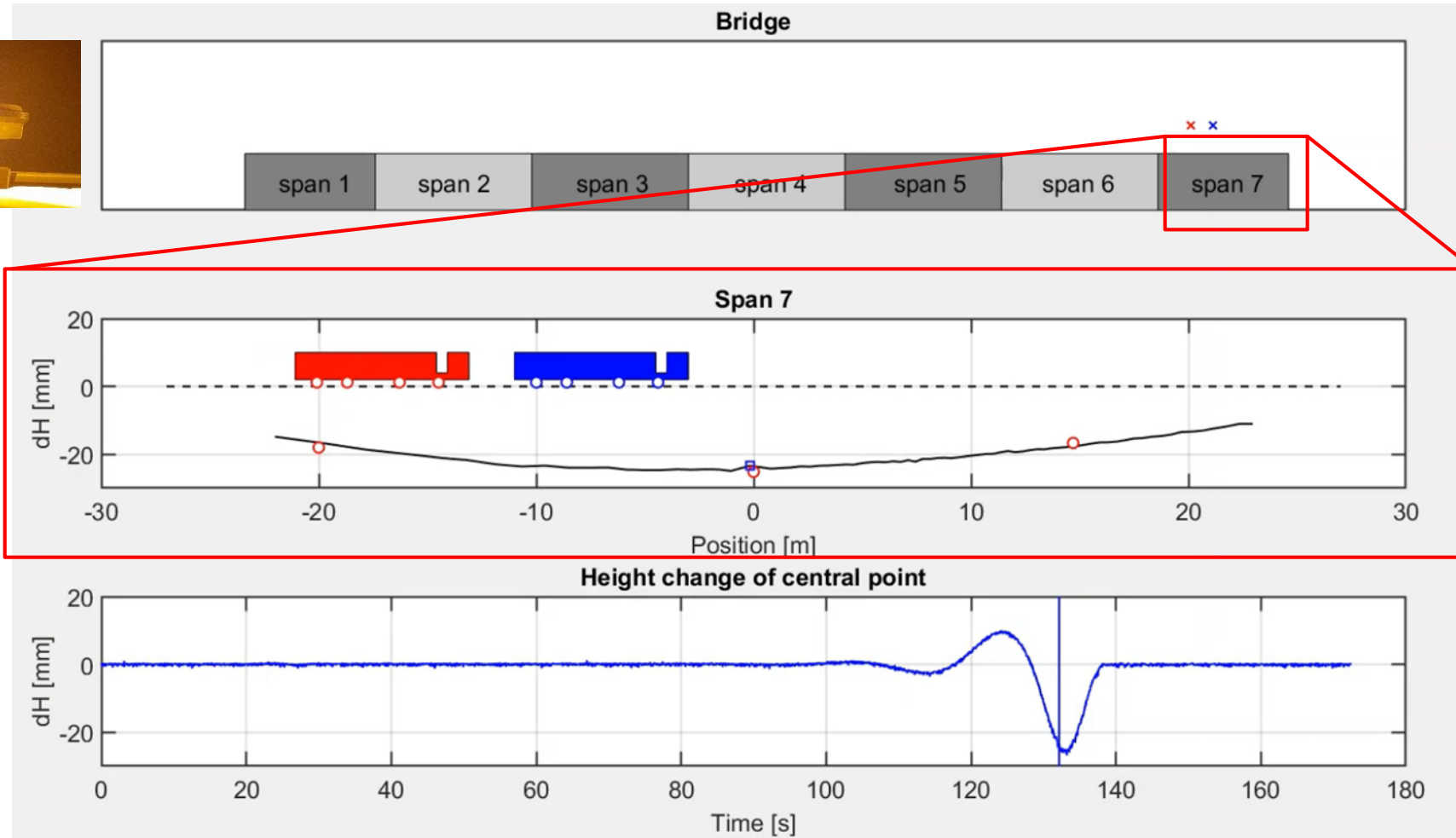
Dynamische Belastung

Messsysteme

- 6 Automatisierte Totalstationen
 - Messung mit 20 Hz
 - Jedes Instrument 1 Prisma
- 2 Profillaserscanner
 - Messung mit 50 Hz
 - 1 Profil Feld 6
 - 1 Profil Feld 7
- Beschleunigungssensoren
- Dynam. DFOS



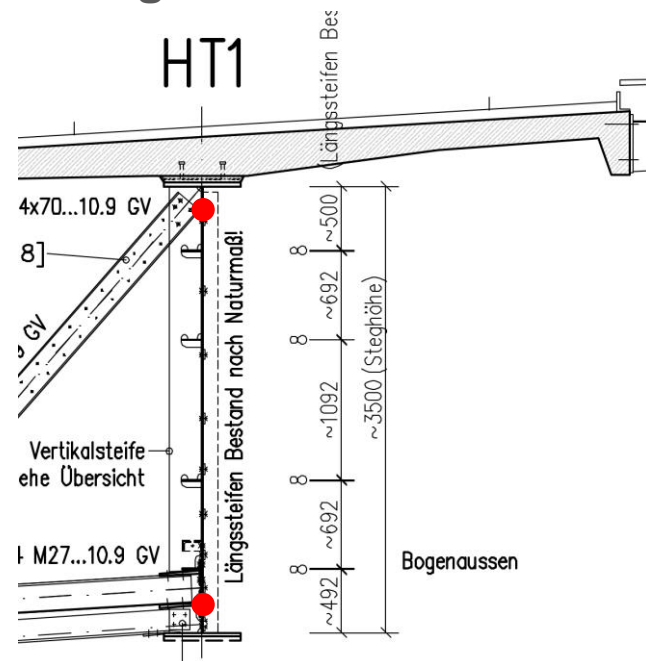
Messung von Überfahrt mit 30 km/h auf FS 1



Verteilte Faseroptische Dehnungsmessung

Aufbau

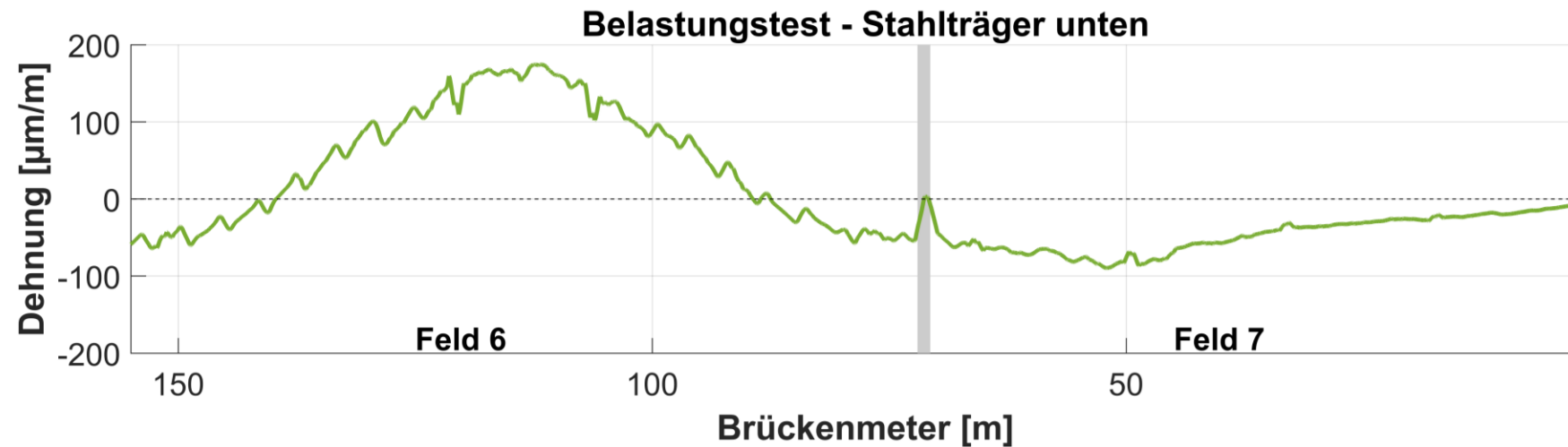
- Messschleife bestehend aus:
 - Unten- und obenliegendem Abschnitt
 - Temperatur- und Dehnungsfaser
 - Faserlänge > 700 m



Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

2 x LKW Feld 6, Fahrspur 1

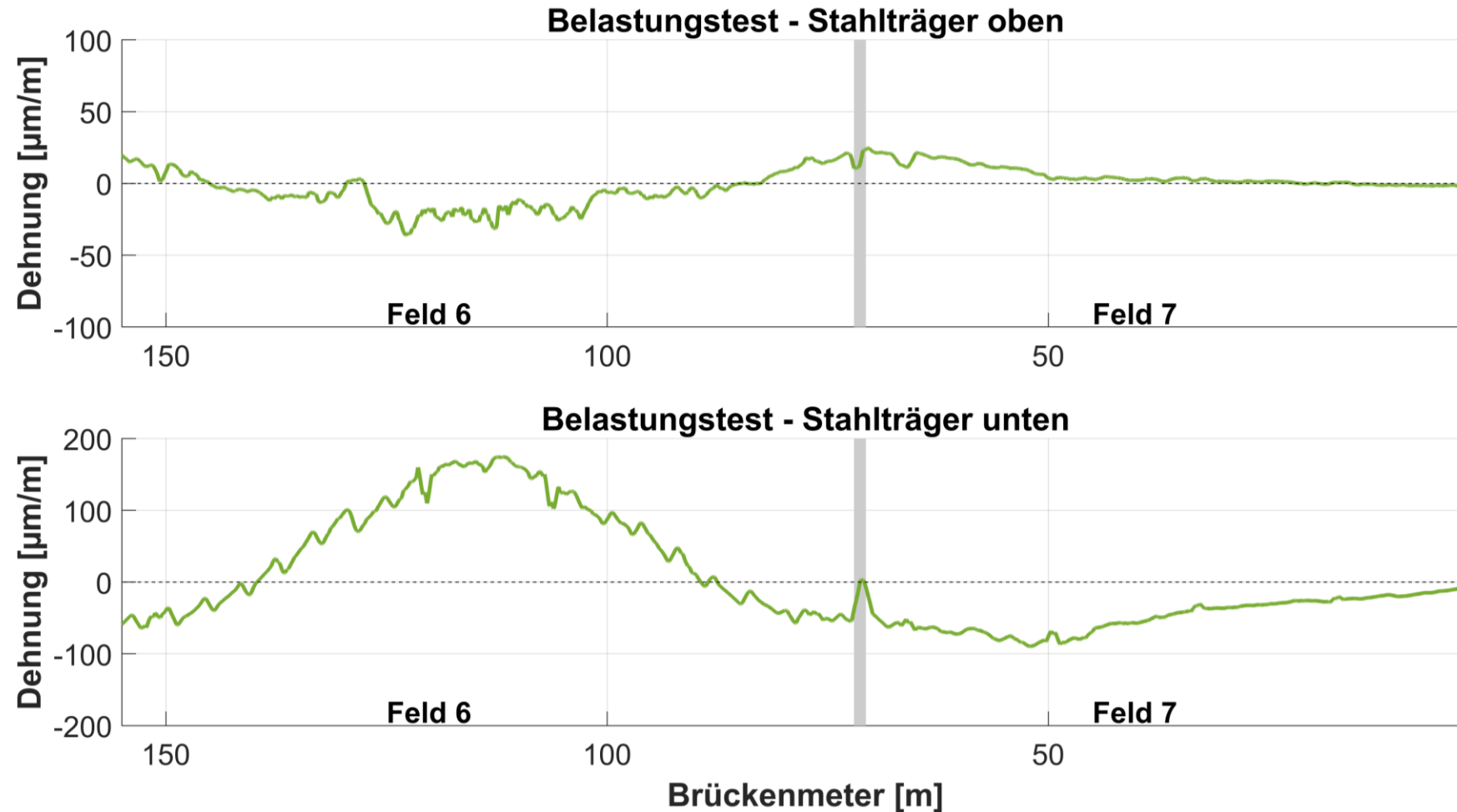
- Dehnungen $< 200 \mu\epsilon$
- In Feld 6
 - Auf Unterseite Zug



Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

2 x LKW Feld 6, Fahrspur 1

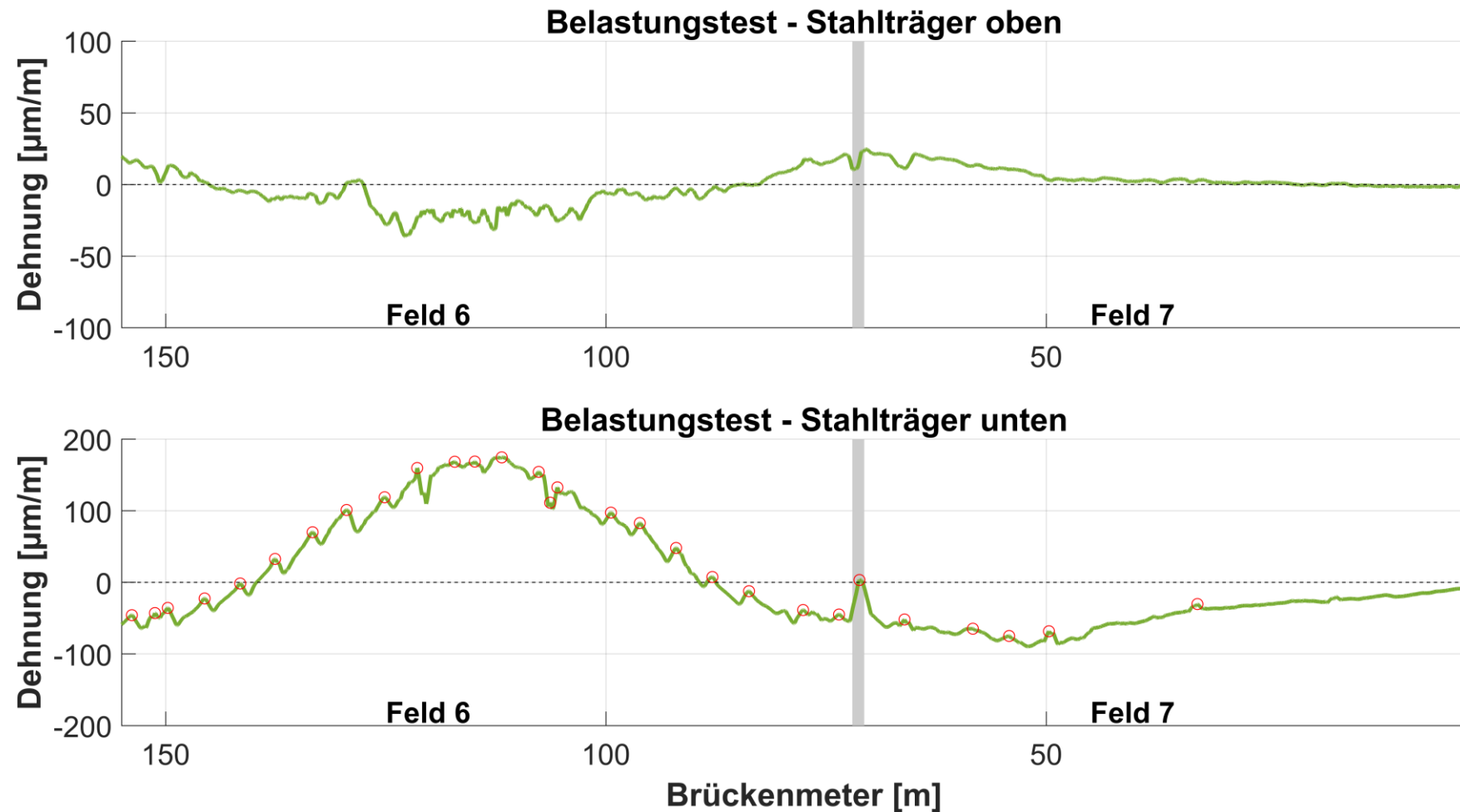
- Dehnungen $< 200 \mu\epsilon$
- In Feld 6
 - Auf Unterseite Zug
 - Auf Oberseite Druck



Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

2 x LKW Feld 6, Fahrspur 1

- Dehnungen $< 200 \mu\epsilon$
- In Feld 6
 - Auf Unterseite Zug
 - Auf Oberseite Druck
- Lokale Spitzen
 - Muster in den Spitzen?



Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

Verortung der lokalen Spitzen

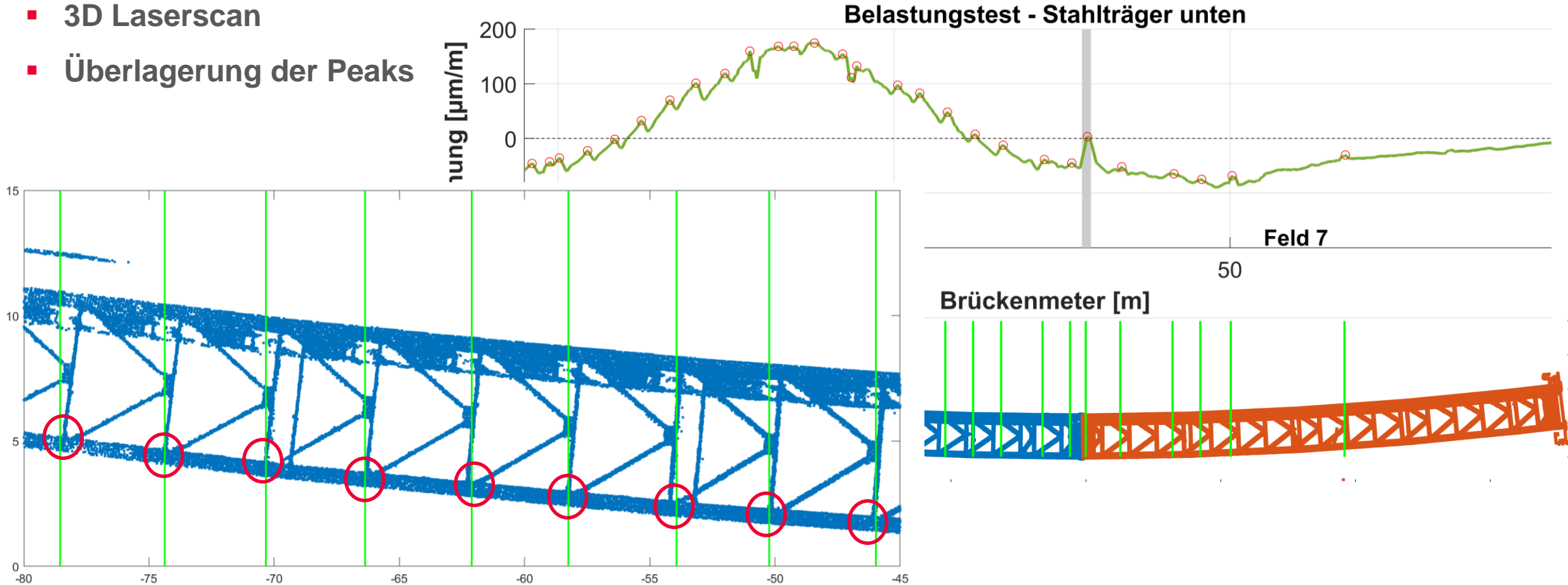
- 3D Laserscan
- Aufnahme der Istgeometrie von Feld 6 und 7



Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

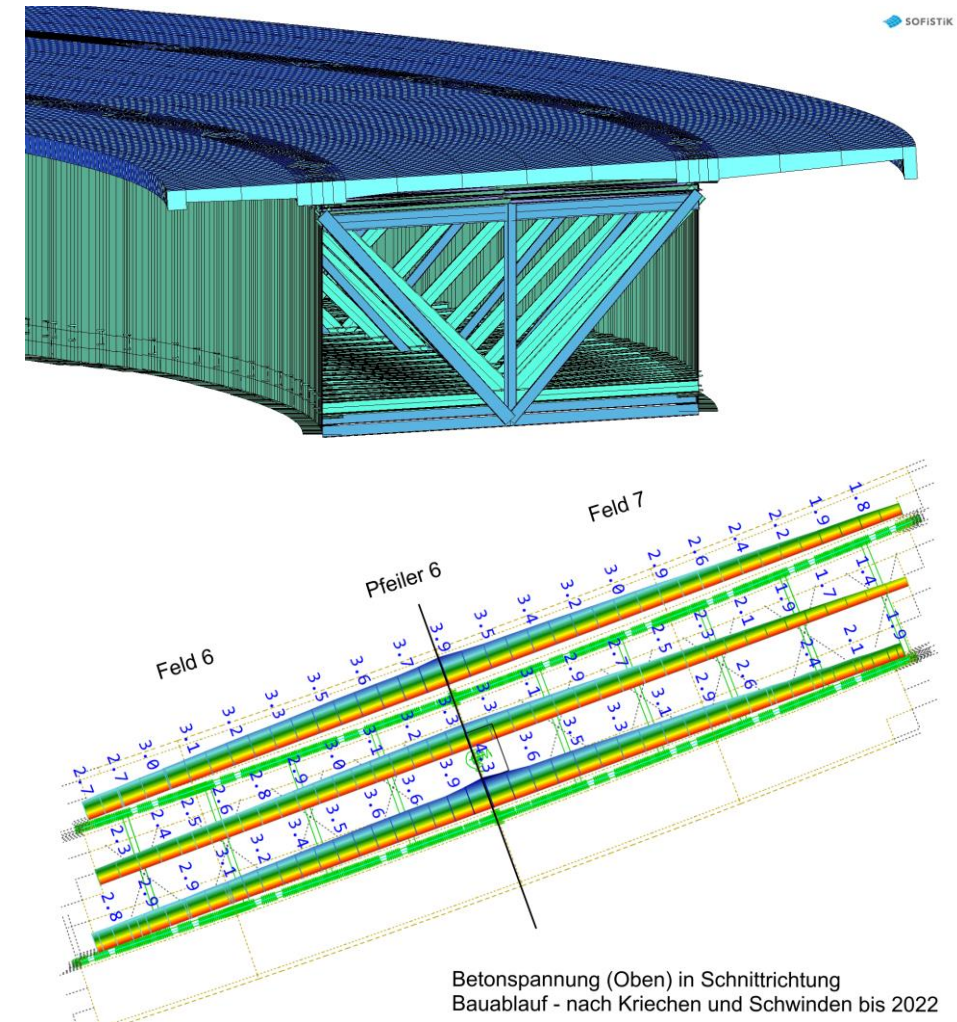
Verortung der lokalen Spitzen

- 3D Laserscan
- Überlagerung der Peaks



Nachrechnung der Belastungsversuche - Modellierung

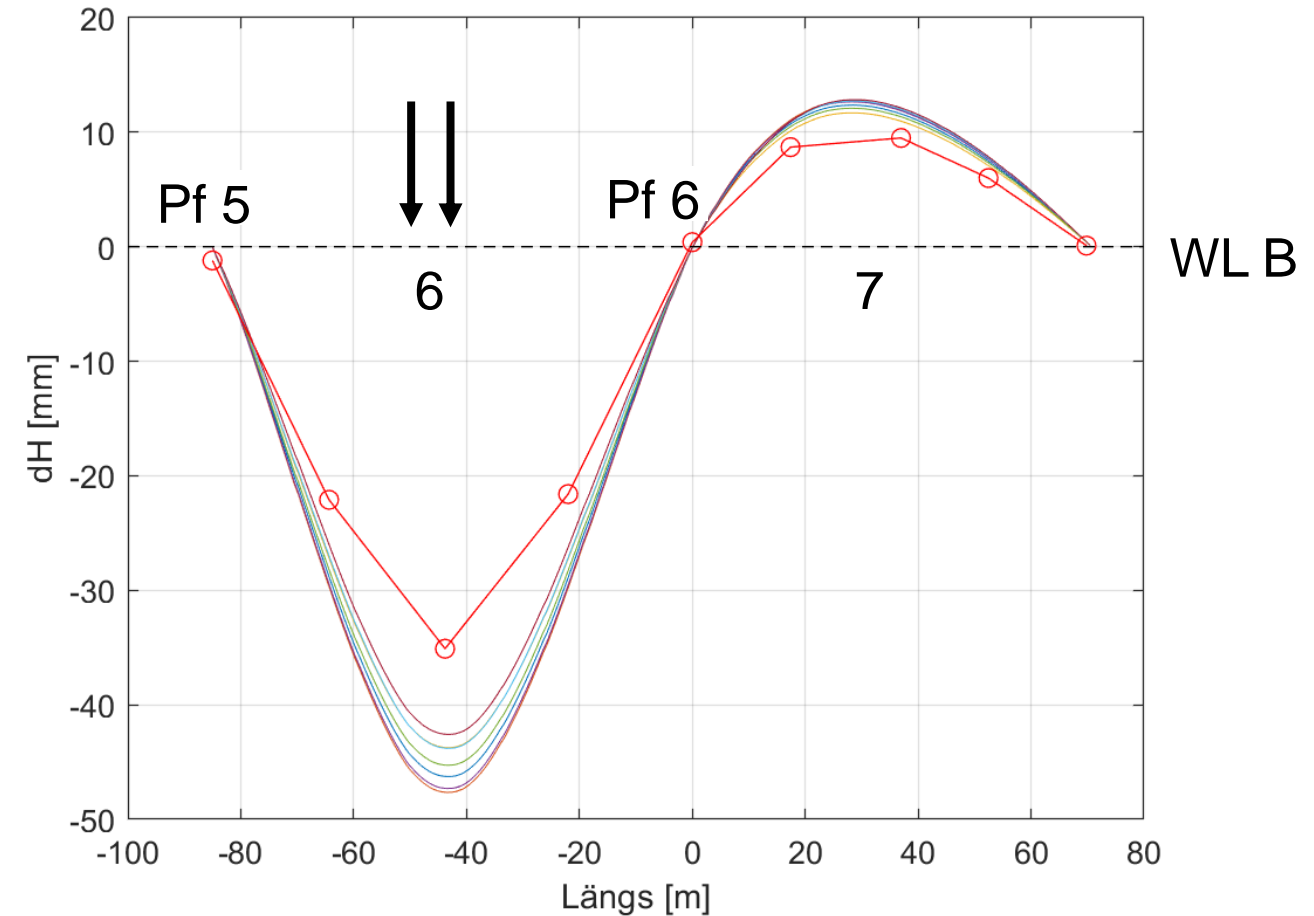
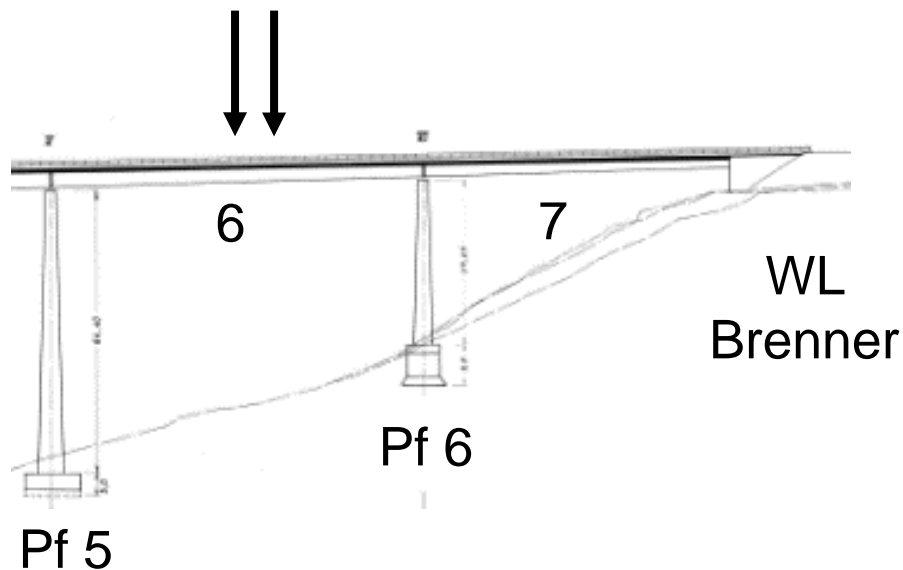
- 3D-Modell in Sofistik aus Stäben (Stahl) und Flächen (Beton)
- Fahrbahnplatte mit QUAD-Elementen (Fläche)
- Verbände an Längsstäbe mit Exzentrizitäten gelenkig gekoppelt
- Nachgiebigkeit des Verbundes mit Federsteifigkeiten berücksichtigt
- Variation einiger Parameter
 - E-Modul Stahl (0,97; **1,00**; 1,03) und Beton (0,85; **1,00**; 1,50)
 - Variation Rissbildung über Pfeiler 0,15*I (**voll gerissen**, teilgerissen und ungerissen)



Vergleich zwischen Messung und Modell: Verschiebung

2 x LKW Feld 6, Fahrspur 1

- Gemessene Vertikalbewegung
 - bis zu 35 mm
- Verformung aus dem Modell
 - > 40 mm

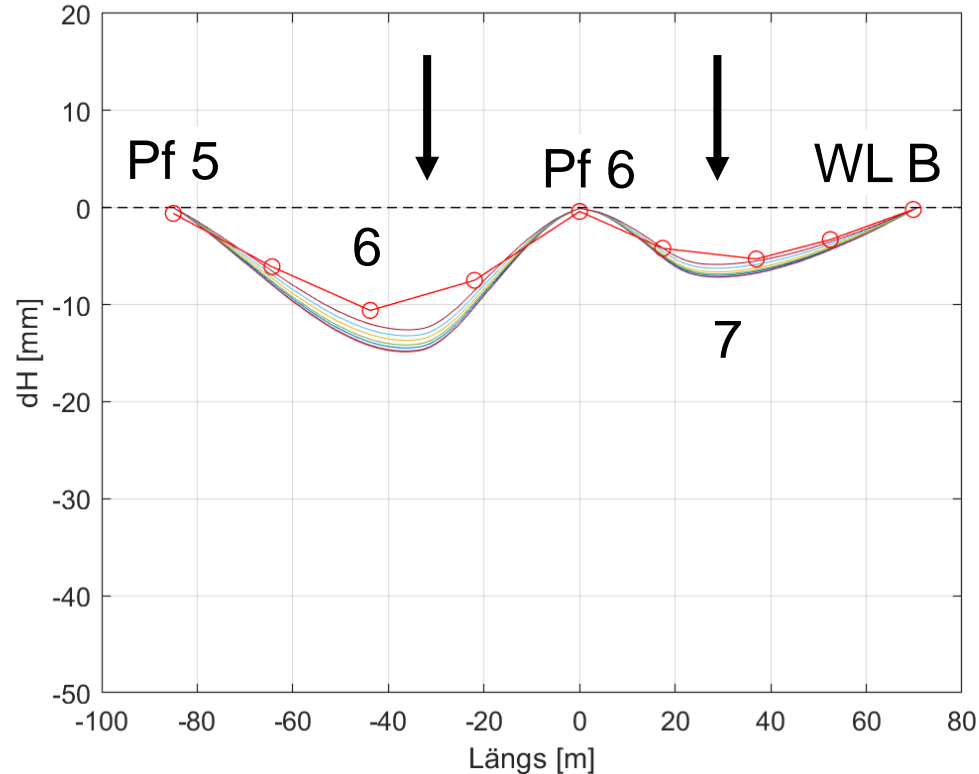


Vergleich zwischen Messung und Modell: Verschiebung

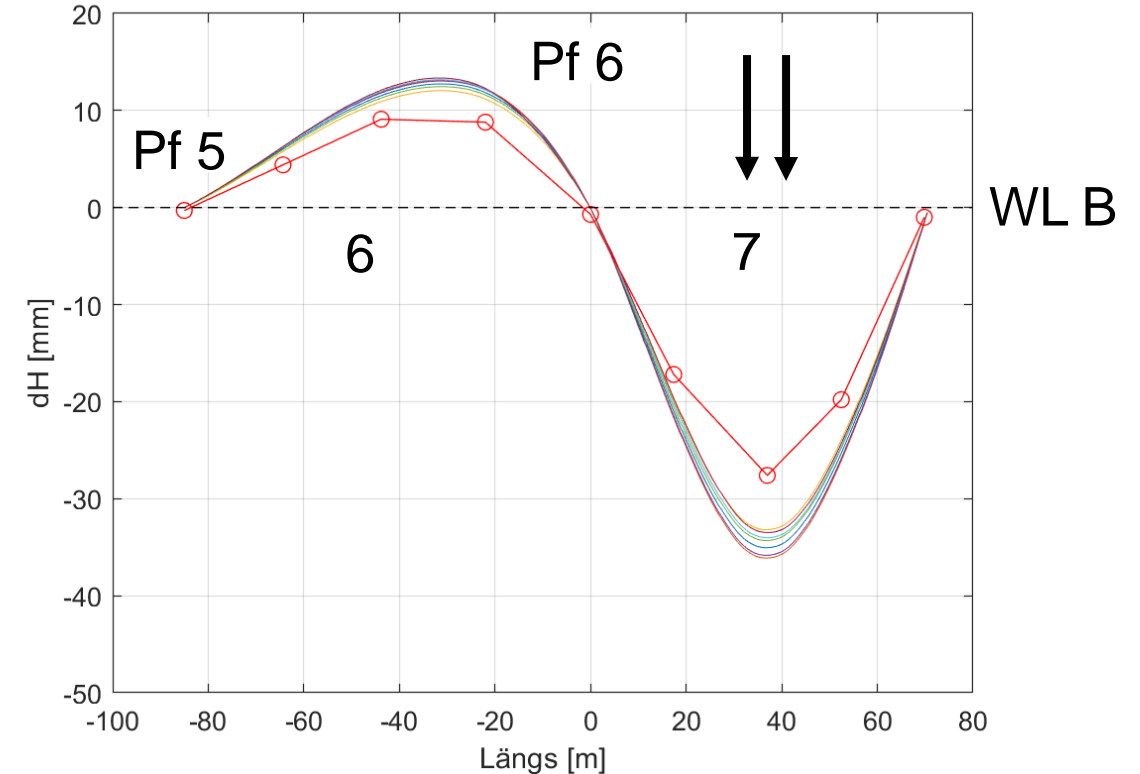
Lastfälle Fahrspur 1

- Vertikalverformung wird überschätzt

LKW Feld 6 + 7



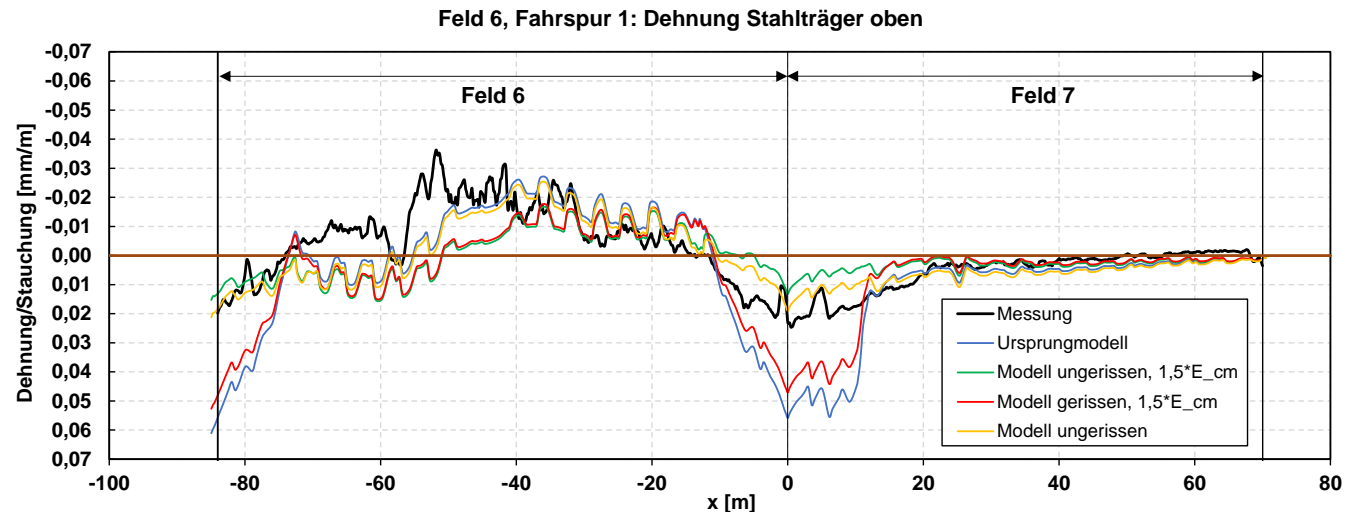
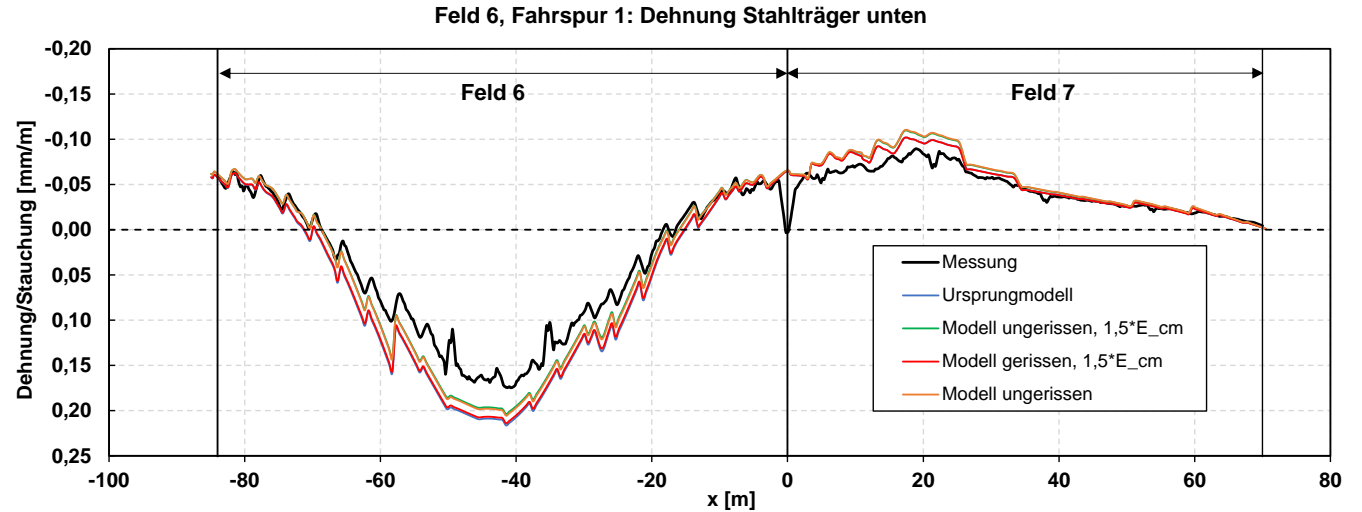
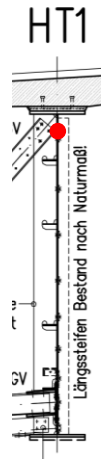
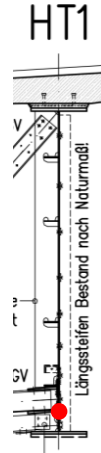
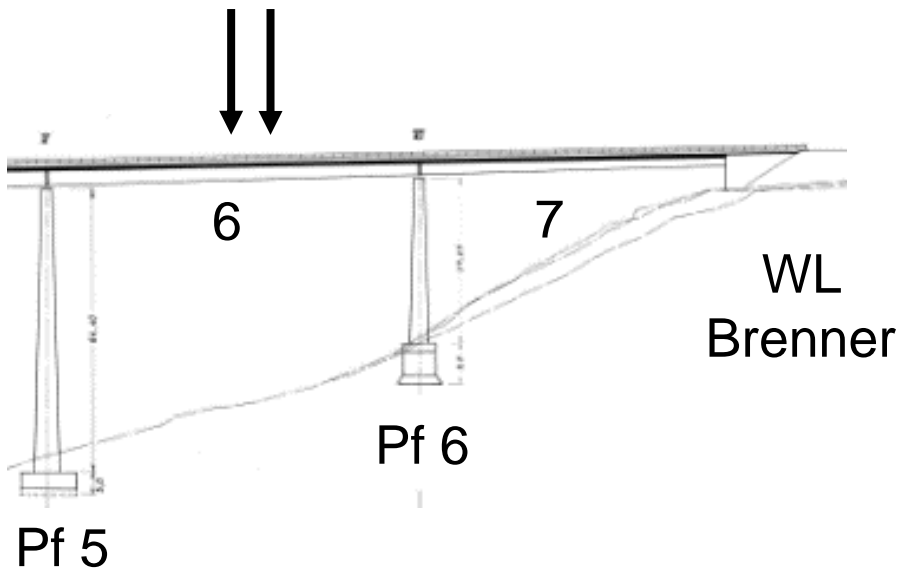
2 LKW Feld 7



Vergleich zwischen Messung und Modell: Dehnung

2 LKW Feld 6, FS1

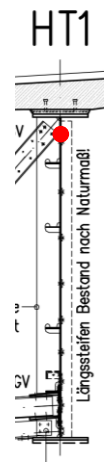
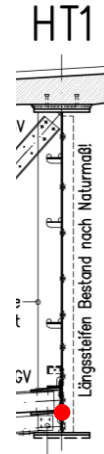
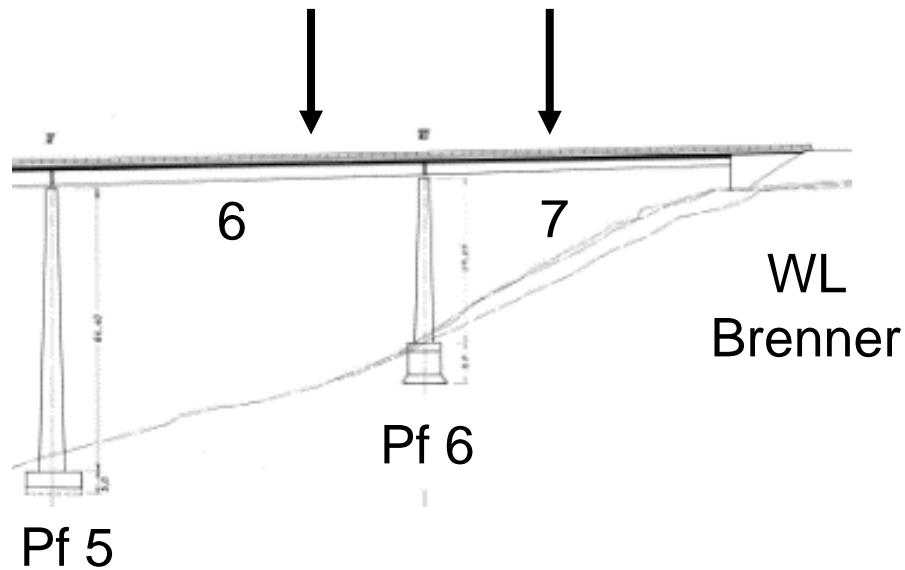
- gute Übereinstimmung
- Fahrbahnplatte im Pfeilerbereich nicht bzw. nur geringfügig gerissen



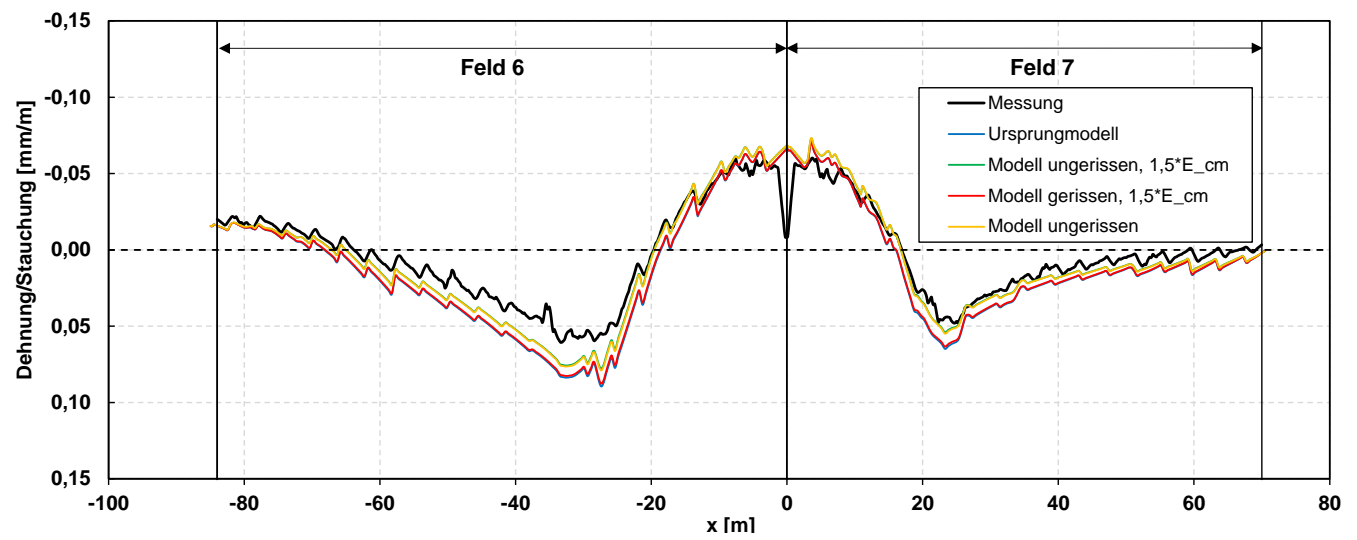
Vergleich zwischen Messung und Modell: Dehnung

2 LKW Pfeiler 6 max, FS1

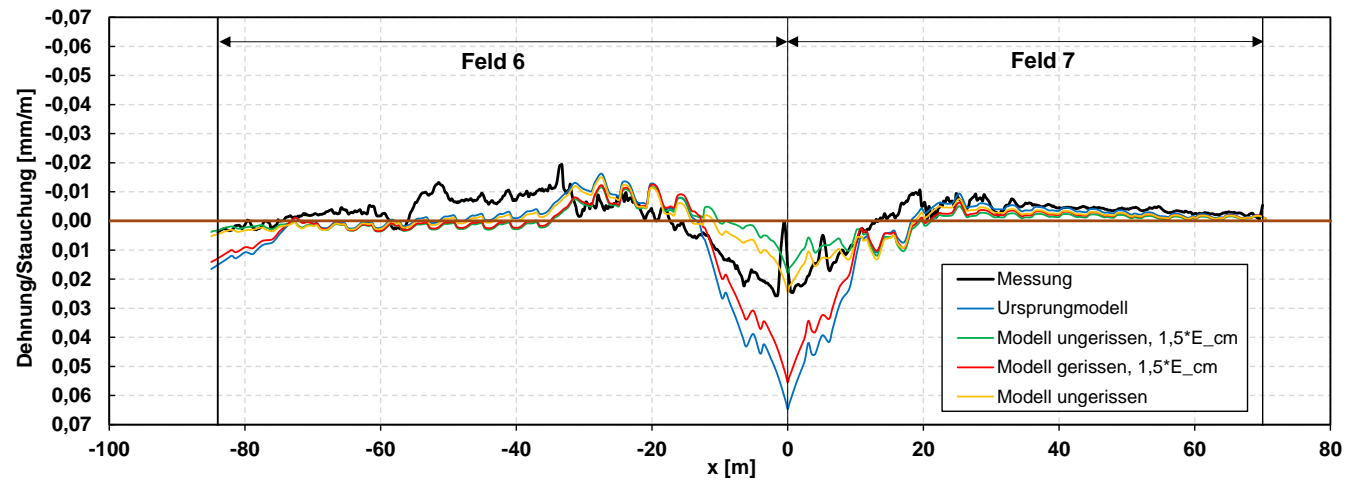
- gute Übereinstimmung



Pfeiler, Fahrspur 1: Dehnung Stahlträger unten

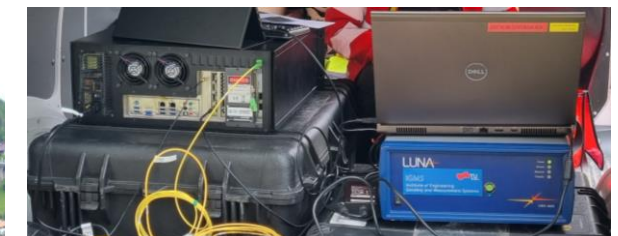


Pfeiler 6, Fahrspur 1: Dehnung Stahlträger oben



Zusammenfassung

- Gute Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Dehnungen
- Realität steifer als Berechnungsmodell
- Belastungsversuche sind mit vertretbarem Aufwand realisierbar und lassen Rückschlüsse auf Systemverhalten zu
- Eingesetzte Messverfahren sind komplementär
 - RTS: punktuell 3D
 - Profilschanner: linienhaft Höhenänderungen
 - DFOS: linienhaft Dehnung und Vibration
 - Beschleunigungssensor: punktuelle Vibration





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!