

Anlage zum BASt-Bericht B 118:

Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Von

Corinna Siegert
Alexander Holst
Martin Empelmann
Harald Budelmann

TU Braunschweig
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

A Typische Defizite von Betonbestandsbrücken

Tab. A-1: Auswertung von Nachrechnungen bezüglich typischer Defizite von Betonbestandsbrücken

ALLG. INDS	Gilmer	Einzel- Muster- Brücke	Brück- West- teil (Halmest.-Ost)	A 331 über A 331 Aut der A 331	A 321 über A 322	Hochstraße Herrnhagen	A 39 über A 7	Überfallröhre	Vollschach- Abbrücke	Anzahl Gesamt mit Angabe	Anzahl mit Defizit	Anteil mit Defizit	Baug
Geometrie	1968	1961	1962	1967	k.A.	1959	1959	1967	1969				
max. Stützwelle [m]	26,0	85,0	25,0	28,0	43,3	k.A.	37,8	57,8	50,0				
Querschnitt	Hohlkasten (2-stegig) längs + quer	Hohlkasten (2-stegig) längs + quer	Hohlplatte längs + quer	Plattenbalken (2-stegig) längs + quer	Hohlkasten (2-stegig) längs + quer	Platte längs + quer	Hohlkasten (2-stegig) längs + quer	Hohlkasten (2-stegig) längs + quer	Plattenbalken (2-stegig) längs + quer				
Verformung													
Einwirkung													
alt	BK 60	k.A.	k.A.	BK 60	k.A.	BK 60	BK 60	BK 60	BK 60				
neu	BK 60/30	BK 60/30	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	BK 60/30	BK 60/30				
Zustandsnote	1,9	k.A.	k.A.	2,2	2,8	k.A.	2,9	3,5	3,0				
Nachrechnungstufe	1	1	1	1	2	1	1	1	1				
					(ohne Bauteilsprüfungen)								
DEFIZITE													
Längsrichtung													
GZG													
Dekompression	nicht ok (Stützen, Felder)	k.A.	k.A.	-1,00	3,29 (Stützen, Felder)	0,38 (Stützen)	1,80	nicht ok	nicht ok (Feldern)	9	5	56%	2
Betondruckspannungen < 0,60	ok	k.A.	k.A.	0,94	0,86	1,10	0,50	k.A.	k.A.	9	1	11%	10
Betondruckspannungen < 0,45	ok	k.A.	k.A.	0,31	0,83	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Spannstahlspannungen < 0,65	k.A.	k.A.	k.A.	0,74	0,92	1,05 (Bogen)	k.A.	k.A.	k.A.	9	1	11%	10
Betonzugspannungen	k.A.	ok	ok	k.A.	2,18 (Stützen, Felder)	k.A.	0,82	nicht ok	ok	9	2	22%	6
Mindestbewehrung Bisherige	ok	k.A.	k.A.	k.A.	0,87	k.A.	ok	k.A.	nicht ok (Stützen, Felder)	9	1	11%	10
Berechnung Bisherige	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1,33 (Stützen, Felder)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	1	11%	10
GZT													
Biegung mit Längskraft	1,12 (Außenauflager, Außenbinder)	ok	ok	0,84	ok	1,16 (Stützen)	0,94	ok	ok	9	2	22%	6
Druckstrebe (V, Rd,max)	ok	ok	ok	0,35	0,84	-	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Druckstrebe (T, Rd,max)	k.A.	ok	ok	0,32	0,57	-	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Druckstrebe (Intension V,T)	k.A.	ok	ok	0,17	0,97	-	k.A.	k.A.	1,35	9	1	11%	10
Schubbewehrung	5,10 (Bögen)	nicht ok	nicht ok	0,95	1,17 (Bögen)	-	5,04 (Bögen)	nicht ok	ok	9	7	78%	1
V_Rd,ct	-	-	-	-	-	1,15 (Stützen)	-	-	-	-	-	-	-
Ermdung													
außerhalb Koppellage	k.A.	ok	k.A.	0,77	1,27	ok	4,92 (Bogen)	k.A.	k.A.	9	2	22%	6
Koppellage	1,30	ok	k.A.	-	1,32	k.A.	k.A.	nicht ok	nicht ok	9	4	44%	3
Spannungsrisikokorrosion													
Spannungsrisikokorrosion	nicht ok	k.A.	k.A.	k.A.	1,06	ok	k.A.	k.A.	k.A.	9	1	11%	10
Übersicht													
GZG													
Dekompression	k.A.	k.A.	ok	2,43 (Mitte unten)	k.A.	k.A.	k.A.	nicht ok (Anschmitt Fahnenpatente-Steg)	nicht ok (Anschmitt Fahnenpatente-Steg)	9	3	33%	4
Betondruckspannungen < 0,60	k.A.	k.A.	k.A.	0,2	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Betondruckspannungen < 0,45	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Spannstahlspannungen < 0,65	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Betonzugspannungen	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nicht ok	nicht ok	9	3	33%	4
Mindestbewehrung Bisherige	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nicht ok (obere Platte)	9	0	0%	16
Berechnung Bisherige	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
GZT													
Biegung mit Längskraft	k.A.	k.A.	k.A.	0,70	k.A.	k.A.	1,55 (obere Platte)	nicht ok (neb. Bodenplatte)	ok	9	2	22%	6
Druckstrebe (V, Rd,max)	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	-	ok	ok	9	0	0%	16
Druckstrebe (T, Rd,max)	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	-	ok	ok	9	0	0%	16
Druckstrebe (Intension V,T)	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	-	ok	ok	9	0	0%	16
Schubbewehrung	k.A.	k.A.	k.A.	1,00	k.A.	k.A.	ok	ok	ok	9	0	0%	16
V_Rd,ct	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	-	ok	ok	9	0	0%	16
Ermdung													
außerhalb Koppellage	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16
Spannungsrisikokorrosion													
Spannungsrisikokorrosion	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	9	0	0%	16

B Messwerte

B.1 Rohdaten der Messwerte

Im Folgenden werden die Rohdaten sämtlicher Messwerte für das primäre, permanente statische Messsystem und ausgewählte Messwerte für das sekundäre, temporäre dynamische Messsystem aufgeführt.

B.1.1 Primäres, permanentes statisches Messsystem

Mithilfe des primären, statischen Messsystems wurden Messungen sowohl unter fließendem Verkehr im Rahmen der Dauerüberwachung als auch während einer ersten Probelastung durchgeführt. Die Messergebnisse hierzu werden im Folgenden gezeigt.

B.1.1.1 Messungen unter fließendem Verkehr

In Bild B-1 bis Bild B-7 werden alle Messergebnisse unter fließendem Verkehr (Daten Stand 01.10.2013) des primären, permanenten statischen Messsystems graphisch dargestellt. Dabei wurden alle Verformungen und Dehnungen zum Messbeginn am 31.05.2012, 10:00 genullt (Offset zum Zeitpunkt $t = 0$). Demzufolge handelt es sich um relative Messwertänderungen seit dem Messbeginn. Die Sensormessdaten sind temperaturkompensiert, d. h. Temperatureinflüsse des Sensors und des Messgestänges (bei den Sensoren S1 bis S4 und DB1 bis DB2) sind herausgerechnet (kompensiert). In Bild B-8 bis Bild B-12 werden darüber hinaus die Verläufe der Tagesmittelwerte der Sensormessdaten gezeigt.

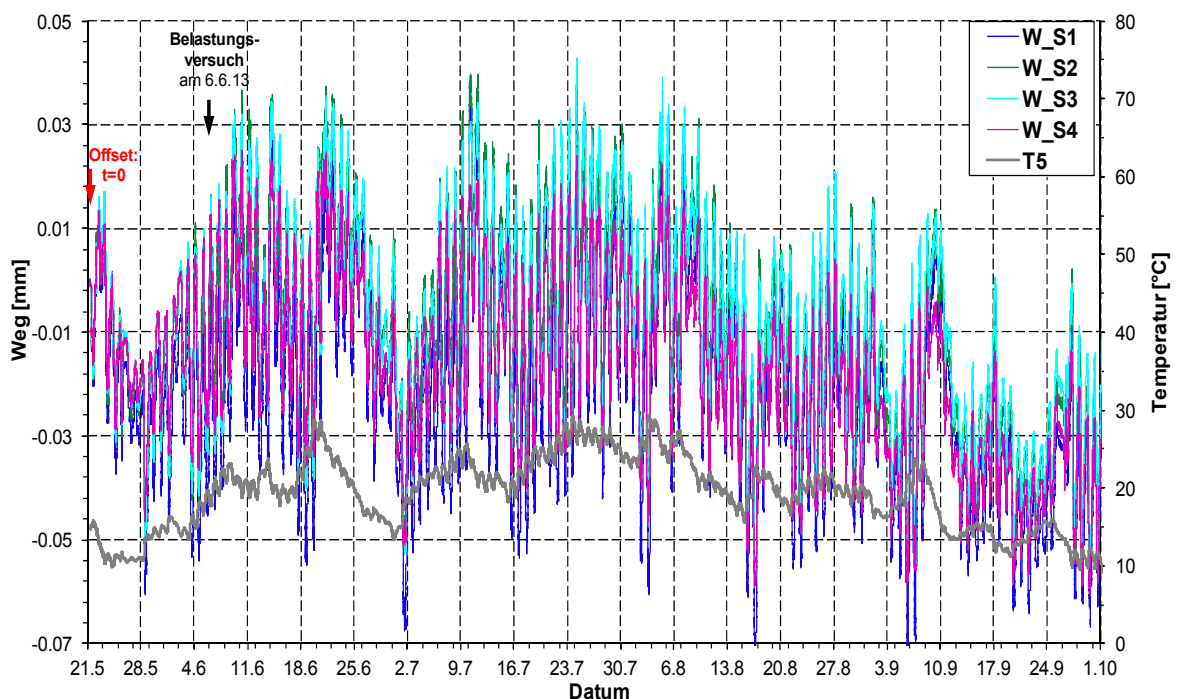


Bild B-1: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Schubverformungsänderungen der Sensoren S1 bis S4 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T5

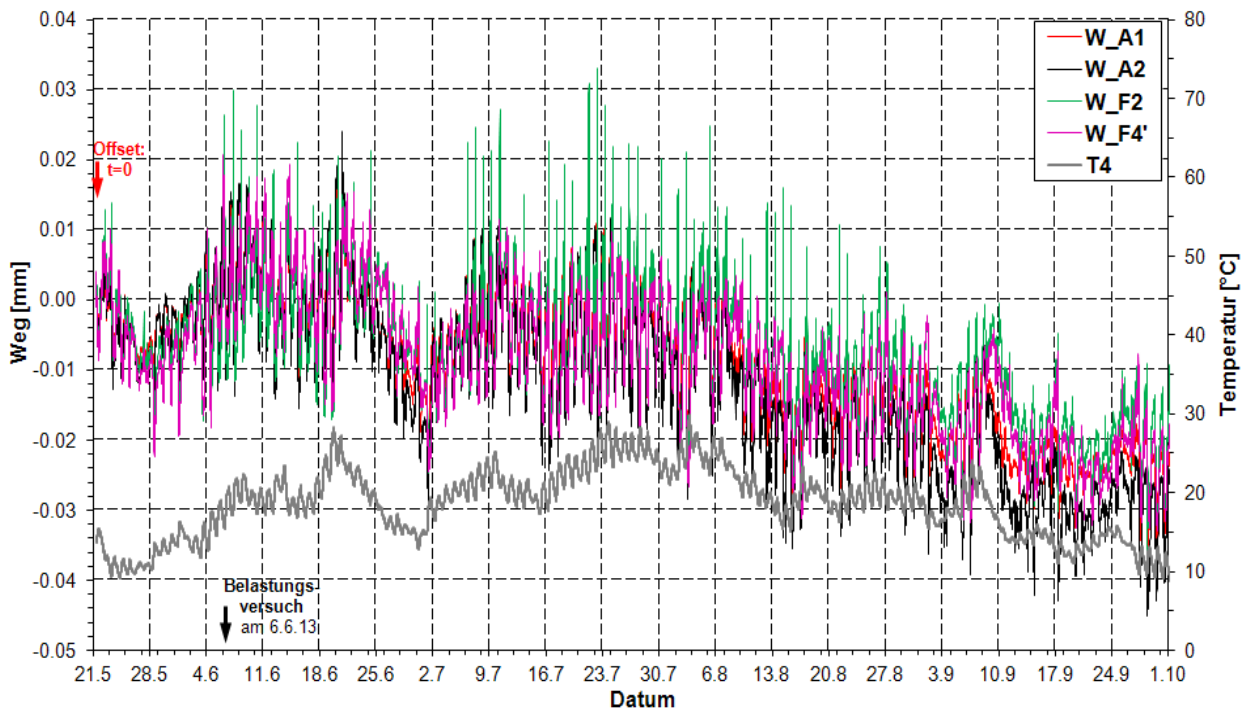


Bild B-2: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betonverformungsänderungen der Sensoren A1, A2, F2 und F4' sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T4; die Sensoren F2 (W_F2) bzw. F4' (W_F4') wurden am 04.06. bzw. 18.06.2013 rejüstiert (Offset)

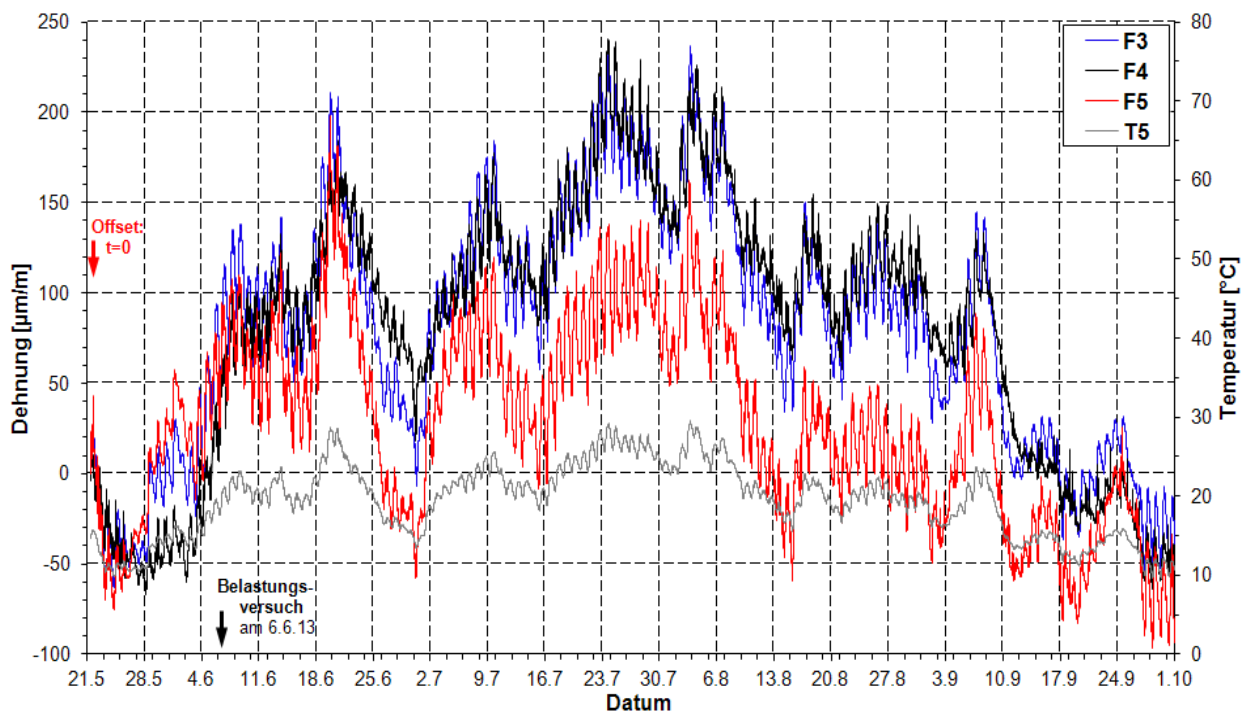


Bild B-3: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betondehnungsänderungen der Sensoren F3, F4 und F5 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T5

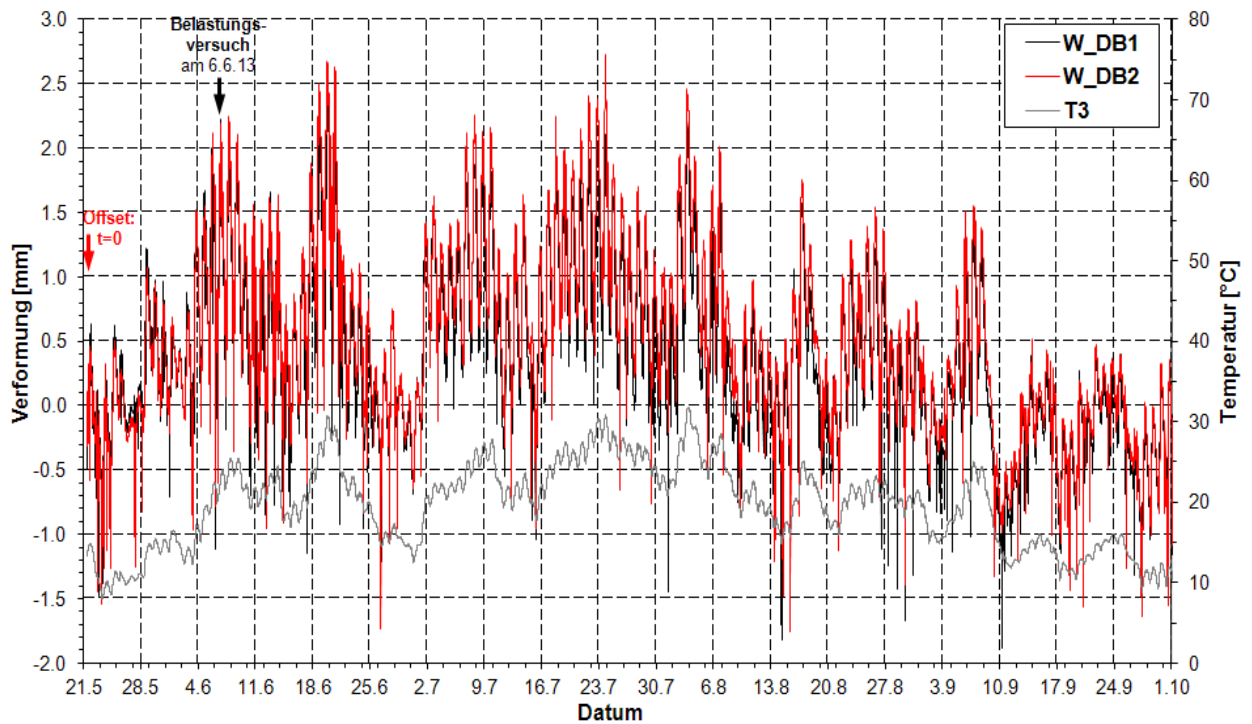


Bild B-4: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Durchbiegungsänderungen der Sensoren DB1 und DB2 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T3; die Sensoren inkl. Carbonfaser-Messgestänge wurden am 04.06.2013 mit einer Heizungsrohrmanschette ummantelt

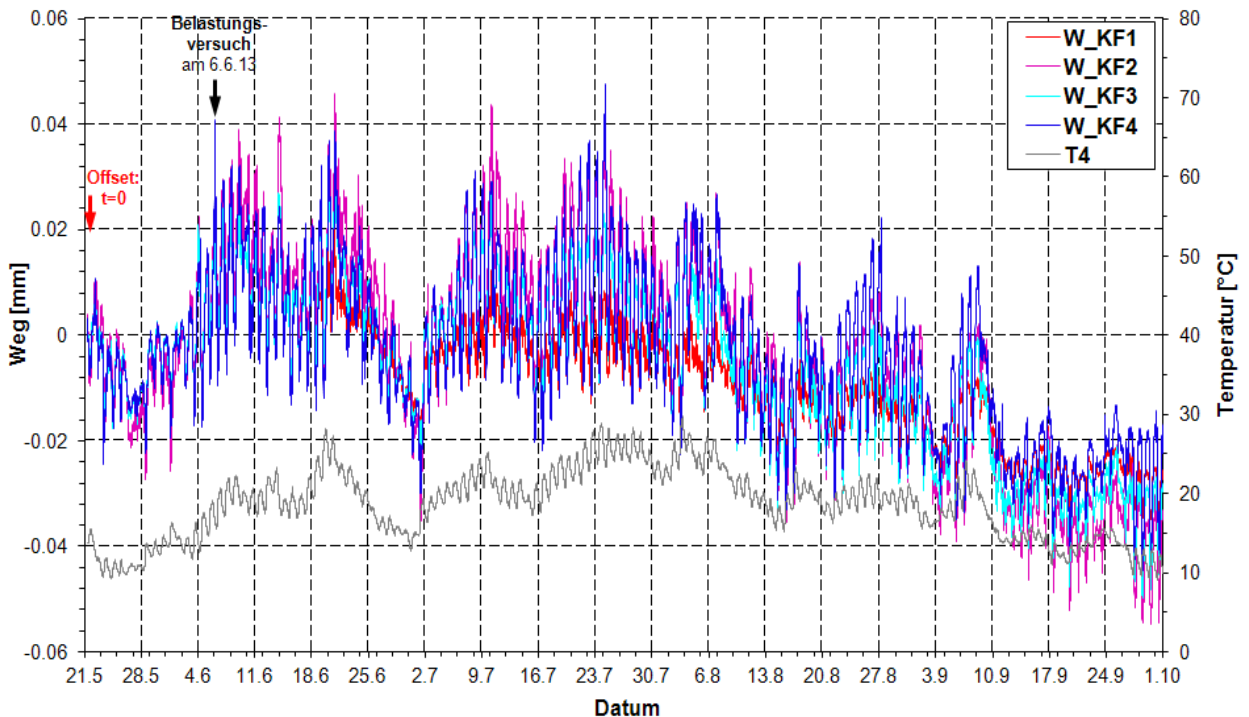


Bild B-5: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Koppelfugen-Rissbreitenänderungen der Sensoren KF1 bis KF4 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T4; der Sensor KF1 wurde am 18.06.2013 rejustiert

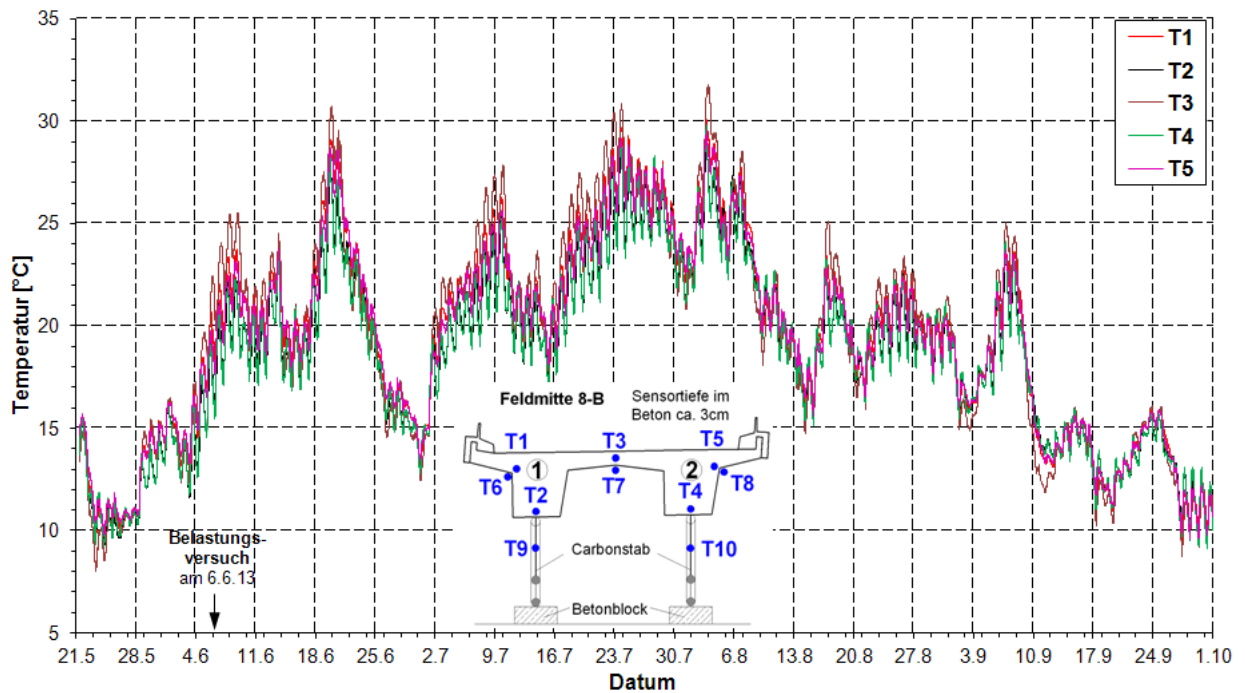


Bild B-6: Temperaturverlauf der bauwerksintegrierten Sensoren T1 bis T5 (Einbautiefe 3 cm)

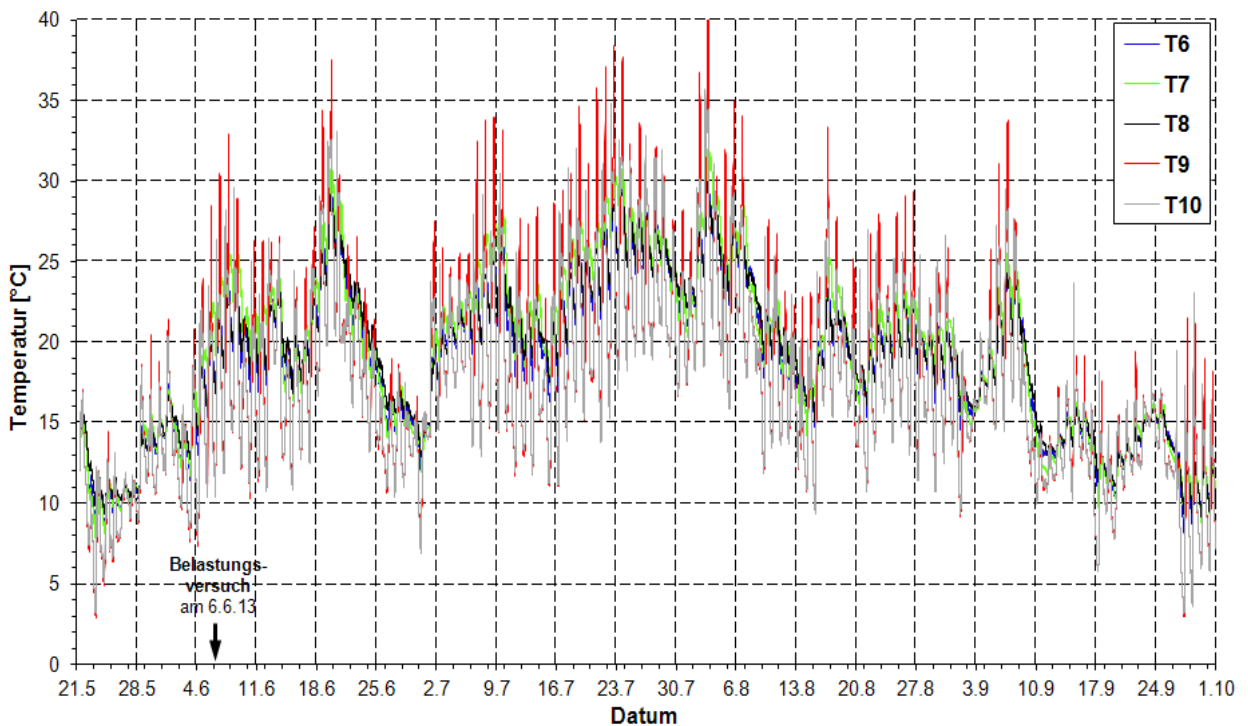


Bild B-7: Temperaturverlauf der externen Sensoren T6 bis T10; die Sensoren T9 und T10 wurden am 4.6.13 mit einer Heizungsrohrmanschette ummantelt

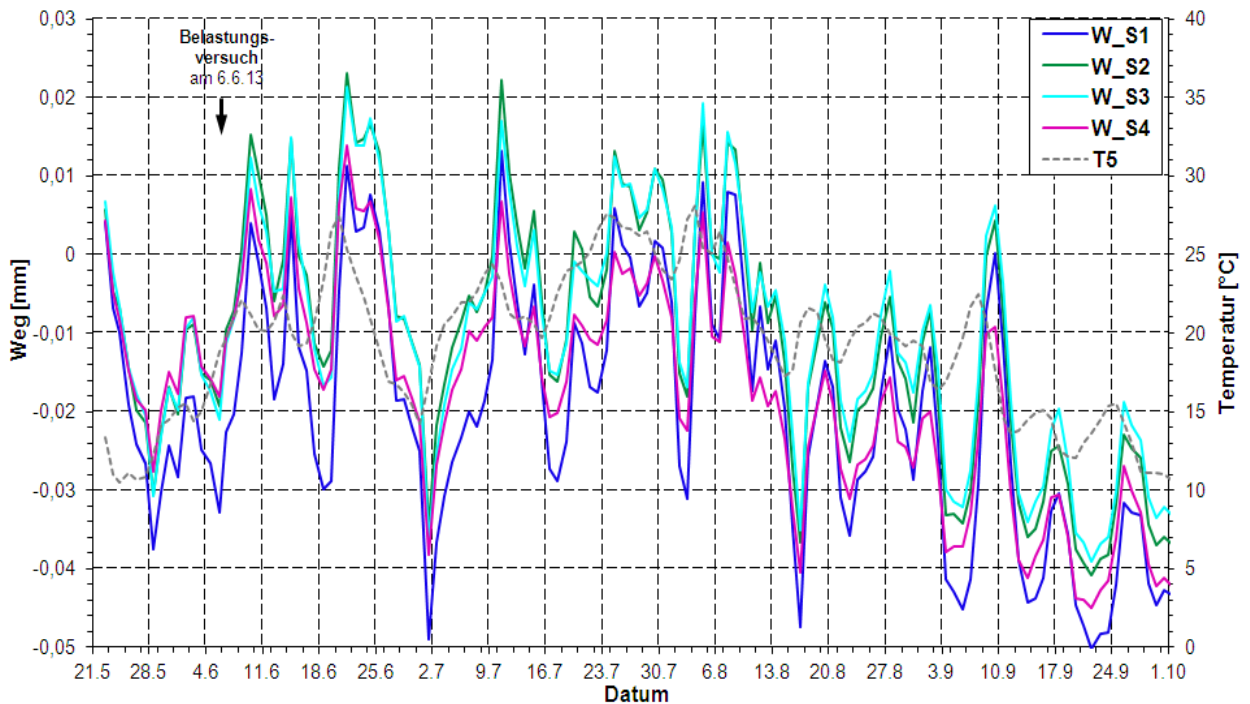


Bild B-8: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte der gemessenen Schubverformungsänderungen der Sensoren S1 bis S4 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T5

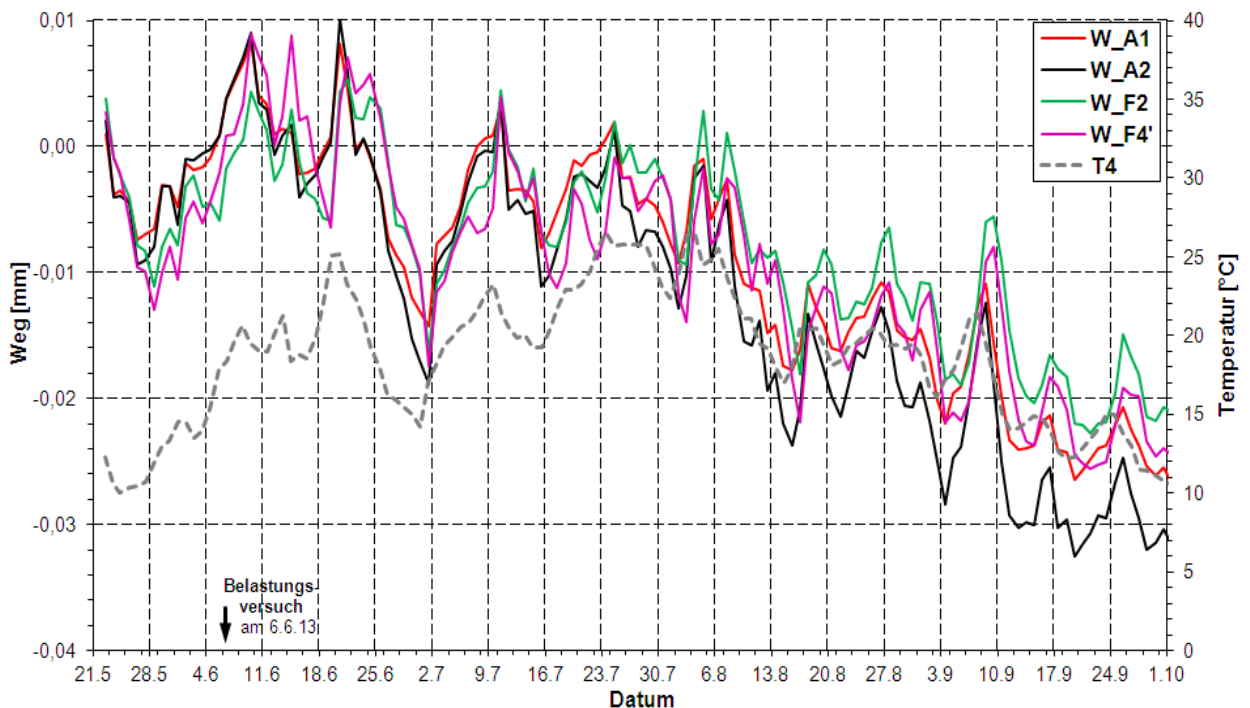


Bild B-9: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte der gemessenen Betonverformungsänderungen der Sensoren A1, A2, F2 und F4' sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T4; die Sensoren F2 (W_F2) bzw. F4' (W_F4') wurden am 04.06. bzw. 18.06.2013 rejustiert (Offset)

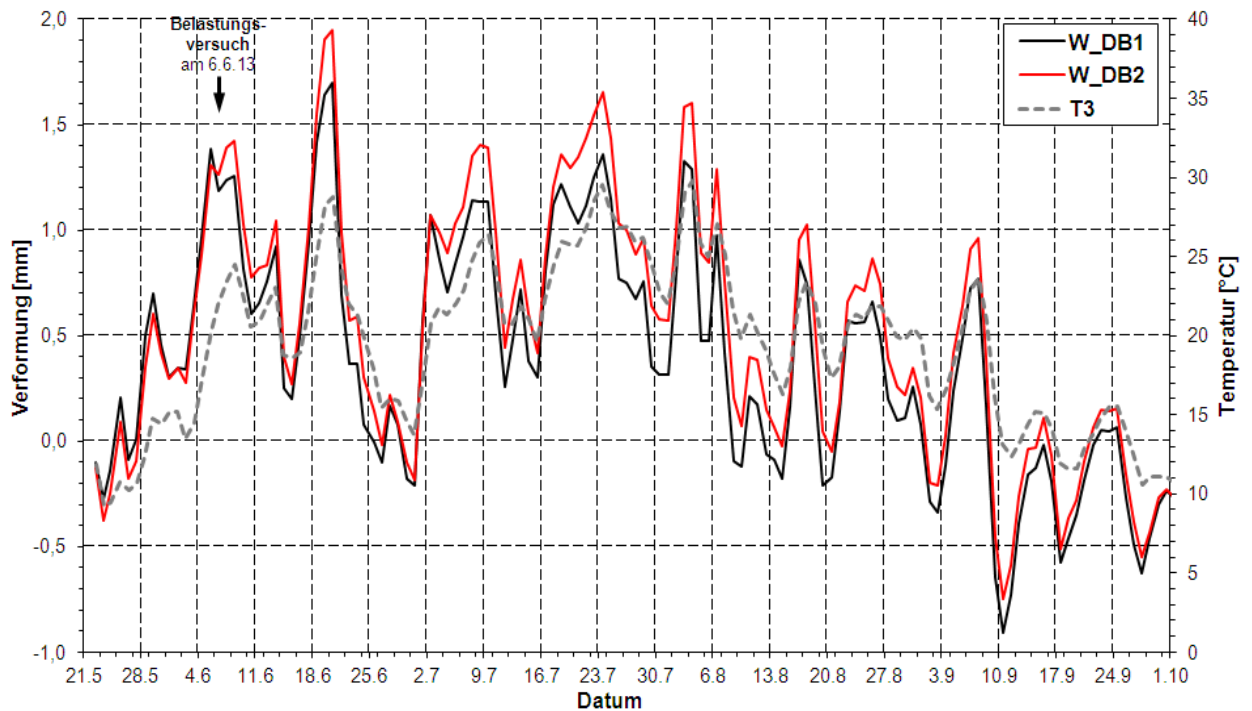


Bild B-10: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte der gemessenen Durchbiegungsänderungen der Sensoren DB1 und DB2 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T3

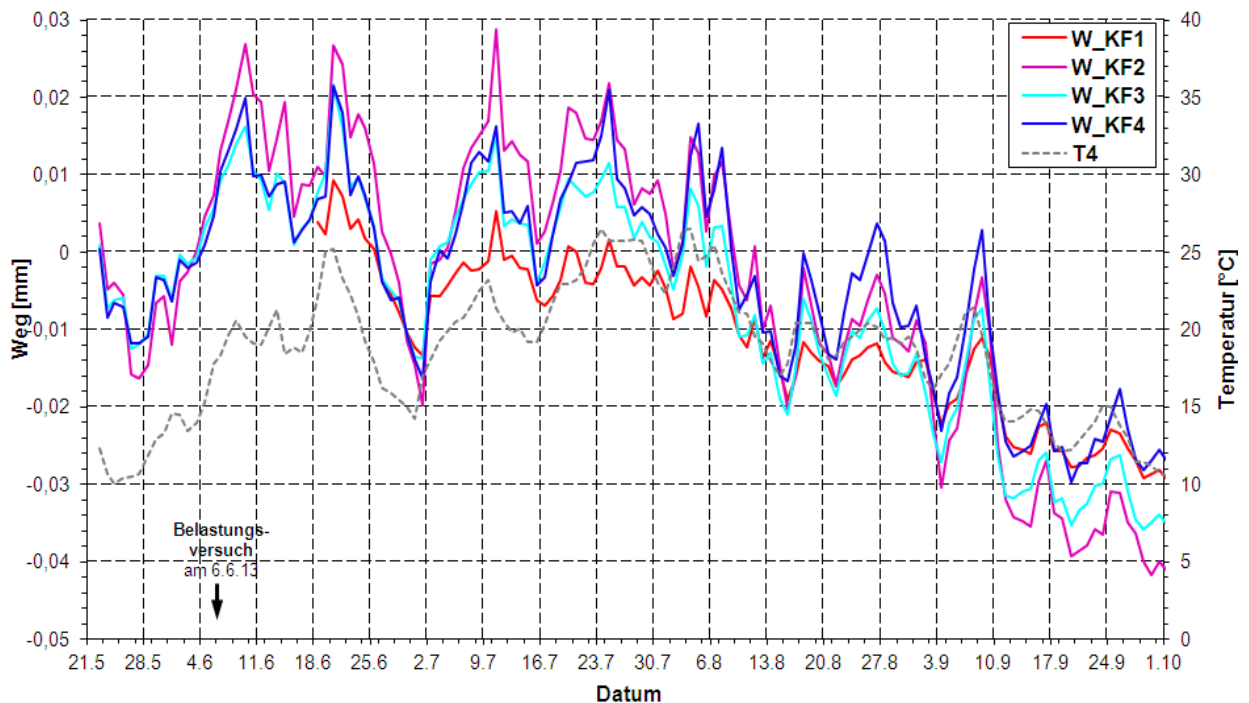


Bild B-11: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte der gemessenen Koppelfugen-Rissbreitenänderungen der Sensoren KF1 bis KF4 sowie der Bauwerkstemperatur am Sensor T4

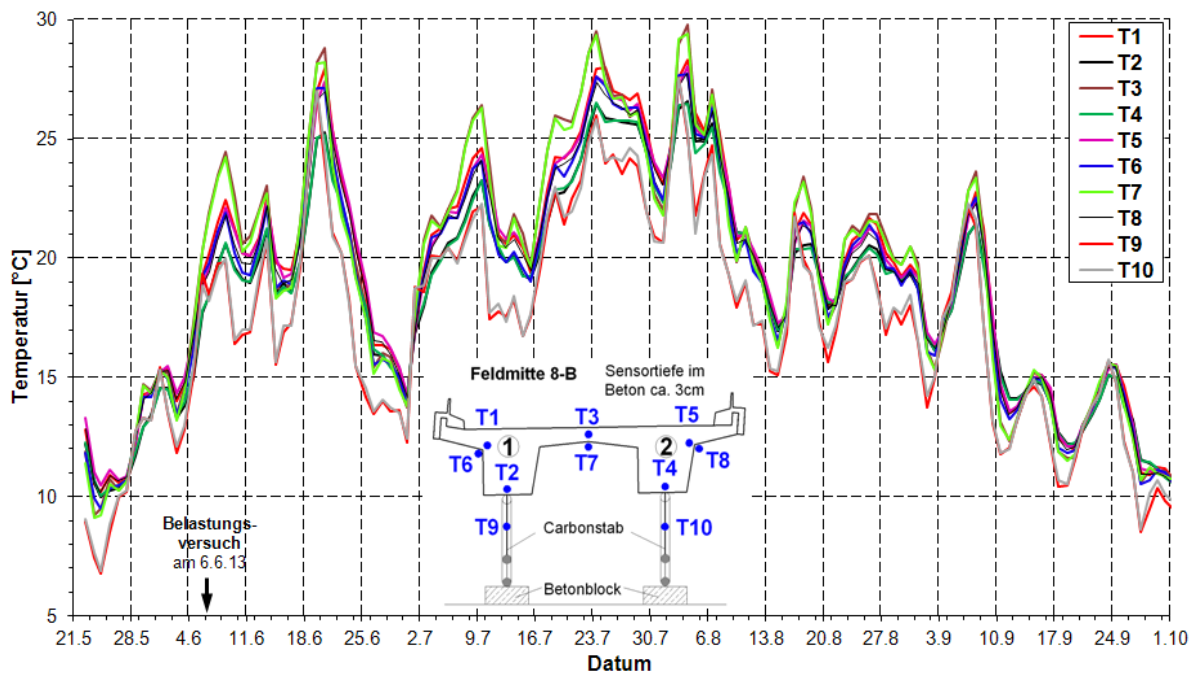


Bild B-12: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte der gemessenen Temperatur der Sensoren T1 bis T10

B.1.1.2 Erste Probelastung

Nachfolgend werden in Bild B-13 bis Bild B-18 die Messergebnisse des primären statischen Messsystems infolge der Belastung durch den 44 t-Autokran während der ersten Probelastung am 06.06.2013 dargestellt. Es erfolgten je Belastungskonstellation nacheinander zwei statische Teilmessungen (siehe auch Tab. 6-5). Angegeben sind die Relativänderungen der Verformungen und Dehnungen, die auf den unbelasteten Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Messungen um 02:20 Uhr bezogen bzw. genullt sind. Die Belastungskonfigurationen entsprechend Bild 6-30 sind jeweils angegeben.

Die maximalen Temperaturänderungen des Bauwerkes und der Sensoren (vgl. Bild B-18) variierten während des Belastungsversuches zwischen 1°C und 2°C, weshalb keine Temperaturkompensation der Messwerte durchgeführt wurde. Laut Sensorhersteller ist eine Temperaturkompensation erst bei Temperaturunterschieden größer als 10 K erforderlich bzw. sinnvoll.

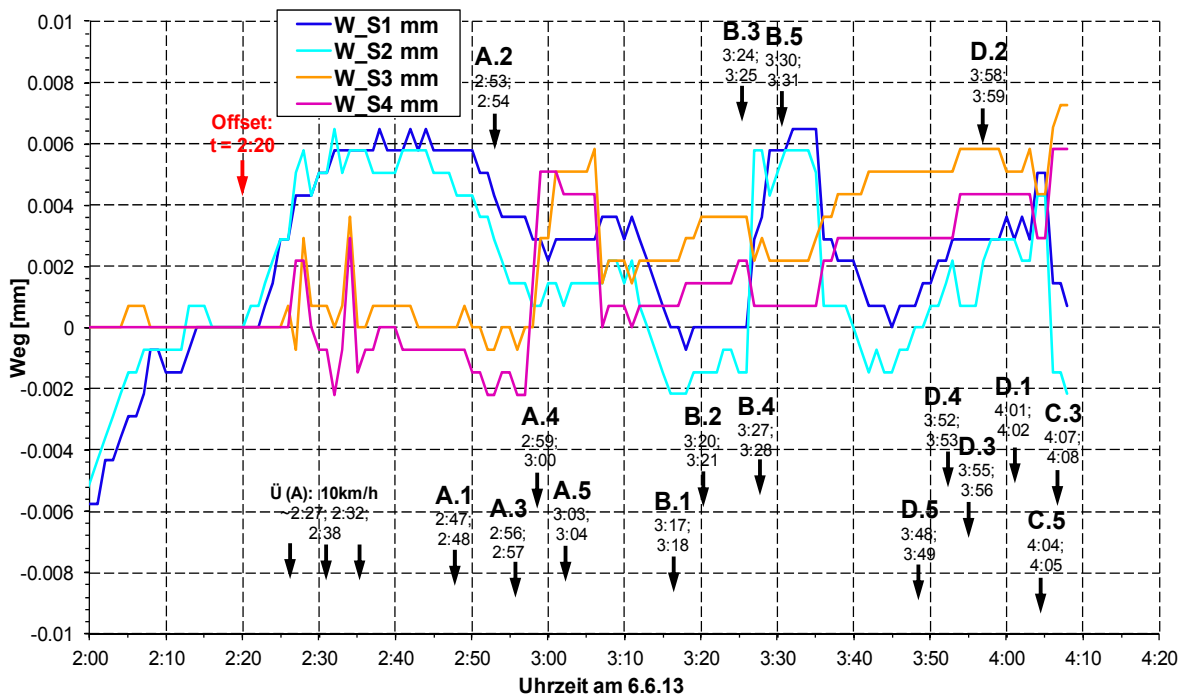


Bild B-13: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Schubverformungsänderungen der Sensoren S1 bis S4 während der ersten Probelastung

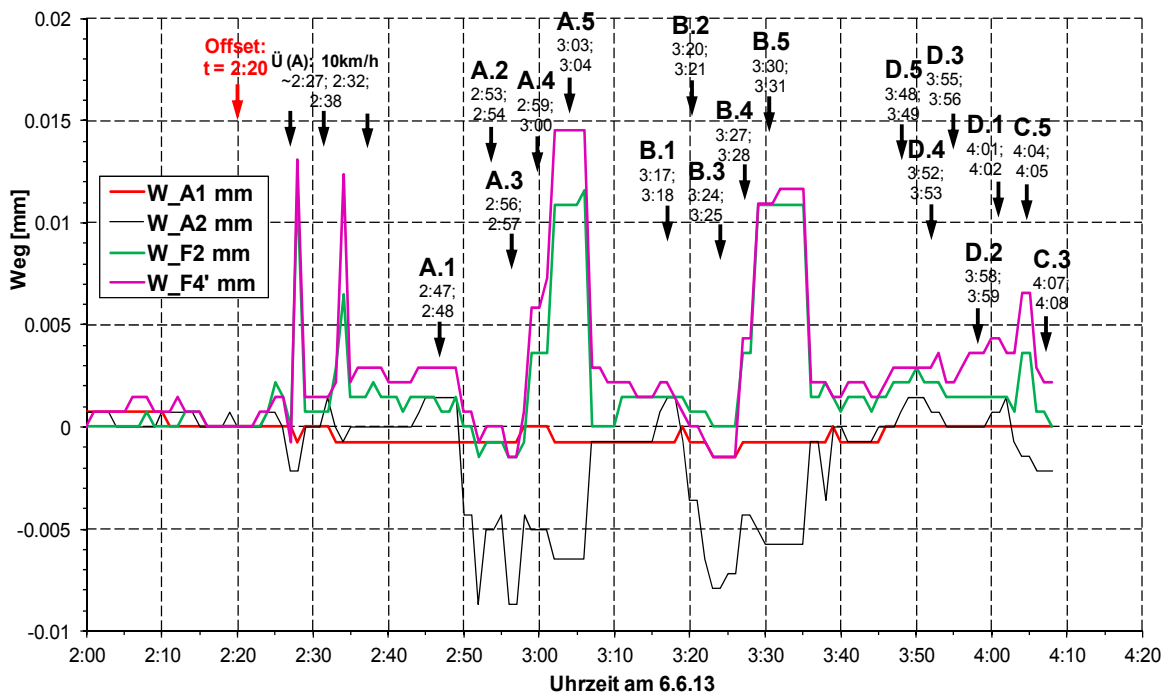


Bild B-14: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betonverformungsänderungen der Sensoren A1, A2, F2 und F4' während der ersten Probelastung

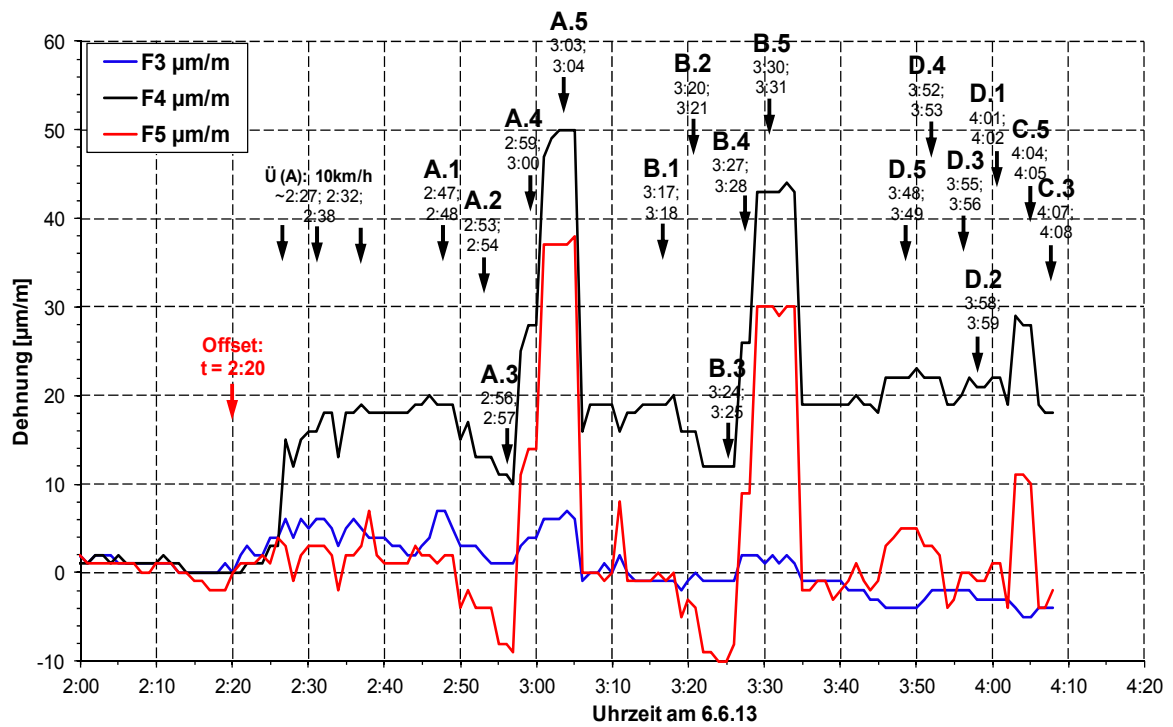


Bild B-15: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betondehnungsänderungen der Sensoren F3, F4 und F5 während der ersten Probelastung

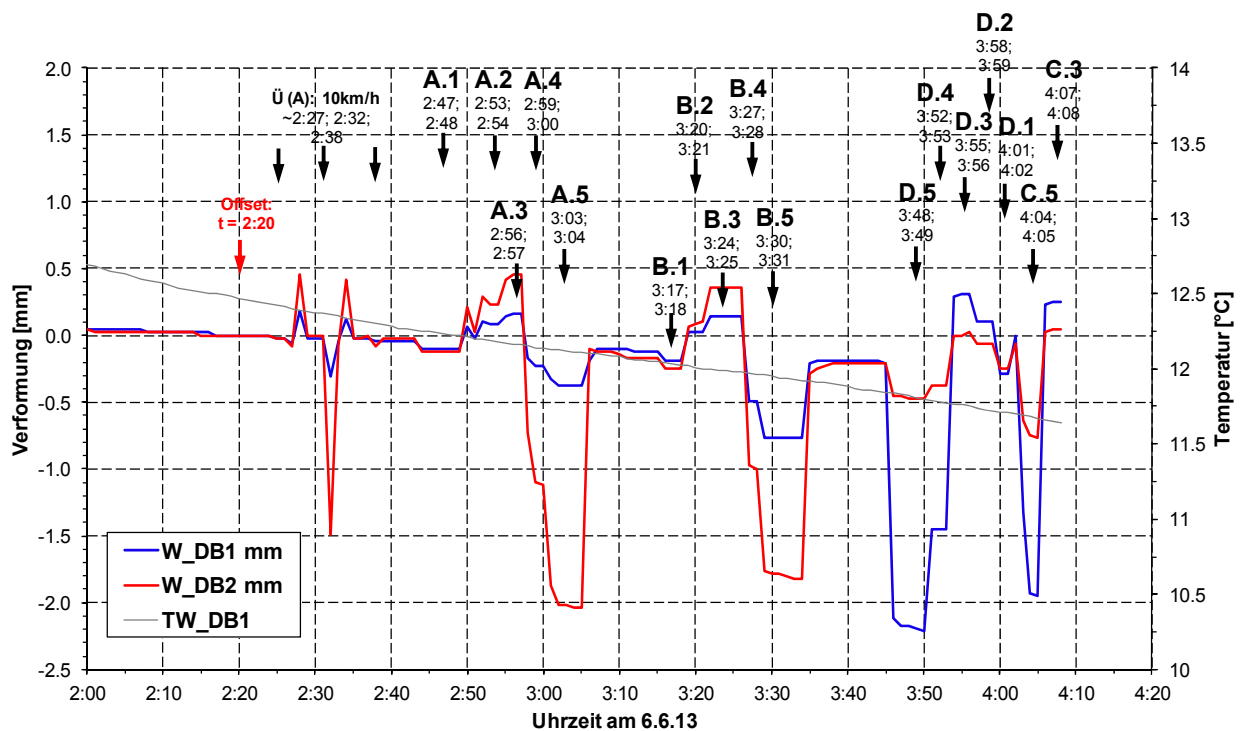


Bild B-16: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Durchbiegungsänderungen der Sensoren DB1 und DB2 und der Temperatur im Schwingsaitenaufnehmer DB1 (TW_DB1) während der ersten Probelastung

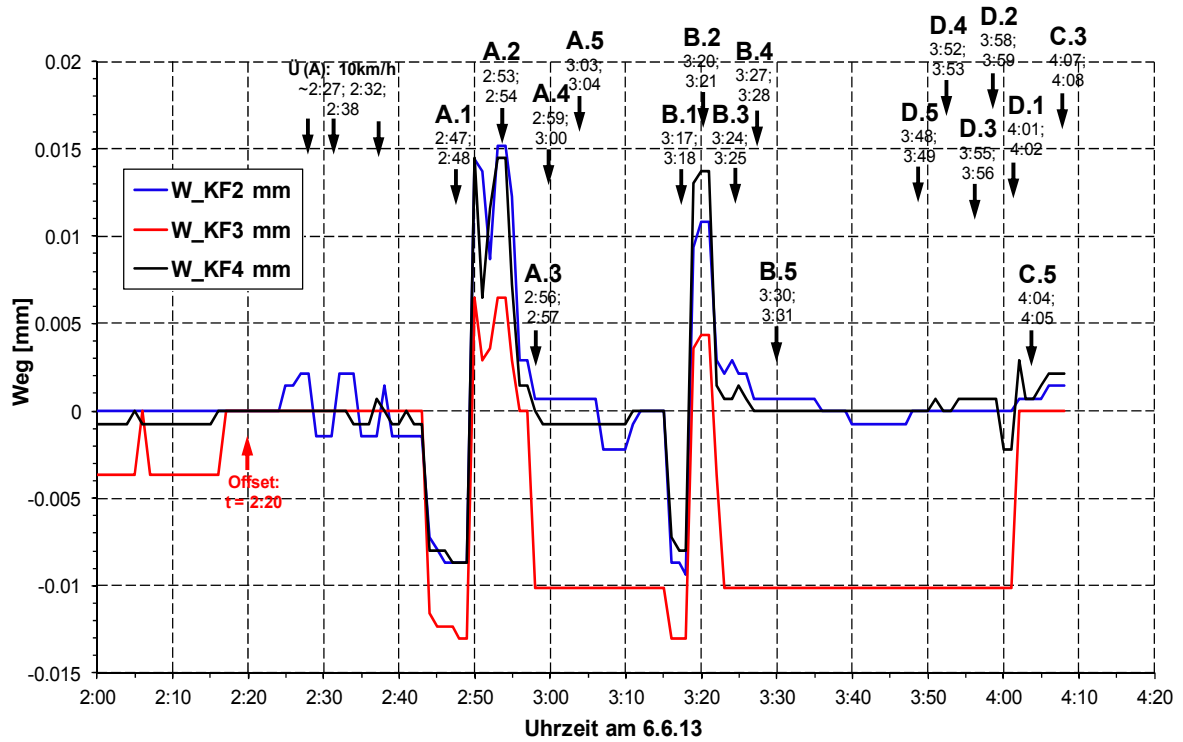


Bild B-17: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Koppelfugen-Rissbreitenänderungen der Sensoren KF1 bis KF4 während der ersten Probelastung

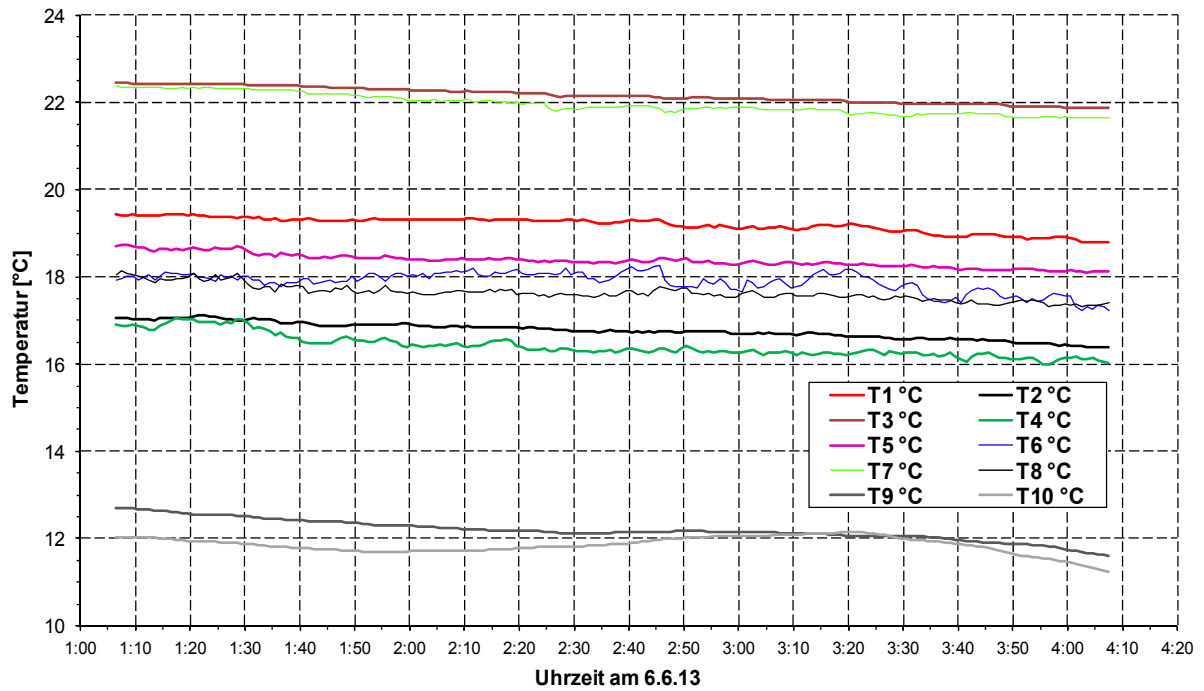


Bild B-18: Temperaturverlauf der Sensoren T1 bis T10 während der ersten Probelastung

B.1.1.3 Zweite Probelastung

Nachfolgend werden in Bild B-19 bis Bild B-24 die Messergebnisse des primären statischen Messsystems infolge der Belastung durch den 44 t-Autokran während der zweiten Probelastung am 09.12.2013 dargestellt. Es erfolgte je Belastungskonstellation eine statische Teilmessung (siehe auch Tab. 6-6). Angegeben sind die Relativänderungen der Verformungen und Dehnungen, die auf den unbelasteten Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Messungen um 21:06 Uhr bezogen bzw. genullt sind. Die Belastungskonfigurationen sind jeweils entsprechend Bild 6-30 angegeben.

Die maximalen Temperaturänderungen des Bauwerkes und der Sensoren (vgl. Bild B-24) betragen weniger als 1°C, weshalb keine Temperaturkompensation der Messwerte durchgeführt wurde.

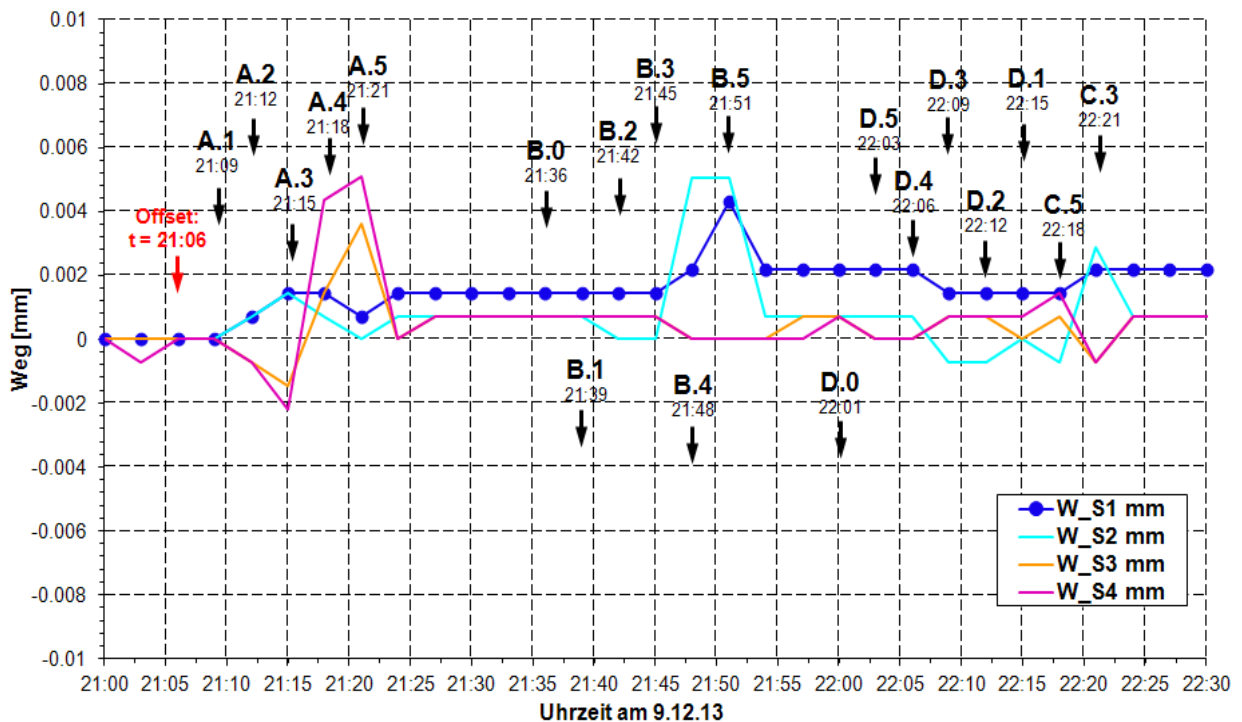


Bild B-19: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Schubverformungsänderungen der Sensoren S1 bis S4 während der zweiten Probelastung

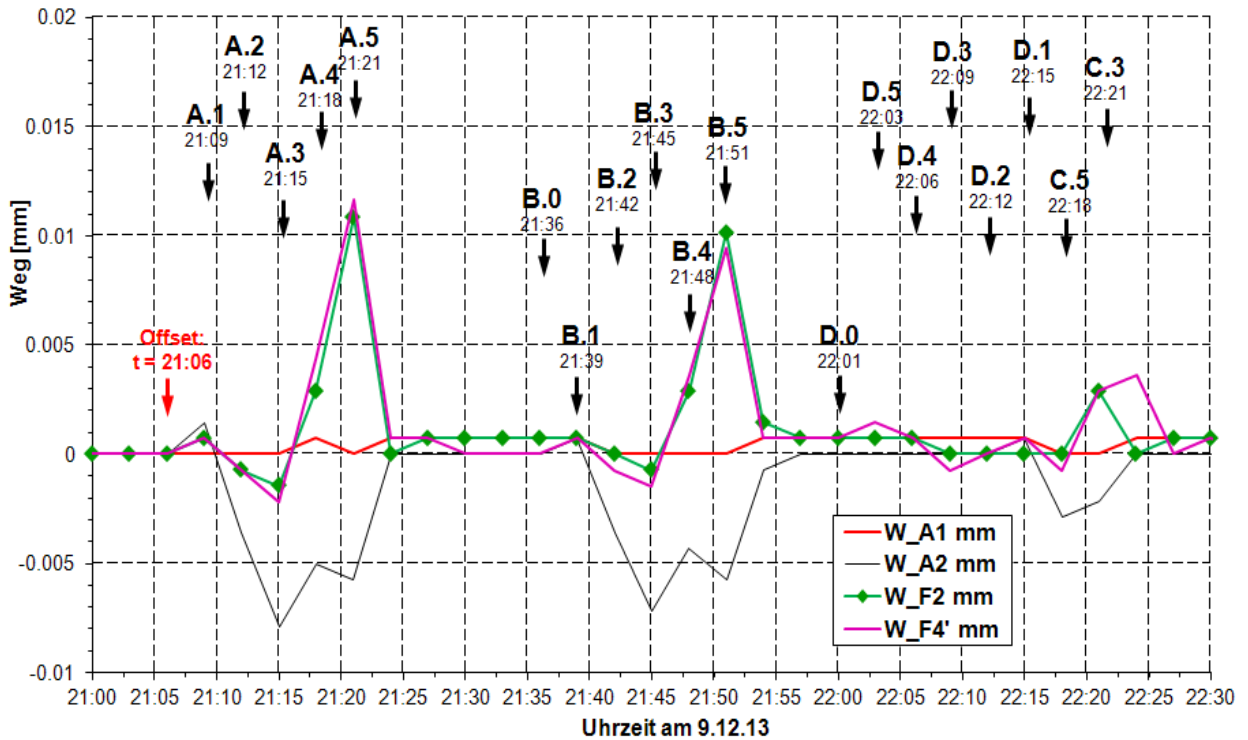


Bild B-20: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betonverformungsänderungen der Sensoren A1, A2, F2 und F4' während der zweiten Probelastung

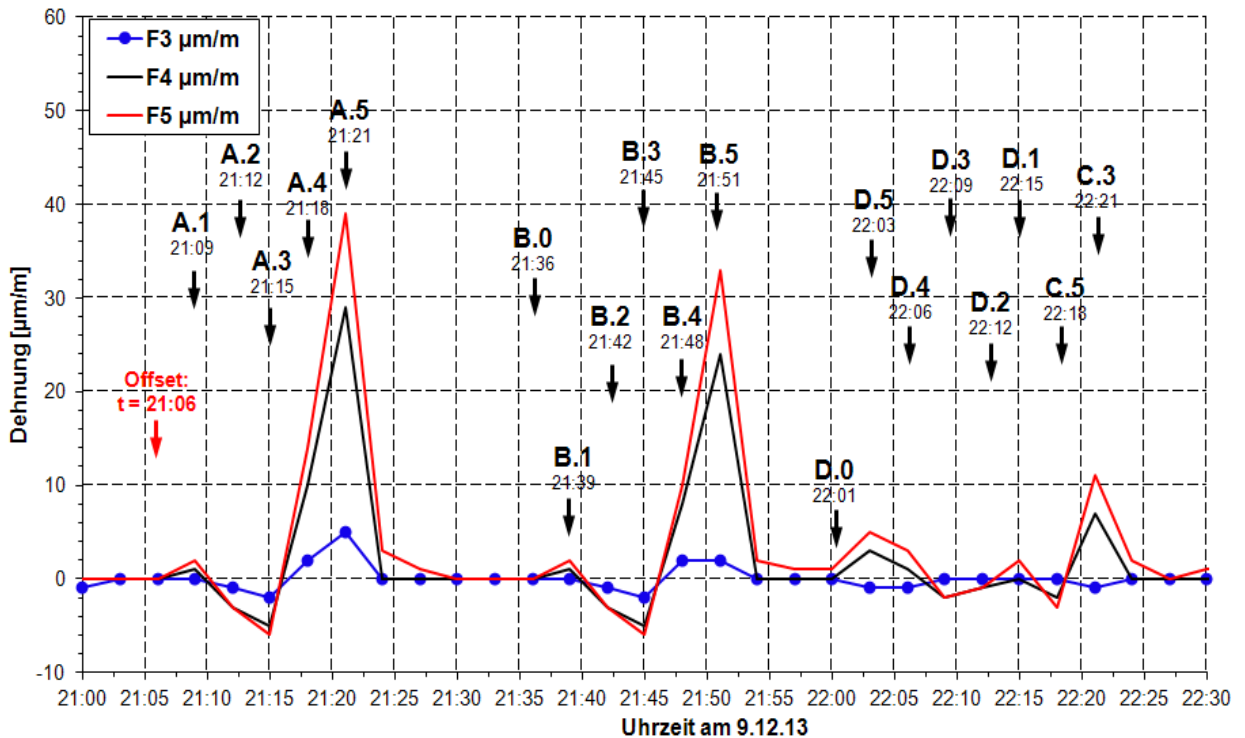


Bild B-21: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betondehnungsänderungen der Sensoren F3, F4 und F5 während der zweiten Probelastung

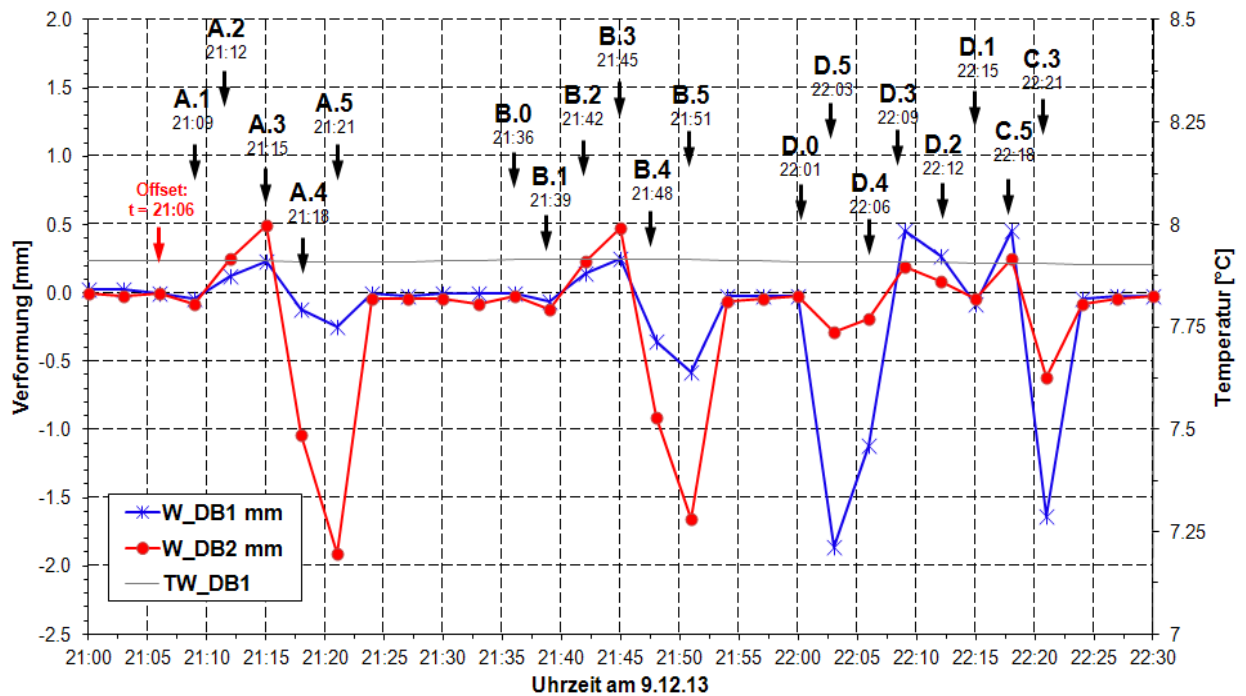


Bild B-22: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Durchbiegungsänderungen der Sensoren DB1 und DB2 und der Temperatur im Schwingsaitenaufnehmer DB1 (TW_DB1) während der zweiten Probelastung

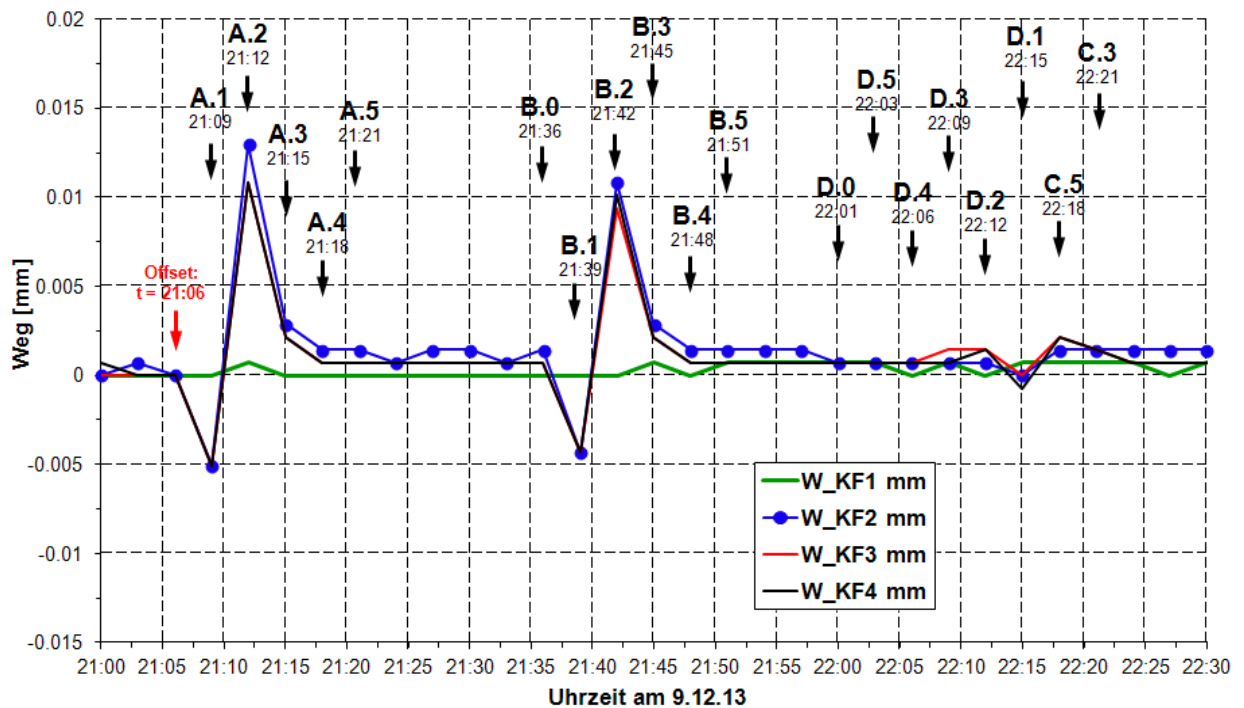


Bild B-23: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Koppelfugen-Rissbreitenänderungen der Sensoren KF1 bis KF4 während der zweiten Probelastung

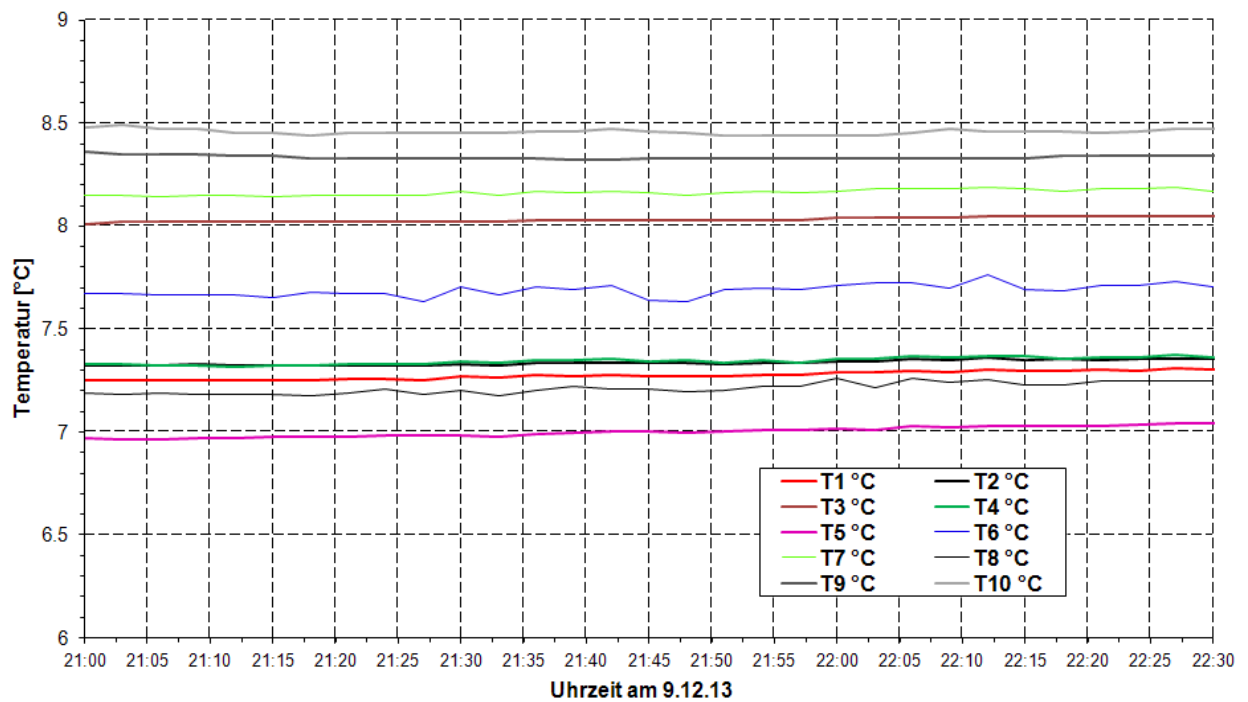


Bild B-24: Temperaturverlauf der Sensoren T1 bis T10 während der zweiten Probelastung

B.1.2 Sekundäres, temporäres dynamisches Messsystem

Mithilfe des sekundären dynamischen Messsystems wurden Messungen sowohl unter fließendem Verkehr als auch während der ersten Probelastung durchgeführt. Die Messergebnisse hierzu werden im Folgenden gezeigt.

B.1.2.1 Messungen unter fließendem Verkehr

Für das sekundäre, temporäre dynamische Messsystem wird aufgrund der Datenmenge nachfolgend in Bild B-25 lediglich beispielhaft die etwa halbstündige Messung vom 18.06.2013 von 15:23 Uhr bis 15:50 Uhr dargestellt. Alle Verformungen wurden zum Messbeginn genullt. Die aufgeführten Rohmessdaten sind nicht temperaturkompensiert. Bei der Betrachtung der Daten ist zu bedenken, dass die Messbasen (effektive Messlängen) der einzelnen Aufnehmer voneinander abweichen. In Bild B-26 wurden die Verformungen der einzelnen Wegaufnehmer in Betondehnungen umgerechnet und für jedes Defizit einzeln dargestellt. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse.

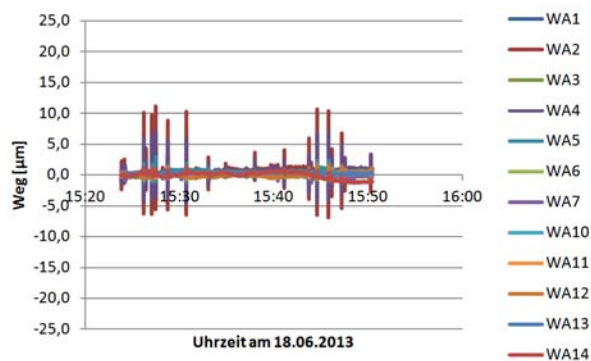


Bild B-25: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Betonverformungsänderungen der Sensoren WA1 bis WA14

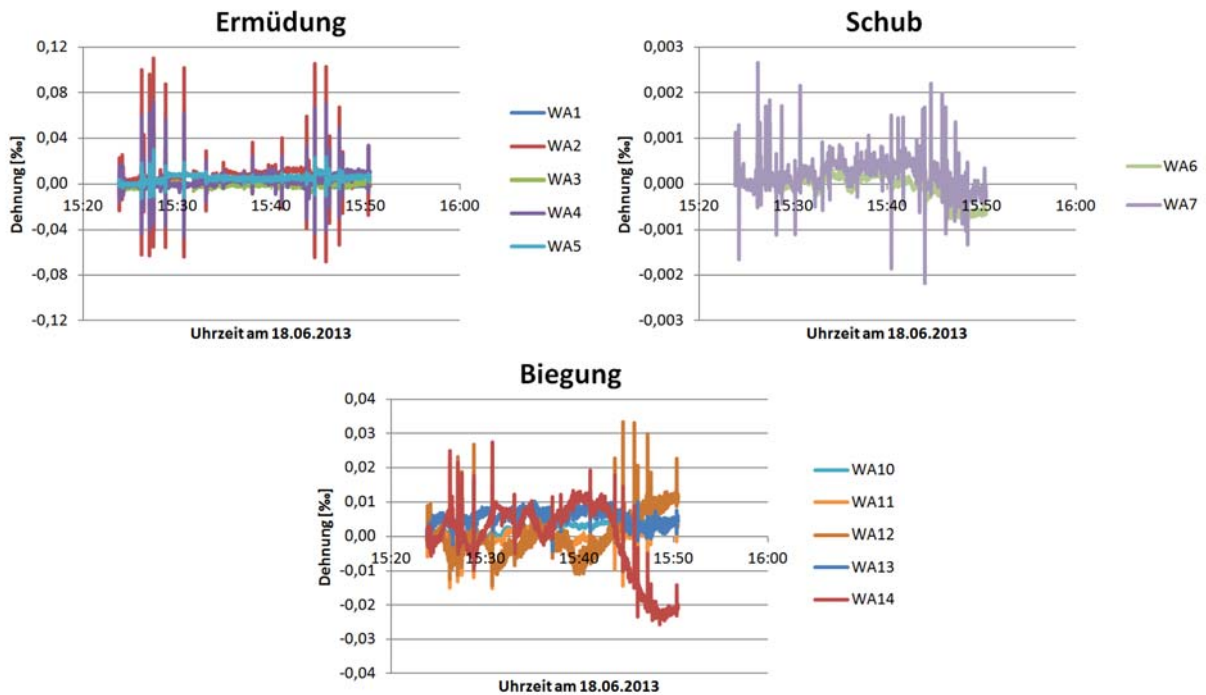


Bild B-26: Zeitlicher Verlauf der Betondehnungsänderungen der Sensoren WA1 bis WA14

B.1.2.2 Erste Probelastung

Nachfolgend werden die Messergebnisse des sekundären dynamischen Messsystems infolge der Belastung durch den 44 t-Autokran während der ersten Probelastung dargestellt.

Bild B-27 zeigt den zeitlichen Verlauf der Messgrößen infolge der drei Überfahrten des 44 t-Autokrans mit einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 10 km/h sowie der zwei Überfahrten mit einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 60 km/h. In Bild B-28 sind außerdem die hieraus abgeleiteten Betondehnungsänderungen infolge der Last aus dem mit 10 km/h bzw. 60 km/h fahrenden 44 t-Autokran in Abhängigkeit der Laststellung des Krans in Längsrichtung der Brücke dargestellt.

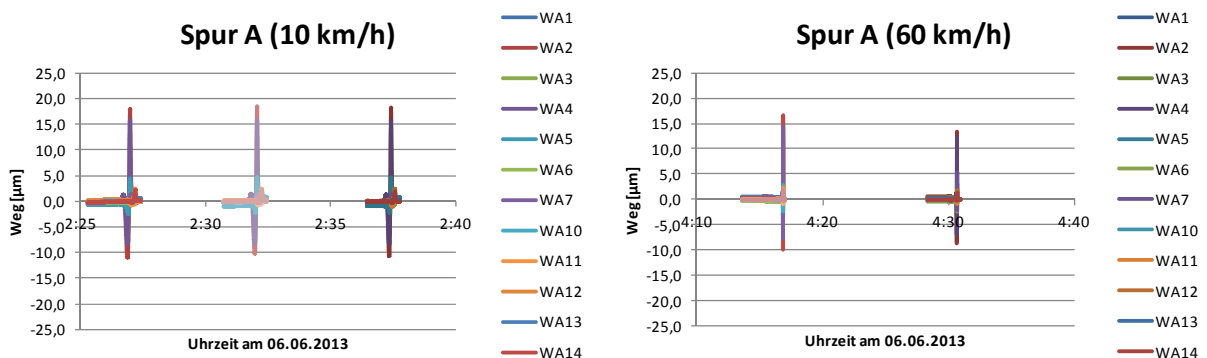


Bild B-27: Zeitlicher Verlauf der Betondehnungsänderungen der Sensoren WA1 bis WA14 während der Überfahrten des Krans mit 10 km/h im Zuge der ersten Probelastung

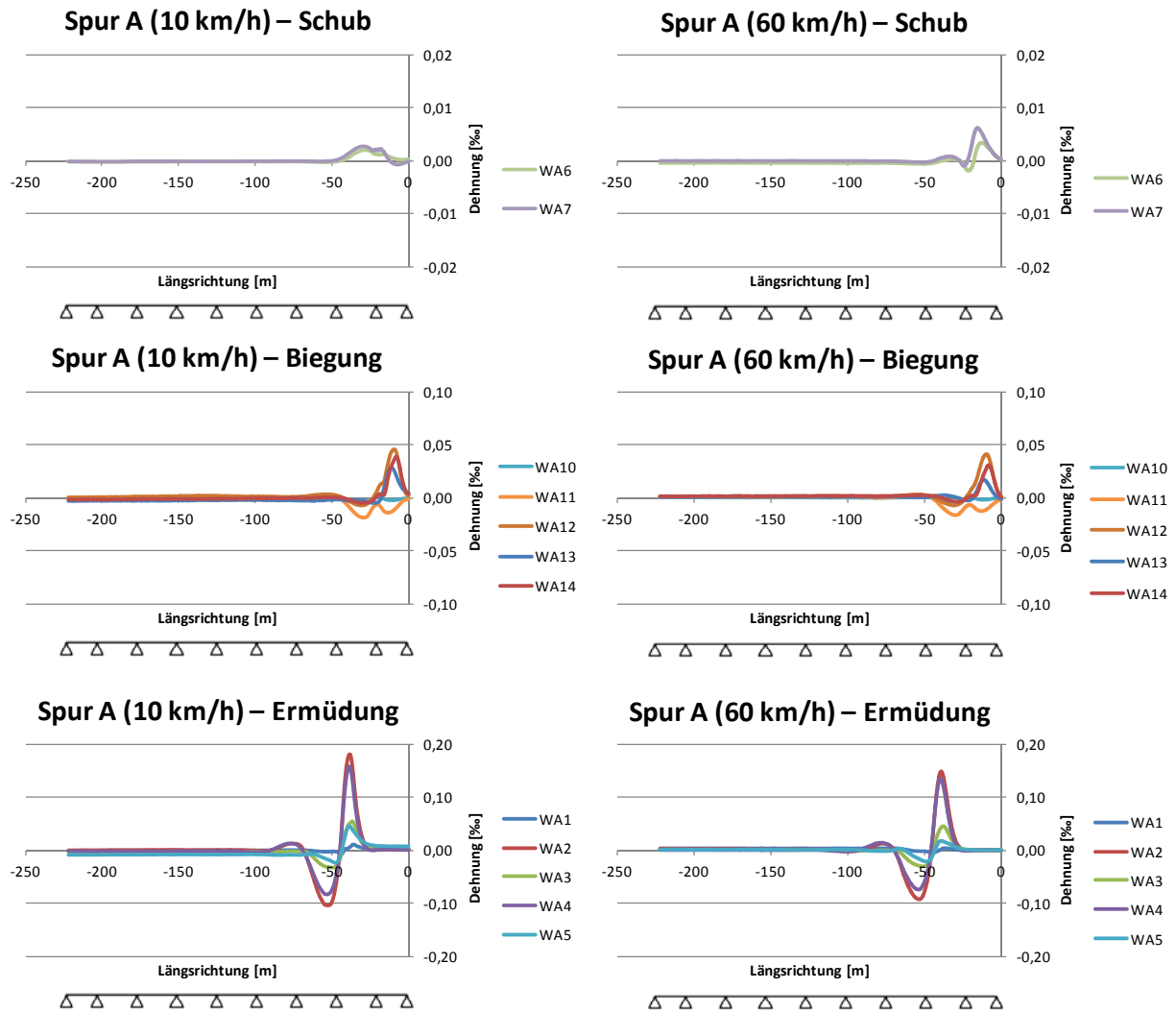


Bild B-28: Betondehnungsänderungen in Abhängigkeit der Laststellung des 44 t-Autokrans; links: Fahrt mit 10 km/h, rechts: Fahrt mit 60 km/h

In Bild B-29 sind wiederum die Messschriebe des sekundären dynamischen Messsystems der statischen Belastungen des 44 t-Autokrans auf den Spuren A, B, C und D dargestellt. Bild B-30 und Bild B-31 zeigen die daraus abgeleiteten Betondehnungsänderungen infolge der statischen Last aus dem 44 t-Autokran in Abhängigkeit der Laststellung des Krans in Längsrichtung der Brücke für die Spuren A, B, C und D.

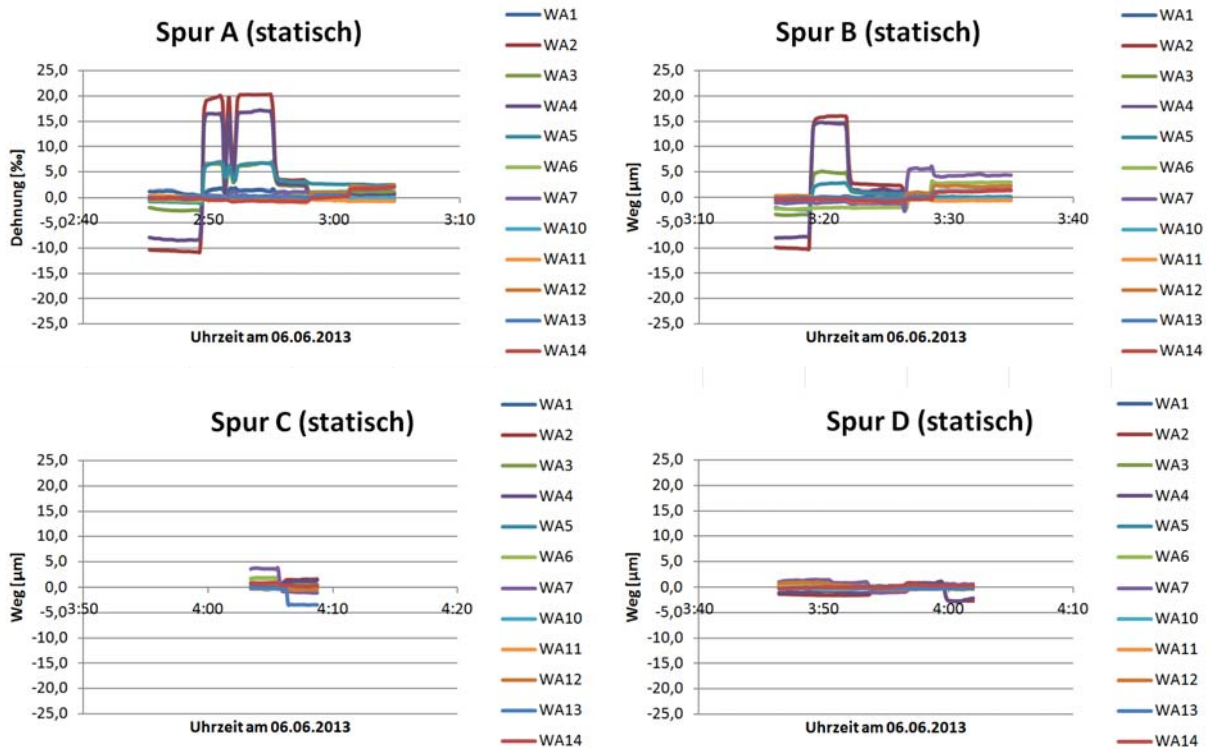


Bild B-29: Zeitlicher Verlauf der Betondehnungsänderungen der Sensoren WA1 bis WA14 während der statischen Belastungen im Zuge der ersten Probelastung

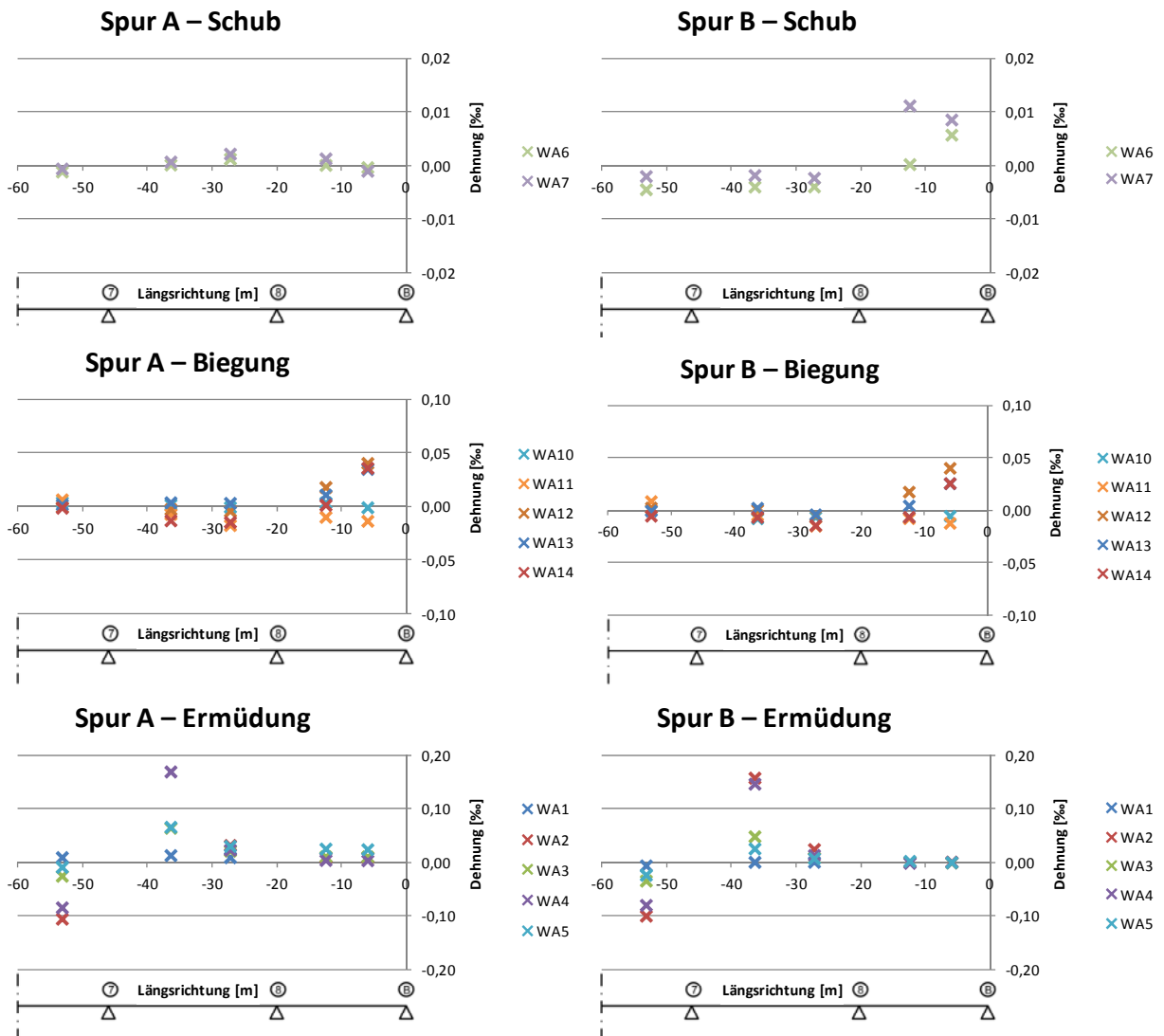


Bild B-30: Betondehnungsänderungen in Abhängigkeit der Laststellung des 44 t-Fahrzeugkrans; links: statische Laststellungen in Spur A, rechts: statische Laststellungen in Spur B

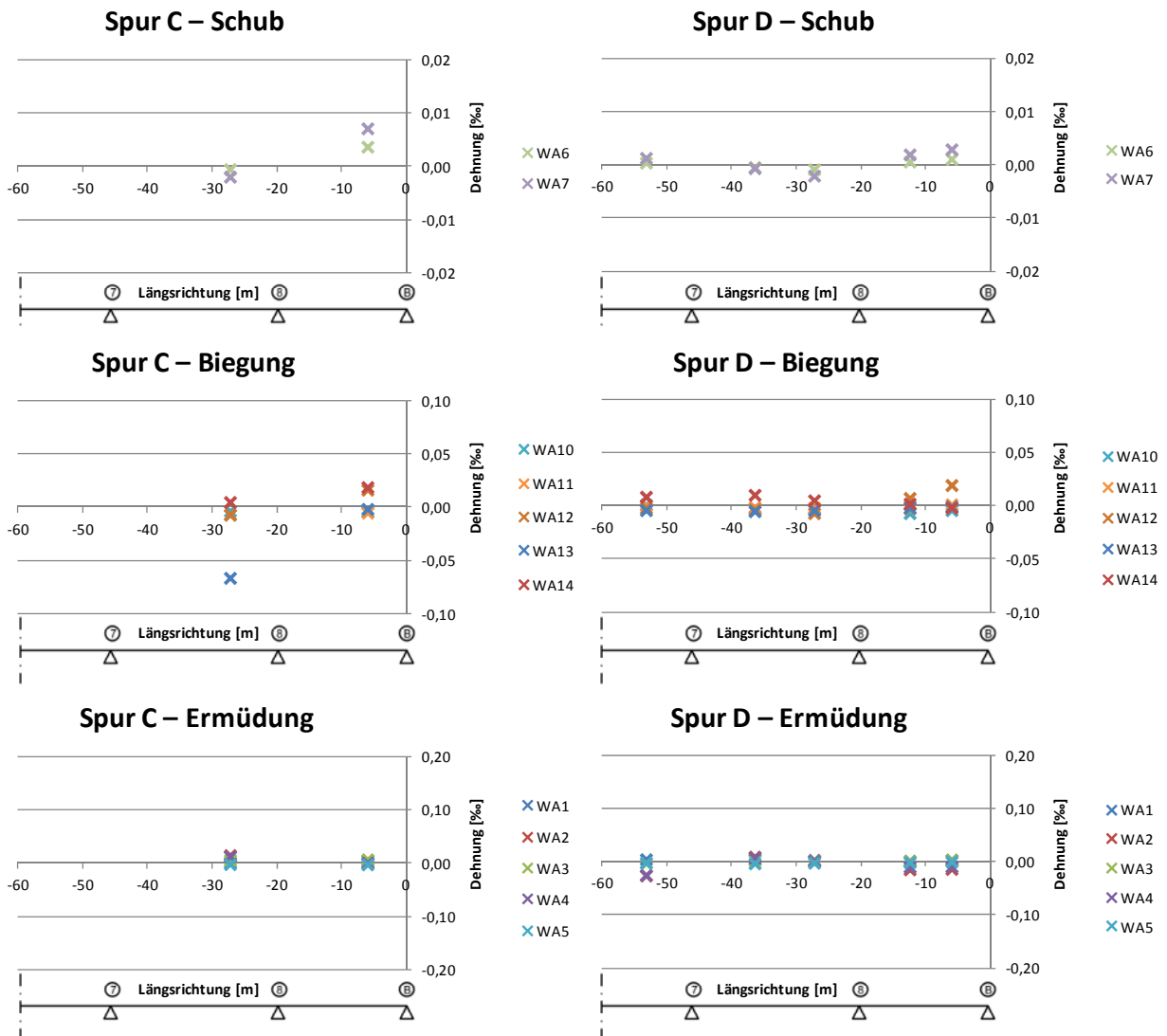


Bild B-31: Betondehnungsänderungen in Abhängigkeit der Laststellung des 44 t-Fahrzeugkrans; links: statische Laststellungen in Spur C, rechts: statische Laststellungen in Spur D

B.2 Modifizierte Messwerte

Im Folgenden werden für die Sensoren S1, A2, F4', F4, DB1 und KF4 die zur Festlegung und Überwachung der relativen Schwellwerte benötigten modifizierten Messwerte des primären, permanenten statischen Messsystems dargestellt (vgl. Kapitel 6.4.2). Gezeigt werden der zeitliche Verlauf der reduzierten Messdaten, der unmittelbaren Messwertänderungen, der Messwerttrends, der Berechnungsungenauigkeiten sowie der Zusammenhang zwischen Messwertänderung und Spannstahlbrüchen.

B.2.1 Schubverformungsänderungen des Sensors S1

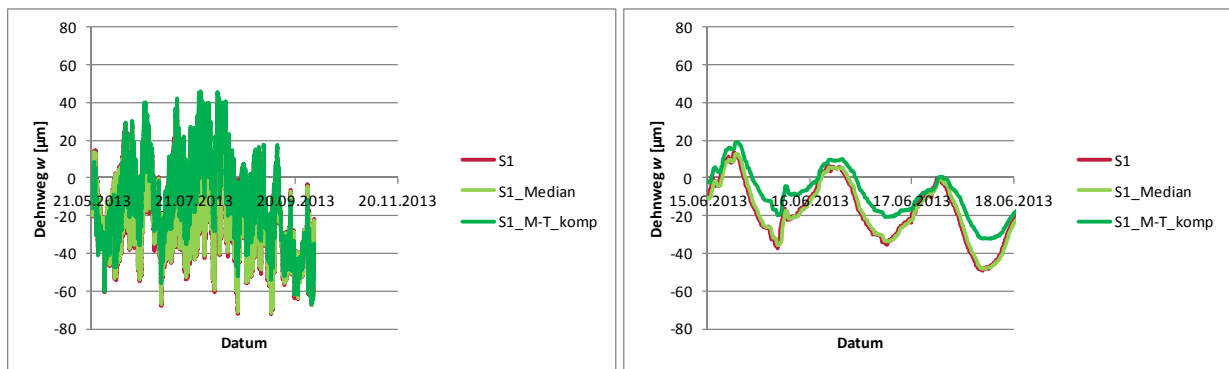


Bild B-32: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle S1; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

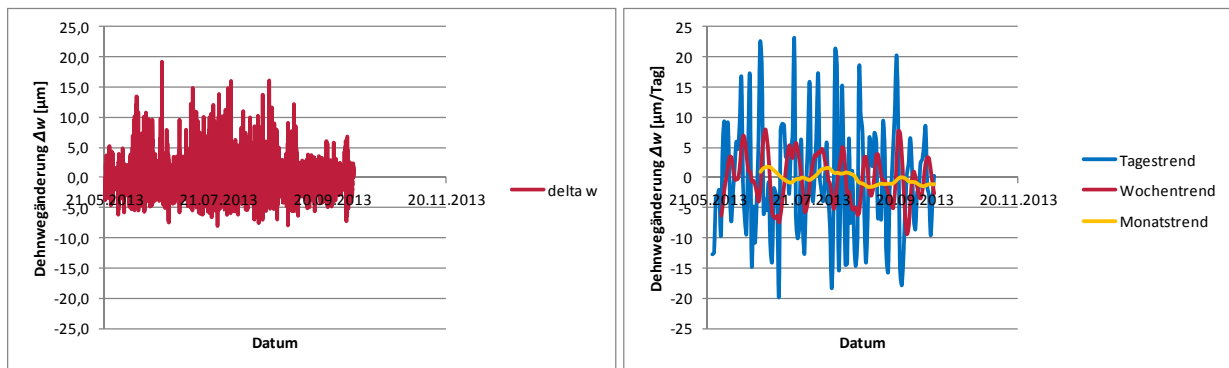


Bild B-33: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle S1; links: unmittelbare Messwertanderungen, rechts: Messwerttrends

B.2.2 Betonverformungsänderungen des Sensors A2

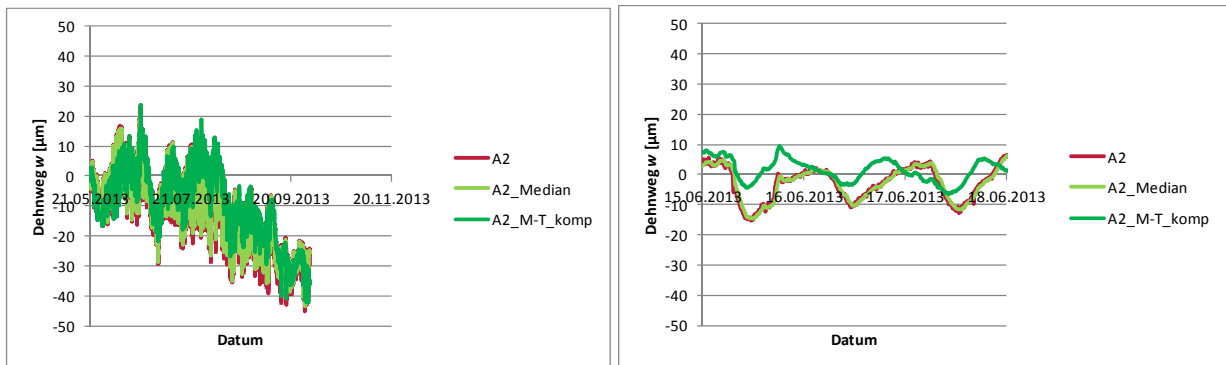


Bild B-34: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle A2; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

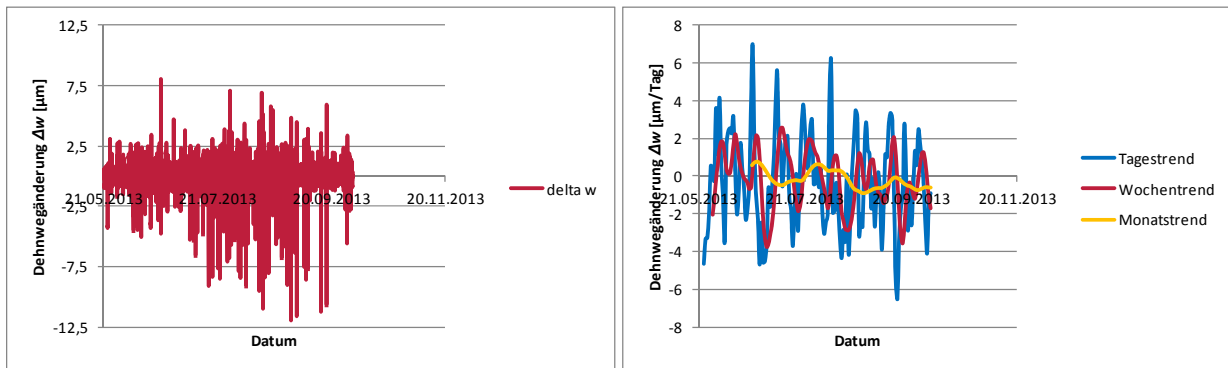


Bild B-35: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle A2; links: unmittelbare Messwertänderungen, rechts: Messwerttrends

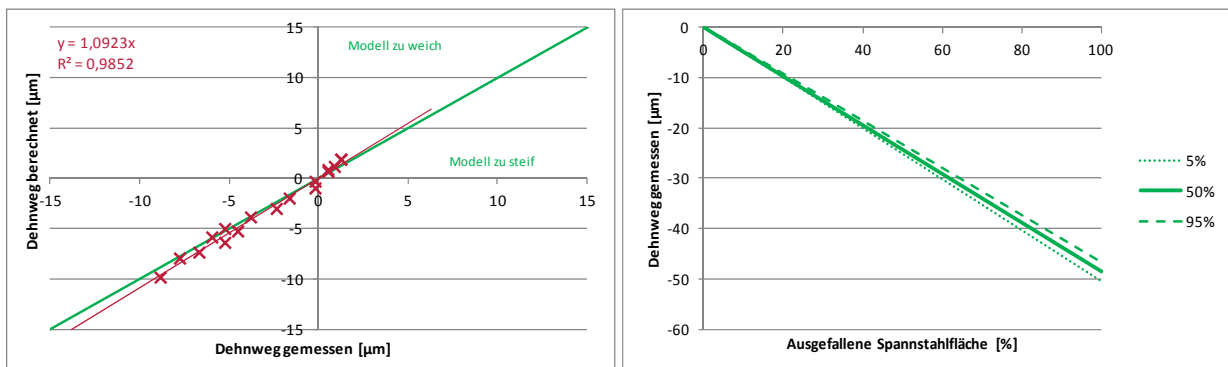


Bild B-36: links: Vergleich von gemessenen und berechneten Messwerten für die Messstelle A2, rechts: Zusammenhang zwischen gemessenen Messwertänderungen und Anteil der ausgefallenen Spannstahlfläche für die Messstelle A2

B.2.3 Betonverformungsänderungen des Sensors F4'

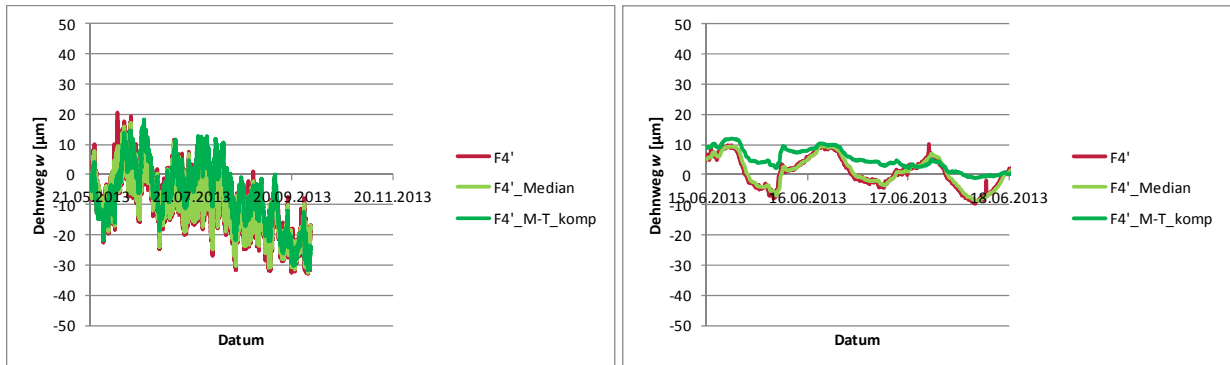


Bild B-37: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle F4'; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

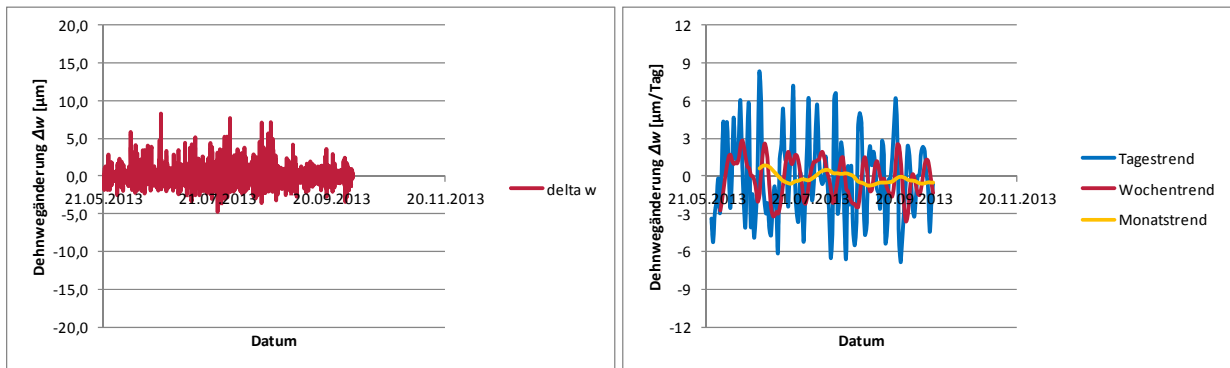


Bild B-38: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle F4'; links: unmittelbare Messwertänderungen, rechts: Messwerttrends

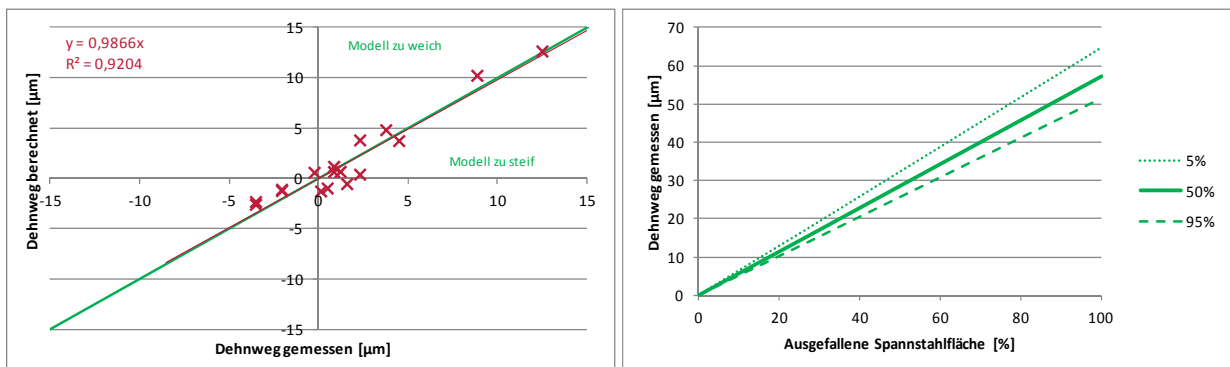


Bild B-39: links: Vergleich von gemessenen und berechneten Messwerten für die Messstelle F4', rechts: Zusammenhang zwischen gemessenen Messwertänderungen und Anteil der ausgefallenen Spannstahlfläche für die Messstelle F4'

B.2.4 Betondehnungsänderungen des Sensors F4

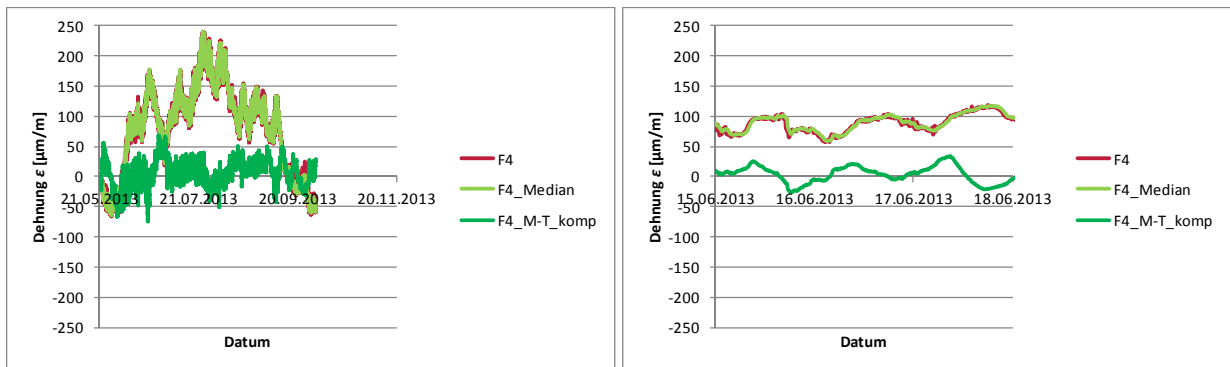


Bild B-40: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle F4; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

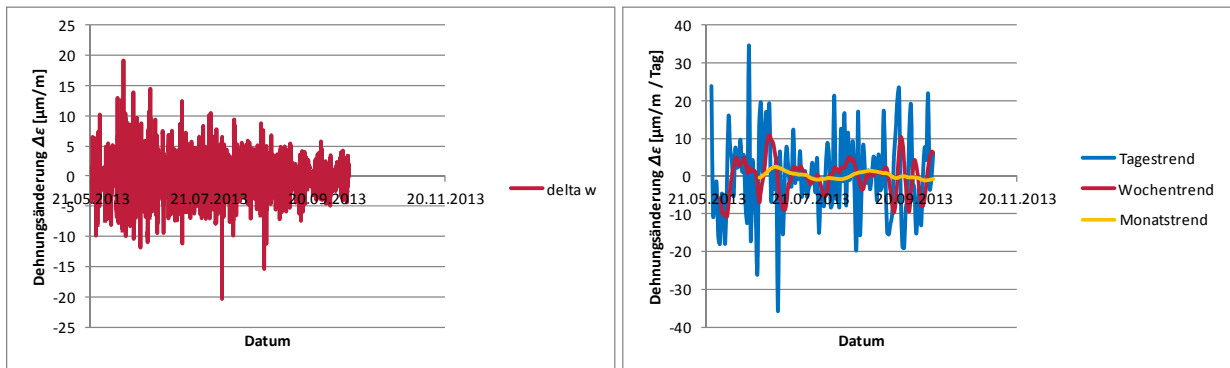


Bild B-41: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle F4; links: unmittelbare Messwertänderungen, rechts: Messwerttrends

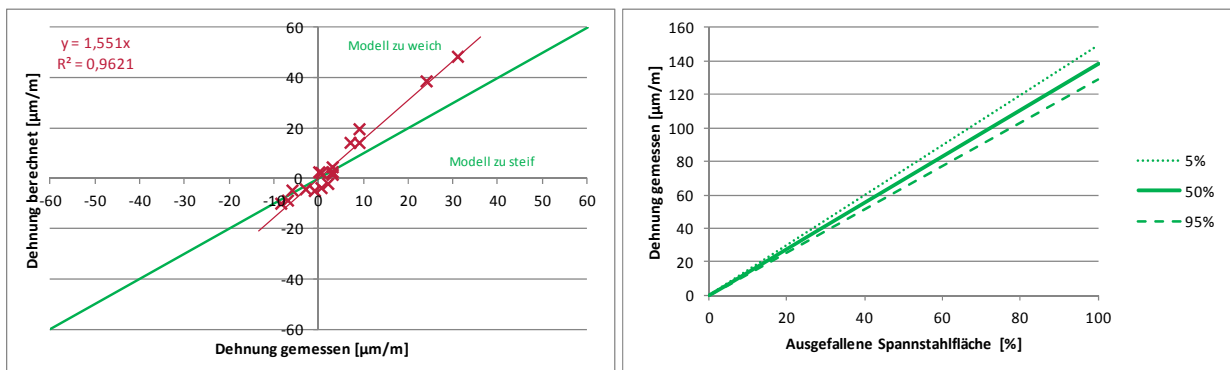


Bild B-42: links: Vergleich von gemessenen und berechneten Messwerten für die Messstelle F4, rechts: Zusammenhang zwischen gemessenen Messwertänderungen und Anteil der ausgefallenen Spannstahlfläche für die Messstelle F4

B.2.5 Durchbiegungsänderungen des Sensors DB1

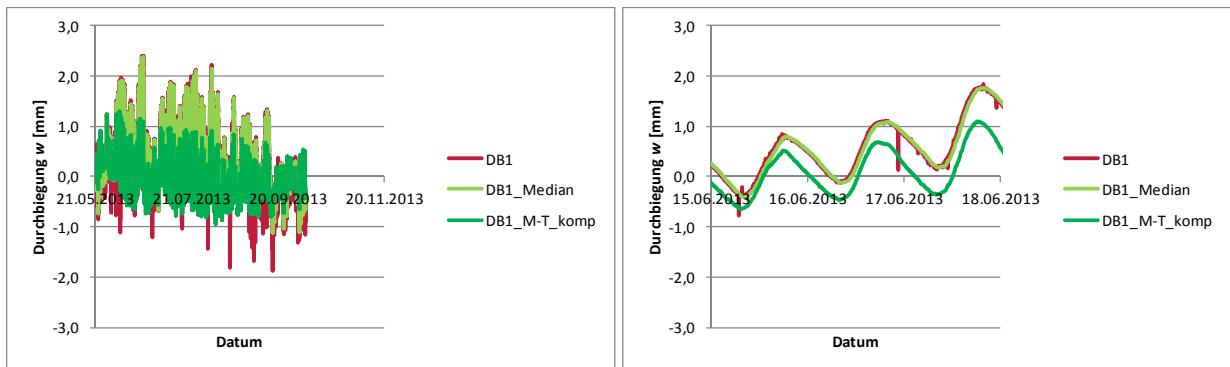


Bild B-43: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle DB1; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

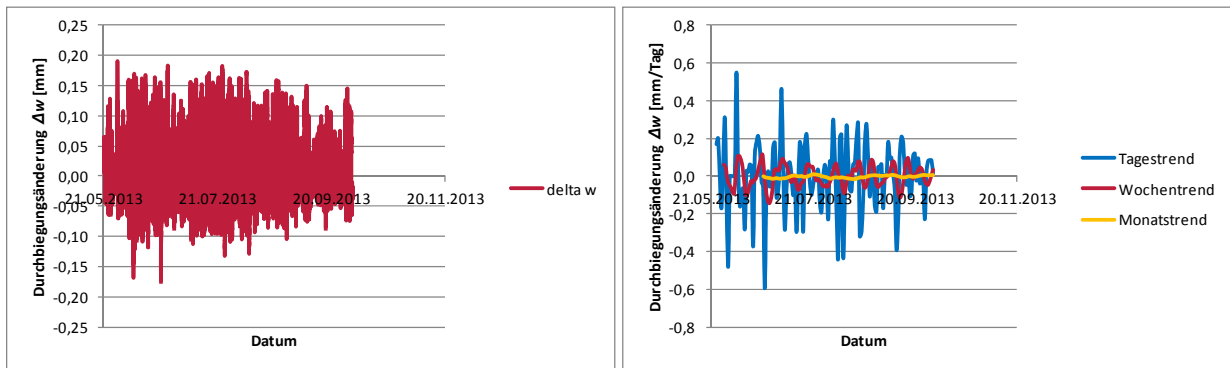


Bild B-44: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle DB1; links: unmittelbare Messwertänderungen, rechts: Messwerttrends

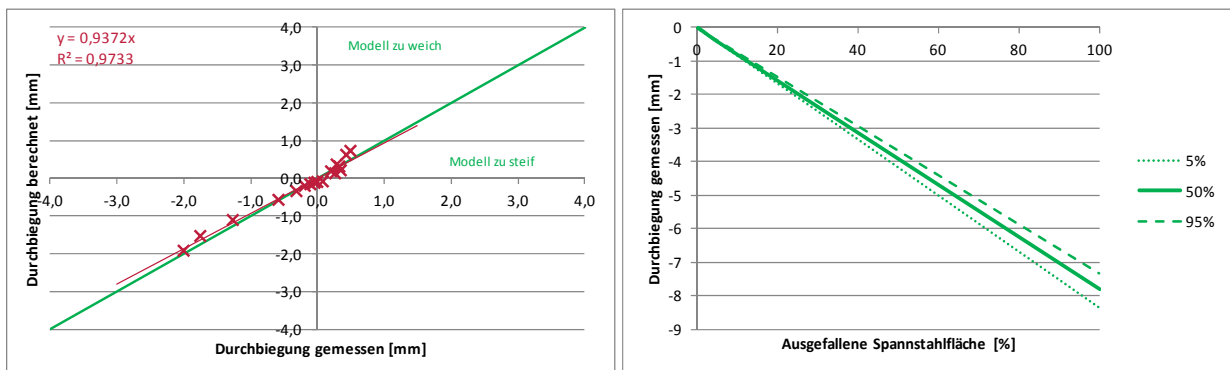


Bild B-45: links: Vergleich von gemessenen und berechneten Messwerten für die Messstelle DB1, rechts: Zusammenhang zwischen gemessenen Messwertänderungen und Anteil der ausgefallenen Spannstahlfläche für die Messstelle DB1

B.2.6 Rissbreitenänderungen des Sensors KF4

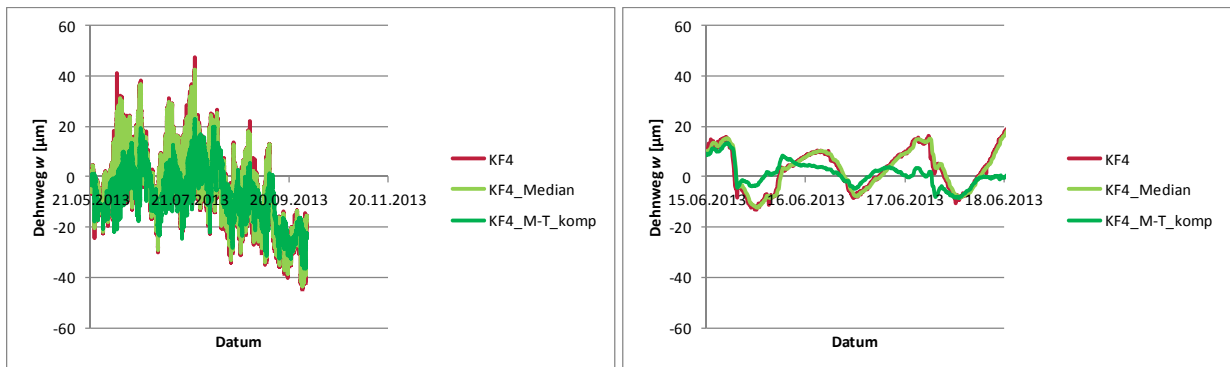


Bild B-46: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle KF4; rot: originale Messwerte, hellgrün: um den Verkehrsanteil reduzierte Messwerte, dunkelgrün: um den Verkehrs- und den Temperaturanteil reduzierte Messwerte

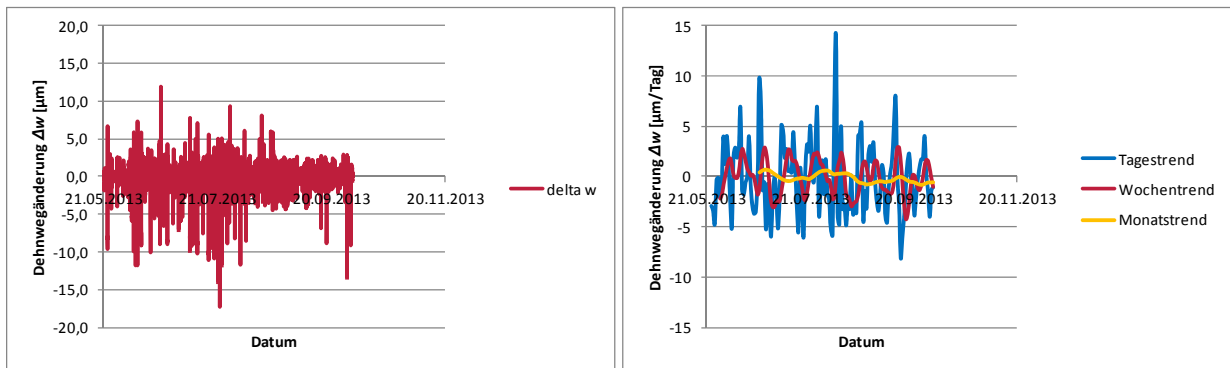


Bild B-47: Zeitlicher Verlauf der Messwerte an der Messstelle KF4; links: unmittelbare Messwertänderungen, rechts: Messwerttrends

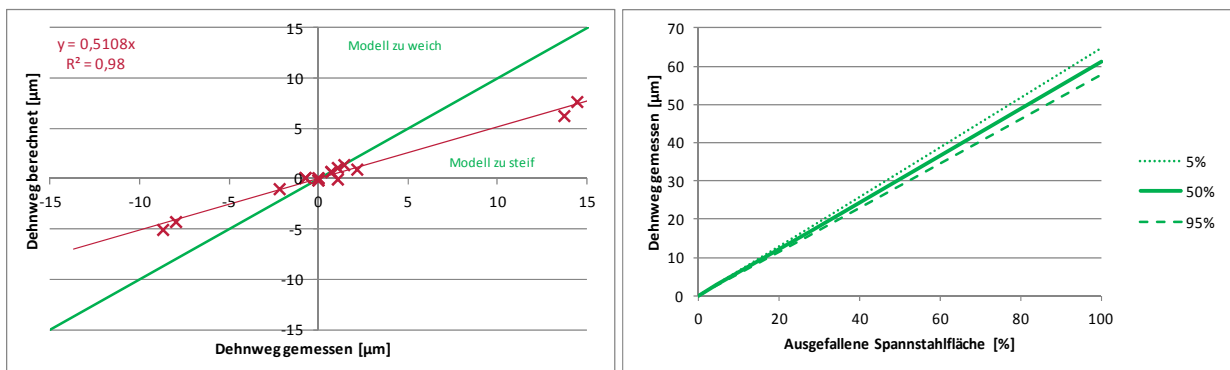


Bild B-48: links: Vergleich von gemessenen und berechneten Messwerten für die Messstelle KF4, rechts: Zusammenhang zwischen gemessenen Messwertänderungen und Anteil der ausgefallenen Spannstahlfläche für die Messstelle KF4