

A23 AUTOBAHN SÜDOSTTANGENTE WIEN

Generalerneuerung HS Inzersdorf

km 1.9+65,000 - km 3.9+75,000


MESSTECHNISCHE ÜBERWACHUNG

Plantitel

OBJEKT B2309

BAUWERKSMONITORING - Schlussbericht

Messbericht Nr. 07 – 04/2016-12/2019

	C			
	B			
ÄNDERUNG	A			
PROJEKTSTEUERUNG		PROJEKTANT 		
KOORDINATION UMWELT		Plan-Nr.		
Bearbeitet: Doppler Dominic, DI Julian Rajasingam Datum: 07.02.2020	MASSSTAB	AUSFERTIGUNG	EINLAGE	
Geprüft: DI Dr. Thomas Mack Datum: 19.02.2020			1	
Fläche: Seitenanzahl: 66				

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Projektbeschreibung	3
2.	Aufgabenstellung.....	7
3.	Installiertes Monitoringsystem.....	8
4.	Anordnung der Sensoren am Tragwerk.....	10
5.	Monitoringsystem und Datenmanagement	14
5.1.	Messzentrale.....	14
5.2.	Laser Sensoren	15
5.3.	Temperaturaufnehmer	18
5.4.	Neigungssensor.....	19
5.5.	Erddruckgeber	20
5.6.	Extensometer	23
5.7.	Dehnwegsensoren	25
5.8.	Software	25
6.	Wartung und Instandhaltung.....	26
7.	Messergebnisse.....	27
7.1.	Temperatur	27
7.2.	Horizontale Verformungen der Brücke	29
7.3.	Extensometer Widerlager Achse 6	31
7.4.	Erddruck Widerlager Achse 6	33
7.5.	Dehnungsmessungen Tragwerk.....	35
7.6.	Neigung am Tragwerk, Pfeiler und Fundament	37
8.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	40
9.	Resümee und Empfehlungen.....	42
10.	Anhang A	43
11.	Anhang B	56

1. Projektbeschreibung

Im Zuge der Instandsetzung der HS Inzersdorf wurde im Knoten Inzersdorf das bestehende Brückenobjekt B2309 abgetragen und als mehrfeldrige integrale Brücke mit einer Gesamtlänge von rund 120 m neu errichtet. Um die Überwachung der Zustandsentwicklungen im Betrieb, die Erfassung von Vergleichswerten für statische Berechnungen und die Aufnahme des Einflusses der Randbedingungen auf das Tragwerk gewährleisten zu können, wird das Brückenobjekt mit einer messtechnischen Überwachung ausgerüstet.



Abbildung 1: Lage des Brückenobjekts

Das Tragwerk beginnt ab km 0,1 +72,754 und ist im Grundriss vollständig in einer Linkskurve mit $R = 70$ m. In Fahrtrichtung geht das Objekt in A23-R8 über und bildet die Ausfahrt Inzersdorf im Knoten Inzersdorf der A23 in Richtung Graz.

Im Längsschnitt verläuft die Brücke in einer Kuppe mit dem Radius 1800m. Bei km 0,2 + 10,744 steigt das Brückennivellette gegen die Fahrtrichtung mit 2,5% auf eine Höhe von 201,975 m.ü.A am Tragwerksbeginn. In Fahrtrichtung besitzt es ein Gefälle von 5% und endet 198,465 m.ü.A. Im Verlauf des gesamten Objektes beträgt die Querneigung der Fahrbahn konstant 5% in Richtung Bogenmittelpunkt. Die Randbalken weisen eine Neigung von 2,5% in Richtung der Fahrbahn auf.

Bei der Errichtung und Bauart des Brückentragwerks wurde auf das Zusammenspiel von Wirtschaftlichkeit, Funktion und Erhaltung geachtet. Hierzu wurde im Massivbau ein Plattenquerschnitt mit ausragenden Rändern auf Stahlbeton gewählt. Getragen wird die Brücke von jeweils zwei parallelen rechteckigen Stahlbetonstützen (1,3x0,7 m) welche radial angeordnet sind. Die Kraftübertragung in den Boden erfolgt über Bohrpfähle mit 1,2 m Durchmesser und 20 m Länge. Hierzu sind im Bereich der Stützen jeweils drei und im Widerlagerbereich jeweils sechs Pfähle angeordnet.

Die Einzelspannweiten betragen 23,42 m + 24,68 m + 24,68 m + 24,68 m + 23,38 m was zu einer Gesamtlänge von 120,84 m führt. Die Breite von 10,8 m ist während des gesamten Verlaufes konstant.

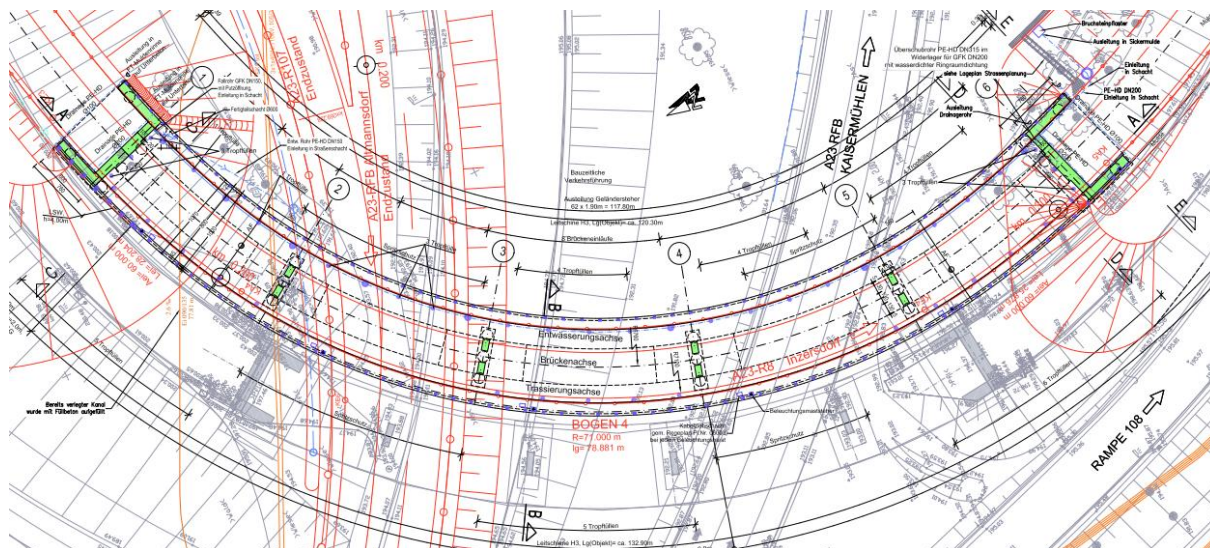


Abbildung 2: Grundriss des Brückenobjektes

Um das Tragverhalten und die Wirtschaftlichkeit zu optimieren wurde die Stahlbetonplatte des Brückenquerschnittes, im Bereich der Stützen bzw. des Widerlagers, dicker ausgeführt. Die Auskragungen des Balkens linksseitig 3,1 m und rechtsseitig 3,2 m. Zur Erhöhung der Sicherheit bei Nacht befinden sich auf dem rechten Randbalken Beleuchtungsmasten welche die Fahrbahn ausleuchten.

Die Innovation in Bezug Konstruktion und Unterhaltung bildet die Ausführung der Konstruktion als Integralbrücke, was zur Minimierung der Lebenszykluskosten führt. Hierzu wurde an den Widerlagern jeweils eine 5 m lange Schleppplatte konstruiert. Aufgrund der weitgehend kreisförmigen Grundrissgeometrie bietet sich eine integrale Bauweise ohne Lager und Fahrbahnübergänge an. Zwängungen infolge Temperaturänderungen können durch Verschiebungen quer zur Brückenachse abgebaut werden. Durch den Wegfall von Brückenlagern und Fahrbahnübergängen wurde ein besonders erhaltungsfreundliches Brückenobjekt konzipiert. Aufgrund der besonderen Funktionsweise der Brücke die Widerlager in Brückenlängsrichtung möglichst steif auszubilden. Die Regeldetails für die Ausbildung der Widerlagerhinterfüllung gem. Planungshandbuch der ASFINAG (eigenstandfeste Hinterfüllung, elastische Drainagematte usw.) kommen daher nicht zur Ausführung.

Rahmenbedingungen Brücke:

Tragwerkstyp	Integrales Beton-Brückentragwerk
Anzahl Brückenfelder	5
Länge	120,84 m

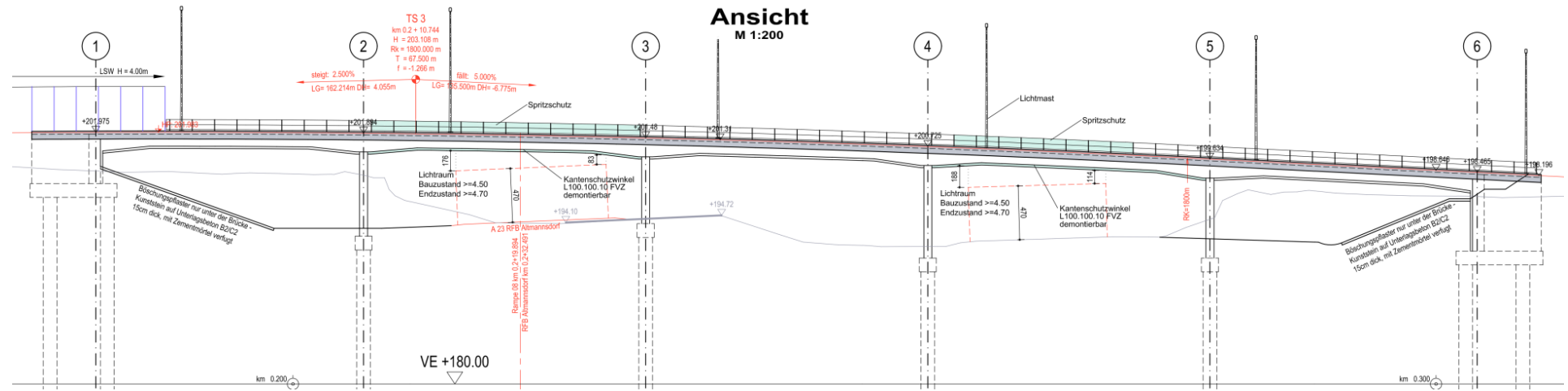


Abbildung 3: Ansicht des Objektes

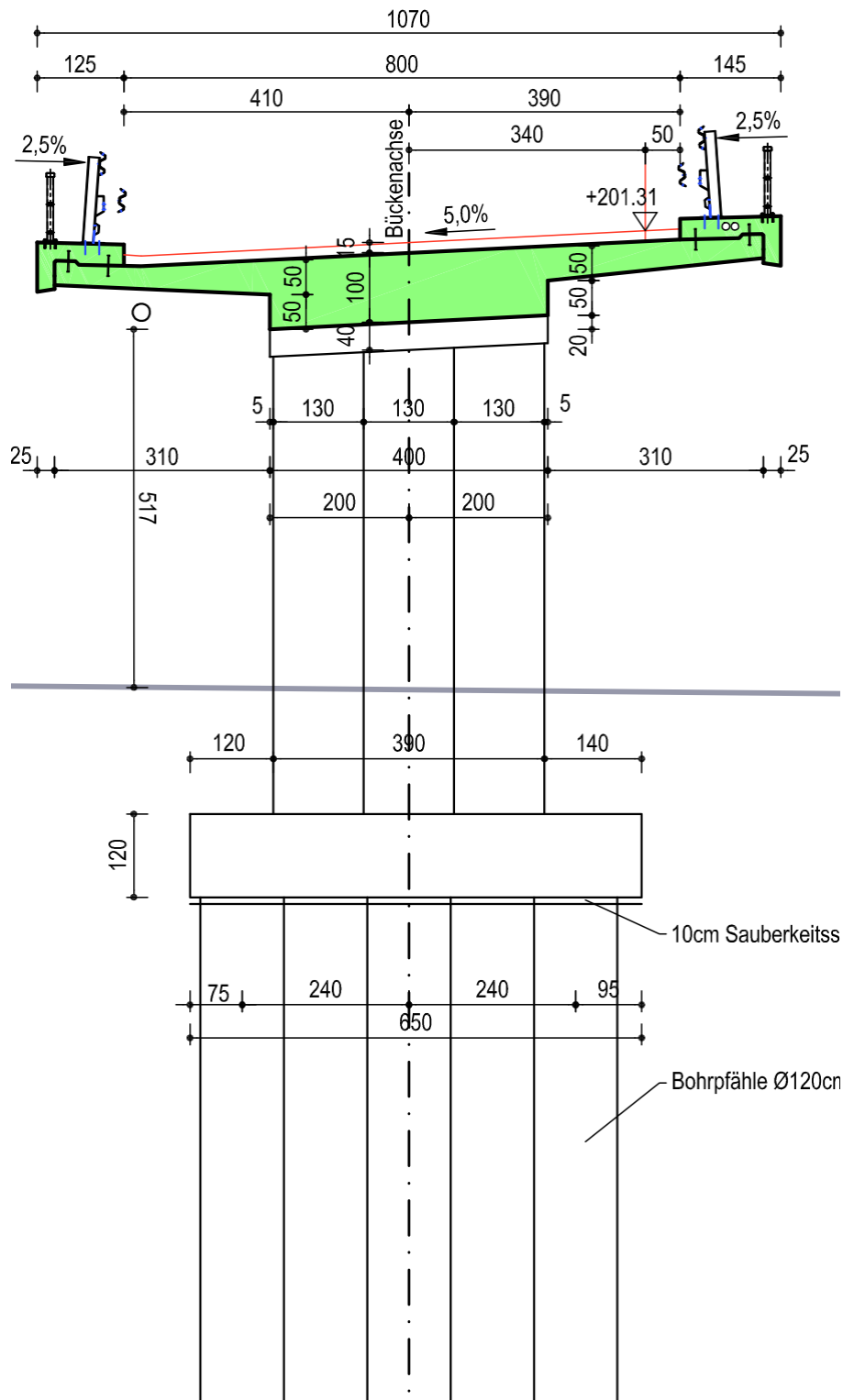


Abbildung 4: Regelquerschnitt des Objektes

2. Aufgabenstellung

Die Gewährleistung der Zuverlässigkeit (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit) und Verkehrssicherheit von Ingenieurbauwerken ist eine wesentliche Aufgabe im Bauwesen, um Tragwerke auch bei steigenden Verkehrslasten mit hoher Sicherheit möglichst lange nutzen zu können. Für die Überwachung und Prüfung von Bauwerken und im Besonderen von Brücken, existieren zahlreiche Normen und Richtlinien. Weiters wurden in den letzten Jahren deutliche Fortschritte bei der automatischen Zustandsüberwachung von Ingenieurbauwerken erzielt, die eine vermehrte Anwendung in der Praxis ermöglichen.

Ist ein Bauwerk geschädigt bzw. handelt es sich um außergewöhnliche Bauwerke bei denen ausgewählte Parameter beobachtet bzw. mit Annahmen der statischen Berechnung verglichen und allenfalls über die Zeit fortschreitende Veränderungen protokolliert werden, so können durch Monitoringverfahren objektive und vor allem quantifizierbare Beobachtungen angestellt werden. Dieser Einsatzbereich wurde auch im vorliegenden Fall konsequent verfolgt.

Die Fokussierung der Überwachungsaufgaben auf die Dokumentation eindeutig festgelegter Messgrößen ermöglicht das Messprogramm gezielt auf die veränderlichen Parameter auszulegen und gewährleistet so eine wirtschaftliche Anwendung der Methoden. Ziel bei der Auslegung des Messsystems war es daher, ein maßgeschneidertes Konzept für das Bauwerk sowie die gegebene Aufgabenstellung zu entwickeln, welches dem Prototypencharakter von Brücken gerecht wird.

Integrale Brücken sind durch ihre Randbedingungen statisch unbestimmt gelagert, sodass Temperaturänderungen, zeitabhängiges Betonverhalten, Vorspannung und Auflagerverschiebungen in der Regel unerwünschte Zwangsschnittkräfte zur Folge haben. Bei zunehmender Bauwerkslänge können die aus Zwängen entstehenden Beanspruchungen eine maßgebliche Größenordnung erreichen, die bemessungsrelevant sein können. Weiters soll untersucht werden, welche Auswirkungen eine im Grundriss gekrümmte Geometrie auf das Verhalten einer integralen Brücke hat. Aufgabenstellung für die Auslegung eines Überwachungssystems für die B2309 waren daher im Wesentlichen folgende Punkte um das Verhalten des Bauwerks über die Zeit besser beurteilen zu können:

- Ermittlung der Bauwerkstemperatur über den jahreszeitlichen Verlauf als Grundlage für die Interpretation aller anderen Messparameter.
- Bewegungen des talseitigen Widerlagers und Entwicklung des Erddruckes auf Bogeninnenseite und auf Bogenaußenseite
- Bewegung der Stützen im Kopf- und Fußbereich aufgrund des bogenförmigen Grundrisses zur Beurteilung eines allfälligen horizontalen Ausweichens.
- Verhalten Stützen über den jahreszeitlichen Verlauf, insbesondere deren Lageveränderungen durch Messung der Neigung als redundante Messgröße zur Messung der Horizontalbewegung.
- Dehnungen auf Bogenaußenseite und Stauchungen auf Bogeninnenseite durch Langzeitbewegungen.
- Automatische Datensicherung durch eine Messstation am Brückenobjekt.
- Datenübertragung über eine Internetverbindung mit schneller Möglichkeit der Ergebnisdarstellung auch ohne aufwändige Spezialprogramme.
- Laufende Berichterstattung über die gemessenen Ergebnisse und Vergleich zu den Annahmen der statischen Berechnung

Auf Basis dieser Festlegungen wurde ein maßgeschneidertes Monitoringsystem konzipiert, welches auf bewährte Komponenten zurückgreift. Unter Berücksichtigung der gültigen Version der RVS 13.03.01 (Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken) werden folgende Ziele für das Monitoringsystem angestrebt:

- Überwachung der Zustandsentwicklung im Betrieb
- Erfassung von Vergleichswerten für statische Berechnungen
- Erfassung des Einflusses von Randbedingungen (z.B. Temperatur) auf das Tragverhalten

3. Installiertes Monitoringsystem

Die Anlage misst Verdrehungen des Widerlager Achse 6 aufgrund seitlichen Ausweichens mit einem Extensometer, den Erddruck an der Widerlagerwand mittels Erddruckgeber, die Längenänderung und das seitliche Ausweichen der Brücke mittels Lasersensoren, sowie die Neigung an den Stahlbetonstützen mit Neigungssensoren und die Betontemperatur mit PT100 Temperatursensoren.

Auf Basis der gegebenen Aufgabenstellung sowie des statischen Systems des Brückenobjektes, der Zugangsmöglichkeiten sowie der zu schaffenden Infrastruktur wie Stromanschluss und mögliche Internetanbindung wurden folgende Festlegungen für das Überwachungssystem eingehalten:

- Es ist ein permanentes Überwachungssystem mit kontinuierlicher Messung der ausgewählten Parameter in regelmäßigen Zeitabständen installiert, welches als BUS-System mit lokalen A/D Wandlern konzeptioniert wurde. Dieses wurde mit einem großen internen Speicher sowie mit leistungsfähigen Datenlogger sowie Industriecomputer ausgeführt.



Abbildung 5: Messzentrale des Monitoringsystems am Objekt

- Zur Durchführung von **statischen Messungen** für die maßgebenden Aufgaben wurden folgende Messwertaufnehmer für die Aufgabe ausgewählt:
 - **Laser-Sensoren mit Reflektorplatten (L+R):**

Für eine direkte Messung der auftretenden Längenänderung und folglich Krümmung des Tragwerkes zufolge Langzeiteffekten sind für die Messung der axialen Bewegungen der Stützen von einem Fixpunkt aus Laser Sensoren montiert. Diese Messung ist durch eine optische Entfernungsmessung mittels hochauflösenden Lasern ausgeführt. Dazu wurden die Laser-Sensoren auf einem dafür erstellten Sockel im Bereich der Gewässerschutzanlage aufgestellt und zur Datenübertragung mit einer Speicher- und Sendestation ausgestattet, welche die Daten zur Zentraleinheit übertragen. Um die geforderte Messgenauigkeit über die Länge zu erzielen, wurden entsprechende Zieltafeln bei den Säulen montiert, welche mit einer reflektierenden Folie beschichtet sind. Zur Erfassung der Bewegung der Fundierung ist eine Zieltafel auf einem Stahlrohr befestigt, welches auf der Fundierung

angebracht wurde und mit einem Hüllrohr vor Bewegungen des Erdreiches geschützt ist.

- **Neigungssensoren (N):**

Zur Erfassung der geometrischen Verformungen des Objektes sind in ausgewählten Achsen Neigungssensoren installiert. Für die Erkennung der Verformungsfigur wurde die Stahlbetonstütze in Achse 4 am Stützenkopf, in Stützenmitte und am Stützenfusspunkt mit je einem Neigungssensor versehen.

- **Erddruckaufnehmer (E):**

Zur Bestimmung der hinter dem Widerlager auftretenden Pressungen sind konventionelle Erddrucksensoren im Einsatz. Aufgrund der gekrümmten Form im Grundriss können dadurch auch unterschiedliche Pressungen auf Bogeninnenseite und Bogenaußenseite erfasst werden.

- **Extensometer (X):**

Um die Bewegungen des Widerlagers aufzeichnen zu können, wurden Extensometer als Ergänzung zu den Erddrucksensoren eingebaut. Damit können auch eventuelle Verdrehungen aufgrund der gekrümmten Form detektiert werden.

- **Dehnwegensensoren (D):**

Zur Erfassung von Dehnungen und Stauchungen aufgrund der bogenförmigen Grundrissform wurden in Achse 4 Dehnwegensensoren auf der Tragwerksunterseite eingebaut.

- **Temperaturaufnehmer (T):**

Der jahreszeitliche Verlauf der Temperatur für das Tragwerk wird an unterschiedlichen Stellen durch konventionelle Temperaturaufnehmer erfasst. Dabei sind Aufnehmer an unterschiedlichen Stellen des Tragwerks angeordnet um Temperaturgradienten ermitteln zu können (Betonkern Tragwerk, Betonkern Kragarm, schattenseitig, bei direkter Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur).

- **Internetanbindung:**

Das Messsystem ist für die Anbindung an das Internet ausgelegt. Die Übermittlung der Daten erfolgt sowohl von der Laserstation, als auch von der Basisstation somit kabellos auf Serveranlagen, welche die Daten via Online-Portal zur Visualisierung und zum Download bereitstellen.

- **Verkabelung:**

Wesentlicher Gesichtspunkt für den dauerhaften und störungsfreien Betrieb des Messsystems war die fachgerechte Verkabelung des gesamten Systems. Alle Kabel werden in Kunststoffrohren, die einen Innenmantel aus Aluminium aufweisen, geführt. Diese Hüllrohre stellen einerseits einen mechanischen Schutz der empfindlichen Datenkabel dar, sowie andererseits den entsprechenden Schutz gegenüber statischer Störfelder bei Sensoren die direkt an den Datenlogger angeschlossen werden und bei denen die A/D Wandlung nicht direkt am Aufnehmer erfolgt. Alle Leitungen werden in speziellen Leerverrohrungen Aufputz geführt.

Alle Sensoren sind durch deren Gehäuse vor Witterungseinflüssen und zu starker Verschmutzung als auch Vandalismus geschützt. Die zentrale Messeinheit befindet sich in einem abschließbaren Schaltschrank an einem der Widerlager und ist so ebenfalls ausreichend geschützt. Die Laserstation wurde im Bereich der Gewässerschutzanlage auf einem gesondert errichteten Betonsockel montiert.

In diesem Zusammenhang wird auf den zugehörigen Installationsplan des Monitoringsystems von Schimetta Consult ZT GmbH verwiesen.

4. Anordnung der Sensoren am Tragwerk

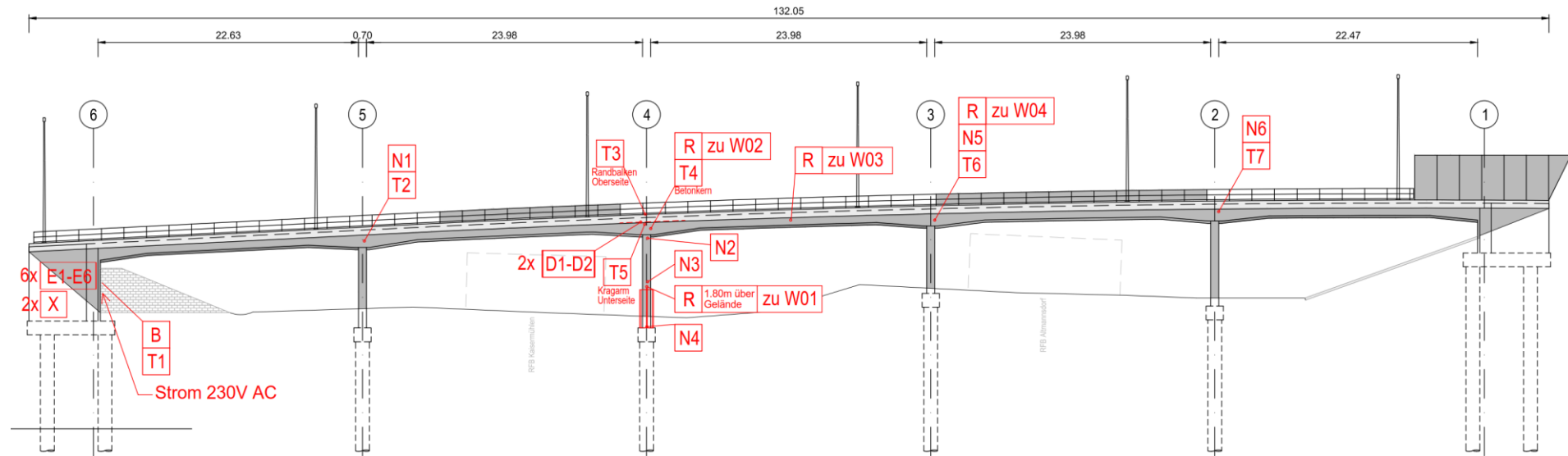


Abbildung 6: Anordnung der Sensoren am Tragwerk in der Ansicht

Legende	
L	Laser
R	Reflektorplatte
N	Neigungssensor
T	Temperatursensor
E	Erddrucksensor
X	Extensometer
D	Dehnungssensoren
B	Basisstation

Anmerkung:
 Richtigstellung und Änderungen zum letzten Bericht erfolgt!

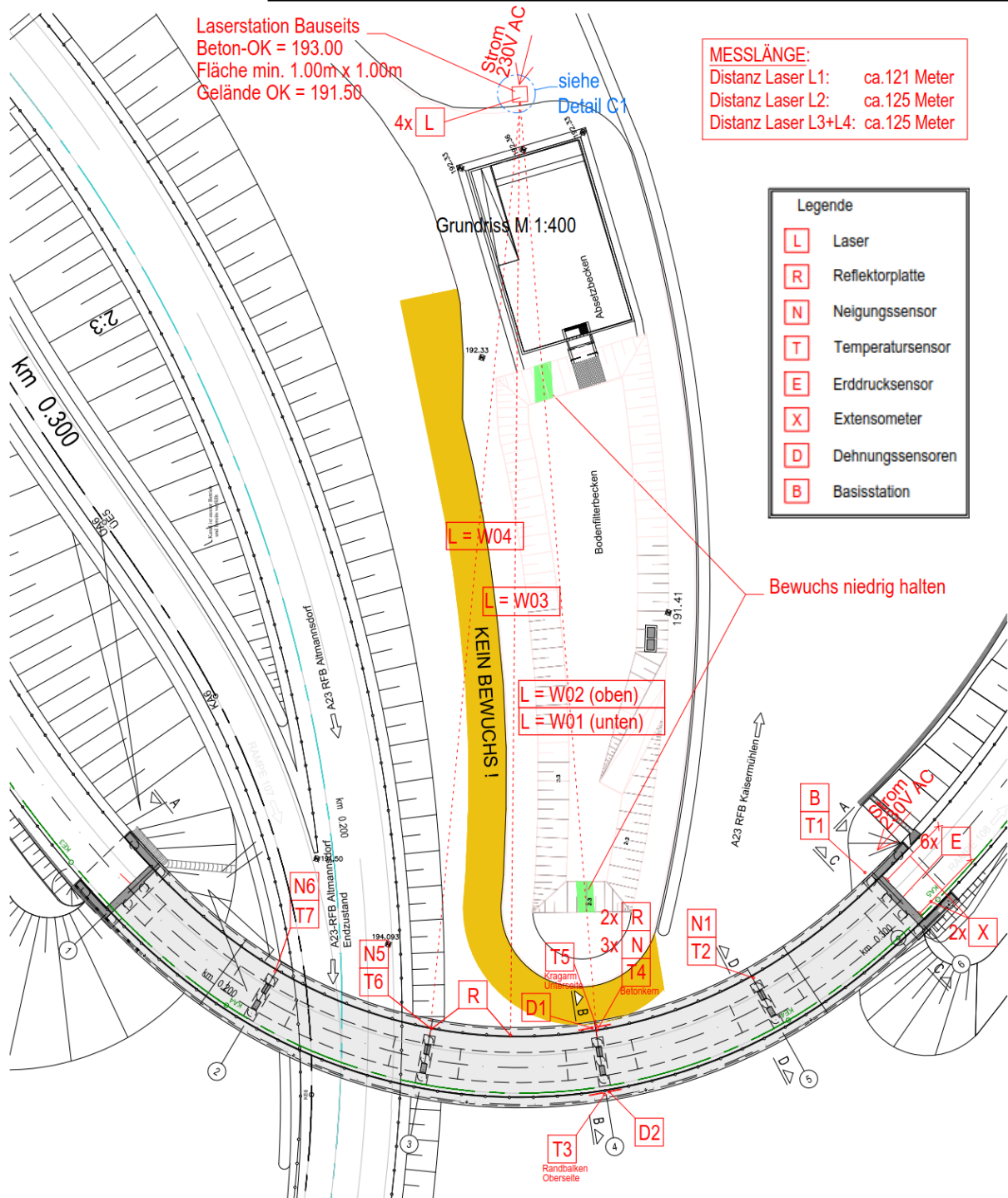


Abbildung 7: Anordnung der Sensoren am Tragwerk im Grundriss

Aufgrund von Sichtbehinderungen zur Achse 2 wurde zu Messbeginn die Reflektorplatte der Achse 2 zwischen die Achse 3 und 4 gesetzt (siehe Abbilung 7).

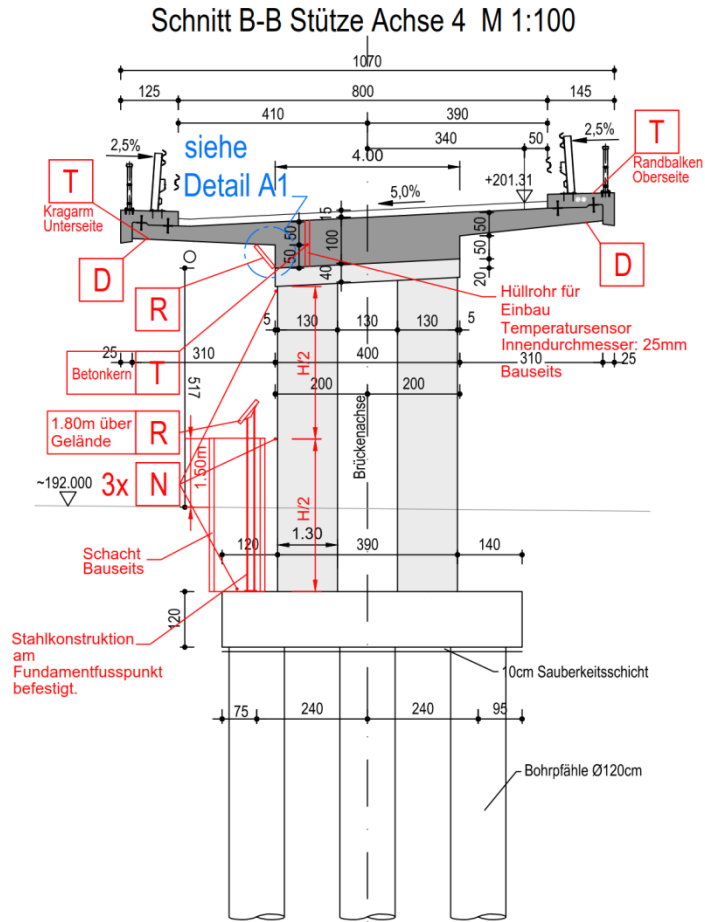


Abbildung 8: Anordnung der Sensoren am Tragwerk im Schnitt

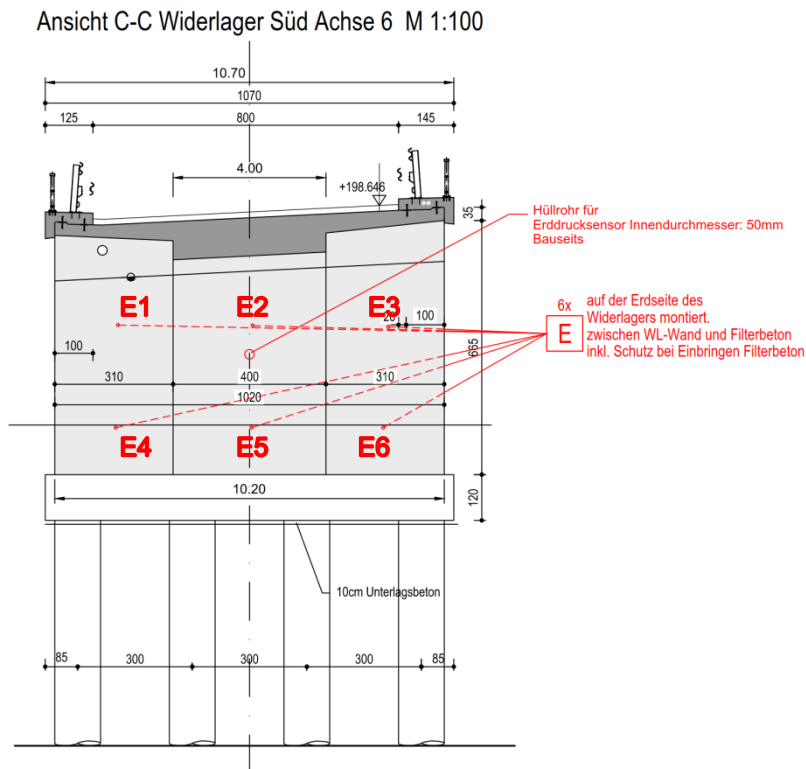


Abbildung 9: Anordnung der Sensoren am Widerlager

Messparameter	Sensorwahl	Anzahl
Messung achsialer Bewegungen	Lasersensor (L)	4
jahreszeitlicher Verlauf der Temperatur für das Tragwerk	Temperatursensoren (T)	7
Geometrische Verformungen des Objekts	Neigungssensoren (N)	6
Dehnungen und Stauchungen aufgrund der Bogenförmigen Grundrissform	Dehnungssensor (D)	2
Bewegung und eventuell Verdrehung des Widerlagers	Extensometer (X)	2
Pressungen hinter Widerlager	Erddrucksensor (E)	6
GESAMTANZAHL AN SENSOREN		27

5. Monitoringsystem und Datenmanagement

Um die Anforderungen aus der Praxis in Hinblick auf die unterschiedlichsten Messaufgaben bei Bauwerken zielführend abzudecken, wurde ein BUS-System mit lokaler A/D Wandlung ausgewählt. Das offene Konzept ermöglicht grundsätzlich einen Einsatz mit den unterschiedlichsten Sensortypen und eröffnet so der Bauwerksüberwachung viele neue Anwendungsgebiete da einerseits statische Messungen mit niedrigen Abtastraten als auch dynamische Messungen mit sehr hohen Abtastraten von mehreren kHz möglich sind. Im folgenden Abschnitt werden die maßgebenden Bauteile, welche bei der Konzeption des Messsystems ausgewählt wurden, erläutert.

5.1. Messzentrale

Das System verbindet die Vorteile eines Feldbus- und eines zentralen Messsystems, welches eine Synchronisation aller Sensoren mit einer Genauigkeit von 10 µs ermöglicht. Diese hohe Genauigkeit ist insbesondere bei der Durchführung von dynamischen Messungen erforderlich. Das Kernstück der Anlage ist ein Linux-Server, welcher die Messdaten der (digitalen) Sensoren aufzeichnet und synchronisiert. Datenerfassung (bis zu 1 kHz Sampling) und Synchronisierung wird durch spezielle Echtzeitlogger durchgeführt, welche an den Server über Ethernet Verbindung angeschlossen sind. Die Datenlogger können daher in unmittelbarer Nähe zum Server oder an einer beliebigen Stelle des Bauwerks angeordnet werden.



Abbildung 10: Messzentrale im Widerlager (Achse 6)

Die Daten werden auf der Festplatte des Brückenservers gespeichert, wobei ein spezielles sehr kompaktes Datenformat angewendet wird. Der Transfer aller Messdaten erfolgt über eine GSM/GPRS Verbindung mit FTP und TCP/IP. Eine Konfigurationsdatei ermöglicht die Anpassung der Aufzeichnungsdauer für jede Messung, die Wahl des Datenformates, eine auslösergesteuerte oder kontinuierliche Betriebsart, den automatischen Datentransfer zu einem anderen FTP Server und viele weitere zusätzliche Optionen.

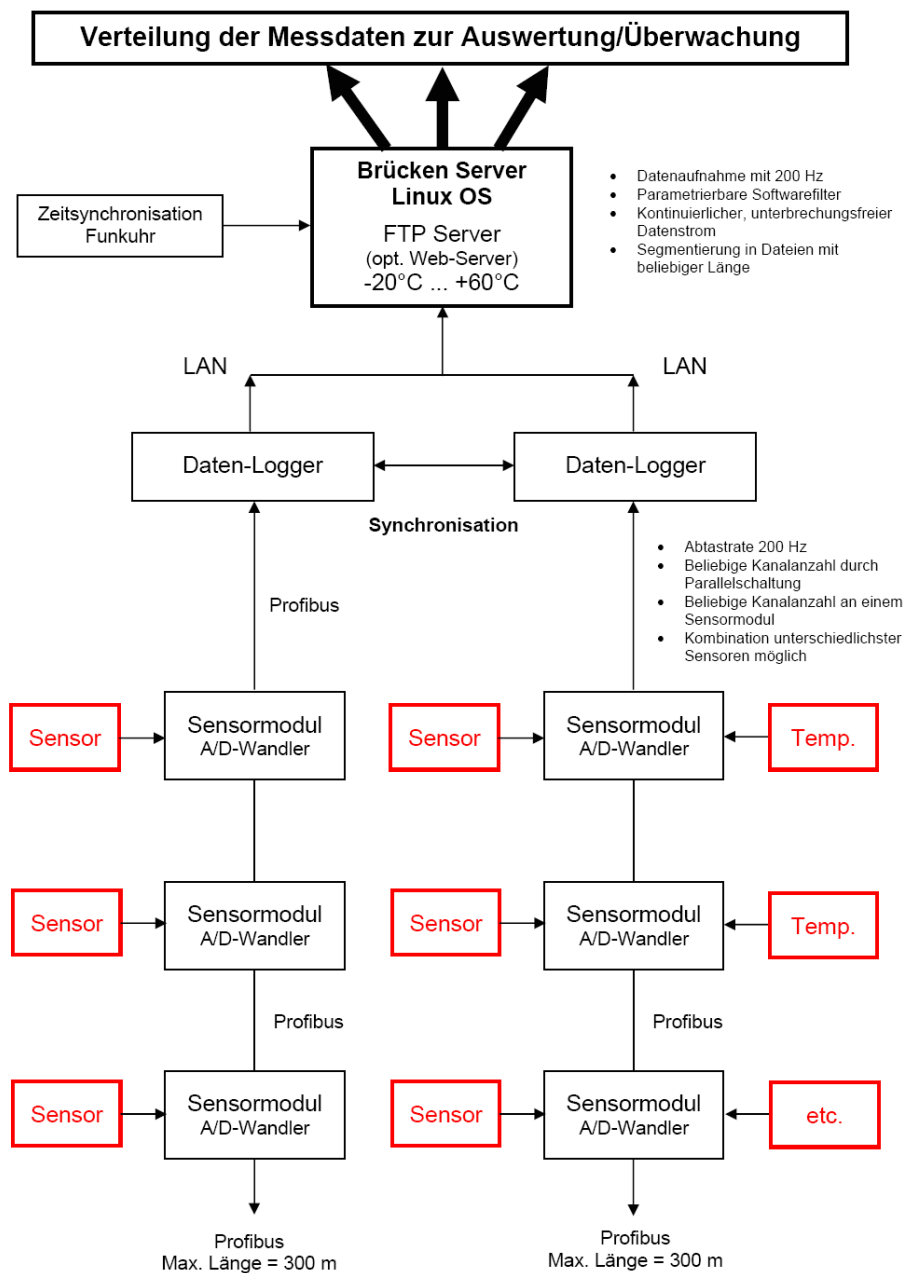


Abbildung 11: Architektur des Monitoringsystems

Eine digitale Sensoreinheit besteht entsprechend Abbildung 11 aus einem Sensor sowie einem 19 Bit A/D Konverter in einem sehr robusten Stahlgehäuse. Die Länge des analogen Datenkabels zwischen Sensor und A/D Wandler ist damit kurz, wobei die großen Entfernungen bis zur Basisstation über ein digitales Bus-Kabel geführt werden. Eine Störungsanfälligkeit gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern ist durch diese Systemkonzeption praktisch nicht gegeben.

5.2. Laser Sensoren

Typ: Dimetix DLS-BH15

Um die Veränderung der Längenänderungen zu überwachen, wird ein berührungsloses Messsystem basierend auf Laser-Distanz Sensoren eingesetzt. Dabei kommt ein Lasersensor zur Anwendung.

Dieser weißt folgende technische Daten auf:

Technische Daten	
Typische Messgenauigkeit	$\pm 1,5 \text{ mm}$
Messbereich auf natürliche Oberflächen	0,05 bis ca. 65 m
Messbereich auf reflektierende Zieltafel	0,05 bis 500 m
Durchmesser des Laserpunktes:	
10 m Entfernung	8 mm
50 m Entfernung	25 mm
100 m Entfernung	40 mm
Messzeit:	
Einzelmessung	0,2 s
Dauermessung	0,15 s
Speisespannung	DC 9V bis 30 V
Stromverbrauch	max. 140 mA bei 24 V
Temperaturbereich:	
Einzelmessung	-10 °C bis 50 °C
Dauermessungen	-10 °C bis 45 °C

Der Laser ist in vorliegender Anwendung nicht für Dauerbetrieb konfiguriert, sondern nimmt in regelmäßigen Intervallen von etwa 5-10 Sekunden einen Messwert auf. Softwareseitig wird im Anschluss mit Hilfe von Verfahren wie z.B. Mittelwertbildungen und Ausreiserfiltern eine Messgenauigkeit erzielt, welche weit über die typische Größenordnung hinausgeht und trotz Reduktion noch immer eine ausreichende Anzahl an Messwerten übrigbleibt. Zusätzlich führt der nicht dauerhafte Betrieb zu einer Schonung des Lasers um eine möglichst lange Lebensdauer zu gewährleisten.

Grundsätzlich kann mit diesen Sensoren auf alle opaken Materialien gemessen werden, wenn diese keine spiegelnden Oberflächen besitzen. Da im Falle der B2309 am Objekt selbst kein eindeutiger Messpunkt festgelegt werden konnte, wurde auf Basis der bisherigen Erfahrungen entschieden Reflektorplatten einzusetzen. Diese wurden gemäß Planunterlagen am Objekt platziert.

Um einen ausreichenden Witterungsschutz sowie Vandalismusschutz der Laser zu gewährleisten wurden diese in einem stabilen Gehäuse montiert und mit dem Betonsockel verschraubt. Um die Zieleinrichtung besser zu ermöglichen werden Montageplatten unter den Lasern eingesetzt, welche jederzeit eine feine Justierung über Stellschrauben ermöglichen.

Die eingesetzten Geräte sind der Laserklasse 2 zuzuordnen. Geräte der Klasse 2 besitzen einen sichtbaren Laser mit kleiner Leistung ($< 1 \text{ mW}$). Eine Schädigung des Auges ist dabei nur möglich, wenn man für eine lange Zeitperiode ($> 15 \text{ Minuten}$) direkt in den Laserstrahl schaut. Dabei ist zu beachten, dass im Normalfall – wenn helles Laserlicht in die Augen trifft – die Augen reflexartig geschlossen werden. Dieser Reflex schützt vor einer Beschädigung der Augen durch Laser der Klasse 2. Weitere Vorkehrungen wurden daher diesbezüglich nicht getroffen.



Abbildungen 12: Laserstation bei B2309



Abbildungen 13: Anordnung der Reflektorplatte in Achse 4

5.3. Temperaturlaufnehmer

Typ: Jumo 902103, PT100

Für alle Temperaturmessungen werden Aufnehmer eingesetzt, welche als Variante zum Einbohren als auch für Oberflächenmessungen erhältlich sind. Die Sensoren sind Temperaturfühler, die auf Widerstandsänderung von Platin unter Temperatureinfluss basieren. Es handelt sich damit um Widerstandsthermometer vom Typ Kaltleiter.



Abbildung 14: *Temperaturlaufnehmer T3 im Randbalken*

Zur Temperaturmessung wird die elektrische Widerstandsänderung eines Platindrahtes oder einer Platinschicht genutzt. Die Platin-Temperatur Sensoren werden durch den Nennwiderstand R_0 bei einer Temperatur von 0 °C charakterisiert. Ein PT 100 Sensor weist damit einen Nennwiderstand von 100 Ohm auf. Der Vorteil einer Standardisierung des Nennwiderstandes und der Widerstandsänderung liegt in der leichten Austauschbarkeit der Temperaturfühler, ohne dass nach Austausch eine Neukalibrierung der Messkette erforderlich wird.

Die Installationsorte der Temperaturlaufnehmer sind im zugehörigen Plan des Bauwerksmonitoring-systems erkennbar. Ziel ist es dabei die Temperaturen zwischen massiven Bauteilen wie den Betonkern des Tragwerkes und filigraneren Bauteilen wie dem Kragarm zu messen. Des Weiteren ist zwischen schattenseitigen Bauteilen und Bauteilen mit direkter Sonneneinstrahlung wie dem Randbalken zu unterscheiden.

5.4. Neigungssensor

Typ: Seika NG2

An ausgewählten Punkten des Objektes sind Neigungssensoren (Inklinometer) eingebaut worden, welche Aufschluss über die geometrischen Lageänderungen des Tragwerks geben. Die Sensoren wurden dabei an ausgewählten Bereichen der Stützen angebracht, um die aus der Längenänderung ausgehend vom Bewegungsruhepunkt verursachten Neigungsänderungen und Querverdrehungen zu überwachen. Die genaue Lage der Sensoren sind dem beiliegenden Monitoringplan zu entnehmen.

Generell stellt ein Neigungssensor die Neigung, also die Abweichung von einem horizontal oder vertikal festgelegten Bezugswert, dar. Im Regelfall handelt es sich dabei um ein feinmechanisches oder elektrisches Messgerät, wobei aus Gründen der Dauerhaftigkeit und Betriebssicherheit einer elektronischen Ausführung der Vorzug gegeben wird. Gerade unter den bei Monitoringprojekten vorherrschenden rauen Betriebsbedingungen haben sich mechanische Sensoren bisher nicht bewährt.



Abbildung 15: Darstellung Neigungssensors N6 in Achse 2

5.5. Erddruckgeber

Typ: GLÖTZL EE KE 10/20

Ein ebenfalls wichtiges Kriterium für das Messsystem ist die Wahl der entsprechenden Aufnehmer zur Erfassung der Erddrücke. Diese Sensoren stellen im Wesentlichen Spannungsaufnehmer dar, welche in einer elektrischen Ausführung mit hydraulischem Druckkissen und Drucksensor ausgerüstet sind.

Der elektrische Spannungsaufnehmer eignet sich grundsätzlich zur Messung von Erddruck, Schalungsdruck während des Betoniervorganges, Beton- und Fugendruck bis zu einer Druckhöhe von maximal 600 bar. In einem Druckkissen, das an einen elektrischen Aufnehmer angeschlossen ist, befindet sich im geschlossenen System eine Hydraulikflüssigkeit (Öl oder Quecksilber je nach Anwendungsgebiet). Bei Belastung des Druckkissens wird der entstehende Hydraulikdruck auf die Membrane des elektrischen Aufnehmers übertragen und in eine Spannung proportional zur Belastung gewandelt.



Abbildung 16: Elektrischer Erddruckgeber, Kissengröße 10/20 cm, Ausbildung A

Je nach Anwendungsbereich ist dieser Erddruckgeber mit unterschiedlichen Druckkissengrößen in rechteckiger oder kreisrunder Form erhältlich. Diese Größen reichen von Durchmesser 120 mm bis zur rechteckigen Ausbildung mit maximal 400 mm x 400 mm Kantenlänge.

Entsprechend der Messaufgabe ist der Spannungsaufnehmer in verschiedenen Ausführungen erhältlich, welche bereits bei der Bestellung festgelegt werden mussten. Die Modelle unterscheiden sich wie folgt:

- EB Betonspannungs- und Fugendruckgeber
- EE Erddruckgeber
- ES Schalungsdruckgeber
- EX Sonderausführungen je nach Anforderung

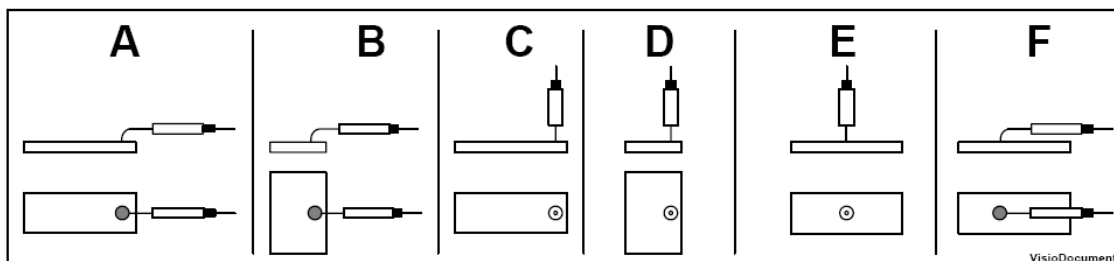
In Abhängigkeit vom erwarteten Druck waren der Messbereich der Geber, sowie die Füllung zu wählen. Für einen E-Modul > 10.000 bar des umgebenden Materials sind Druckkissen mit Quecksilberfüllung, für einen E-Modul < 10.000 bar sind Druckkissen mit Ölfüllung heranzuziehen.

Je nach erwartetem Belastungsbereich der Geber sind ebenfalls unterschiedliche Konfigurationen festzulegen, um für den erwarteten Messbereich eine möglichst gute Auflösung der Messdaten zu erzielen. Im Falle der B2309 ist ein Belastungsbereich von 0 – 10 bar ausreichend. Dieser Bereich ermöglicht im unteren Messbereich die Erfassung von nur geringen Druckänderungen und sichert gleichzeitig auch die Messung von Erddrücken im Umfeld des maximalen passiven Erddruckes.

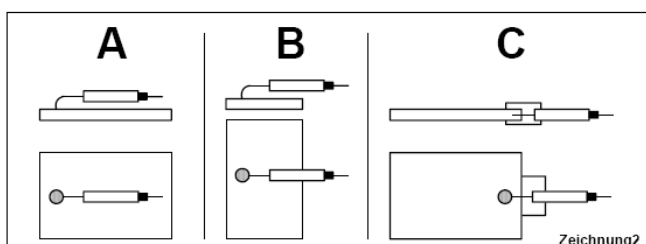
Ausführungen sind von 0 – 2 bar als untere Grenze sowie maximal 0 – 600 bar als obere Grenze erhältlich. Folgende Ausführungsformen der Erddruckgeber sind erhältlich, wobei für die B2309 die Konfiguration „A“ mit einer Druckkissengröße von 10 x 20 cm gewählt wurde.

Die eingesetzten Sensoren weisen folgende technische Daten auf:

Technische Daten	EEKE10/20A
Versorgung	Konstantstrom 1 mA
Versorgung optional	4 mA oder 10V DC
Ausgangssignal	0 – 250 mV
Überlastsicherheit (1 – 50 bar)	50 % v. E.
Linearität einschl. Hysterese	< 0,5 % v. E.
Linearität einschl. Hyster. optional	< 0,1 % v. E.
Thermische Nullpunktverschiebung	0,025 mV/K
Arbeitstemperaturbereich	-15 bis +80 °C
Lagertemperaturbereich (trocken)	-40 bis +100 °C
Langzeitdrift temperaturabhängig (bei 0 °C bis 50 °C), typ.	0,25 mV
Resonanz	> 30 KHz
Messfrequenz	1 KHz
Ausbildung	A
Druckkissengröße	10/20 cm
Druckkissenfüllung	Ölfüllung
Messbereich	0 – 5 bar



bei Druckkissengrößen 20/30 und größer



bei Druckkissengröße 40/40

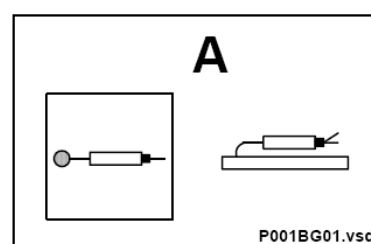


Abbildung 17: Ausführungsformen der elektrischen Erddruckgeber



Abbildung 18: Montage der Erddruckgeber im Widerlager Achse 6

5.6. Extensometer

Typ Glötzl GKSE

Aufgabe des Extensometers ist Längenänderungen (Extensions) in Längsachse des Messgerätes aufzunehmen. Diese sind bei der B2309 beim talseitigen Widerlager im Einsatz, um einerseits die Werte der Erddruckgeber zu verifizieren und andererseits, um mögliche Verdrehungen des Widerlagers aufgrund der gekrümmten Grundrissform der B2309 zu erfassen.

Folgende Grundlagen werden durch die eingesetzten Sensoren erfüllt:

Technische Daten – Stangenextensometer:

		GKSE 16	GKSE 12
Empfohlene Einbaulage maximal ausgeführt		100 (250)	30 (50)
1.1	Extensometergestänge Glasfaserseele mit Kunststoff-umhüllung, thermischer Ausdehnungskoeffizienten $5 \times 10^{-6} / K$	Ø11 mm	Ø7 mm
1.2	Hüllrohr PEHD	Ø16x2 mm	Ø12x2 mm
1.3	Messstrecke Standard min. 1m	max. 100 m	max. 30 m
1.4	Nachstellbereich des Messanschlag	+/- 60 mm	+/- 25 mm
1.5	Übertragungsgenauigkeit	1 – 20 m	0,02 mm
		bis 50 m	0,10 mm
		bis 100 m	0,30 mm
1.6	Extensometerkopf	SW 27	SW 17
1.7	Montageplatten 2 – 13 fach in versenkbarer und aufgesetzter Ausführung		
1.8	Erforderlicher Bohrdurchmesser (lichter Einbaudurchmesser) ohne Berücksichtigung von Injektions- und Belüftungsleitungen	1	≥ 35 mm
		2-3	≥ 60 mm
		4	≥ 86 mm
		5-7	≥ 101 mm
		8-13 fach	≥ 131 mm
1.9	Gewicht Extensometergestänge, PEHD-Hüllrohr und Glasfaserseele, 1m =	0,3 kg	0,2 kg

Abbildung 19: Auszug Datenblatt der Stangenextensometer von Glötzl Bautechnik

Technische Daten – Ableseeinheiten:

Tiefenmaß mit Nonius, Messbereich 50 mm
Auflösung 0,1 mm

Zubehör: Schlüssel für Kontermutter, Verstellwerkzeug für Messanschlag

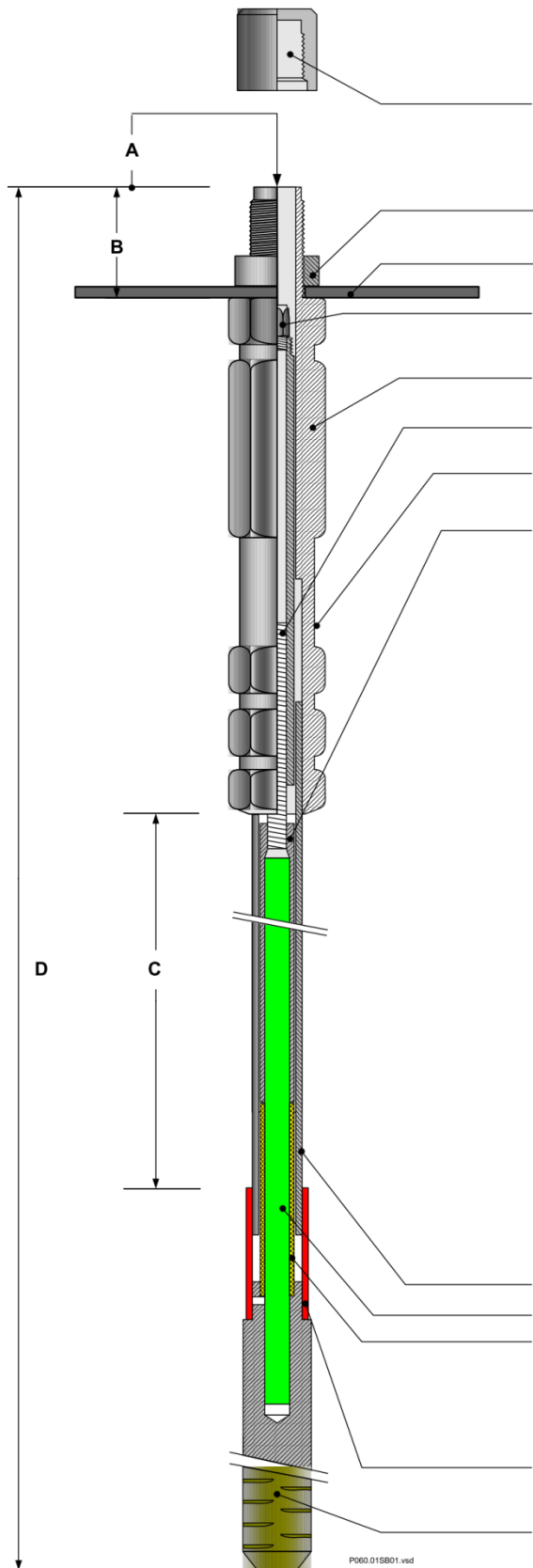
Mechanische Messuhr, Messbereich 30 mm
Auflösung 0,01 mm

Zubehör: Eichnormal, Schlüssel für Kontermutter, Verstellwerkzeug für Messanschlag, Transportkoffer

Digitales Anzeigergerät, Messbereich 50 mm
Auflösung 0,01 mm

Zubehör: Eichnormal, Schlüssel für Kontermutter, Verstellwerkzeug für Messanschlag, Transportkoffer

Abbildung 20: Auszug Datenblatt der Stangenextensometer von Glötzl Bautechnik



	GKSE 16	GKSE 12
Schutzkappe	Ø 26 mm	Ø 20 mm

Messkopf:

1. Kontermutter		
2. Montageplatte für Ein-/ Mehrfachköpfe		
3. Messanschlag verstellbar mit Verstellhülse	+/- 60 mm	+/- 25 mm
4. Extensometerkopf, Sechskant, SW =	27 mm	17 mm
5. Gewindestange	M 8	M 5
6. Eindrehungen für Betonverbund		
7. Verbindungshülse		

A. MESSPUNKT

Messung manuell	
1. Tiefenmaß mit Nonius, Auflösung	+/- 0,1 mm
2. Mechanische Messuhr, Auflösung	+/- 0,01 mm
3. Elektrischer Wegaufnehmer mit Digitalmessgerät	0 - 250 mm
Fernmessung	50 / 100 und 250 mm
4. Elektrische Fernmessung mit Wegaufnehmer	0 - 1.000 mm Standard

B. Messweg verstellbar mit Gewindestange

Glasfaserstab und PEHD Hüllrohr Wickeldurchmesser 1 m	+/- 60 mm
---	-----------

C. Messgestänge

Gesamtlänge = Messlänge Mindestlänge 1 m, Maximallänge =	50 m	30 m
---	------	------

D. Abmessung

Messgestänge		
1. PEHD Hüllrohr	Ø 16 mm	Ø 12 mm
2. Glasfaserstab	Ø 9 mm	Ø 5 mm
3. Schutzüberzug	Ø 11 mm	Ø 7 mm

Ankerpunkt

1. Elastische Verbindung Hüllrohr - Anker		
2. Ankerstab Ø = Länge = aus Rippentorsteel	Ø 22 mm 500 mm	Ø 14 mm 500 mm

Abbildung 21: Aufbau eines Kunststoffstangen-Extensometers [von Glözl Bautechnik]

5.7. Dehnwegensensoren

Typ BDI Strain Transducer ST350

Der direkteste Ansatz zur Quantifizierung von Belastungsspannungen in einem Bauteil ist es die induzierten Spannungen mit hochgenauen Dehnungsaufnehmern aufzuzeichnen. Die Sensoren messen Spannungen auf Autobahnbrücken, Eisenbahnbrücken und anderen Strukturen, in denen eine kurzfristige Belastungsspannung wirken kann. Die Dehnungsaufnehmer können mit entsprechenden Verlängerungen sehr gut zur Messung an Stahlbeton-Bauwerken eingesetzt werden. Diese Geräte sind robust und daher auch für den Einsatz unter rauen Baustellenbedingungen geeignet.

Im vorliegenden Projekt wurden die Dehnwegensensoren vom Typ BDI ST350 an der Tragwerksunterseite in Achse 4 montiert. Dazu wurde beidseitig je ein Sensor im Bereich des jeweiligen Randbalkens verschraubt.

Die eingesetzten Sensoren erfüllen folgende Anforderungen:

Effektive Messlänge	76,2 (durch Verlängerung 500 mm)
Gesamtgröße	111 mm x 32 mm x 13 mm
Kabellänge	3 m als Standard, alle anderen Längen verfügbar
Material	Aluminium
Genauigkeit	± 2%, individuell auf NIST-Standards kalibriert
Belastungsbereich	Aluminium: ±4000 µε
Benötigte Kraft	ca. 76 N for 1000 µε:
Sensibilität	ca. 500 µε/mV/V
Gewicht	ca. 85 g
Schutz gegen Einflüsse in	Schutzhülle, auch wasserdicht
Temperatur	Bereich von -50°C bis 120°C (Arbeitsbereich)
Anbringungsverfahren	Befestigungsglaschen & Kleber, C-Klemmen, Schrauben für Mauerwerk oder Holz

5.8. Software

Die eigens für die jeweilige Messaufgabe konfigurierte Software kann unter Linux oder MS-Windows betrieben werden. Alle Daten werden auf der lokalen Festplatte des Servers in einer hierarchischen Struktur abgelegt. Bei kontinuierlichem Datenstrom erfolgt durch die spezielle Art der Datenverarbeitung keine Unterbrechung der Aufzeichnung. Die Zeitsynchronisation erfolgt über ein Echtzeitsignal, wobei ein NTP Signal (Network Time Protocol) herangezogen wird.

Alternativ zur kontinuierlichen Betriebsart ist es auch möglich, das System auslösergesteuert zu betreiben, wobei nur noch Messdaten aufgezeichnet werden, welche ein bestimmtes Schwellenwertkriterium erfüllen. Die Länge der Messung, die Aufzeichnungsdauer vor- und nach einer Schwellenwertüberschreitung sowie die entsprechenden Auslöserbedingungen können je nach Anforderungen eingestellt werden. Weiters ist es als Besonderheit möglich, das System in einer Kombination aus kontinuierlicher und auslösergesteuerten Aufzeichnung zu betreiben.

Die Software der B2309 ist so konfiguriert, dass über eine FTP Verbindung Messfiles einfach über den Explorer kopiert werden können. Die Datenformate sind weiters so vorbereitet, dass durch einen einfachen Befehl ein anhängen der folgenden Datenreihen zu einem Gesamtsignal möglich ist. Damit ist es ohne aufwändige Spezialprogramme möglich, die Messdaten des Tragwerks für gewünschte Zeiträume jederzeit darzustellen und allfällige Abweichungen zu interpretieren.

6. Wartung und Instandhaltung

Das Messsystem wird nach Installation und vollständiger Inbetriebnahme bis zum aktuellen Zeitpunkt betrieben und gewartet. In Summe ist dafür derzeit ein Zeitraum von 3 Jahre vorgesehen und alle erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten am Messsystem sind dabei miteingeschlossen. Alle eingesetzten Sensoren erfüllen grundsätzlich die Anforderungen an einen möglichst wartungsfreien und dauerhaften Betrieb.

Durch die bestehende Internetanbindung für den Datendownload ist eine Fernwartung des gesamten Messsystems möglich, wobei auch neue Softwareversionen für die Datenaufzeichnung und Datenmanagement jederzeit eingespielt werden können. Die Einrichtung des Online-Portals ermöglicht weiters jeden Nutzer, der im Besitz der Login-Daten ist, die vorhandenen Messdaten einzusehen und abzufragen.

Die Auslegung des Messsystems erfolgte so, dass der Wartungsaufwand möglichst minimiert wird. Alle Sensoren wurden im Bereich der Möglichkeiten und Sinnhaftigkeit in der Nähe der Basisstation montiert, um lange Verkabelungen zu vermeiden. Für Wartungszwecke ist einerseits die Basisstation zugänglich, als auch andererseits die Sensoren allenfalls unter Einsatz eines BIG.

In regelmäßigen Intervallen (halbjährlich) wird dem Auftraggeber laufend ein Zwischenbericht übermittelt, in dem die erzielten Messergebnisse zusammengefasst sind. Folgende Messberichte wurde bis dato erstellt:

- Messbericht Nr.1: 04/2016 - 12/2016
- Messbericht Nr.2: 04/2016 - 06/2017
- Messbericht Nr.3: 04/2016 - 12/2017
- Messbericht Nr.4: 04/2016 - 06/2018
- Messbericht Nr.5: 04/2016 - 12/2018
- Messbericht Nr.6: 04/2016 - 06/2019

In regelmäßigen Intervallen sollen die Ergebnisse auch mit den Annahmen der statischen Berechnung verglichen werden, um daraus allfällige Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die durchgeführten Wartungsarbeiten für 2017, 2018 und 2019 wurden protokolliert und sind dem Anhang A zu entnehmen. Hier folgt eine kurze Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten:

Wartungsprotokoll 2017:

- Wartungsarbeiten 1: laufende/allgemeine Wartung - 01/2017 bis 12/2017
- Wartungsarbeiten 2: Kontrolle Extensometer - 02/2017, Austausch Sensor Extensometer - 07/2017
- Wartungsarbeiten 3: Montageposition Neigungssensor 1 - 09/2017
- Wartungsarbeiten 4: Laser Wartung und Einstellung der Laser - 10/2017
- Wartungsarbeiten 5: Kontrolle Laser bei Tageslicht - 10/2017

Wartungsprotokoll 2018:

- Wartungsarbeiten 1: laufende/allgemeine Wartung - 01/2018 bis 12/2018
- Wartungsarbeiten 2: Richtigstellung Laserzuordnung - 01/2018
- Wartungsarbeiten 3: Kontrolle Extensometer - 02/2018
- Wartungsarbeiten 4: Montageposition Neigungssensor 1 - 02/2018

Wartungsprotokoll 2019:

- Wartungsarbeiten 1: laufende/allgemeine Wartung - 01/2019 bis 12/2019
- Wartungsarbeiten 2: Zugänglichkeits- und Sichtprüfung & Lasersituation - 03/2019

7. Messergebnisse

Nach Installation der zuvor beschriebenen Sensoren und Messtechnik wurde das System in Betrieb genommen. Der Nullabgleich erfolgte am 27.04.2016. Ab diesen Zeitpunkt startete die permanente Aufzeichnung der Messdaten. Zuvor wurden laufend Kalibrierungsarbeiten durchgeführt.

Der gegenständliche 7. Messbericht/ Schlussbericht zeigt alle Diagramme der aufgezeichneten Messdaten vom 27.04.2016 bis zum vereinbarten Stichtag am 31.12.2019 (Sensorbezeichnung gemäß Abbildung 6 und 7). Folgende Messergebnisse sind festzuhalten:

7.1. Temperatur

Die gemessene Tragwerkstemperatur zeigt seit Aufzeichnungsbeginn grundsätzlich den erwarteten Verlauf. Die aktuell stärkste Erwärmung erfolgte am 26. Juni 2019 mit ca. 38,5 °C (T3). Die bisher tiefste gemessene Temperatur trat Anfang März 2018 in einer starken Kälteperiode auf und betrug knapp -10,25°C unter null (T3).

Der Messverlauf zeigt, dass der Sensor (T3) in Tragwerksachse 3 (Randbalken Oberseite) stärker auf Temperaturschwankungen reagiert, da er gegenüber den Umwelteinflüssen exponierter ist. Der Temperaturverlauf der Sensoren (T2, T5, T6, T7) an der Bauteilunterseite bzw. der Temperaturverlauf im Bauteilkern (T4) unterliegt weniger starken Schwankungen.

Die Bauwerkstemperatur ist die wesentliche Grundlage für die Interpretation aller übrigen Messdaten, um zwischen gewöhnlichen (temperaturbedingten) und außergewöhnlichen Veränderungen der Messaufnehmer unterscheiden zu können.

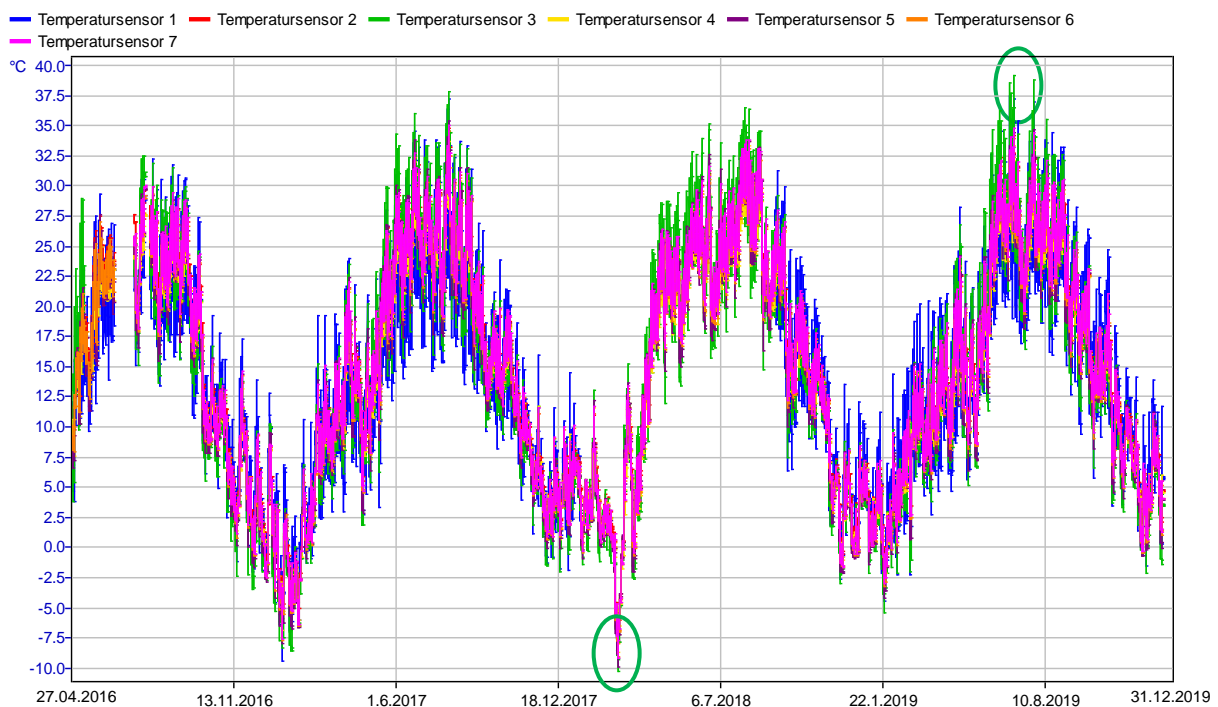


Abbildung 22: Temperaturverlauf über den Messzeitraum 27.04.2016 bis 31.12.2019

Im Zuge der Betrachtung der Nulllinie über die ca. 3,5 Jahre Messzeitraum zeigt sich eine leichte Steigung der Nulllinie. Dies kann ein Sensordrift des gesamten Systems bedeuten, ist aber auch auf die milden Winter der letzten 2 Jahre zurückführbar. Somit ist eine steigende Nulllinie bei allen weiteren Sensoren mit diesem Verhalten gleich zu setzen.

In der folgenden Tabelle sind alle Temperatursensoren und ihre Position angeführt:

Tabelle 1: Benennung und Position der Temperatursensoren

Sensor	Kürzel	Position
Temperatursensor_1	T1	Widerlager
Temperatursensor_2	T2	Kragarm Unterseite
Temperatursensor_3	T3	Randbalken Oberseite
Temperatursensor_4	T4	Betonkern
Temperatursensor_5	T5	Kragarm Unterseite
Temperatursensor_6	T6	Kragarm Unterseite
Temperatursensor_7	T7	Kragarm Unterseite

Für den bisherigen Beobachtungszeitraum der Bauwerkstemperatur vom 27.04.2016 bis zum 31.12.2019 sind folgende Temperaturgradienten bei den einzelnen Temperatursensoren aufgetreten, wobei die Angabe bezogen auf eine fiktive Mitteltemperatur erfolgt:

Tabelle 2: Temperaturgradienten aller Sensoren

	Minimum in °C	Minimum Zeitpunkt	Maximum in °C	Maximum Zeitpunkt	Temperaturgradient in °C	fiktiver Mittelwert in °C
T1	-9,50	11.01.17 04:01	37,50	26.06.19 18:50	23,50	13,75
T2	-8,00	01.03.18 07:40	34,75	03.08.17 18:10	21,25	15,50
T3	-10,25	01.03.18 07:40	39,00	01.07.19 16:59	24,75	14,25
T4	-8,75	01.03.18 07:40	33,75	03.08.17 17:50	21,25	14,50
T5	-10,00	01.03.18 07:40	35,50	03.08.17 17:50	22,75	14,50
T6	-9,00	01.03.18 07:40	34,50	03.08.17 17:40	21,75	14,75
T7	-9,25	01.03.18 07:40	35,00	03.08.17 16:59	22,00	14,75

Der Temperatursensor T7 konnte erst im Juli 2016 in Betrieb gehen. Grund dafür war die Verkehrsführung auf der Baustelle. Es konnte der A/D Wandler der Achse 2 nicht mit dem Rest der Messanlage verbunden werden. Ab 13.Juli 2016 sind die Messdaten vorhanden.

Der Temperatursensor T1 wurde repariert und ist mit 10.09.2018 wieder in Betrieb gegangen. Daher hat von 14.01.2018 bis zum 10.09.2018 am Temperatursensor 1 keine Aufzeichnung stattgefunden.

7.2. Horizontale Verformungen der Brücke

Die Lasersensoren sind zeitversetzt zum restlichen Monitoringsystem Mitte August 2016 in Betrieb gegangen. Von der Laserstation zielen die vier Lasersensoren W01 bis W04 mit einer mittleren Messlänge von ca. 123m auf die am Tragwerk/Pfeiler befestigten Reflektorplatten. Laser W01 zielt dabei auf die Reflektorplatte in Achse 4 unten, wo sich eine Stahlkonstruktion befindet, welche am Fundamentfußpunkt befestigt ist. Laser W02 misst die Distanz auf die Reflektorplatte die in Achse 4 oben am Tragwerk befestigt ist. Der Laser W03 zielt auf jene Platte, die zwischen Achse 3 und 4 montiert wurde und der Laser W04 zielt auf die Reflektorplatte in Achse 3.

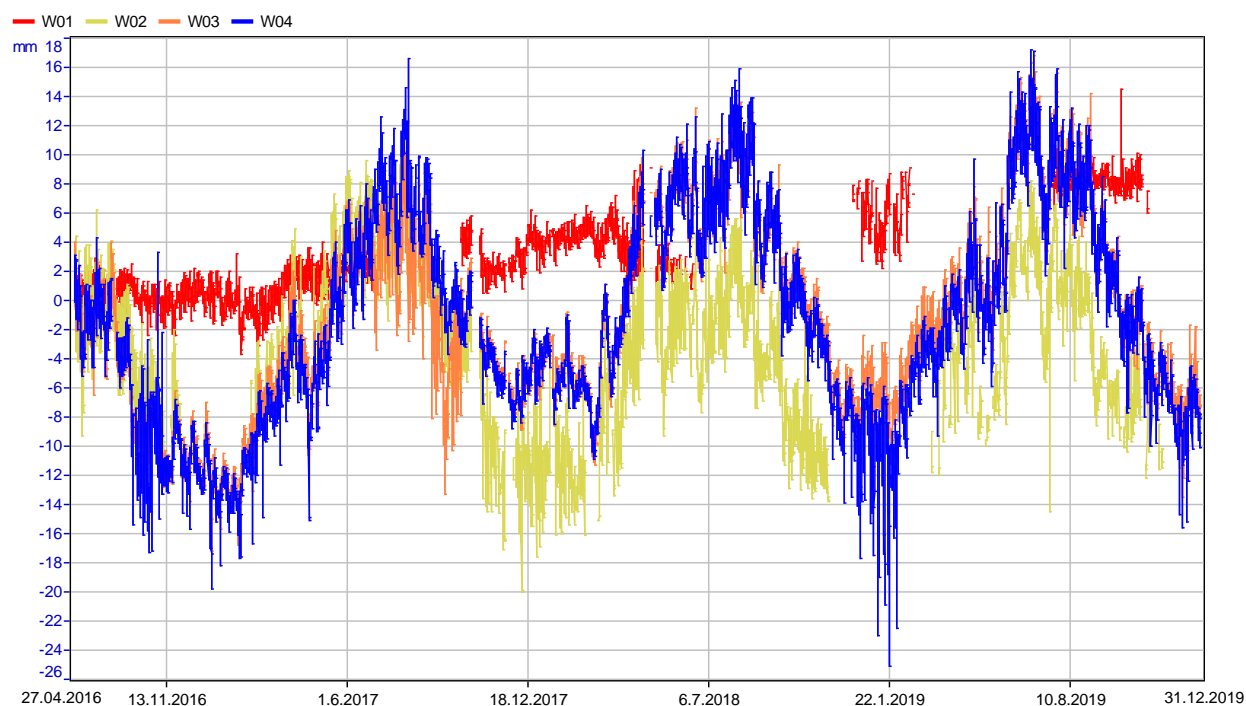


Abbildung 23: Längenänderungen über den Beobachtungszeitraum

Wie in vorhergehenden Messberichten angekündigt wurde im Zuge der Wartung versucht die Unklarheiten der Laseraufzeichnung in Bezug auf die Sichtverbindungen und gemessenen Werte klarzustellen. Dabei wurden die Pläne vereinheitlicht und eine strikte Nummerierung (W01-W04, vorher: L1, R2, W03) eingeführt. Mit mehrfacher Optimierung der Lasereinstellung konnten die Probleme in der Sichtbeziehung auf das Abspannkabel in Achse 4 eines Entwässerungsrohres beschränkt werden. Hier kann die Sichtverbindung nur bei Dunkelheit gehalten werden. Eine minimale Umsetzung der Reflektorplatte wurde daher empfohlen.

Wie im Wartungsprotokoll vom 16.01.2018 (siehe Anhang) beschrieben zielen die Laser 1 und 2 aus bisher ungeklärter Ursache nicht mehr auf die zugehörigen Reflektorplatten in Achse 4. Dies wurde bei einem weiteren Vor-Ort-Besuch am 13.03.2019 festgehalten, wie im Wartungsprotokoll im Anhang näher beschrieben. Ein Hauptwartungstermin zur Justierung der Laser und für das Versetzen der Reflektorplatte, bei welcher die Sichtbeziehung aufgrund eines Abspannkabels nicht lückenlos war, wurde empfohlen. Bisher wurden keine Wartungsarbeiten durchgeführt.

In den Messdaten zeigt sich deutlich die Verschiebung der Nulllinie für die beiden Lasersensoren W03 und W04 (siehe Abbildung 23). Diese entspricht einer Längenreduktion des Tragwerks. Der Laser W02, welcher ebenfalls diesen Trend zeigt war jedoch leider durch mehrmalige Sichtbehinderungen zur Reflektorplatte (Baustellenverkehr, Bewuchs, Erdaufschüttungen und Abspannkabel) in seiner Aufzeichnung gestört. Der Lasersensor W01, der nicht wie die anderen am Tragwerk oben misst, zeigt eine klare Verschiebung der Nulllinie. Es ist daher von einer bleibenden Verformung von bis zu 5 mm auszugehen, wobei es sich um eine Vergrößerung des Stichtmaßes handelt.

Somit wäre eine Wartung aller Laser und deren Reflektorplatten dringen anzuraten, wenn weiterhin Aufzeichnungen und Auswertungen erfolgen sollten. Hierfür ist die Zugänglichkeit zur Laserstation erforderlich (aktuell Gewässerschutzanlage eingezäunt und abgesperrt) und eine Verkehrsabsicherung einzurichten, um die Reflektorplatten zu versetzen. Vorab ist die Auftragsituation anzupassen, da die Bauarbeiten und somit die Subleistungen des AN Monitoring (Red Bernard) abgeschlossen sind.

In Abbildung 24 ist die Längenänderung in Korrelation mit der dargestellten Bauwerkstemperatur zwischen den einzelnen Achsen und Sensoren deutlich erkennbar. Wie zu erwarten folgen die Längenänderungen der einzelnen Lasersensoren dem jahreszeitlichen Temperaturverlauf. Der Trend ist eindeutig erkennbar. Weiter ist auch zu erkennen, dass der Laser W01, welcher am Brunnenschacht des Pfeilers 4 befestigt ist, kein deutlich erkennbares, temperaturabhängiges Ausweichen mitmacht. Die maximale Verschiebung wurde für den kompletten Messzeitraum bis Mitte des Jahres 2019 mit betragsmäßig ca. 41mm aufgezeichnet. Hierbei ist festzuhalten, dass Laser 04 aktuell Ausreißer beinhaltet, welche aktuell in der Auswertung berücksichtigt wurden. Geht man von Bewegungen von ca. 30mm bei maximal 40 Grad Temperaturveränderung aus, dann entspricht das linear betrachtet $0,75 \text{ mm/}^\circ\text{C}$.

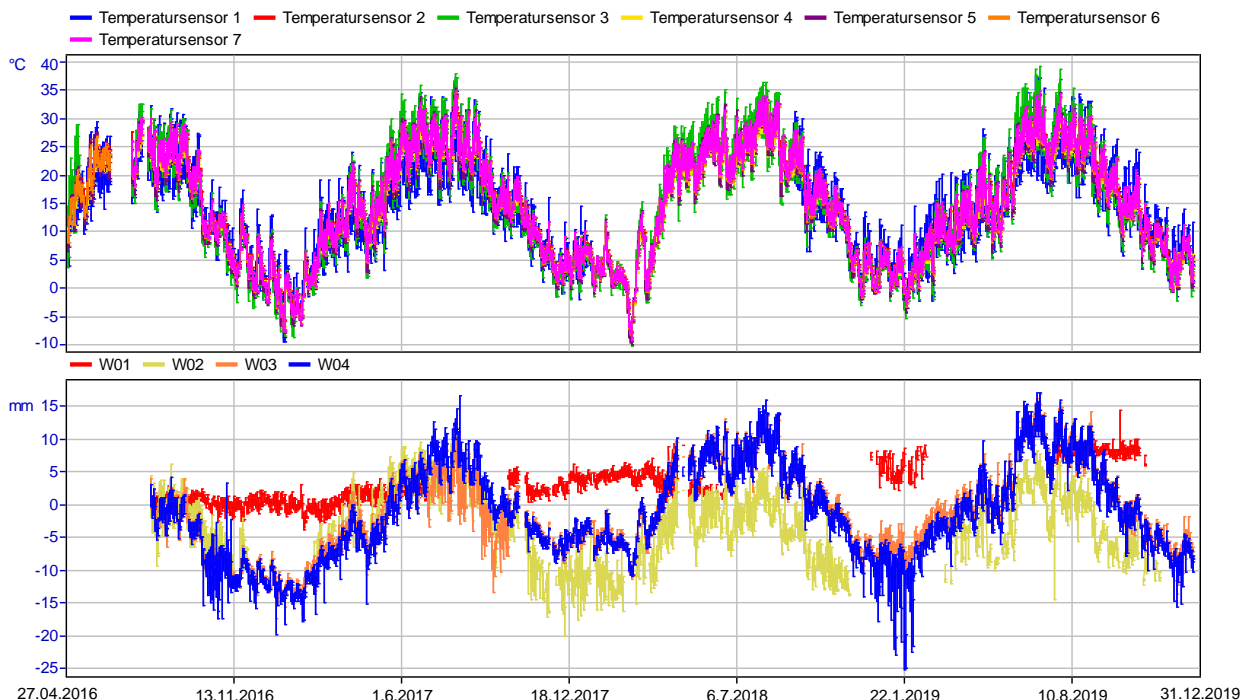


Abbildung 24: Längenänderungen im Vergleich mit Temperaturänderungen

Ergebnis:

Die Laser im Bereich der Tragwerksplatte zeigen eine deutliche Reaktion des Tragwerks auf die Temperatur. Gemäß der Planung erfolgt ein Ausweichen des Tragwerks im Bogenstich, was anhand der Daten eindeutig erkennbar ist. Das Tragwerk bewegt sich in den Bereichen Achse 3 und 4 bei Temperaturzunahmen von Winter bis zum Sommer 20 – 30 mm von den Laserpunkten weg. **Dabei ist eine bleibende Verformung erkennbar (Nulllinie der Messaufzeichnungen), welche eine bleibende Verformung von bis zu 5 mm anzeigt. Hier ist seitens Sensorhersteller eine Aussage erforderlich, ob es sich um einen Sensordrift handelt, oder ob es sich um eine bleibende Verformung handelt, was bedeuten würde, dass das Tragwerk um 5mm im Bogenstich nach außen gewandert ist.**

Der Laser am Fußpunkt zeigt geringe Bewegungen. Aktuell ist eine verbliebene Zunahme des Laserabstands von ca. 5 mm am Fußpunkt zu erkennen, was eher auf den Sensor und / oder die Unterkonstruktion der Reflektorplatte zurückzuführen ist und nicht auf eine dauerhafte Verschiebung der Fundierung. Im Abgleich mit der Neigung am Fußpunkt, zeigt sich eine minimale Bewegung der Fundierung, es kann aber kein Trend aus der Lasermessung abgelesen werden.

7.3. Extensometer Widerlager Achse 6

Die beiden Extensometer sind in die Widerlagerwand Achse 6 eingelassen. Extensometer 2, welcher mit Blickrichtung zur Widerlagerwand Achse 6 links angeordnet wurde, liefert ab dem Monitoringstart konstante Werte. Der Extensometer 1 wurde leider bei Bauarbeiten durch die Baufirma beschädigt und es kam Wasser in den Wegsensor. Dadurch konnte, nach einer entsprechenden Reparatur, der Sensor erst Ende August 2016 verwertbare Daten liefern. Die Reparatur konnte einen erneuten Wassereintritt in den Extensometer nicht verhindern und es wurde im Juli 2017 die Anordnung neuer austauschbarer Elemente für diesen Extensometer veranlasst. Es wurden im August 2017 die neuen Bauteile eingebaut. Ab Reparatur lieferte der Extensometer aber bei genauer Betrachtung und nach Datenaufbereitung nicht in der erwarteten Ausprägung die Werte, die aufgrund des alten Sensors zu erwarten wären. Eine Fehlersuche und gegebenenfalls ein Nachbessern war für März 2018 bestellt. Es wurde dabei festgestellt, dass keines der auswechselbaren Bauteile defekt ist. Der Fehler liegt daher am eingebauten Extensometer selbst. Beim letzten Wartungsbesuch war der betroffene Eingang bereits getauscht.

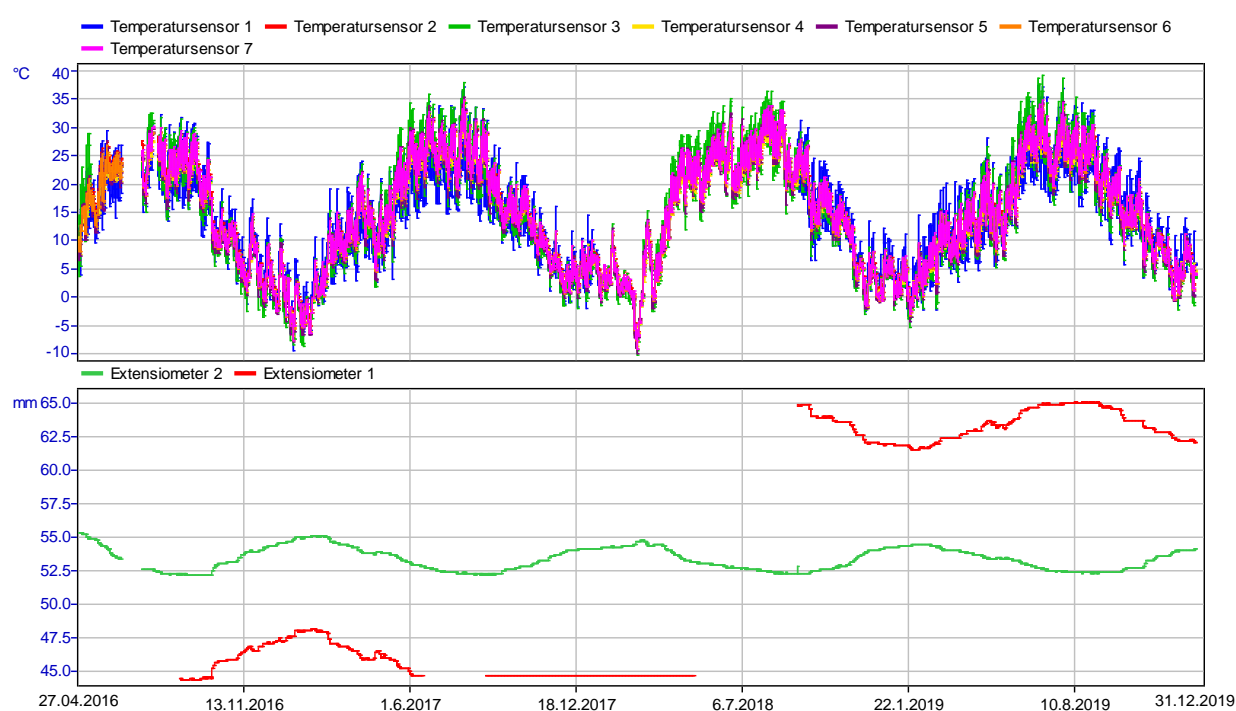


Abbildung 25: Extensometer im Vergleich mit der Temperaturänderung

Die Gegenüberstellung der Extensometer mit der Temperatur zeigt jedoch eindeutig die Abhängigkeit von Sommer- und Wintertemperaturen. Berechnet man zum Vergleich die Längenänderung einer geraden Brücke mit 132m Länge (Krümmung in die gerade gebracht) erhält man aus der Berechnung die Längenänderung:

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T = 1,2 \times 10^{-5} \times (132000/2) \times 22 \approx 17 \text{ mm}$$

α ... Wärmeausdehnungskoeffizient

L_0 ... ursprüngliche Länge (in diesem Fall $L_0/2$ da Festpunkt in der Mitte)

ΔT ... Temperaturänderung

Die Berechnung ergibt eine Längenänderung von ca. 17 mm. Die Extensometermessungen im Widerlagerbereich der Achse 6 zeigen wesentlich geringere Längenänderungen und wurden in diesem Messzeitraum mit einem maximalen Wert von ca. 3 mm aufgezeichnet. Es zeigt sich, dass die temperaturbedingten Längenänderungen zu einem horizontalen Ausweichen des Bauwerkes führen und nur ein kleiner Teil als Längenänderung wirksam wird.

In den Messdaten ist zu erkennen, dass der Extensometer 1 nach der Reparatur am 10.09.2018 wieder in Betrieb ging, aber seither ein Signal in umgekehrter Richtung misst. Wie in Abbildung 26 zu erkennen, haben beide Sensoren steigender Temperatur beide eine Bewegung in dieselbe Richtung (zum Erddamm hin) gezeigt, was auch den Erwartungen entsprach, da das Bauwerk bei Temperaturzunahme im Bogenstich ausweicht und das Widerlager teilweise verdreht und in Richtung des Damms gedreht wird. Dies zeigte sich auch in den vorhandenen Messdaten von Herbst 2016 – Frühjahr 2017.

Seit der Reparatur des Sensor X1 ist die Bewegung gegenläufig, was aus aktueller Sicht nicht nachvollziehbar ist. Hier wurde empfohlen Red Bernard zur Verifikation und gegebenenfalls Fehlerbehebung der aktuellen Problemstellung zu veranlassen, wobei auch die oben angeführte Ausprägung der Messungen vor und nach Reparatur verifiziert werden sollten. Die inverse Aufzeichnung der Messdaten und deren Größenordnung konnte bisher nicht abgeklärt werden.

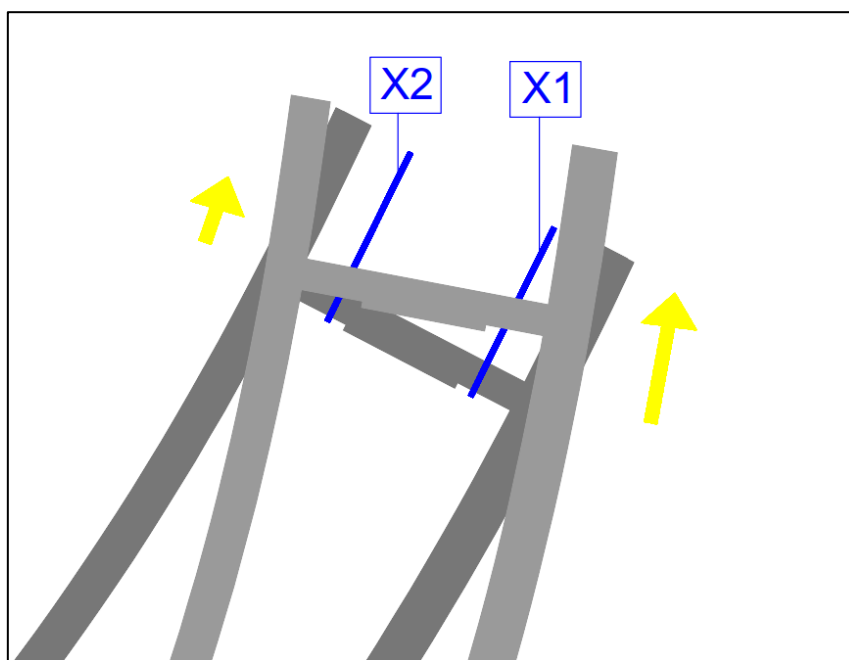


Abbildung 26: Beide Extensometer am Widerlager, Darstellung der erwarteten Bewegung bei Erwärmung (dunkel ursprüngliche Lage, hell Lage nach Verdrehung)

7.4. Erddruck Widerlager Achse 6

Die Aufzeichnungen zeigen Schwankungen des Erddruckes beim Sensor E1, E4, E5 und E6 von ca. 4,0 kN/m². Der Erddrucksensor E3 hatte zu Beginn eine etwas deutlichere Verschiebung der Nulllage als die übrigen Sensoren, was auf einen Sensordrift oder Konsolidierungen nach der Bauphase zurückzuführen sind. Anschließend stabilisierten sich die Messdaten und seither ergaben sich Schwankungen von ca. 4,5 kN/m².

Anzumerken ist, dass Sensordrifts durch die im Regelbetrieb auftretenden geringen Druckänderungen stärker zur Geltung kommt. Generell sind bei Langzeitmessungen Drifts einzelner Sensoren nichts ungewöhnliches. Der in der Mitte der Auflagerwand Achse 6 befindliche Erddrucksensor E2 weist die größten Schwankungen mit aktuell ca. 32,0 kN/m² auf.

Der Erddrucksensor E2 zeigt auch die Bewegungen der Temperaturschwankungen über den jahreszeitlichen Verlauf, während die restlichen Sensoren dieser Bewegung nicht oder kaum folgen. Dies entspricht nicht, den Bewegungen der Extensometer, daher ist zu vermuten, dass der direkte Druck auf die Sensoren selbst zu gering ausfällt.

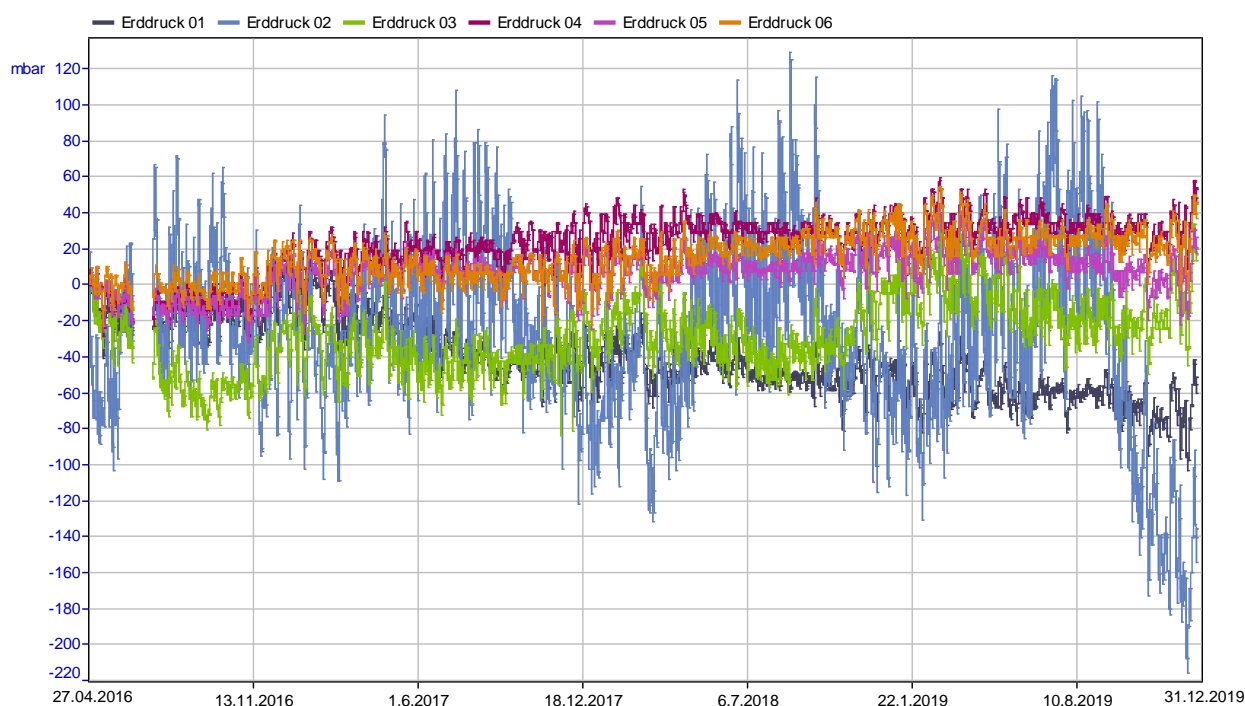


Abbildung 27: Erddruck über den Beobachtungszeitraum

Die berechnete Längenänderung aus Kapitel 7.3 (17 mm) ermöglicht die Berechnung eines teilmobilisierten Erdwiderstandes. Der aktive und der passive Erdwiderstand stellen zwei Grenzfälle dar, zwischen denen der tatsächliche Erddruck liegt. Bei einer Verspannung des Bodens spricht man vom sogenannten teilmobilisierten Erdwiderstand. Die Größe des teilmobilisierten Widerstandes hängt von der Wandverformung ab. Der Verlauf der zugehörigen Erddruckspannungen kann mit Hilfe einer Mobilisierungsfunktion rechnerisch abgeschätzt werden, in welcher u. a. die vorhandene Verformung und die Tiefenlage des betrachteten Punktes als Variable enthalten sind.

Nach der Mobilisierungsfunktion von Vogt kann wie folgt vorgegangen werden:

$$K_h = K_0 + (K_{ph} - K_0) \times \left(\frac{(v/z)}{(a + (v/z))} \right)$$

K_0 ... Erdruchdruckbeiwert

K_h ... Beiwert für den horizontalen Anteil des Erdwiderstandes

- v ... Wandverschiebung
z ... Tiefe (z=2,75m Lage Erddrucksensor E1, E2, E3; z=5,85 Lage E4, E5, E6)
a ... bodenabhängiger Parameter (z.B. a = 0,03 für dicht gelagerte Sande)

$$\sigma_{xx} = K_h \times \gamma \times z$$

Tabelle 3: Berechnung teilmobilisierter Erdwiderstand in Abhängigkeit der Tiefe

Kote z [m]	K_h	$\sigma_{xx} (K_h)$ [kN/m ²]
0,01	3,28	0,7
2,75	1,02	58,0
5,85	0,75	92,0
6,65	0,72	100,0

Tabelle 3 zeigt die tiefenabhängigen teilmobilisierten Erdwiderstände. Die Widerlagerwand hat eine Gesamthöhe von 6,65m und die Erddrucksensoren sind in den Tiefenstufen 2,75m und 5,85m angebracht. Die nur geringen Längenänderungen aus den Extensometermessungen von 3 mm wieder spiegeln sich auch in den Erddruckmessungen. Der Erddrucksensor E2 zeigt gegenüber dem letzten Messbericht eine weitere Erhöhung im gemessenen Erddruck auf bereits 32,0 kN/m². Im Vergleich dazu erhält man aus der Berechnung nach Vogt an selber Stelle 58,0 kN/m² (32,0 kN/m² ≤ 58,0 kN/m²). Im Vergleich dazu sind die Messwerte aller anderen Sensoren weitaus geringer (max. 4,5 kN/m²). **Dies bestätigt, dass offenbar der Erddruck nicht direkt an den Sensoren abgelesen werden kann (lokale Druckverhältnisse bei der Hinterfüllung wie E2 im Vergleich zu allen anderen Erddrucksensoren) oder die Längenänderung sich nur gering auf eine Widerlagerverschiebung auswirkt, wie bei den Extensometern ersichtlich.**

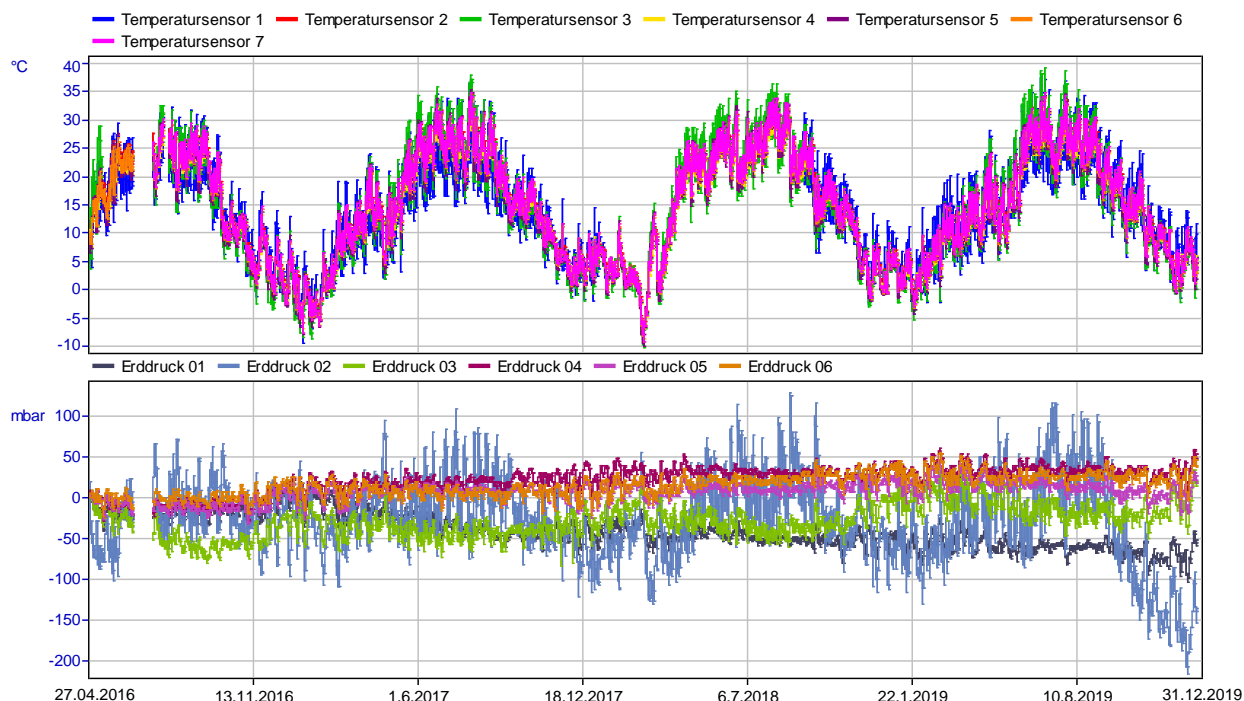


Abbildung 28: Erddruck im Vergleich mit Temperaturänderungen

7.5. Dehnungsmessungen Tragwerk

Mit Betondehnmessstreifen kann die Spannung im Tragwerk ermittelt werden. Es wurden zwei Beton-DMS inkl. 50 cm Verlängerung in Brückenlängsrichtung bei Achse 4 im Bereich des linken und des rechten Randbalken an der Tragwerksunterseite angebracht (nicht am Randbalken).

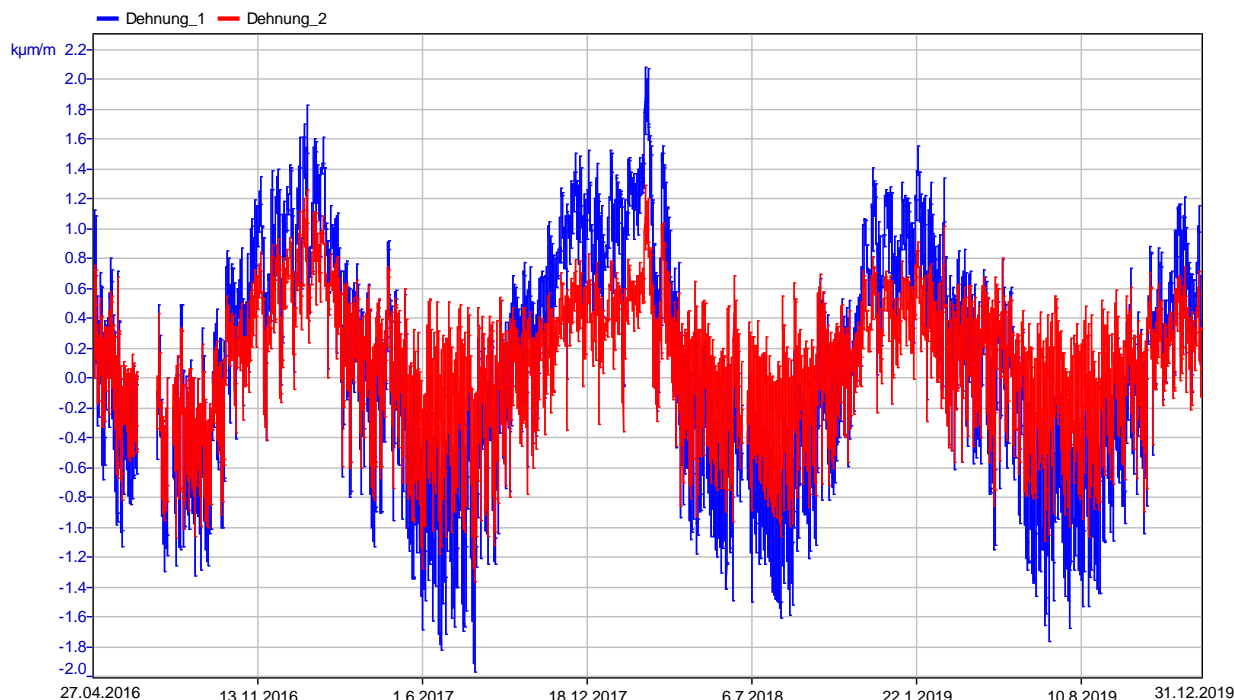


Abbildung 29: Betondehnungen über den Beobachtungszeitraum

Abbildung 29 zeigt gut die temperaturbedingte Stauchung und Dehnung der Beton-DMS. In den warmen Sommermonaten kommt es durch die nach außen gerichtete Normalkraft zu einer Dehnung des DMS und in den kalten Wintermonaten setzt die Stauchung ein. Ein seitliches Ausweichen ist bisher in den Dehnungen auf beiden Tragwerksrändern erkennbar.

Gemäß Lage und Größe der Brücke ist laut Planung bei Temperaturzunahme ein Ausweichen der Brücke nach außen zu erwarten und hat sich auch anhand der Lasermessungen dargestellt. Folglich müsste der innenseitige Sensor 1 eine Stauchung und der äußere Sensor 2 eine Dehnung aufzeichnen. Wie in Abbildung 30 zu erkennen führt eine Temperaturzunahme aber zu einer Stauchung beider Sensoren.

Dieser Effekt kann auftreten, wenn die Randfelder auf beiden Seiten Druck auf das mittlere Feld zwischen Achse 3 und 4 ausüben und es in diesem Abschnitt beidseitig zu einer Stauchung kommt, was auch bedeutet, dass Sensor 2 geringere Stauchungen aufweisen muss als Sensor 1, was zu erkennen ist.

Es wurde daher empfohlen diesen Punkt mit dem Planer im Detail zu klären, da dieser Umstand anhand der statischen Auslegung und Berechnungen des jahreszeitlichen Temperaturverlaufs nachvollzogen werden können. Ebenso kann hier der Sensorlieferant eine Aussage zur Messaufzeichnung, der Verkabelung und den Vorzeichen liefern, da mehrere unklare Vorzeichenergebnisse vorhanden sind (Extensometer, Neigungen). Bisher ist keine Abstimmung erfolgt.

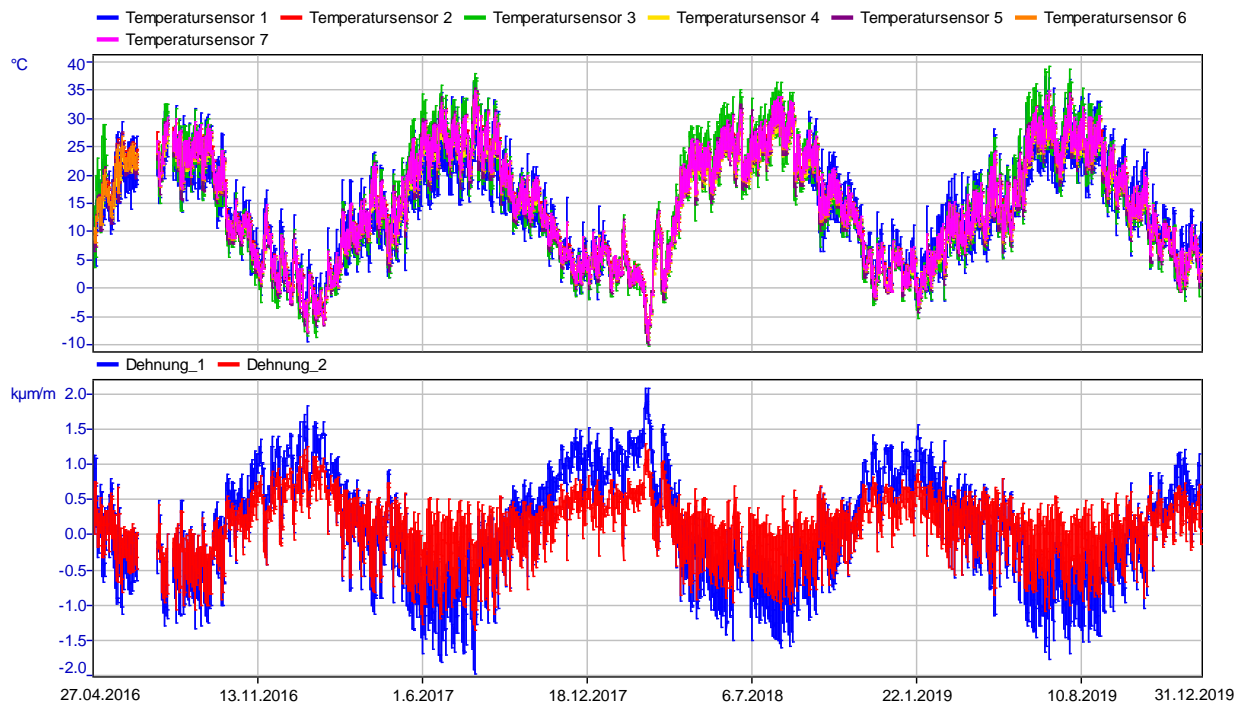


Abbildung 30: Betondehnungen im Vergleich mit Temperaturänderungen

7.6. Neigung am Tragwerk, Pfeiler und Fundament

Der Neigungssensor N1 ist am Tragwerk in der Achse 5 montiert. Der Sensor N2 ist am Tragwerk in Achse 4 befestigt. Die Sensoren N3 und N4 sind in der Mitte des Pfeilers und am Fundament, neben der Kopfplatte des Stehers Achse 4 montiert. Der Neigungssensor N5 wurde in Achse 3 und der Neigungssensor N6 wurde in Achse 2 des Tragwerks angebracht. Die Neigungssensoren messen in Brückenquerrichtung. Die positive Messrichtung der Neigungssensoren geht in Richtung der Richtungsfahrbahn Kaisermühlen bzw. Richtung Laserstation und die negative Messrichtung geht in die Richtung der Richtungsfahrbahn Altmanssdorf, also weg von der Laserstation.

Der Neigungssensor N6 konnte erst im Juli 2016 in Betrieb gehen. Grund dafür war die Verkehrsführung auf der Baustelle. Es konnte der A/D Wandler der Achse 2 nicht mit dem Rest der Messanlage verbunden werden. Ab 13. Juli 2016 sind die Messdaten vorhanden.

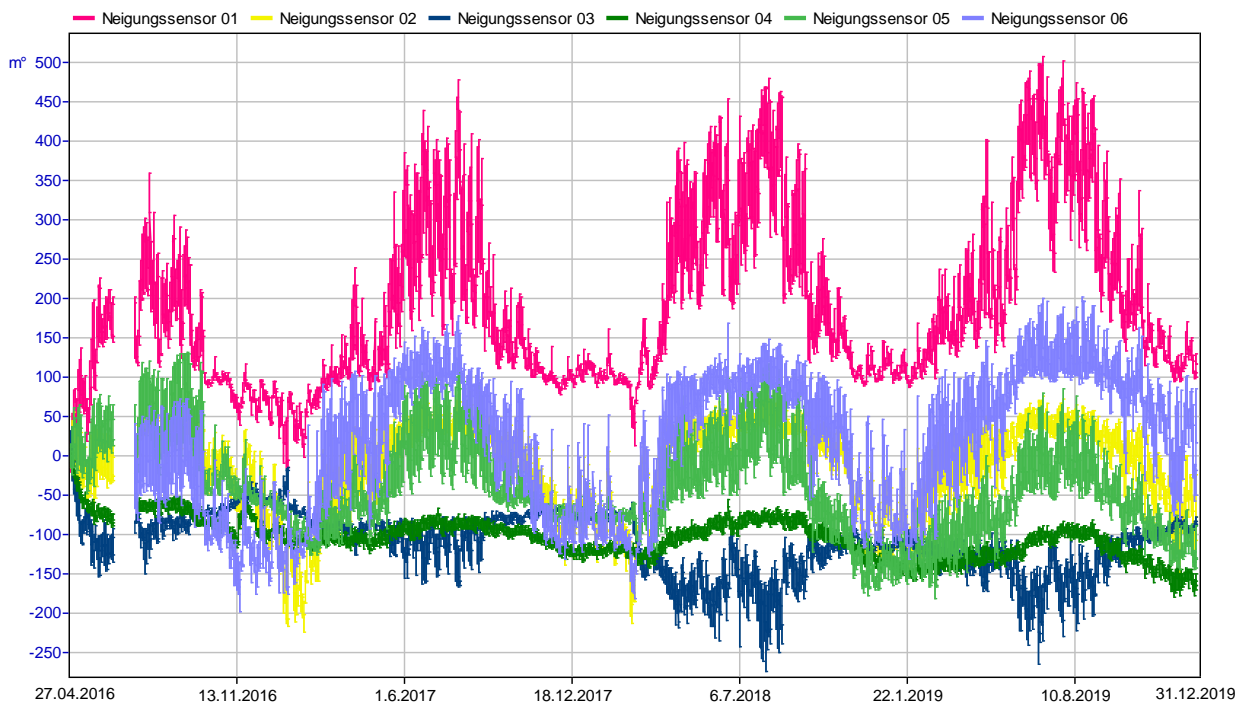


Abbildung 31: Neigungen über den Beobachtungszeitraum

Aufgrund der nicht plausiblen Messdaten von Neigungssensor N1, welche sich entgegen der Neigungssensoren N2 und N5 bewegen, wurde die Messrichtung der Messdaten von N1 umgekehrt. Zur Sicherheit wurde die Messrichtung des Neigungssensor N1 überprüft und es konnte keine falsche Anordnung (+/- Messrichtung eventuell vertauscht) festgestellt werden. Aufgrund der vorliegenden Messdaten ist von einer gespiegelten Verkabelung auszugehen und daher wurden die Messdaten in der Abbildung 31 dahingehend korrigiert. In weiterer Folge wurde das Verhalten von N1 im Vergleich zu N2, N5 und N6 hinterfragt und eine Kontrolle des Systems empfohlen.

Nach Korrektur von N1 zeigt sich bei Temperaturzunahme ein leichtes Kippen des Tragwerks in Richtung der Laserstation. Diese Kippbewegung ist aufgrund der Bauwerksform und der vorgegebenen Querneigung als realistisch anzusehen, könnte jedoch auch gegenläufig sein, wie bei ähnlichen Bauwerken simuliert wurde. Daher wäre zur genauen Verifikation ein Abgleich mit der Statik des Planers ebenso sinnvoll. Auch im Bereich des Möglichen liegt eine vorzeichenmäßige Verwechslung aller anderer Neigungssensoren N2 bis N6, dies sollte jedoch von Red Bernard geprüft werden.

Die Neigung am Fundament ist kaum wahrnehmbar, aber es zeigt sich auch hier ein Trend, dass bei Zunahme der Temperatur das Fundament parallel mit dem Tragwerk Richtung Laserstation kippt, aber in einem viel geringeren Ausmaß, wie in Abbildung 33 erkennbar. Prinzipiell ist ein Kippen in die Gegenrichtung zu erwarten, da die Säulen die gemessene Bewegung vermutlich nicht durchführen. Die Messungen am N3 in der Mitte können nicht zur Verifizierung dieser Säulenbewegung herangezogen werden. Dieser sollte sich im Nullpunkt befinden und führt zu keinen nachvollziehbaren

Ergebnissen. Es wird daher empfohlen die Messdaten durch den Planer im Abgleich mit den zu erwartenden Bewegungen laut Berechnung prüfen zu lassen.

Anzumerken ist, dass die Bewegungen in der Säulenmitte (Sensor N3) zum Messbeginn untergeordnet waren und sich in den letzten zwei Sommermonaten (2018 und 2019) immer deutlicher ausbilden und den Temperaturbewegungen folgen. Dies stimmt überein mit den Lasermessungen, dass ein Teil der Bewegungen verblieben ist und nun das gesamte System von einer neuen Ausgangslage die jahreszeitlichen Bewegungen vollzieht.

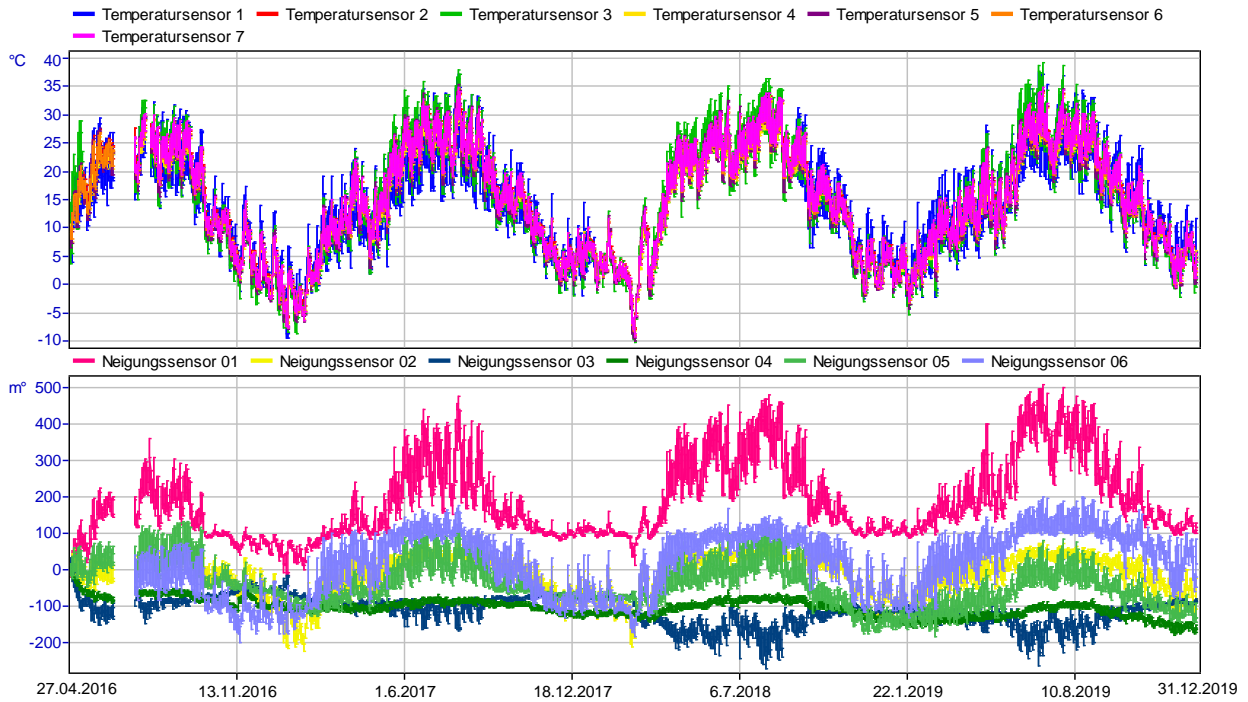


Abbildung 32: Neigungen im Vergleich mit Temperaturänderungen

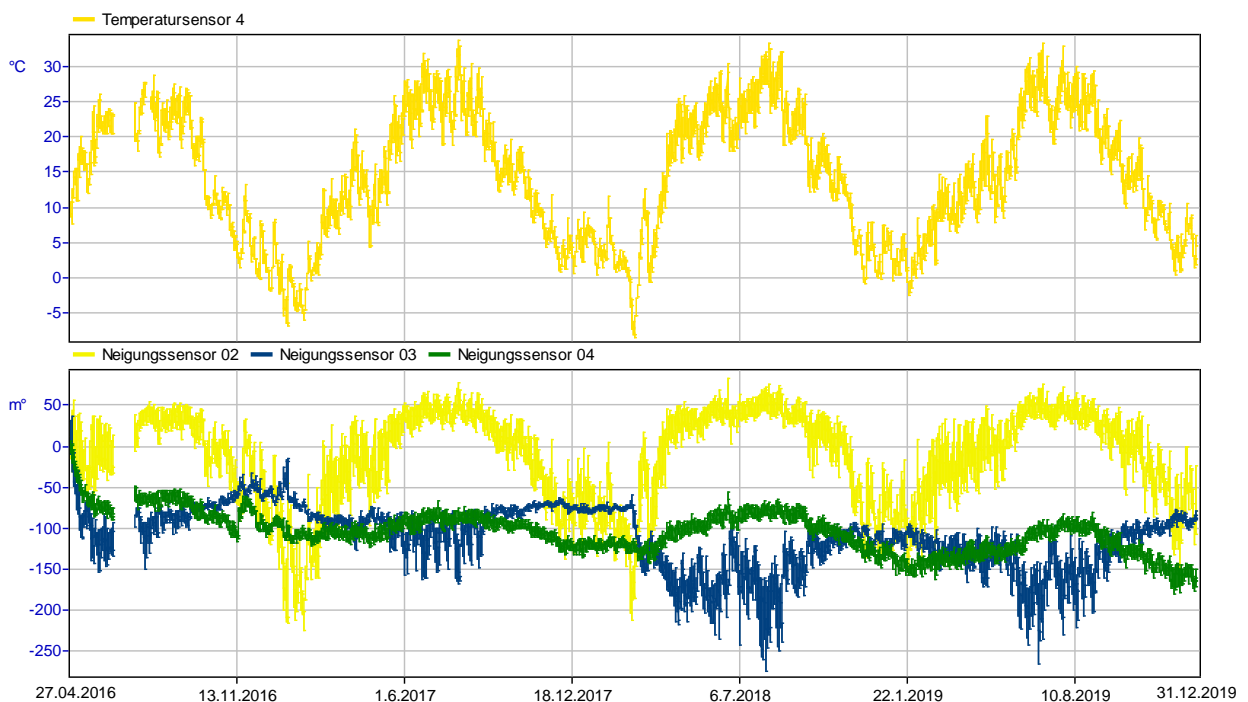


Abbildung 33: Neigungen im Vergleich mit Temperaturänderung in Achse 4

Zusammenfassung und Empfehlung:

- Die Testergebnisse während den Wartungsarbeiten im Februar 2018 haben ergeben, dass der Neigungssensor N1 völlig intakt ist.
- Infolge der Widerlegung der ursprünglichen These, dass N1 beschädigt oder falsch angeordnet sein könnte, sind konsequenterweise die Neigungssensoren N2- N6 zu überprüfen, um ihre korrekte Funktionalität sicherzustellen. Dies ist bisher nicht erfolgt.
- Im Rahmen einer Plausibilisierung der bisherigen Zwischenergebnisse der Neigungsmessung wurde ein Vergleich mit möglichen Bewegungen eines stark vereinfachten FE-Brückenmodells mit annähernd ähnlichen Brückeneigenschaften vorgenommen. Aus dem Vergleich geht hervor, dass entgegen der bisherigen Brückenbewegung eine etwas gegenläufigere Bewegung bei dem vereinfachten Brückenmodell als maßgebliches Ergebnis eintritt.
- **Eine fundierte Aussage hinsichtlich der Funktionalität und Auswertungsergebnisse der Neigungssensoren ist aus aktueller Sicht nur unter Einbezug der Originalbrückenmodelle und ursprünglichen Statik des Planers Step ZT GmbH möglich. Des Weiteren ist eine Überprüfung des Monitoringsystems erforderlich, um eventuelle Fehlmessungen oder inverse Verkabelungen ausschließen zu können.**

8. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Schimetta Consult wurde der Zugriff auf die Messdaten durch den Systemlieferanten RED Bernard am 27.04.2016 mittels Zugangscodes auf den Brückenserver ermöglicht. Im vorliegenden Schlussbericht wurde auftragskonform der Zeitraum bis 31.12.2019 analysiert. Dabei konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- **Temperatur:** Im bisherigen Beobachtungszeitraum konnten vom Monitoringsystem die folgenden Maximalwerte der negativen und positiven Temperaturen aufgezeichnet werden:
 - -10,25 °C im März 2018
 - +38,50 °C im Juni 2019

Die Tragwerkstemperaturen (oberflächliche Messung) werden als Grundlage für das Verhalten der Brücke herangezogen. In den Messdaten zeigte sich eine Zunahme der Nulllinie über den Beobachtungszeitraum, was auf generell steigende Temperaturen und milde Winter oder einem Drift des Systems zurückzuführen sind.

- **Horizontale Verformung der Brücke:** Die Lasersensoren W02, W03 und W04 zeigen ein deutliches temperaturabhängiges Verhalten und messen eine betragsmäßig max. Längenänderung von ca. 41mm. Betrachtet man die Bewegungen ohne Ausreißer global, so ergeben sich Bewegungen von 0,75 mm/°C weg von der Laserstation bei zunehmender Temperatur. Es zeigt sich jedoch eine bleibende Verformung von bis zu 5mm. Ein Sensordrift bzw. Drift des gesamten Systems ist nicht auszuschließen, aber es ist von einer verbleibenden Verformung auszugehen.

Die Ergebnisse des Lasers W01 am Fusspunkt folgen keiner Temperaturbewegung, sondern sind aufgrund der Größenordnung eher einem Sensordrift zuzuordnen. Die Bewegungen des Unterbaus scheinen aufgrund dieser Messergebnisse als minimal und kaum messbar. Eine verbleibende Verformung ist im Abgleich mit den anderen Lasersensoren jedoch zu vermuten.

- **Extensometer Widerlagerwand:** Die in die Widerlagerwand eingelassenen Extensometer zeigen weiterhin eine maximale Längenänderung von ca. 3 mm. Die Gegenüberstellung Messwert (3 mm) zu berechneten Verschiebungswert einer geraden Brücke (17 mm) ergibt eine deutlich geringere Längenänderung der gekrümmten Struktur ($3 \text{ mm} \leq 17 \text{ mm}$). Somit zeigt sich, dass die temperaturbedingten Längenänderungen zu einem horizontalen Ausweichen des Bauwerkes führen und nur ein kleiner Teil als Längenänderung wirksam wird. Extensometer 1 zeigt höhere Werte als Extensometer 2, was auf eine erwartungsgemäße Verdrehung des Widerlagers schließen lässt und zeitgleich ein Schieben Richtung Erddamm. Seit der Reparatur von Extensometer 1 sind dessen Werte nicht mehr den ursprünglichen Messwerten zuordenbar. Die Werte sind gegenläufig und in geringerer Größenordnung. Eine Kontrolle und Stellungnahme des Sensorlieferanten sind anzuraten.
- **Erddruck Widerlagerwand:** Der bis jetzt aufgezeichnete Erddruck bewegt sich in minimalen Größenordnungen. Die Schwankungen des Erddrucks bei den Sensoren E1, E4, E5 und E6 bewegen sich bei ca. 4,0 kN/m². Der Drift von Sensor E3 ist nicht auf die Strukturbewegung zurückzuführen und er pendelte sich bei einer Erddruckschwankung von ca. 4,5 kN/m² ein. Die größten Messwerte zeigt der Erddrucksensor E2 mit ca. 32,0 kN/m² in der letzten Temperaturperiode über ein Jahr.

Die kleine Längenänderung (ca. 3 mm Extensometer) und die Gegenüberstellung von Messwert zu berechneten Wert des Erddrucks einer geraden Brücke ($4,0 \text{ kN/m}^2 \ll 32,0 \text{ kN/m}^2$ (E2) $< 58,0 \text{ kN/m}^2$) zeigt die Auswirkung von lokalen Messstellen wie beim Sensor E2 und der ansonsten geringen Messwerte im Vergleich zu den Rechenwerten. Aufgrund der Messdaten im Vergleich zum Extensometer ist davon auszugehen, dass nicht der gesamte Erddruck in diesen Abschnitten gemessen werden kann oder die Längenänderung des Tragwerks sich gering auf die Widerlagerbewegung auswirkt, wie bei Extensometer erkennbar, und daher der Erddruck gering ausfällt.

- **Dehnungsmessungen Tragwerk:** Die am Tragwerk angebrachten Dehnmessstreifen zeigen ebenfalls eine gute Korrelation mit den Temperaturänderungen, allerdings gleichläufig und nicht gegenläufig, wie es zu erwarten wäre. Hierbei ist zu vermuten, dass das seitliche Ausweichen des Tragwerks in der Mitte durch die Bewegungen der Randfelder beidseitig zu Stauchungen führt. Es wurde empfohlen dies über den Planer verifizieren zu lassen, was bisher nicht erfolgt ist.

- **Neigung Tragwerk:** Die Neigungssensoren zeigen eine zur Temperatur entsprechende Neigung in positiver Richtung (RFB Kaisermühlen). Dieser Trend korreliert auch sehr gut mit den aufgezeichneten Lasermessungen. Warme Temperaturen zeigen eine Tragwerksverlängerung und Neigung in positiver Richtung. Die kalten Monate des Jahres beschreiben eine Tragwerksverkürzung und negative Neigung der Sensoren.

Die Neigungsmessung des Sensors N1 ist gegenläufig, wobei der Sensor bereits überprüft wurde. Dies erschien als nicht nachvollziehbar und wurde daher in den Messdaten korrigiert. Unklar ist daher ob die restlichen Neigungssensoren N2 bis N6 vorzeichenmäßig korrekt aufzeichnen. Die Daten zeigen ein Kippen des Tragwerks in Richtung Laserstation bei Temperaturzunahme, was ebenfalls vom Planer verifiziert werden sollte. Die Ergebnisse der Neigungsmessungen am Fundament zeigen ein Verhalten parallel zum Tragwerk, was aber gegenläufig zu erwarten ist. Auch die Überprüfung eines einfacheren Modells zeigt gegenläufige Bewegungen zu den vorhandenen Messdaten.

Hier wurde empfohlen die Messdaten vom Planer auf die berechneten Bewegungen zu prüfen und die Sensorik vom Sensorlieferanten Red Bernard nochmal auf Richtigkeit kontrollieren zu lassen. Dieser Abgleich ist bisher nicht erfolgt.

Zusammenfassung von Geschehnissen und Reparaturen:

- Die Aufzeichnungsprobleme beim Lasersensor W02 wurden anfangs durch den Baustellenverkehr, durch Erdablagerungen und durch Wildwuchs verursacht. In Absprache mit der Bau-firma wurden diese Probleme behandelt und beseitigt.
- Der Neigungssensor N6 und der Temperatursensor T7 konnten erst im Juli 2016 in Betrieb gehen. Grund dafür war die Verkehrsführung auf der Baustelle. Es konnte der A/D Wandler der Achse 2 nicht mit dem Rest der Messanlage verbunden werden. Ab 13.Juli 2016 sind die Messdaten vorhanden.
- Der Extensometer 1 wurde leider bei Bauarbeiten beschädigt und lieferte somit erst ab Ende August 2016 plausible Werte. Durch erneuten Wasserzutritt in den schon reparierten Extensometer wurde dieser im Juli 2017 durch einen neuen Sensor ersetzt. Jedoch stellte sich nach ersten Beobachtungen die dahinterliegende Konstruktion zur Wegmessung als Problem heraus und nicht der Wegaufnehmer allein.
- Der Temperatursensor T1 ist mit Beginn des Jahres 2018 ausgefallen und wurde beim darauffolgenden Wartungsbesuch ersetzt.
- Extensometer 1 wurde im September 2019 nochmal ersetzt und war bis zum Berichtsende in Betrieb, lieferte aber noch ungeklärte, gespiegelte Messwerte. Auf diesen Punkt wurde bereits vorab verwiesen und wurde weiter beobachtet. Das Verhalten ist weiterhin gegenläufig. Hierzu ist eine Aussage des Sensorlieferanten Red Bernard erforderlich (bisher ausständig).

SCHLUSSFOLGERUNG:

Die Messwerte sind in einem erwarteten Rahmen mit ein paar Ausnahmen und zeigen auch die Tragwerksbewegungen in Bezug auf die Temperatureinwirkungen. Folgende Punkte sollten vom Sensorlieferanten und vom Planer noch geprüft werden:

- Extensometer 1:
 - Aufzeichnungsrichtung bzw. Vorzeichen korrekt? – Sensorlieferant Red Bernard
- Dehnungssensoren:
 - Vorzeichenmäßig korrekte Aufzeichnung? – Sensorlieferant Red Bernard
 - Stauchung bei Temperaturzunahme innen und außen an der Messposition möglich? – Planer Step
- Neigungssensoren:
 - Aufzeichnung in Bezug auf Vorzeichen aller Neigungssensoren (N2-N6) korrekt? – Sensorlieferant Red Bernard
 - Berechnete Neigungsänderung des Tragwerks und Fundierung in Achse 4 aufgrund Temperaturänderungen – Planer Step
- Lasermessungen:
 - Neu einstellen und prüfen aller vier Laser – Sensorlieferant Red Bernard
 - Kontrolle und Neupositionierung der Reflektorplatten wo erforderlich – Sensorlieferant Red Bernard

- Bewegungen des Tragwerks, Ausweichen nach hinten im Bogenstich, Kippen nach vorne, gemäß ursprünglicher Planung oder gegenläufig – Planer Step
- Verifikation der Bewegung – Sensorrichtigkeit – Sensorlieferant Red Bernard
- Gesamtes Monitoringsystem:
 - Prüfung auf eventuelle Sensordrifts – Sensorlieferant Red Bernard

9. Resümee und Empfehlungen

Gemäß den Leistungsvereinbarungen endet das Monitoringprojekt B2309 Inzersdorf mit Ende des vereinbarten 3- jährigen Überwachungsprogramms von 04/2016 bis 12/2019. Im Rahmen des Monitoring- Zeitraums wurden halbjährlich Daten ausgewertet und Zwischenberichte an den AG übermittelt. Das Monitoringsystem wurde ursprünglich von RED Bernard zur Überwachung und Kontrolle des Tragwerkverhaltens während des Baus der Brücke als Subunternehmer der ausführenden Bau-firma installiert. Nach Fertigstellung der mehrfeldrigen Integralbrücke wurde Schimetta Consult mit der Folgeüberwachung des Tragwerks mit dem Bestandsmonitoringsystem beauftragt.

Die nachfolgenden Projektresümees werden gezogen:

- Das eingebaute Monitoringsystem weist im vereinbarten Überwachungszeitraum über weite Strecken plausible Ergebnisse.
- Inkonsistenzen in der Funktionalität vereinzelter Sensoren und dadurch bedingte unplausible Auswertergebnisse konnten im Projektzeitraum infolge fehlender notwendiger Wartungsarbeiten an der installierten Monitoringanlage durch ungeklärte Auftragslage zu RED Bernard nicht geklärt werden.
- Eine empfohlene Plausibilitätskontrolle des gemessenen Tragverhaltens gemeinsam mit den Tragwerksplanern vom Ziviltechnikerbüro Step erfolgte nicht, weshalb gewisse Bewegungen nicht plausibilisiert werden konnten.
- Seitens Schimetta Consult ist der Schlussbericht auf aktuellem Kenntnisletzstand erstellt worden. Bei Inkonsistenzen in der Funktionalität der Sensoren wird im Bericht auf Abstimmungen mit RED Bernard direkt verwiesen. Bei ungeklärten Fragestellungen zum „SOLL“-Tragwerksverhalten der integralen Brücke sind Verweise für Abstimmungen mit Step angeführt.

Empfehlungen:

- Für einen sinngemäßen und lückenlosen Projektabschluss sind die offenen Fragestellungen und Inkonsistenzen mit den jeweiligen Projektpartnern (Sensorlieferant Red Bernard und Planer Step) noch abzuklären und zu plausibilisieren.
- Anschließende Wartungsarbeiten am Monitoringsystem werden nahegelegt.
- Erst nach Absicherung der vollen Funktionsfähigkeit des Monitoringsystems können fundierte ganzheitliche Aussagen zum gemessenen Tragwerksverhalten getroffen werden bzw. noch unklare Teilbereiche vertieft geprüft werden.
- Eine Fortführung des Monitoringsystems für mindestens weitere 2 Jahre wäre aus aktueller Sicht sinnvoll, um die bisherigen Messwerte und das daraus abgeleitete Bewegungsverhalten zu verifizieren, was allerdings die Klärung der zuvor genannten Punkte erfordert. Sollten diese Ergebnisse keine weiteren Fragestellung mehr offen lassen, kann von einer Weiterführung der Messungen abgesehen werden.

Wien, 19.02.2020

LINZ - WIEN - SALZBURG - GRAZ - INNSBRUCK
Schimetta Consult Ziviltechniker Ges.m.b.H

A-1120 Wien
Arndtstr. 89
T +43 (0)1 99 99 99 99
www.schimetta.at

Doppler Dominic

SZ
SCHIMETTA
ZIVILTECHNIK

Dominic Doppler
(Projektbearbeiter)

LINZ - WIEN - SALZBURG - GRAZ - INNSBRUCK
Schimetta Consult Ziviltechniker Ges.m.b.H

A-1120 Wien
Arndtstr. 89
T +43 (0)1 99 99 99 99
www.schimetta.at

Rajasingam

DI Gerald Julian Rajasingam
(Projektbearbeiter)

LINZ - WIEN - SALZBURG - GRAZ - INNSBRUCK - VIENNA
Schimetta Consult Ziviltechniker Ges.m.b.H
A-4020 Linz
Larswiedstr. 23
T +43 (0)32 57 22 00
www.schimetta.at

Mack

DI Dr. Thomas Mack
(Bereichsleiter Monitoring)

10. Anhang A

Wartungsprotokolle:

Unsere Geschäftszahl: 130330.40

Projekt: Monitoringsystem B2309

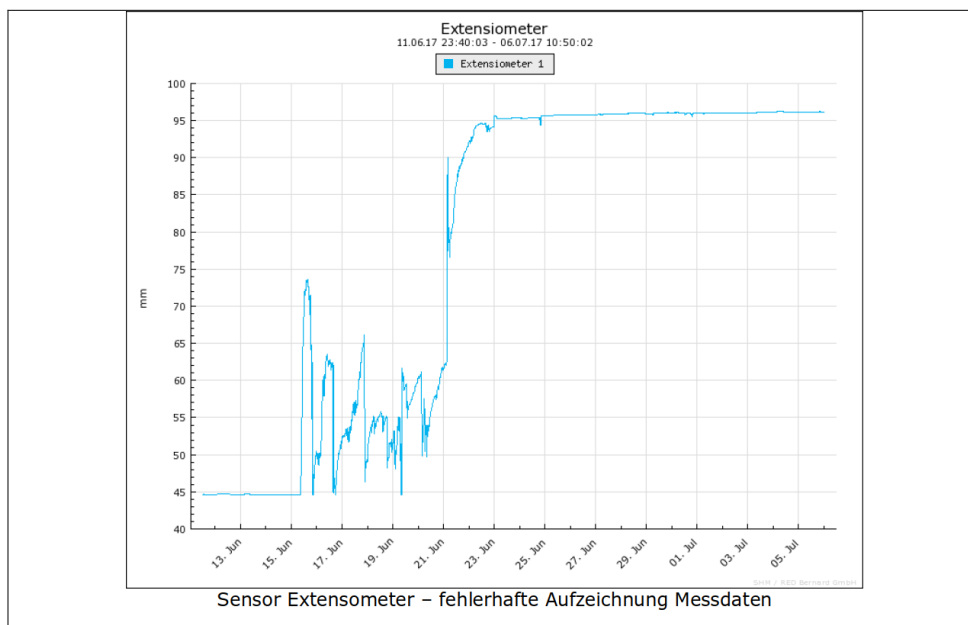


WARTUNGSPROTOKOLL 2017

Bearbeiter:	DI Dr. Alexander Krawtschuk	erstellt am:	08.10.2017
E-Mail:	alexander.krawtschuk@schimetta.at	Tel:	0664/8479950

Wartungsarbeiten 1 - laufend/allgemein	
Datum:	01.01.2017 – 31.12.2017
Baustellenbesuche am:	keiner
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Messdaten
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult RED Bernard
<p>Um einen reibungslosen Betrieb und eine lückenlose Datenaufzeichnung gewährleisten zu können muss das Monitoringsystem in regelmäßigen Abständen via Fernwartung und Webzugriff kontrolliert werden. So können mögliche Ausfälle frühzeitig erkannt werden und Lücken in den Messdaten vermieden werden. Mögliche Ursachen für Ausfälle können mangelhafte Stromversorgung, Vandalismus, Baustellenbetrieb oder auch ein technischer Defekt sein.</p> <p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Laufende Kontrolle der Messdaten auf Vollständigkeit • Laufende Kontrolle der Messdaten auf plausible Werte der Sensoren • Laufende Kontrolle des Monitoringsystems auf Funktion und Erreichbarkeit 	

Wartungsarbeit 2 – Wasser im Extensometer	
Baustellenbesuche am:	02/2017 & 07/2017
Geplante Leistungserbringung:	Austausch defekter Sensor Extensometer,
Kontrolle durch:	Hr. Pamperl (RED Bernard)
Fotos:	 <p>Sensor Extensometer – Sichtbarer Feuchtigkeitseintritt</p>



Wartungsarbeit 3 – Montageposition Neigungssensor N1	
Baustellenbesuche am:	09/2017
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Neigungssensor
Kontrolle durch:	Hr. Pamperl (RED Bernard)
<p>Beim Neigungssensor N1 ist aufgrund der Messdaten von einer gespiegelten Montage auszugehen. Der Sachverhalt soll in mehreren Phasen überprüft und klargestellt werden.</p> <p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung Messdaten • Optische Kontrolle Montageposition Neigungssensor • Organisation Kontrolle mit Demontage des Sensors <p><u>Folgende Punkte sind zu vermerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei der Überprüfung konnte keine Auffälligkeiten festgestellt werden. Eine weitere Prüfung mittels Demontage des Sensors ist angedacht. Dabei wurde vorgeschlagen im Zuge von Wartungsarbeiten der ASFINAG diese Kontrolle durchzuführen, da der Sensor nur mit einem Steiger über die abgesicherte Fahrbahn ermöglicht werden kann. 	
Fotos:	

Wartungsarbeit 4 – Laser Wartung und Einstellung	
Baustellenbesuche am:	05.10.2017 19:00 – 21:00
Geplante Leistungserbringung:	Einstellung Laser, Wartung und Kontrolle
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult Rainer Wimmer, RED Bernard

Aufgrund kleiner Unstimmigkeiten die in den Messdaten sofort erkennbar wurden, wurde eine vor Ort Kontrolle der Laser-Station an der B2309 organisiert. Dabei war eine Durchführung bei Dunkelheit notwendig um die eventuell notwendig gewordene Laser-Einstellung durchführen zu können. Zusätzlich sollen Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Folgende Arbeiten wurden vor Ort durchgeführt:


- Wartung der Laser (Reinigen der Linsen)
- Einstellung von W3 optimiert
- Neustart Modem Laser-Station
- Funktionstest

Folgende Punkte sind zu vermerken:

- Festgestellt wurde, dass ein Lasersensor weiterhin keine Messwerte aufzeichnen kann, da sich an der Situation mit dem sich im Laserfeld befindlichen Aushubhaufens nach wie vor keine Veränderung ergeben hat. Somit kann dieser keine Messwerte aufnehmen.
- Der Zugriff auf die Station mit den Laser-Sensoren ist aktuell per Fernwartungszugriff nur über einen Noteinstieg möglich. Das Haupt-Modem wurde neu gestartet und getestet. Der Zugriff wird später im Büro geprüft und gegebenenfalls ein Austausch des Modems eingeleitet, sollte kein Verbindungsaufbau möglich sein.
- Ein Laser-Sensor liefert sprunghafte Werte. Dies liegt darin begründet, dass der Laserstrahl genau auf ein Abspannkabel zielt und an dieser Stelle gespalten wird. So kann es gelegentlich passieren, dass dieses Kabel den Strahl reflektiert und so ein falscher Messwert aufgenommen wird. Für die Auswertung herrscht hierzu nun Klarheit. Eine minimale Versetzung der Reflektorplatte wäre hier angebracht (im Zuge der geplanten Kontrolle der Neigungssensoren)
- Ein weiterer Laser-Sensor war etwas zu hoch eingestellt. Die Position wurde korrigiert und überprüft und der Fehler ist behoben.
- Nach Abmontieren des Schutzgitters der Laser wurden an allen Lasern die Linsen gereinigt.

Fotos:



Wartungsarbeit 5 – Kontrolle Laser bei Tageslicht	
Baustellenbesuche am:	12.10.2017
Geplante Leistungserbringung:	Tageslichtprüfung komplette Hardware und Laserstation
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult
<u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u> <ul style="list-style-type: none">• Kontrolle auf Verschmutzung an empfindlichen Stellen (Laser, Reflektorplatte, Steckerverbindungen)• Kontrolle auf Beschädigungen an den Sensoren, Kabeln• Zuordnung der Sensorik und Laser überprüft• Einstellung und Zuordnung Laser überprüft• Kontrolle der Laserstation auf Beschädigungen	
<u>Folgende Punkte sind zu vermerken:</u> <ul style="list-style-type: none">• Das Dach der Laserstation weist an einem Eck eine Beschädigung auf. Die Ursache ist unklar. Da so der Schutz der Messtechnik vor Witterungseinflüssen nicht dauerhaft stabil bleiben wird, müssen hier Maßnahmen getroffen werden.	
Fotos:	
	

Erforderliche Korrekturen: Keine

Korrektur bis: -

Neuerliche Abnahme am: -

Auftragnehmer

Wien, 17.12.2017

Ort, Datum

Unsere Geschäftszahl: 130330.40
 Projekt: Monitoringsystem B2309



WARTUNGSPROTOKOLL 2018

Bearbeiter:	DI Dr. Alexander Krawtschuk	erstellt am:	18.05.2018
E-Mail:	alexander.krawtschuk@schimetta.at	Tel:	0664/8479950

Wartungsarbeiten 1 - laufend/allgemein	
Baustellenbesuche am:	01.01.2018 – 31.12.2018
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Messdaten
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult RED Bernard
<p>Um einen reibungslosen Betrieb und eine lückenlose Datenaufzeichnung gewährleisten zu können muss das Monitoringsystem in regelmäßigen Abständen via Fernwartung und Webzugriff kontrolliert werden. So können mögliche Ausfälle frühzeitig erkannt werden und Lücken in den Messdaten vermieden werden. Mögliche Ursachen für Ausfälle können mangelhafte Stromversorgung, Vandalismus, Baustellenbetrieb oder auch ein technischer Defekt sein.</p> <p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Laufende Kontrolle der Messdaten auf Vollständigkeit • Laufende Kontrolle der Messdaten auf plausible Werte der Sensoren • Laufende Kontrolle des Monitoringsystems auf Funktion und Erreichbarkeit 	

Wartungsarbeit 2 – Richtigestellung Laserzuordnung,	
Baustellenbesuche am:	16.01.2018
Geplante Leistungserbringung:	
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult Pamperl, RED Bernard Rainer Wimmer, RED Bernard
<p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle und Abgleich Anordnung/Nummerierung der unterschiedlichen Laser und Reflektorplatten • Erhebung der Ursache der Laserausfälle bei Tageslicht • Ausfall Temperatursensor bei Erdrucksensor <p>Am 16.01.2018 wurde von Schimetta Consult ein Vorortbesuch in Anwesenheit eines Technikers von RED Bernard organisiert um Klarheit bezüglich der Laserausfälle tagsüber und der zugehörigen Position am Bauwerk zu erhalten. Die Anordnung und Nummerierung der Laser und Reflektorplatten in den diversen Plänen, Online Zugang und Hardwarelisten wurde vereinheitlicht und die Zuordnung neu bestimmt, nummeriert und aufgezeichnet. Folgende Zuordnung ist somit gültig für die Messdaten des Online Portals:</p> <p>W01: Achse 4 vor dem Bauwerk (unten) W02: Achse 4 am Bauwerk (oben) W03: zwischen Achse 3 & 4</p>	

W04: Achse 3

Weiters wurde die örtliche Gegebenheit zu Neigungssensor N1 überprüft, da dessen Verhalten weiterhin als gespiegelt zu betrachten ist, solange keine Gewissheit über die Montageposition herrscht. Ein erneuter Besuch mit einer großen Leiter ist ausreichend und wird von RED Bernard zeitnah durchgeführt.

In den Messdaten wurde ein Ausfall eines Temperatursensors an einem der Erddrucksensoren festgestellt, welcher vor Ort nicht überprüft werden kann. Ein Austausch des kompletten Sensors ist nicht möglich. Der Sensor zeichnet den Erddruck weiterhin auf. Zur Temperaturkompensation kann ein am nächsten liegender Sensor verwendet werden, daher ist der Funktion des Messsystems uneingeschränkt gegeben, da notwendige Redundanz vorherrscht. Zur Sicherheit wird im Zuge der Arbeiten am Neigungssensor auch noch eine Kontrolle der Steckverbindung durchgeführt.

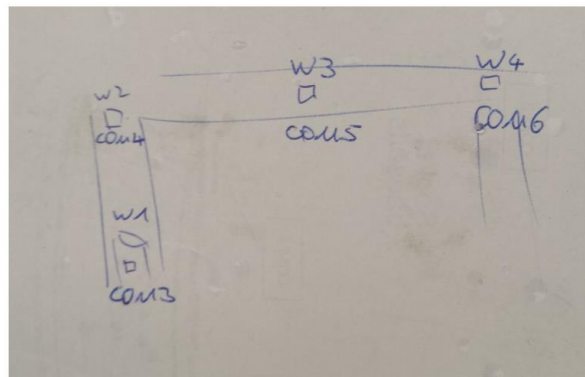
Die Ausfälle die der Laser W02 tagsüber aufweist, sind nun mit Gewissheit dem Abspannkabel des Entwässerungsrohres geschuldet. Da die Zuordnung nun kontrolliert wurde konnte das Problem somit lokalisiert werden. Es wurde ein weiteres Mal versucht, den Laser minimal zu verstellen um am Kabel vorbeizutreffen. Ob sich nun eine Verbesserung einstellt, muss in den nächsten Tagen kontrolliert werden.

Der beim letzten Wartungsbesuch angekündigte Tausch des Modems ist erfolgt. Nun ist ein LTE - Modem verbaut und der Zugriff ist uneingeschränkt möglich. Ebenso ist ein schneller Upload und somit eine bessere Verfügbarkeit der Messdaten gegeben.

Nachfolgende Arbeiten:

- Prüfen bzw. Anpassen der Bezeichnungen der Laser in den Monitoring-Plänen, den Berichtsskizzen und in der Messdatenauswertung
- Kontrolle Messdaten Laser W02 weiterhin. Sollten sich die Ausfälle nicht minimieren eine Versetzung der Reflektorplatte vorschlagen
- Überprüfen der Durchführung der Kontrolle von Neigungssensor N1 durch RED Bernard

Fotos:



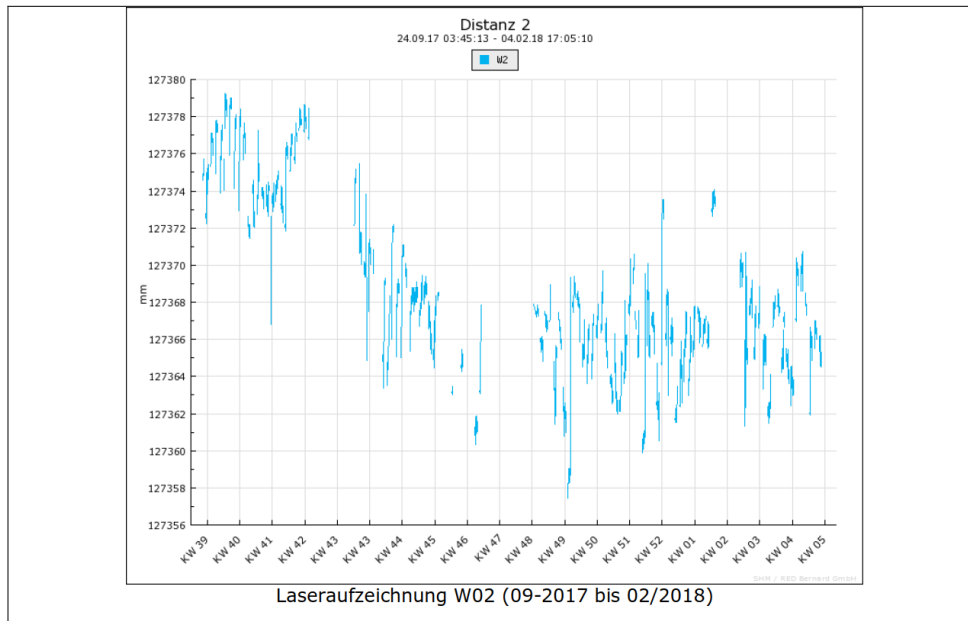
Anordnung Laser neu



Problematisches Abspannkabel



Zustand Laser-Turm – unverändert



Wartungsarbeit 3 – Kontrolle Extensometer	
Baustellenbesuche am:	02/2018
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Sensor Extensometer
Kontrolle durch:	Hr. Pamperl (RED Bernard)
<p>Beim Neigungssensor N1 ist aufgrund der Messdaten von einer gespiegelten Montage auszugehen. Der Sachverhalt soll in mehreren Phasen überprüft und klargestellt werden.</p> <p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Kontrolle Extensometer Februar 2018 Aufgrund fehlerhafter Messdaten <p><u>Folgende Punkte sind zu vermerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Anfang des Jahres 2018 wurden nicht erklärable Messdaten vom Extensometer geliefert. Die Aufzeichnung der Messdaten war wieder fehlerhaft. Bei einer im Februar 2018 durchgeführten Überprüfung Vorort konnte aber keine Beschädigung des Sensors festgestellt werden und es muss angenommen werden, dass der Extensometer selbst das Problem darstellt. 	
Fotos:	

Wartungsarbeit 4 – Montageposition Neigungssensor N1	
Baustellenbesuche am:	02/2018
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Neigungssensor
Kontrolle durch:	Hr. Pamperl (RED Bernard)
Beim Neigungssensor N1 ist aufgrund der Messdaten von einer gespiegelten Montage auszugehen. Der Sachverhalt soll in mehreren Phasen überprüft und klargestellt werden.	
<u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u> <ul style="list-style-type: none">• Kontrolle Messrichtung Neigungssensor	
<u>Folgende Punkte sind zu vermerken:</u> <ul style="list-style-type: none">• Der Neigungssensor N1 wurde durch eine Demontage der unteren bzw. oberen Befestigungsschraube einmal nach vorne und einmal nach hinten gekippt und die Messdaten wurden aufgezeichnet und ausgewertet. Die Auswertung zeigt, dass der Neigungssensor N1 eine Korrekte Aufzeichnung der Messdaten liefert.	

Fotos:



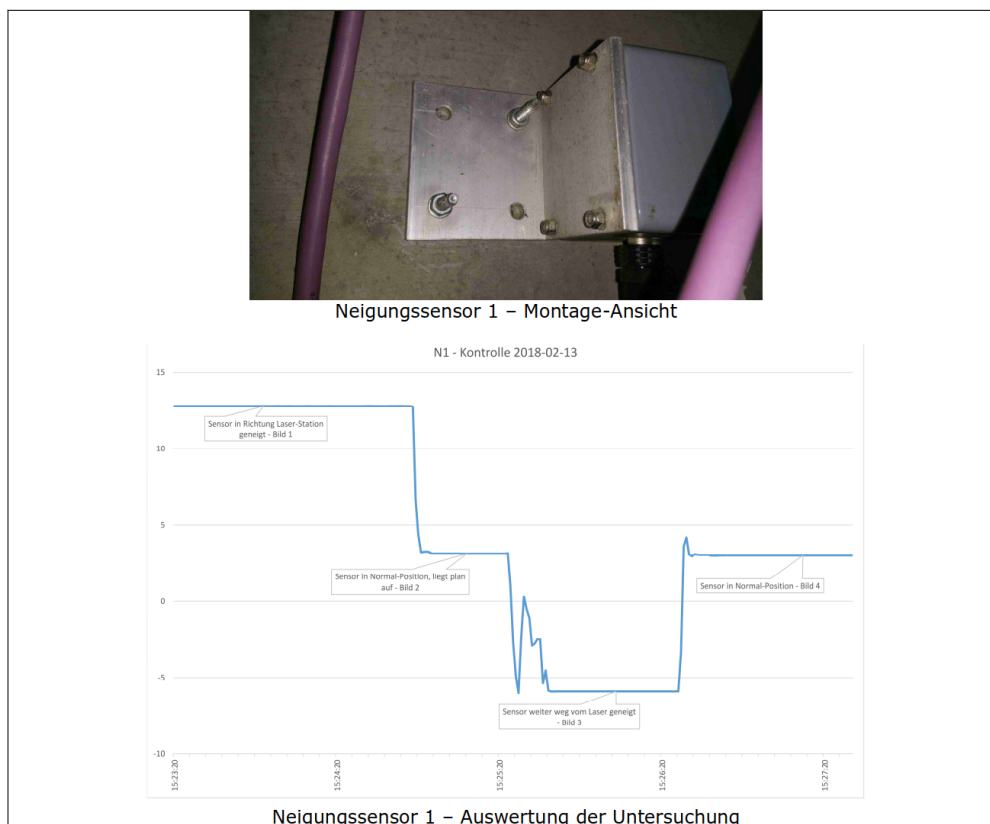
Neigungssensor 1 – Ist-Zustand



Neigungssensor 1 – nach vorne gekippt



Neigungssensor 1 – nach hinten gekippt



Erforderliche Korrekturen: Keine
Korrektur bis: -
Neuerliche Abnahme am: -

Auftragnehmer

Wien, 18.05.2018

Ort, Datum

Unsere Geschäftszahl: 130330.40
Projekt: Monitoringsystem B2309



WARTUNGSPROTOKOLL 2019

Bearbeiter: Doppler Dominic	erstellt am: 13.03.2019
E-Mail: dominic.doppler@schimetta.at	Tel: 0664/1054592

Wartungsarbeiten 1 - laufend/allgemein	
Baustellenbesuche am:	01.01.2018 - 31.12.2019
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Messdaten
Kontrolle durch:	- Doppler Dominic, Schimetta Consult - RED Bernard
<p>Um einen reibungslosen Betrieb und eine lückenlose Datenaufzeichnung gewährleisten zu können muss das Monitoringsystem in regelmäßigen Abständen via Fernwartung und Webzugriff kontrolliert werden. So können mögliche Ausfälle frühzeitig erkannt werden und Lücken in den Messdaten vermieden werden. Mögliche Ursachen für Ausfälle können mangelhafte Stromversorgung, Vandalismus, Baustellenbetrieb oder auch ein technischer Defekt sein.</p> <p><u>Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Laufende Kontrolle der Messdaten auf Vollständigkeit• Laufende Kontrolle der Messdaten auf plausible Werte der Sensoren• Laufende Kontrolle des Monitoringsystems auf Funktion und Erreichbarkeit	

Wartungsarbeiten 2 - Vor-Ort-Begehung	
Baustellenbesuche am:	13.03.2019 11:30-12:30 & 19:00 - 20:00
Geplante Leistungserbringung:	Kontrolle Gegebenheiten vor Ort
Kontrolle durch:	Doppler Dominic, Schimetta Consult
<p>Am 13.03.2019 wurde im Zuge der Vorbereitung für die nachfolgend beschriebene Wartungsarbeit 3 die aktuell vor Ort vorherrschende Baustellenlage besichtigt, um Festlegungen für die Hauptwartung treffen zu können. Insbesondere die Zugänglichkeit für das Wartungspersonal und die Befahrbarkeit für eine Arbeitsbühne war dafür ausschlaggebend.</p> <p>Zum Zuge dieser Vorbereitungstätigkeiten wurde für die aktuelle Berichtserstellung eine Sichtprüfung der Messanlage durchgeführt und dokumentiert. Dabei wurde festgestellt, dass L1 und L2 nicht mehr auf die Reflektorplatten treffen, wie in den nachfolgenden Fotos zu erkennen. Die Justierung der Laser soll ebenfalls im Zuge der geplanten Wartungsarbeiten durchgeführt werden. Die Reflektorplatte des Laser 1 im Brunenschacht wurde aufgrund starker Verschmutzung auch bereits gereinigt.</p> <p>Die Laserstation befindet sich im Bereich der Gewässerschutzanlage und ist daher eingezäunt (siehe Foto). Das Tor ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht versperrt. Bei zukünftigen Begehungen ist zu beachten, dass hier die Zugänglichkeit gegeben sein muss. Die Treppe zur Laserstation wurde ebenfalls bereits entfernt.</p>	

Die augenscheinliche fertiggestellte Geländesituation an der B2309 erfordert für das Versetzen der Reflektorplatte definitiv die Sperre einer Fahrspur bei Achse 4, inkl. Bereitstellung einer Arbeitsbühne. Dazu befindet sich nachfolgend ebenfalls ein Foto von der aktuellen Lage vor Ort.

Das Messsystem, die Verkabelung und sonstige Komponenten sind augenscheinlich in einem guten Zustand, sowohl am Widerlager, als auch an den diversen Messstellen sind keine Unregelmäßigkeiten entdeckt worden.



L1 und L2 treffen nicht mehr auf die Reflektorplatte



Laserstation eingezäunt in GSA



Wartungsarbeit 3 – Große Wartungsarbeiten	
Baustellenbesuche am:	08.03.2018 - laufend
Geplante Leistungserbringung:	Wartung und Kontrolle am kompletten Messsystem mit Funktions- und Plausibilitätsprüfung der Messung, Versetzen der Reflektorplatte und falls erforderlich auch weitere anfallende Tätigkeiten
Kontrolle durch:	- Doppler Dominic, Schimetta Consult - RED Bernard
<p>Am 8.3.2019 wurde nach telefonischer Abstimmung mit Herrn Ing. Thomas Kozakov die erforderlichen Vorbereitungen für die Wartungsarbeiten in die Wege geleitet. Dazu wurde beim Hersteller der Messanlage, Firma Red Bernard, die Durchführung und deren Dauer, sowie die benötigten Zugänglichkeiten angefragt.</p> <p>Die Erforderlichkeit einer Arbeitsbühne und einer Nachtsperre wurde festgestellt und die notwendigen Informationen (Ort, Zeit, Dauer) dafür vorab bestimmt. Um über die aktuellen örtlichen Begebenheiten Auskunft zu erhalten, wurde vorangegangener Wartungsbesuch 2 durchgeführt.</p> <p>Die weiteren Vorbereitungen für den Wartungsbesuch sind aktuell in Bearbeitung und Planung.</p>	

Erforderliche Korrekturen: Keine
Korrektur bis: -
Neuerliche Abnahme am: -

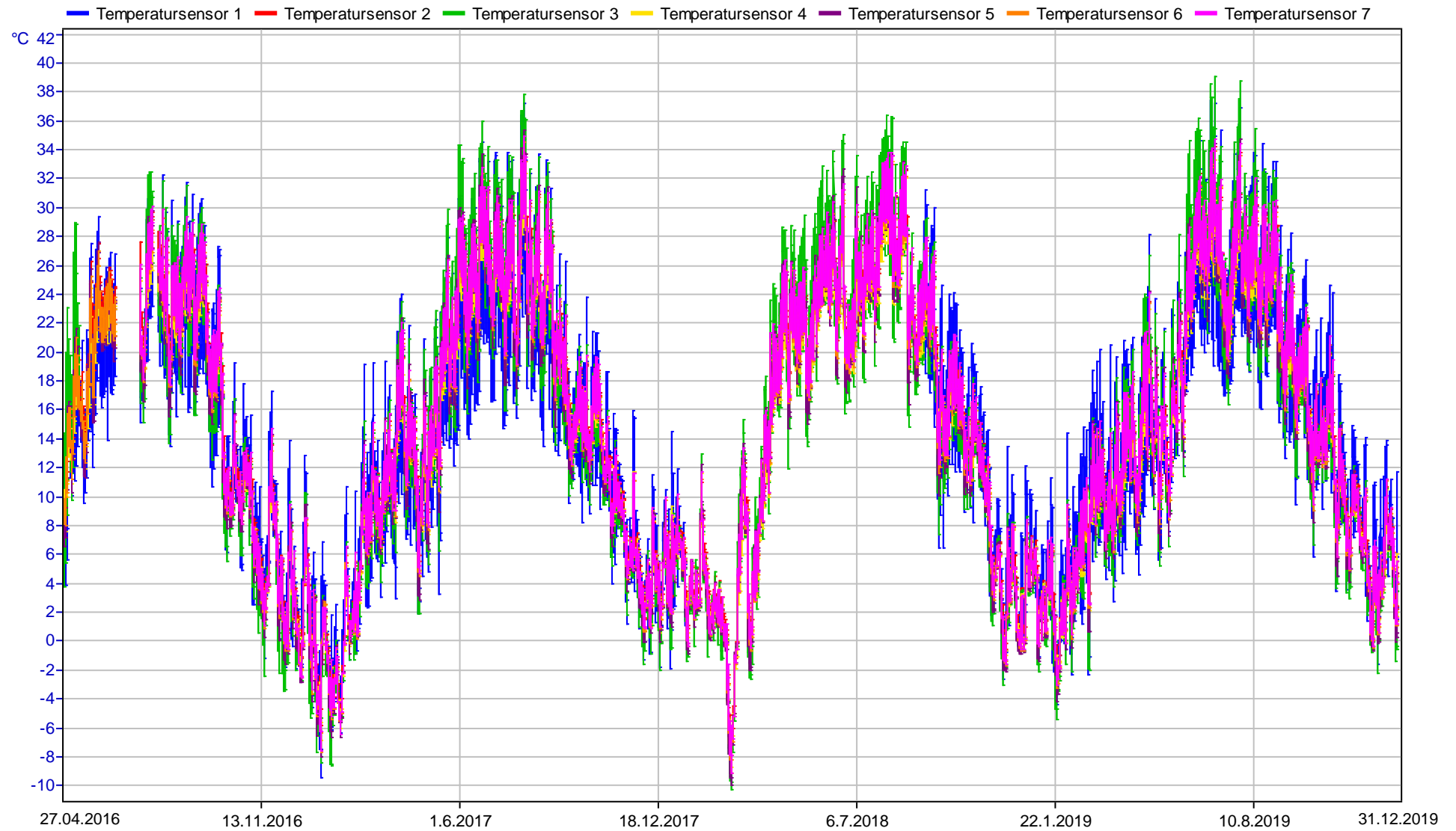
 Auftragnehmer

Wien, 04.04.2019

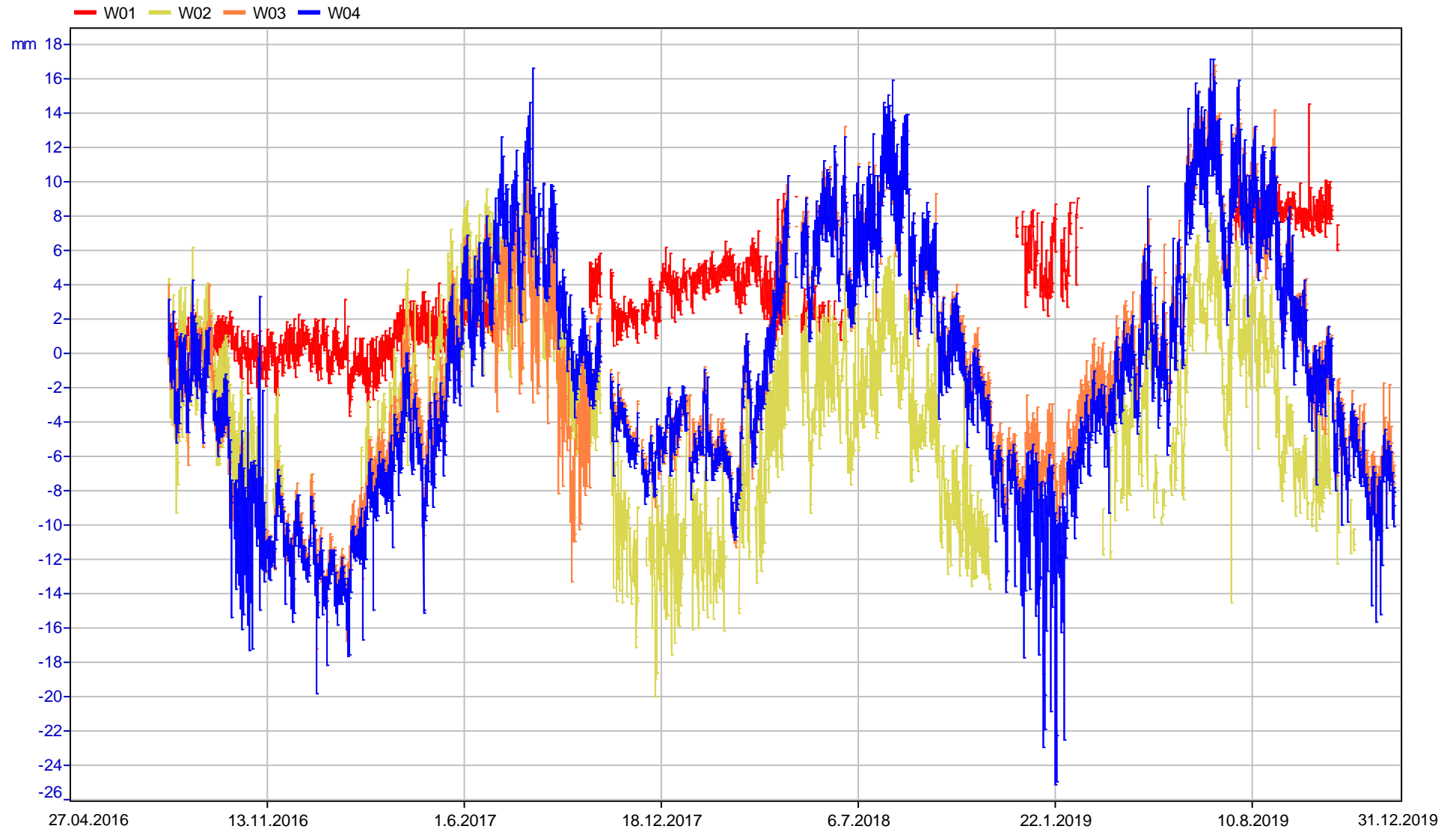
 Ort, Datum

11. Anhang B

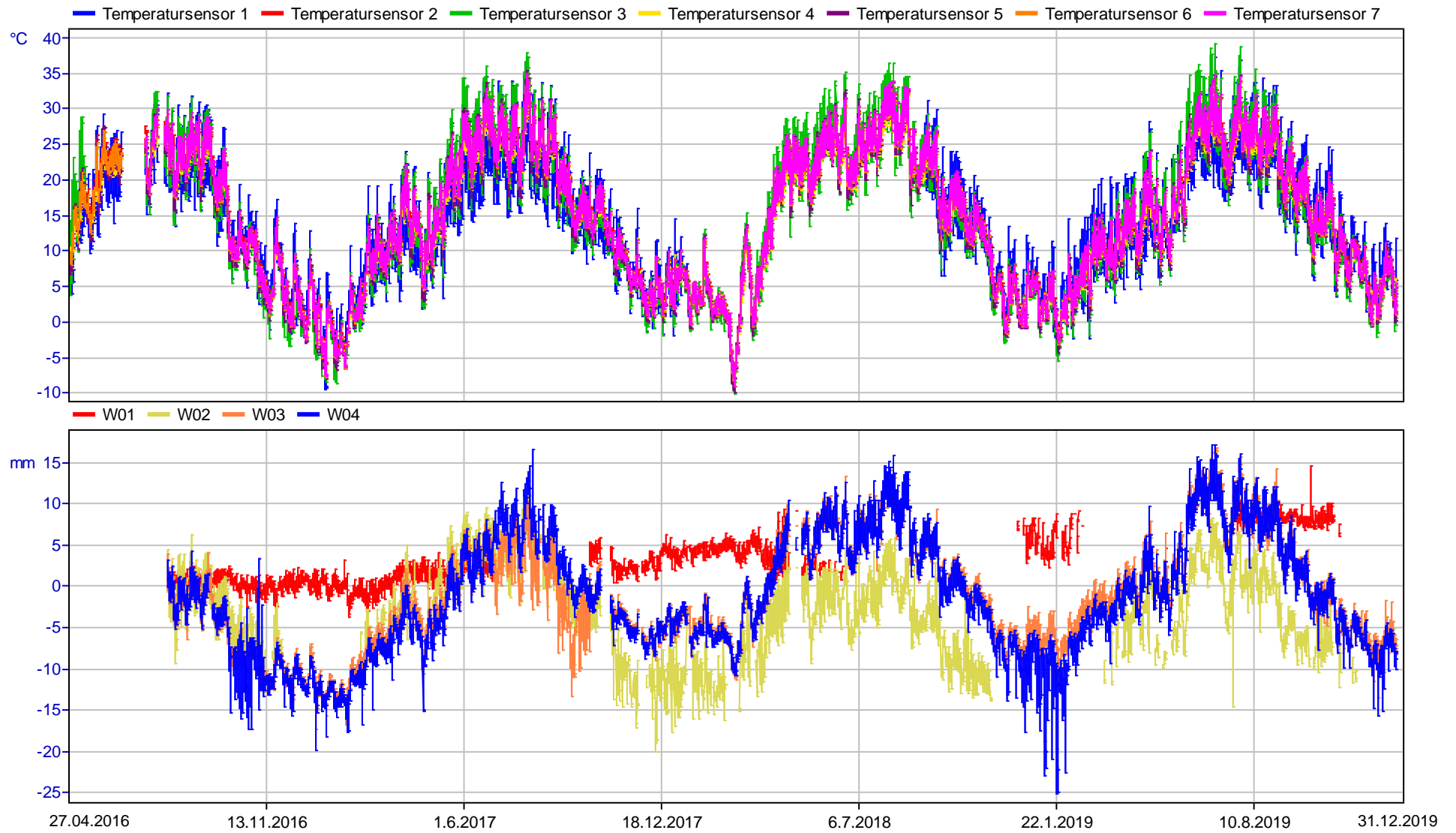
Zusammenstellung aller Messsignale:



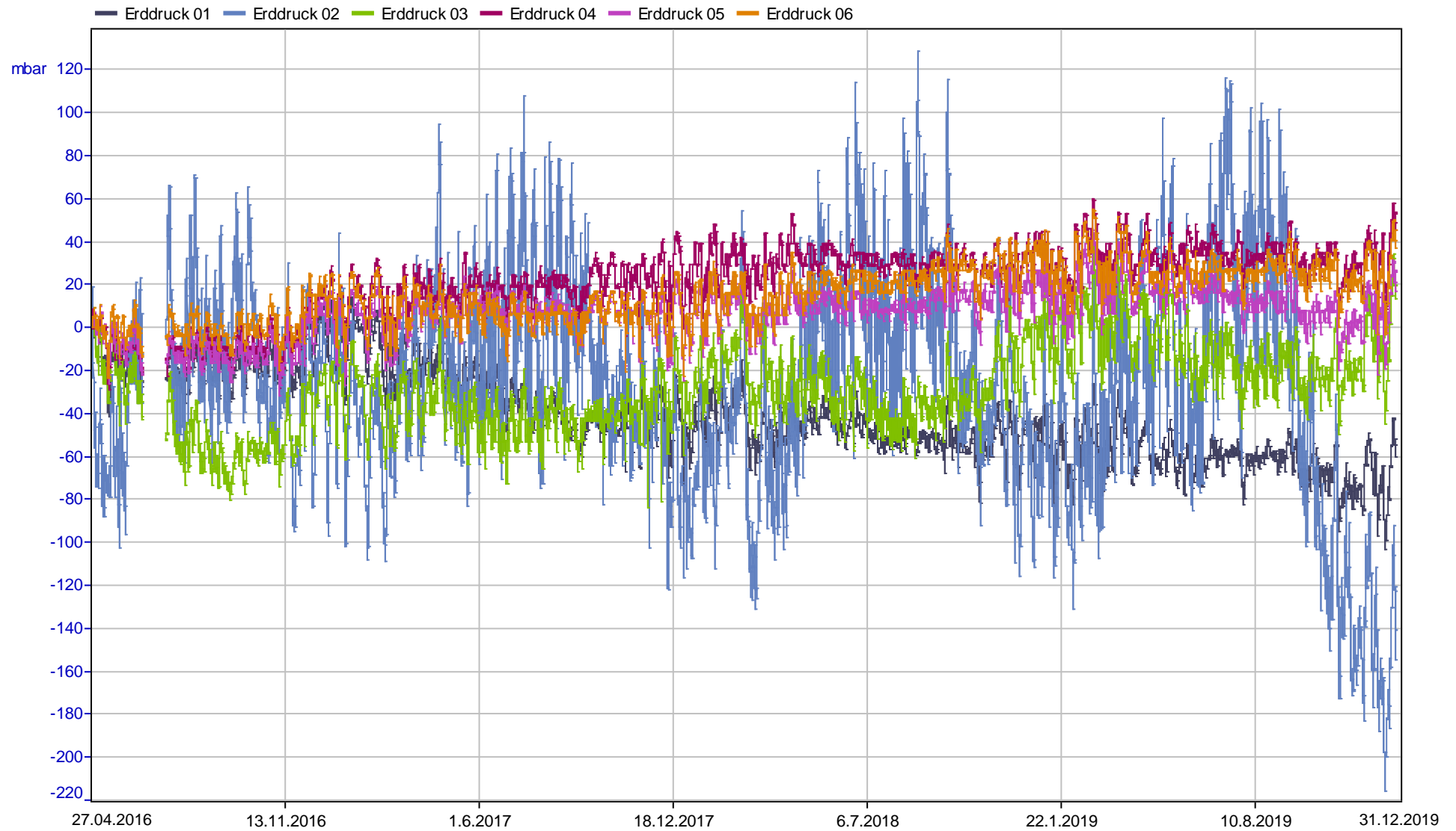
Gesamtverlauf der Temperaturänderungen im Beobachtungszeitraum



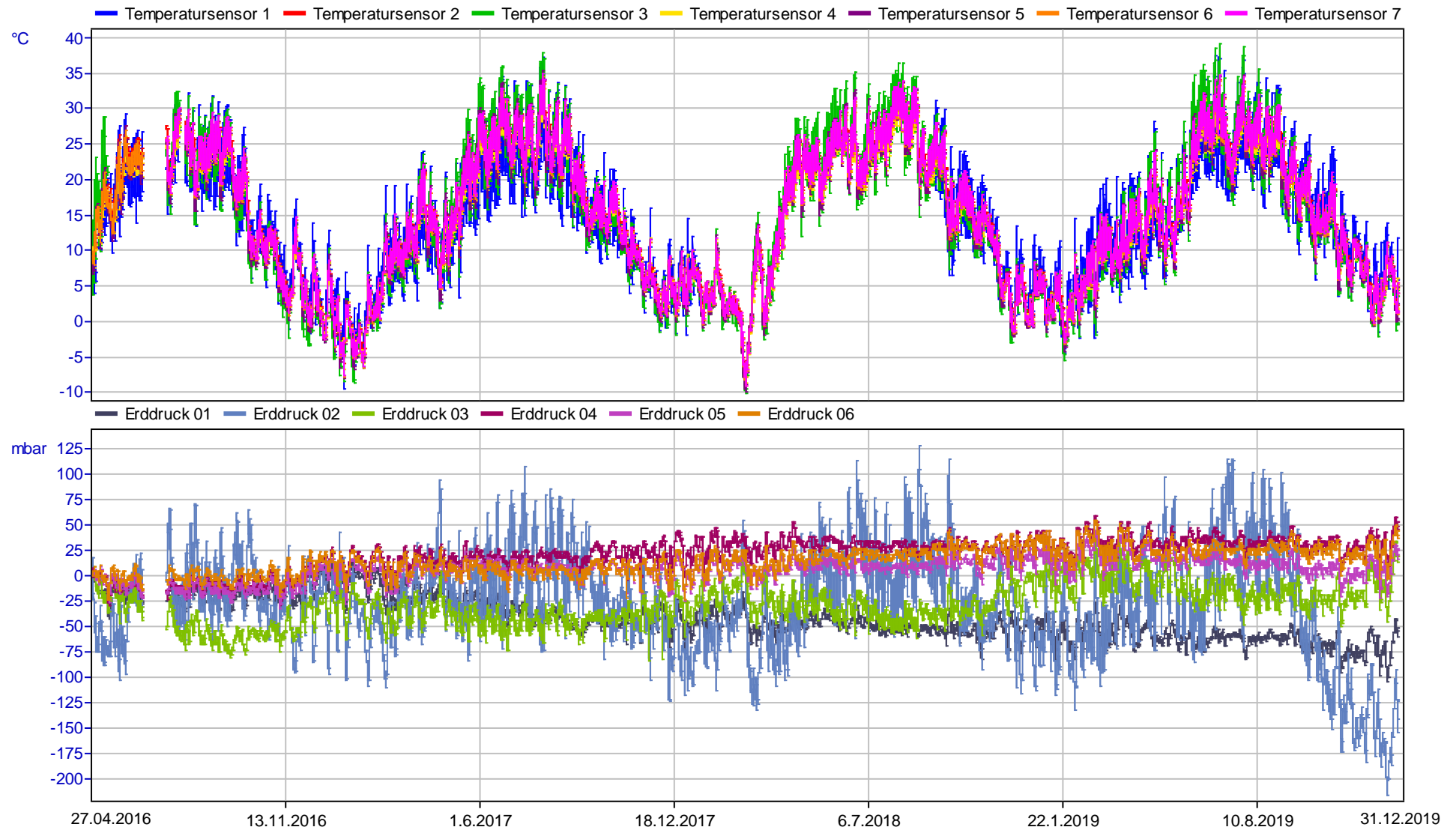
Gesamtverlauf Sensoren zur Erfassung der Längenänderungen im Beobachtungszeitraum



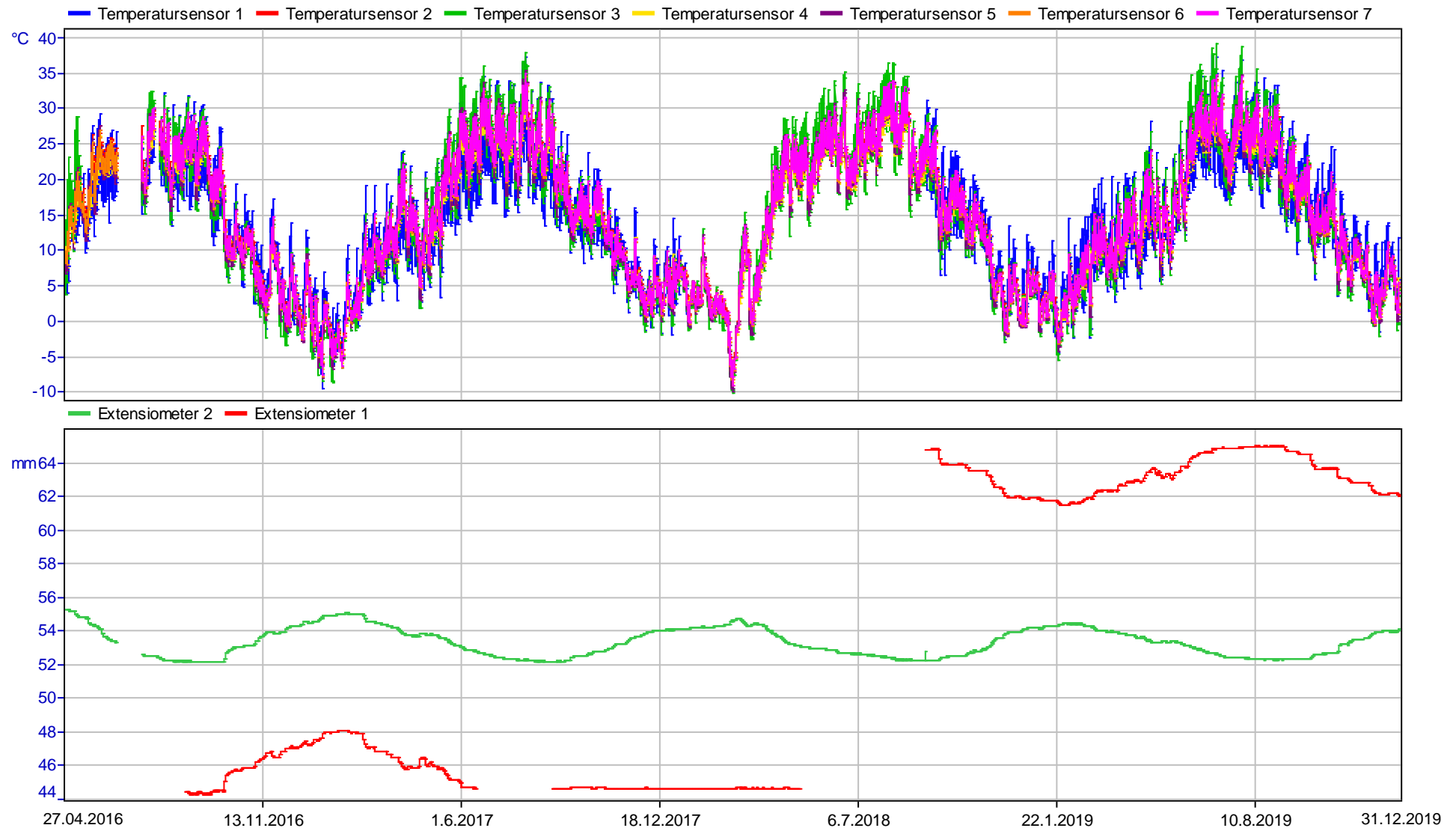
Gesamtverlauf Sensoren zur Erfassung der Längenänderungen und der Temperaturänderungen im Beobachtungszeitraum



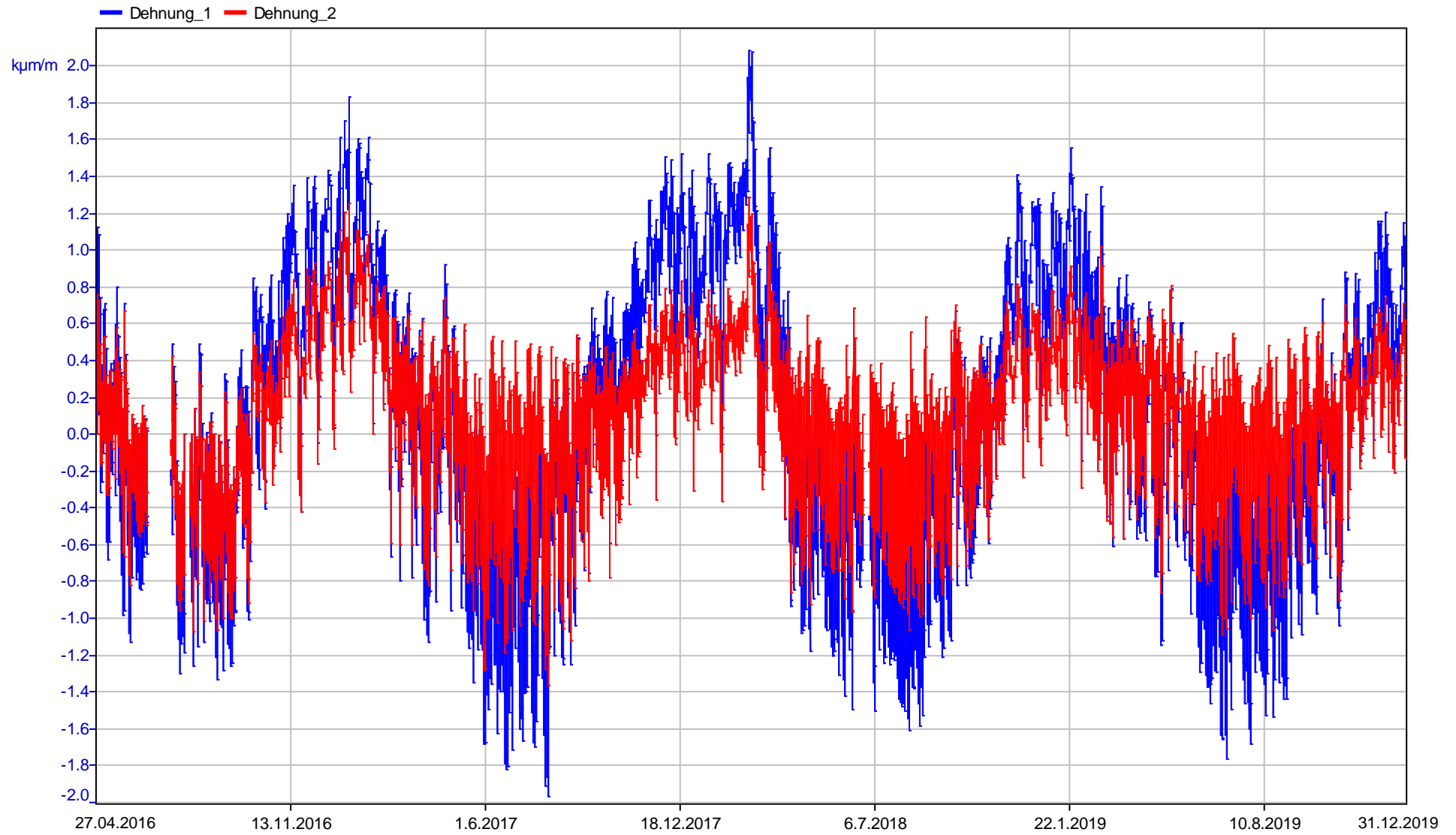
Gesamtverlauf aller Erddrucksensoren im Beobachtungszeitraum



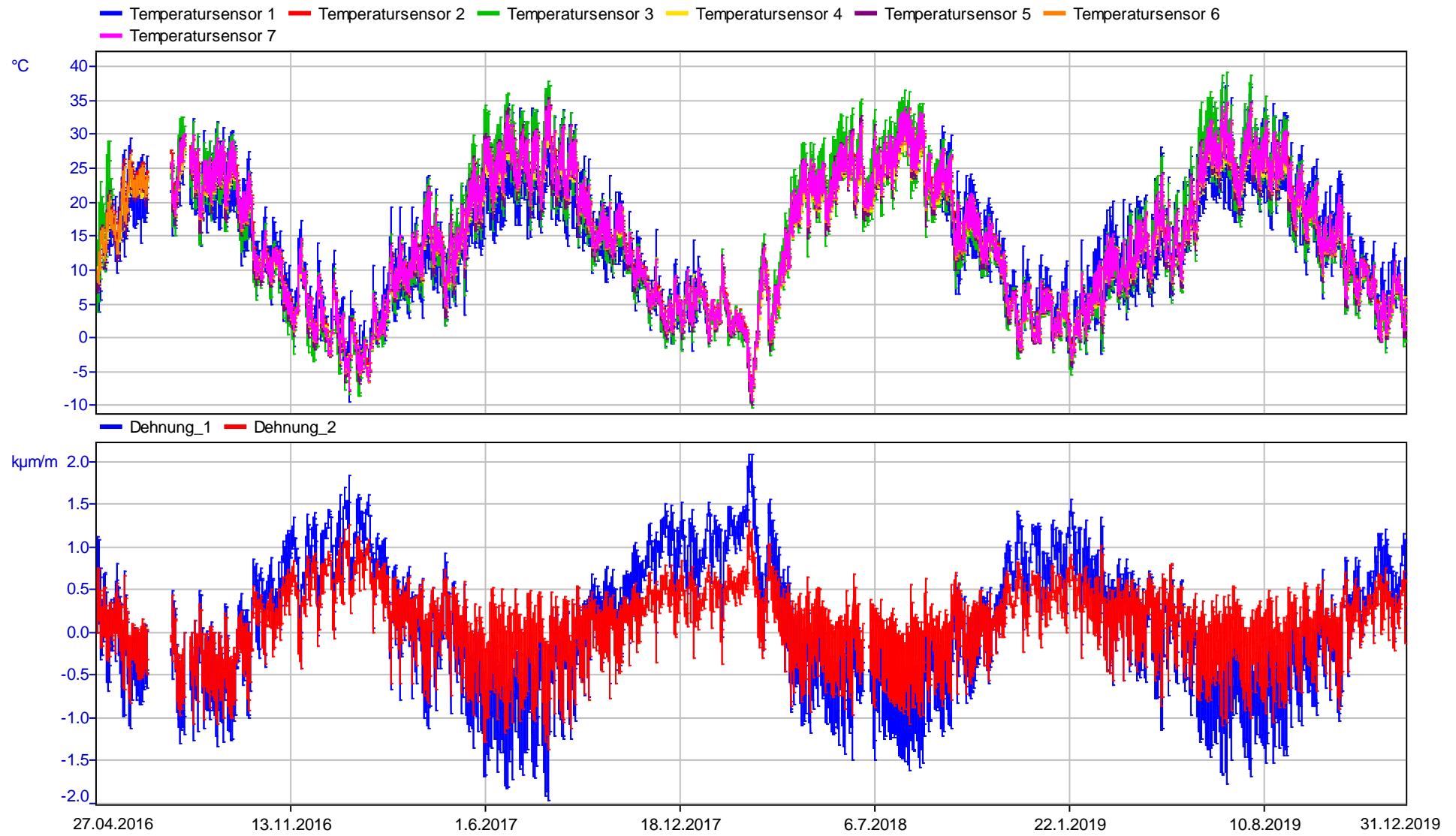
Gesamtverlauf aller Erddrucksensoren und der Temperaturänderungen im Beobachtungszeitraum



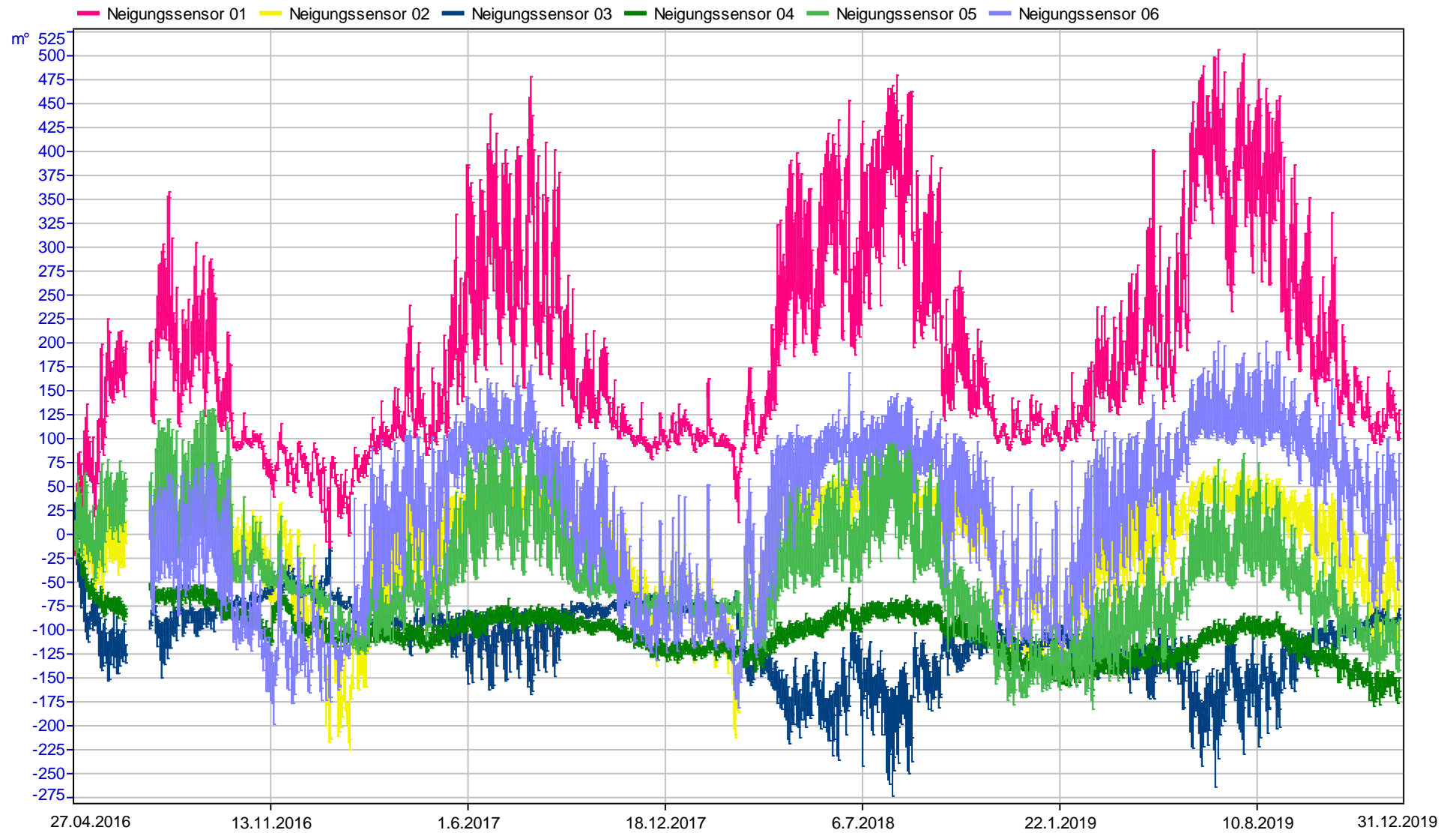
Gesamtverlauf aller Extensometer im Vergleich mit der Temperaturänderung



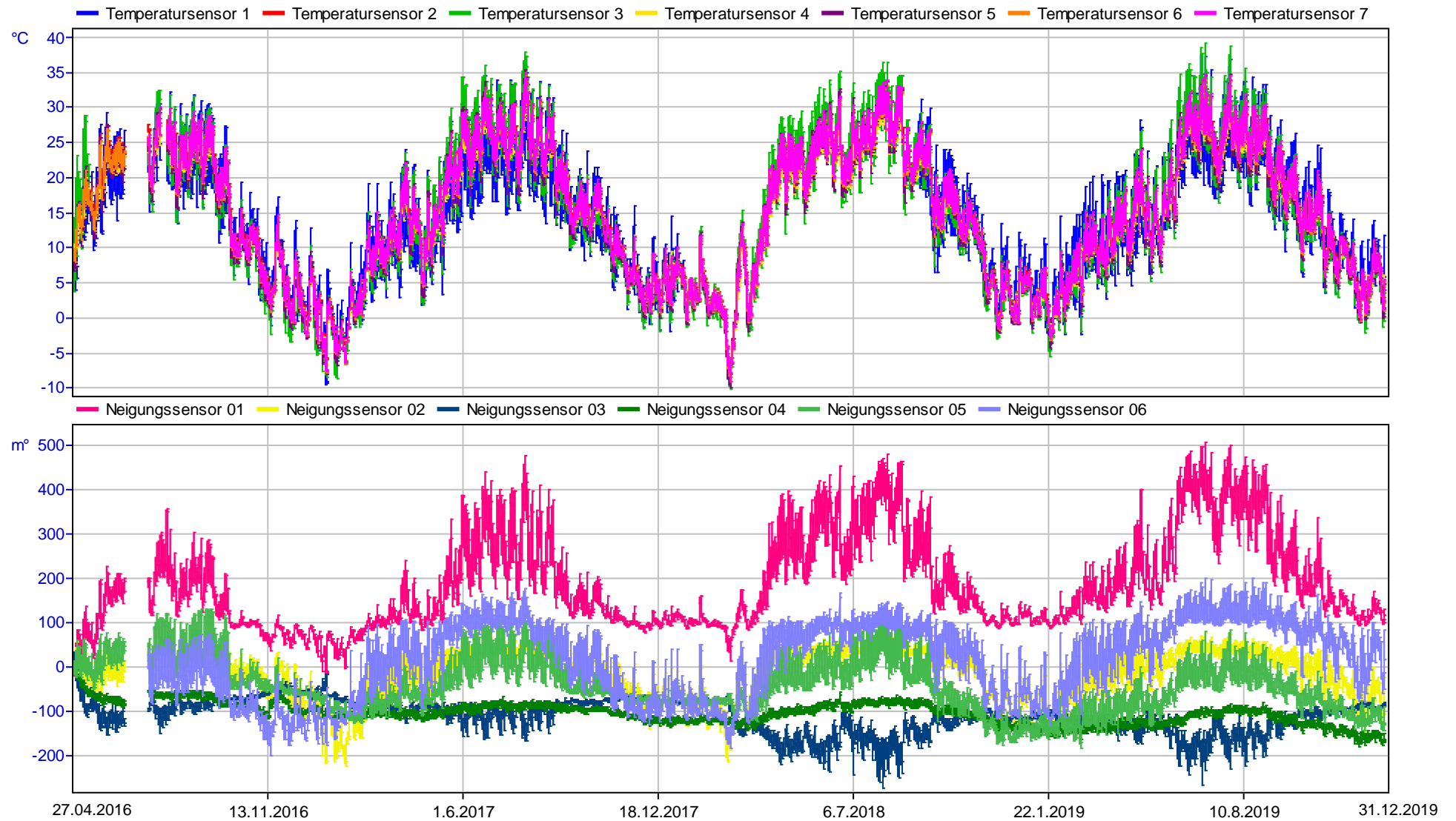
Gesamtverlauf aller Betondehnungen im Beobachtungszeitraum



Gesamtverlauf aller Betondehnungen und der Temperaturänderungen im Beobachtungszeitraum



Gesamtverlauf aller Neigungssensoren im Beobachtungszeitraum



Gesamtverlauf aller Neigungssensoren und der Temperaturänderungen im Beobachtungszeitraum