

MARX KRONTAL 

# MONITORING IM LEBENSZYKLUS VON BRÜCKENBAUWERKEN

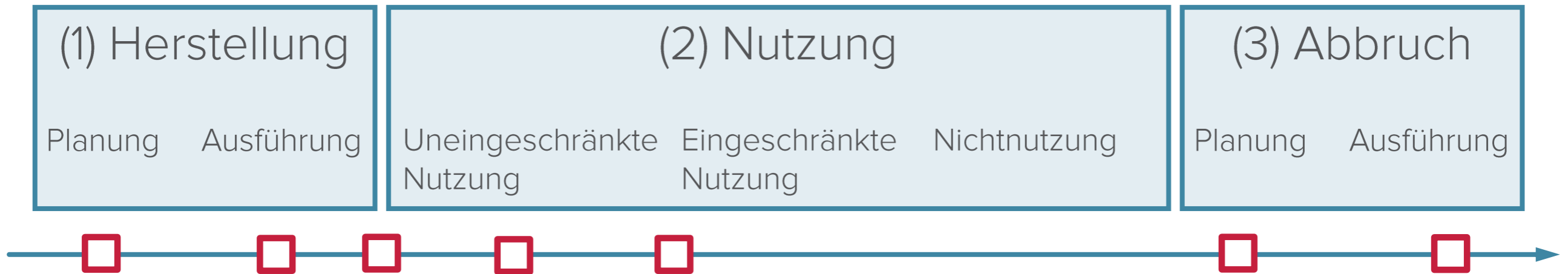
Bergisch Gladbach, den 21.03.2018

Prof. Steffen Marx

# MONITORING IM LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS

# ANLÄSSE IM LEBENSZYKLUS

## Lebenszyklus



➔ Diverse Anlässe über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks

# ZWECKE DES MONITORINGS

## A. Bauwerksdiagnostik

A.1. System- und Einwirkungsidentifikation

A.2. Anomalie- bzw. Schadensanalyse

## B. Bauwerksüberwachung

B.1. Beobachtung von Veränderungen der Einwirkungen und Bauwerksreaktionen

B.2. Baubegleitende Überwachung



Je nach Aufgabe,  
Anforderungen sehr unterschiedlich



# ARBEITSKREIS BRÜCKENBAU DES DBV



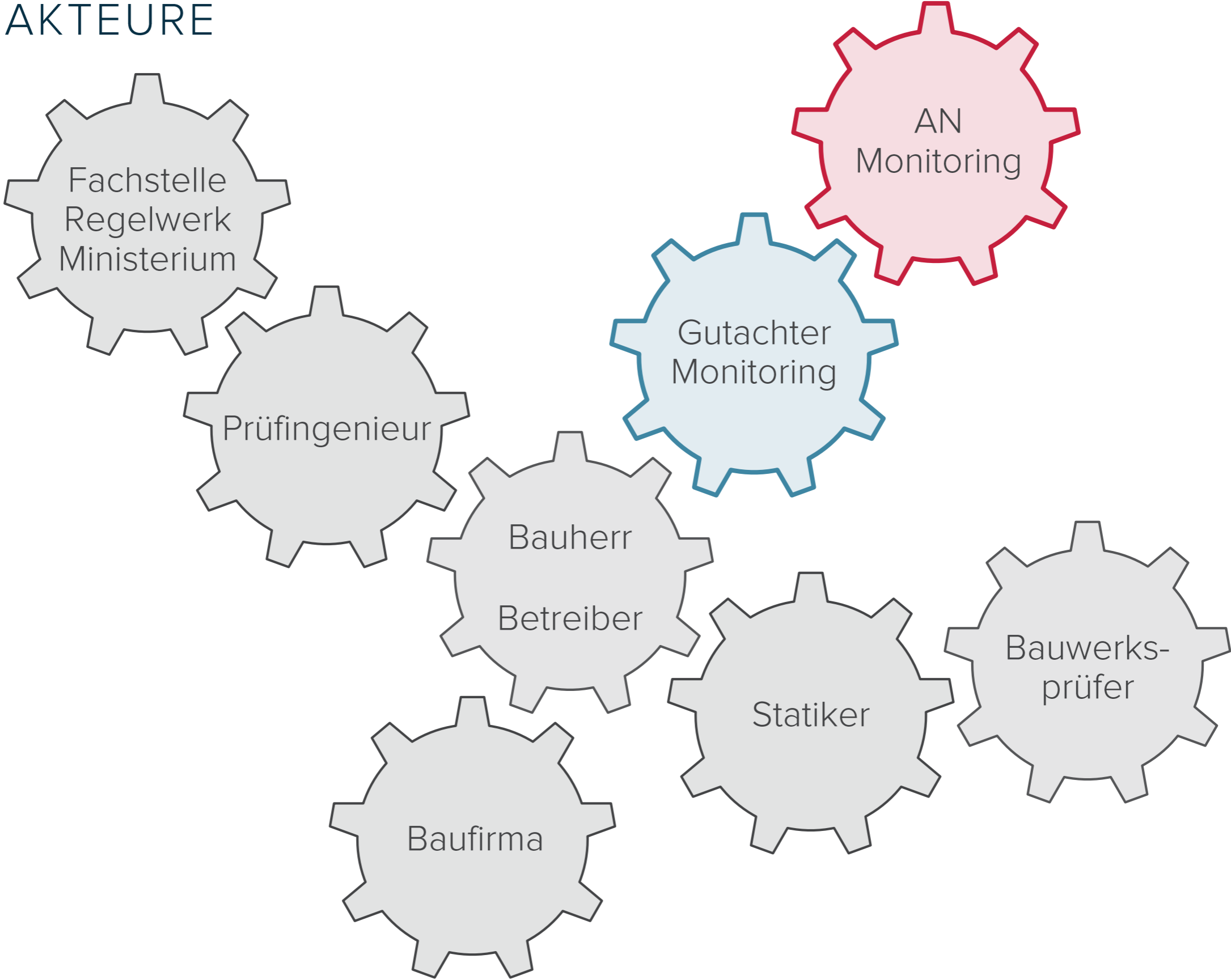
## ZIEL:

- ➔ Erstellung eines Merkblattes zur Definition eines Standards für Bauwerksmonitoring

## INHALT DES MERKBLATTES

- ➔ Begriffsdefinitionen
- ➔ Anwendungsmöglichkeiten für Monitoring
- ➔ Anlässe im Brückenbau
- ➔ Definition des Prozesses

# DIE AKTEURE



1. Definition der Fragestellung

2. Erstellung Monitoringkonzept

3. Ausführungsplanung  
Messsystem

4. Installation, Betrieb, Erhebung

5. Aufbereitung, Auswertung

6. Bewertung

## DER PROZESS

- Erfolg eines Monitoringprojektes ist abhängig vom strukturierten Ablauf
- Klare Phasen
- Klare Zuständigkeiten
- Vorschlag in Analogie zur HOAI im Merkblatt

BEISPIELE:  
UNTERSCHIEDLICHE ANWENDUNGEN UND  
ERKENNTNISSE

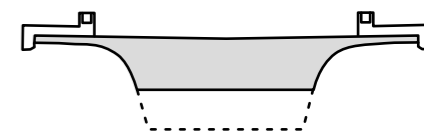
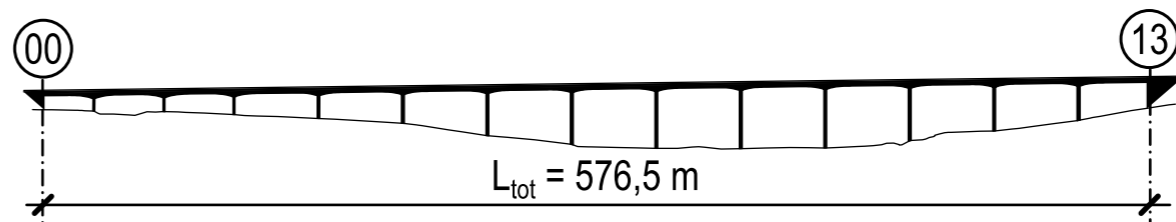




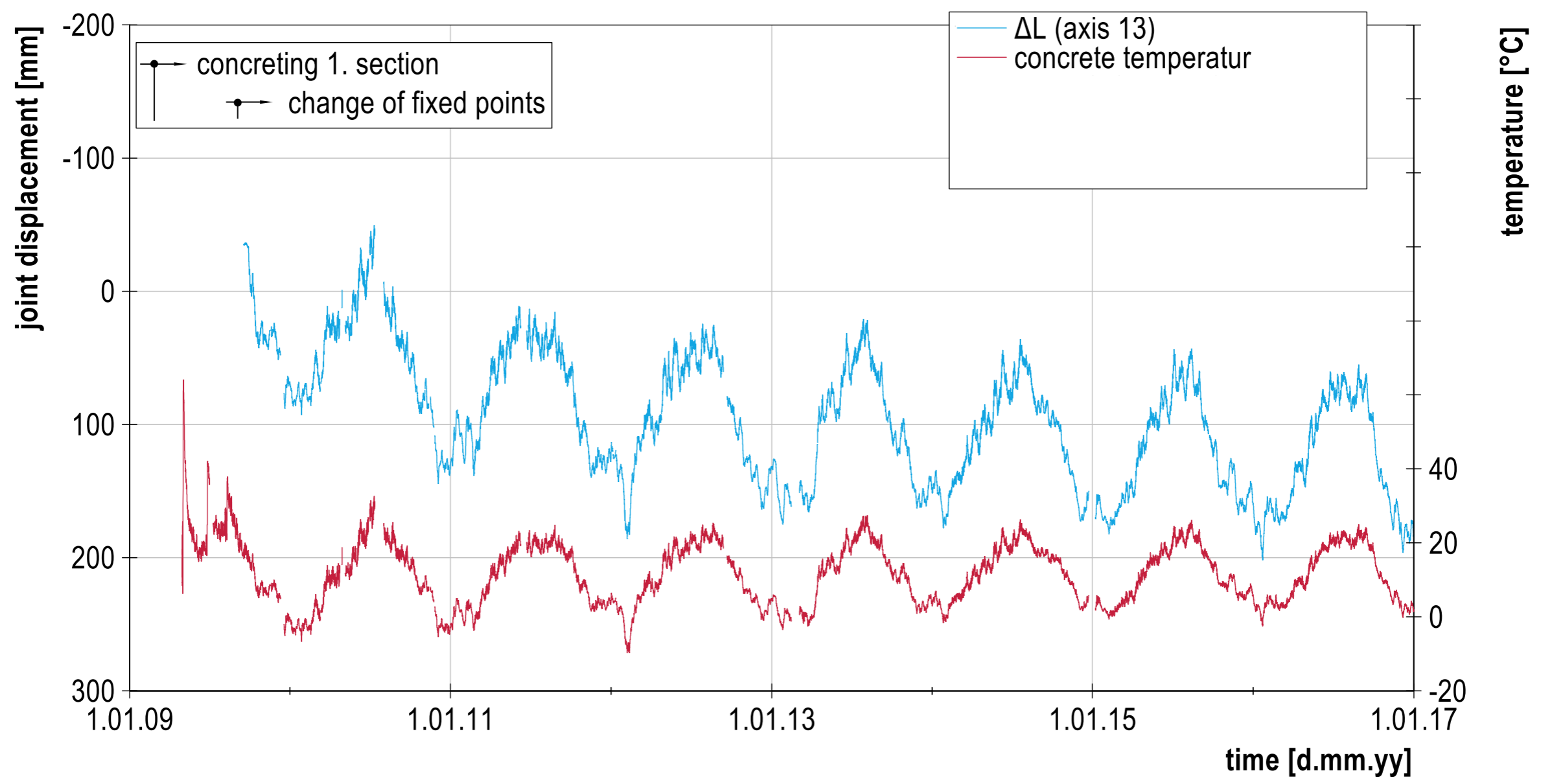
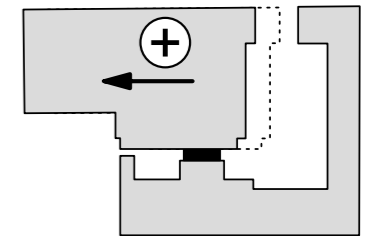
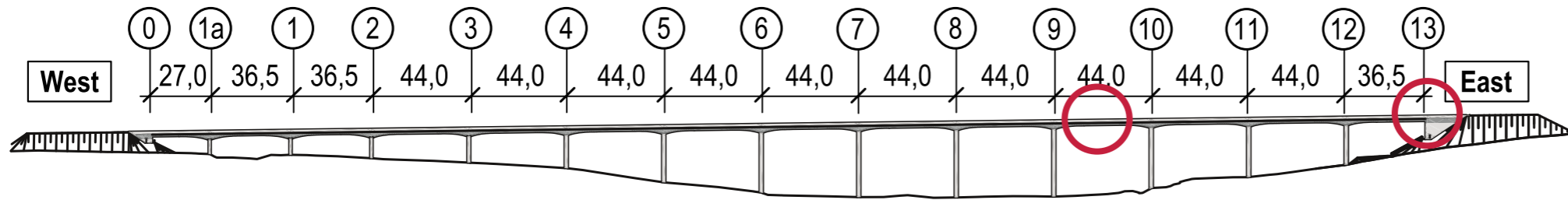
Photo: ©Ludolf Krontal

# SCHERKONDEDETALBRÜCKE

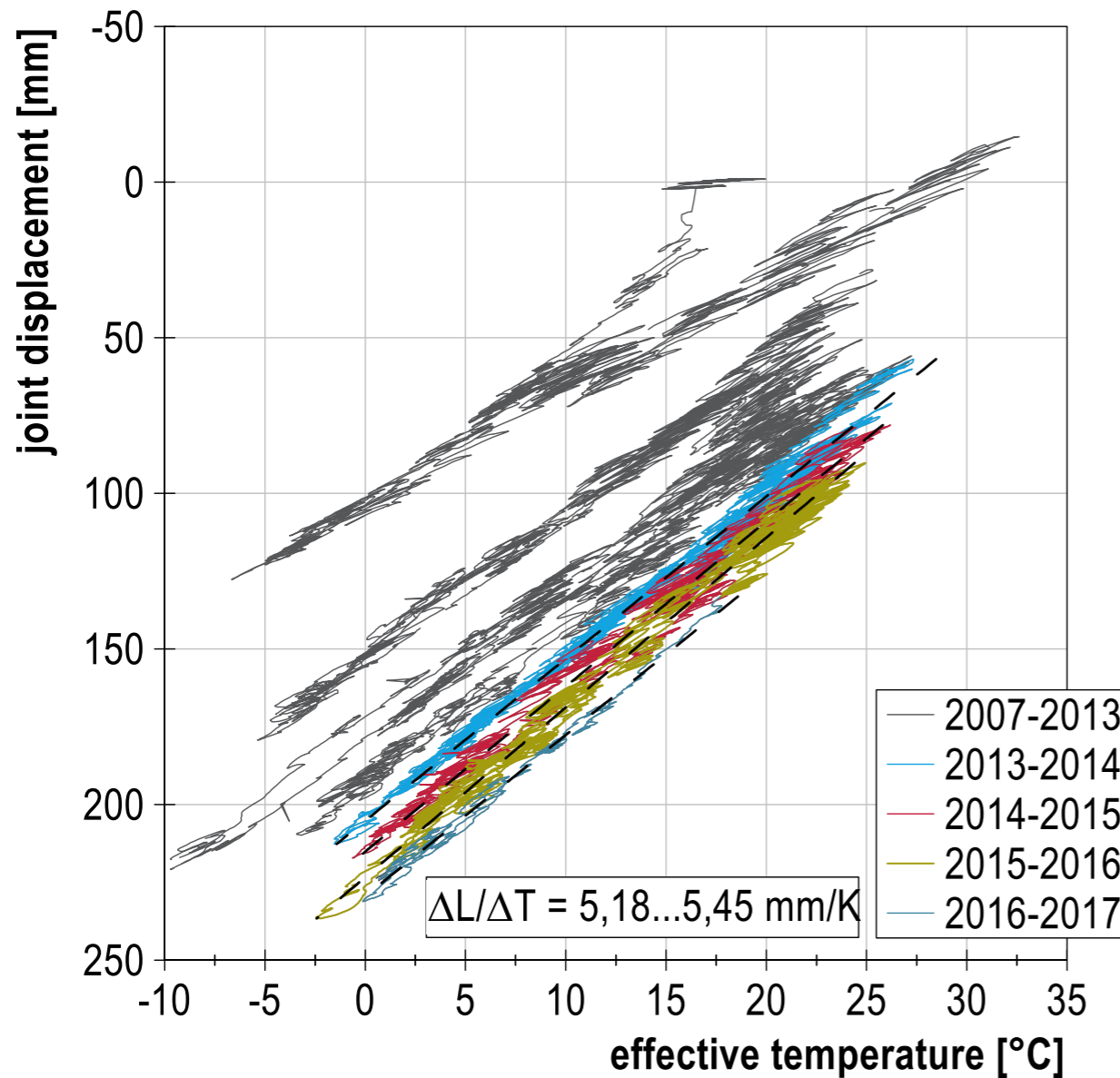
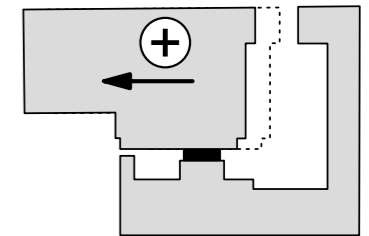
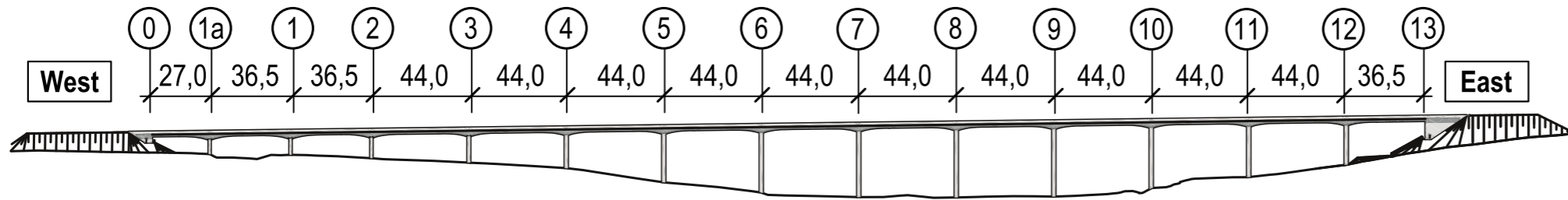
MARX KRON TAL







# MESSERGEBNISSE | SCHERKONDEDETALBRÜCKE



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_T} = \alpha_T \cdot \Delta T + \varepsilon_{cc} + \varepsilon_{cs}$$

$$\alpha_T = \alpha_T = \frac{\Delta L}{L_T \cdot \Delta T} + \frac{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{cs}}{\Delta T}$$

0 wenn  $t \rightarrow \infty$

$$L_T = 576,5 \text{ m}$$

$$\alpha_T = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

## TEMPERATURAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENT





Photo: ©Marx Krontal GmbH

## ERGEBNISSE DER ANDEREN BAUWERKE

Bauwerk	$\alpha_T$ [ $10^{-6}$ 1/K]
Scherkondetalbrücke	9,4
Gänsebachtalbrücke	10,0
Unstruttalbrücke	12,5
Stöbnitztalbrücke	13,5
Saale-Elster Talbrücke	11,6

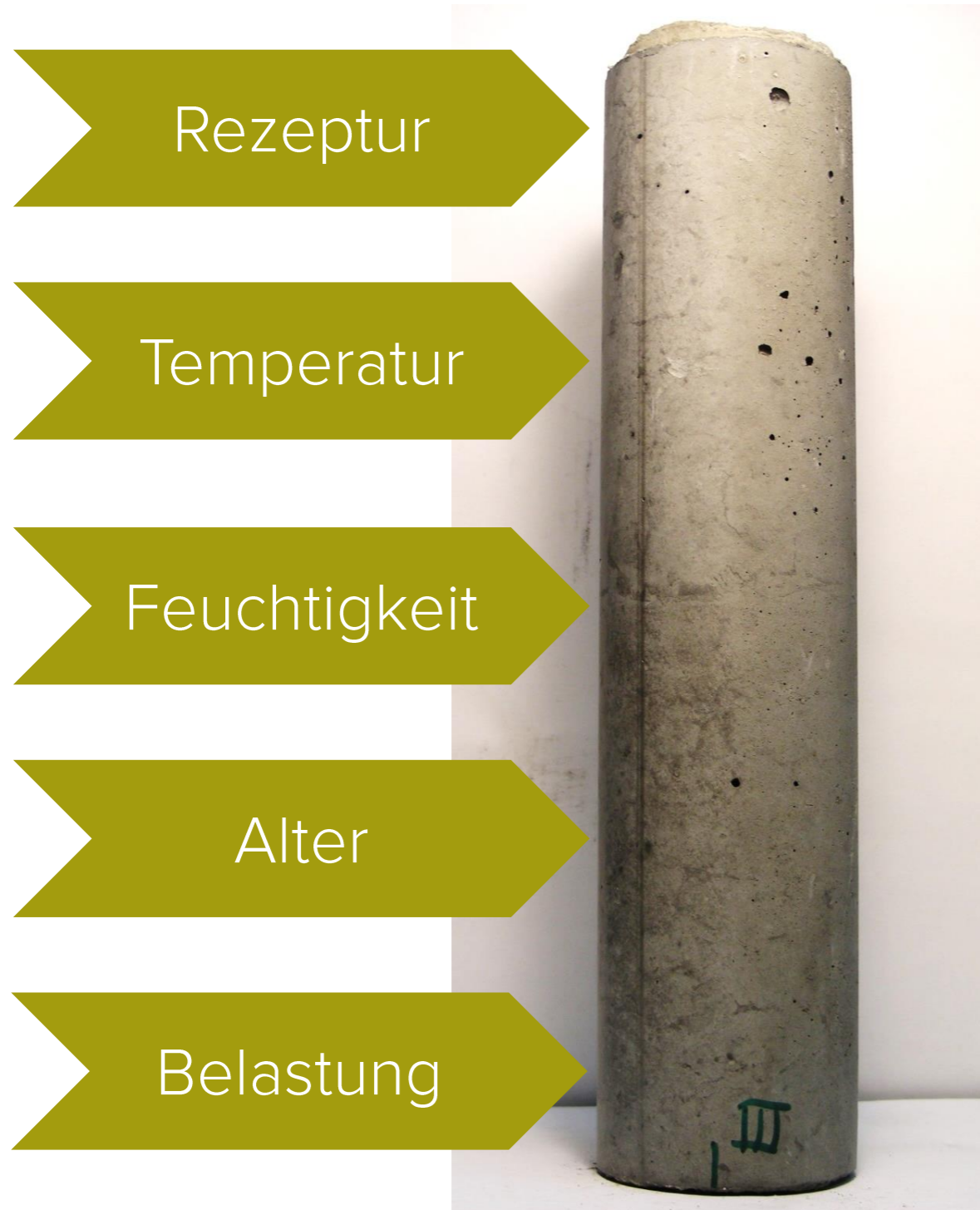
- Einfluss der Zuschlagsstoffe
- Regionale Unterschiede
- Veränderte Beanspruchung der Fugenkonstruktionen und monolithischen Knoten



ERKENNTNISSE ZUM  
KRIECHEN UND SCHWINDEN

MARX KRONTAL 

## VERBUNDMATERIAL BETON

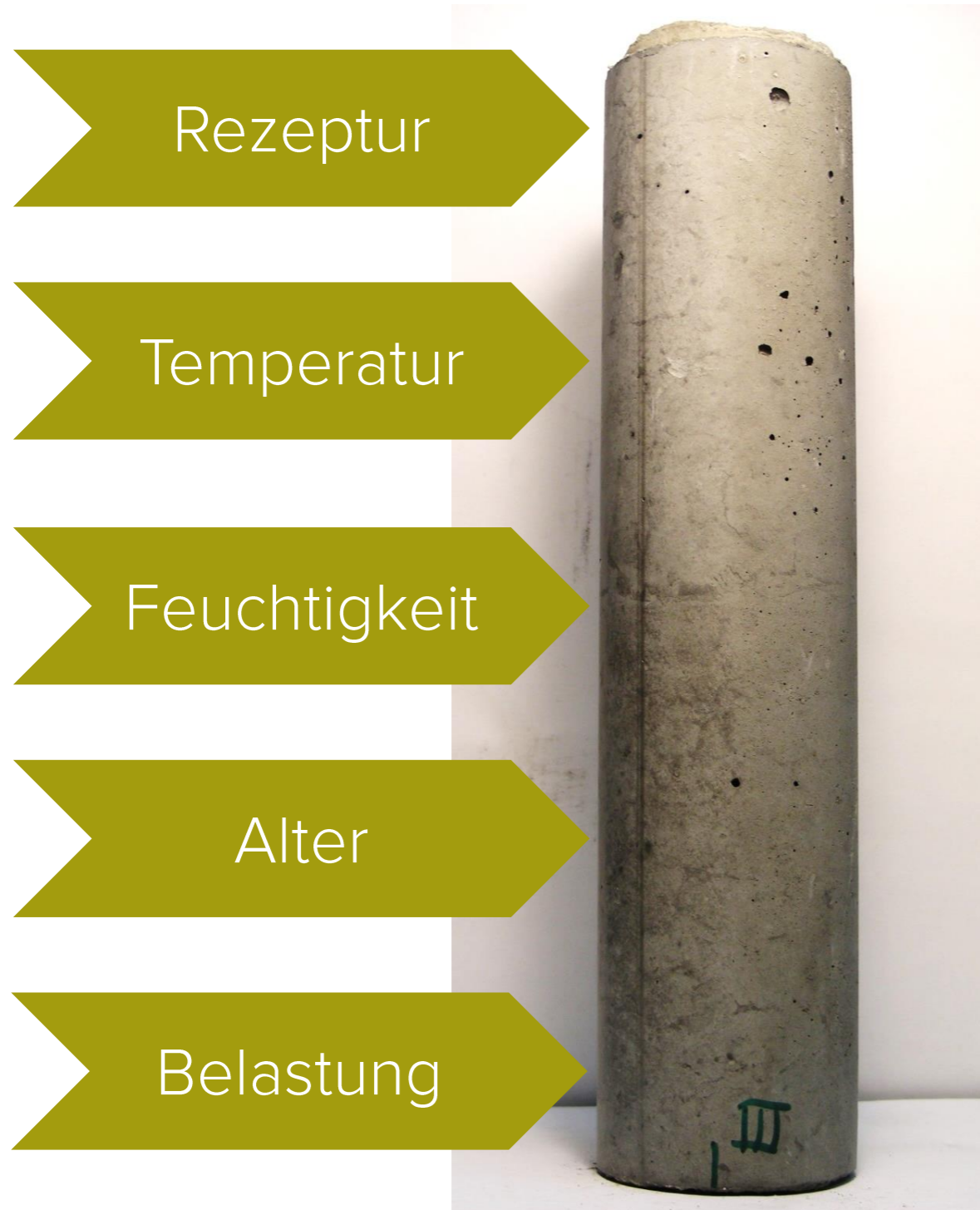


$$\Delta L = L_T \cdot \left[ \left( \alpha_{Tw} + \alpha_{Ts}^{t,T,F} \right) \cdot \Delta T + \left( \epsilon_{cc}^{t,\sigma,T,F} + \epsilon_{cs}^{t,T,F} \right) \right]$$

- $\alpha_{Tw}$  „wahre“ Wärmedehnung
- $\alpha_{Ts}$  „scheinbare“ Wärmedehnung
- $\epsilon_{cc}$  Kriechdehnung
- $\epsilon_{cs}$  Schwinddehnung

LANGZEITVERHALTEN DES MATERIALS „BETON“

## VERBUNDMATERIAL BETON

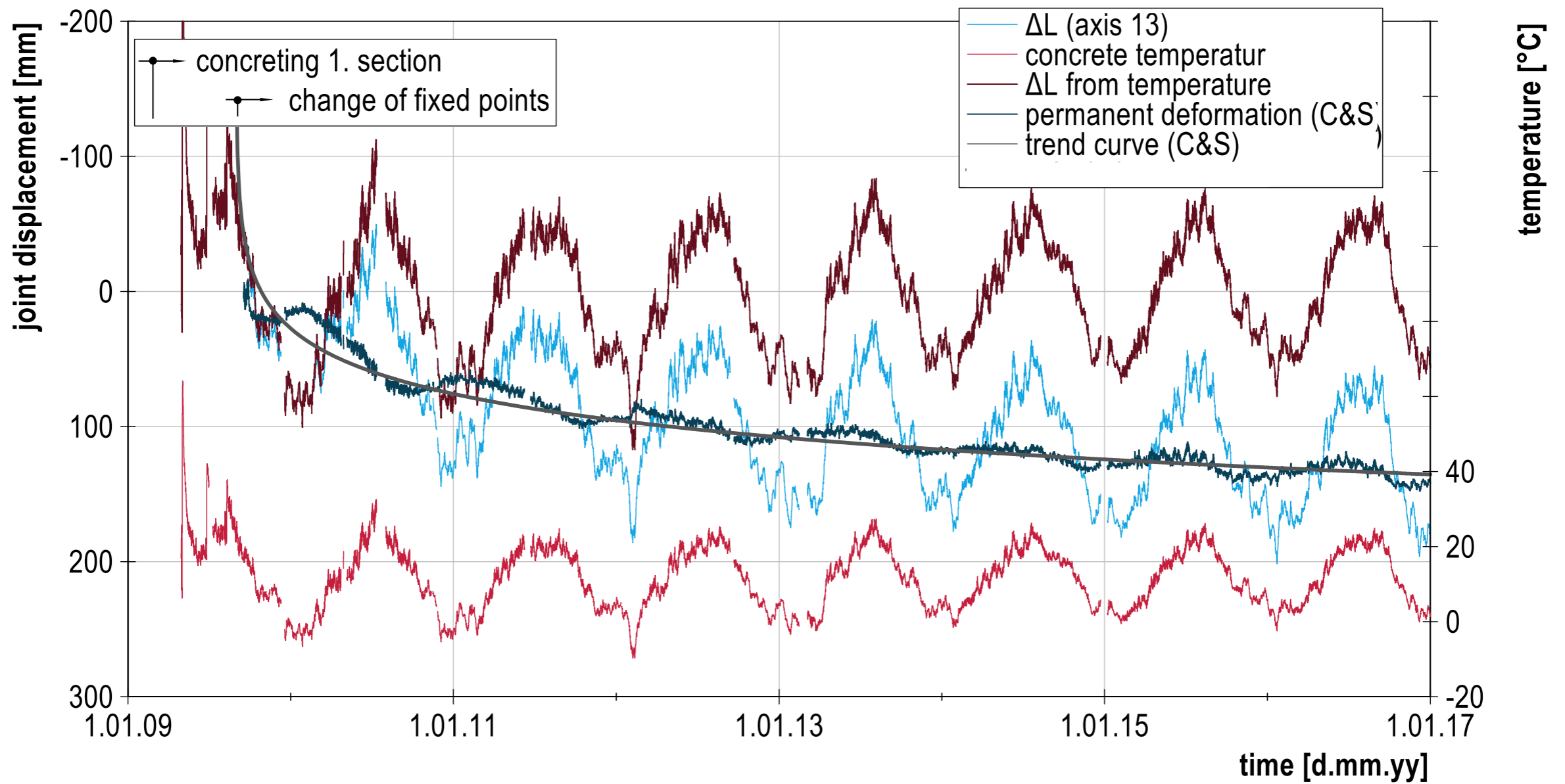
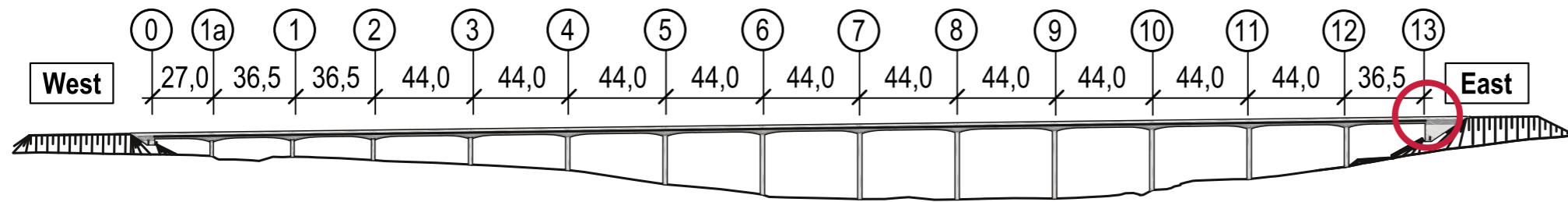


$$\Delta L = L_T \cdot \left[ \left( \alpha_{Tw} + \alpha_{Ts}^{t,T,F} \right) \cdot \Delta T + \left( \varepsilon_{cc}^{t,\sigma,T,F} + \varepsilon_{cs}^{t,T,F} \right) \right]$$

- $\alpha_{Tw}$  „wahre“ Wärmedehnung
- $\alpha_{Ts}$  „scheinbare“ Wärmedehnung
- $\varepsilon_{cc}$  Kriechdehnung
- $\varepsilon_{cs}$  Schwinddehnung

- Komplexes Materialverhalten
- Prognosen abhängig von Eingangsparametern

LANGZEITVERHALTEN DES MATERIALS „BETON“



SEPARIERUNG DER EFFEKTE AUS T, K UND S

# VERGLEICHSRECHNUNG

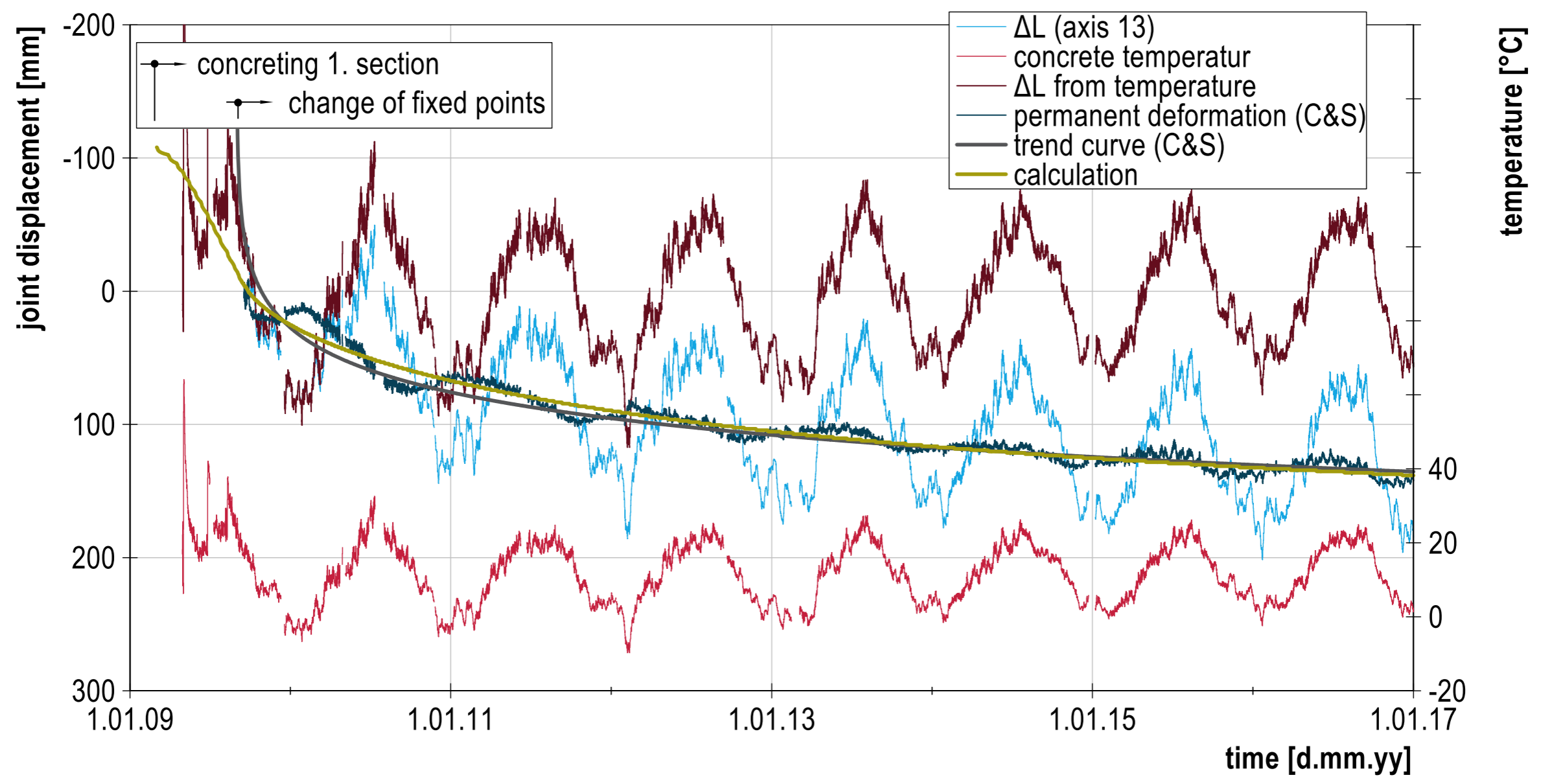
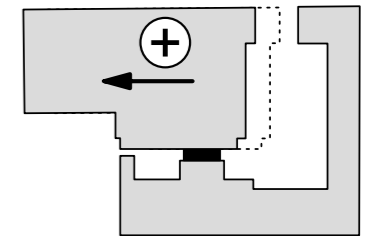
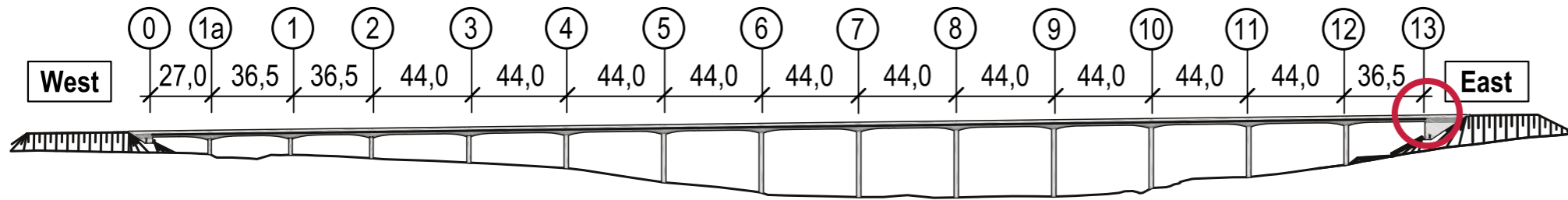
## EINGANGSPARAMETER

- Baustoffkennwerte und Querschnittsabmessungen gemäß Bestandsstatik
- Unterscheidung zwischen Stütz- und Feldquerschnitt
- Herstellungs- und Belastungsgeschichte (Bautagebuch)
- RH = 75% aus Messungen



Photo: © Marx Krontal GmbH





VERGLEICHSRECHNUNG

ERKENNTNISSE ZUR  
MITWIRKUNG DER FESTEN FAHRBAHN



## BELASTUNGSFAHRTEN AUF DER VDE 8.2

- Vor der Inbetriebnahme
- Auf 4 großen Talbrücken
- 2 Güterzüge á 960 t Gewicht und 145 m Länge
- Konzentrierte Lasteinleitung durch enge Achsabstände
- Messungen der Bauwerksreaktionen
- Vergleich mit Numerik

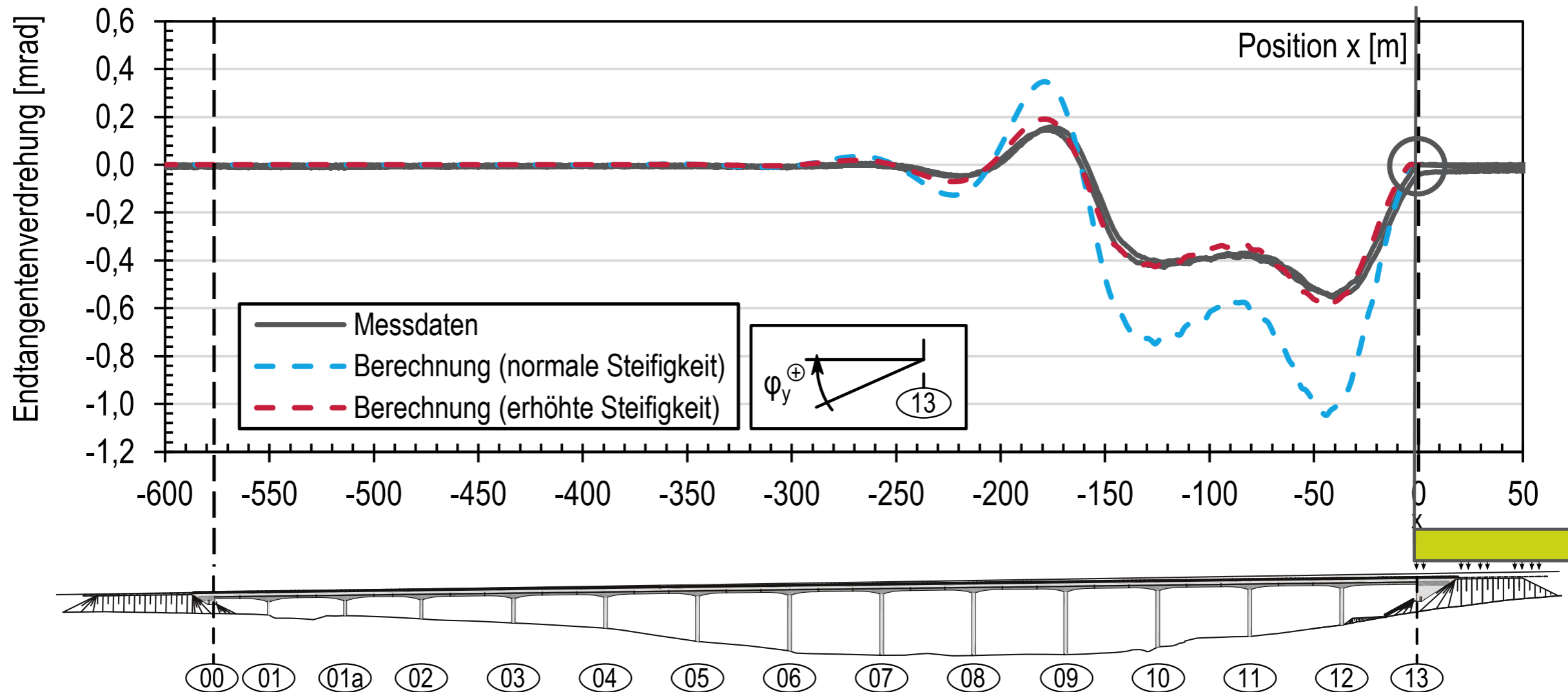
Ziel:

- Kenntnisse über das Bauwerksverhalten



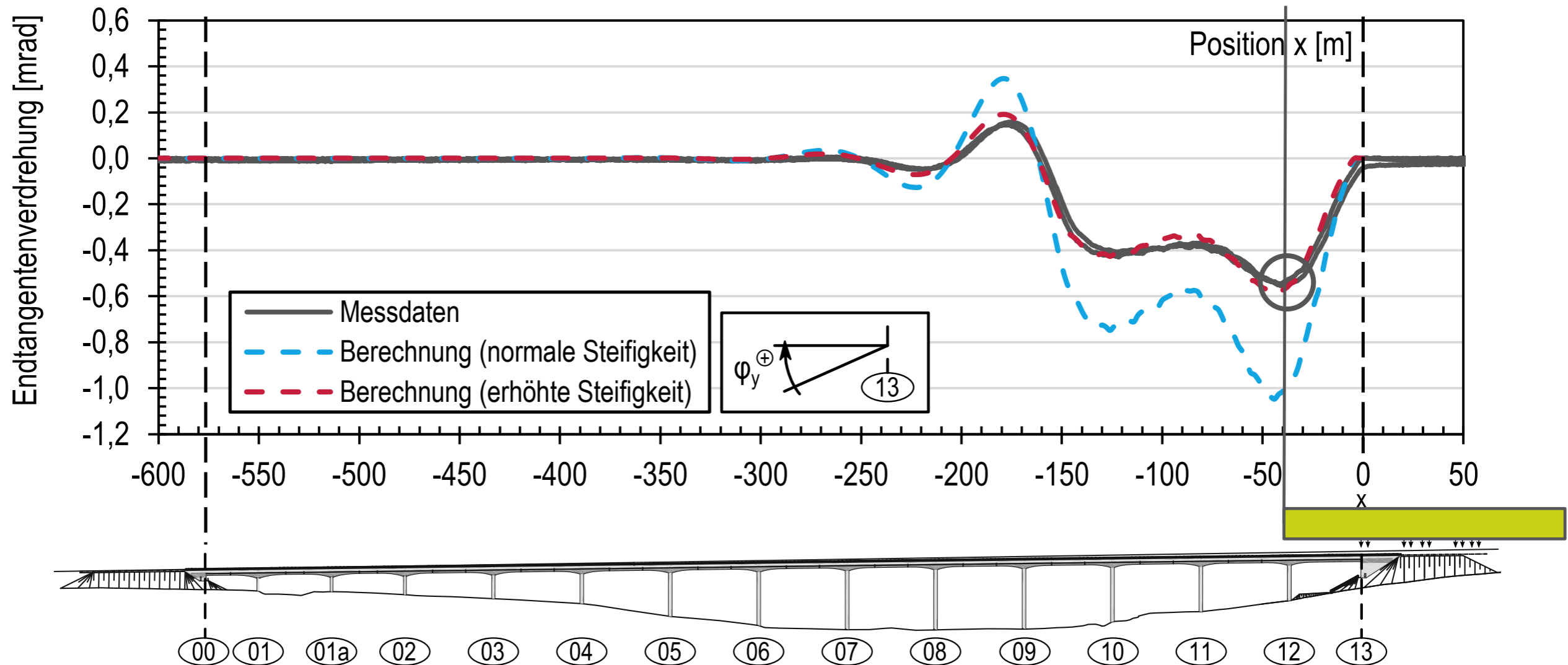
# ERGEBNISSE EINFLUSSLINIEN

- Tragwerksreaktionen bei Endtangentenverdrehung und Pfeilerkopfkrümmung plausibel und vergleichbar
- Deutliche Mitwirkung des Fahrbahnaufbaus



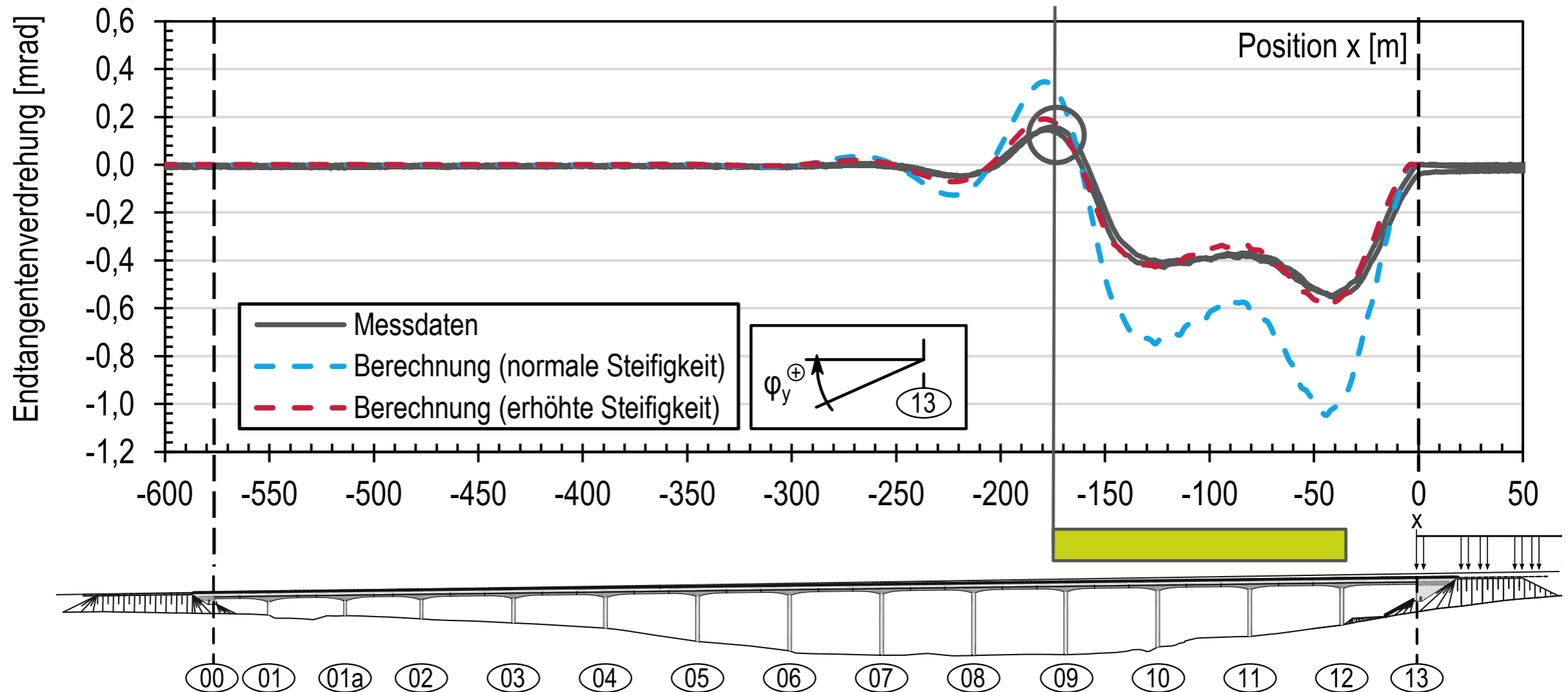
# ERGEBNISSE EINFLUSSLINIEN

- Tragwerksreaktionen bei Endtangentenverdrehung und Pfeilerkopfkrümmung plausibel und vergleichbar
- Deutliche Mitwirkung des Fahrbahnaufbaus



# ERGEBNISSE EINFLUSSLINIEN

- Tragwerksreaktionen bei Endtangentenverdrehung und Pfeilerkopfkrümmung plausibel und vergleichbar
- Deutliche Mitwirkung des Fahrbahnaufbaus





# MITWIRKUNG DER FESTEN FAHRBAHN BEIM LASTABTRAG



Photo: © Marc Wenner

- Feste Fahrbahn beteiligt sich am Lastabtrag, Günstig für das Tragwerk
- Unplanmäßige Belastung der Festen Fahrbahn?
- Überbelastung oder Verringerung der Lebensdauer?

## Erkenntnisse:

- Messungen an der FF zeigen sehr geringe Beanspruchungen

# ERKENNTNISSE ZUR ERMÜDUNG

MARX KRONTAL 





Photo: © Marc Wenner

## ERMÜDUNGS- BEANSPRUCHUNG

- Erfassung von 19.250 Überfahrten in 2016
- Dehnungs- und Rissmessungen im Über- und Unterbau
- Zählung der Spannungsschwingbreiten über die Rainflow-Analyse

Ziel:

- Ermittlung der tatsächlichen Ermüdungsbeanspruchung infolge Verkehr

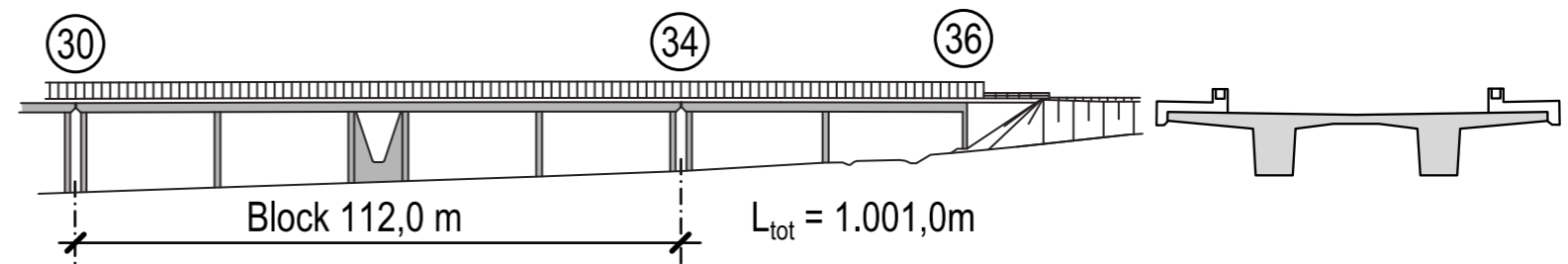




Photo: ©Ludolf Krontal

# GÄNSEBACHTALBRÜCKE

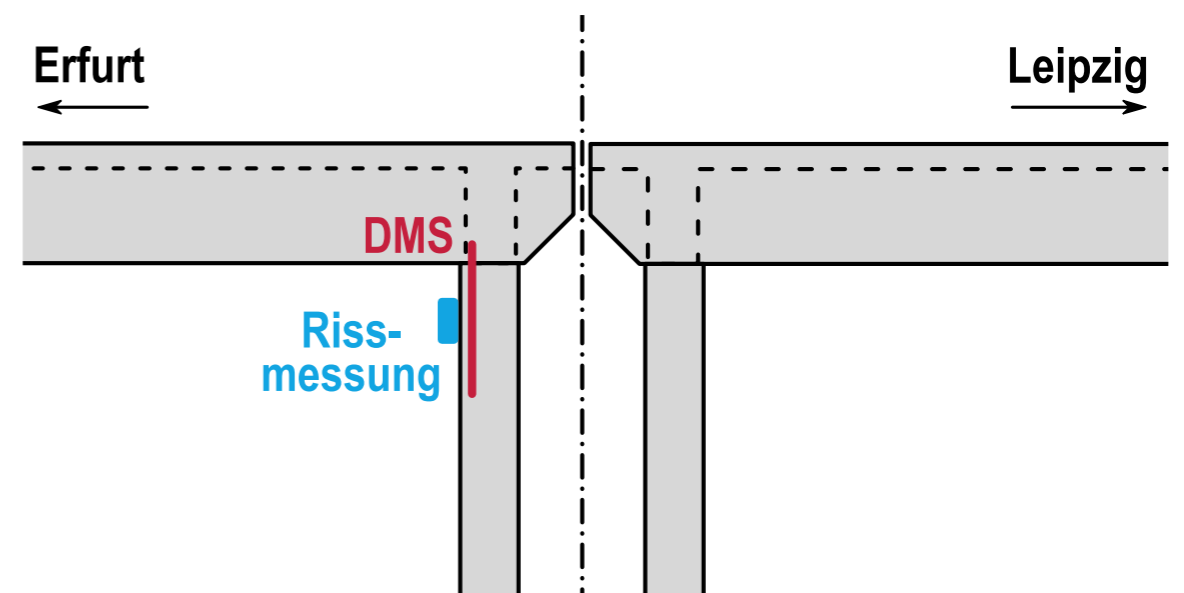
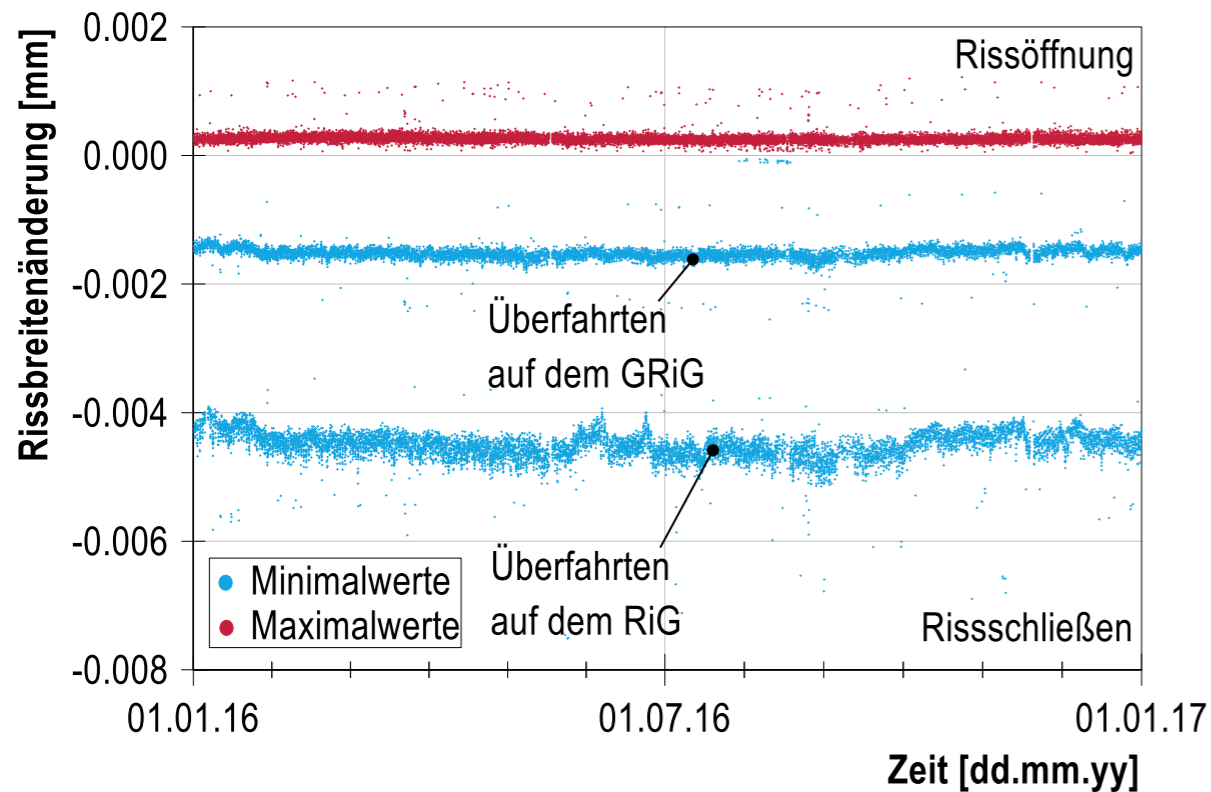
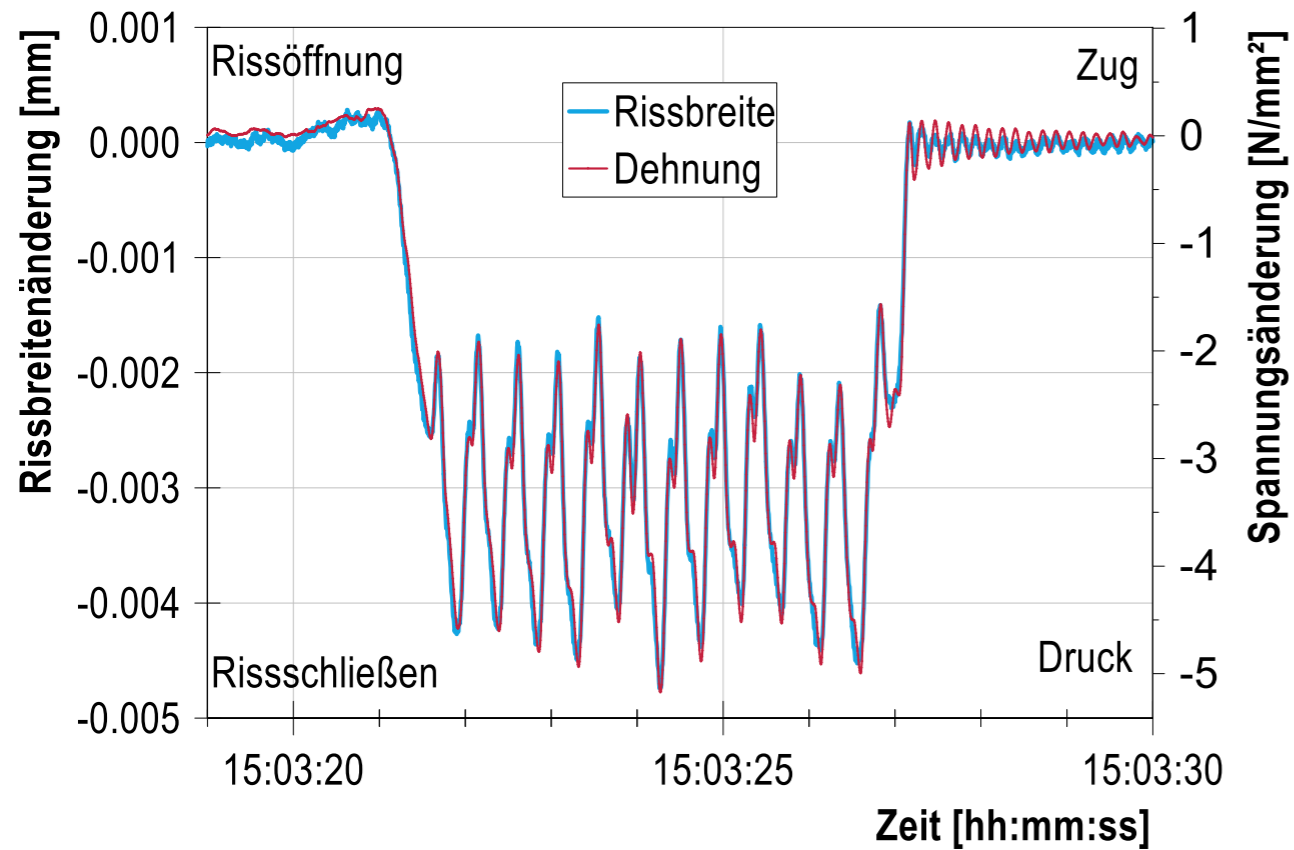
MARX KRON TAL





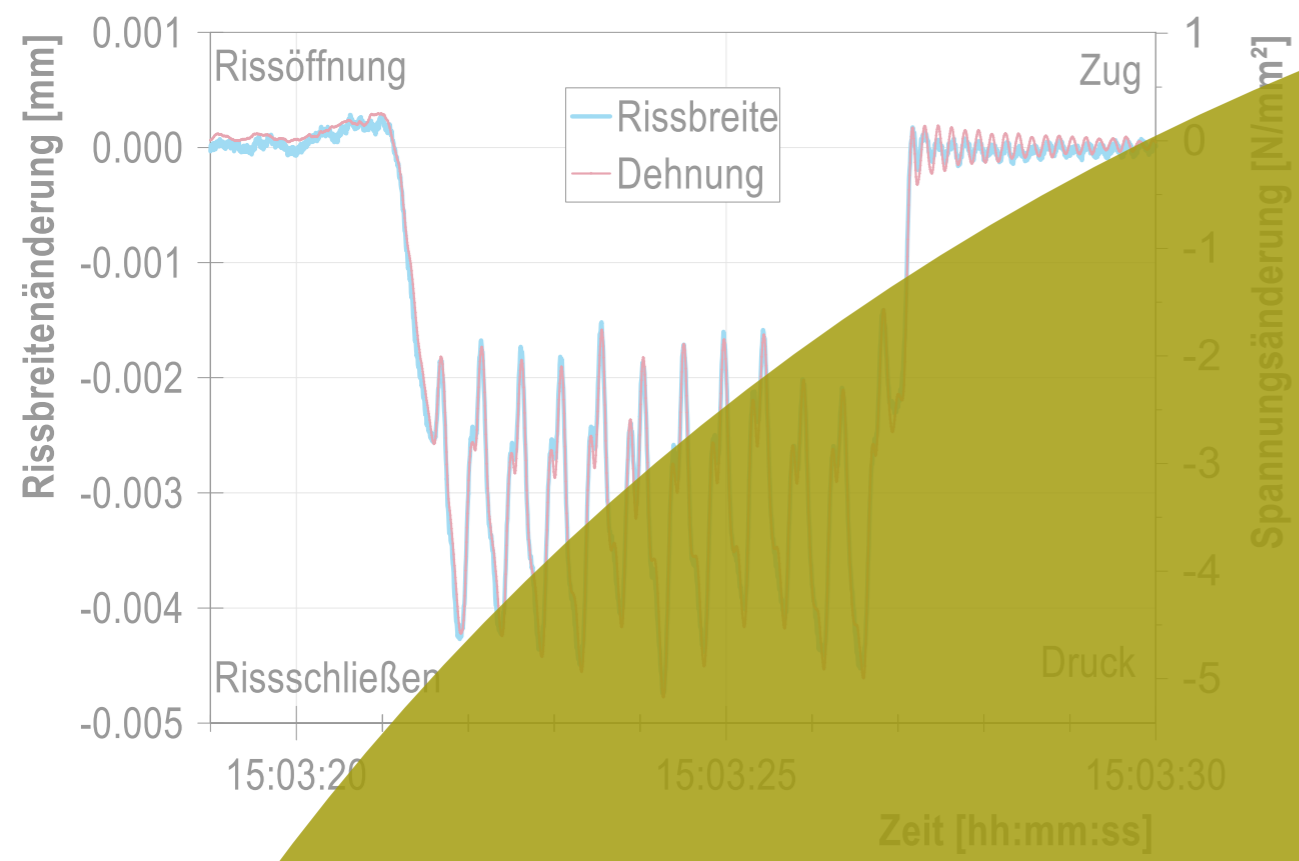
# RISS- UND DEHNUNGS- MESSUNGEN IM UNTERBAU

- Dehnungsmessungen am Betonstahl
- Rissmessungen in den Trennpfeilern
- Auswertung der Extremwerte für jede Zugüberfahrt





# RISS- UND DEHNUNGS- MESSUNGEN IM UNTERBAU

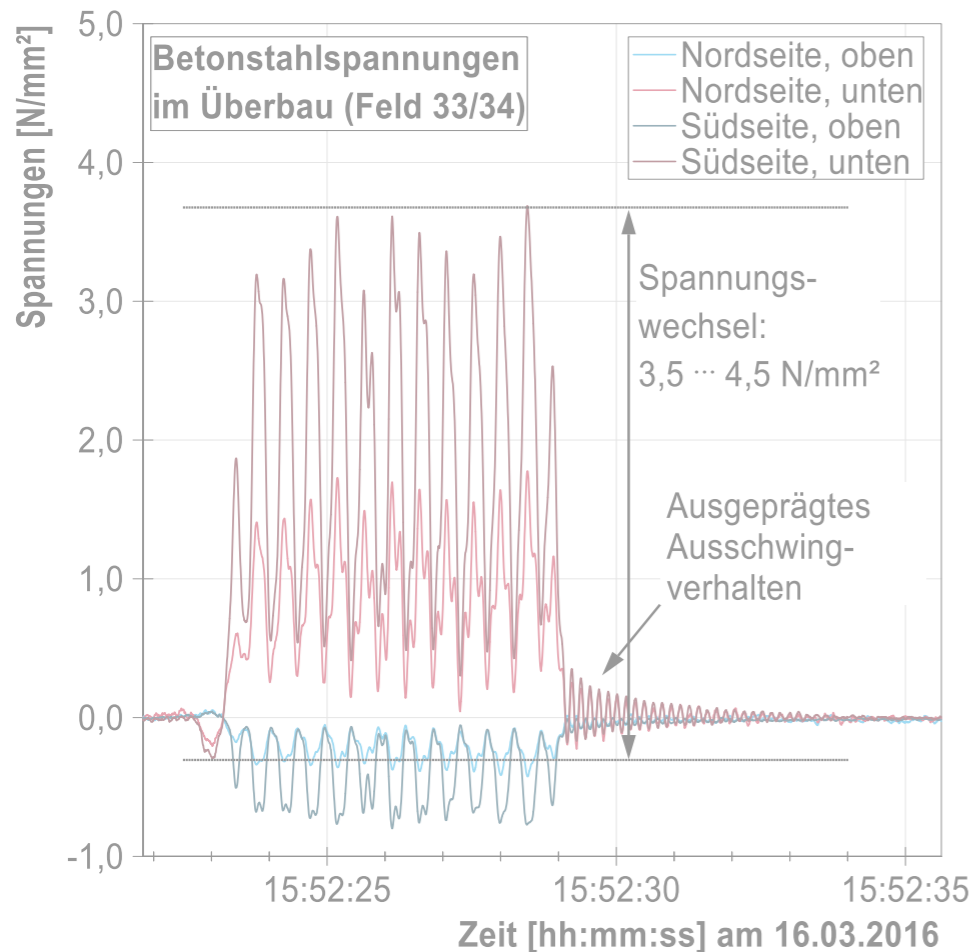


- Dehnungsmessungen am Betonstahl
- Rissmessungen in den Trennpfeilern
- Auswertung der Extremwerte für jede Zugüberfahrt

Menschliches Haar  
Ø = 0,07 mm

## Erkenntnisse:

- Sehr kleine Riss- und Dehnungsänderungen unter Personenverkehr



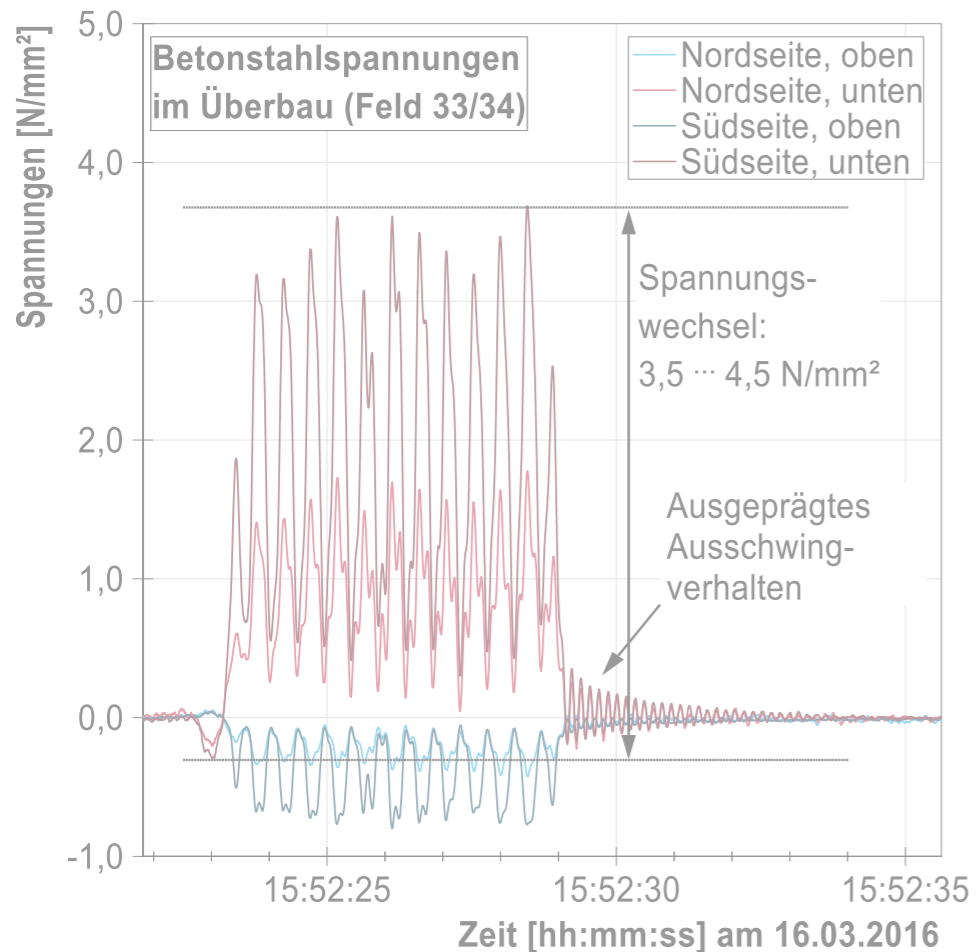
## DEHNUNGSMESSUNGEN IM ÜBERBAU

- Dehnungsmessungen am Betonstahl
- Zählung der Spannungswechsel mithilfe der Rainflow-Methode

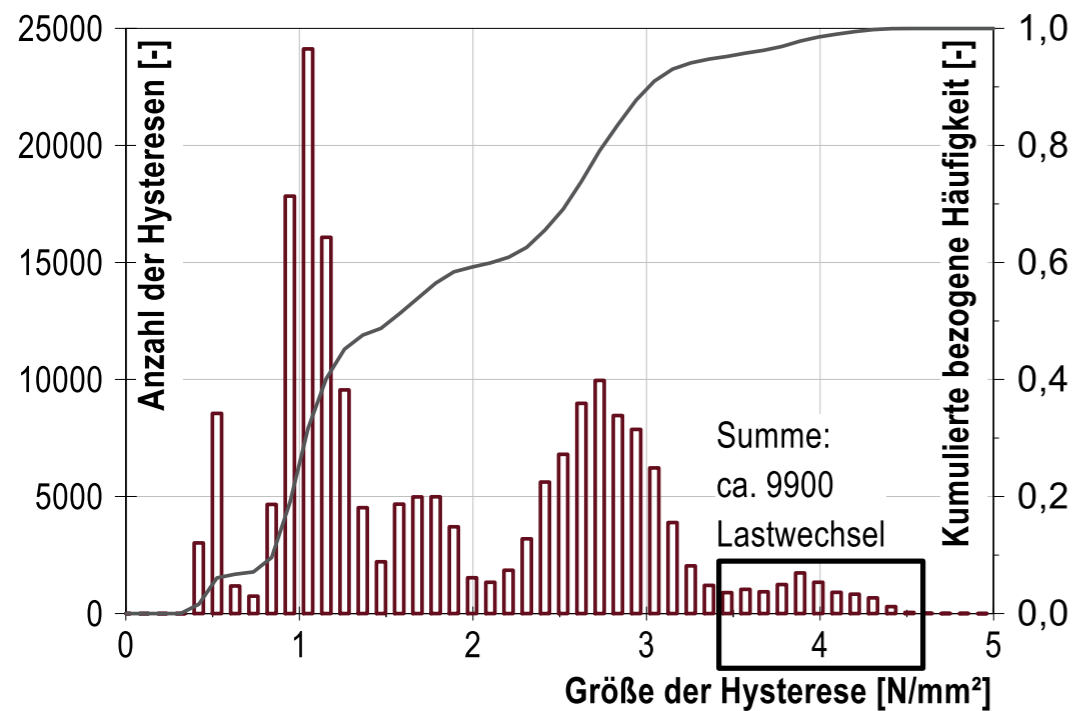
### Erkenntnisse:

- Sehr kleine Spannungsänderungen unter Personenverkehr
- Keine nennenswerte Ermüdungsbeanspruchung

# DEHNUNGSMESSUNGEN IM ÜBERBAU



- Dehnungsmessungen am Betonstahl
- Zählung der Spannungswechsel mithilfe der Rainflow-Methode



## Erkenntnisse:

- Sehr kleine Spannungsänderungen unter Personenverkehr
- Keine nennenswerte Ermüdungsbeanspruchung

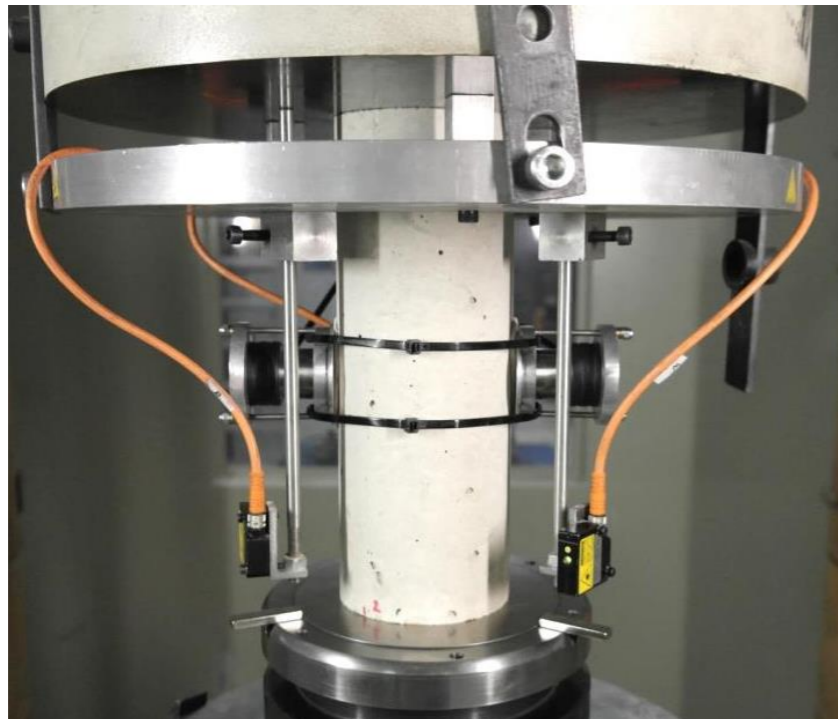
FORSCHUNGSANSÄTZE

MARX KRONTAL 

# FORSCHUNGSANSÄTZE

- ➔ Langzeitstabilität der Monitoringanlagen
- ➔ Datenmanagement, automatisierte Auswertung
- ➔ Schallbasierte Verfahren

## ULTRASCHALLMESSUNG (USM)

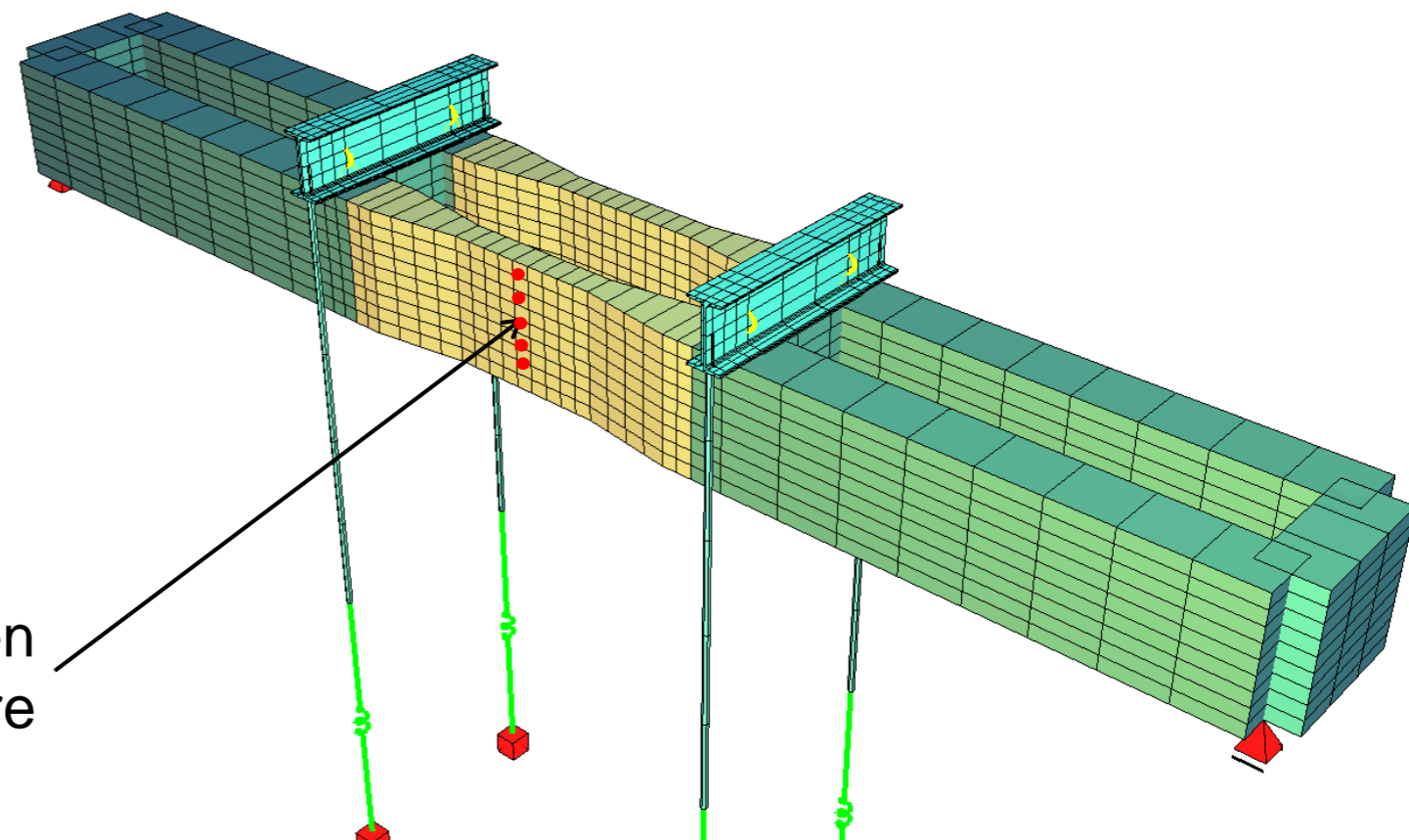
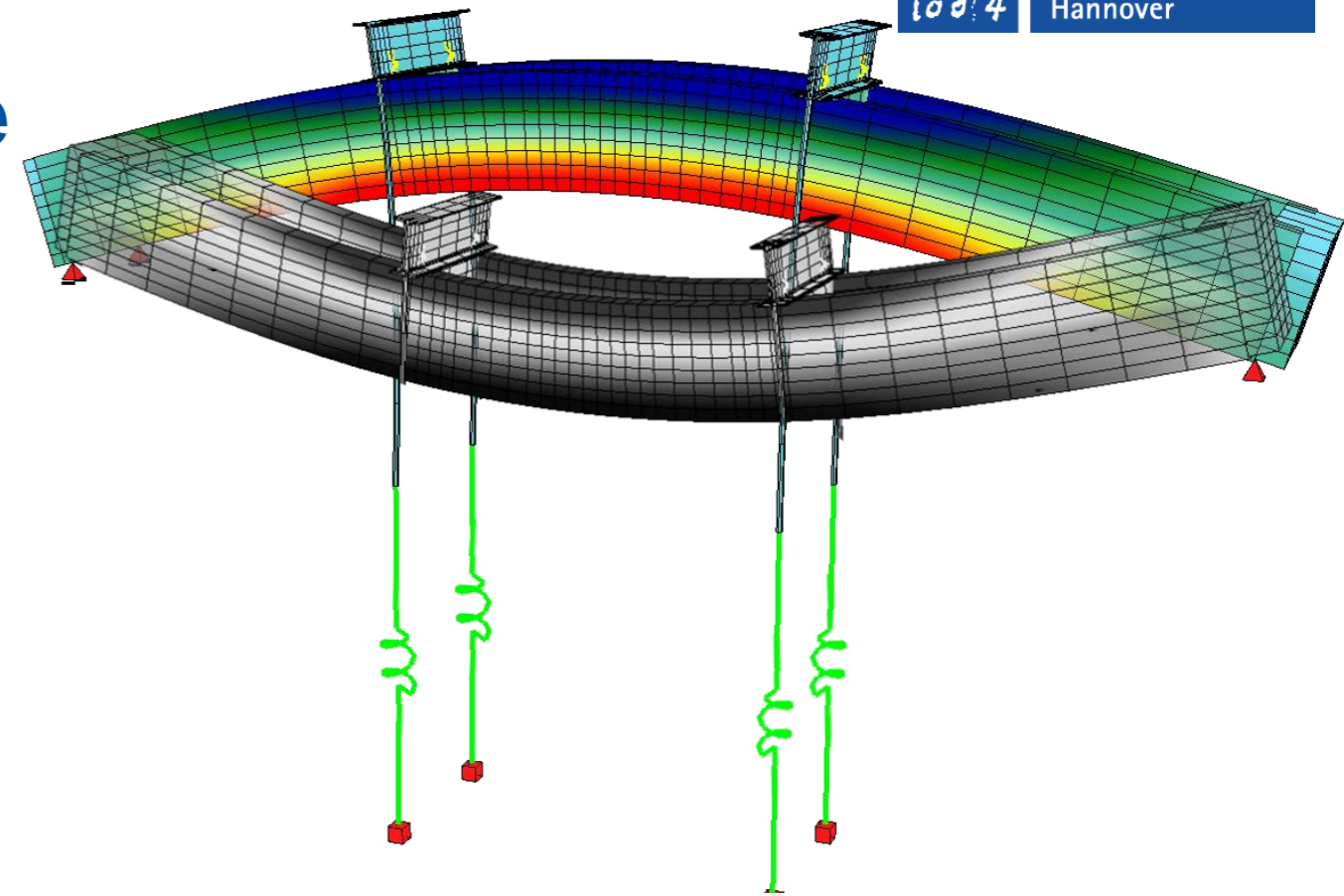


## SCHALLEMISSIONSMESSUNG (SEM)



# USM | Versuchsergebnisse

- Großversuche an Betonbalken
  - Länge: 9 m
  - Höhe: 80 cm
  - Ermüdungsbeanspruchung durch Unwuchtmotoren
  - **Ziel:** Erfassung der Spannungsumlagerungen auf Bauteilebene



Ultraschallmessungen  
5 Sender- & Empfänger-Paare



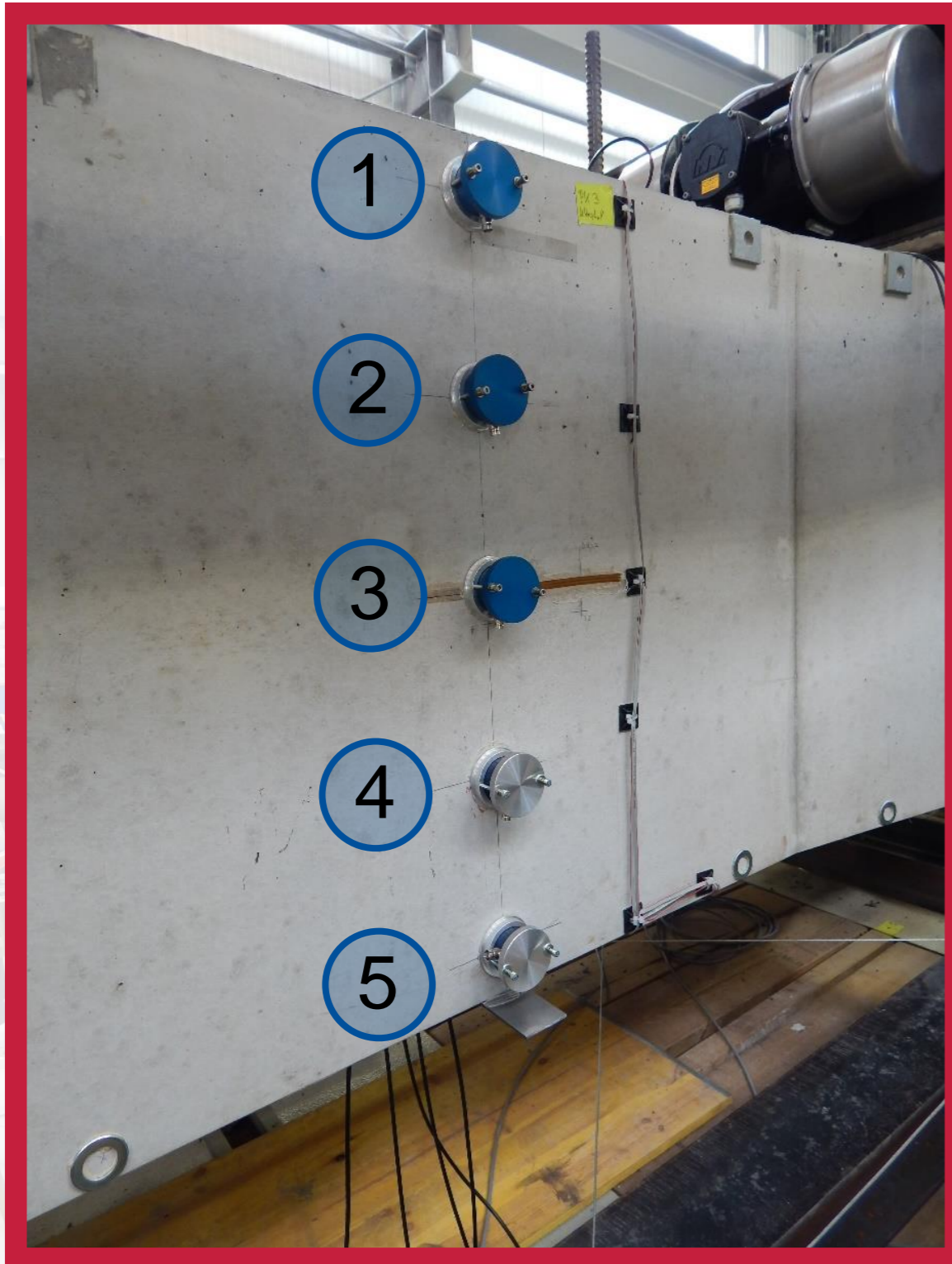
# Ultraschallmessung | Versuchsergebnisse

- Großversuche an Betonbalken





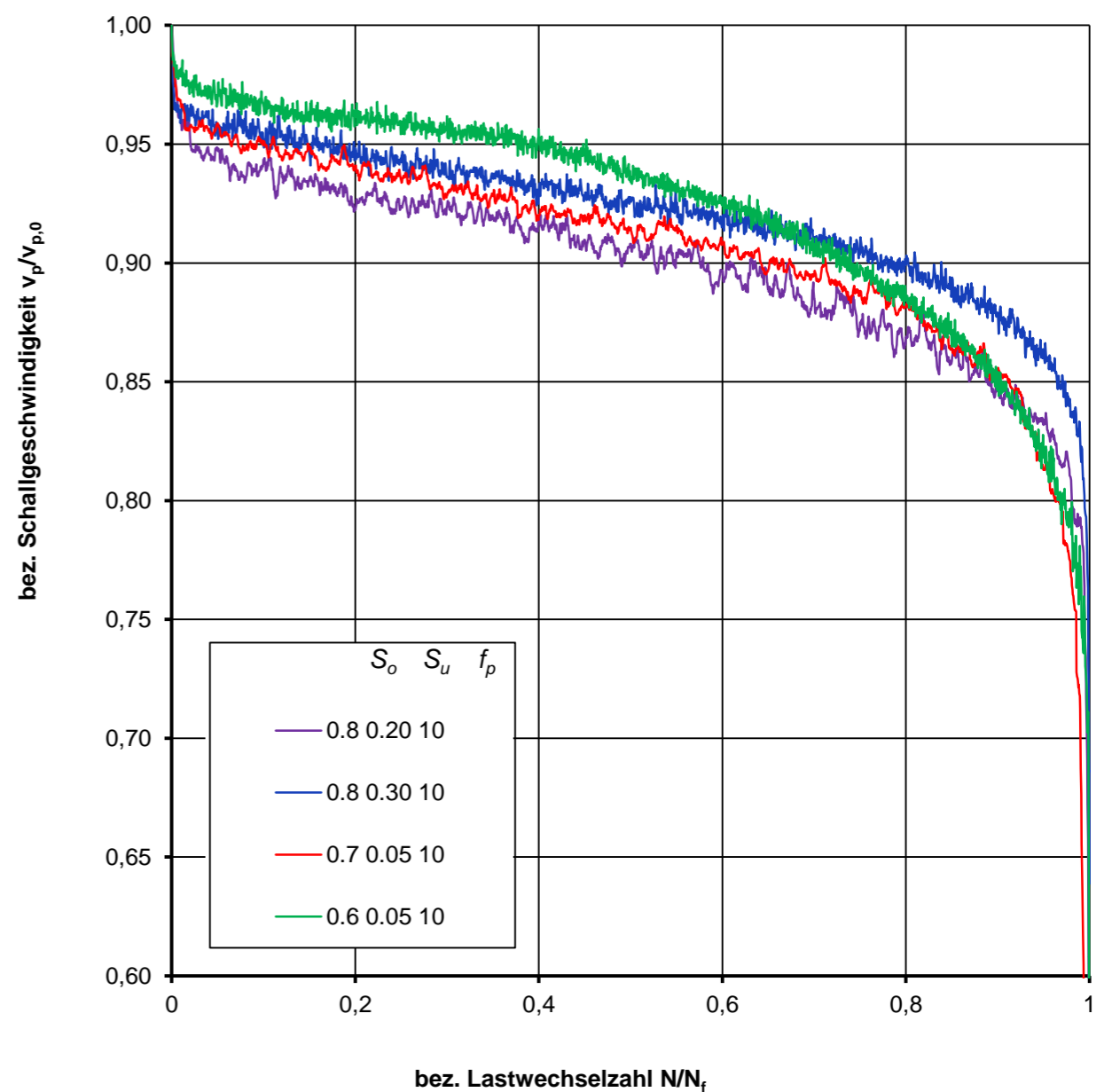
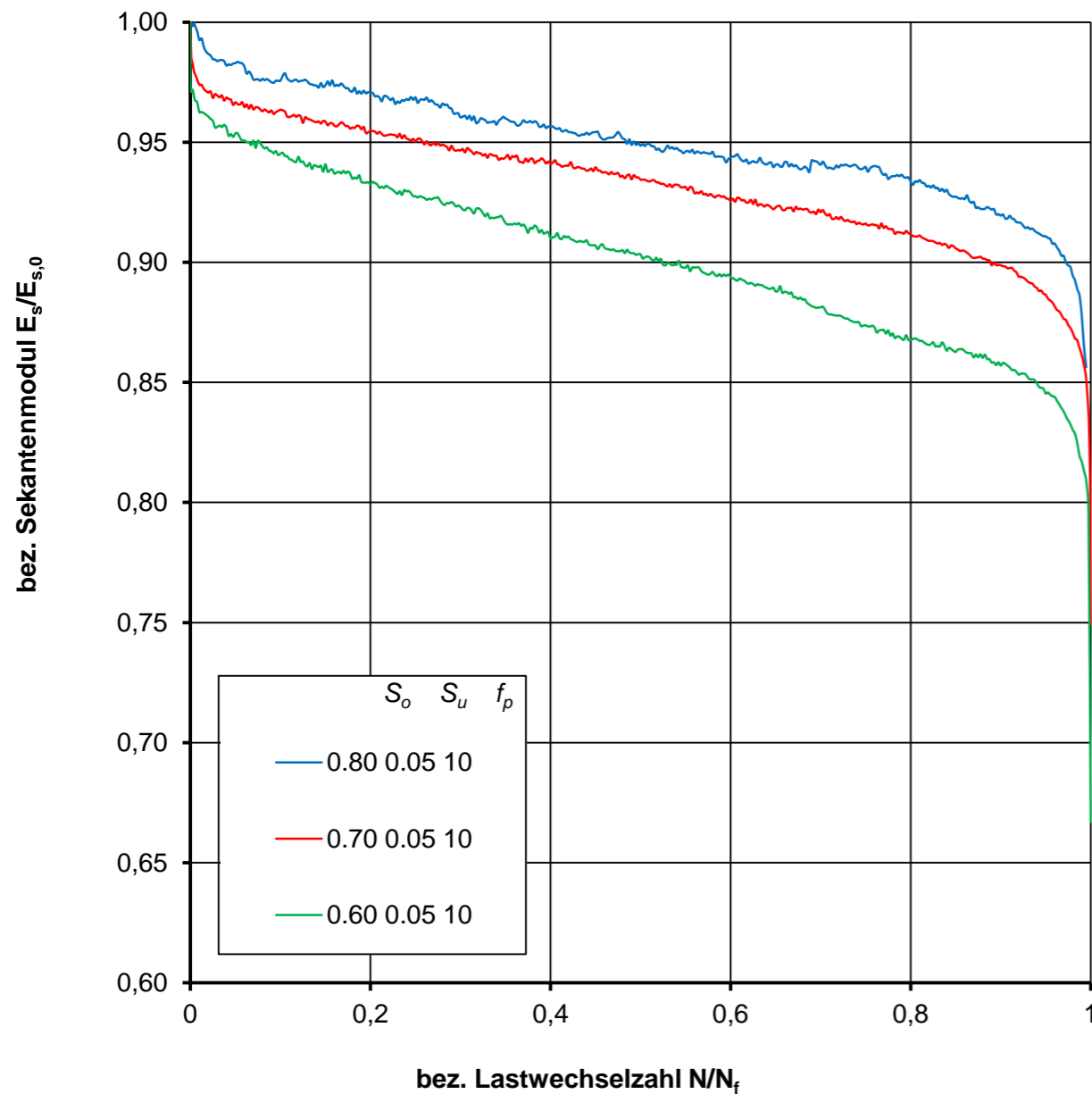
# Ultraschallmessung | Versuchsergebnisse





# USM | Versuchsergebnisse

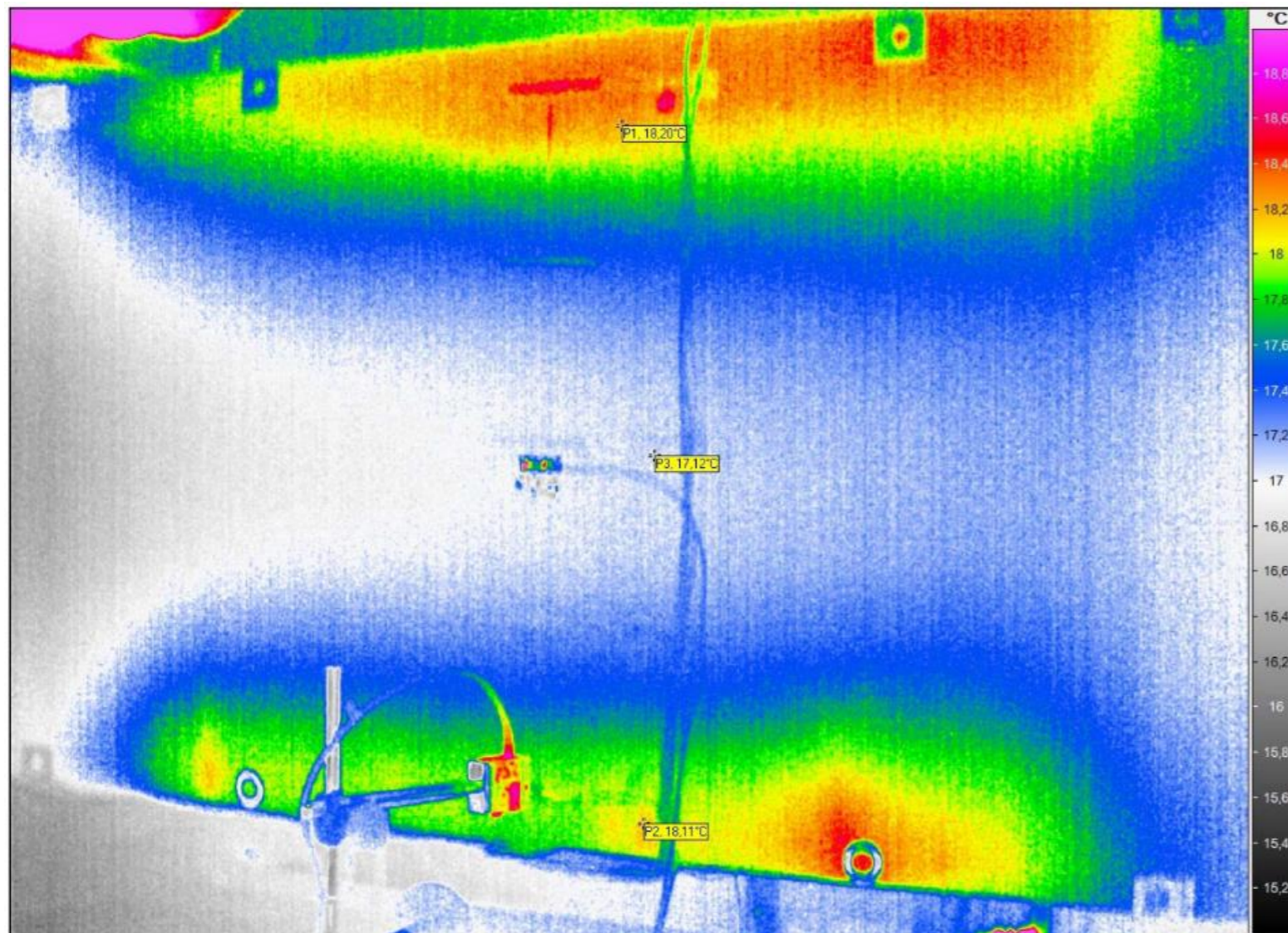
## ■ Ermüdungsversuche



$$E = \frac{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \cdot v_p^2$$

# Ultraschallmessung | Versuchsergebnisse

- Wärmebildaufnahme: Erwärmung am oberen und unteren Rand







[www.marxkrontal.com](http://www.marxkrontal.com)