

# ConDef

## Verformungszunahme bei Freivorbaubrücken aus Spannbeton

Vortragender:  
Assoc.Prof. Dr. Dirk Schlicke

### IBB TU Graz

- Prof. Nguyen Viet Tue
- Prof. Dr. Nguyen Duc Tung

- DI Daniel Gheorghiu
- DI Eva-Maria Dorfmann

- Alexandra Wolfgruber
- Philipp Stadler

### VCE Vienna Consulting Engineers ZT

- DI Peter Furtner
- DI Martin Fritz
- DI Martin Stöger

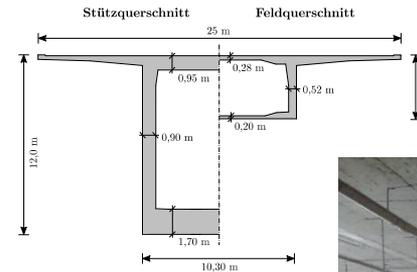
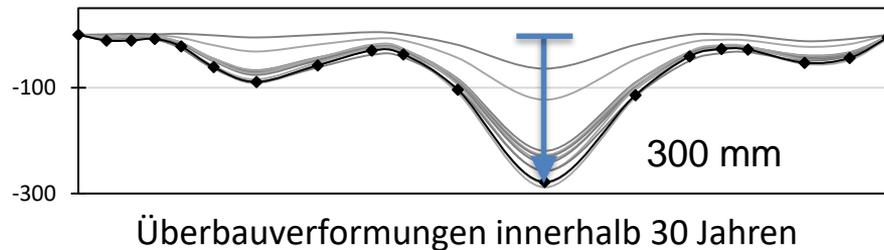
- Nicolo Portincasa, BSc.  
(Masterarbeit am IGMS TU Graz  
unter Betreuung Prof. Lienhart)

### ASFiNAG

- DI Christoph Antony
- Dr. Erwin Pilch
- Dr. Michael Kleiser

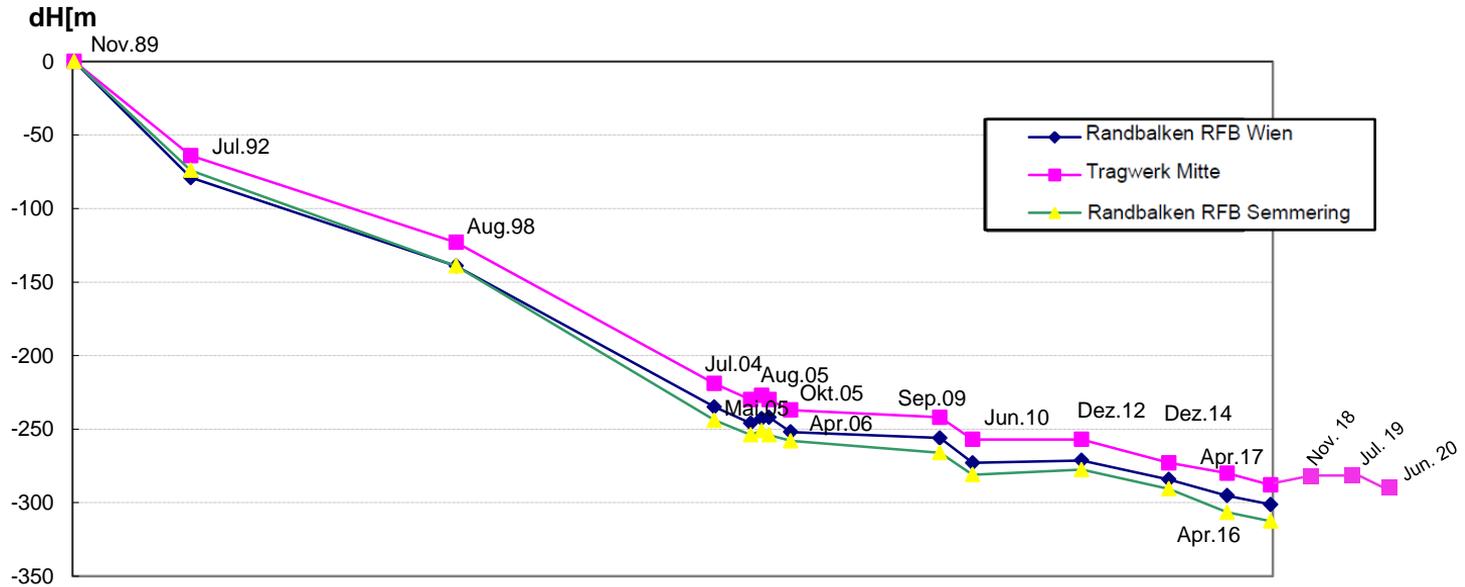
# Verformungszunahme von Freivorbaubrücken

- Tü Schottwien (1989, 240 m)
  - Untersuchungsobjekt im F+E-Vorhaben ConDef

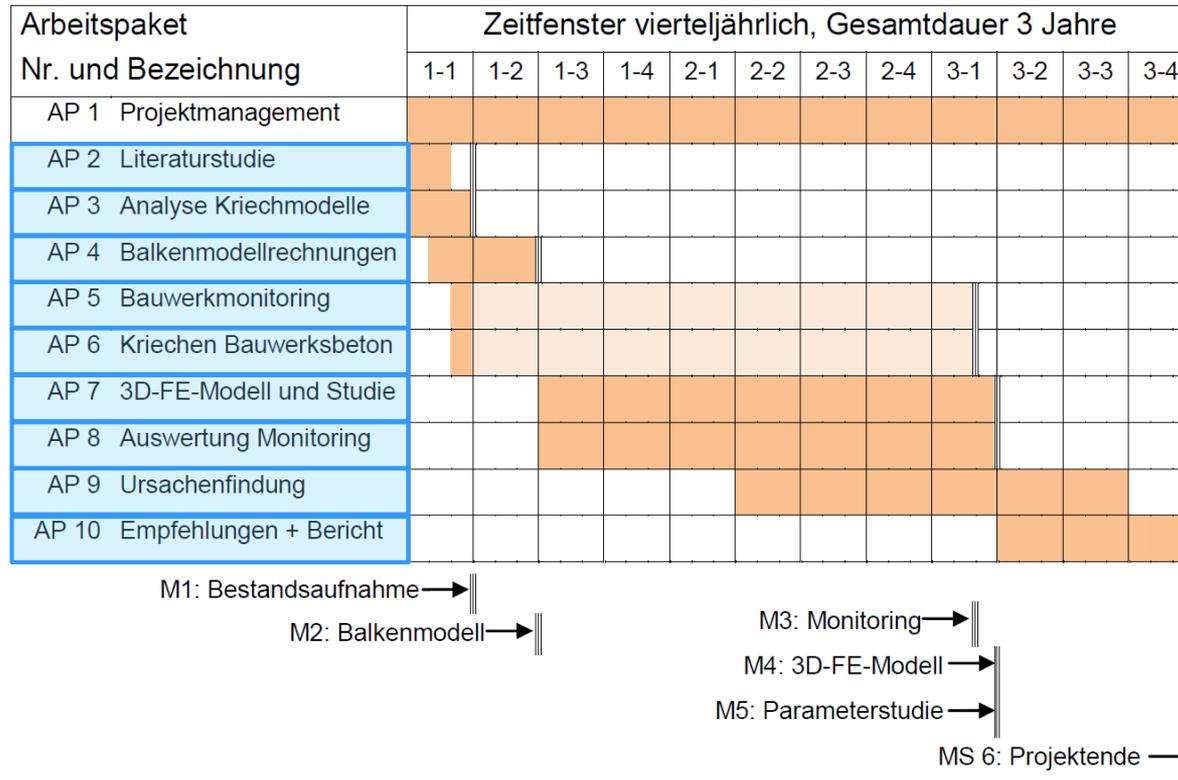


# Verformungszunahme von Freivorbaubrücken

- Tü Schottwien (1989, 240 m)
  - Untersuchungsobjekt im F+E-Vorhaben ConDef

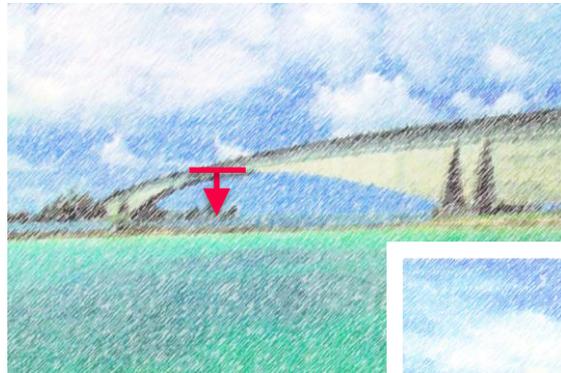


# Projektübersicht



# Literaturstudie / Internationale Erfahrung

- Koror–Babeldaob Bridge (1977, 241 m)



Bauart: Kragarme mit Gelenk in Feldmitte

Verformungszunahme: 1,61 m in ca. 20 Jahren

→ teilweise Egalisierung der Verformung mittels externer Vorspannung und Versteifung des Gelenks in Feldmitte

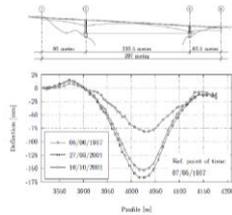


Einsturz wenige Tage nach der Hebung

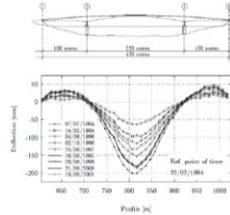
# Literaturstudie / Internationale Erfahrung

## ■ Norwegen

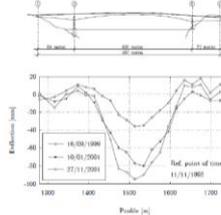
Norddalsfjord Bridge (1987; 230,5 m)



Stovset Bridge (1993; 220 m)



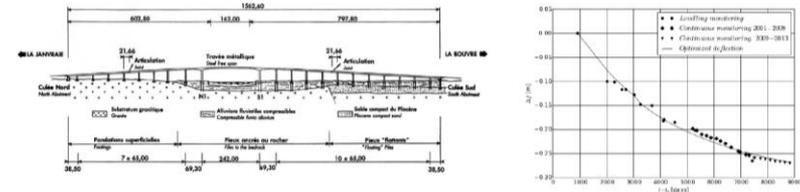
Stolma Bridge (1998; 301 m)



Peter F. Takács: Deformations in Concrete Cantilever Bridges: Observations and Theoretical Modelling, PhD thesis, NTNU Trondheim, 2002

## ■ Frankreich

Cheviré Bridge (1991; 242 m)

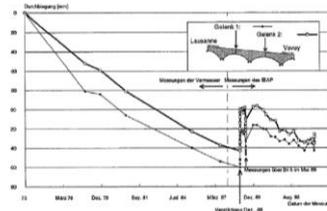


J.-P. Sellin, J.-F. Barthélemy, G. Bondonet, B. Cauvin, J.-M. Torrenti: Delayed deformations of concrete structures: the Savines bridge and the Cheviré bridge

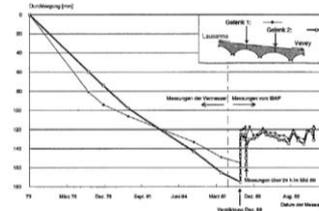
## ■ Schweiz

Pont sur la Lutrive

Südbücke bzw. seeseitig (1973; 131,5 m)

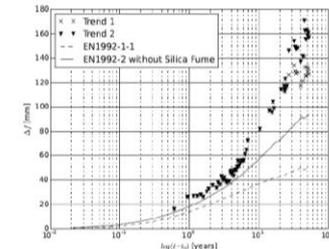


Nordbrücke bzw. hangseitig (1973; 112 m)



Favre, R.; Burdet, O.; Charif, H.; Hassan, M.; Markey, I.: Beurteilung von Massivbrücken aufgrund von Belastungsversuchen und Längsbeobachtungen - Empfehlungen für die Vorspannung. IBAP, EPF Lausanne, deutsche Fassung, 127 S., 1995.

Savines Bridge (1960; 70 m)



J.-P. Sellin, J.-F. Barthélemy, G. Bondonet, B. Cauvin, J.-M. Torrenti: Delayed deformations of concrete structures: the Savines bridge and the Cheviré bridge

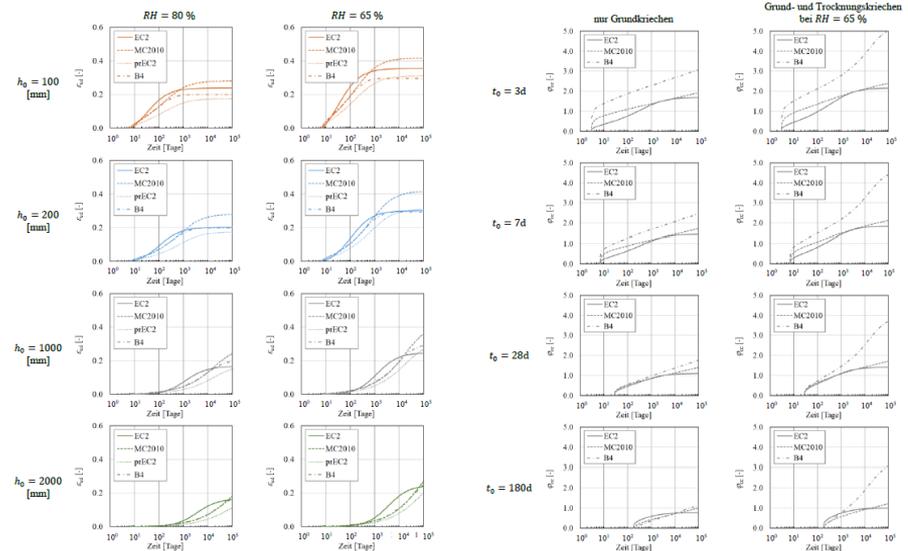
# Literaturstudie / Internationale Erfahrung

- übermäßige Verformung vs. unerwarteter Verlauf der Zunahme
- Erklärungsversuche über angepasste Materialmodelle zum Schwinden und Kriechen bis hin zu Modellen, die an Bauwerksbeobachtungen kalibriert wurden
- Erklärungsversuche über Betrachtung des statischen Systems (Gelenk in Feldmitte vs. semi-integrale Bauweise, Vorspanngrad)
- Kombination aus Materialmodell und statischem System

# Kriechmodelle

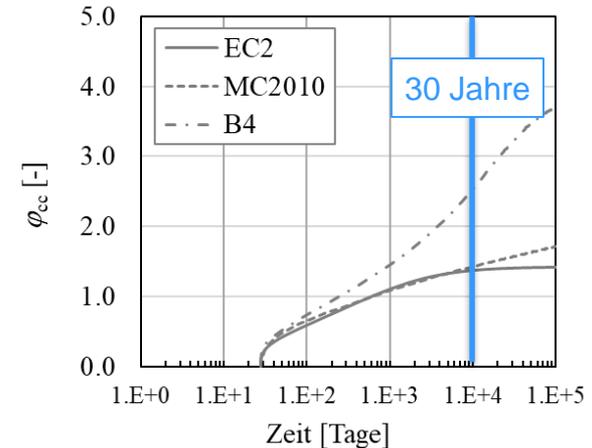
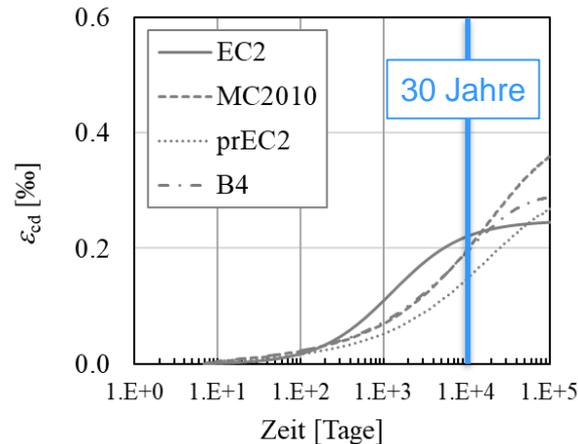
- Modelle nach Norm: EC2, MC2010, prEC2
- wissenschaftliches Modell B4 (mit Kalibrierung an ausgewählten Brücken)

- Allgemeiner Modellvergleich:



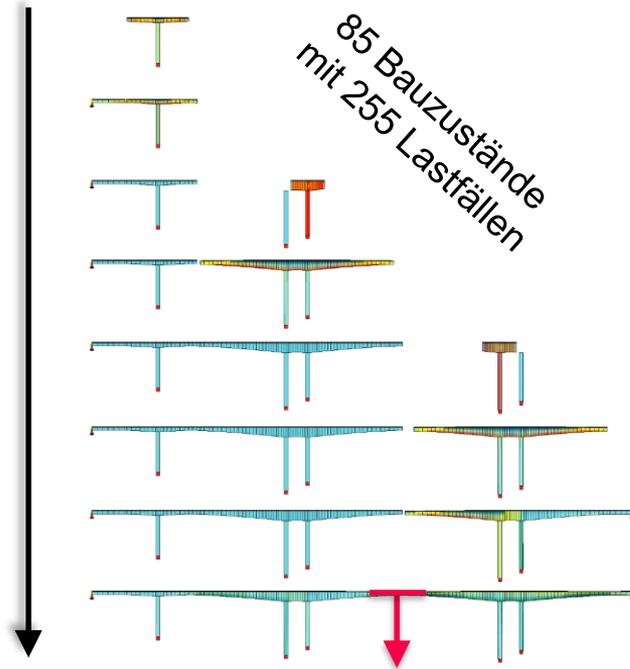
# Kriechmodelle

- Modelle nach Norm: EC2, MC2010, prEC2
- wissenschaftliches Modell B4 (mit Kalibrierung an ausgewählten Brücken)
- Modellvergleich für Randbedingungen Tü Schottwien:
  - C40/50, Typ N
  - $RH = 65\%$
  - $h_0 \sim 1000$  mm



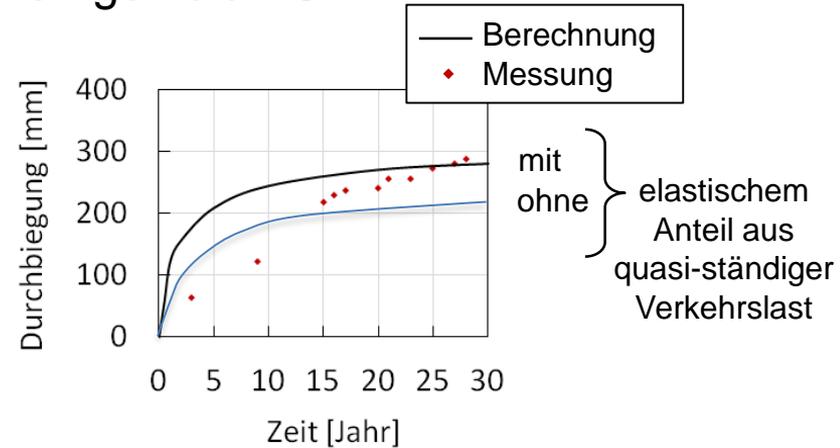
# Balkenmodellrechnungen / gewöhnliche Statik

- Bauablauf



85 Bauzustände  
mit 255 Lastfällen

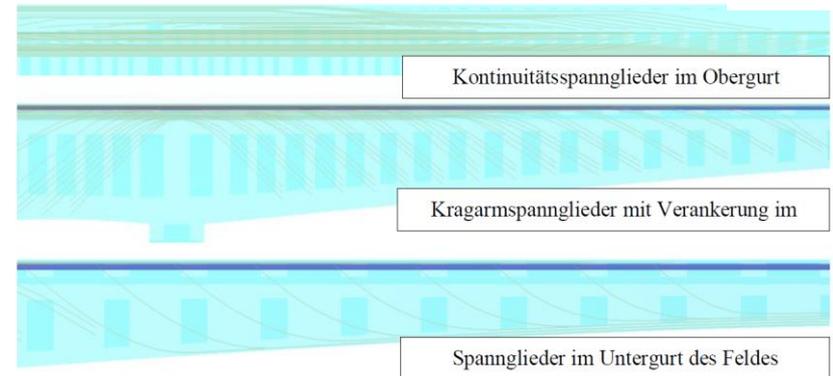
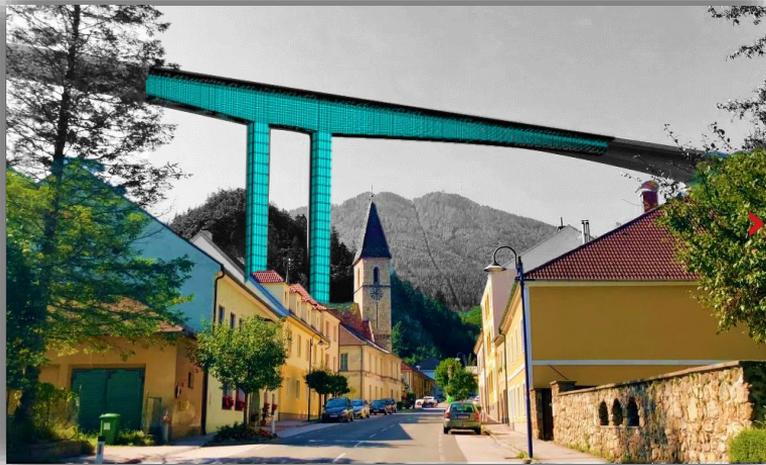
- Verformung unter quasi-ständiger LFK für mittleres Schwinden & Kriechen in den Querschnitten gemäß EC2



Verformungsverhalten lässt sich nicht zufriedenstellend prognostizieren

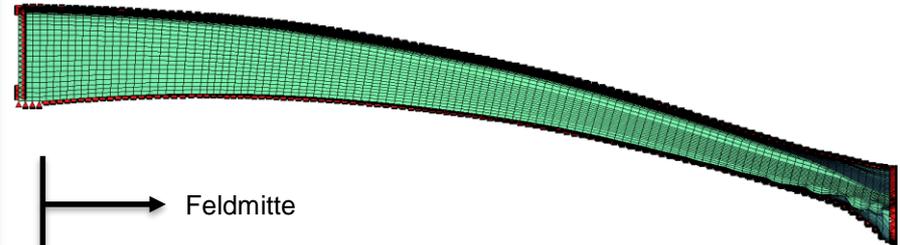
# 3D-FE-Volumenmodell

- Simulationen mit diskreter Vorspannung und Bauablauf



# 3D-FE-Volumenmodell

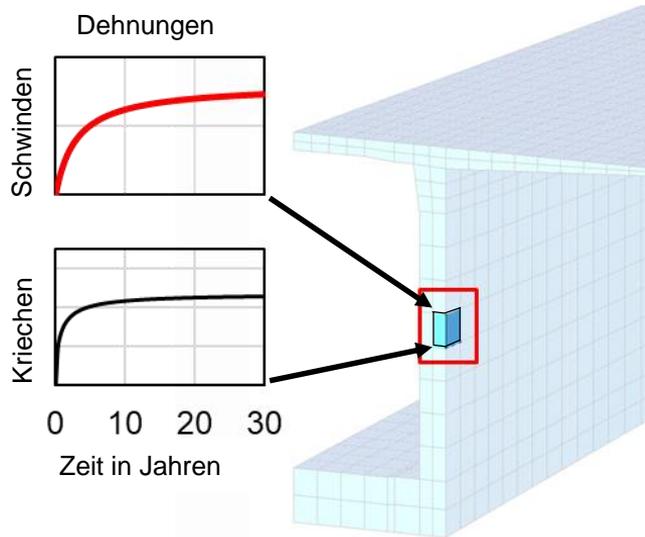
- Simulationen mit diskreter Vorspannung und Bauablauf



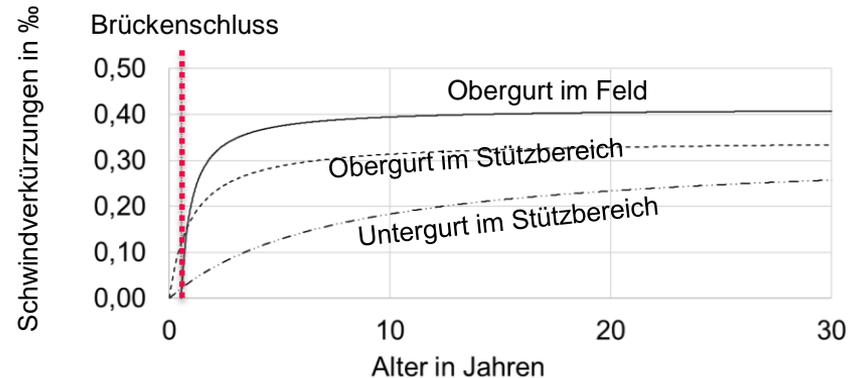
→ Feldmitte  
Anschnitt  
Hammerkopf

# 3D-FE-Volumenmodell

- Orts- und zeitdiskrete Implementierung der Materialmodelle

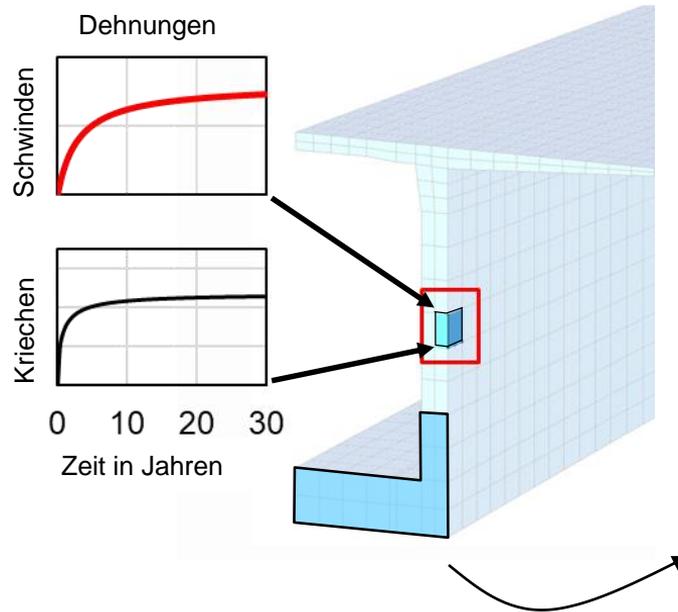


- Wechselwirkung zwischen Ober- und Untergurt durch unterschiedlich schnelles Trocknungsschwinden je nach wirksamer Dicke der Teilquerschnitte

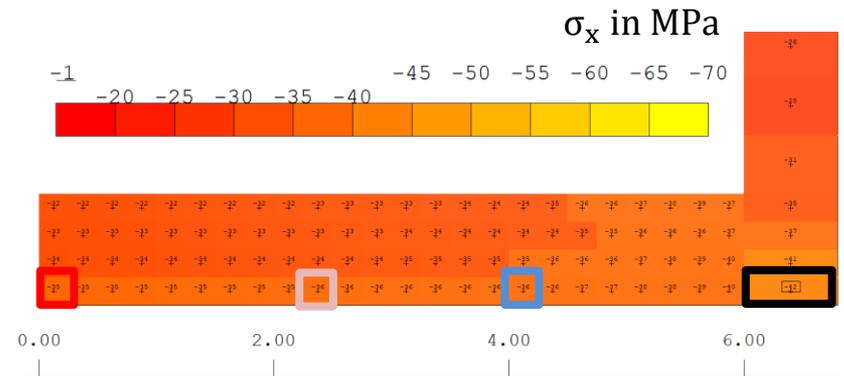


# 3D-FE-Volumenmodell

- Orts- und zeitdiskrete Implementierung der Materialmodelle

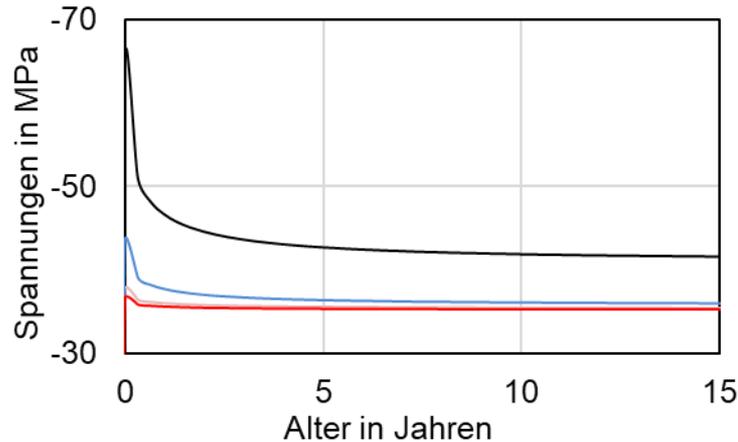


- Verformungszunahme infolge der Aktivierung neuen Kriechpotenzials bei Umlagerung über die Querschnittsbreite

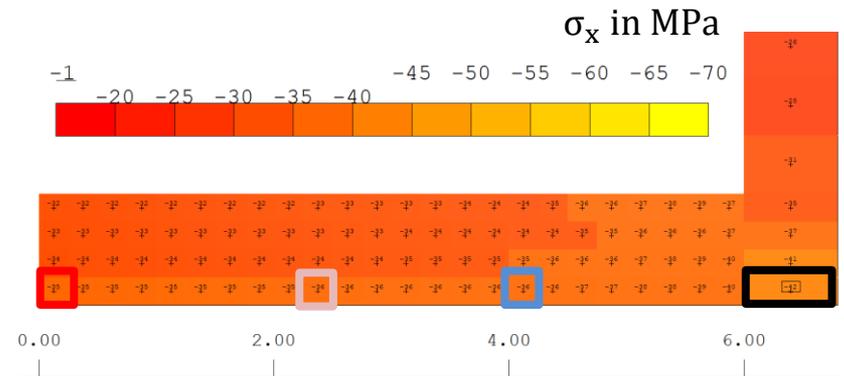


# 3D-FE-Volumenmodell

- Orts- und zeitdiskrete Implementierung der Materialmodelle

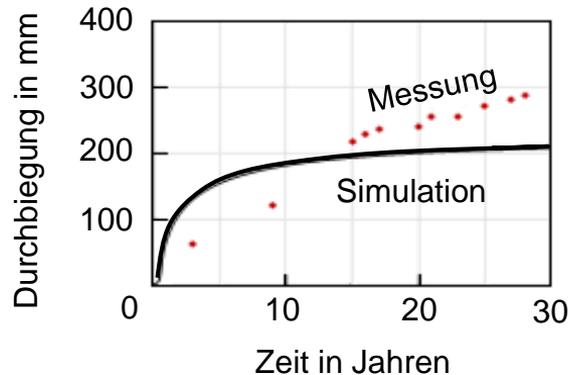


- Verformungszunahme infolge der Aktivierung neuen Kriechpotenzials bei Umlagerung über die Querschnittsbreite



# 3D-FE-Volumenmodell

- Simulationen mit orts- und zeitdiskreter Implementierung des zeitlichen Betonverhaltens



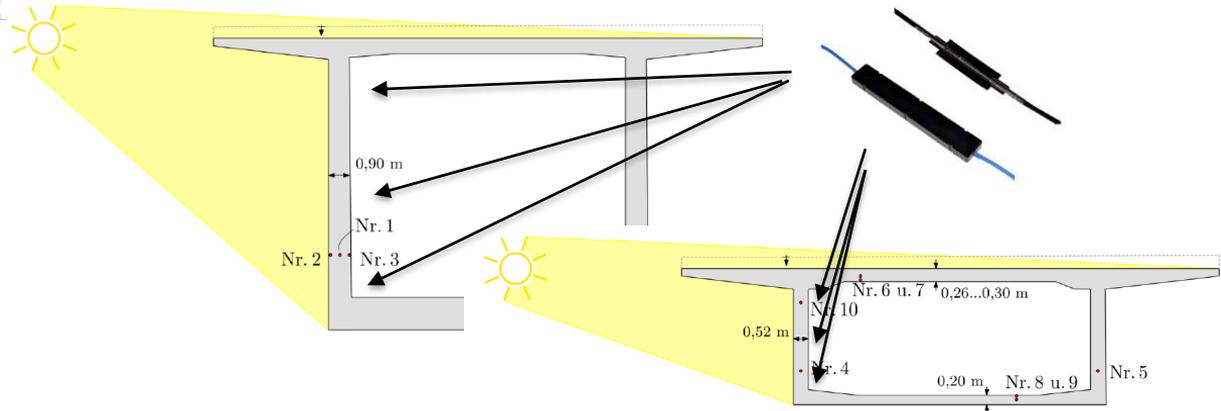
Verformungsverhalten lässt sich auch mit detaillierten Volumenmodellen nicht zufriedenstellend prognostizieren

# Monitoring Tü Schottwien

- Temperatur-, Dehnungs- und Verformungsmessungen

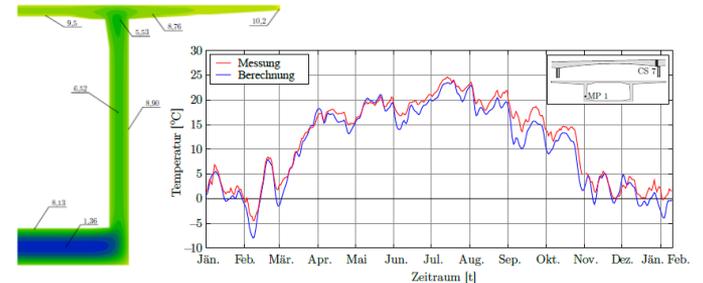
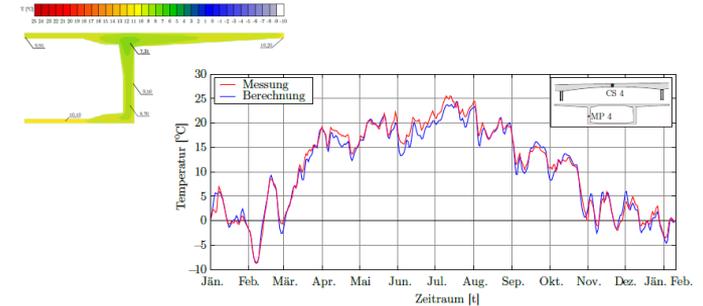
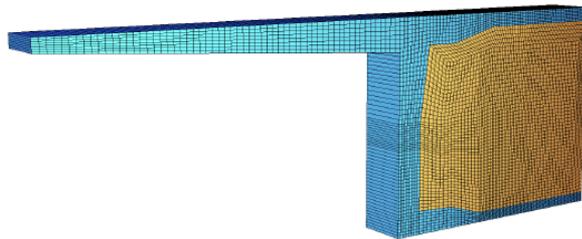


elektronische  
Druckschlauchwaage



# Monitoring TÜ Schottwien

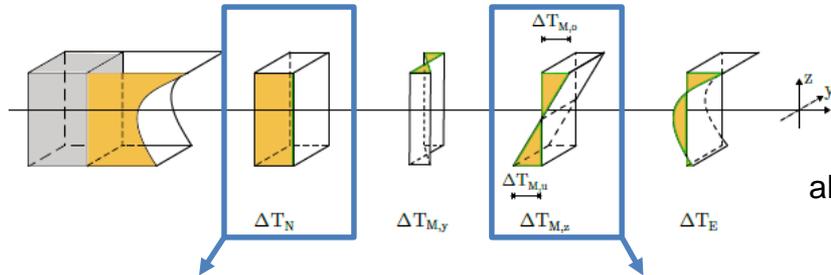
- Bestimmung der Temperaturfelder aus der Temperaturmessung
  - Thermodynamische Simulation an Scheibenmodellen
- Nachrechnung aller Messpunkte und Auswertung der Temperaturfelder



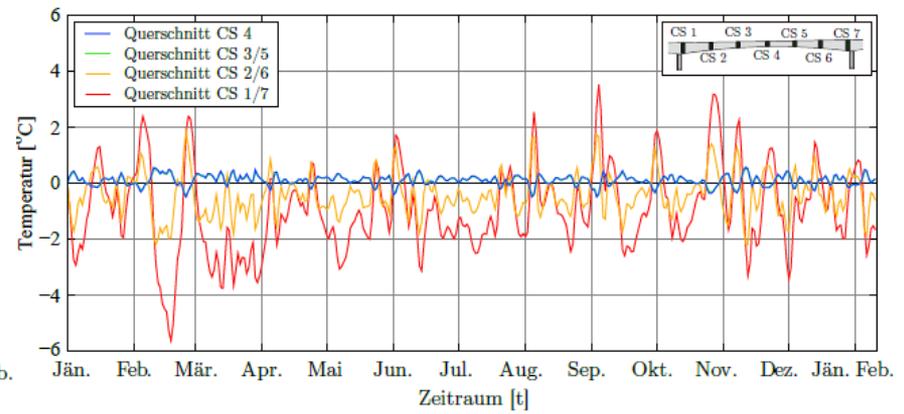
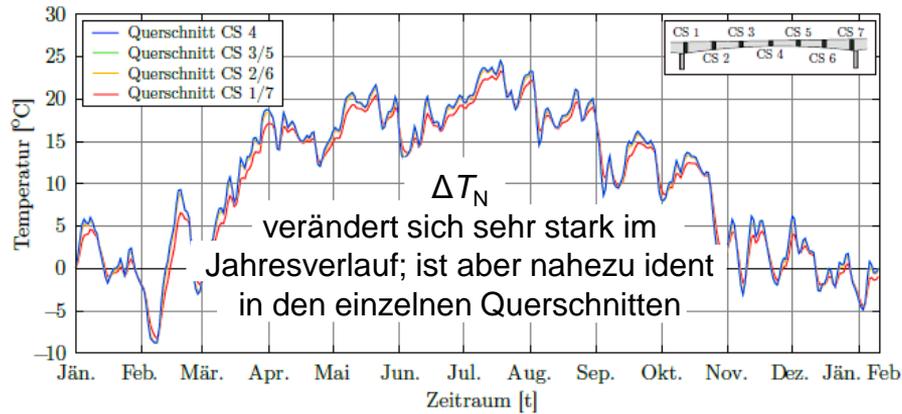
# Monitoring Tü Schottwien

## ■ Temperaturprofile

Temperaturfeldanalyse in allen Querschnitten zu jedem Berechnungszeitpunkt

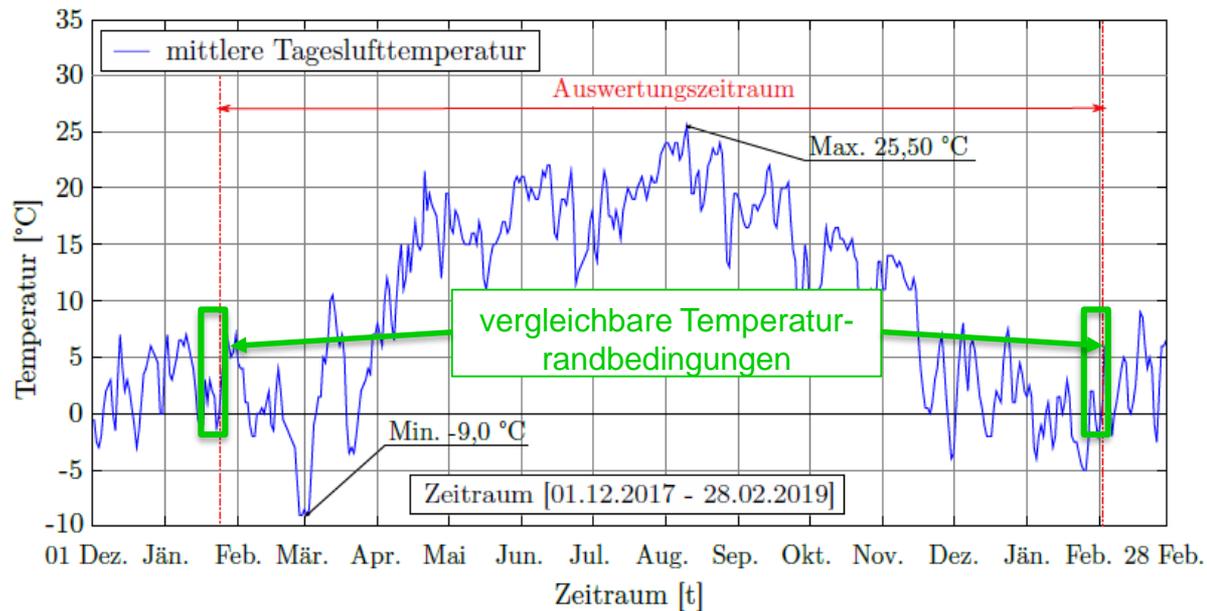


$\Delta T_M$  wird vom Dickenunterschied zw. Ober- und Untergurt dominiert und entsteht vor allem infolge von kurzzeitigen Temperaturänderungen



# Monitoring Tü Schottwien

- bleibende Verformung ohne Temperatureinfluss - Auswertungszeitraum



# Monitoring TÜ Schottwien

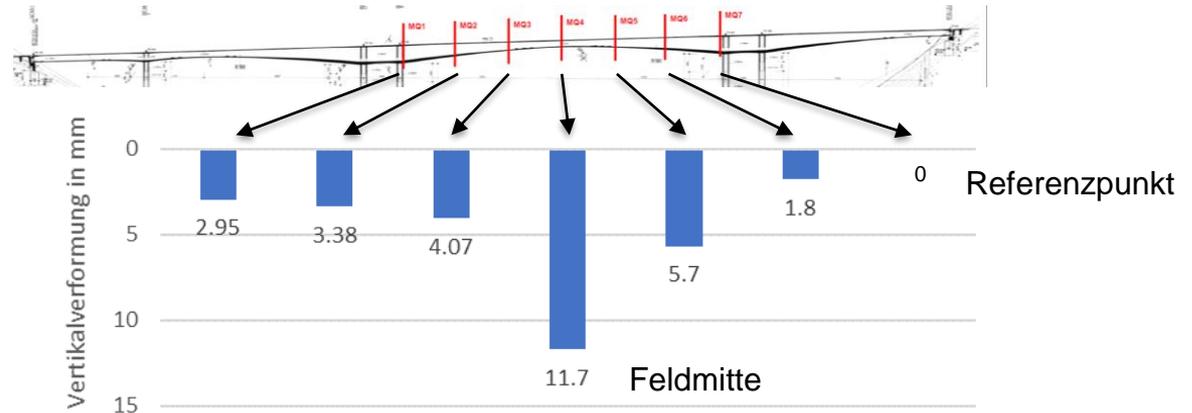
- bleibende Verformung ohne Temperatureinfluss - Auswertungszeitraum



# Monitoring Tü Schottwien

- bleibende Verformung ohne Temperatureinfluss

Auswertungszeitraum A:  
23.01.2018 – 01.02.2019



Intervall	Dauer	absolute Verformungsdifferenz	bereinigte Verformungsdifferenz	
			absolute	relative
A	374 Tage	11,70 mm	10,22 mm	9,98 mm/Jahr
B	349 Tage	8,80 mm	8,63 mm	9,02 mm/Jahr
C	365 Tage	10,18 mm	9,40 mm	9,40 mm/Jahr

# Kriechen alter Bauwerksbeton – Einfluss der Lastgeschichte?

- Probengewinnung am Ausweichbauwerk Tü Lavant

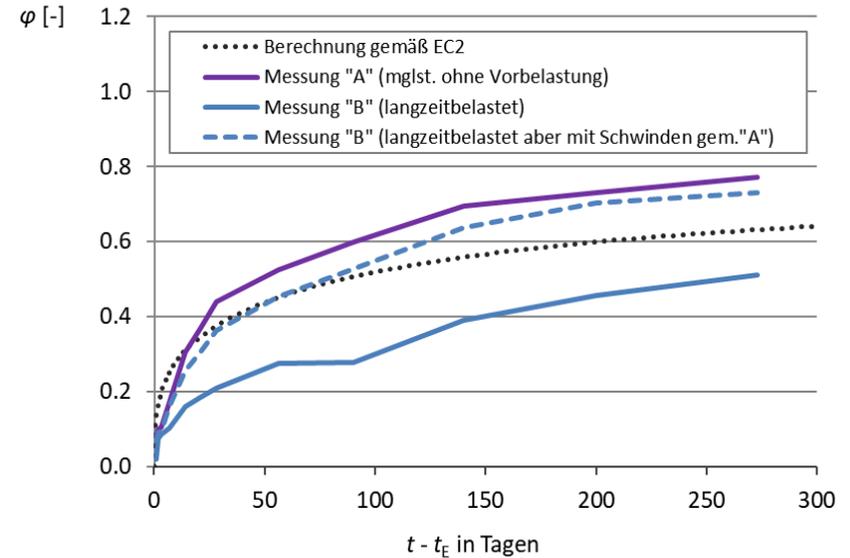
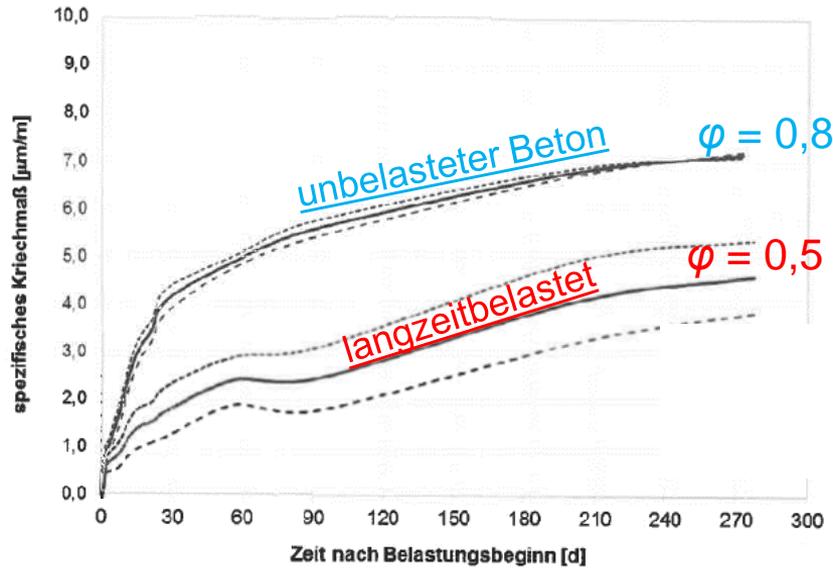


- Unmittelbare Überführung der Proben an die MFPA Leipzig und dort Vorbereitung mit anschließender Langzeitmessung



# Kriechen alter Bauwerksbeton – Einfluss der Lastgeschichte?

- standardmäßige Auswertung alter Bauwerksproben
- geringer Einfluss der Lastgeschichte bei genauer Auswertung



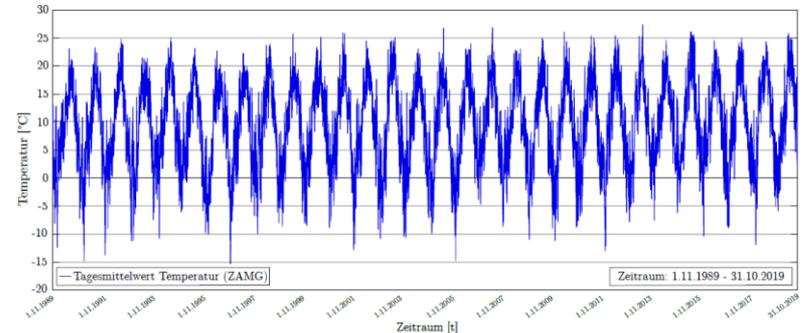
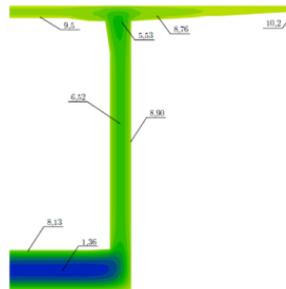
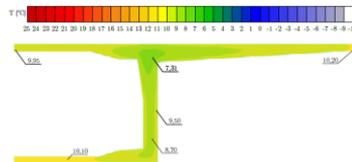
# Ursachenfindung *„investigativ“*

# Ursachenfindung „investigativ“

- Bereinigung der geodätischen Messung um Temperatureffekte
  - Feststellung der genauen Messzeitpunkte (Befragung Vermessungsbüros)

15.11.1989	16.07.2004	28.10.2005	09.09.2010	06.04.2016
03.07.1992	12.05.2005	20.04.2006	03.12.2012	10.04.2017
27.08.1998	11.08.2005	24.09.2009	15.12.2014	13.11.2018

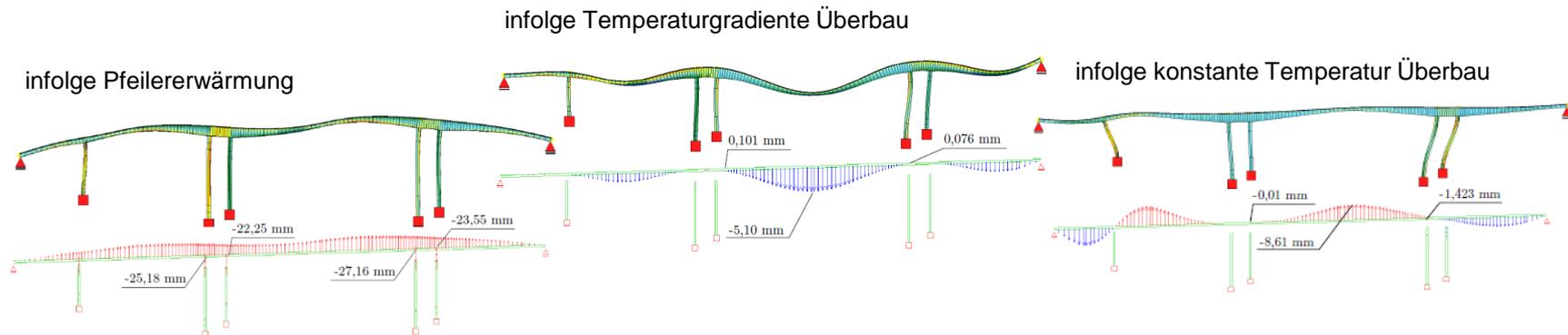
- Bestimmung der Temperatureinwirkungen für diese Messtage (thermodynamische 3D FEM Simulation und Klimadaten für den gesamten Zeitraum)



# Ursachenfindung „investigativ“

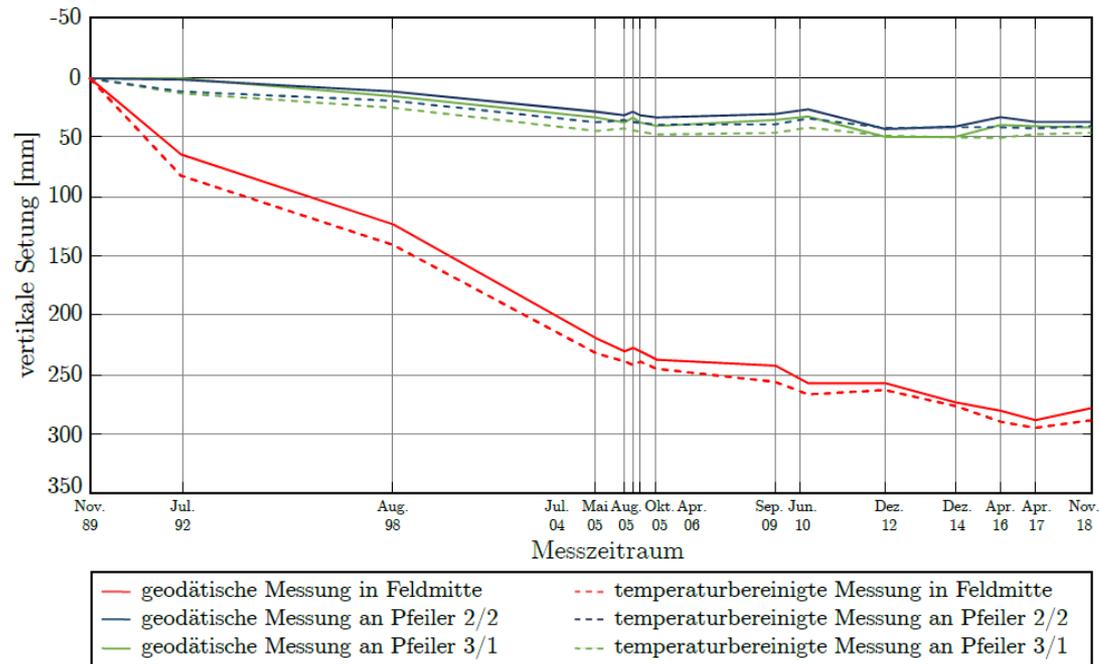
- Bereinigung der geodätischen Messung um Temperatureffekte
  - Bestimmung der Temperaturverformungen für die Messtage durch Berechnung am Balkenmodell mit Temperatureinwirkung aus 3D FEM Simulation

bspw. Temperaturverformung am 09.08.2018



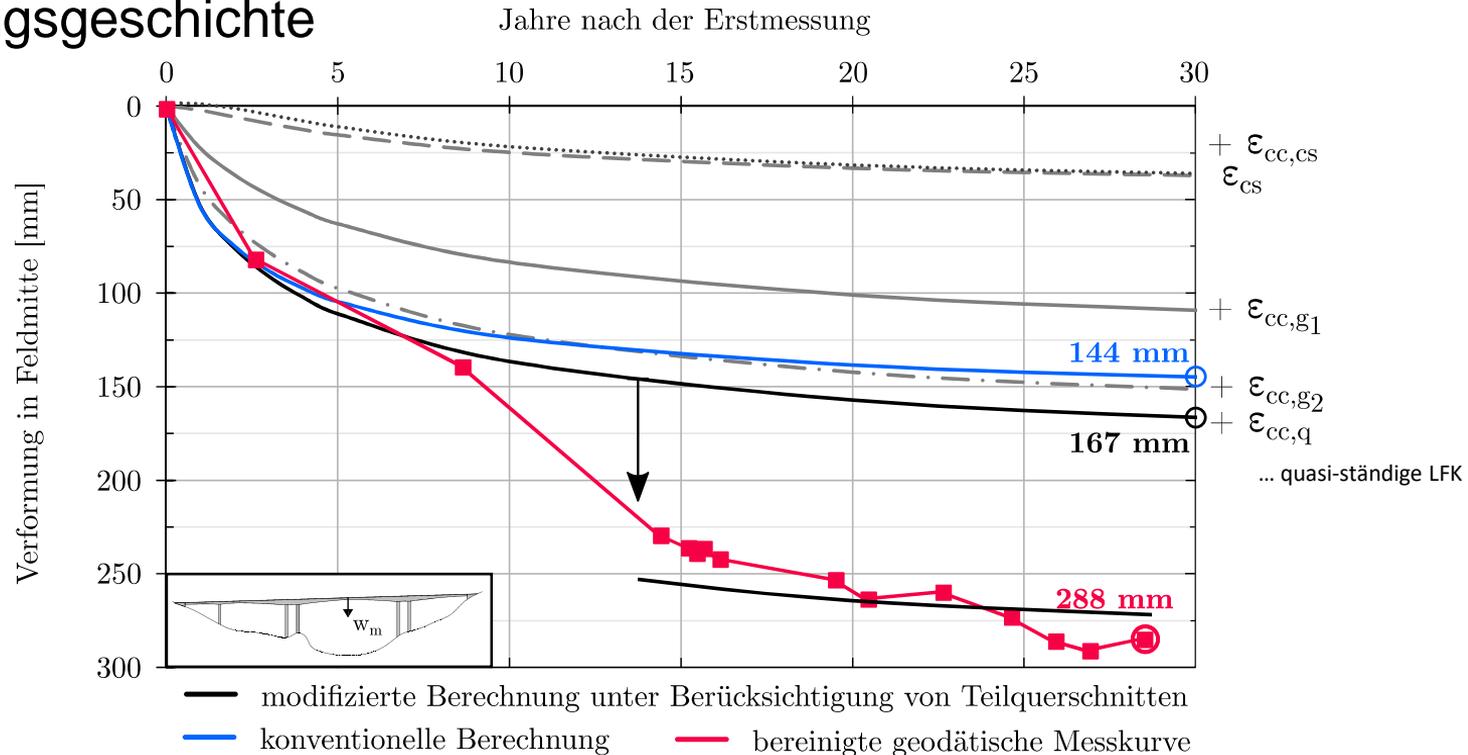
# Ursachenfindung „investigativ“

- Bereinigung der geodätischen Messung um Temperatureffekte



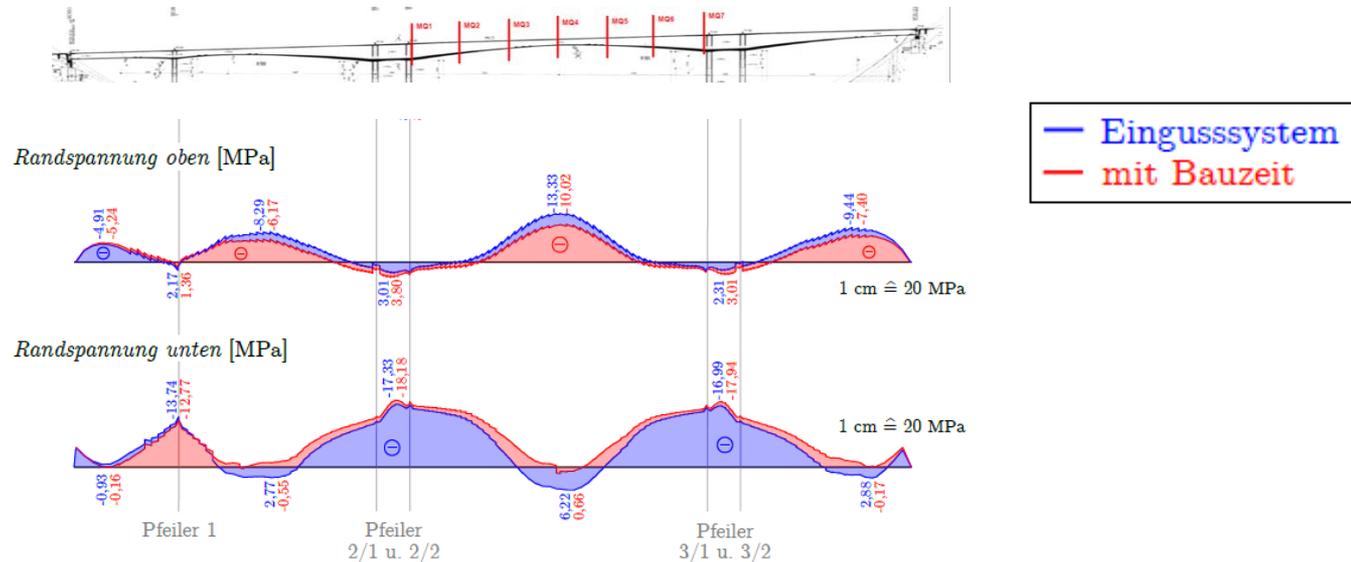
# Ursachenfindung „investigativ“

## ■ Verformungsgeschichte



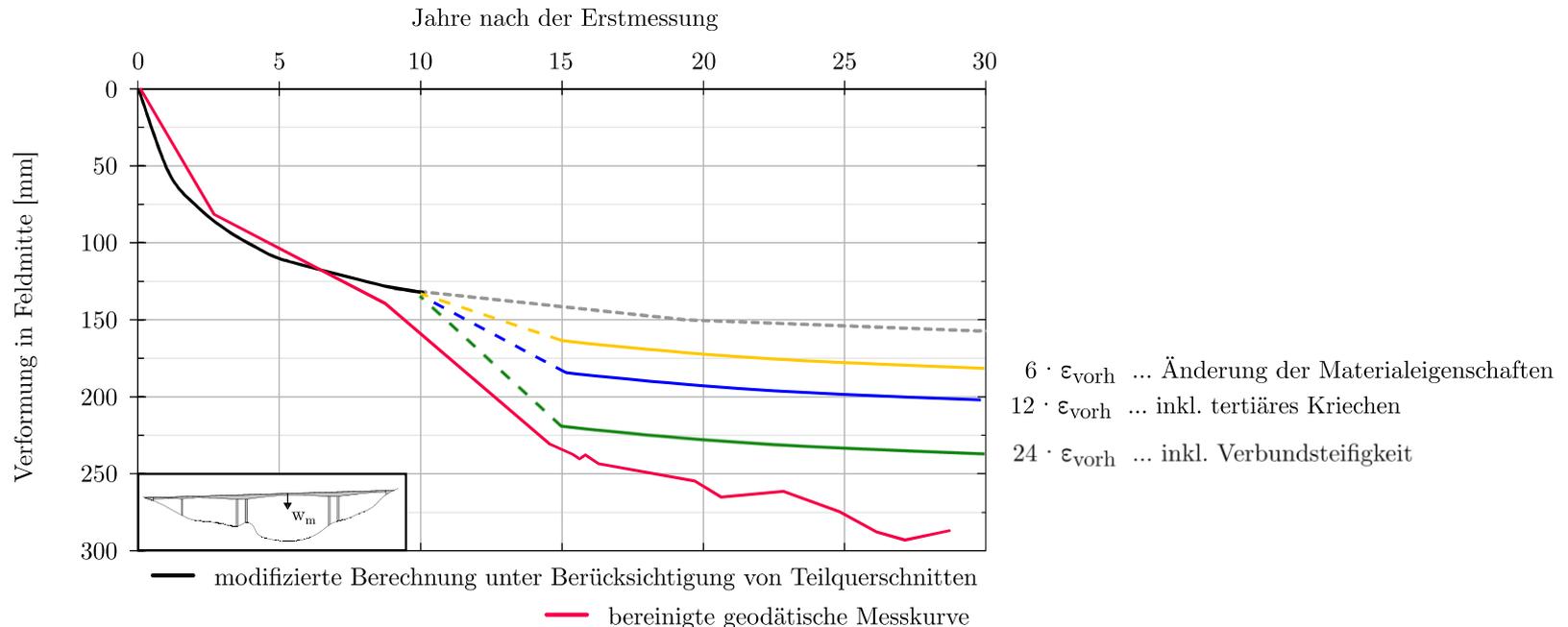
# Ursachenfindung „investigativ“

- Verformungszunahme infolge punktuell erhöhter Zugbeanspruchung?



# Ursachenfindung „investigativ“

- Verformungszunahme infolge punktuell erhöhter Zugbeanspruchung!



# Zusammenfassung

- internationale Erfahrung zeigt vergleichbare Fälle
- normative Kriechmodelle sind geeignet für die zeitdiskrete Simulation
- Abhängigkeit des Kriechens von altem Bauwerksbeton von der Beanspruchungsgeschichte kann nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden
- Verformungsverhalten von Freivorbaubrücken wird signifikant von veränderlichen Querschnittseigenschaften entlang der Bauteilachse geprägt
- Monitoring mit Temperatur- und Schlauchwaagenmessung ist zuverlässig
- Verformungszunahme resultiert im vorliegenden Fall aus Zusammenspiel zwischen Schwinden und Kriechen sowie zusätzlicher Verformungszunahme infolge lokal erhöhter Zugbeanspruchungen