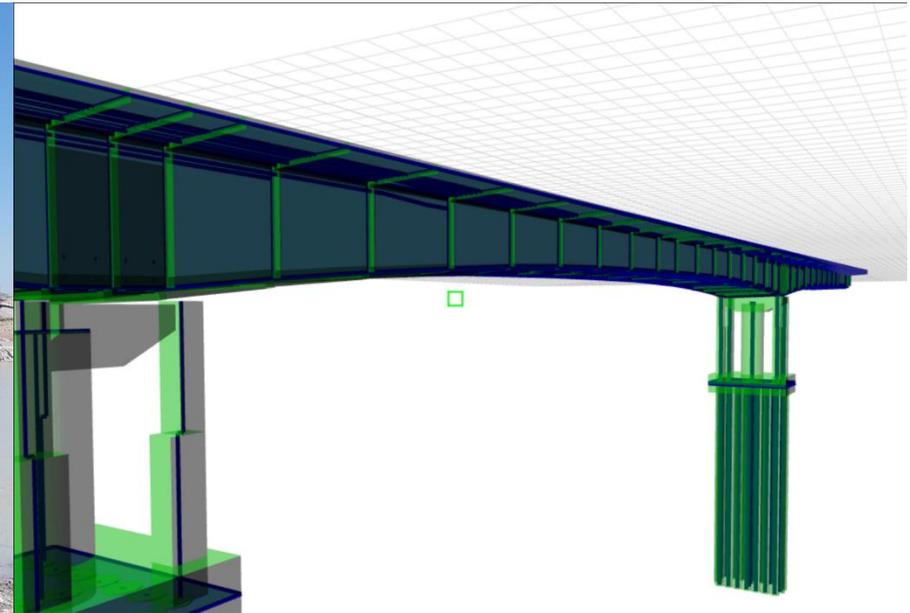
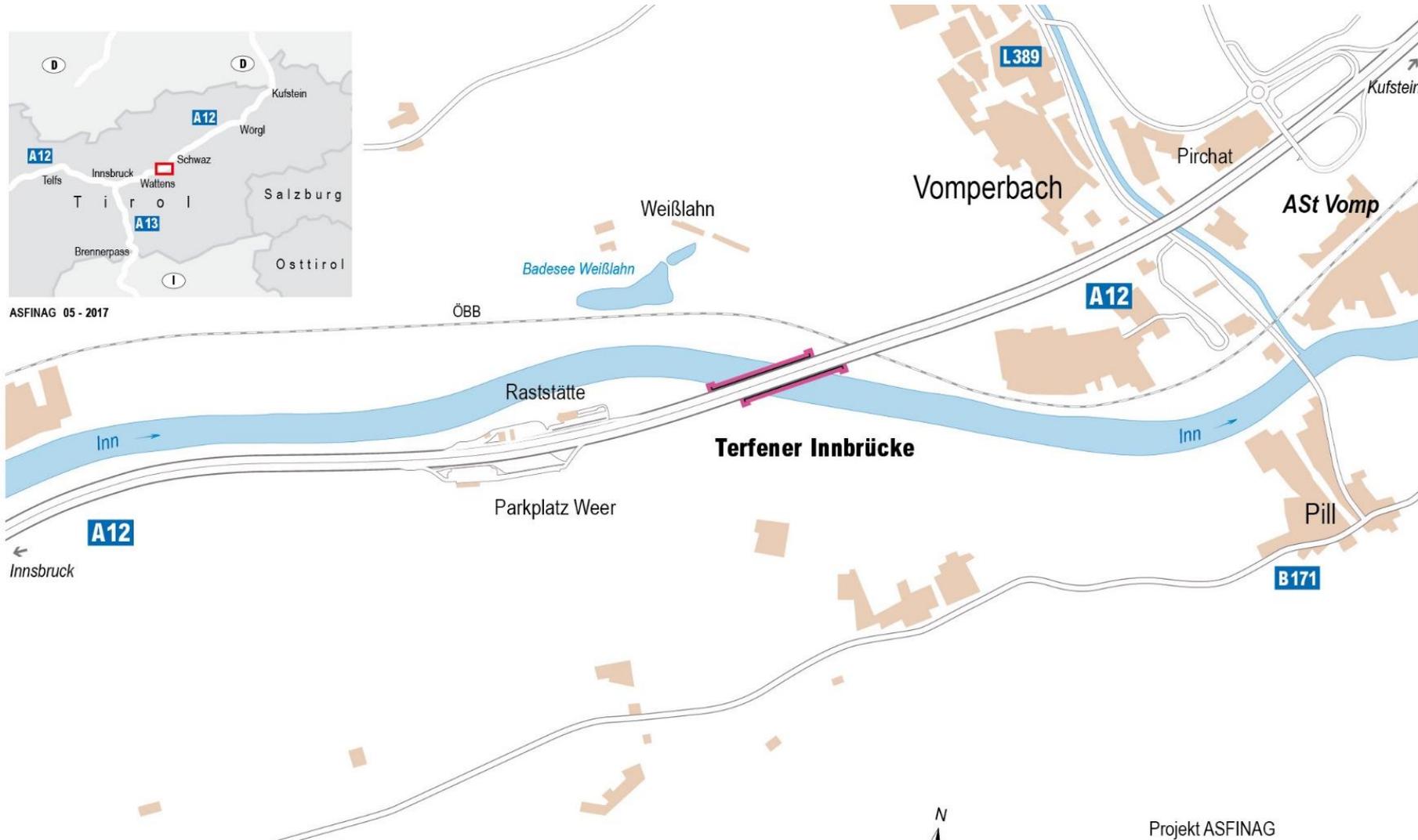


# Digitaler Zwilling für intelligentes Monitoring

Innovatives System zur Digitalisierung und Monitoring von Objekten mit Anwendung von Simulation und künstlicher Intelligenz

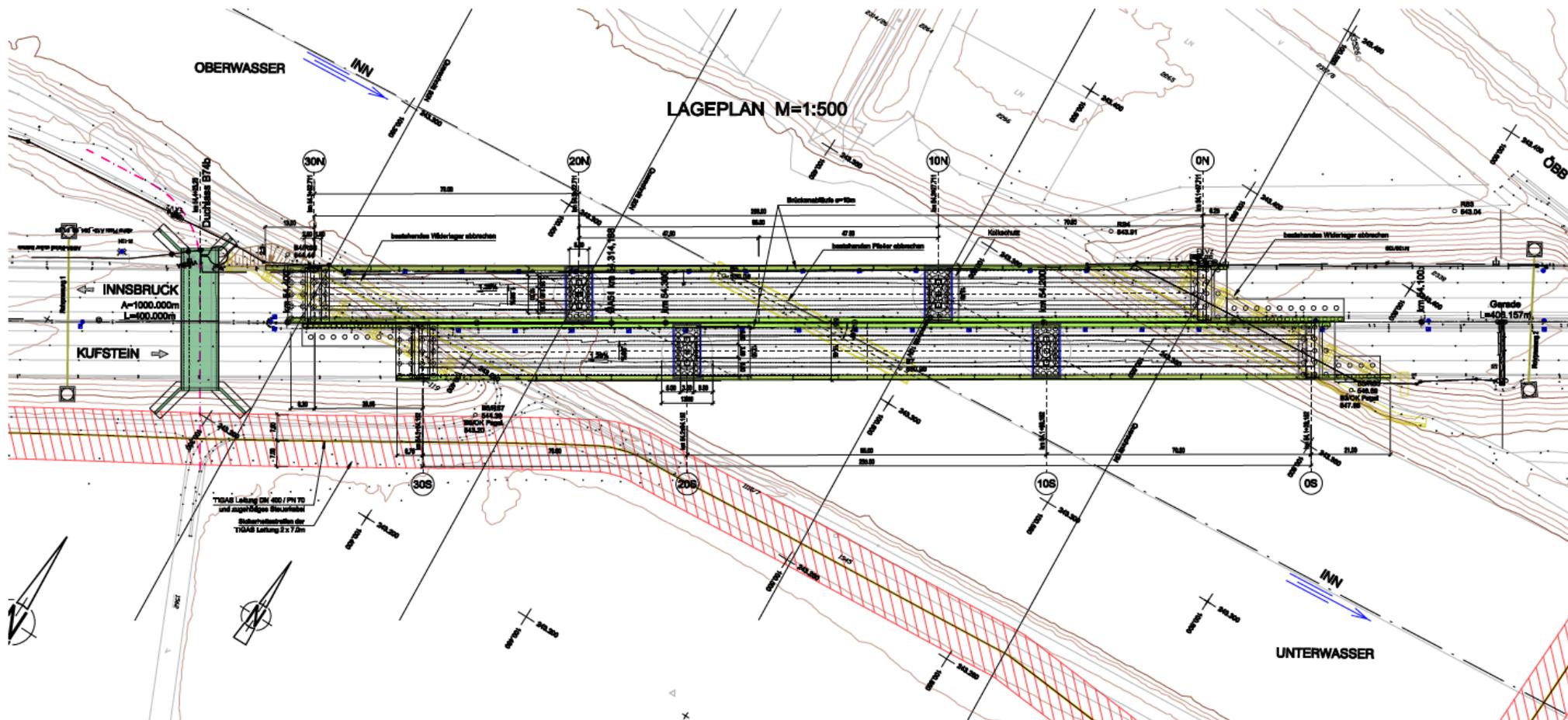


# A12 Terfener Innbrücke - Streckengraphik



# A12 Terfener Innbrücke

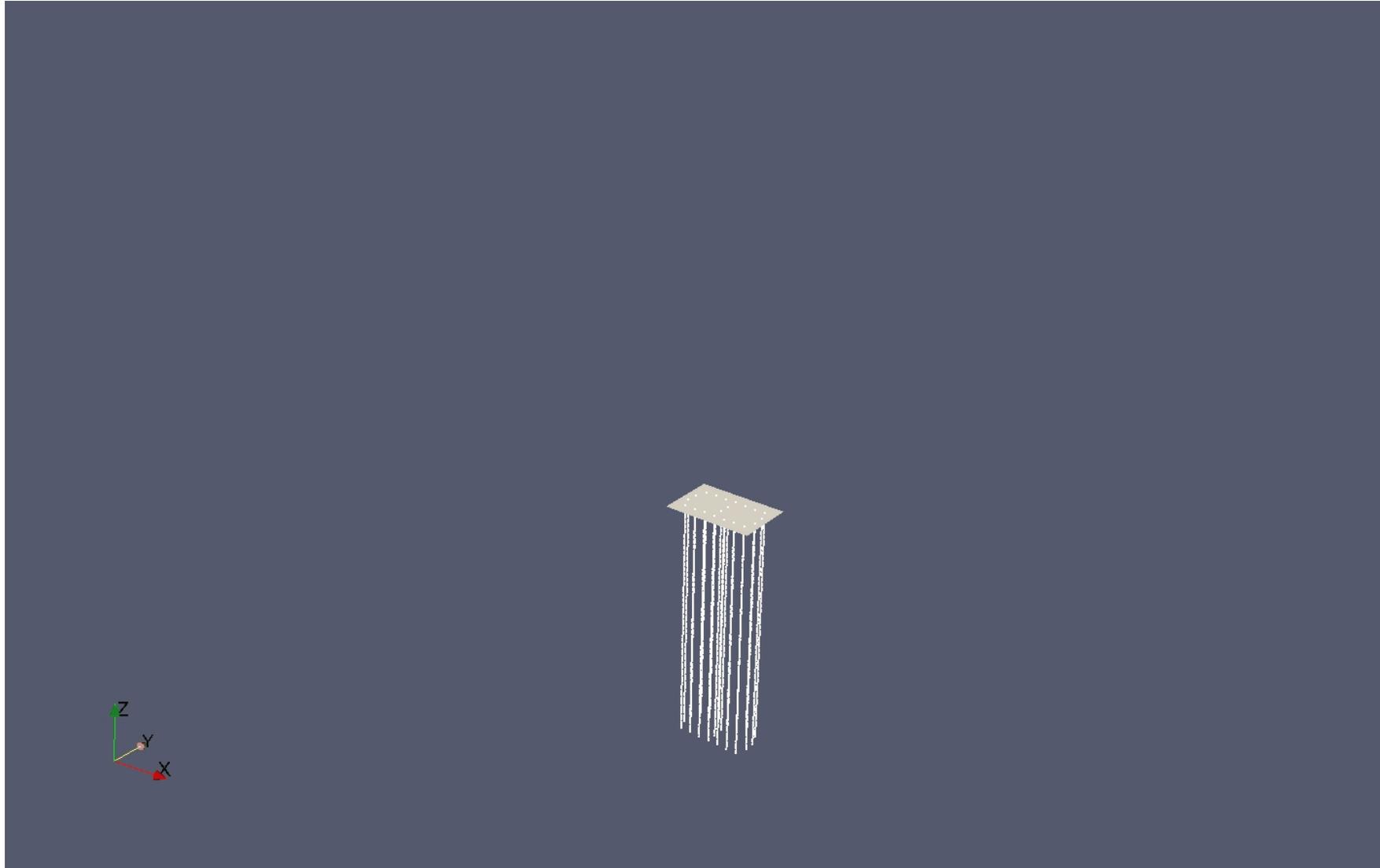
- 3-feldrige Brücken
- Länge 235m
- Spannweiten 70m/95m/70m
- Pfahlgründung



# Freivorbauweise - Bauabschnitte

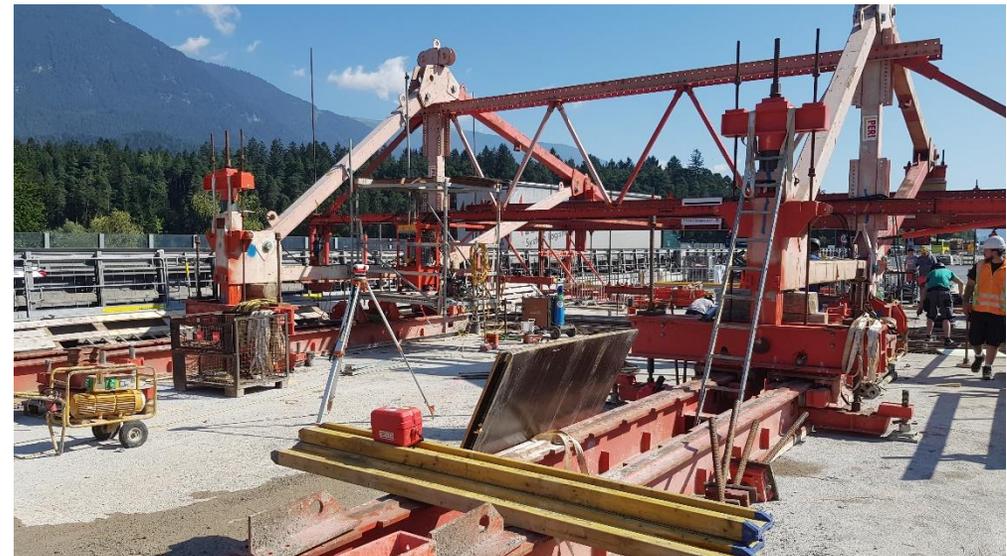


# Freivorbaumodellierung - Bauabschnitte

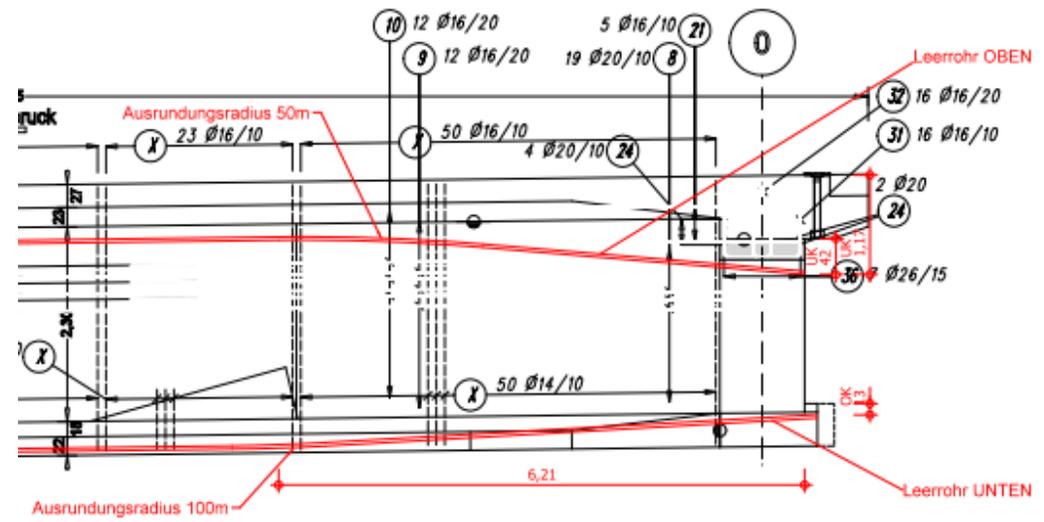
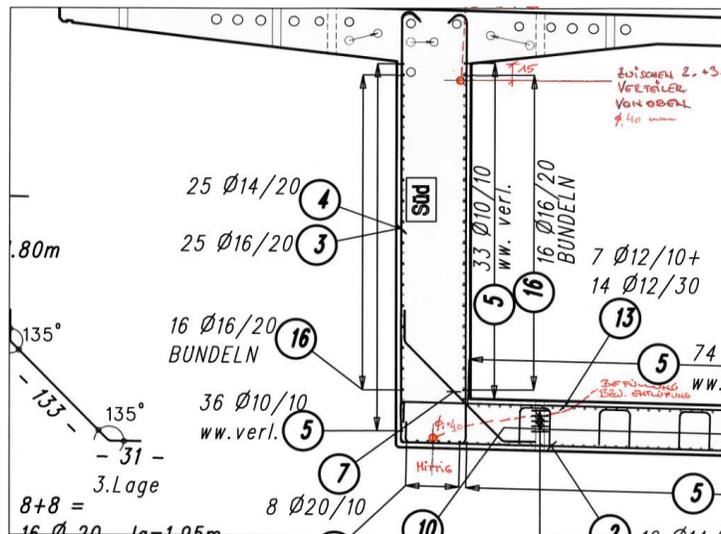
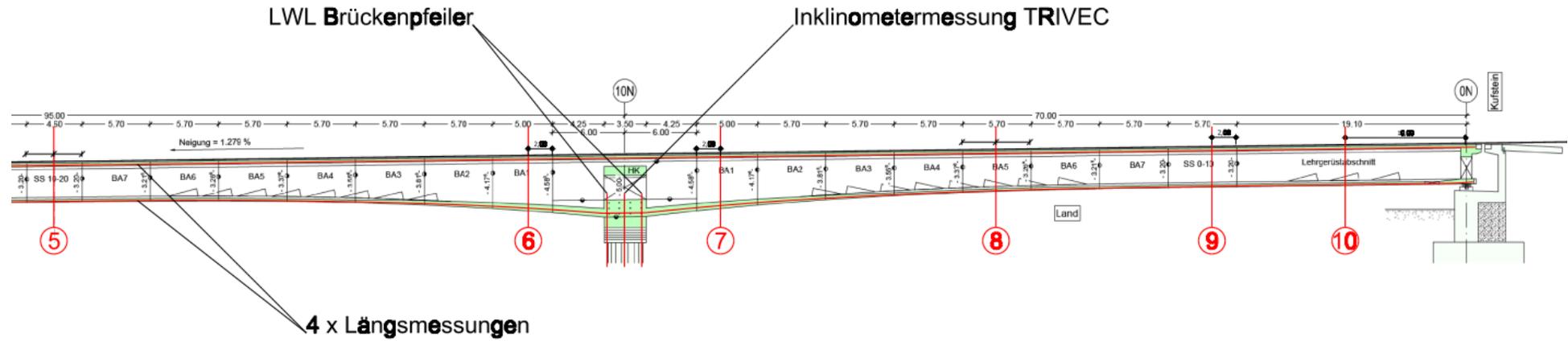


# A12 Terfener Innbrücke – das Projekt

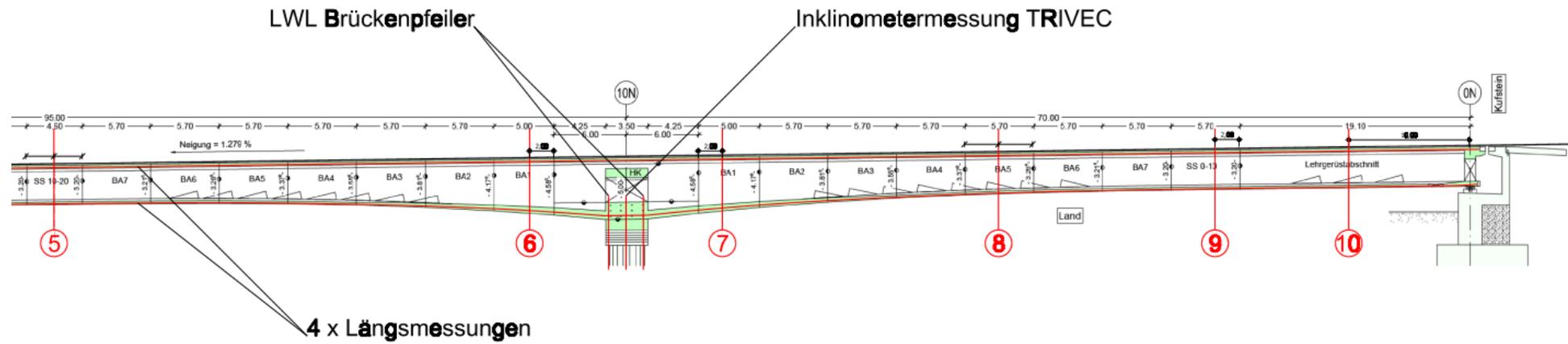
- Die Terfener Innbrücke wird in vorgespanntem Stahlbeton im **Freivorbauverfahren** gebaut
- **Digitaler Zwilling:** virtuelles Modell des Bauwerks, verbunden mit dem realen Bauwerk, mit dem es Daten und Informationen austauschen kann
- Ziel ist es, durch die Analyse von Messdaten und deren Verarbeitung **die Sicherheit der Struktur zu erhöhen**
- Die gemessenen Daten werden **automatisch über das Internet an das digitale Modell übertragen**, wodurch das Berechnungsmodell und die Einwirkungen aktualisiert werden



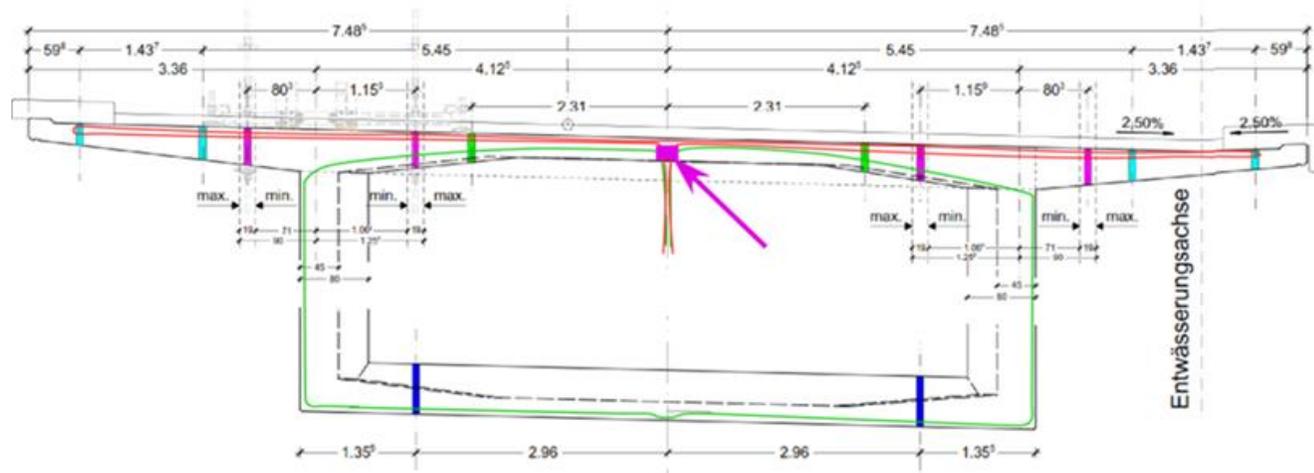
# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



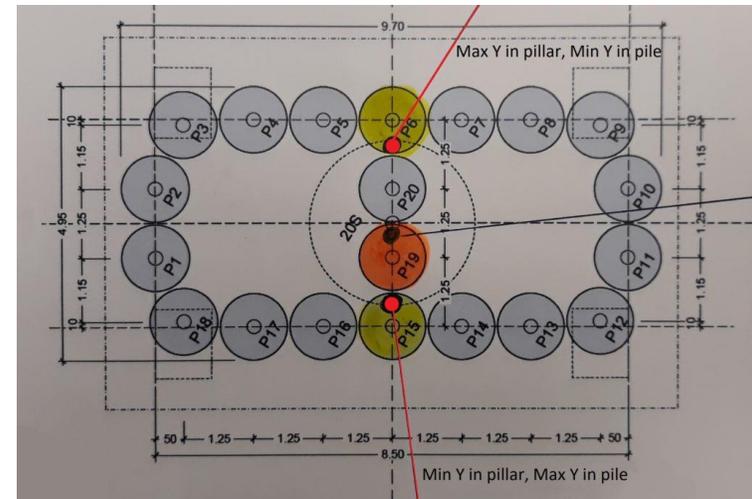
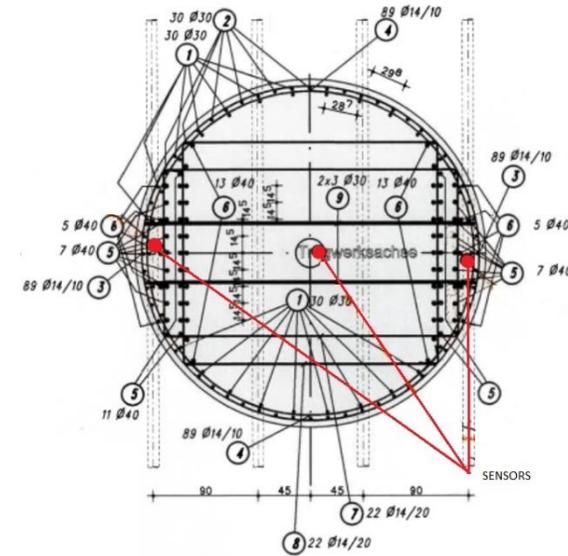
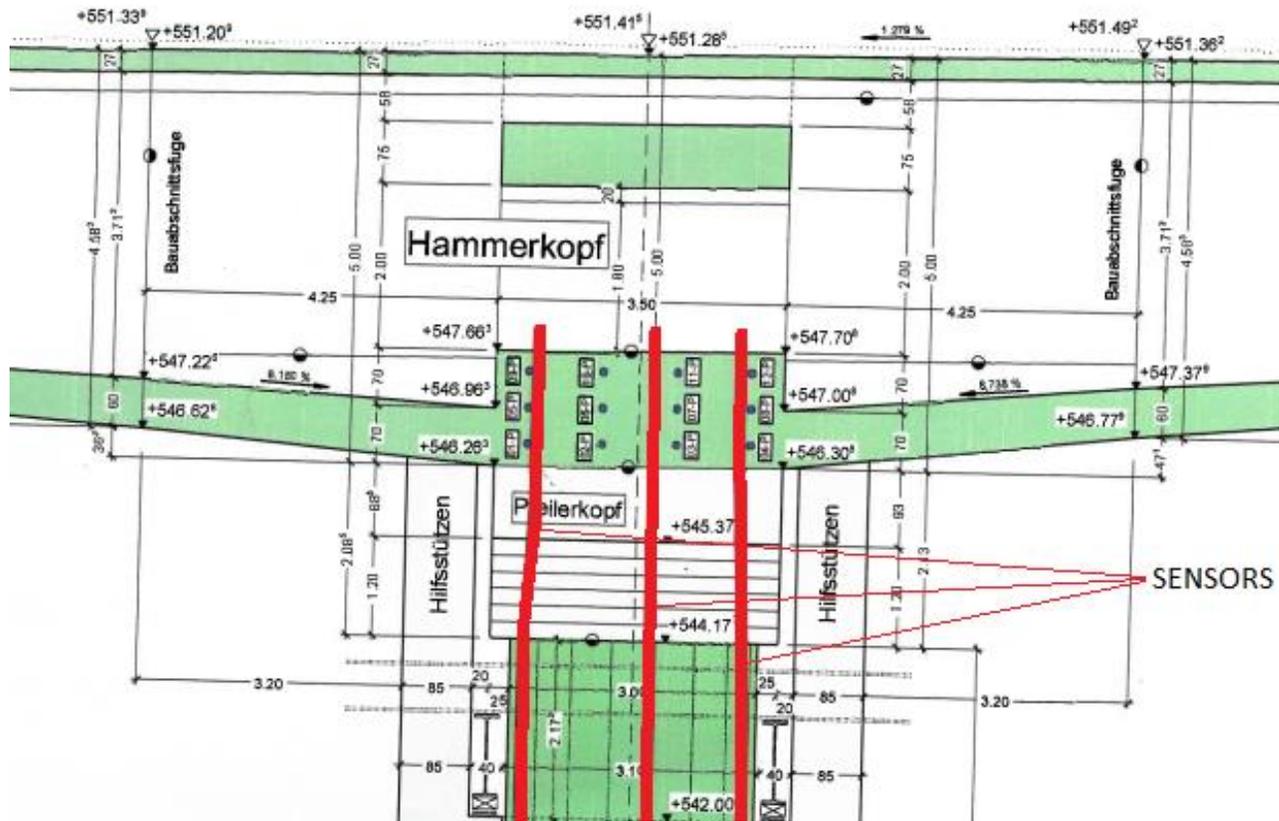
# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



Variante 1: Aussparung oben und Kabeldurchgang zum Hohlkasten



# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



# Installation von Sensoren - Lichtleiterkabel



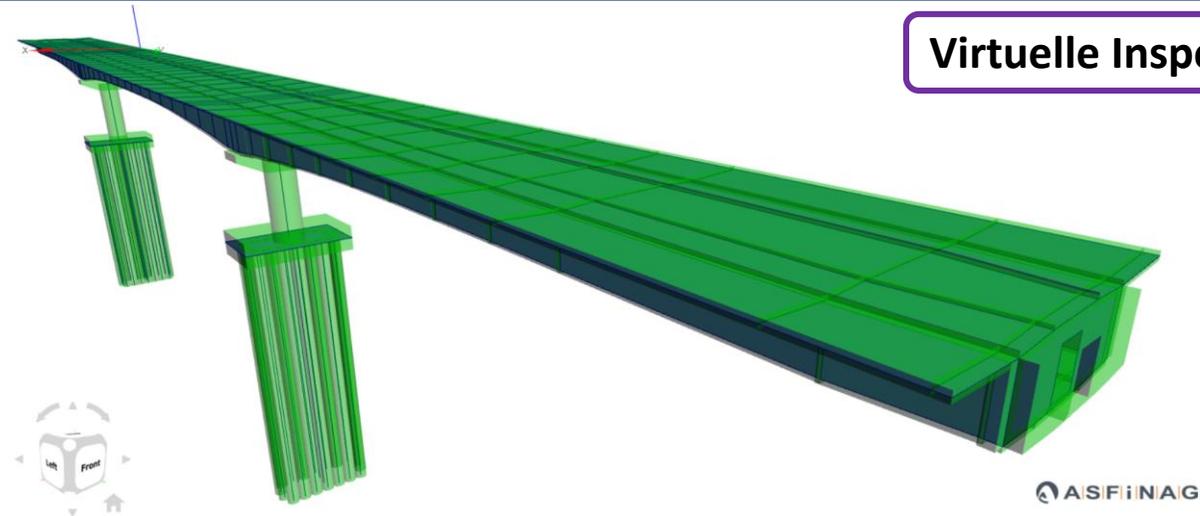
# Cloud-based Digital Twin Plattform

1 Virtuelle 3D-Inspektion aus dem Webbrowser

2 Kontinuierliche Simulation und Auswertung des gesamten Objektzustandes

3 Prädiktive Analyse: Bewertung des zukünftigen Verhaltens

Virtuelle Inspektion



Simulation & Auswertung



Prädiktive Analyse



# Wie funktioniert die Plattform

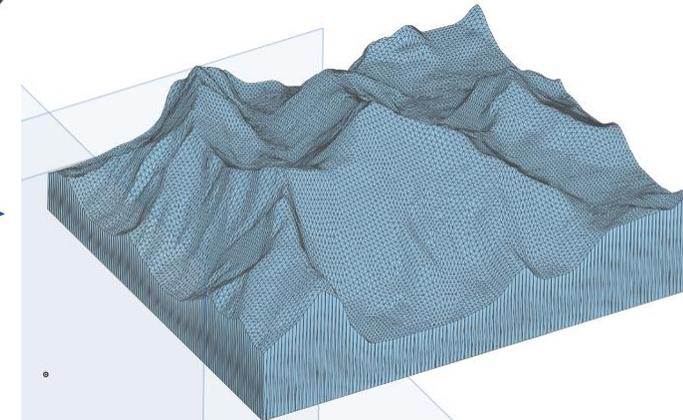
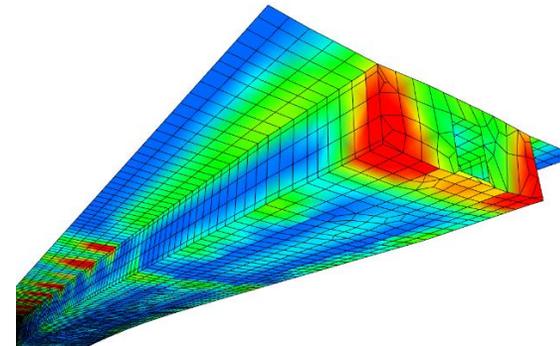
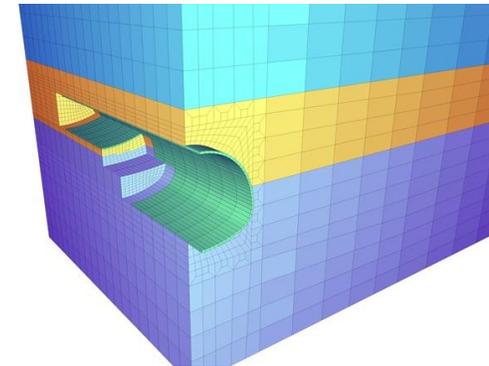
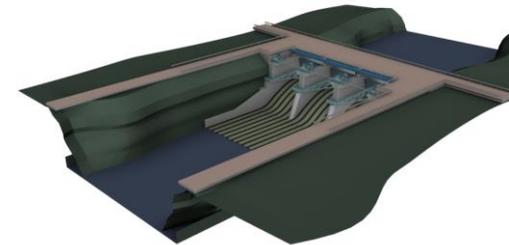
- Das System basiert auf die **Kombination** mehrerer innovativer **digitaler Technologien**:
  - Entwicklung eines **3D digitalen Zwillings** des **Objekts**
  - **Cloud-basierte Visualisierung**, die **virtuelle Inspektionen** ermöglicht
  - **Automatische Ausführung** von numerischen **FE-Simulationen**
  - **Kontinuierliche Kalibrierung** mittels **inverser Analyse**
  - **Prädiktive Analyse** durch **künstliche Intelligenz**
  - **BIM** (Building Information Modelling)

 **Effiziente und zuverlässige Ferndiagnose**

# Wie funktioniert die Plattform

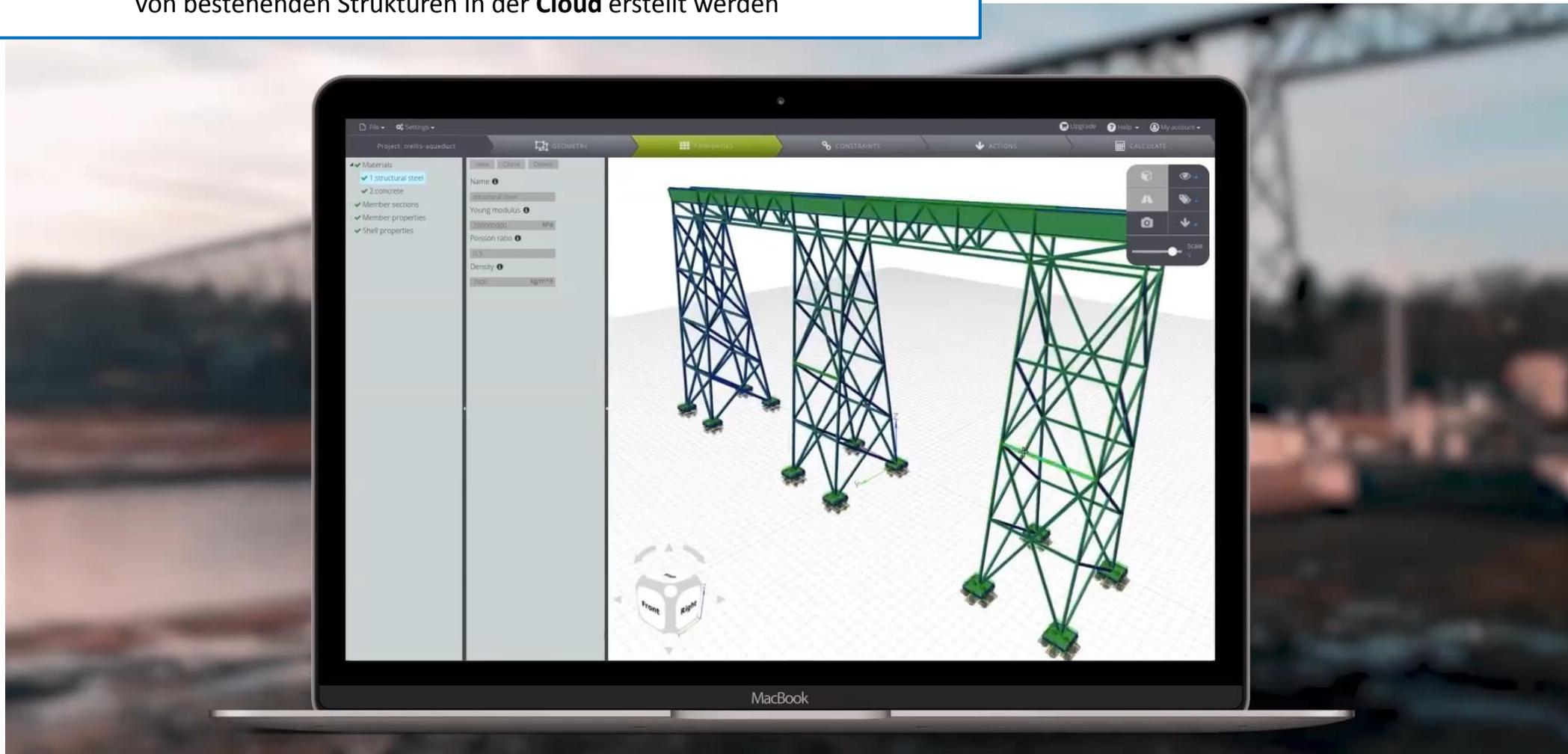
- Das System basiert auf die **Kombination** mehrerer innovativer **digitaler Technologien**:
  - Entwicklung eines **3D digitalen Zwillings** des **Objekts**
  - **Cloud-basierte Visualisierung**, die **virtuelle Inspektionen** ermöglicht
  - **Automatische Ausführung** von numerischen **FE-Simulationen**
  - **Kontinuierliche Kalibrierung** mittels **inverser Analyse**
  - **Prädiktive Analyse** durch **künstliche Intelligenz**
  - **BIM** (Building Information Modelling)

➔ **Effiziente und zuverlässige Ferndiagnose**



# 3D-Digitaler Zwilling

Mit **WeStatiX** können benutzerdefinierte **digitale Zwillinge** für die **Echtzeit-Monitoring** von bestehenden Strukturen in der **Cloud** erstellt werden



# Einrichtung und Betrieb des Monitoringsystem



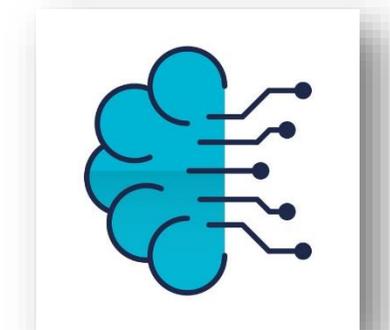
Objekt (Brücke, Tunnel, Gebäude, Damm, Hang)



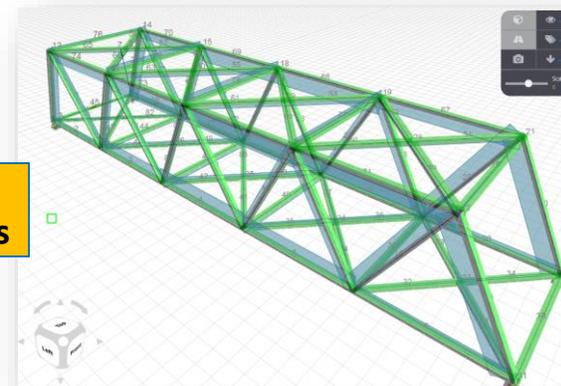
Sensoren Installation



Cloud Datenübertragung



Artificial Intelligence (AI)



Digital Twin Aktualisierung & Simulation

Berechnung des Ausnutzungsfaktors



Real time Monitoring



# 3D-Digitaler Zwilling – Terfener Innbrücke



- Implementierung einer kundenspezifischen WeStatix-GUI für das **Bauwerksmonitoring** einer Spannbeton-Autobahnbrücke
- Ein **digitaler Zwilling** wird mit der Struktur verbunden, in der **faseroptische Sensoren** und Inclinometer installiert sind
- Auf Basis der täglich gemessenen Daten bestimmen FE-Simulationen **Ausnutzungsfaktor** und aktuellen **Zustand** der Struktur
- Der **digitale Zwilling** wird durch **inverse Analyse** und **Optimierungsalgorithmen** automatisch und kontinuierlich kalibriert
- **Künstliche Intelligenz (KI)** und **Big-Data-Analyse** ermöglichen eine **prädiktive Analyse** des zukünftigen Strukturverhaltens

# 3D-Digitaler Zwilling – Terfener Innbrücke

Values to show

Utilization factor ⓘ

min: 6.45e-6

max: 0.35

Export results

Member	Min [-]	Max [-]
1	1.84e-5	0.32
2	1.05e-5	0.18
3	1.57e-5	0.32
4	9.93e-6	0.21

3D View  
 2D View  
 Camera  
 Download

Loads:  4  
 Supports:  4  
 Results:  10  
 Deforms:  4

Scale:  4



**3D-VISUALISIERUNG DES AKTUELLEN ZUSTANDS DER STRUKTUR IM WEBBROWSER**

Values to show

X displacement ⓘ

Y displacement ⓘ

Z displacement ⓘ

X rotation ⓘ

Y rotation ⓘ

Z rotation ⓘ

min: -0.01 m

max: 4.18e-4 m

Export results

Shell	Min [m]	Max [m]
1	5.06e-4	5.14e-4
2	-5.03e-4	-5.14e-4
3	-1.88e-3	-2.05e-3
4	-1.57e-3	-2.05e-3
5	1.25e-3	1.05e-3
6	1.75e-3	1.05e-3
7	-1.88e-3	-1.12e-3
8	-1.75e-3	-1.02e-3
9	-1.85e-3	-1.03e-3
10	1.65e-3	5.97e-4
11	1.65e-3	5.05e-4
12	-1.88e-3	-9.97e-4
13	-2.82e-3	-1.88e-3
14	2.30e-3	1.65e-3
15	3.00e-3	1.05e-3
16	-2.92e-3	-1.65e-3
17	-2.02e-3	-1.78e-3
18	-2.92e-3	-1.68e-3

Values to show

X displacement ⓘ

Y displacement ⓘ

Z displacement ⓘ

X rotation ⓘ

Y rotation ⓘ

Z rotation ⓘ

min: -0.01 m

max: 4.18e-4 m

Export results

Shell	Min [m]	Max [m]
1	5.06e-4	5.14e-4
2	-5.03e-4	-5.14e-4
3	-1.88e-3	-2.05e-3
4	-1.57e-3	-2.05e-3
5	1.25e-3	1.05e-3
6	1.75e-3	1.05e-3
7	-1.88e-3	-1.12e-3
8	-1.75e-3	-1.02e-3
9	-1.85e-3	-1.03e-3
10	1.65e-3	5.97e-4
11	1.65e-3	5.05e-4
12	-1.88e-3	-9.97e-4
13	-2.82e-3	-1.88e-3
14	2.30e-3	1.65e-3
15	3.00e-3	1.05e-3
16	-2.92e-3	-1.65e-3
17	-2.02e-3	-1.78e-3
18	-2.92e-3	-1.68e-3

# 3D-Digitaler Zwilling – Terfener Innbrücke

Values to show

Utilization factor ⓘ

min: 6.45e-6

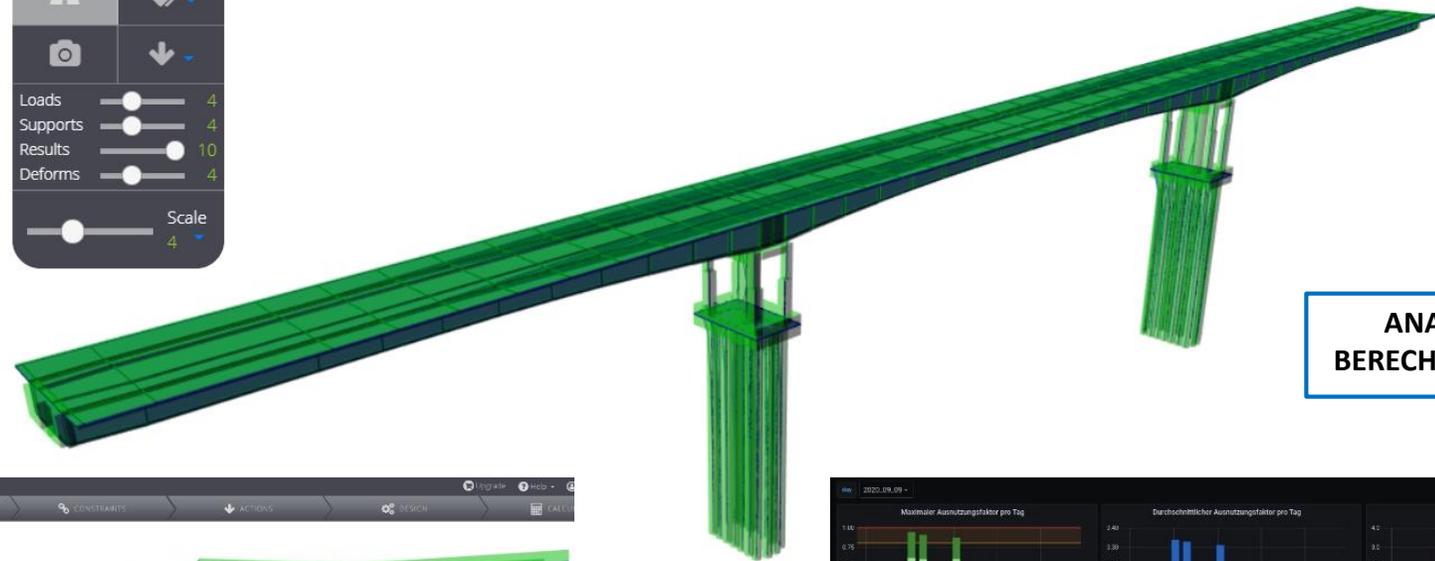
max: 0.35

Export results

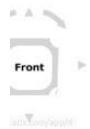
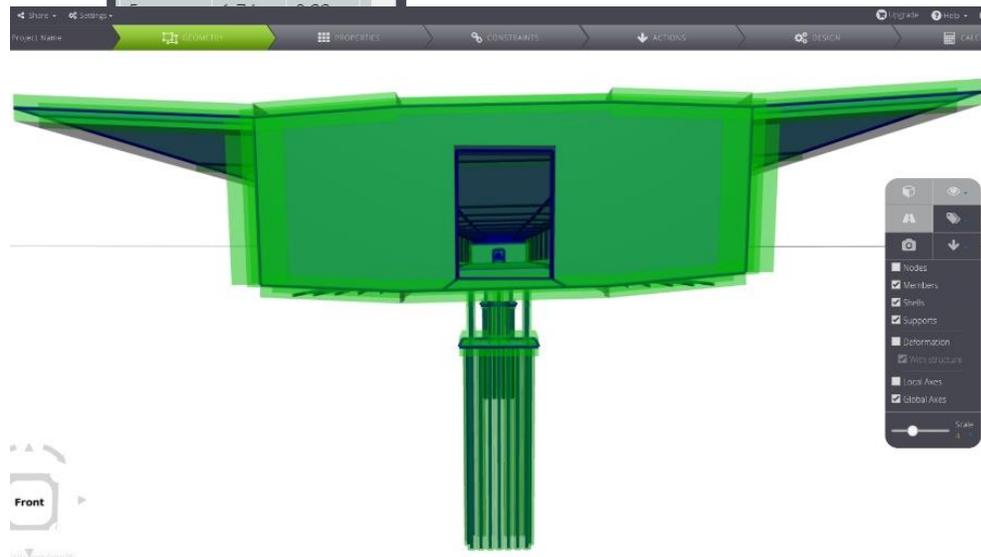
Member	Min [-]	Max [-]
1	1.84e-5	0.32
2	1.05e-5	0.18
3	1.57e-5	0.32
4	9.93e-6	0.21

3D navigation and control panel:

- Isometric view icon
- Eye icon (visibility)
- Hand icon (pan)
- Tag icon (select)
- Camera icon (reset view)
- Download icon (export)
- Slider: Loads (4)
- Slider: Supports (4)
- Slider: Results (10)
- Slider: Deforms (4)
- Slider: Scale (4)



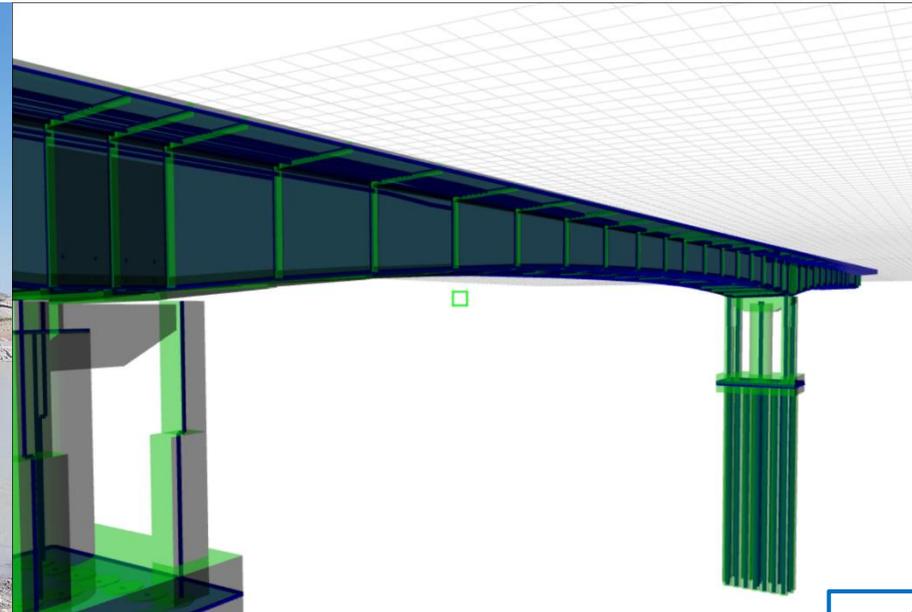
**ANALYSE DER GEMESSENEN UND BERECHNETEN DATEN IM WEBBROWSER**



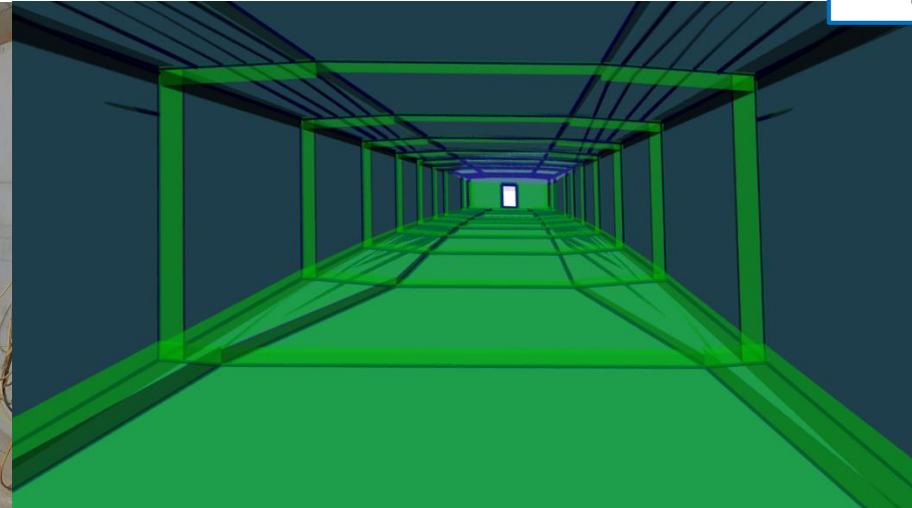
# 3D-Digitaler Zwilling – Terfener Innbrücke



REAL STRUCTURE



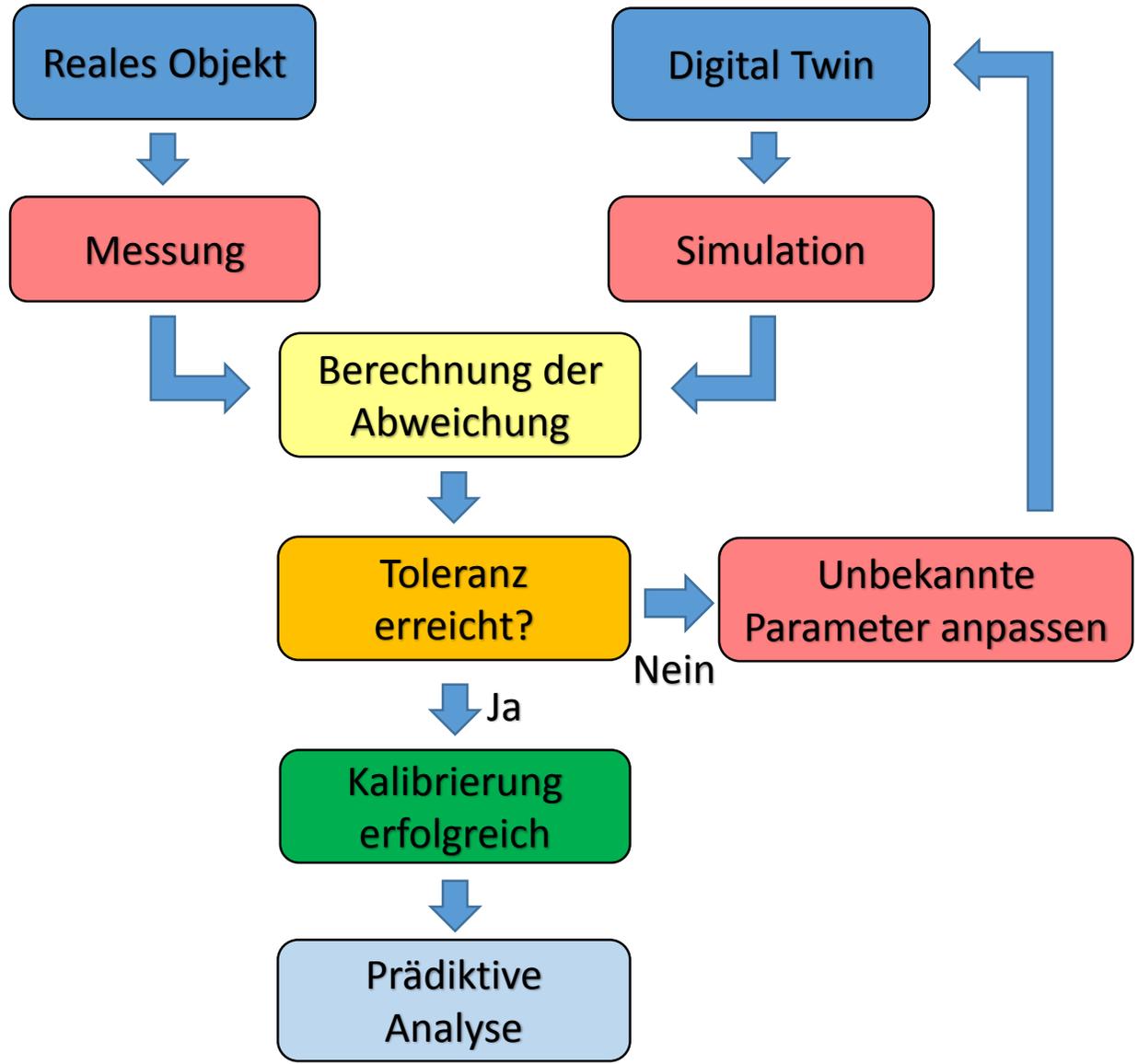
DIGITAL TWIN



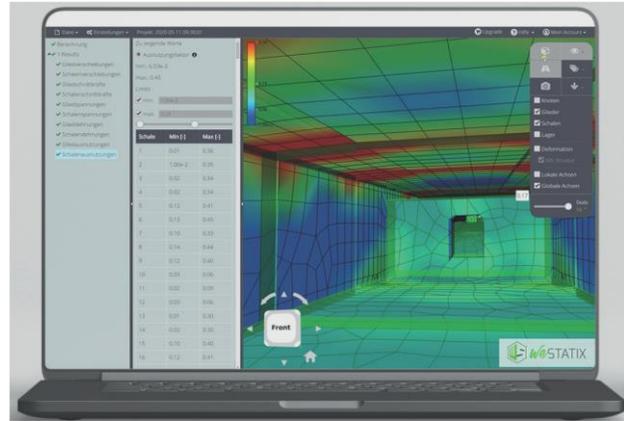
# Prädiktive Analyse und zeitliche Entwicklung



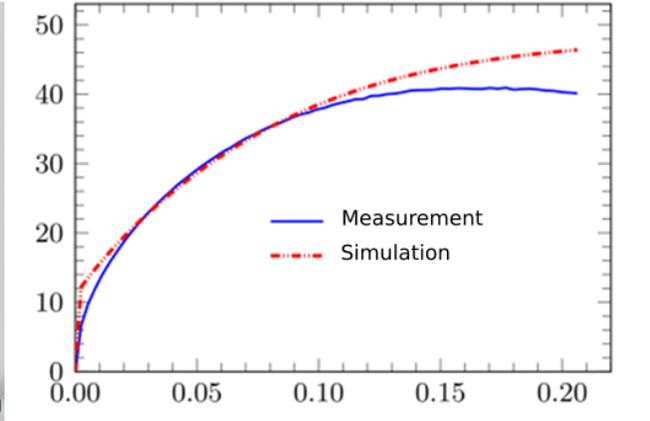
# Digital Twin Kalibrierung durch Inverse Analyse



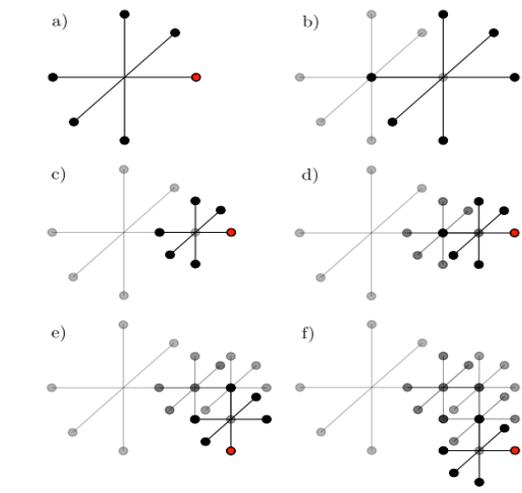
DIGITAL TWIN SIMULATION



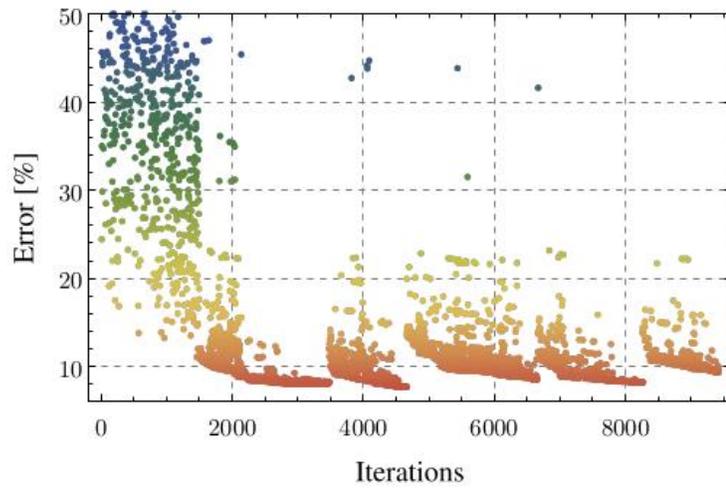
VERGLEICH MESSUNG/BERECHNUNG



ITERATIVE OPTIMIZATION ALGORITHMS

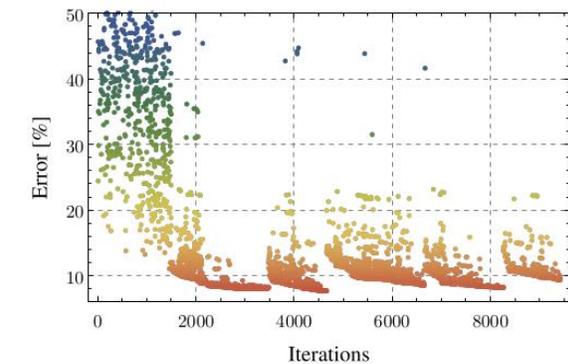
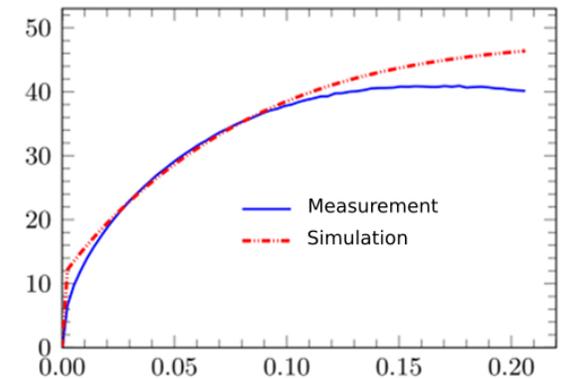


KALIBRIERUNG VIA INVERSE ANALYSE



# Warum funktioniert es

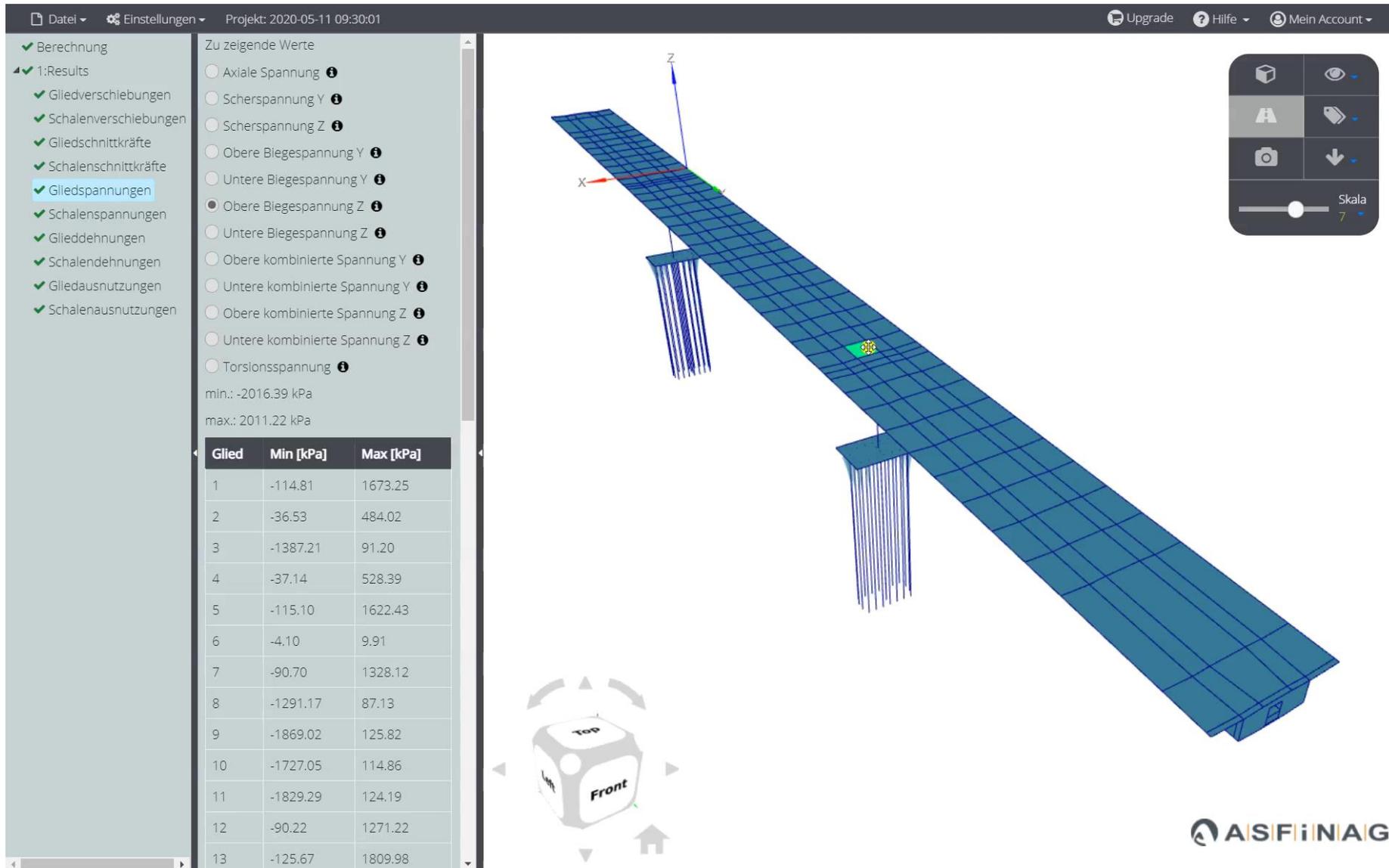
- Die Simulationen auf dem **digitalen Zwilling** können den **Zustand** und das **Risiko** des Objekts **global bewerten**, basierend auf **lokalen Messungen** der installierten Sensoren (**an Datenbedeutung schauen**)
- Die **FE-Simulationen** werden kontinuierlich auf der Basis gemessener oder identifizierter Einwirkungen durchgeführt, was einen **wesentlich höheren Grad an Genauigkeit** ermöglicht
- Die visuelle **Überwachung** (auch wenn automatisch) kann nur **Schäden bewerten**, die bereits stattgefunden haben. Der **Einsturz** des Objekts kann sehr oft nur durch die Bewertung des **Spannungszustands** durch numerische Simulation **vorhergesagt** werden (**in das Objekt schauen**)
- Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz werden die **historischen Daten** über die **überwachten Strukturen** genutzt, um ein erweiterbares selbstlernendes System aufzubauen, das mit der Zeit immer besser wird (**in die Zukunft schauen**)



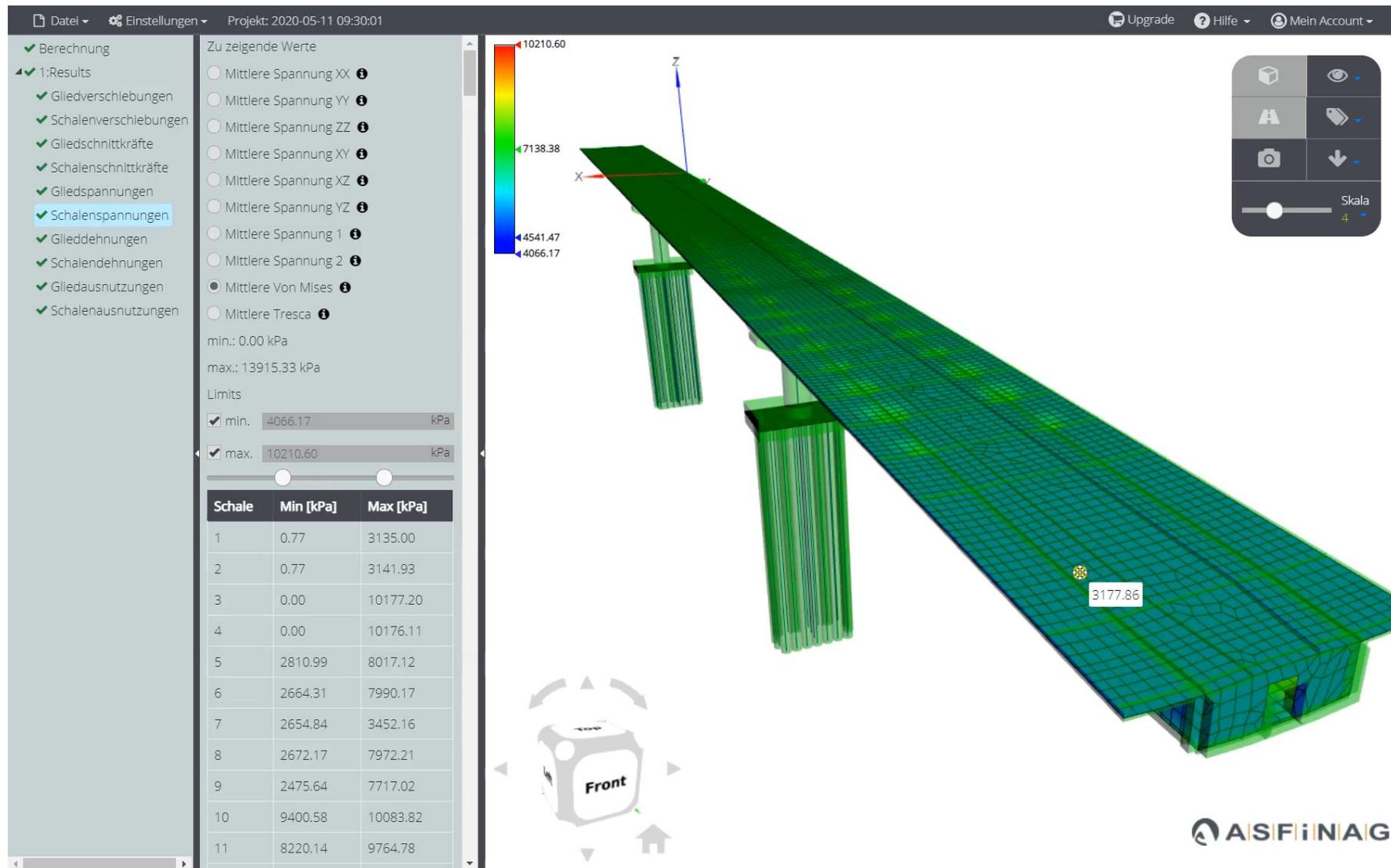
# Ziele und Vorteile des Systems

- Die digitale **Zusammenfassung** der einzelnen **Monitoringssysteme** zu einem **globalen selbstlernenden** System
- Die Erstellung eines **numerischen Modells (Digitaler Zwilling)** auf Grundlage der vorhandenen Messdaten, welches sich in Echtzeit an Veränderungen anpasst
- **Einsatz von Algorithmen, basierend auf künstlicher Intelligenz**, welche die prädiktive Analyse ermöglicht, um im Voraus Informationen über das zu erwartende Verhalten des Objekts zu erhalten, **mögliche Risiken zu analysieren und somit auch Sicherheitsmaßnahmen zu optimieren**
- Entwicklung einer **zuverlässigen** und **objektiven** Methode, die den Wissensstand über das Objekt maximiert und nicht auf die Bewertung einzelner Personen basiert
- Erstellung einer **Web-Plattform auf der die Verantwortungsträger** jederzeit auf den Digitalen Zwilling zugreifen können und in Echtzeit Informationen über den IST- Zustand erhalten – eine einfache, klar verständliche Visualisierung von relevanter Information steht dabei im Vordergrund

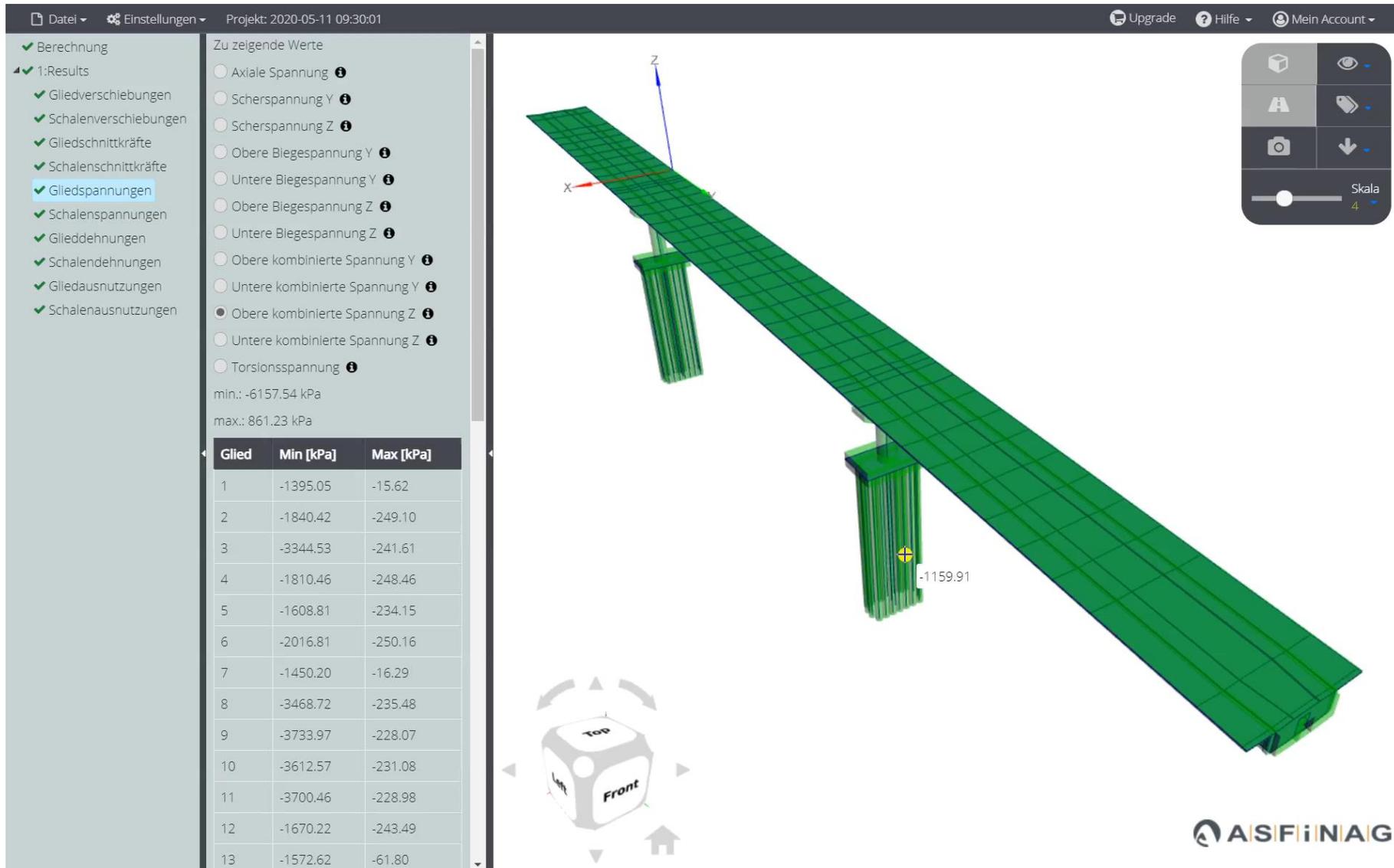
# 3D-Visualisierung des Strukturzustands



# 3D-Visualisierung des Strukturzustands



# 3D-Visualisierung des Strukturzustands



# Projektpartner

