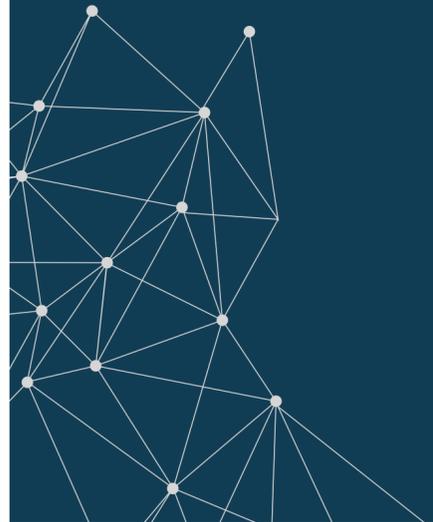




# BRIDGOLOGY

Georadar 2020





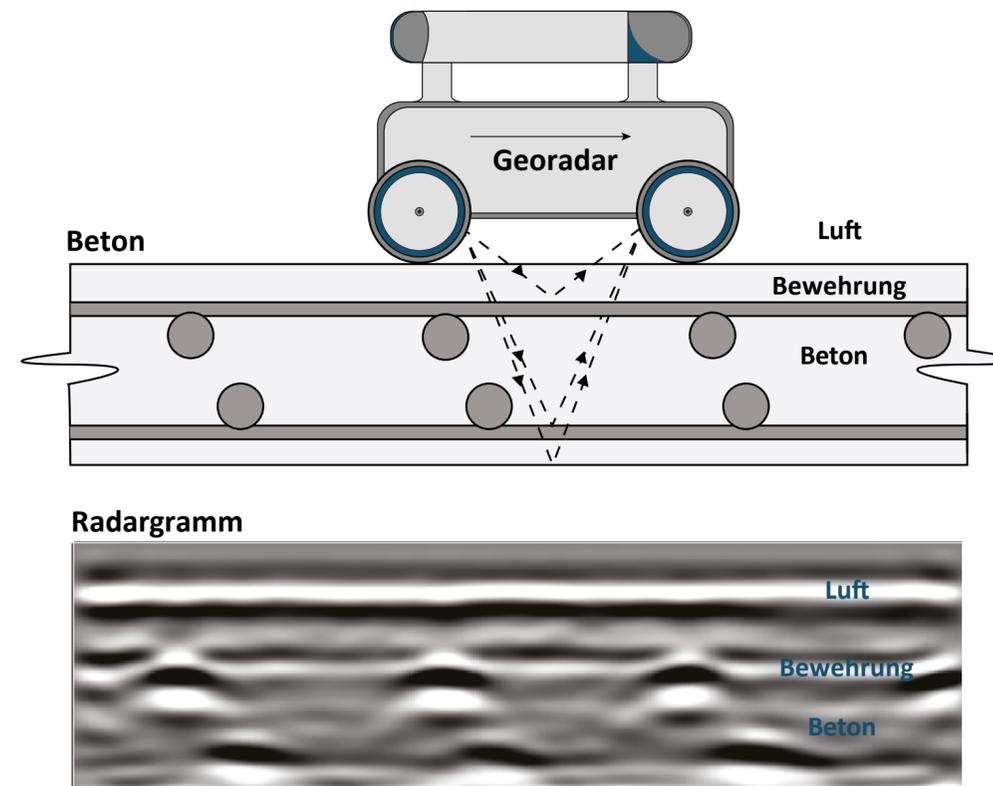
# BRIDGOLOGY

Bridgology SA ist ein Beratungsunternehmen im Bereich der Datenanalyse aus zerstörungsfreien Bauwerkserfassungen. Das Unternehmen wurde 2013 gegründet.

Wir bieten unseren Kunden übersichtliche und synthetische Messdarstellungen und Entscheidungshilfen an.

Wir untersuchen alle Arten von neuen und bestehenden Tragwerken, aus Stahlbeton sowie aus Mauerwerk.

In diesem Prospekt werden typische Analysen mit der Georadar-Methode vorgestellt.

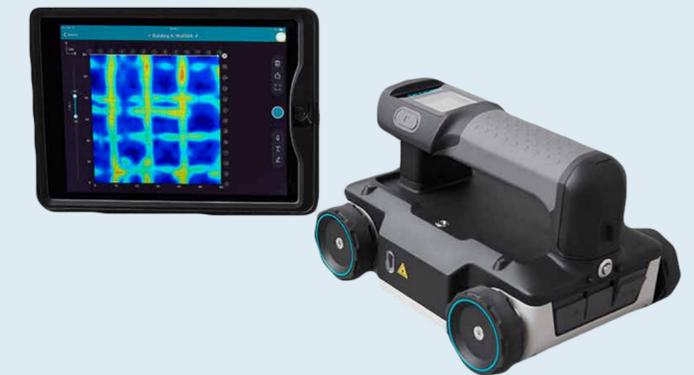


Georadar ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, das auf der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen basiert. Die Antenne sendet Wellen aus, welche sich in der Struktur ausbreiten und in Richtung des Radars reflektiert werden, sobald sie auf ein Hindernis treffen.

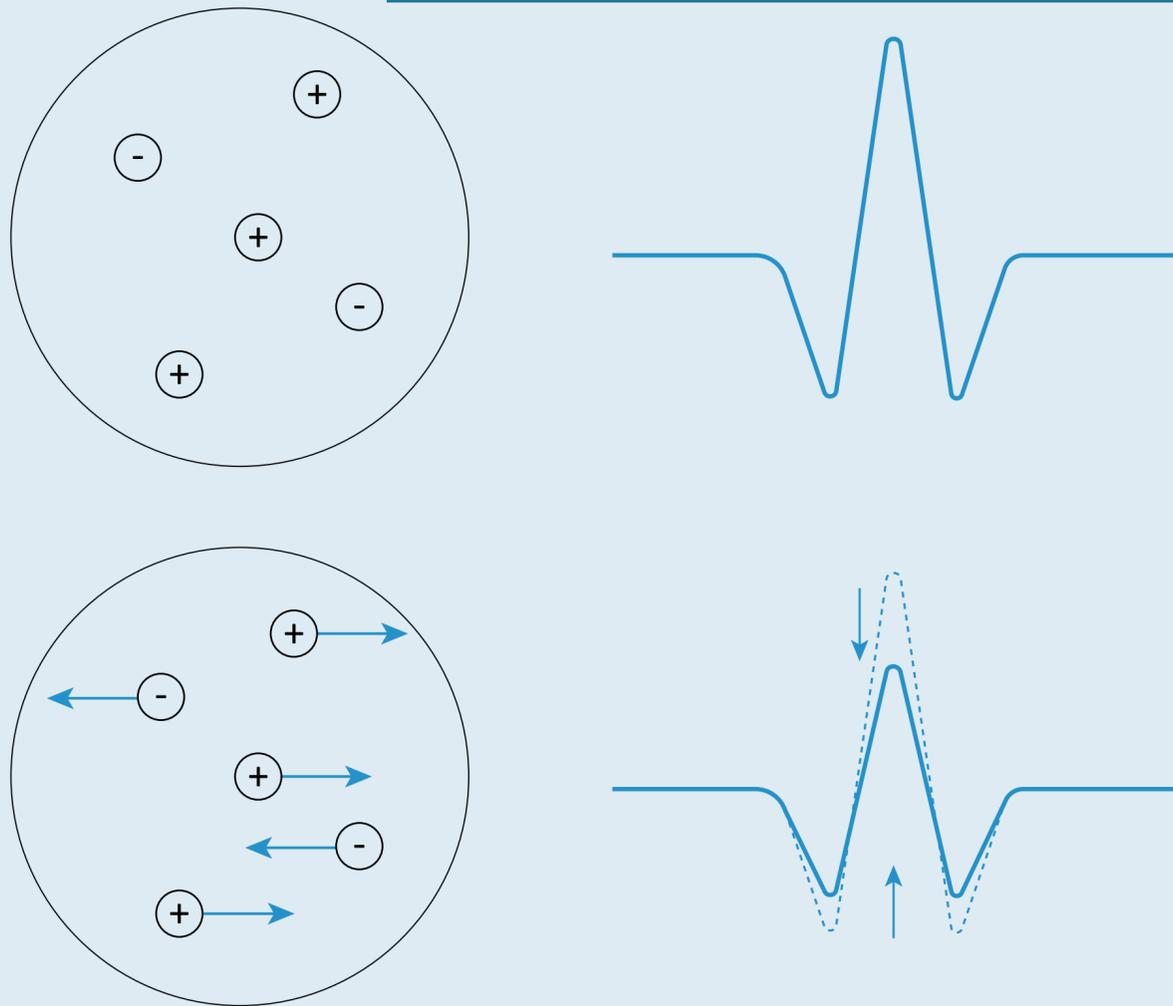
Während sich das Georadar entlang des untersuchten Objekts bewegt, werden die Durchlaufzeiten der Wellen aufgezeichnet und addiert. Diese Summe der Messungen bildet ein Radargramm. Es stellt einen Querschnitt der Struktur mit den darin enthaltenen Objekten dar.

Um die Tiefen der angetroffenen Elemente zu berechnen, werden die aufgezeichneten Durchlaufzeiten mit Hilfe der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen umgerechnet. Diese Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden durch punktuelle Sondierbohrungen kalibriert.

## Das Georadar



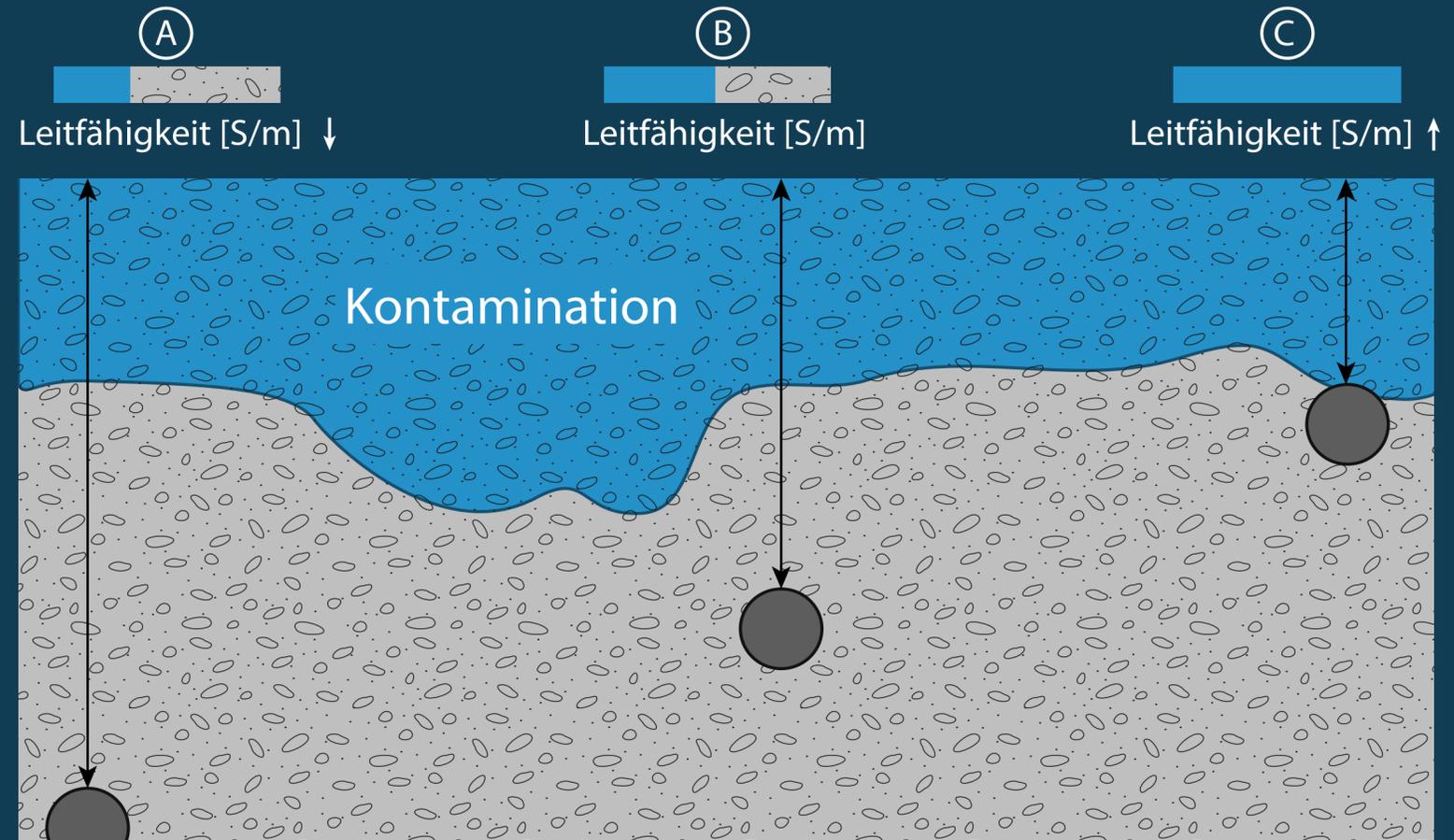
# Die elektrische Leitfähigkeit



Elektrische Leitfähigkeit ist die Fähigkeit eines Materials oder einer Lösung, einen elektrischen Strom zu leiten. Sie wird in Siemens pro Meter [S/m] ausgedrückt und variiert mit der Menge der sich in den Poren des Betons in Lösung befindlichen Ionen. Die vom Georadar ausgesandte elektromagnetische Welle erzeugt ein lokales elektrisches Feld, das die Ionen im Wasser der Poren verdrängt. Diese Verschiebung der Ionen konsumiert einen Teil der Energie der elektromagnetischen Welle. Die Leitfähigkeit wird durch die Messung der verbrauchten Energiemenge berechnet.

Die Berechnung der Leitfähigkeit aus Georadar-Daten ist das Ergebnis der EPFL-Dissertation n°5354 (2013) von Dr. Alexis Kalogeropoulos.

# Das Korrosionsrisiko



Die Leitfähigkeit des Überdeckungsbetons spiegelt die Gefahr der Korrosion der Bewehrungsstäbe wider:

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} \times \text{Anfälligkeit}$$

- Risiko** = Gemessene Leitfähigkeit [S/m]
- Gefährdung** = Elektrischer Leitwert [S], direkt proportional zur Kontamination (%Cl-)
- Anfälligkeit** = Exposition von Bewehrungsstäben gegenüber der Kontamination. Die Anfälligkeit ist umgekehrt proportional zur Dicke der Überdeckung [m]

Bei gleicher Kontamination sinkt demnach die Leitfähigkeit, wenn die Überdeckung gross ist (A) und steigt, wenn die Überdeckung abnimmt (C). Umgekehrt steigt bei gleicher Überdeckung die Leitfähigkeit bei hoher Kontamination und sinkt bei geringerer Kontamination.

# UNSERE VORGEHENSWEISE

**A** Zerstörungsfreie Messungen am Bauwerk  
 Dauer: 1 Nacht  
 Teilsperre der Strasse falls erforderlich

**C1** Chemische Kontamination  
 Eintrittspunkte und  
 Sammelstellen von Tausalzen  
 Undichte Stellen

**D** Beratung des Bauingenieurbüros  
 Gezieltes Massnahmenkonzept  
 Priorisierung der Massnahmen

**B** Bearbeitung und Analyse der Daten  
 Dauer: ungefähr eine Woche  
 Erstellen eines zusammenfassenden Berichts

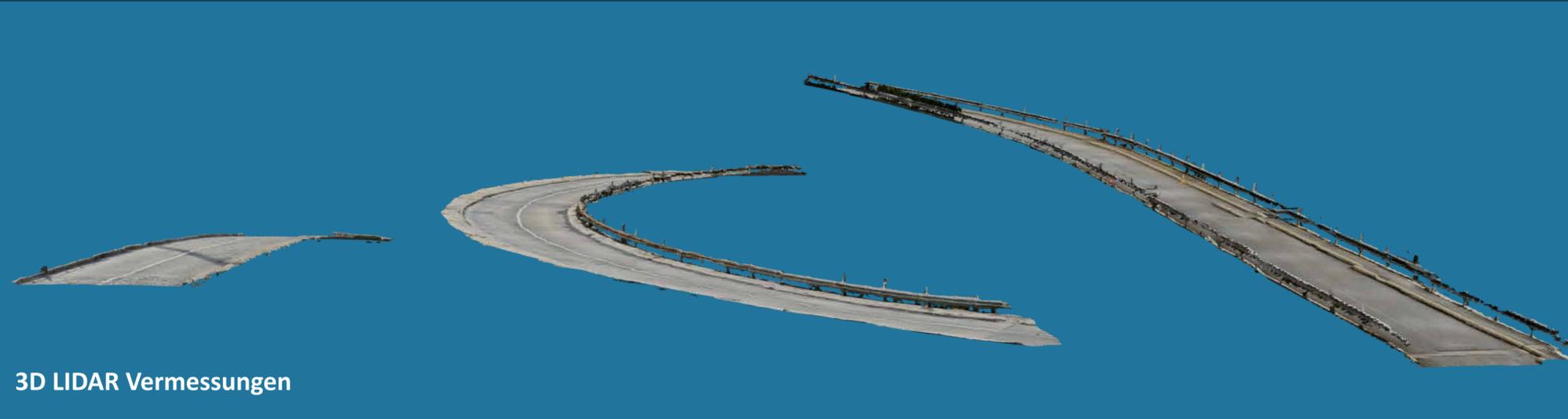
**BRIDGOLOGY**

**C2** Korrosionswahrscheinlichkeit  
 Querschnittsverlust der Bewehrung  
 Dauerhaftigkeitsprobleme

**C3** Interne Schäden  
 Weitere Mängel  
 Tragfähigkeitsverlust

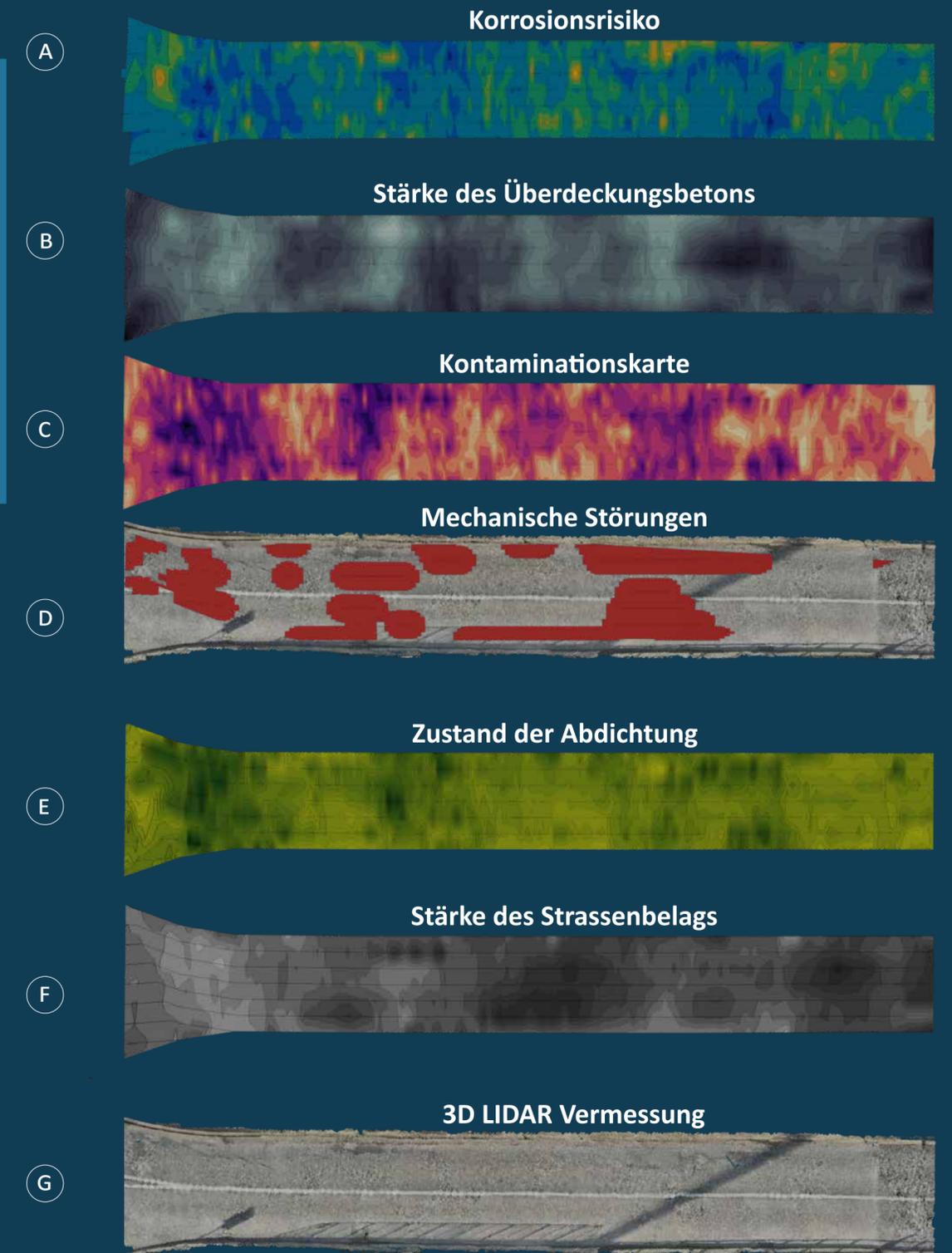
**E** Ausführung der Massnahmen  
 Minimisierung der Kosten und Dauer  
 Unvorhergesehenes vermeiden

# Kartierung der Bauwerke



Katalog der erstellbaren Karten (nach den Bedürfnissen der Kunden und dem Zustand der Struktur anpassbar) :

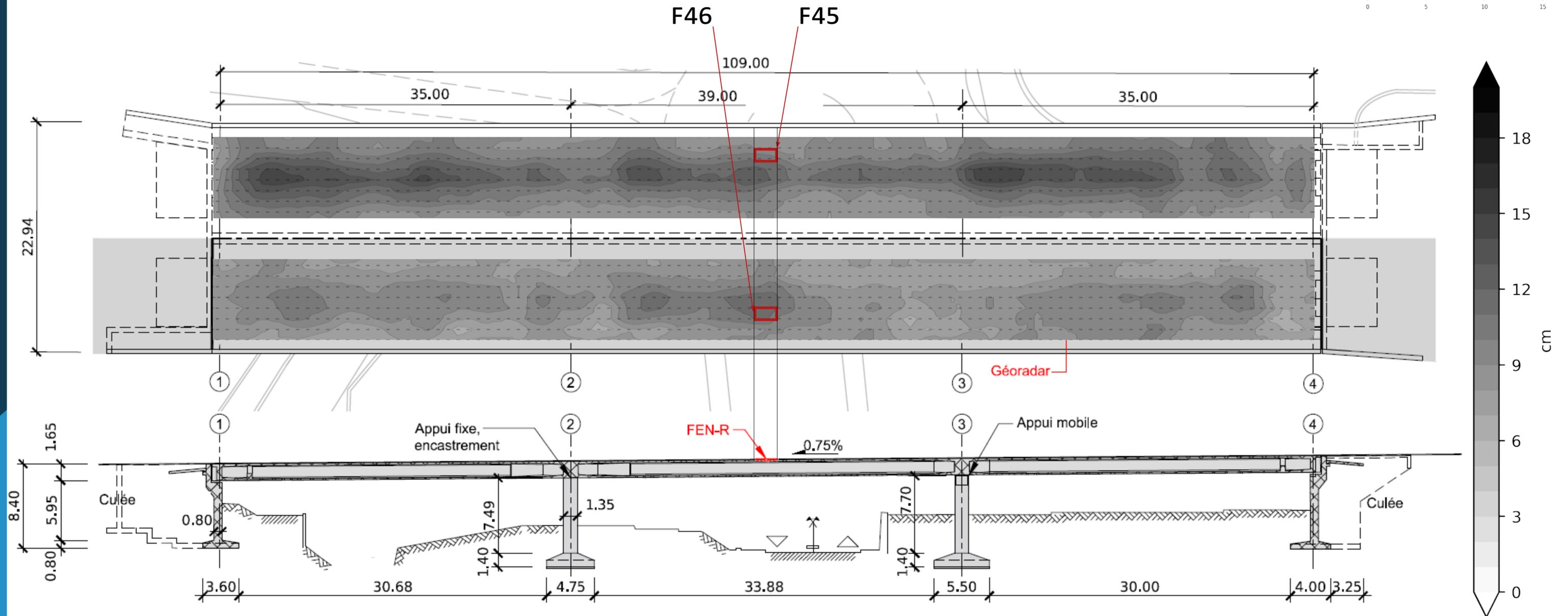
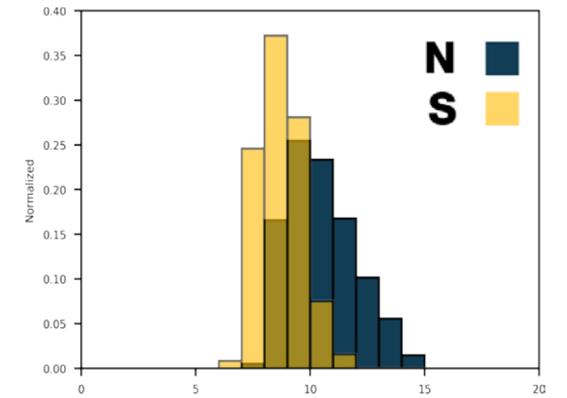
- Ⓐ Die Korrosionsgefahrenkarte der Bewehrung entsprechend der Leitfähigkeit in [S/m].
- Ⓑ Die Karte des Überdeckungsbetons zeigt die Anfälligkeit der Bewehrung an.
- Ⓒ Die Karte der Kontamination entspricht dem Leitwert in [S]. Sie identifiziert Bereiche mit hoher Kontamination und somit Schwachstellen für die Dauerhaftigkeit.
- Ⓓ Die Karte der mechanischen Störungen zeigt alle im Beton beobachteten Störungen und Mängel.
- Ⓔ Die Zustandskarte der Abdichtung beschreibt die Qualität des Kontakts zwischen der Abdichtung und dem Beton.
- Ⓕ Die Karte der Asphaltstärke gibt Auskunft über die Über- oder Unterdicke der Fahrbahn.
- Ⓖ Die 3D-Lidar-Vermessung der Oberfläche des Bauwerks zeigt die Geometrie, früherer Reparaturen und Oberflächenstörungen.



# ANWENDUNGSBEISPIEL - AUTOBAHNBRÜCKE

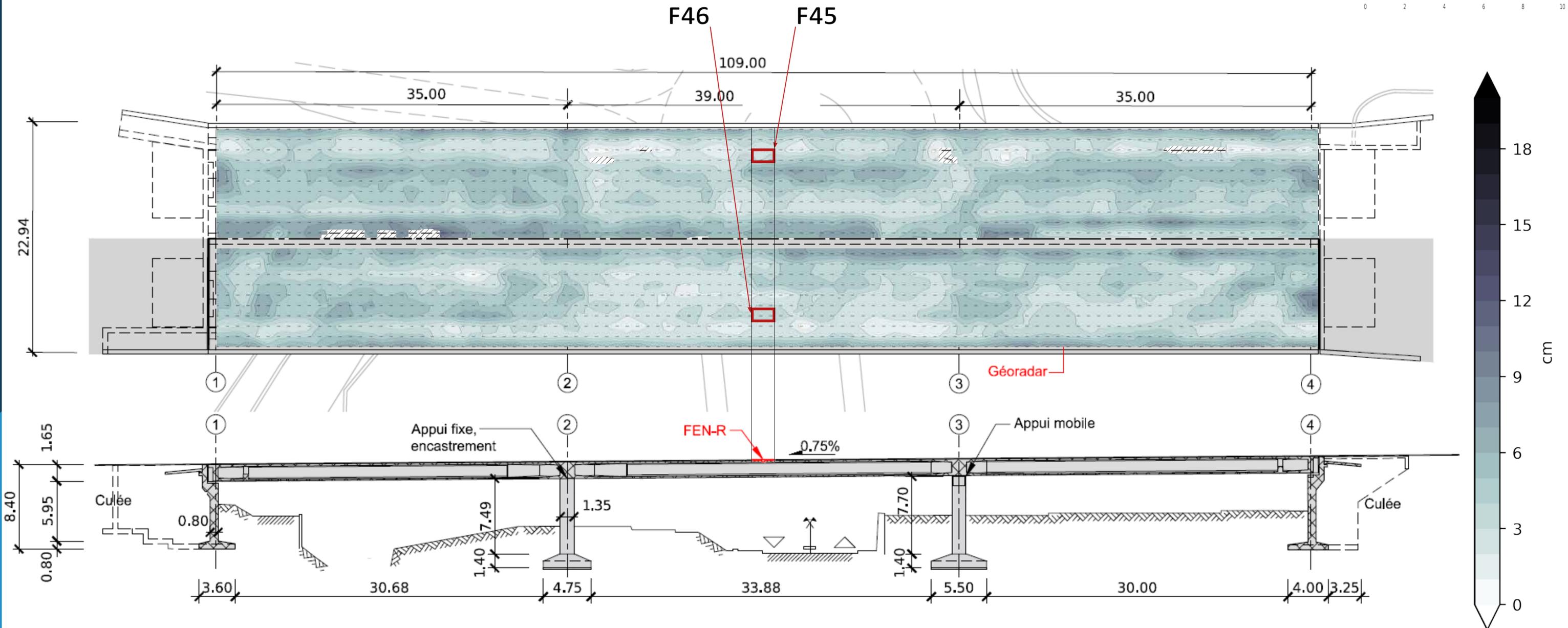
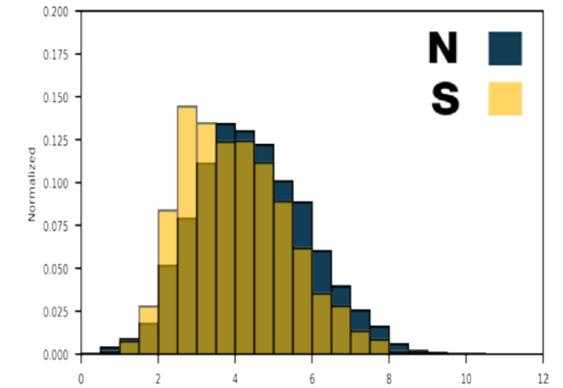
## DICKE DES STRASSENBELAGS

Auf beiden Brücken folgen die Messwerte einer Normalverteilung. Die Nordbrücke weist eine etwas größere durchschnittliche Dicke als die Südbrücke auf: 10.3 cm gegen 8.6 cm. Auffallend ist, dass beide Fahrbahnplatten breite Randstreifen aus Stahlbeton ohne Oberflächenschutz aufweisen.



## BEWEHRUNGSÜBERDECKUNG

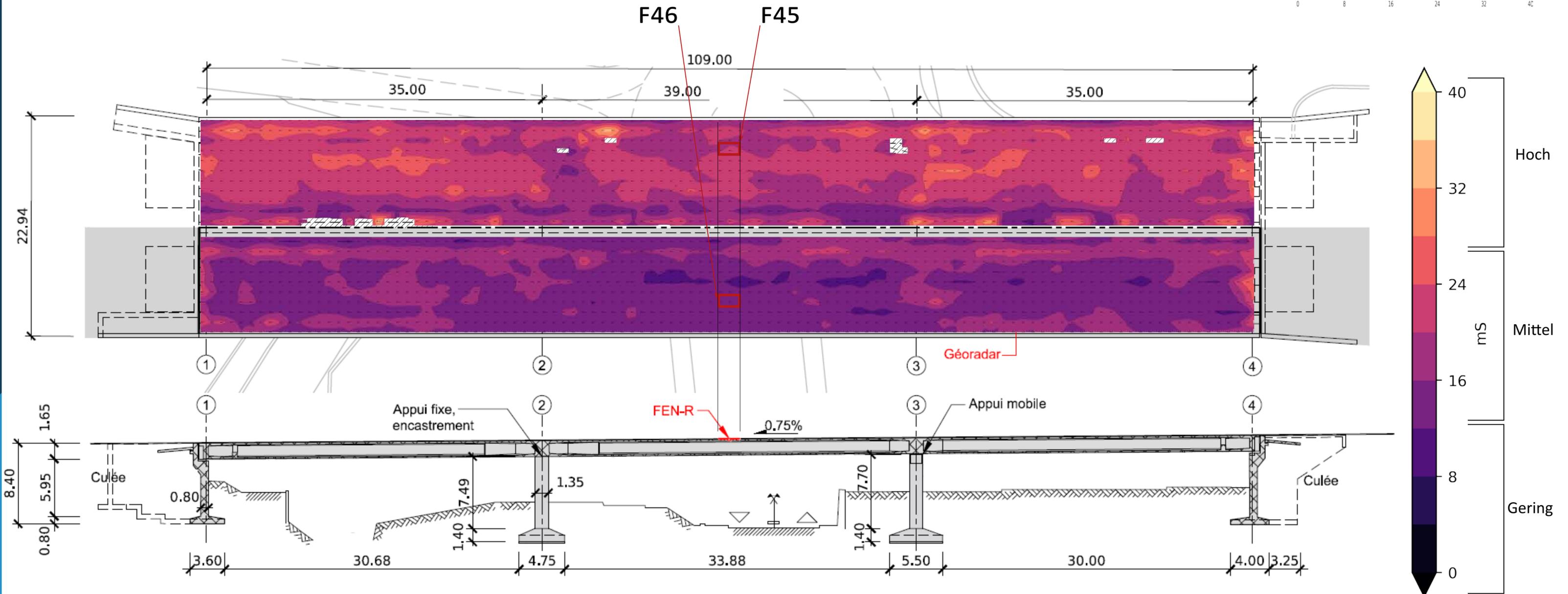
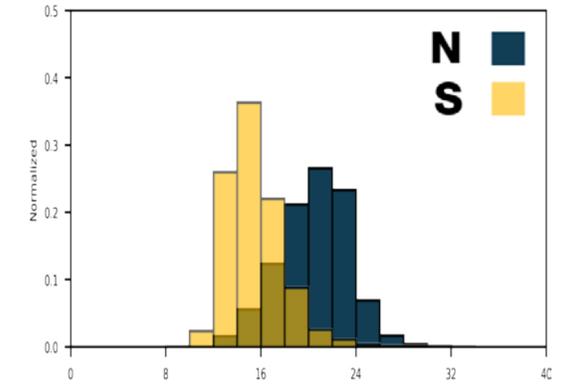
Die gemessenen Dicken folgen auf beiden Fahrbahnplatten einer Normalverteilung. Beide Brücken zeigen lokal sehr schwache Überdeckungen auf, insbesondere am Tiefpunkt der geneigten Fahrbahnen. Dies deutet auf eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit der Bewehrung und der Quervorspannung hin.



# ANWENDUNGSBEISPIEL - AUTOBAHNBRÜCKE

## KONTAMINATION

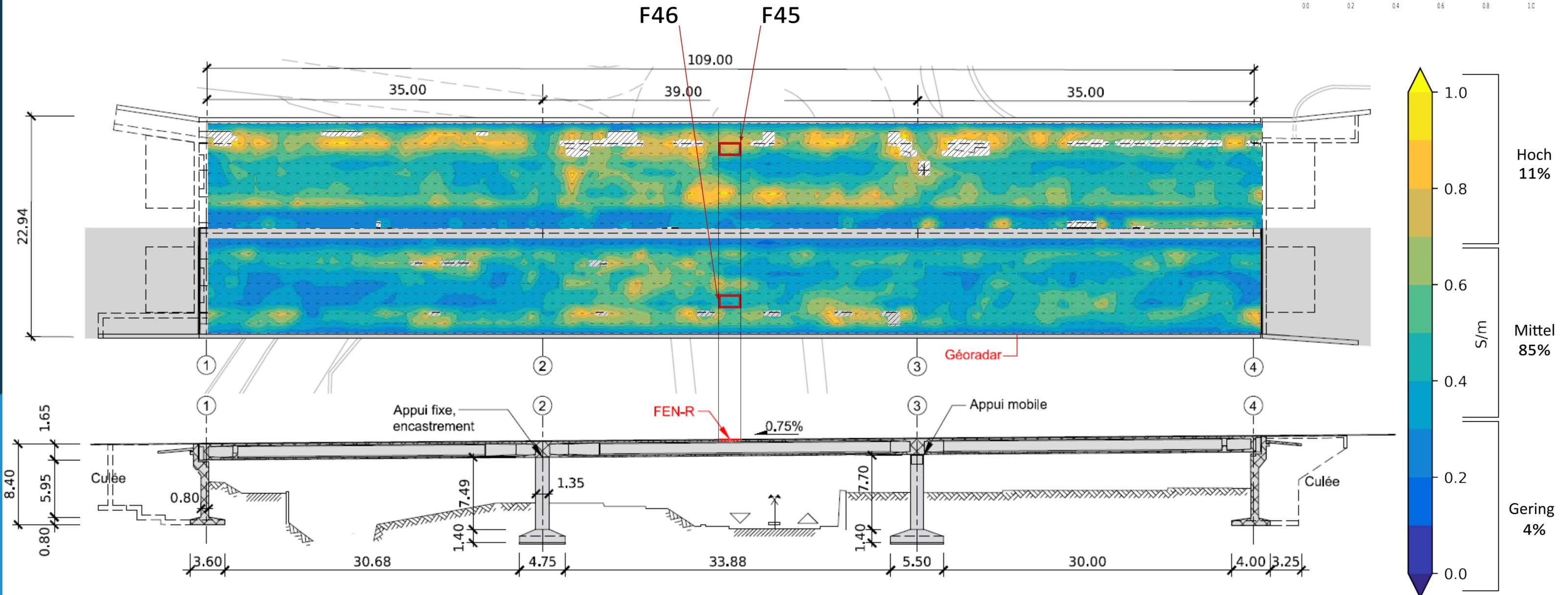
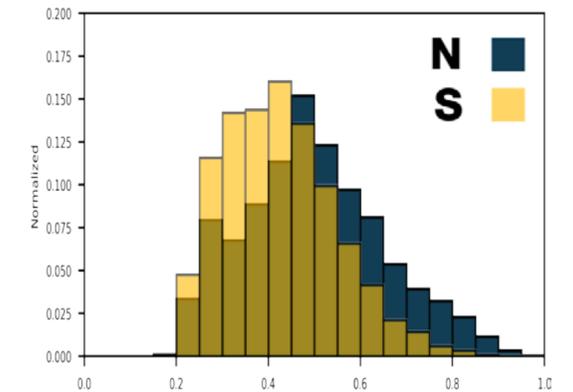
Die beobachtete Kontamination kann insgesamt als gering bis mittelwertig eingestuft werden. Die Nordbrücke sticht durch eine höhere Gesamtkontamination und vereinzelte Bereiche mit starker Kontamination heraus.



# ANWENDUNGSBEISPIEL - AUTOBAHNBRÜCKE

## KORROSIONSRISIKO

Die Korrosionsgefahr ist insgesamt durchschnittlich. Es gibt jedoch vermehrt empfindliche Stellen, insbesondere in den Bereichen mit unzureichender oder fehlender Betonüberdeckung neben den Randstreifen. Der deutliche Unterschied zwischen beiden Brücken wird durch das Vorhandensein einer Lärmschutzwand am nördlichen Konsolkopf erklärt.



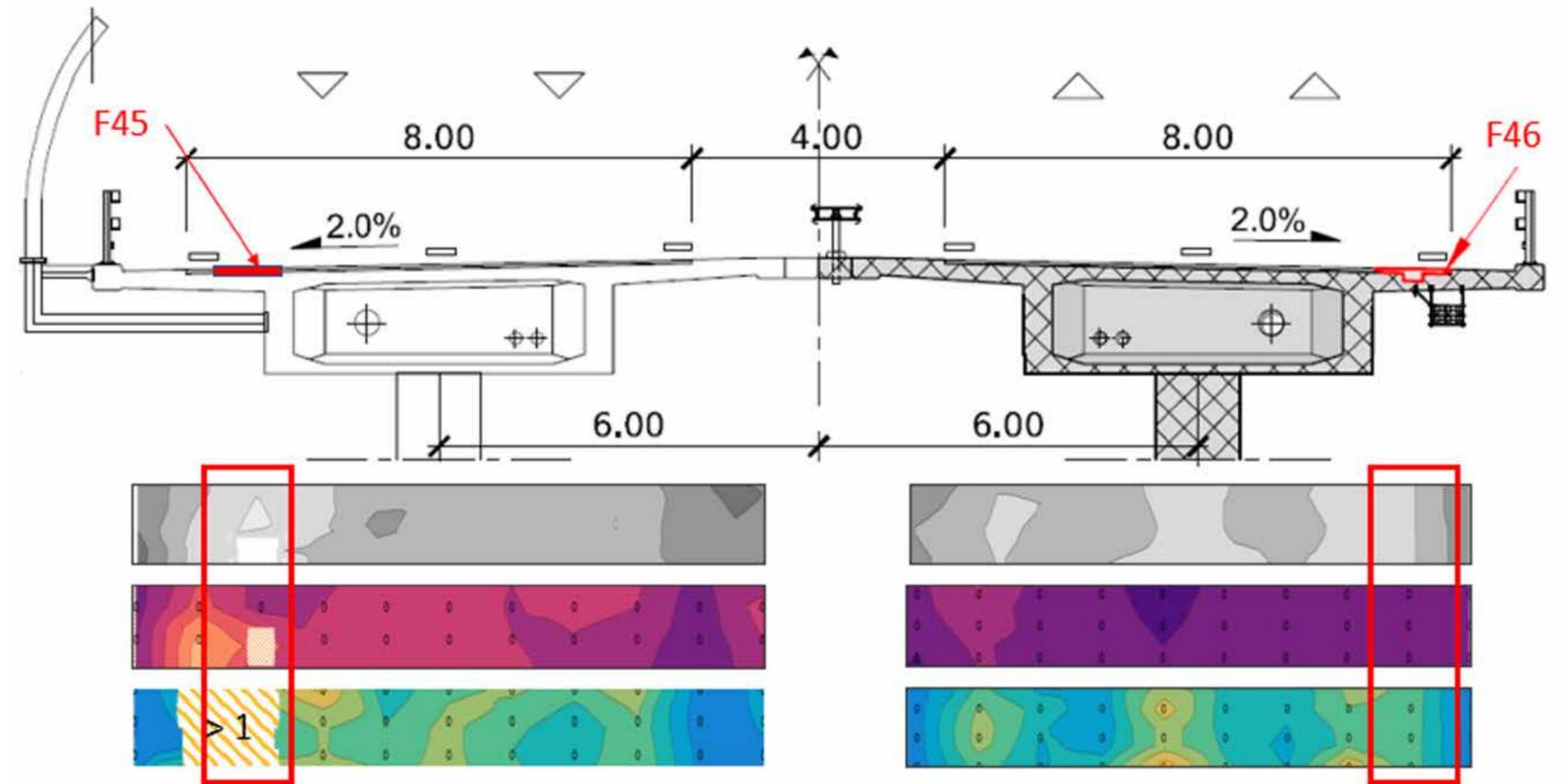
# ANWENDUNGSBEISPIEL - AUTOBAHNBRÜCKE

## ZUSÄTZLICHE UNTERSUCHUNG UND BESTÄTIGUNG DER HOHEN KONTAMINATION

Ein erstes Untersuchungsfenster zur Inspektion der Quervorspannung wurde in einem allgemein gesunden Bereich der Südbrücke durchgeführt (F46).

Aufgrund der Anzeichen von oberflächiger Litzenkorrosion sowie den hohen, an der Nordbrücke gemessenen Kontaminationswerten, wurde ein zweites Sondierfenster in der nördlichen Fahrbahn empfohlen und durchgeführt (F45).

Diese zweite Bohrung festigt unsere Messungen der hohen Chloridbelastung und bestätigt das Vorhandensein von Eintrittsstellen und Chloridansammlungen in den Querspannhüllen.



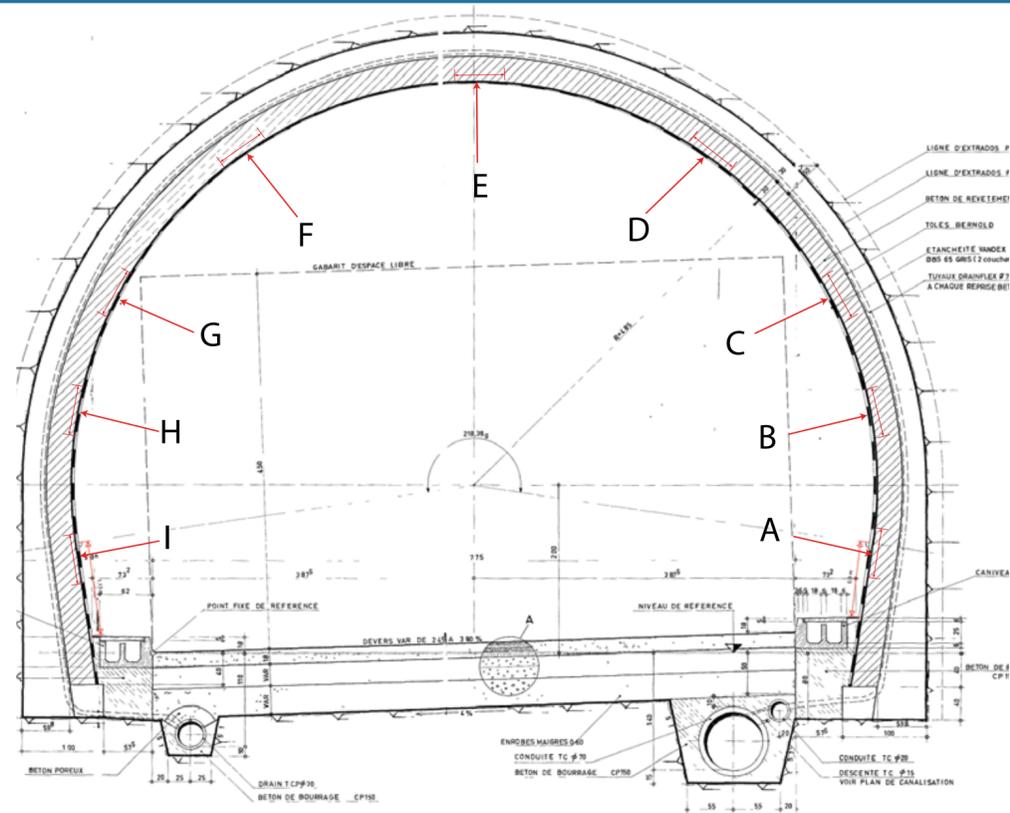
Zustandserfassung Nord		Zustandserfassung Süd	
	Karbonatisierung		
10 [mm]	Überdeckung	32 [mm]	
2.34[%]	[Cl-]	0.06[%]	
	Zust. Bewehrung		
	Zust. Litzen		
	Abdichtung		
	AAR oben		
	AAR unten		
	Zust. Mikrostruktur		
50 MPa	Druckfestigkeit	44.2 MPa	



# CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – TUNNEL

## MESSUNGEN

Pro Tunnelröhre wurden 9 Längsprofile von 135 [m] mittels beweglicher Hebebühne gemessen. Die Verkehrsunterbrechung dauerte 2 x 6 Stunden. Die Messdichte wurde so festgelegt, dass die geprüfte Fläche maximiert und ein guter Kompromiss zwischen der Messzeit und der Genauigkeit des Endergebnisses erreicht wurde.



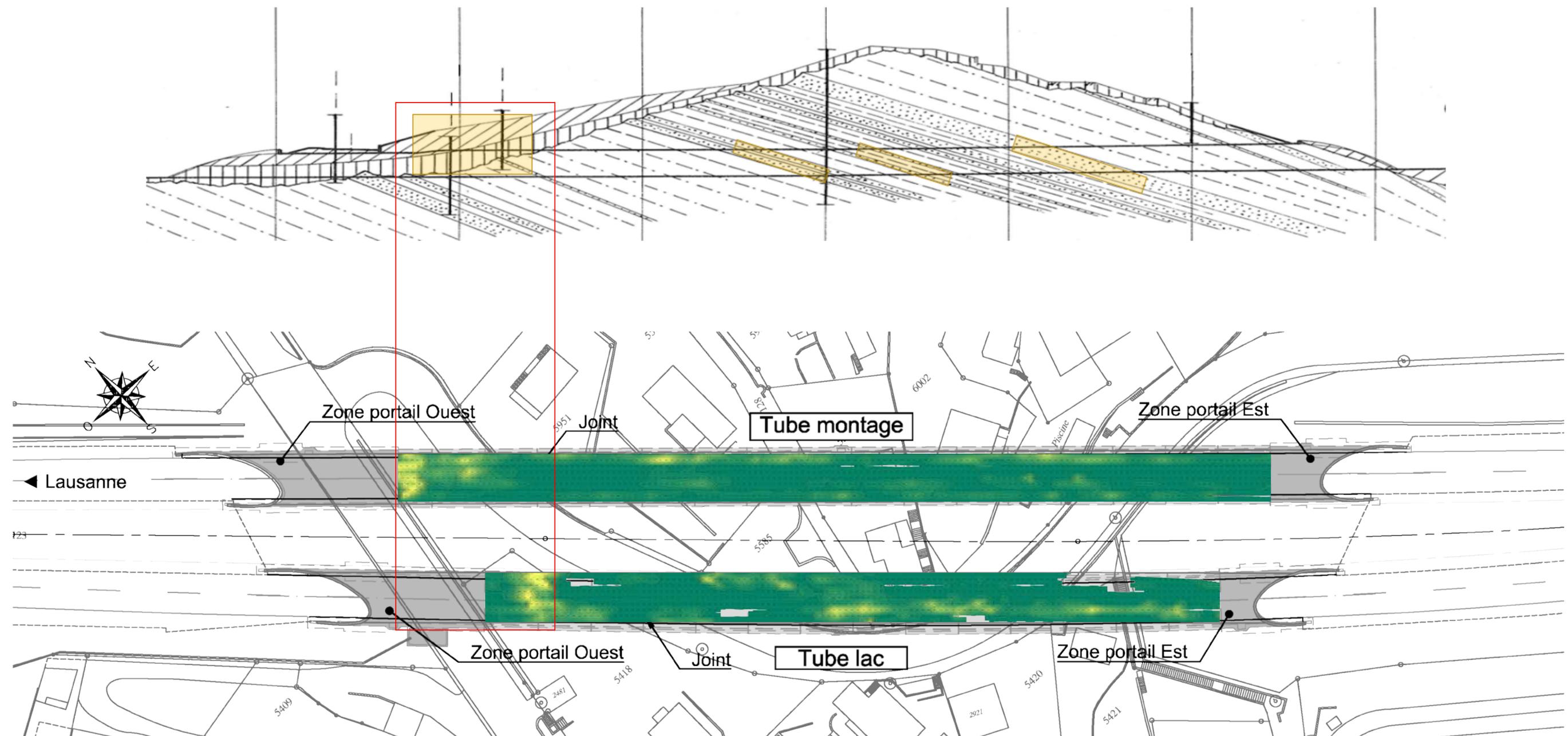
## ZIELSETZUNG

Zur Vorbereitung der anstehenden Sanierungsarbeiten bestand der erste Teil der Studie in der zerstörungsfreien Messung der Stärke der Tunnelwand.

Da die Struktur visuelle Anzeichen von Undichtigkeit infolge Wasserzirkulationen aufzeigte, sollten ausserdem Wasserinfiltrationspunkte sowie Schwächen der Verkleidung ermittelt werden.



Deutlicher Zusammenhang zwischen den identifizierten Schwachstellen (Ablösen der Abdichtung sowie Wassereintritt) und der Geologie des Hanges.



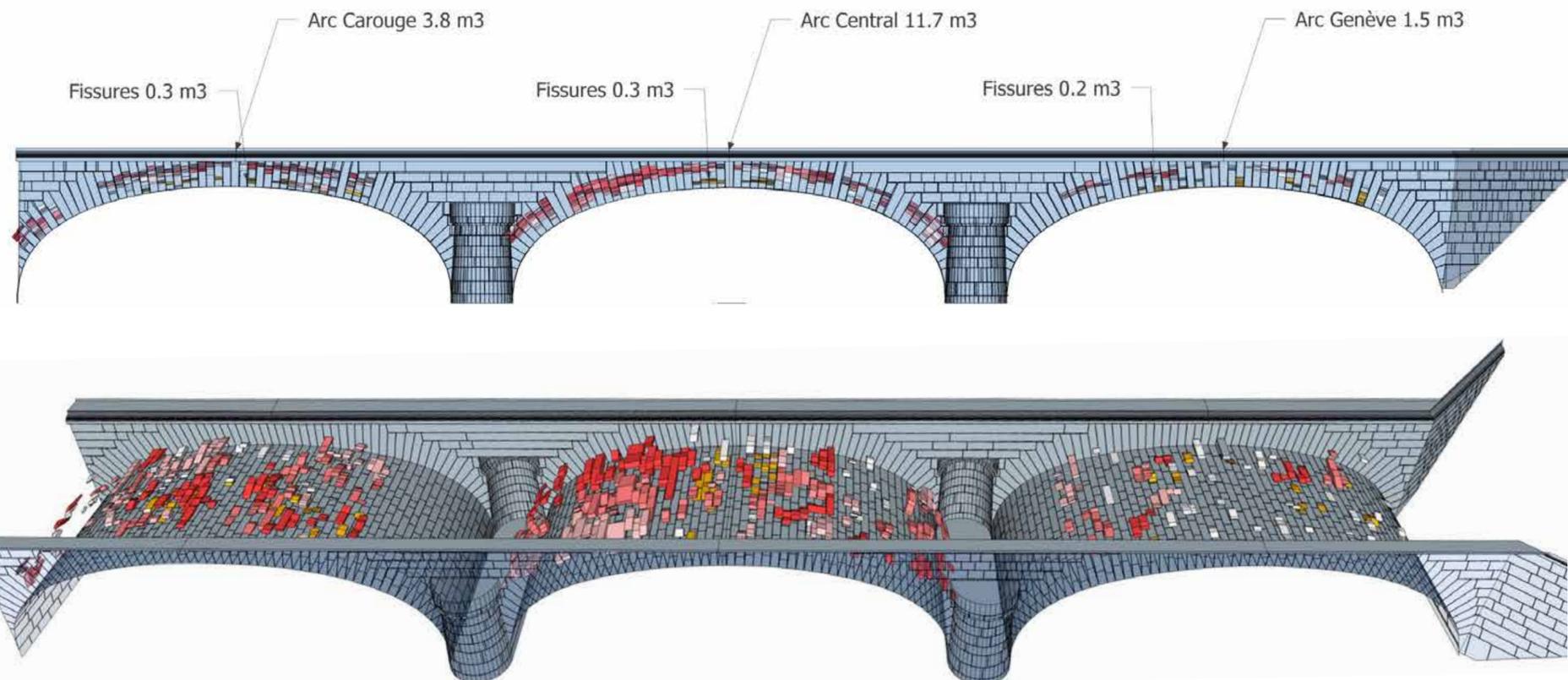
## ANWENDUNGSBEISPIEL – TUNNEL

### FESTSTELLUNGEN

Es befindet sich ein Bereich mit Aufschüttungen zwischen den beiden Strassen über den identifizierten Schwachstellen an den Westportalen. Dieser Bereich könnte als Eintritts- und Sammelstelle für das Regenwasser dienen und somit die Dauerhaftigkeitsprobleme im Portalbereich beschleunigen.



## ANWENDUNGSBEISPIEL – MAUERWERKSBOGENBRÜCKE



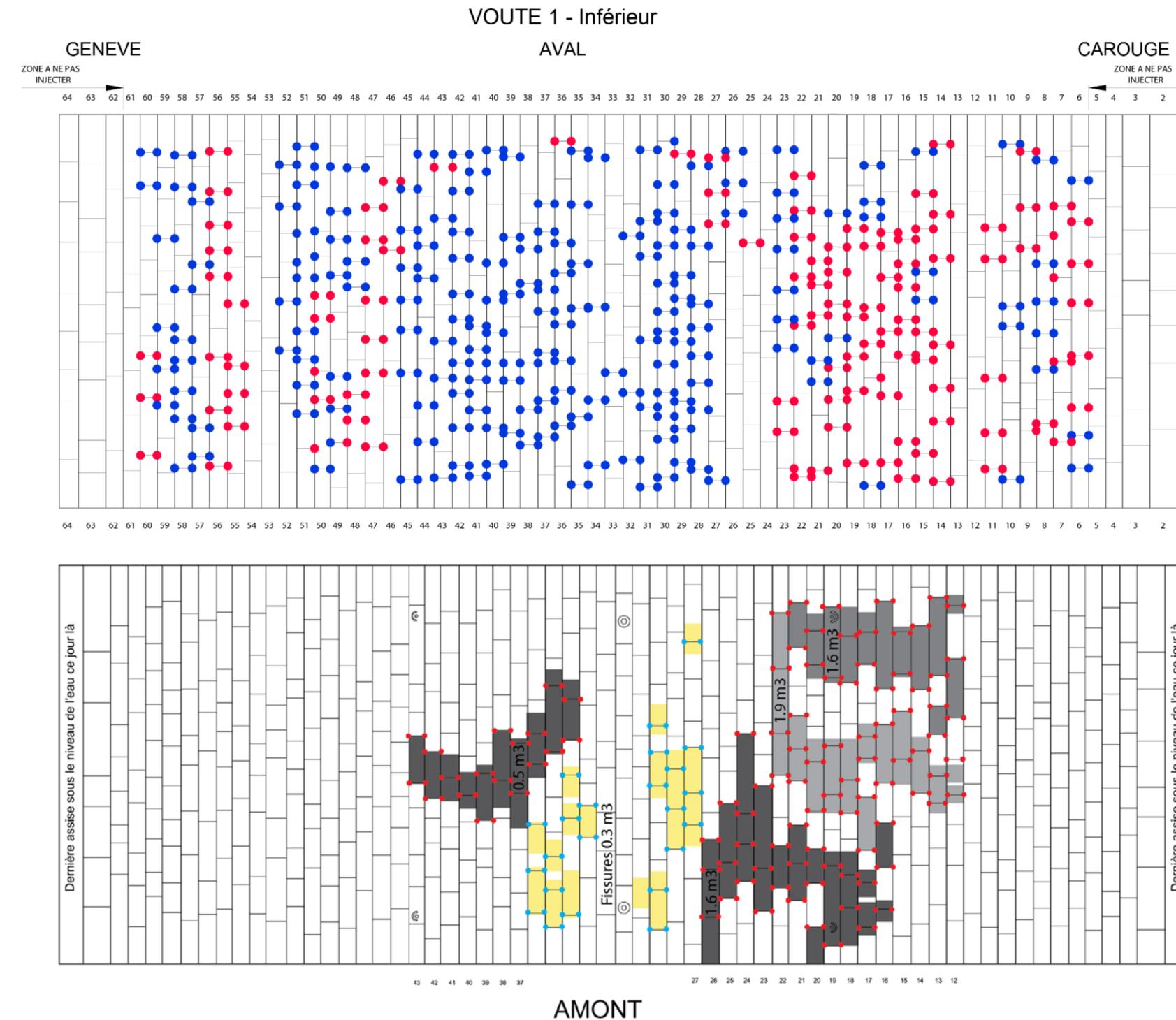
### ZIELSETZUNG

Eine undichte Fahrbahn führte zu andauernden Wassereintritten in das Tragwerk, was ein progressives Auswaschen der Bögen zur Folge hatte. Unser Auftrag war es, die Art und Anzahl der in dem Tragwerk vorhandenen Störungen in Form von Rissen, Hohlräume und ausgewaschenen Fugen zu ermitteln. Schlussendlich sollten die zu verfüllenden Volumina bestimmt werden.

### MESSUNGEN

Insgesamt wurden 240 Georadarprofile während 6 Nächten gemessen. Die Mauerwerksbögen wurden dreidimensional kartographiert.

# ANWENDUNGSBEISPIEL – MAUERWERKSBOGENBRÜCKE



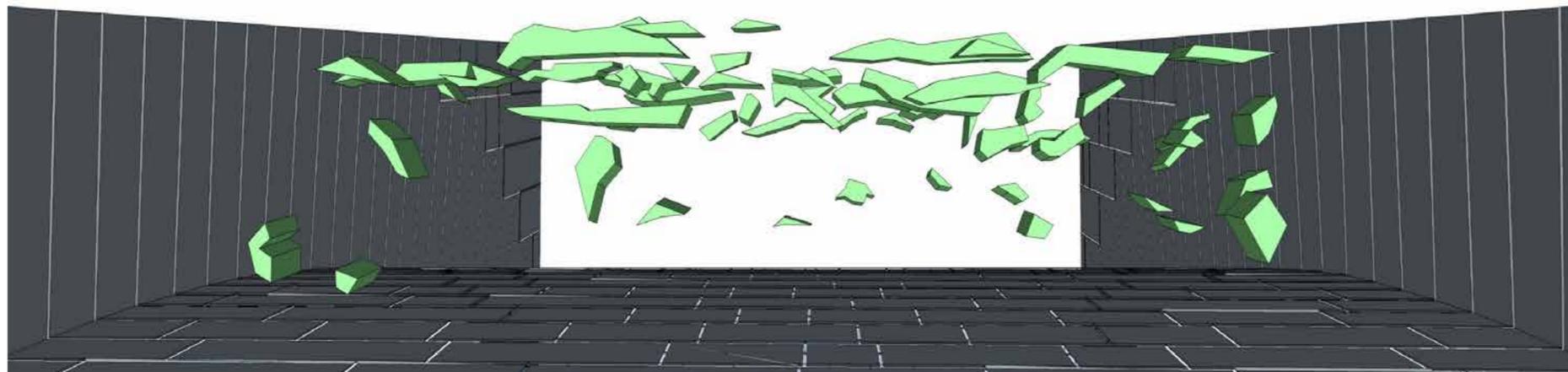
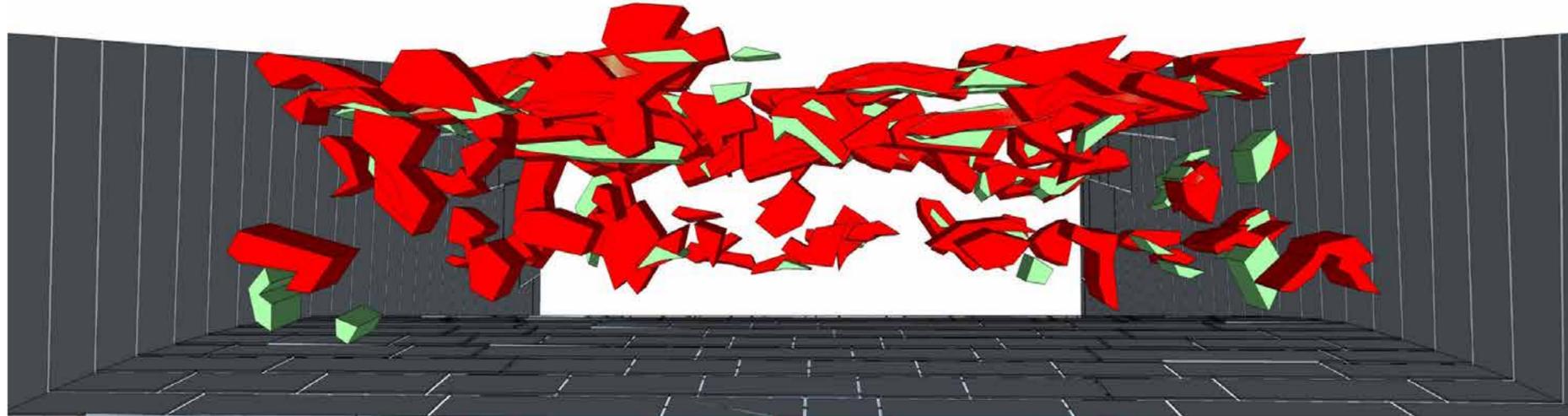
## INJEKTIONSPROTOKOLL

Nach der Erstmessung wurden die Injektionspunkte festgelegt und auf einem Arbeitsplan präzise dargestellt. Die verschiedenen Injektionstiefen sind farblich gekennzeichnet: in rot 1,0 [m] und in blau 0,5 [m].

Die Bohrungen fanden 10 Tage vor den Injektionen statt damit die Struktur austrocknen konnte.

Nach der ersten Stufe der Injektionen wurde eine zweite zerstörungsfreie Inspektion durchgeführt. Die verbleibenden Volumen wurden geschätzt und zusätzliche punktuelle Injektionen angeordnet.

## ANWENDUNGSBEISPIEL – MAUERWERKSBOGENBRÜCKE



Oben: Festgestellte Hohlstellen nach Erstmessung. Unten: Resthohlstellen nach Erstinjektion.

### ENDRESULTAT

Das Ziel von 75% Hohlstellenverfüllungen wurde nach zwei Injektionen mit 79% erreicht und leicht übertroffen. Alle Messungen und Injektionen konnten von unten, also ohne Verkehrsunterbrechung, durchgeführt werden. Mit seiner kurzen Dauer und dem präzisen Bestimmen der Volumen war der Eingriff äusserst erfolgreich.

Eine Totalsanierung der Fahrbahnplatte inklusive Abdichtung gewährleistet neu die Dauerhaftigkeit des Tragwerkes.



# BRIDGOLOGY

**Bridgology SA**  
Le Grand-Chemin 73  
1066 Epalinges  
info@bridgology.com

**Beratungsunternehmen**  
Spezialisiert in der Datenanalyse aus  
zerstörungsfreien Messungen  
www.bridgology.com

*Version März 2021*

