



# **Hochwasserschutz Alpenrhein, Internationale Strecke**

Internationale Rheinregulierung

04. November 2021

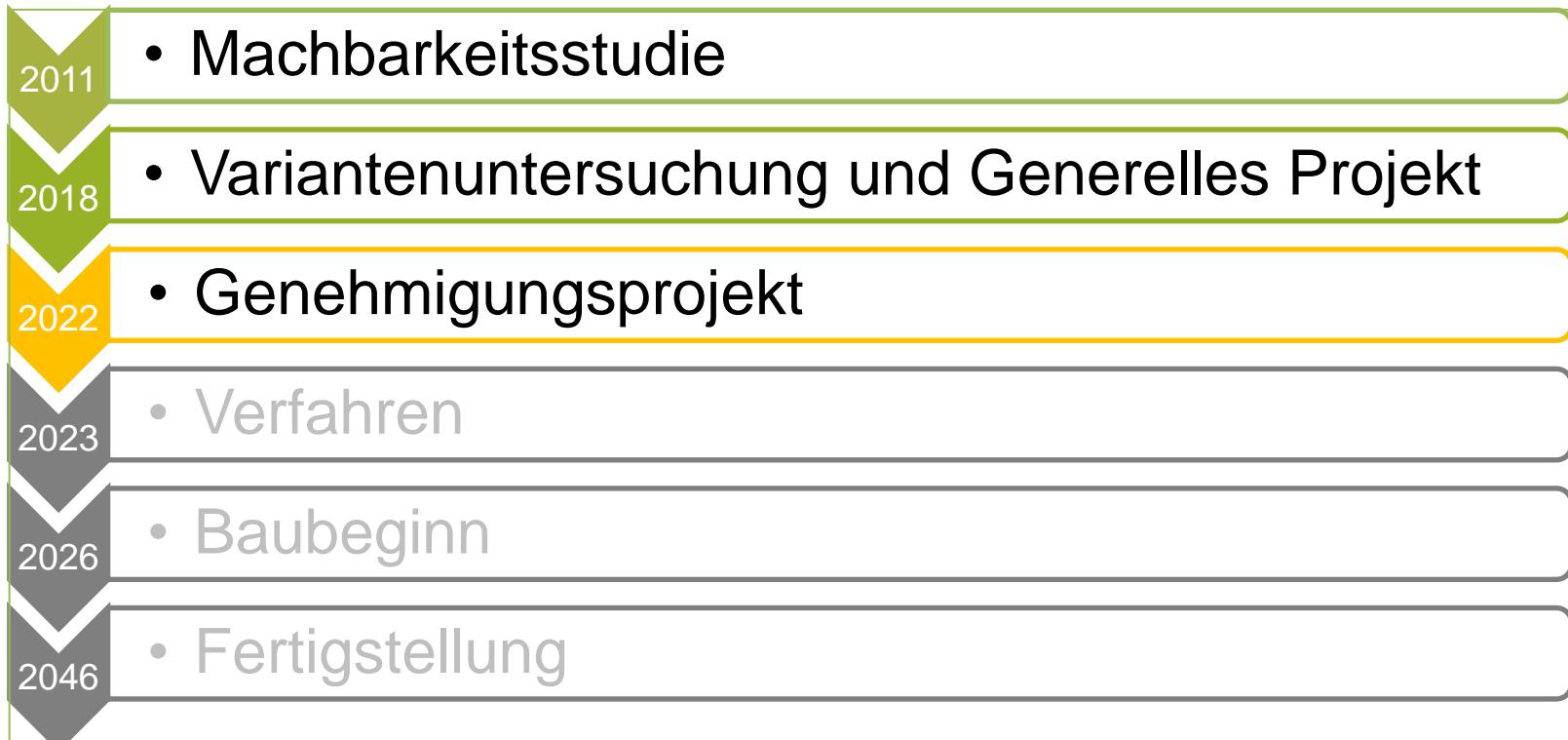
# Inhalt

1. Fahrplan
2. Geotechnik
3. Grundwasserhaltung
4. Dekolmationsversuch
5. Modellversuche



# 1. Fahrplan

# Fahrplan





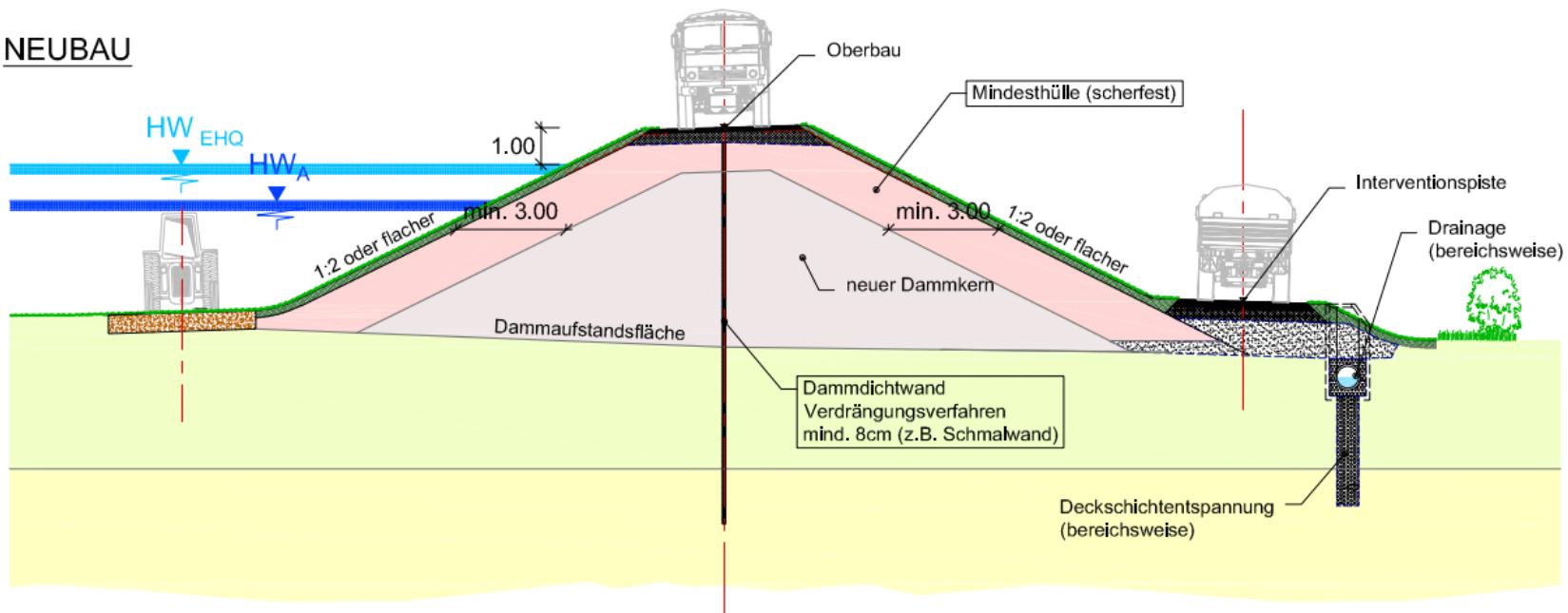
## 2. Geotechnik

# Dämme – Bautyp Neubau

## Neubau - Schema

- Abtrag bis Aufstandsfläche
- Zonierter Aufbau (Mindesthülle und Kern)
- Dichtwand mit «dünnem» Element
- auf rd. 14 km Länge (23% der Gesamtstrecke)

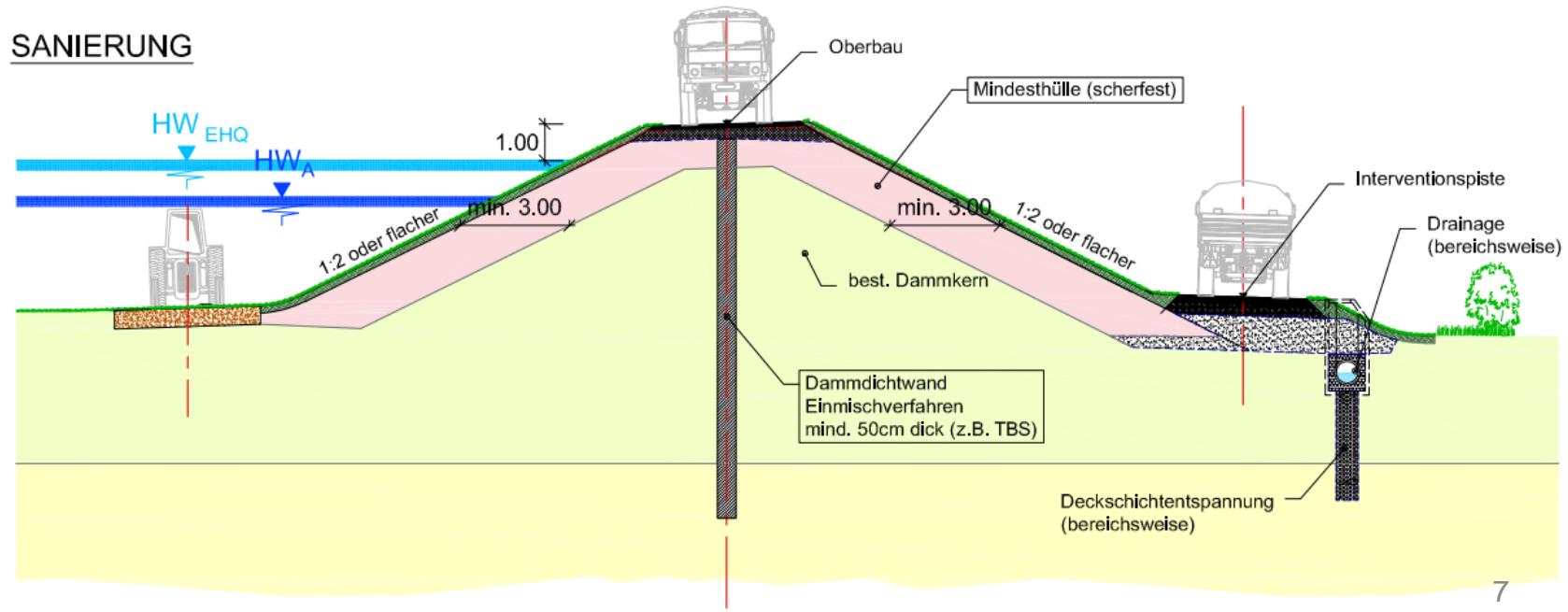
### NEUBAU



# Dämme – Bautyp Sanierung

## Sanierung - Schema

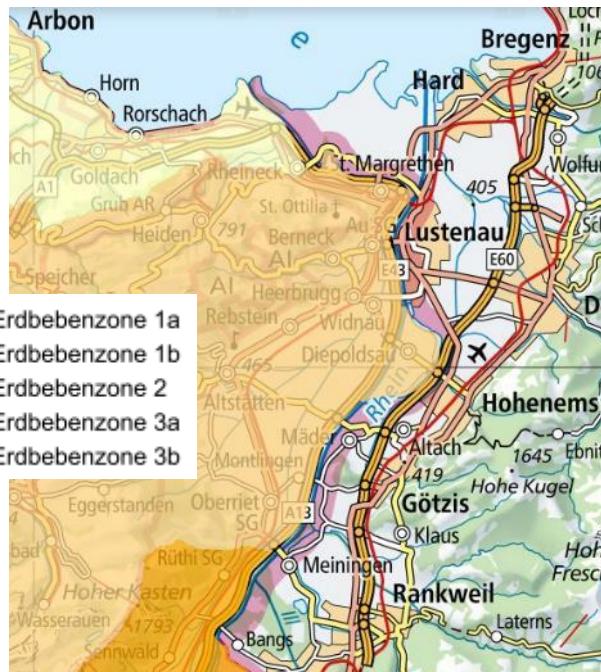
- Abtrag selektiv mit Belassung des Dammkernes
- Herstellung Querschnitt mit Mindesthülle
- Dichtwand mit «stärkerem» Element
- auf rd. 35 km Länge (67% der Gesamtstrecke)



# Erdbebensicherheit

## Grundlagen Schweiz

- Erdbebenzonen SIA

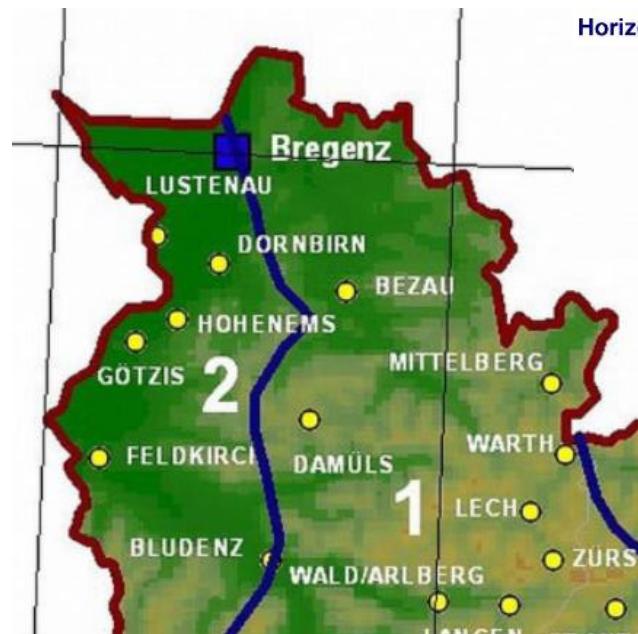


Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung  $a_{gd}$

Z1a	$a_{gd} = 0,6 \text{ m/s}^2$
Z1b	$a_{gd} = 0,8 \text{ m/s}^2$
Z2	$a_{gd} = 1,0 \text{ m/s}^2$
Z3a	$a_{gd} = 1,3 \text{ m/s}^2$
Z3b	$a_{gd} = 1,6 \text{ m/s}^2$

## Grundlagen Österreich

- Erdbebenzonen ÖNORM



Horizontale Referenzbodenbeschleunigung	
Zone	$a_{gr} (\text{m/s}^2)$
0	0,00 - 0,35
1	0,35 - 0,50
2	0,50 - 0,75
3	0,75 - 1,00
4	> 1,00

Vorarlberg					
Bezau	1	0,46	Längen	1	0,40
Bludenz	1	0,50	Lech	1	0,43
Bregenz	1	0,48	Lustenau	2	0,54
Dornbirn	2	0,53	Mittelberg	1	0,46
Egg	1	0,50	Partenen	1	0,41
Feldkirch	2	0,69	Schrungs	1	0,42
Gargellen	1	0,46	Warth	1	0,48
Götzis	2	0,57	Zürs	1	0,43
Hohenems	2	0,56	-	-	-

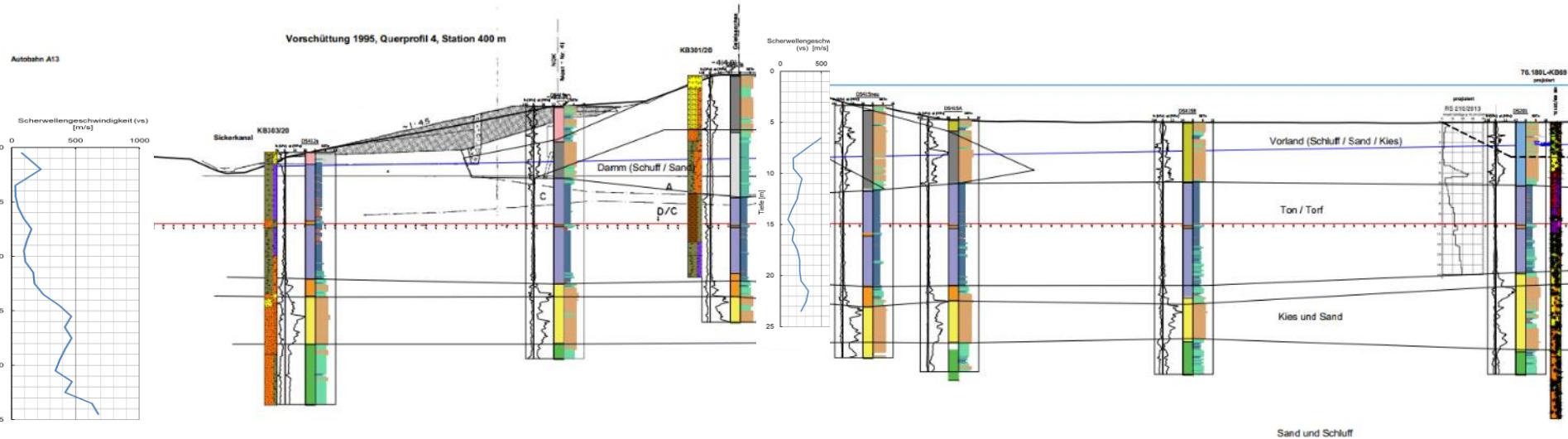
Abschnitt 1

Abschnitte 3 und 4

# Diepoldsauer Durchstich

Diepoldsauer Durchstich: Torfstrecke rkm 75 – rkm 77

Rkm 76.6 links, MQ8



# Untergrund Torfstrecke km 75-77

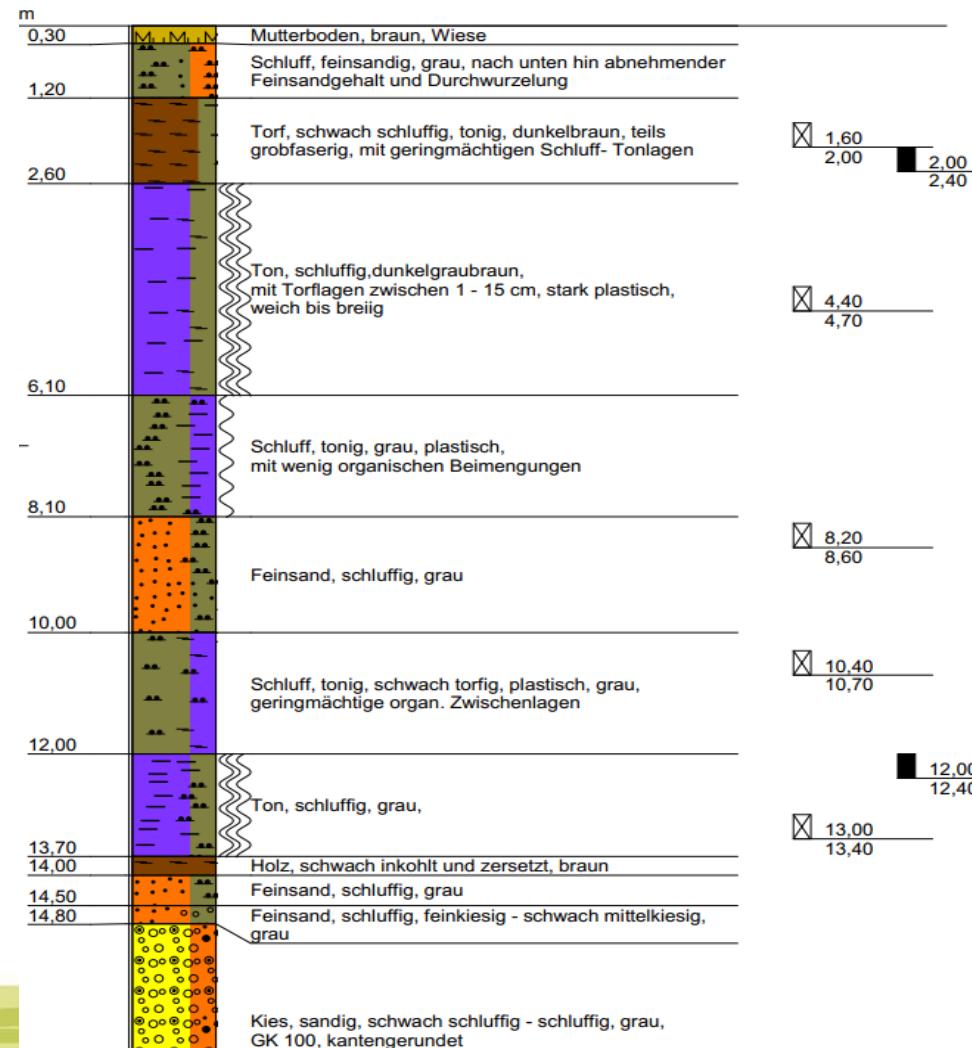
## Kernfotos Erkundung 2020



## Bohrungen im Hinterland MQ1

KB300/20

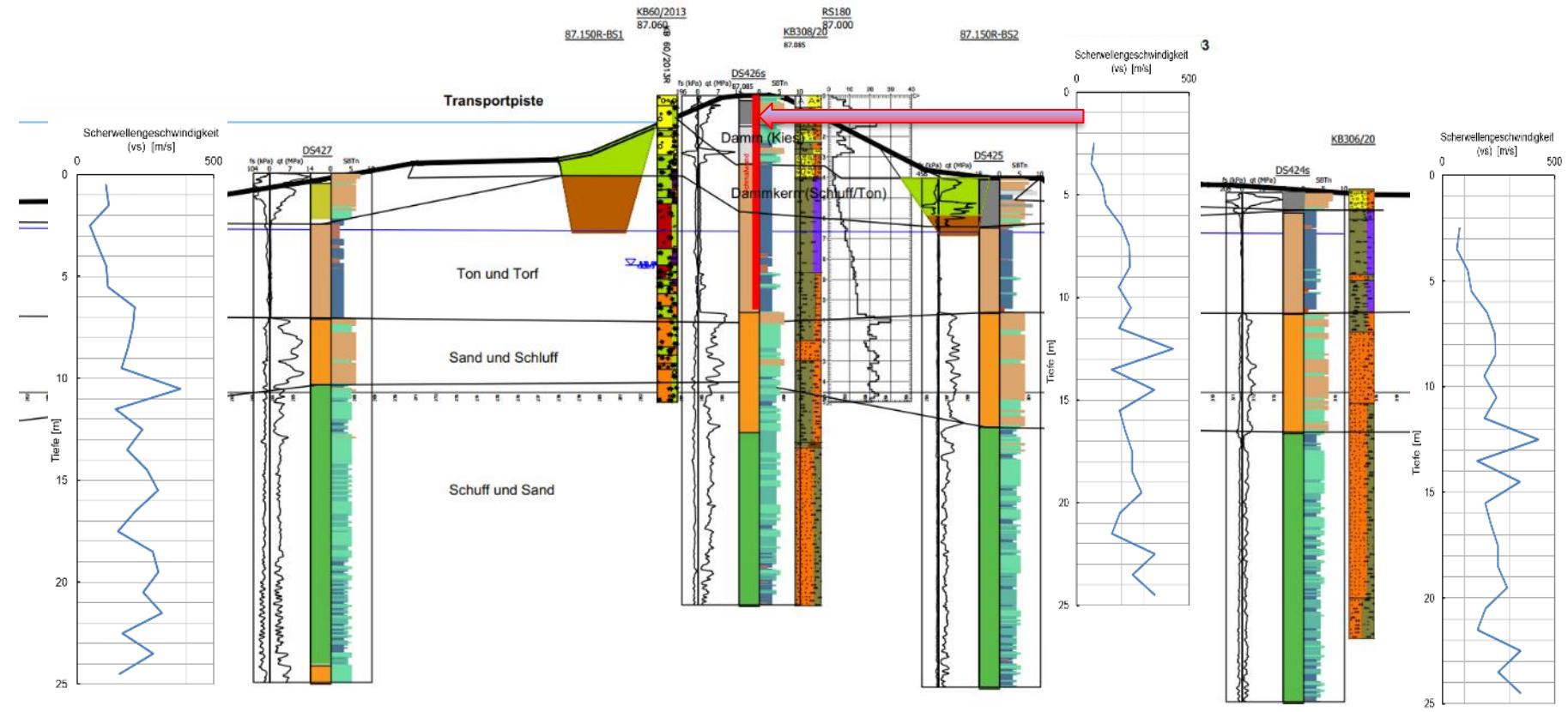
2765653.6, 1248884.4



# Fussacher Durchstich

Fussacher Durchstich: Torfstrecke rkm 86 – rkm 89.5

Rheinkilometer 87.0 rechts, MQ4



# Untergrund Fussacher Durchstich

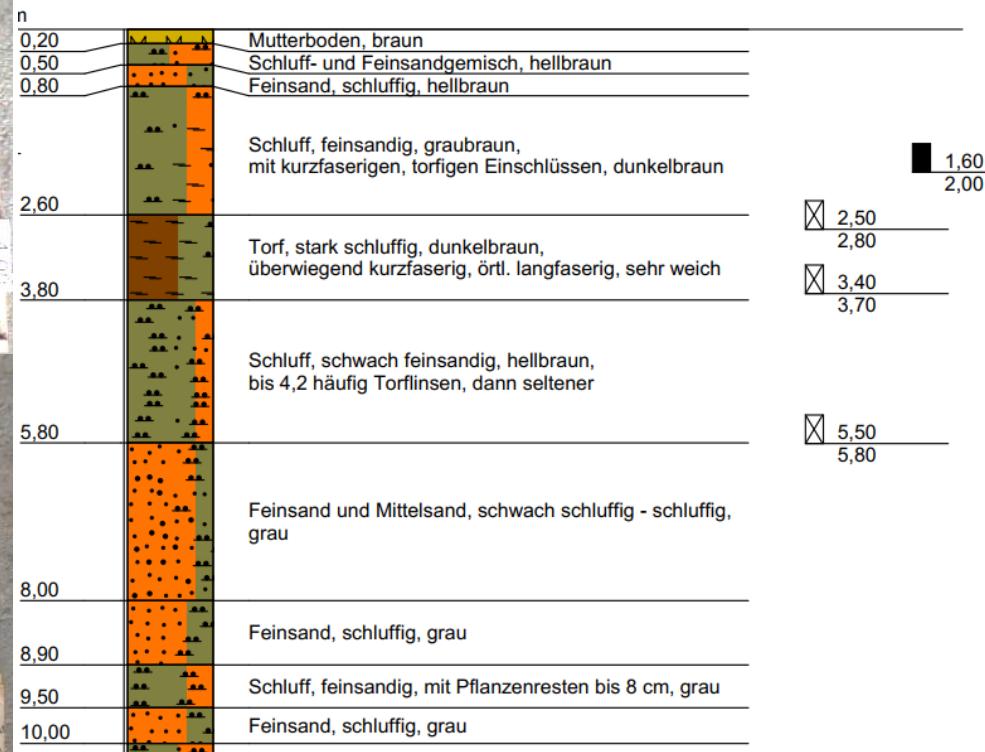
## Kernfotos Erkundung 2020



- KB 304, MQ4, km 87.03 rechts, Vorland

KB304/20

768208.4, 1259539.4



# Erdbeben

## Bodenverflüssigung

- Betrifft die Deckschichten («Rheinletten») im Aufstandsbereich der Dämme sowie die nicht bzw. unzureichend verdichteten schluffig-feinsandigen Dammkerne
- Betrifft auch den bindigen und sandigen Untergrund im Fussacher Durchstich
- Verschiedene Ansätze der Beurteilung (Korngrößenverteilung, Plastizität, empirische Ableitungen aus Drucksondierungen, kritische Bodenbeschleunigung, ...)

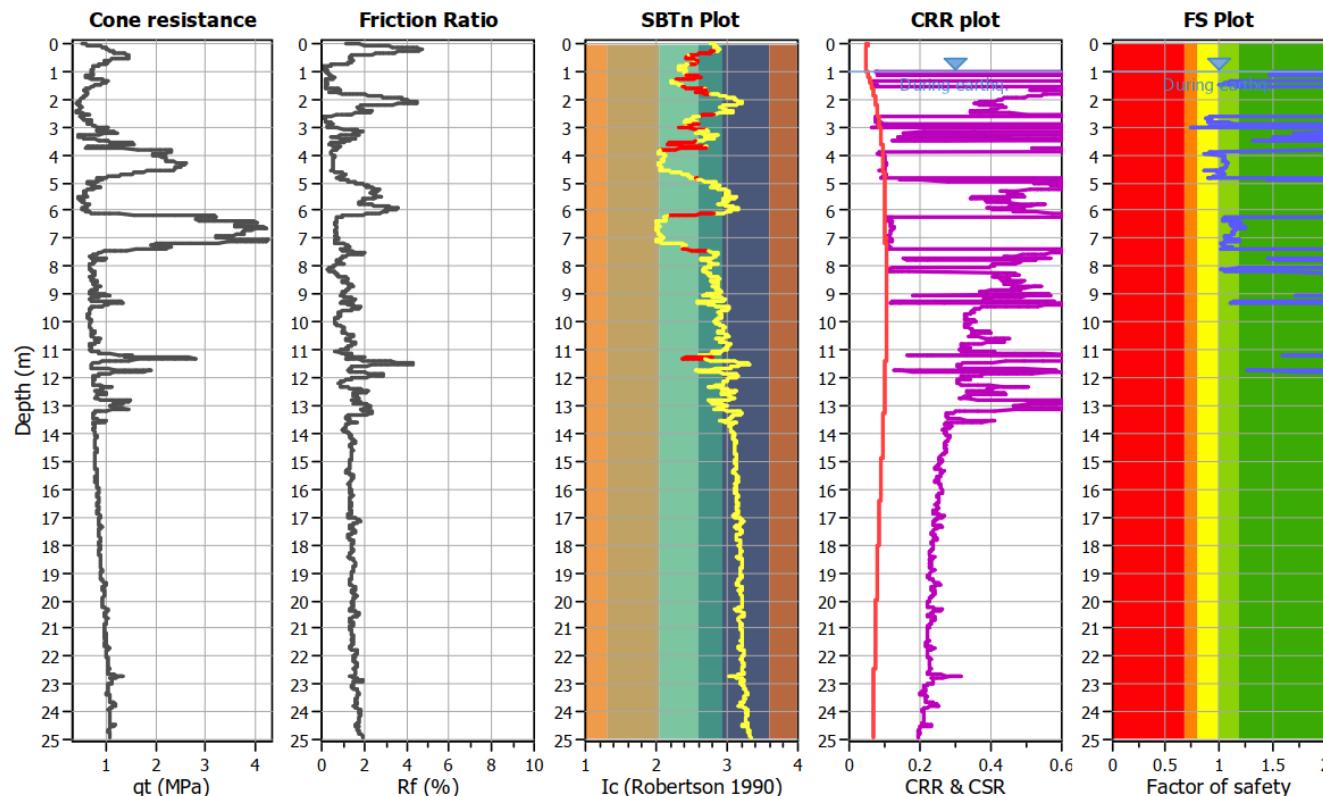
# Bodenverflüssigung

## Beurteilung aufgrund der Drucksondierungen

- Fussacher Durchstich km 88.30 links (MQ 11), Hinterland DS436

### Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.45 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.17	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	No		



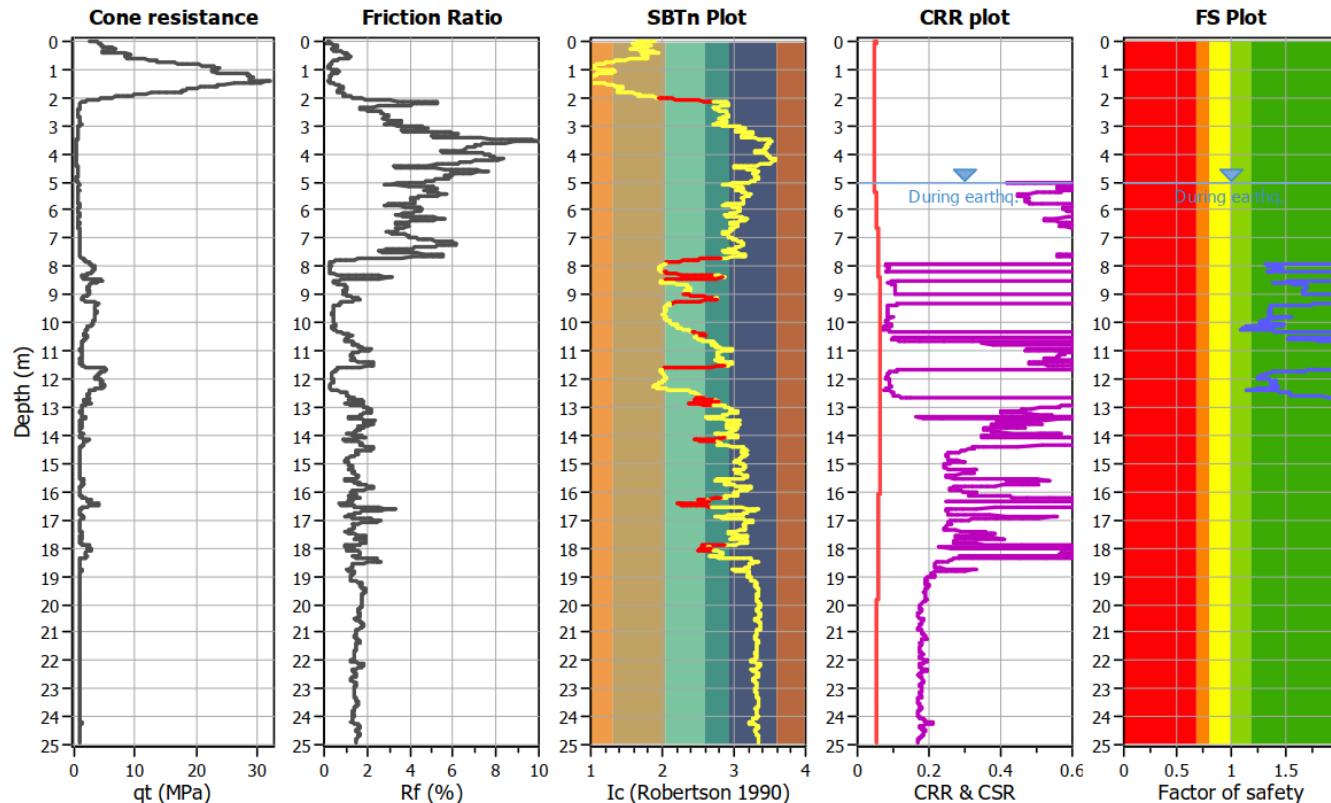
# Bodenverflüssigung

## Beurteilung aufgrund der Drucksondierungen

- Fussacher Durchstich km 88.30 links (MQ 11), Dammkrone DS438

### Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	0.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	5.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.17	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	No		



# Bodenverflüssigung

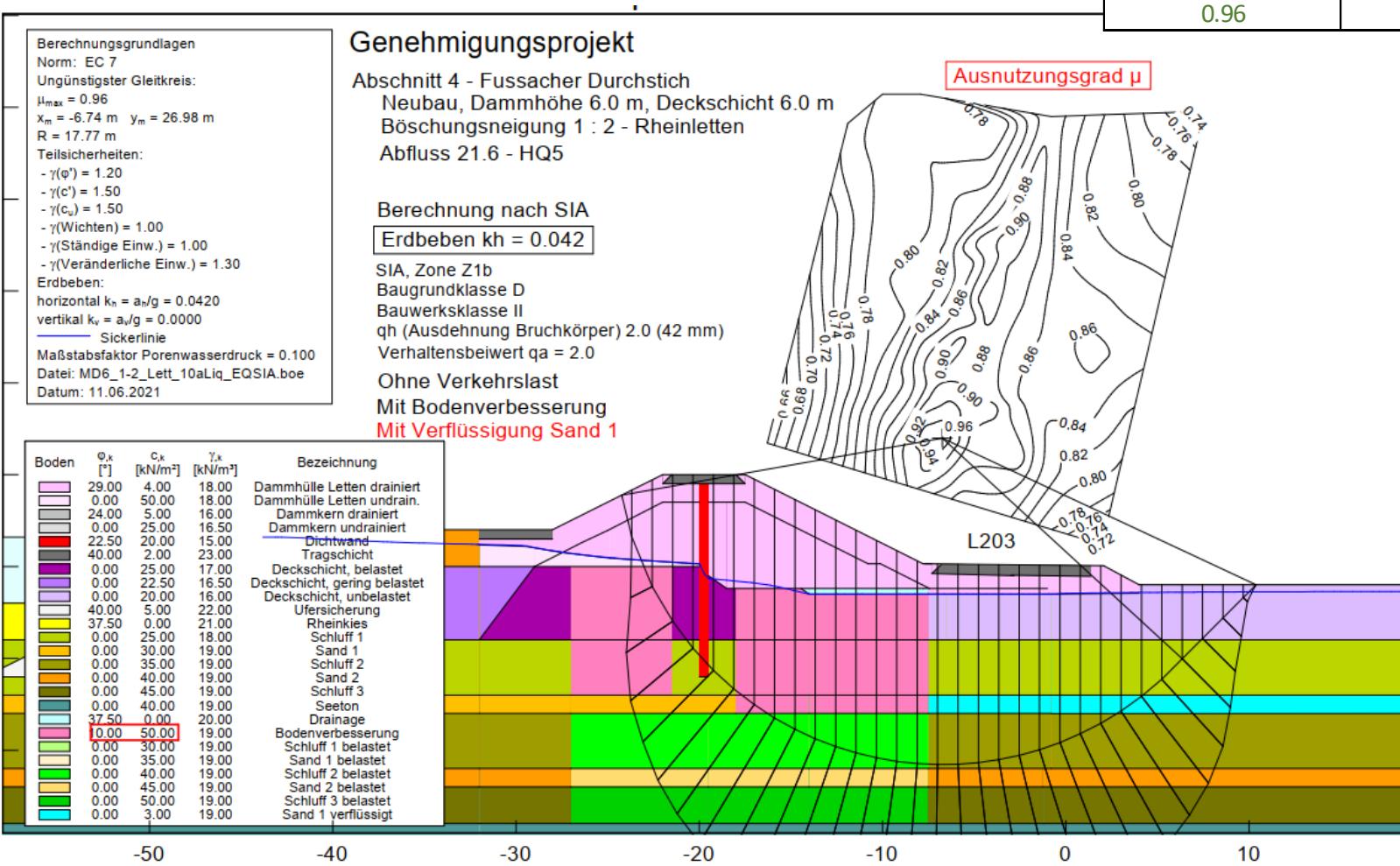
## Beurteilung aufgrund der Drucksondierungen

- Einzelne, meist gering mächtige Schichten sind verflüssigungsempfindlich
- Ausgeprägte, stark verflüssigungsempfindliche Schichten sind nicht vorhanden (meist hoher Feinkornanteil)
- Die Situation im Dammbereich (höhere Überlagerungsspannung) ist günstiger als im angrenzenden, unbelasteten Hinterland
- In der Torfstrecke (km 75 – 77) ist das Verflüssigungspotenzial geringer als im Fussacher Durchstich.

# Vergleichsrechnung Fussacher Durchstich

## Mit Bodenverbesserung und Verflüssigung Sand 1

SIA	ÖNORM
Ausnutzungsgrad	Ausnutzungsgrad
0.96	0.76

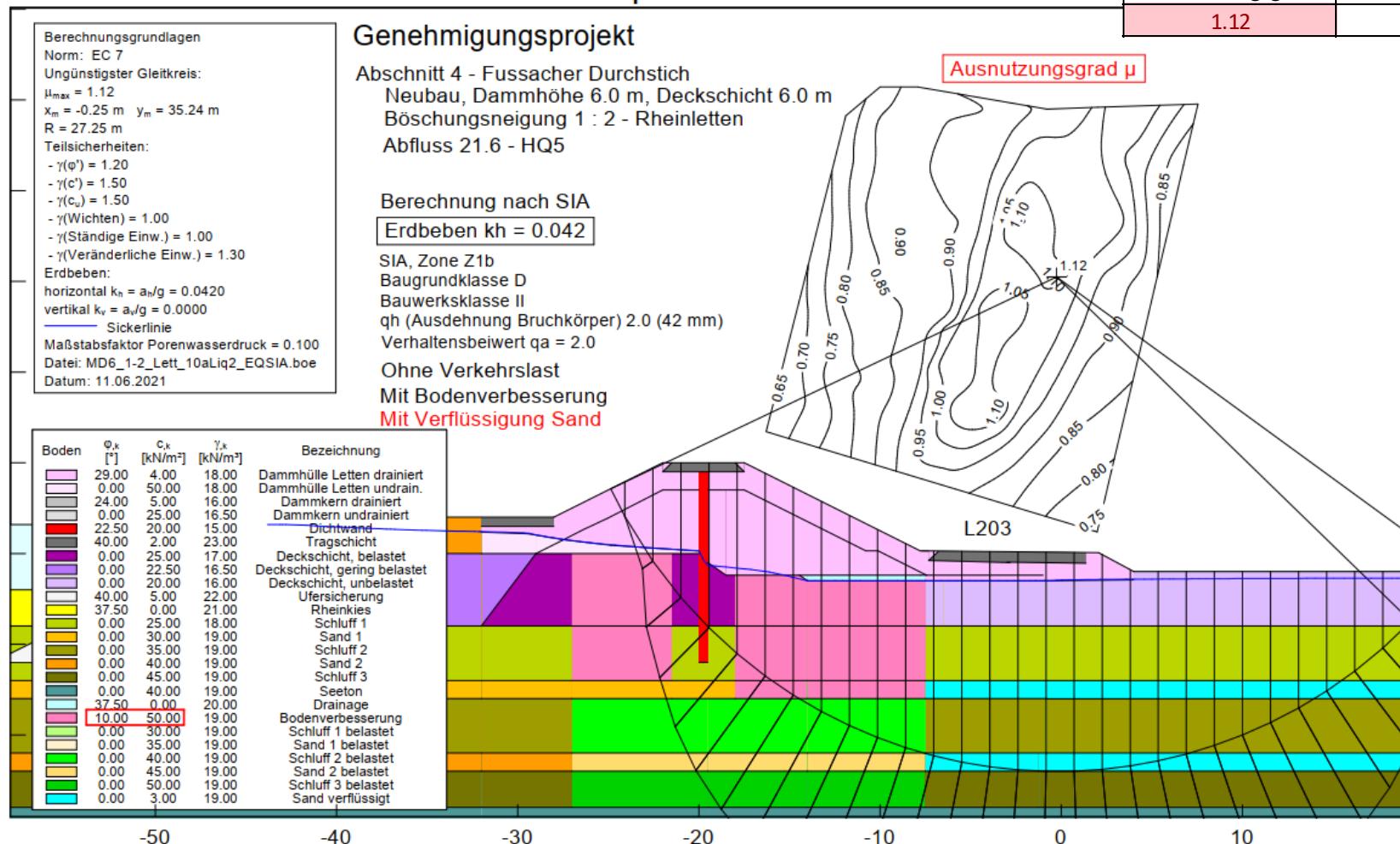


# Vergleichsrechnung Fussacher Durchstich

## Mit Bodenverbesserung und Verflüssigung Sand 1 + 2

- Reibungswinkel Bodenverbesserung 5°

SIA	ÖNORM
Ausnutzungsgrad	Ausnutzungsgrad
1.12	0.89



# Untergrundverbesserung

## Ziel

- Sandige Schichten: Erhöhung Scherfestigkeit, Reduktion Verflüssigungsgefahr
- Feinkörnige Schichten: Erhöhung der Scherfestigkeit

## Methodik

ist abhängig vom

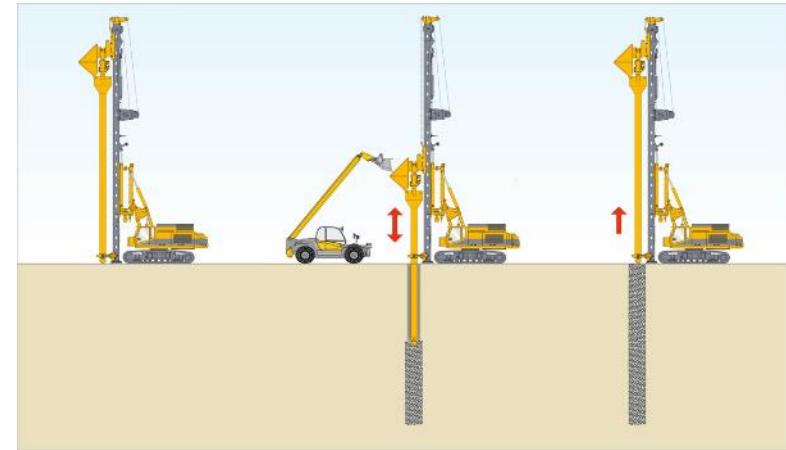
- Untergrund (Bodenarten),
- der Tiefenlage der verflüssigungsempfindlichen Schichten und
- der Lage des Grundwasserspiegels.

# Untergrundverbesserung

**Impulsverdichtung**



**Rüttelstopfverdichtung**

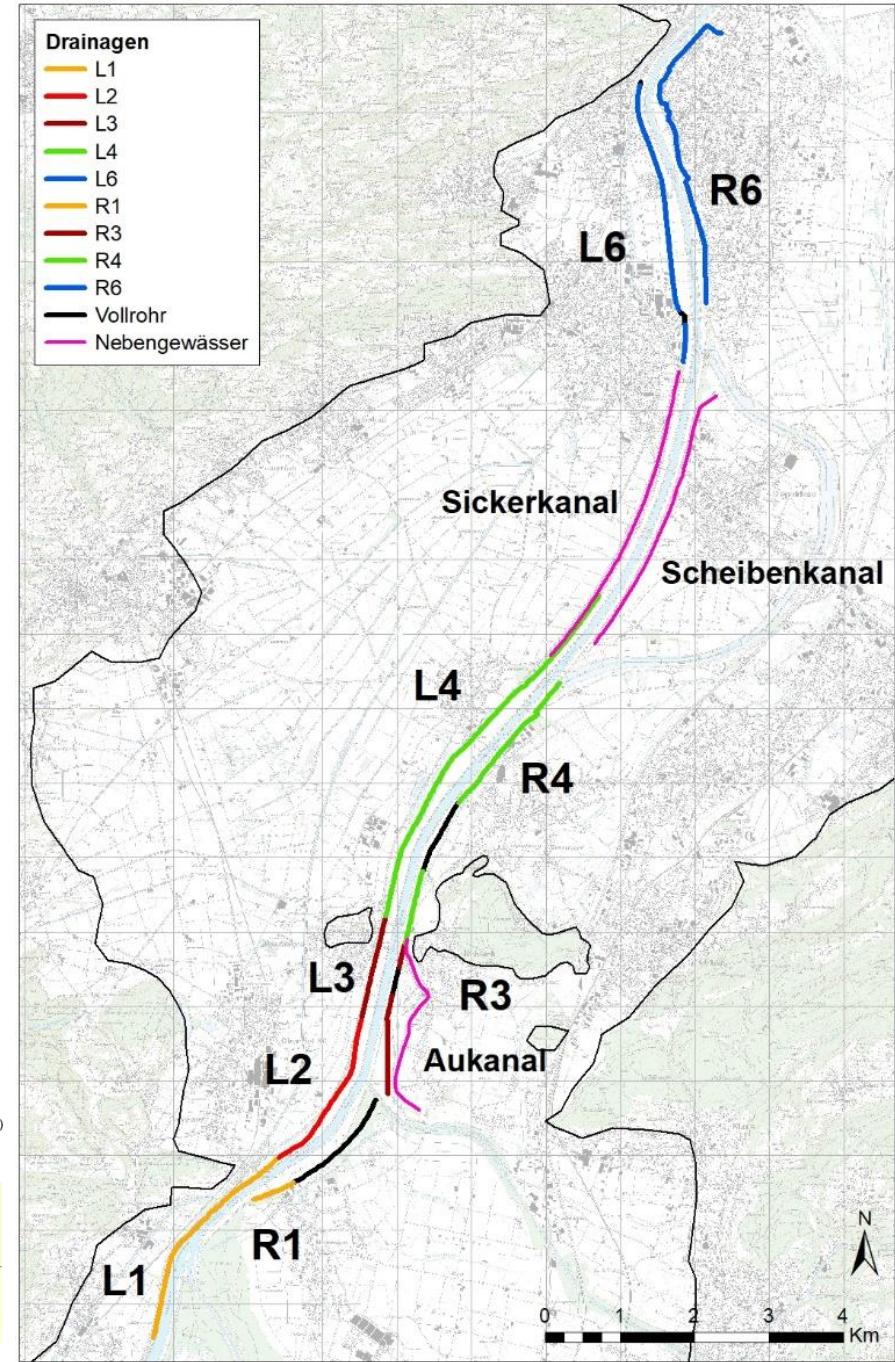
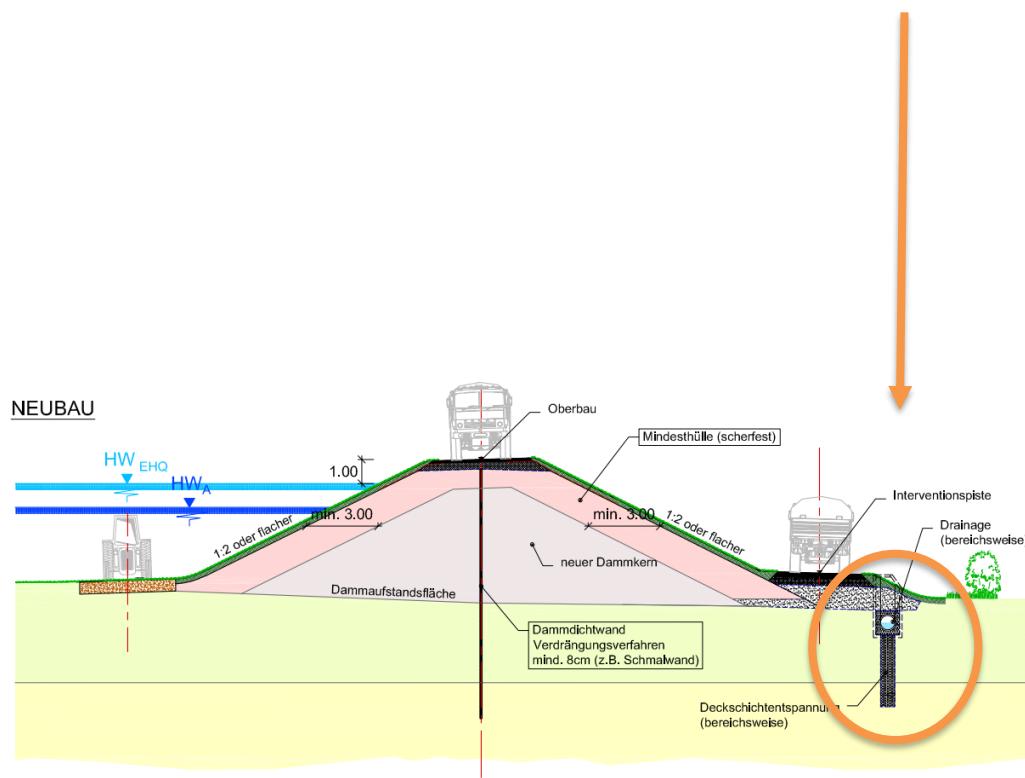




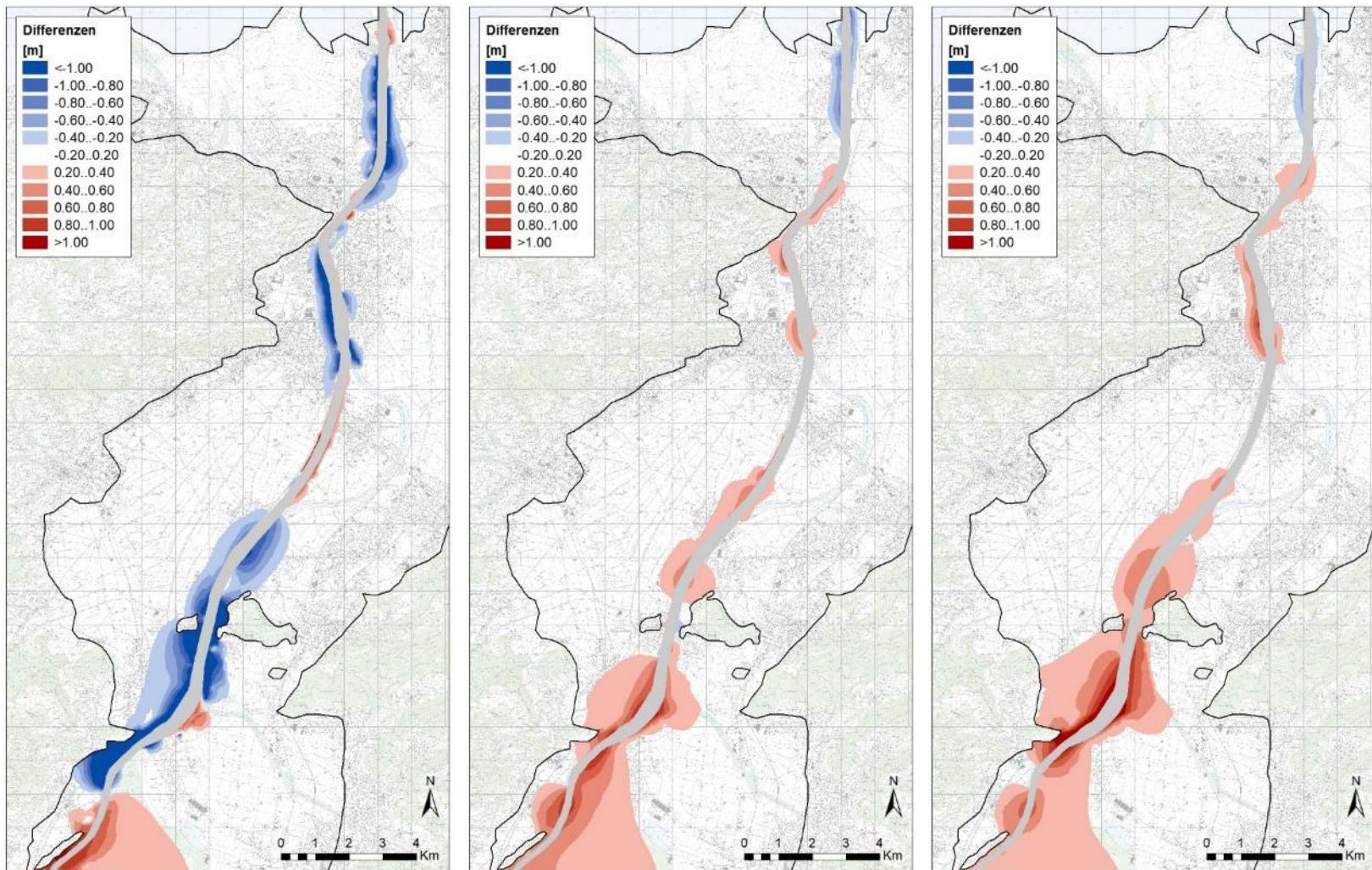
### 3. Grundwasserhaltung

# Grundwasserhaltung

## Optimierung abgeschlossen



# Auswirkungen Opt. 21 DP117 maxB



HW

MW

NW

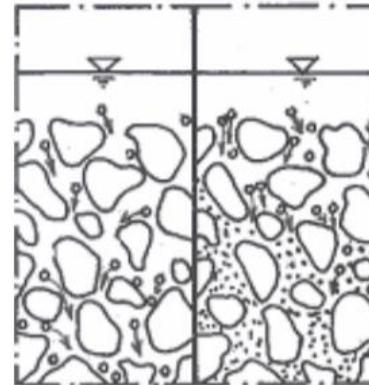


# 4. Dekolmationsversuch

# Kolmation

Innere Kolmation:

Schwebstoffe (Silt und Ton) werden durch die infiltrierende Strömung in den Grundwasser-leiter transportiert. Sie verstopfen und verfestigen die Sedimente **unter der schottrigen Deckschicht** und vermindern ihre Durchlässigkeit



Äussere Kolmation:

Ablagerung von Schwebstoffen *auf der kiesigen Gewässersohle*. Bei Fliessgeschwindigkeiten > 0.5 m/s reversibel



# Kolmation



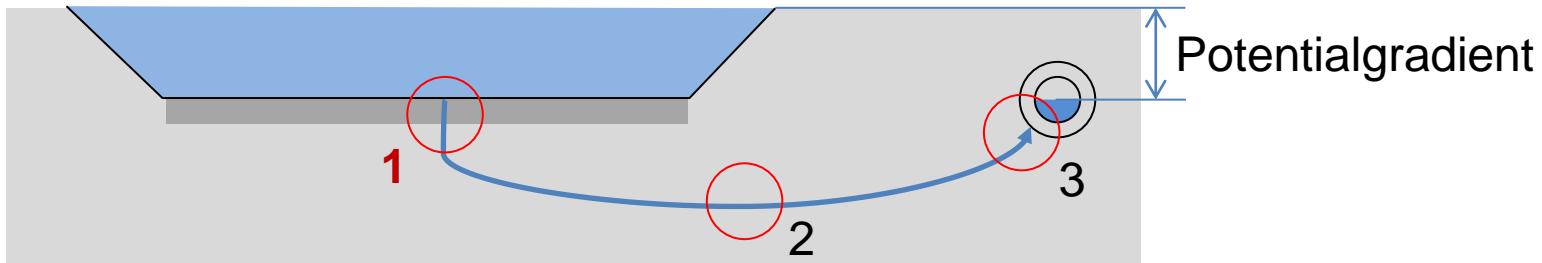
keine Kolmation

starke Kolmation

geringe – mittlere Kolmation



# Kolmation, Infiltration ins Grundwasser



1. Widerstand in der Sohle des Rheins (Kolmationsschicht)
  2. Widerstand im Grundwasserleiter
  3. Widerstand an der Drainage
- Die Widerstände von Sohle, Untergrund und Drainage wirken in Serie.
  - $$Q = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}\right)} \times I \times F \quad (\text{die kleinste Durchlässigkeit ist massgebend})$$
    - $k$ : Durchlässigkeit
    - $I$ : Potentialgradient
    - $F$ : durchflossene Fläche
  - Eine Kolmation bildet sich vor allem dann aus, wenn die Strömung dauerhaft vom Gewässer in den Grundwasserleiter gerichtet ist.

# Dekolmationsversuch

## Fragestellungen

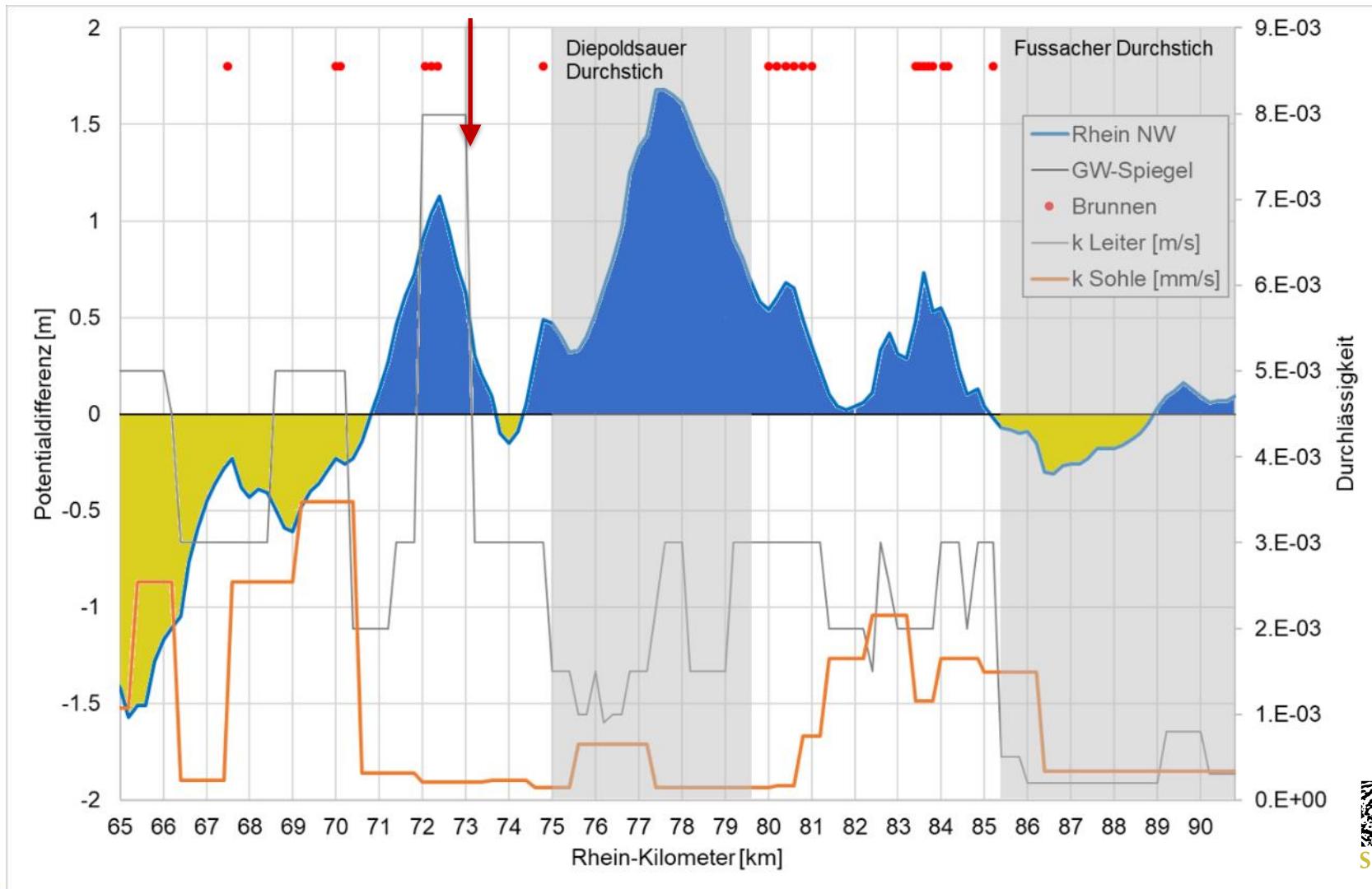
- Um welchen **Faktor erhöht** sich die **Sohlendurchlässigkeit** des Rheins bei einer Baggerung der Sohle.
- **Wie schnell** erreicht die Sohlendurchlässigkeit danach wieder den **heutigen Zustand**
  - Bezuglich der **Grundwasserstände**
  - Bezuglich der **Grundwasserqualität** (Keimzahl, Sauerstoffgehalt, el. Leitfähigkeit, Temperatur)

## Relevanz der Fragestellungen

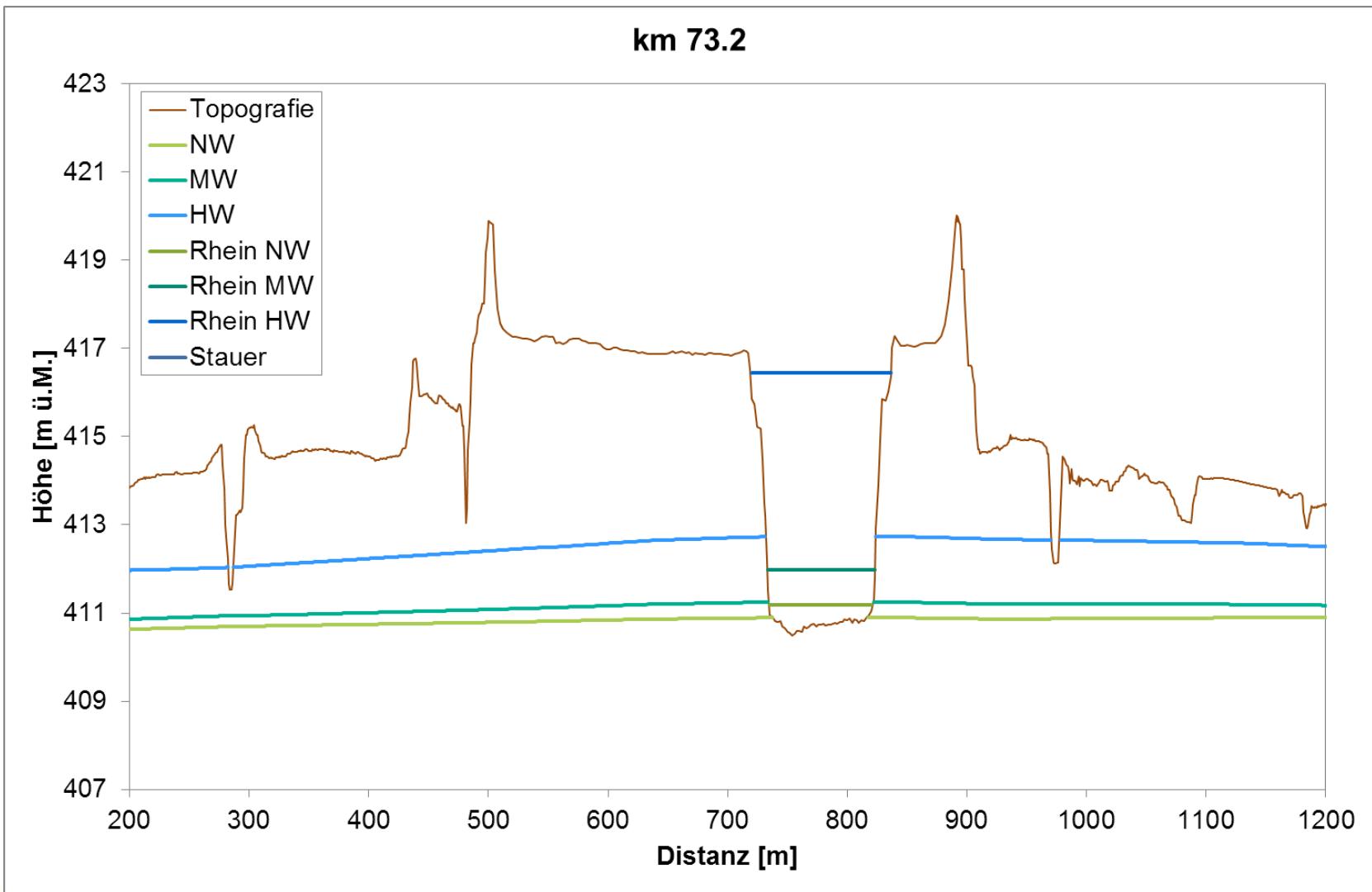
- Wie lange dauert die Rekolmation, braucht es Wartezeiten?
- Wasserandrang im Bauzustand, werden kürzere Drainageabschnitte mit temporären Pumpstationen nötig?
- Muss beim Bau ein Verfahren zur Beschleunigung der Rekolmation angewendet werden
- Wie lange müssen die Grundwasserfassungen ausser Betrieb genommen werden (relevant für Gesamtbauzeit)?

# Wahl des Versuchsstandorte

## Standort Kriessern



# Wahl des Versuchsstandorte





# Dekolmationsversuch

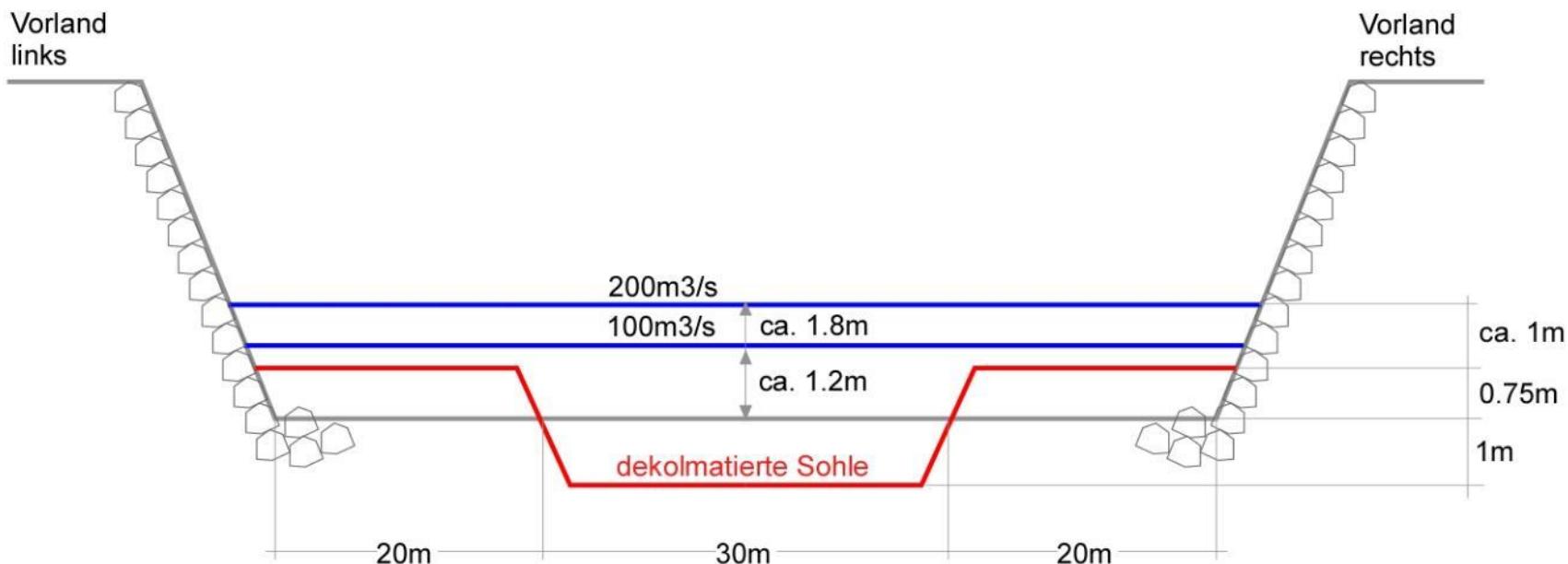


## Messdispositiv

- 1 Versuchsbrunnen (VB)
- 9 Pegelmessstellen (P)
- 2 Interventionsbrunnen (IB)

# Versuchsdurchführung

Querprofil schematisch  
5-fach überhöht



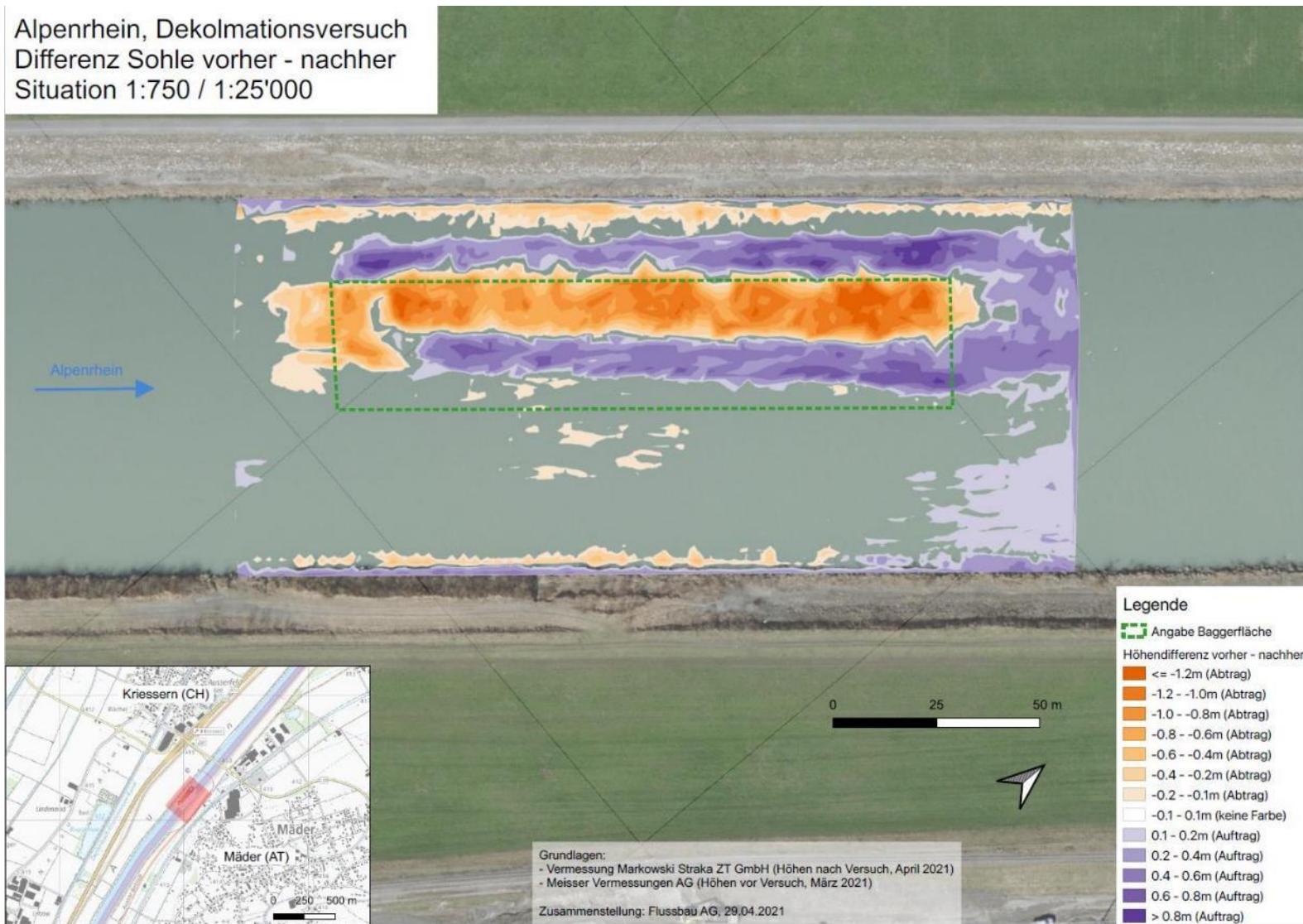
# Versuchsdurchführung



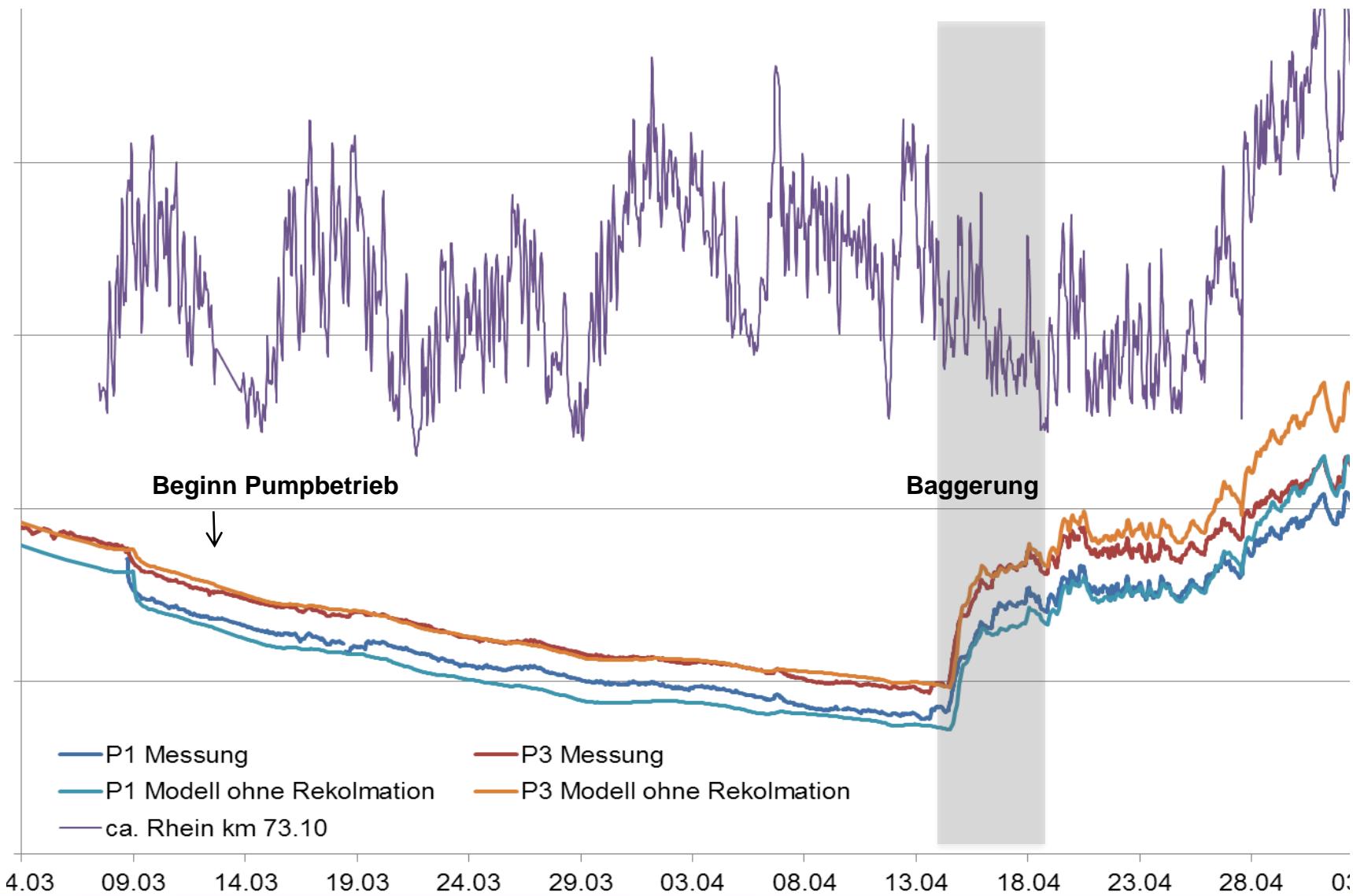
<https://bit.ly/2ZgeS5U>

# Dekolmationsfläche

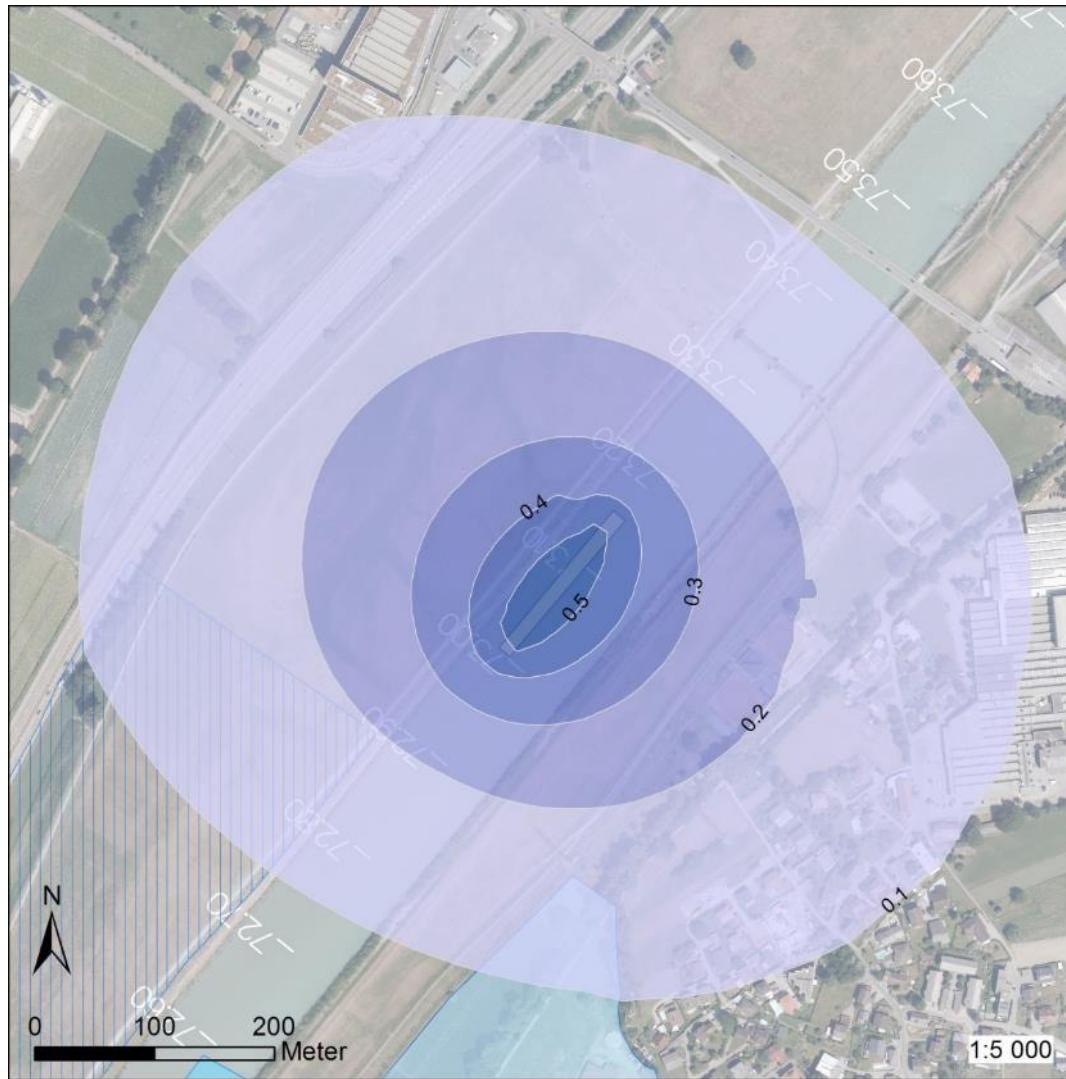
Alpenrhein, Dekolmationsversuch  
Differenz Sohle vorher - nachher  
Situation 1:750 / 1:25'000



# Grundwasserverlauf

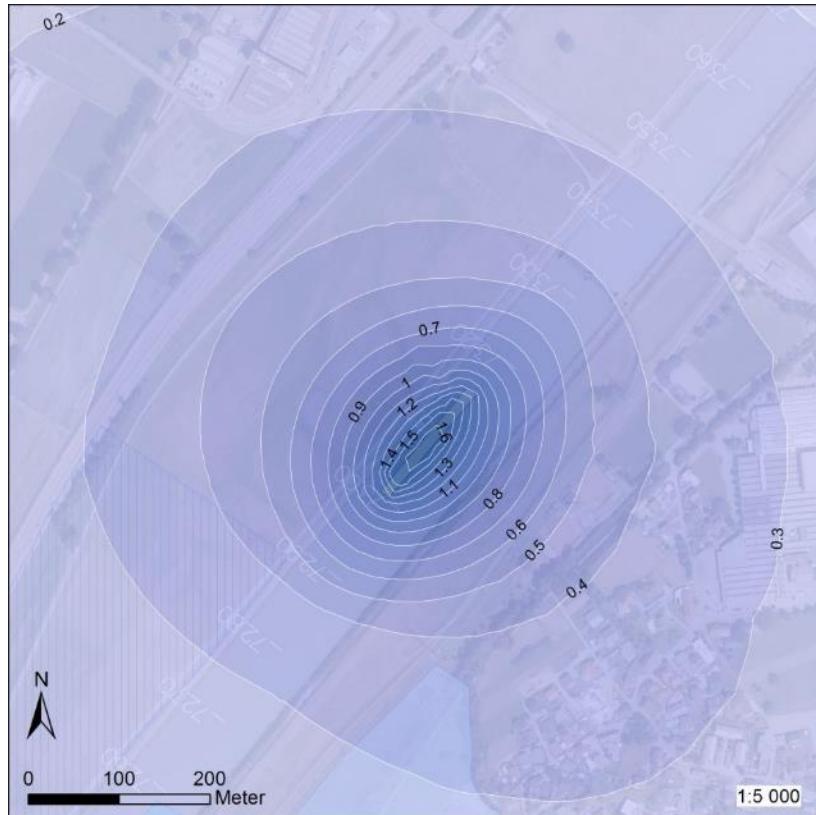


# Grundwasseranstieg zwischen 12. u. 23. April

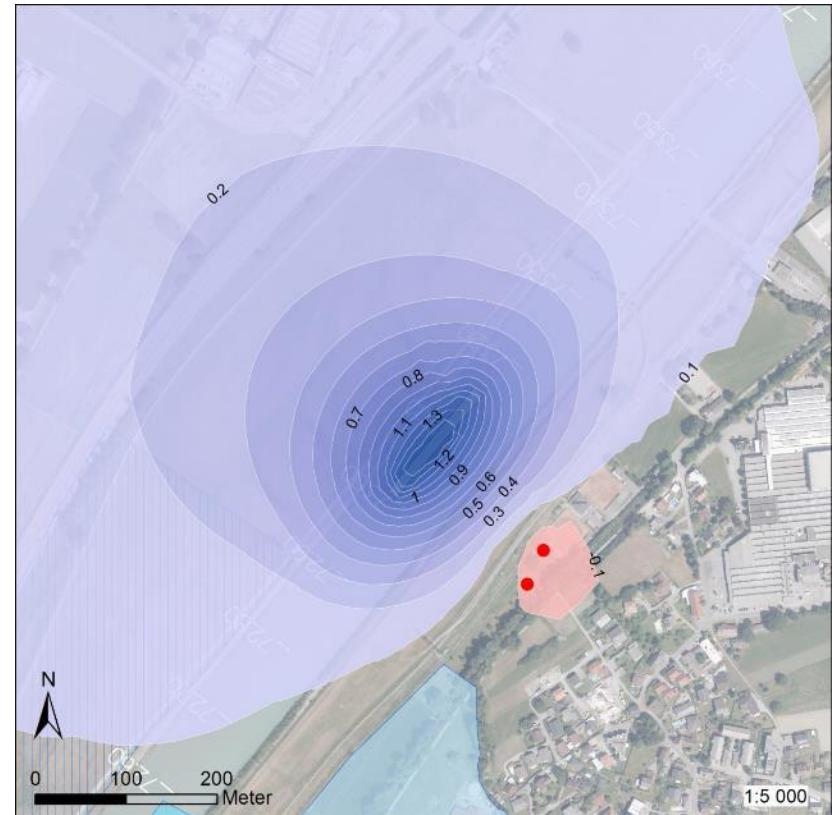


# Interventionsmassnahmen

Differenz der maximalen Grundwasserstände während des Hochwasserdurchgang Referenz HW 2016  
nicht Rekompaktiert



Zustand nach Baggerung



2 Interventionsbrunnen je 40l/s

# Versuchsauswertung

## Nächste Schritte

- Datenauslesung September 2021
- Datenaufbereitung und Interpretation Dezember 2021
- Bericht
  - Begleitung Grundwassерmodell (Simultec)
  - Begleitung Flussmorphologie (FAG)
  - Begleitung Grundwasserqualität (Uni Neuchâtel)
  - Zusammenfassender Bericht (Simultec)II Quartal 2022



# 5. Modellversuche



Zürich: Detailmodellversuch  
Dammfusssicherung  
ETH Zürich, VAW, Massstab 1:35



Dornbirn: Hybrider-Modellversuch  
Flussmorphologie  
ETH Zürich, VAW, Massstab 1:50



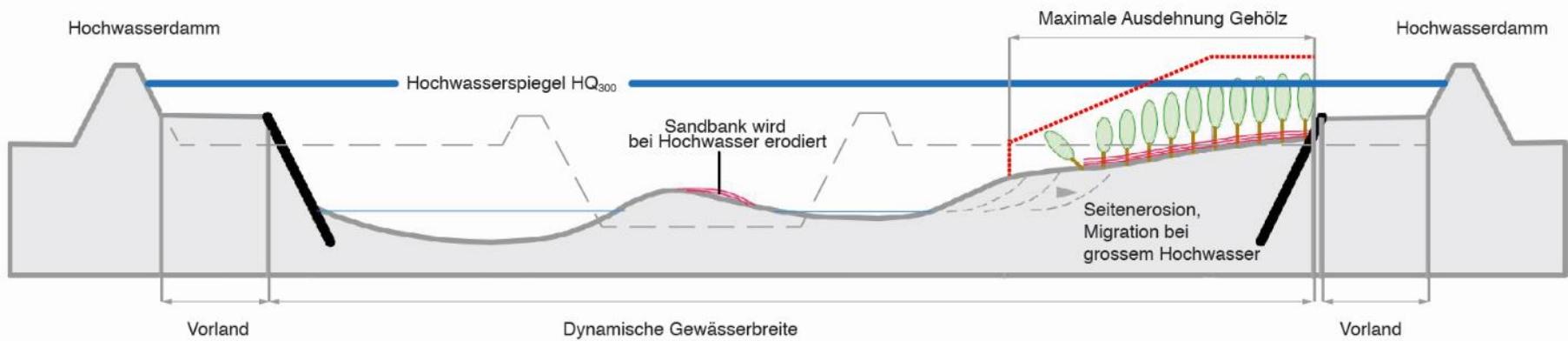
Wien: Detailmodellversuch  
Kolk bei Brückenpfeiler  
TU Wien, Massstab 1:30



# Querprofil Bestand



# Querprofil Projekt



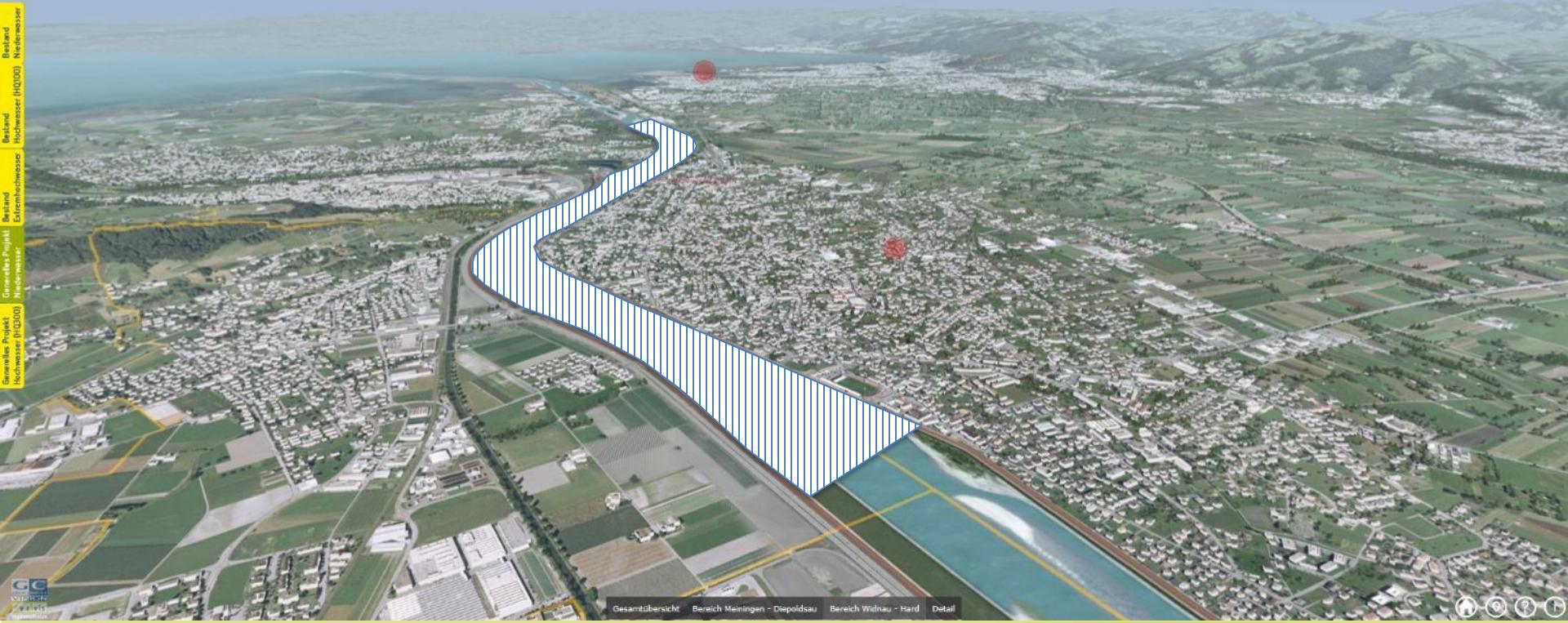
# Abschnitt Widnau – Höchst

Hochwasserschutzprojekt Rhesi | Generelles Projekt, Stand 2018

Widnau | Generelles Projekt - Niederwasser



Rhein-Km 81.0 – 86.0  
im Modell 100 m



# Modellversuche Dornbirn 1: 50

Etappe 1 (2019-2021)

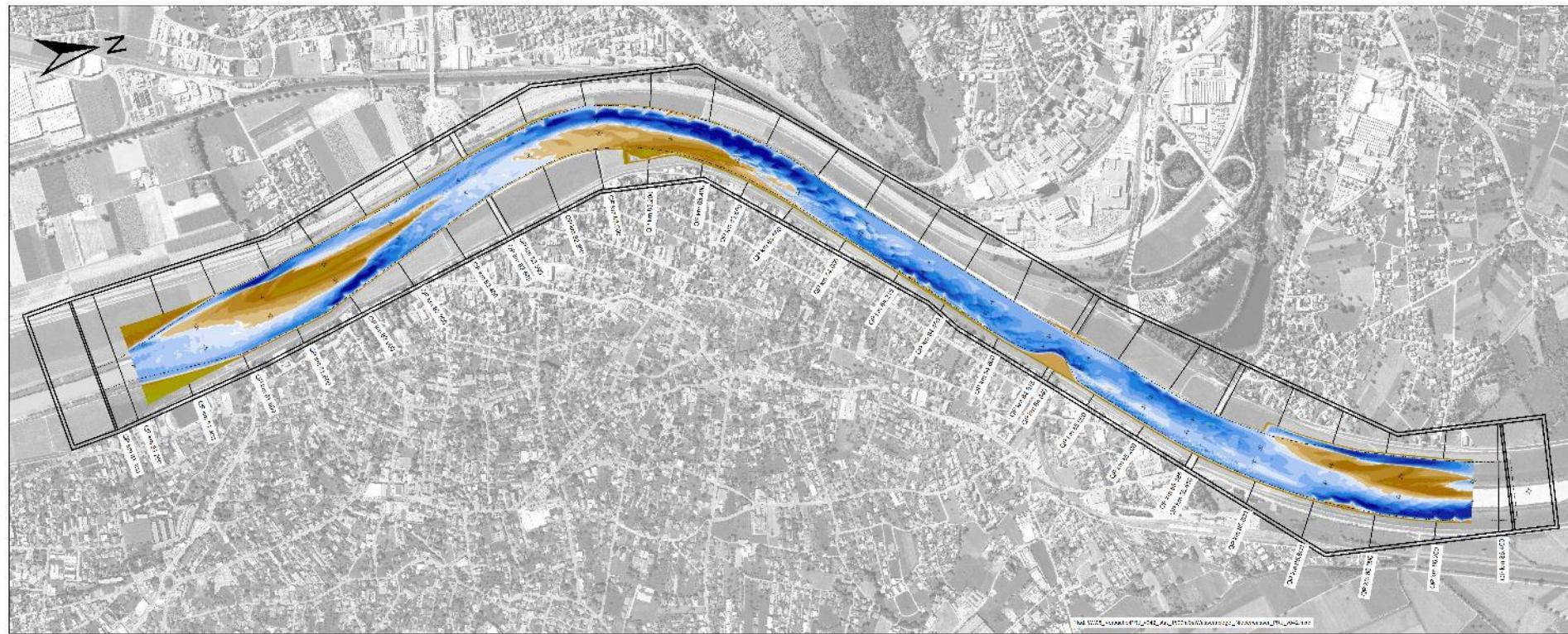
Abschnitt Widnau-Höchst

## Ziele

- Hydraulische und morphologische Kalibrierung
- Ufersicherung Rechtskurve Au/St. Margrethen
- Morphologische Entwicklung Kolk u.- Bankstrukturen
- Wirkung Strukturelemente wie Buhnen und Holzeinbauten

# Definitive Geometrie

Darstellung Mittelwasserspiegel bezogen auf Sohle PRJ\_v042



Fließtiefen Niederwasser 250m³/s PRJ\_v042

Sohlaufnahme Versuchsende PRJ\_v042  
abzüglich Wasserspiegelmessung bei 250 m³/s

0 250 500 1'000 m

Wassertiefen und Bankhöhen [m]

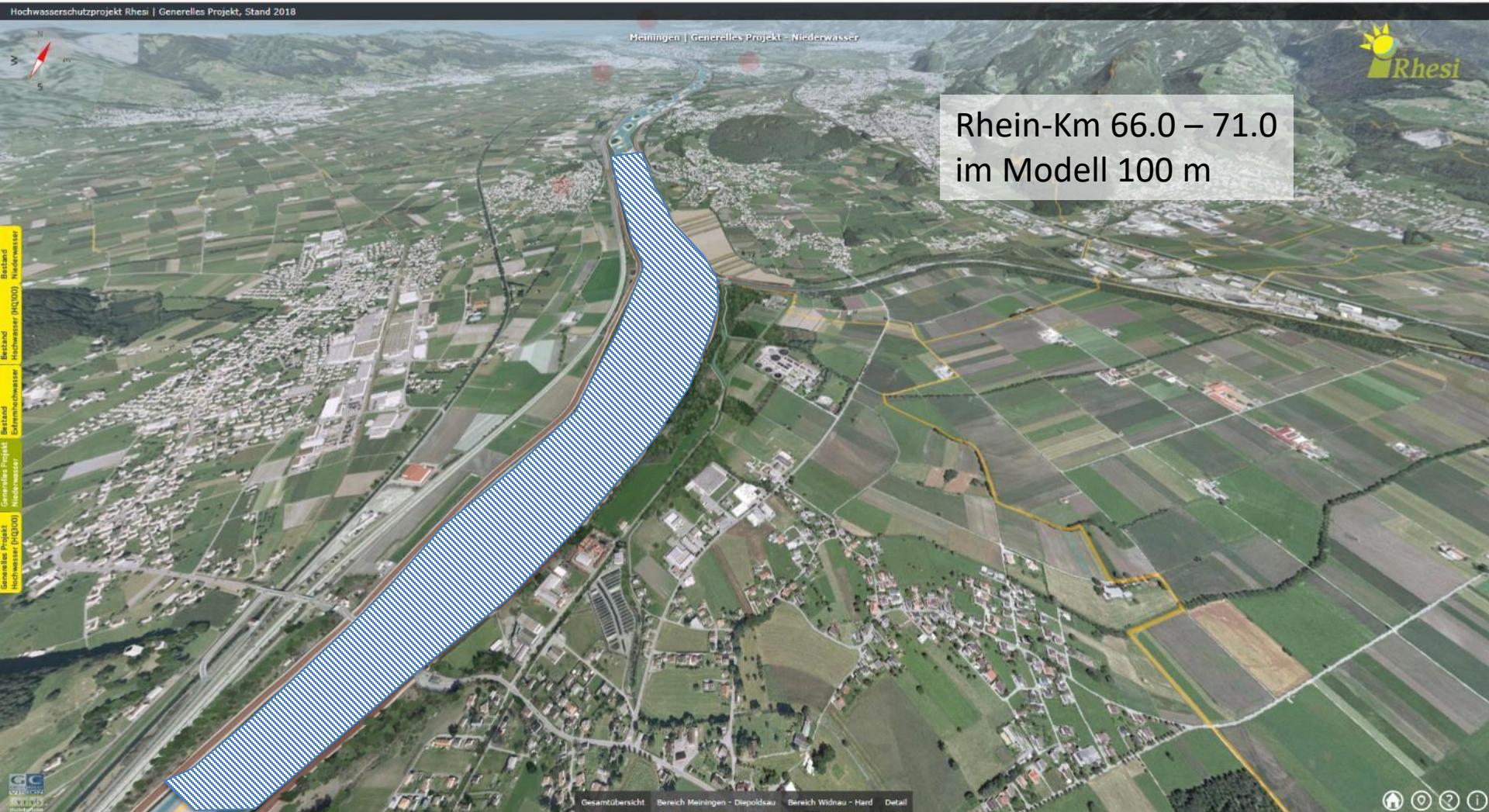


RHESI - Hydraulische Modellversuche  
Modellperimeter Widnau bis Höchst

Massstab = 1:4'500

Scandatum = 07.12.2020

# Abschnitt Oberriet – Koblach



# Modellversuche Dornbirn 1: 50

## Etappe 2 (2021-2022)

### Abschnitt Oberriet – Koblach

#### Ziele

- Eigendynamik und notwendige Initialisierungsmassnahmen beim/nach «Bau»
- Morphologie im «Betrieb»
- Dimensionierung Dammfusssicherungen und Uferstrukturmassnahmen
- Wirkung Strukturelemente wie Buhnen und Holzeinbauten

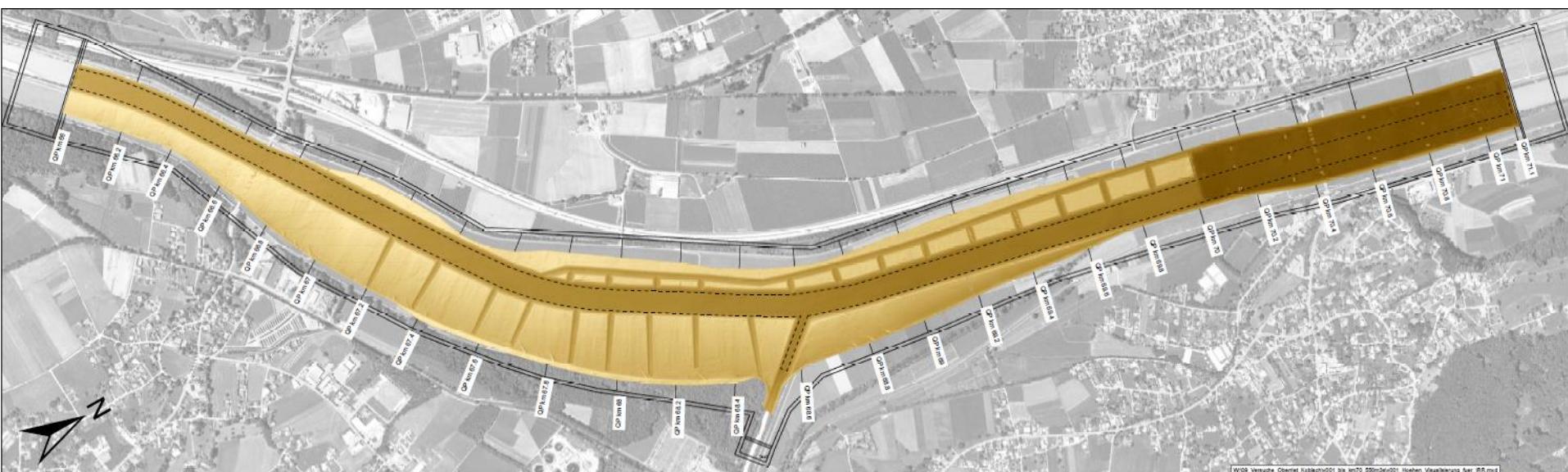


**Startgeometrie April 2021**



**Startgeometrie April 2021**

# Startgeometrie April 2021



Versuch PRJ\_v001

Sohlzustand nach Neueinbau der mittleren Sohle  
und der Vorländer gemäss Bestand

0 250 500 1'000 m

410 420 430 m ü.M.

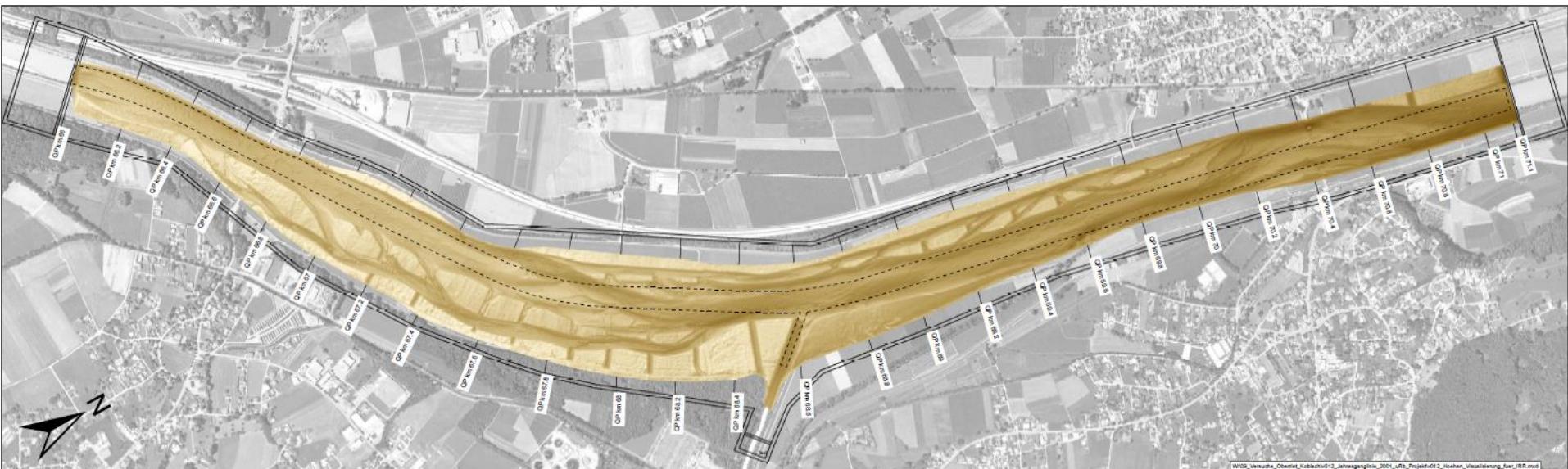
Massstab = 1:4'500

Rhesi - Hybride Modellversuche



**ETH** zürich

# Morphologische Entwicklung nach 9 Jahren



Versuch PRJ\_v012

Sohlentwicklung nach 9-facher  
Wiederholung der Jahresganglinie 2001

0 250 500 1'000 m

410 420 430 m ü.M.

Massstab = 1:4'500

Rhesi - Hybride Modellversuche



**ETH** zürich



