

Hochwasserschutz Alpenrhein, Internationale Strecke

Internationale Rheinregulierung

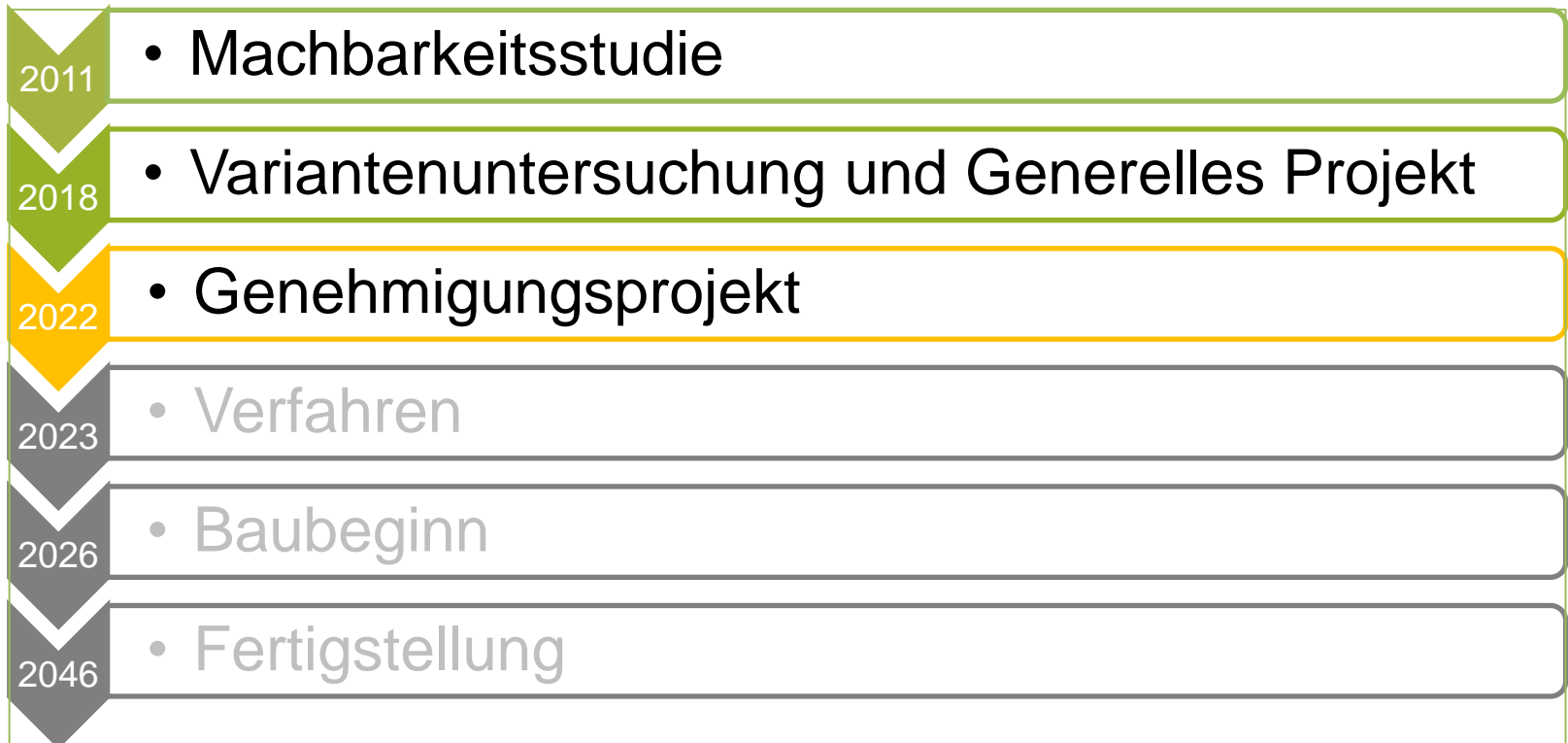
04. November 2021

Inhalt

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

1. Fahrplan

Fahrplan

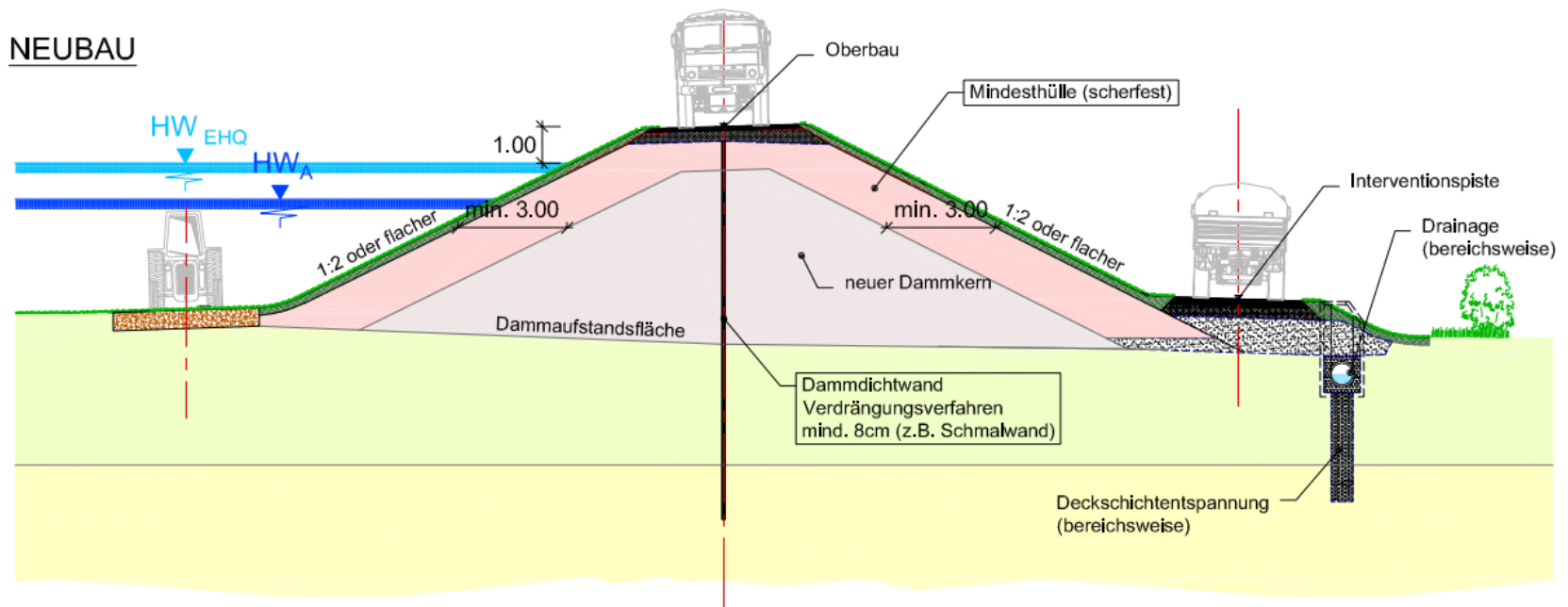


2. Geotechnik

Dämme – Bautyp Neubau

Neubau - Schema

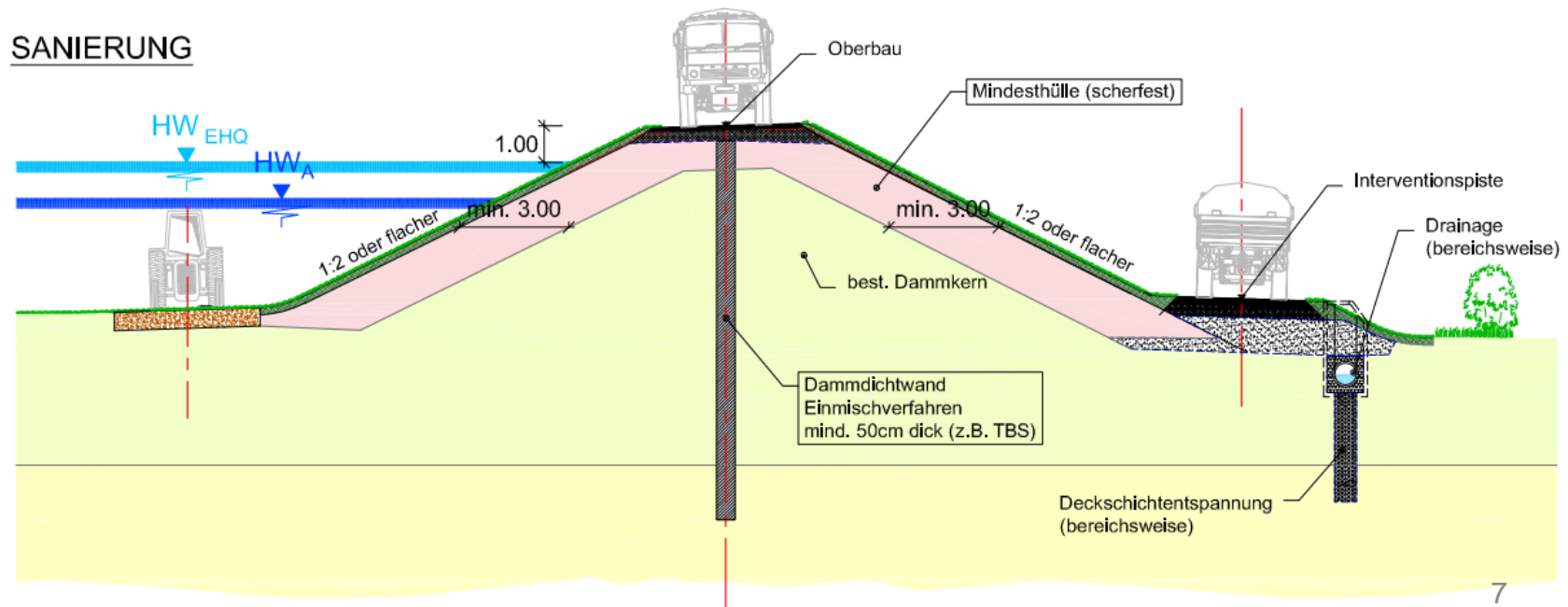
- Abtrag bis Aufstandsfläche
- Zonierter Aufbau (Mindesthülle und Kern)
- Dichtwand mit «dünnem» Element
- auf rd. 14 km Länge (23% der Gesamtstrecke)



Dämme – Bautyp Sanierung

Sanierung - Schema

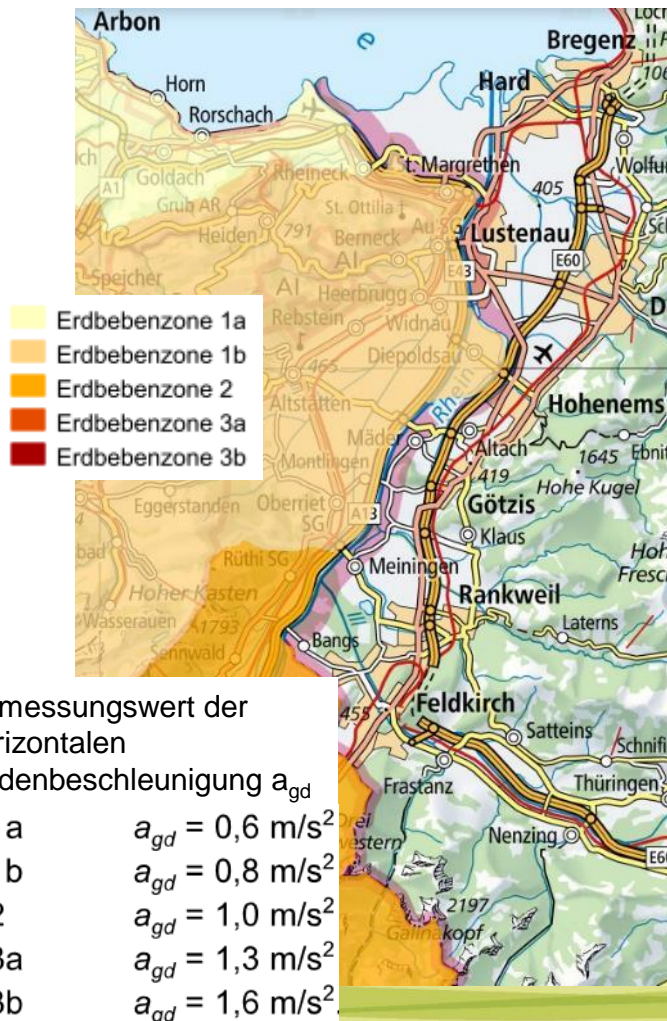
- Abtrag selektiv mit Belassung des Dammkernes
- Herstellung Querschnitt mit Mindesthülle
- Dichtwand mit «stärkerem» Element
- auf rd. 35 km Länge (67% der Gesamtstrecke)



Erdbebensicherheit

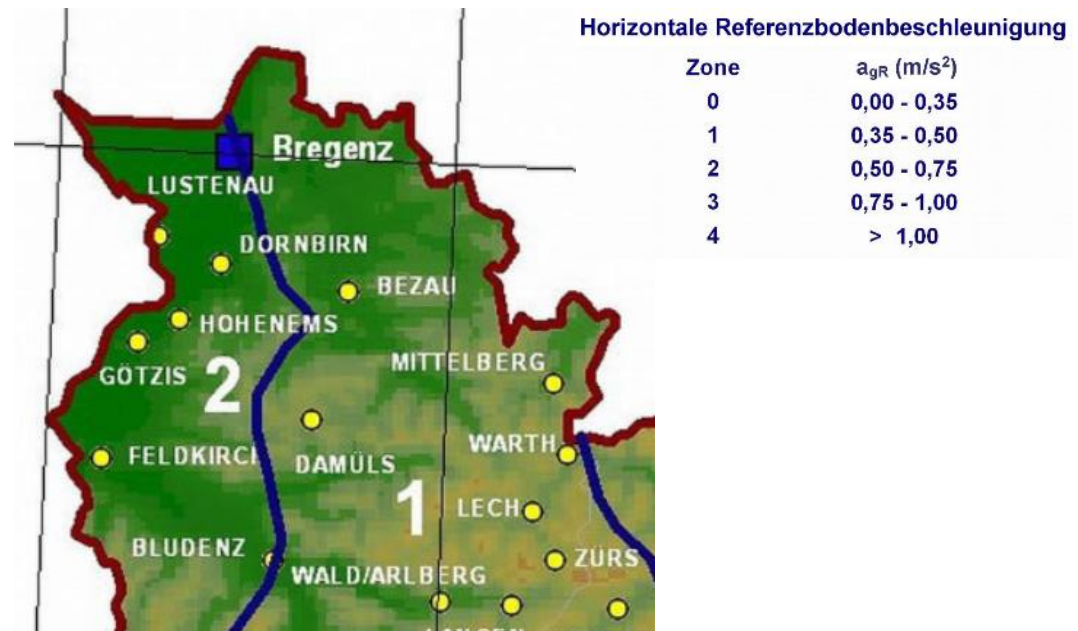
Grundlagen Schweiz

- Erdbebenzonen SIA



Grundlagen Österreich

- Erdbebenzonen ÖNORM



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

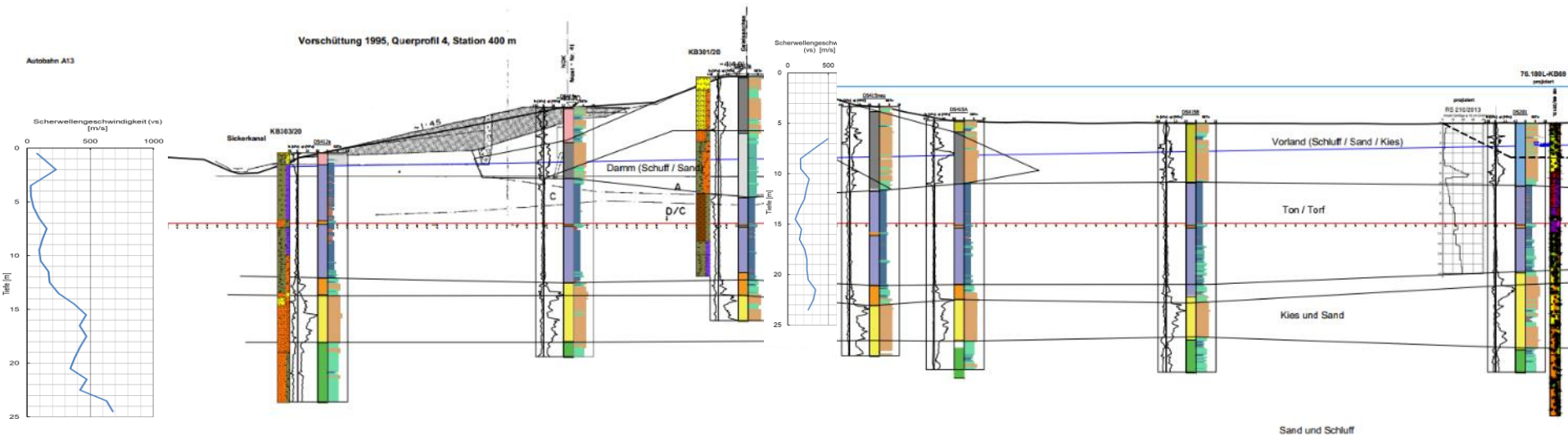
Abschnitt 1

Abschnitte 3 und 4

Diepoldsauer Durchstich

Diepoldsauer Durchstich: Torfstrecke rkm 75 – rkm 77

Rkm 76.6 links, MQ8



Untergrund Torfstrecke km 75-77

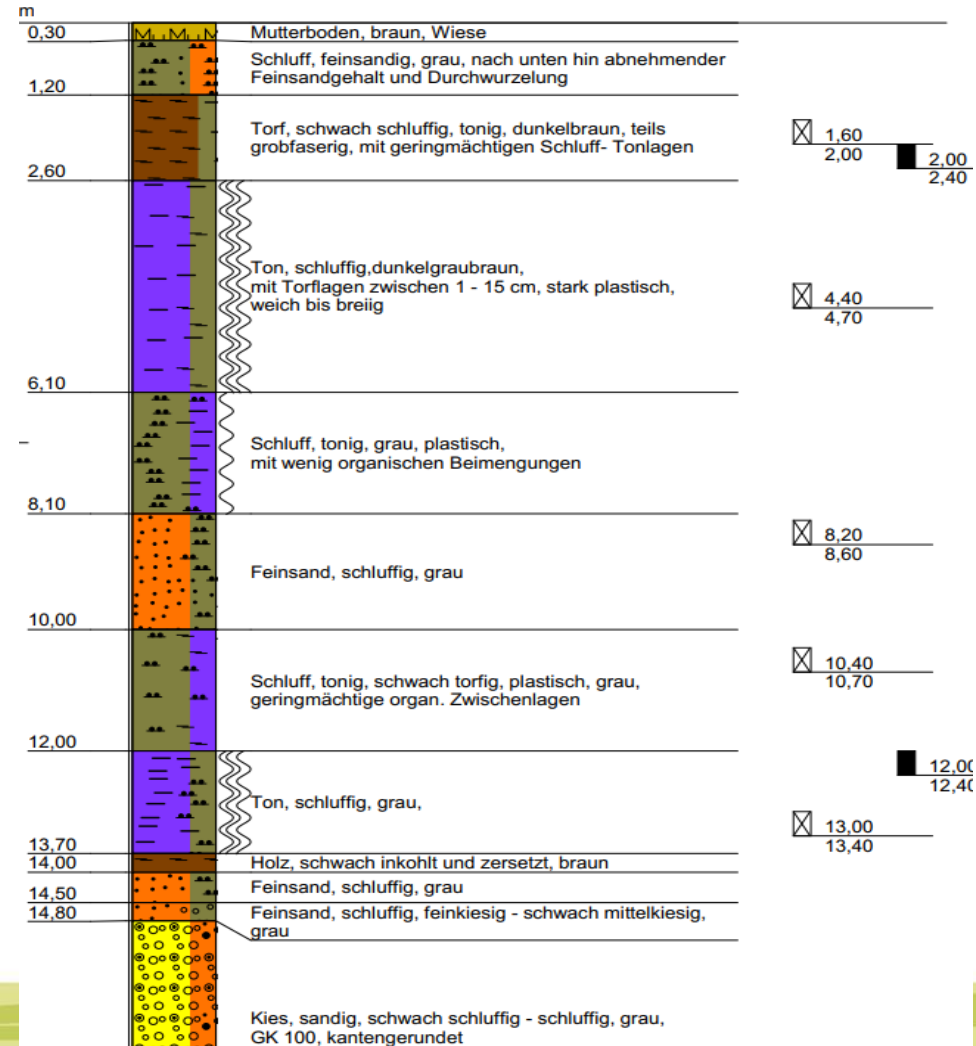
Kernfotos Erkundung 2020



Bohrungen im Hinterland MQ1

KB300/20

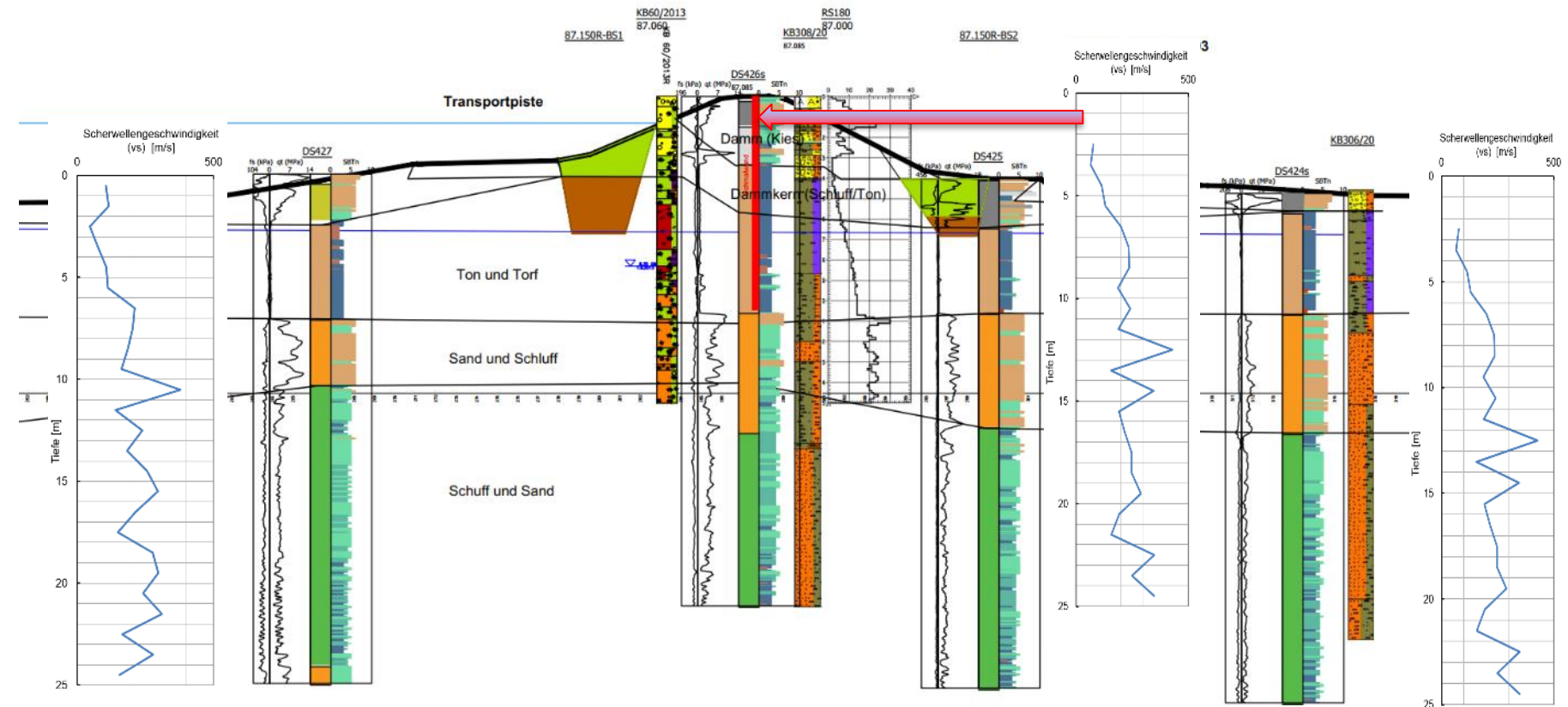
2765653.6, 1248884.4



Fussacher Durchstich

Fussacher Durchstich: Torfstrecke rkm 86 – rkm 89.5

Rheinkilometer 87.0 rechts, MQ4



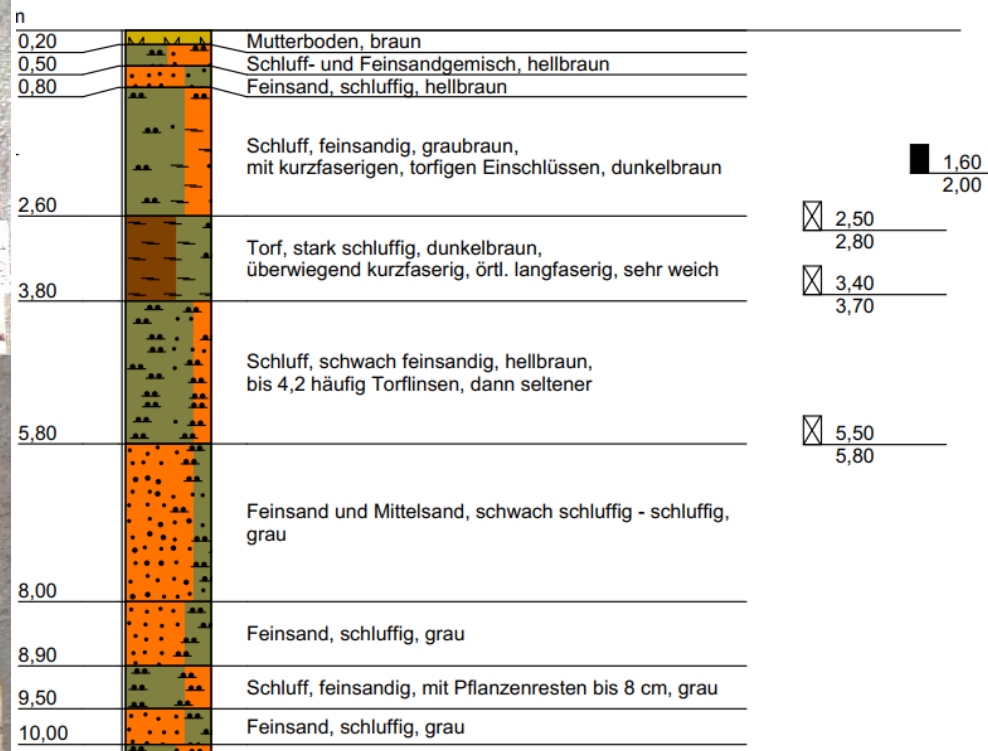
Kernfotos Erkundung 2020



- 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, ...)

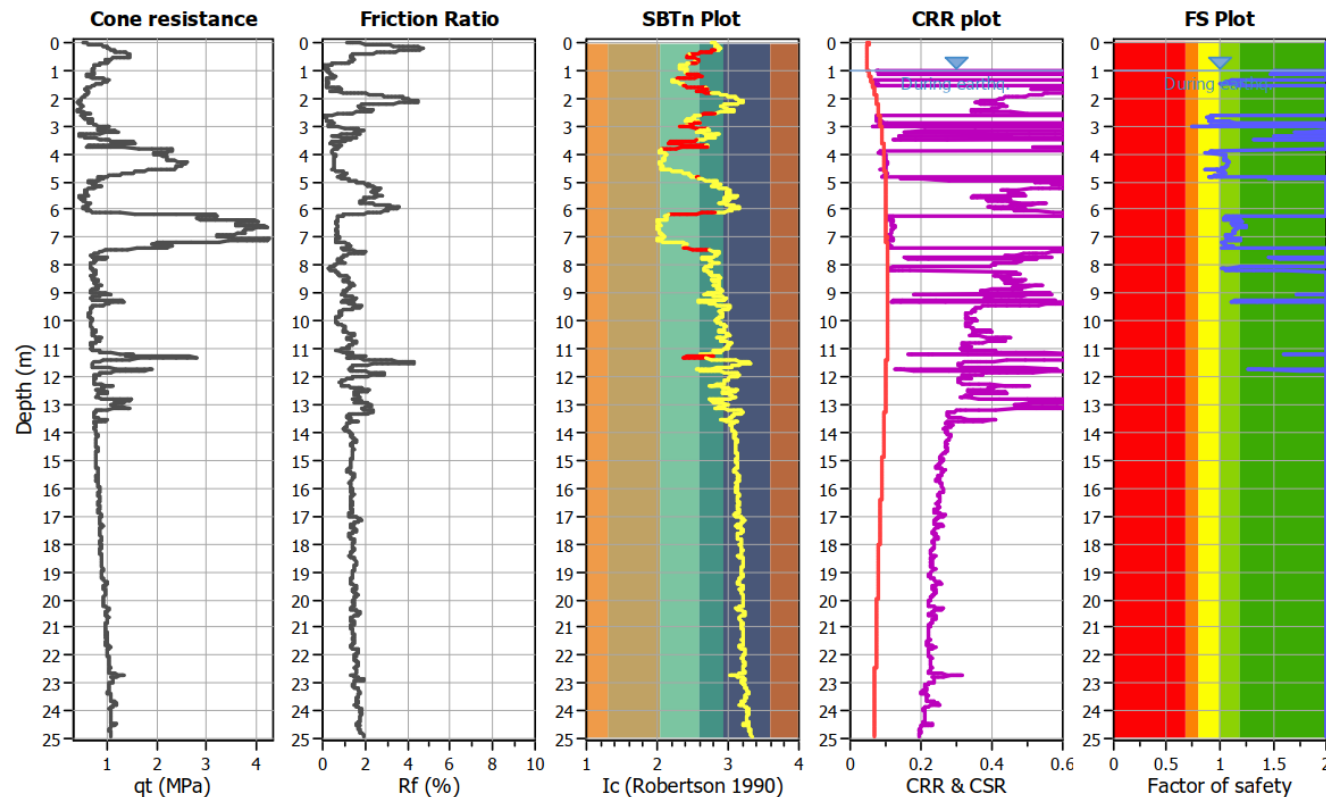
Bodenverflüssigung

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



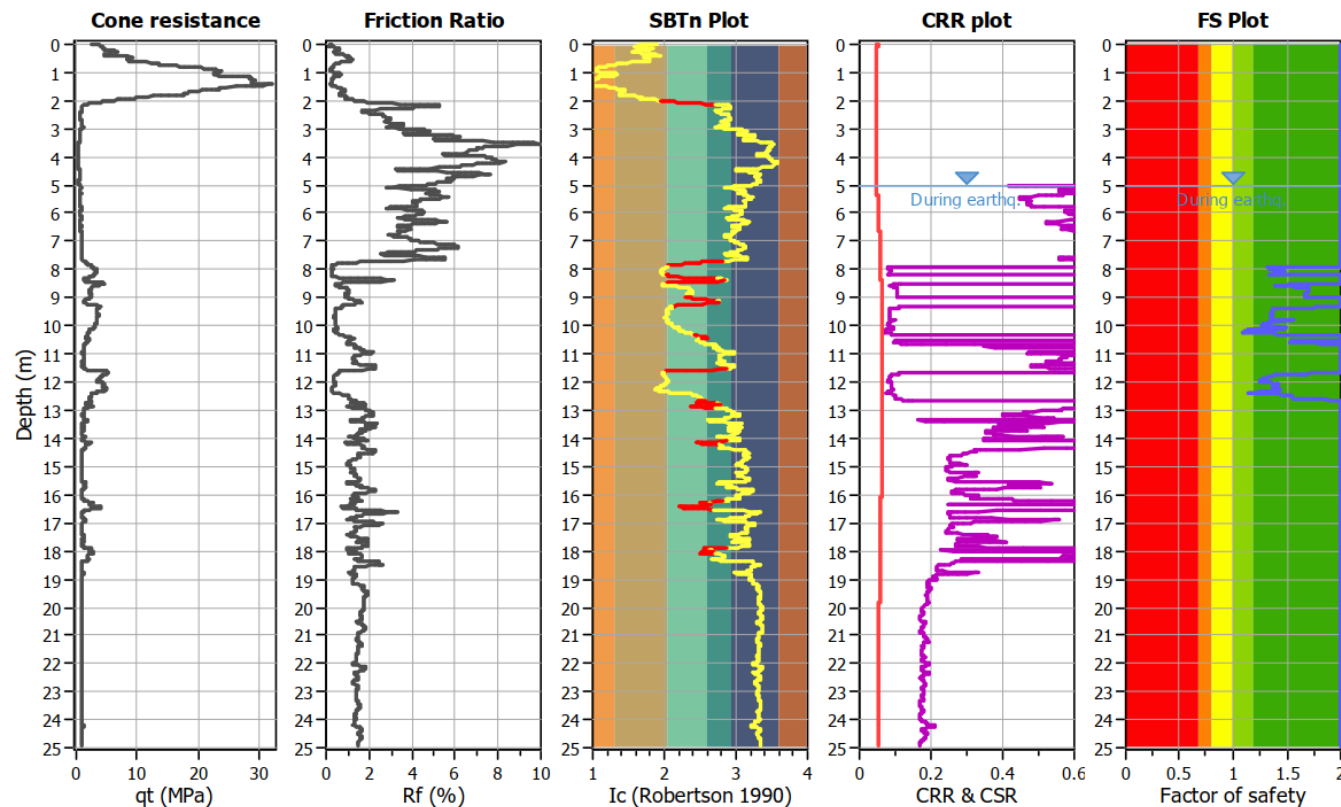
Bodenverflüssigung

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



Bodenverflüssigung

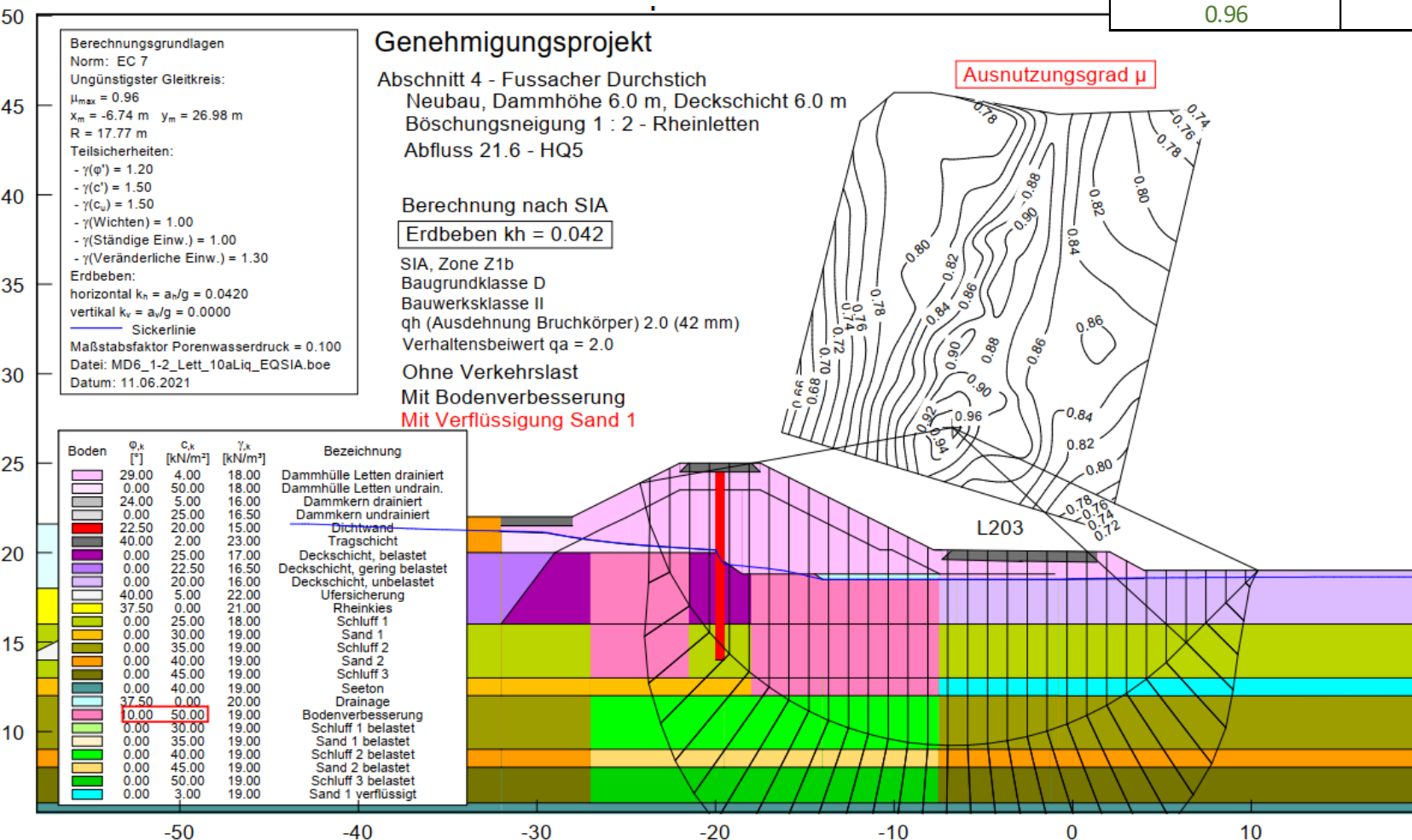
Beurteilung aufgrund der Drucksondierungen

- 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 |

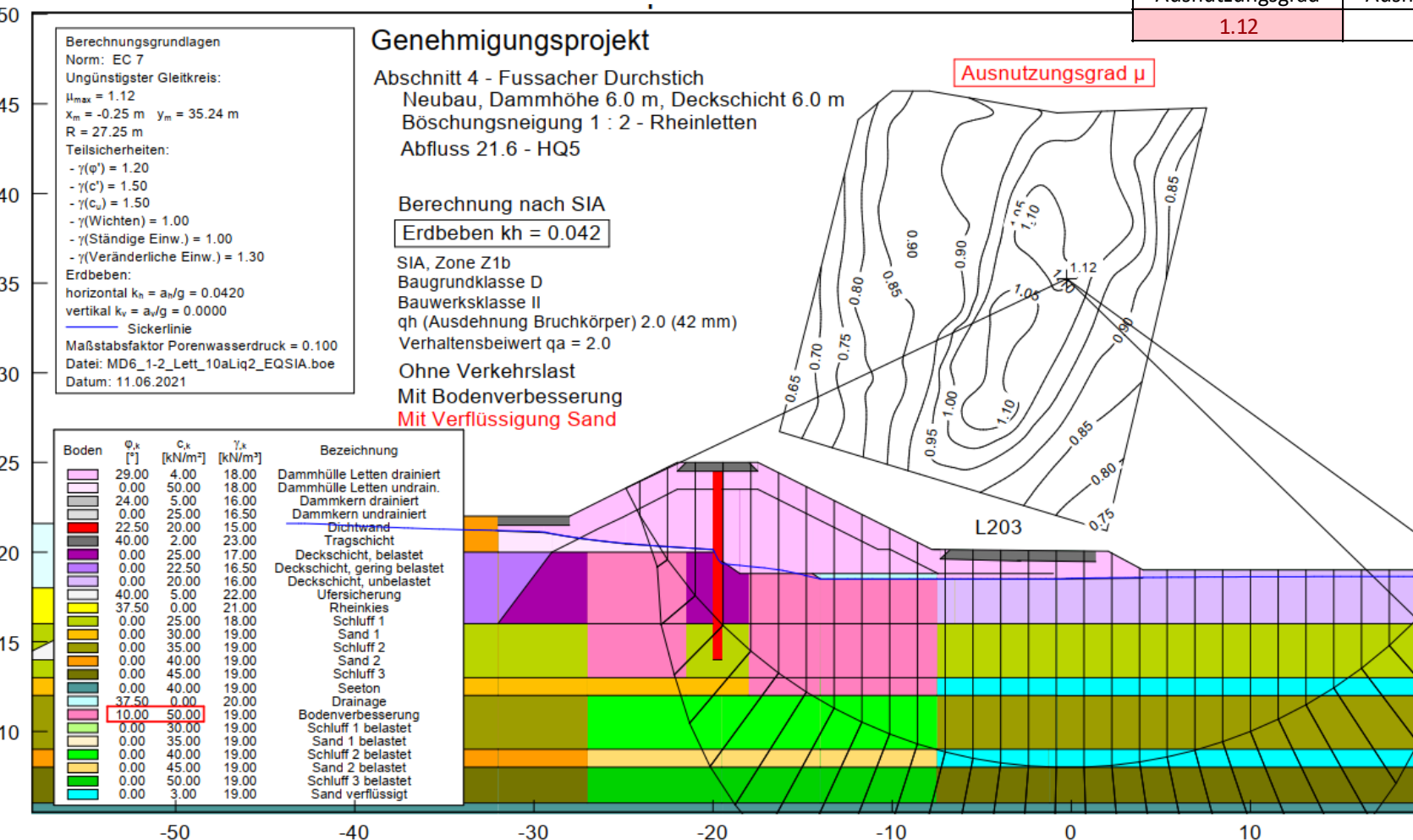


Vergleichsrechnung Fussacher Durchstich

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

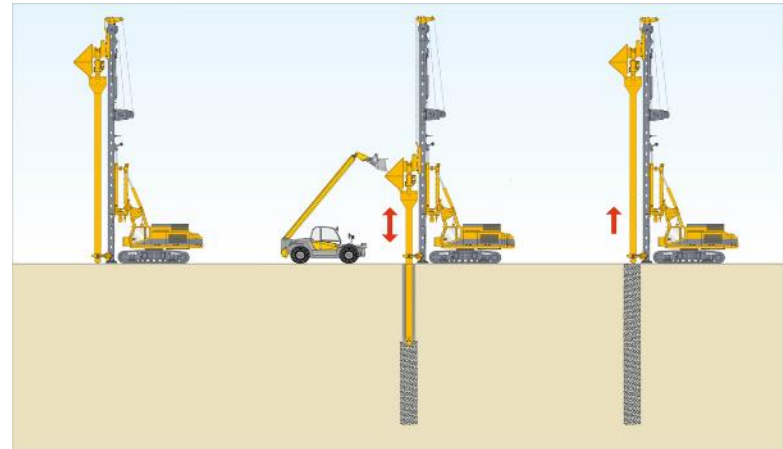
- Untergrund (Bodenarten),
- der Tiefenlage der verflüssigungsempfindlichen Schichten und
- der Lage des Grundwasserspiegels.

Untergrundverbesserung

Impulsverdichtung



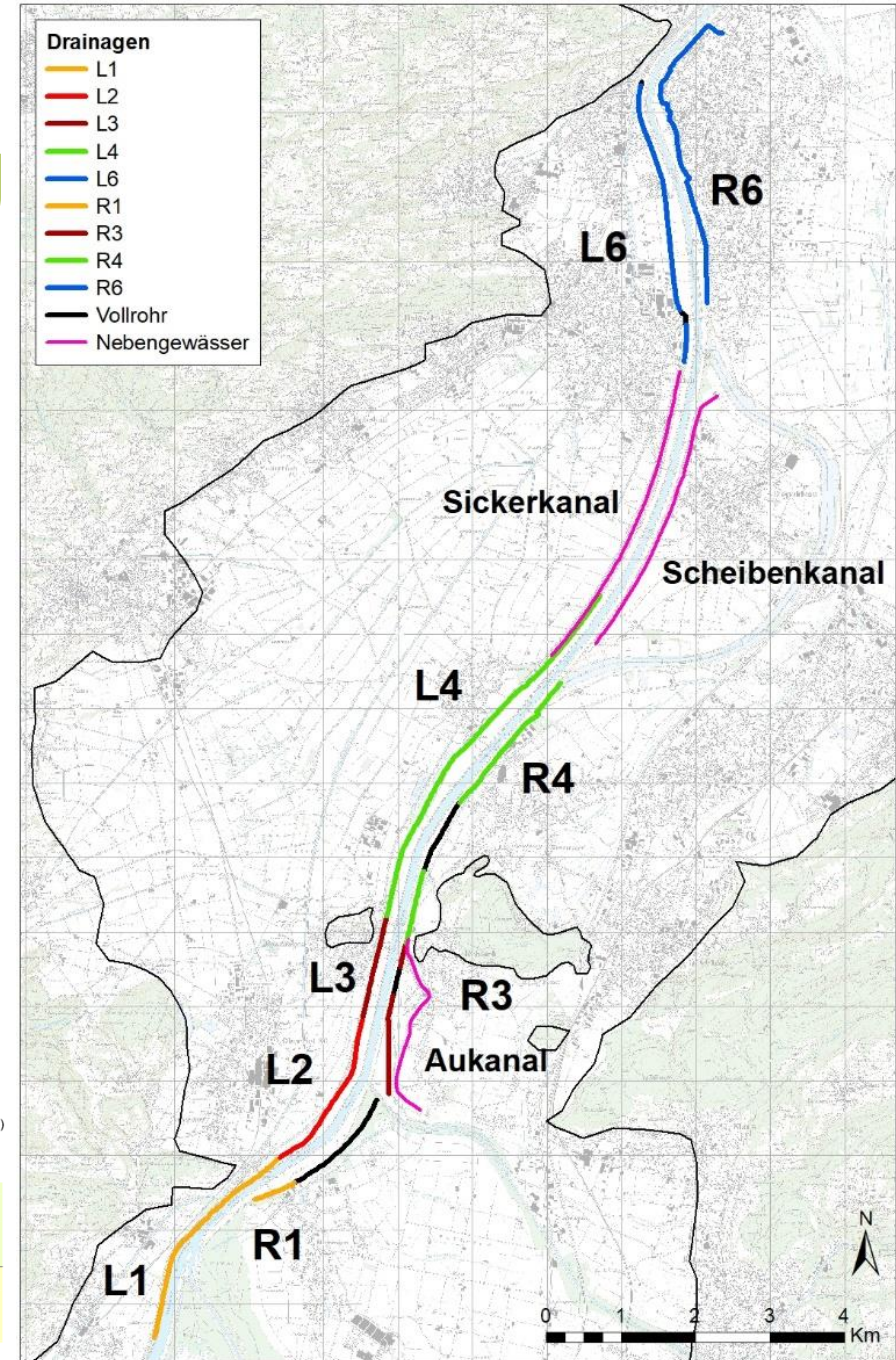
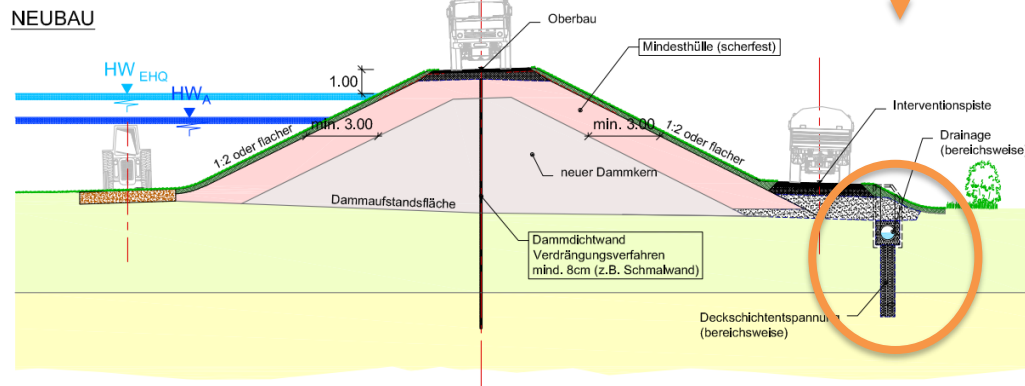
Rüttelstopfverdichtung



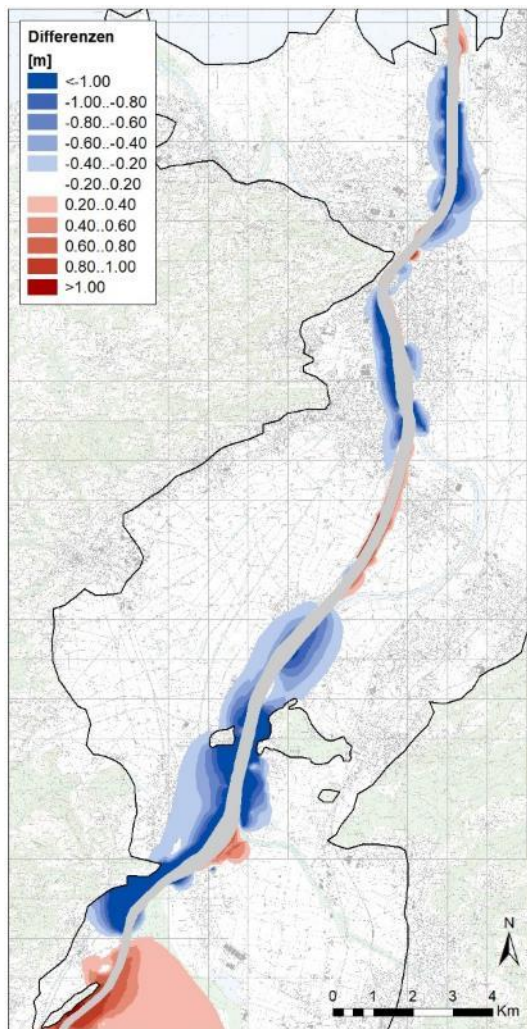
3. Grundwasserhaltung

Grundwasserhaltung

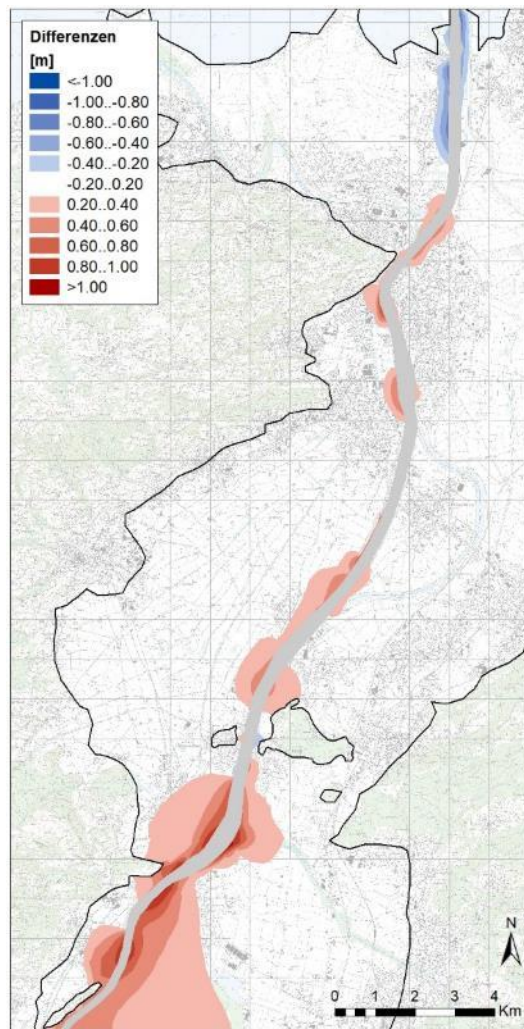
Optimierung abgeschlossen



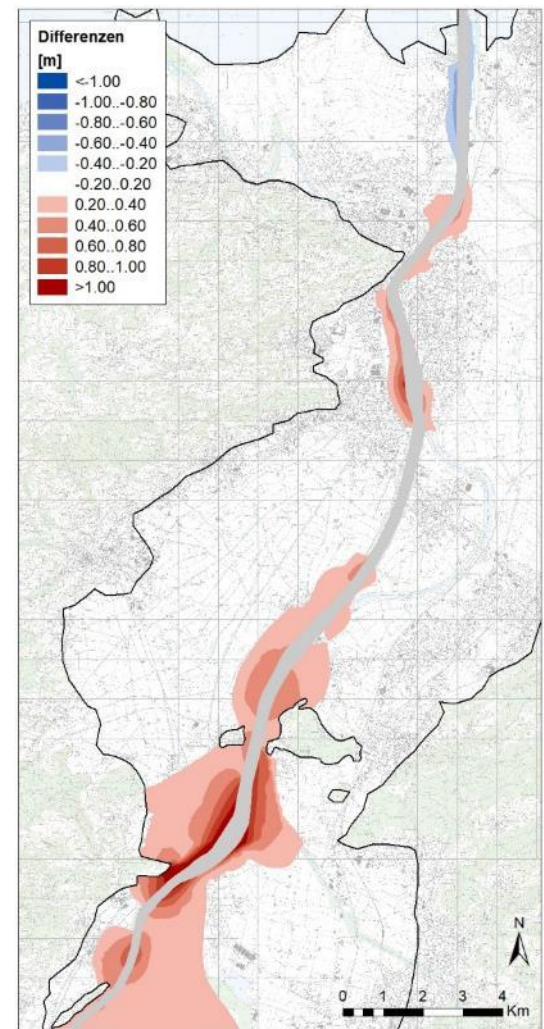
Auswirkungen Opt. 21 DP117 maxB



HW



MW



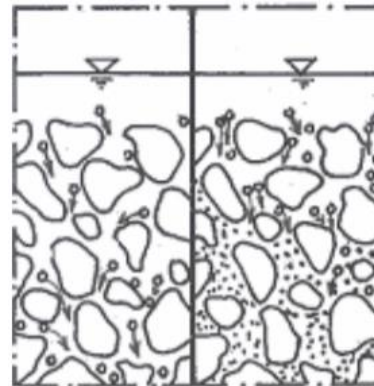
NW

4. Dekolimationsversuch

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 $> 0.5 \text{ m/s}$ reversibel



Kolmation



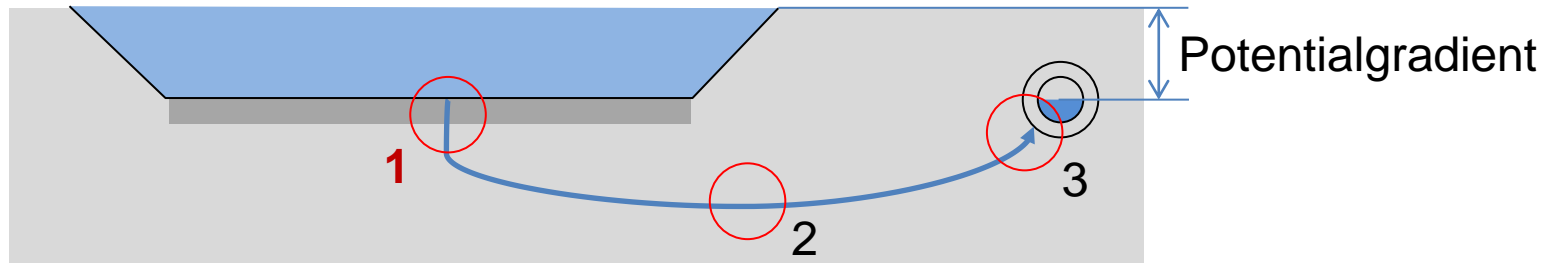
keine Kolmation

geringe – mittlere Kolmation



starke 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.
 - $Q = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}\right)} \times I \times F$ (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

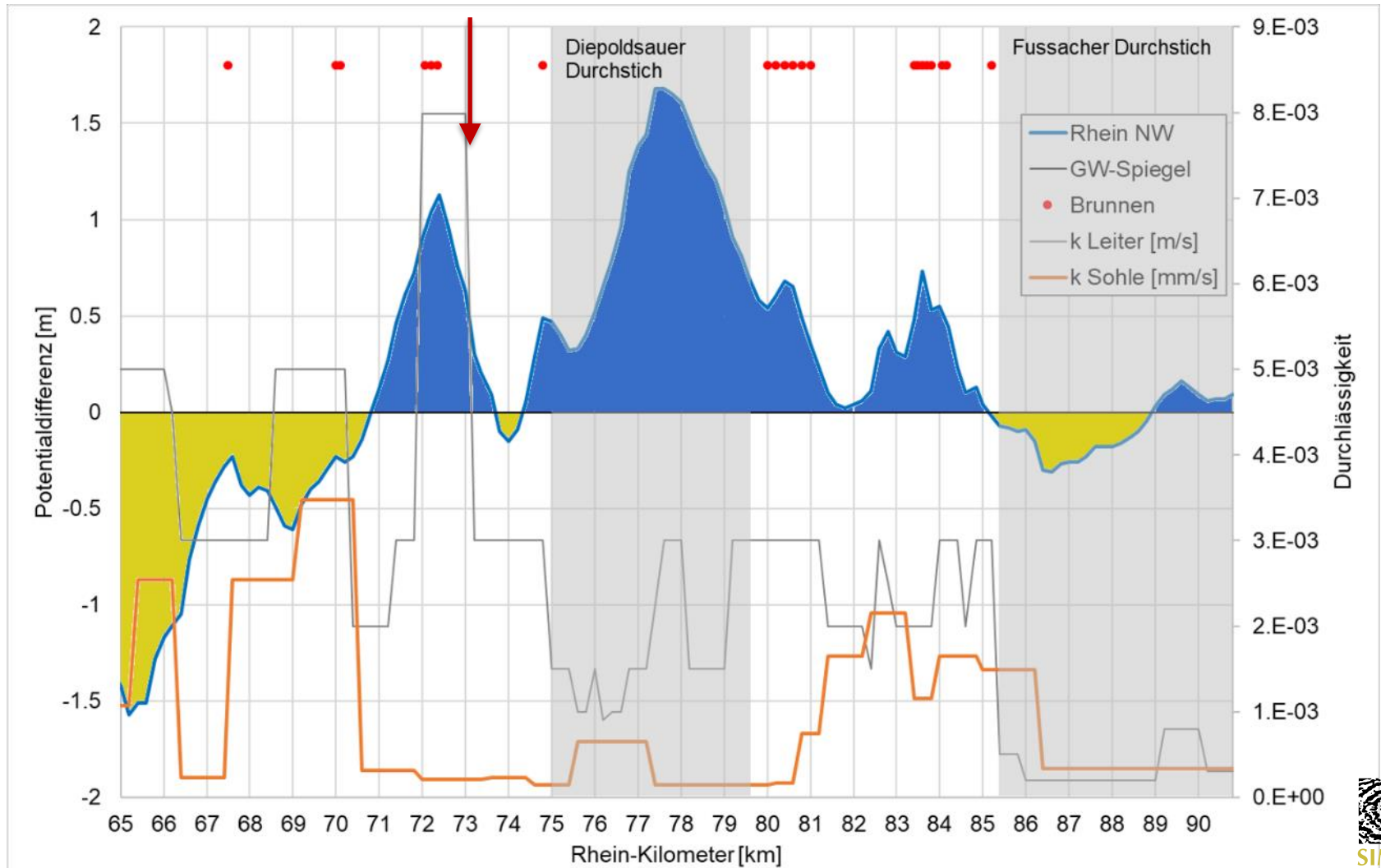
- Um welchen **Faktor erhöht** sich die **Sohlendurchlässigkeit** des Rheins bei einer Baggerung der Sohle.
- **Wie schnell** erreicht die Sohlendurchlässigkeit danach wieder den **heutigen Zustand**
 - Bezüglich der **Grundwasserstände**
 - Bezüglich der **Grundwasserqualität** (Keimzahl, Sauerstoffgehalt,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

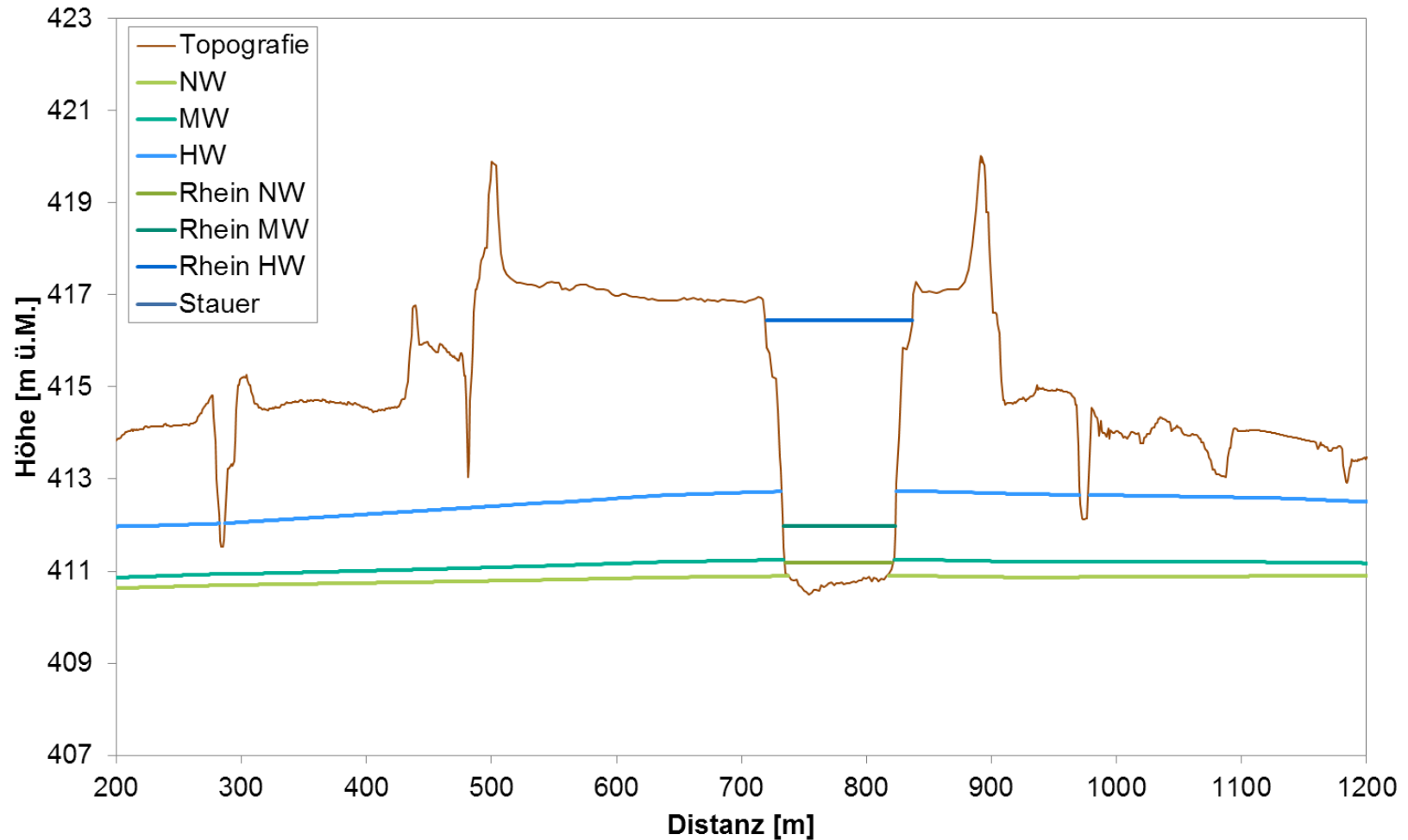
Wahl des Versuchsstandorte

Standort Kriessern



Wahl des Versuchsstandorte

km 73.2





Dekolmationsversuch

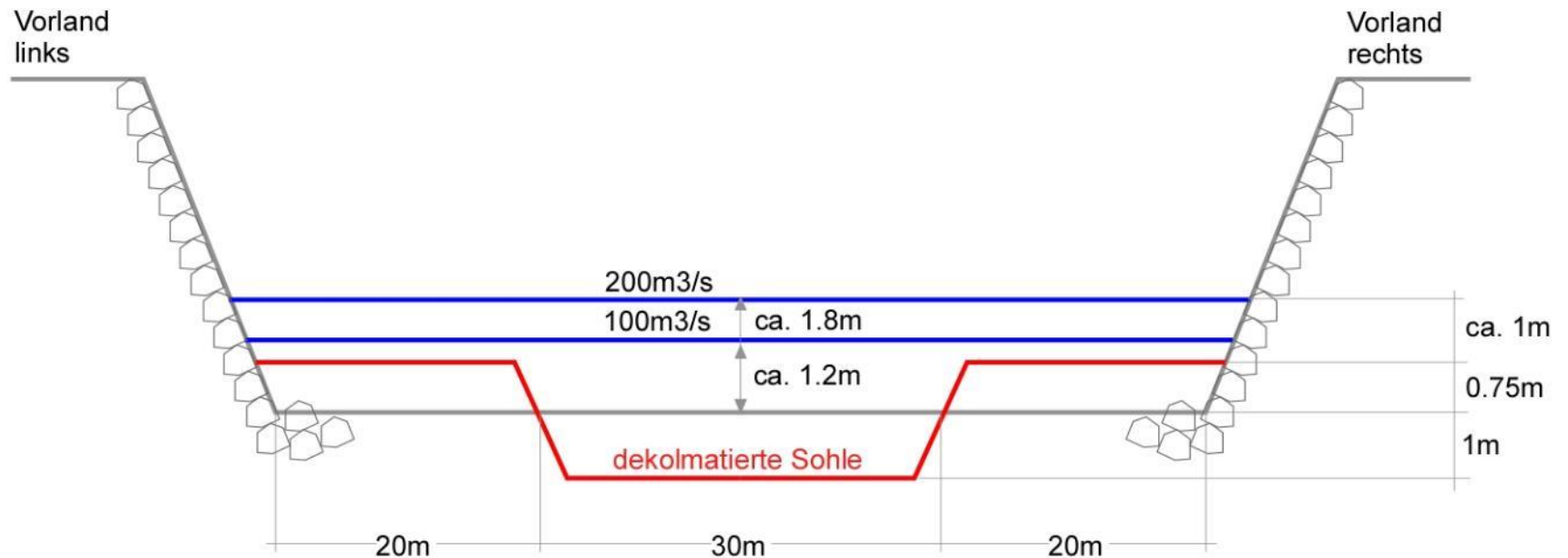


Messdispositiv

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

Versuchsdurchführung

Querprofil schematisch 5-fach überhöht



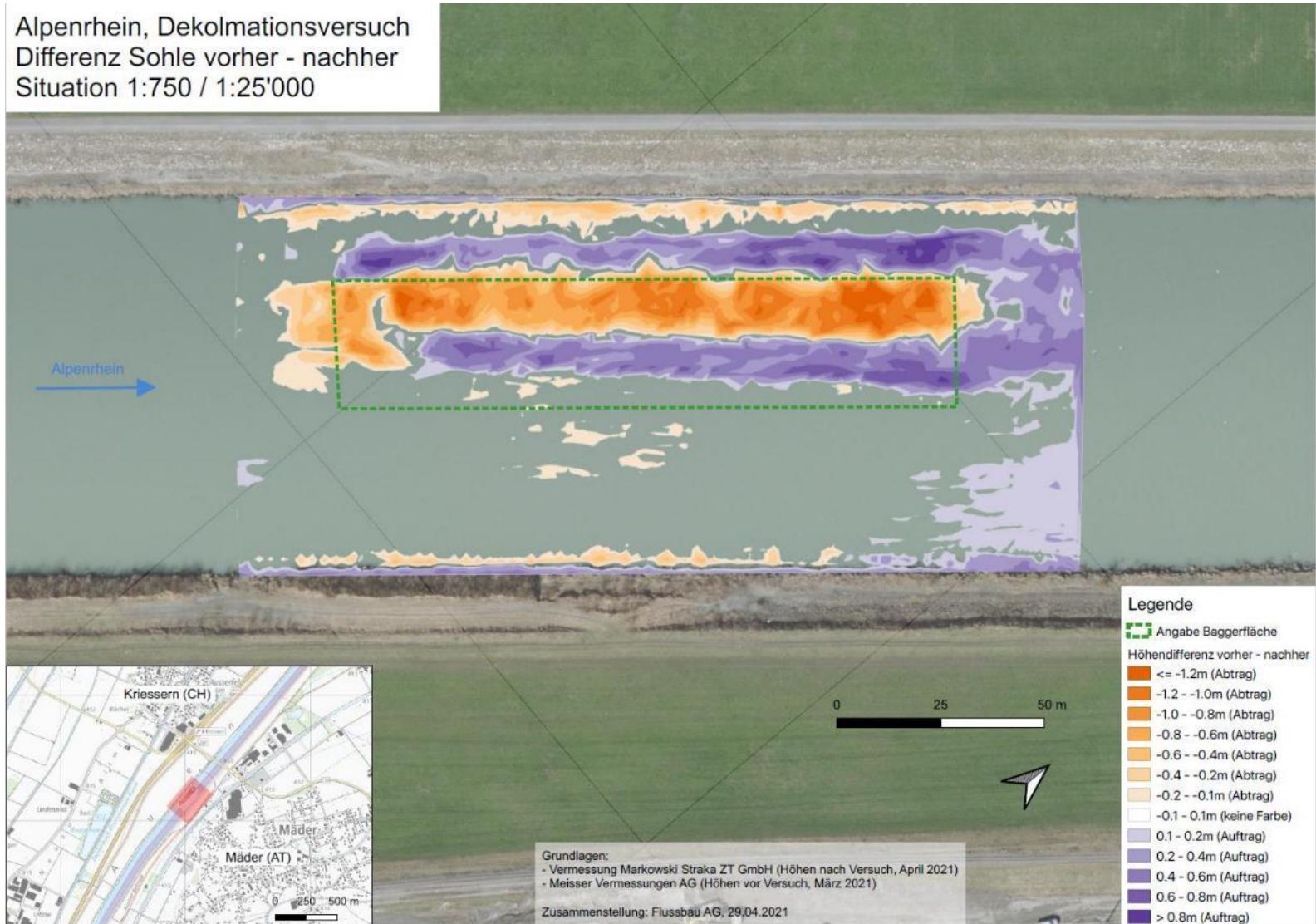
Versuchsdurchführung



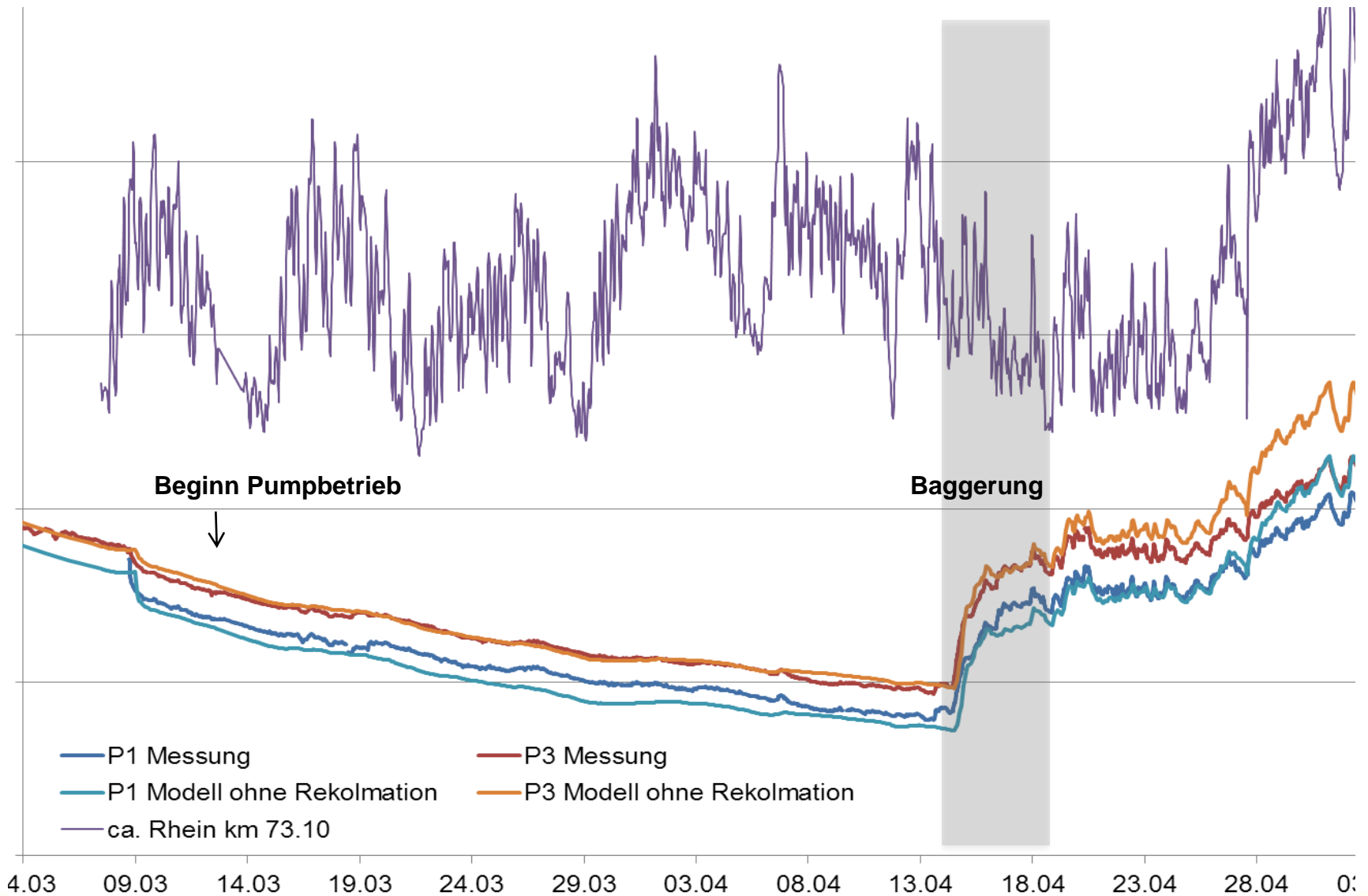
<https://bit.ly/2ZgeS5U>

Dekolmationsfläche

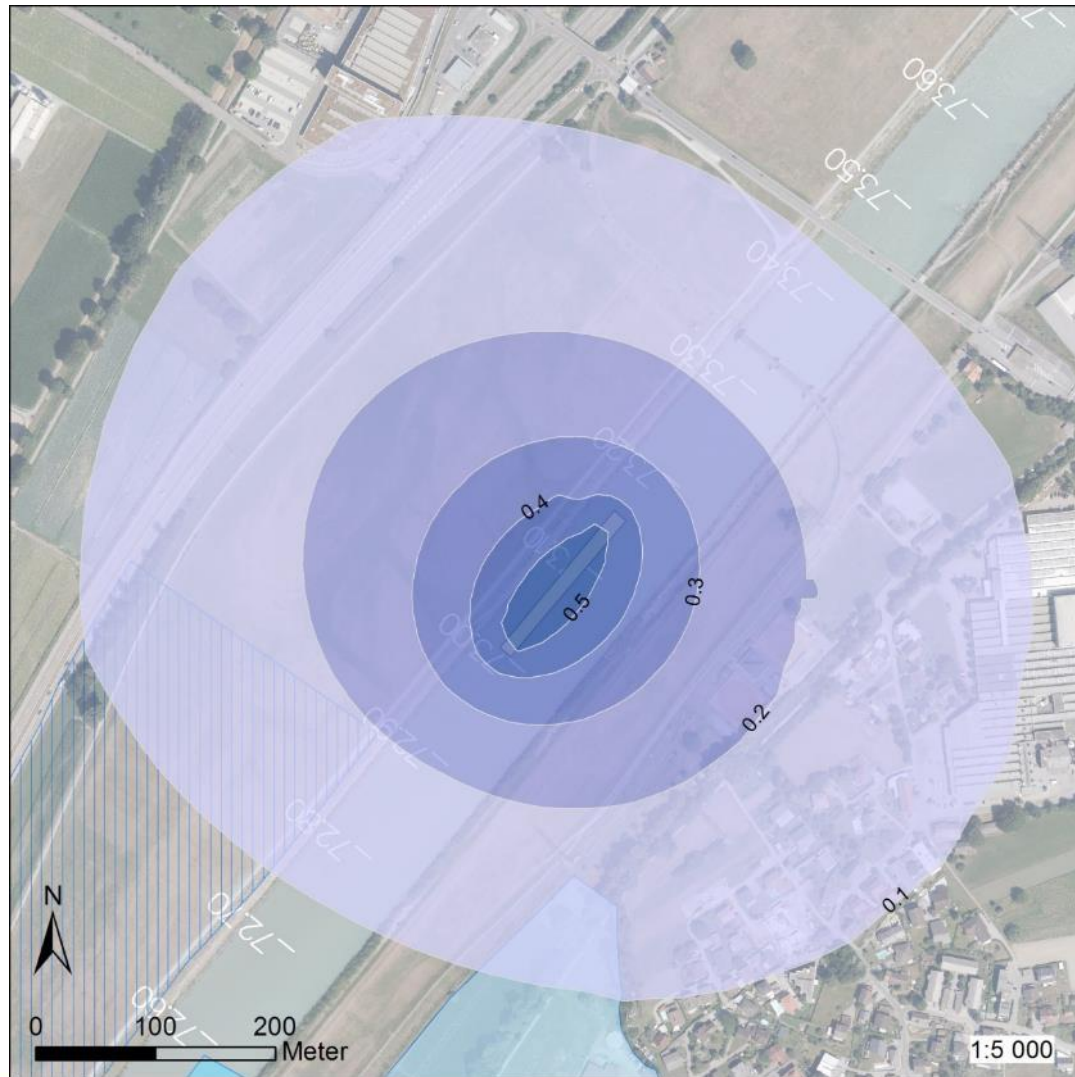
Alpenrhein, Dekolmationsversuch
Differenz Sohle vorher - nachher
Situation 1:750 / 1:25'000



Grundwasserverlauf

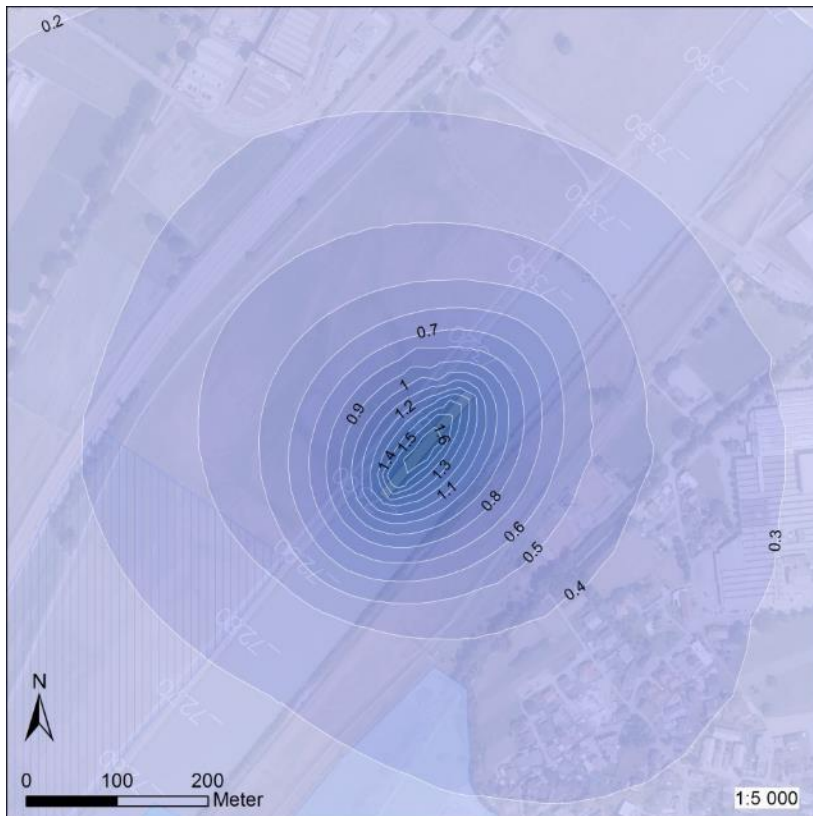


Grundwasseranstieg zwischen 12. u. 23. April

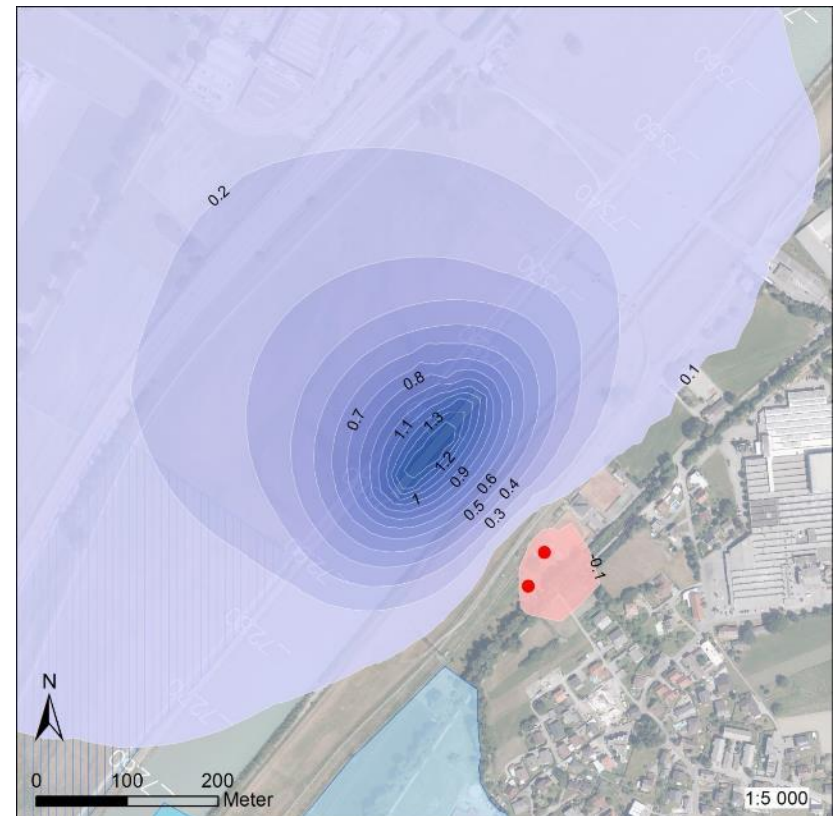


Interventionsmassnahmen

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



Zustand nach Baggerung



2 Interventionsbrunnen je 40l/s

Versuchsauswertung

Nächste Schritte

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

5. Modellversuche



Zürich

Dornbirn

Wien

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



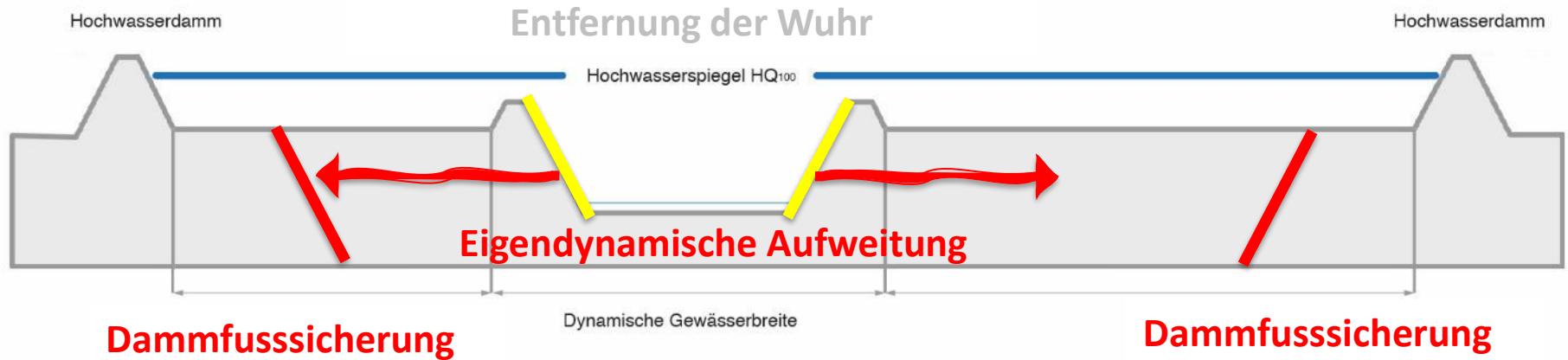
Dornbirn: Hybrider-Modellversuch
Flussmorphologie
ETH Zürich, VAW, Massstab 1:50



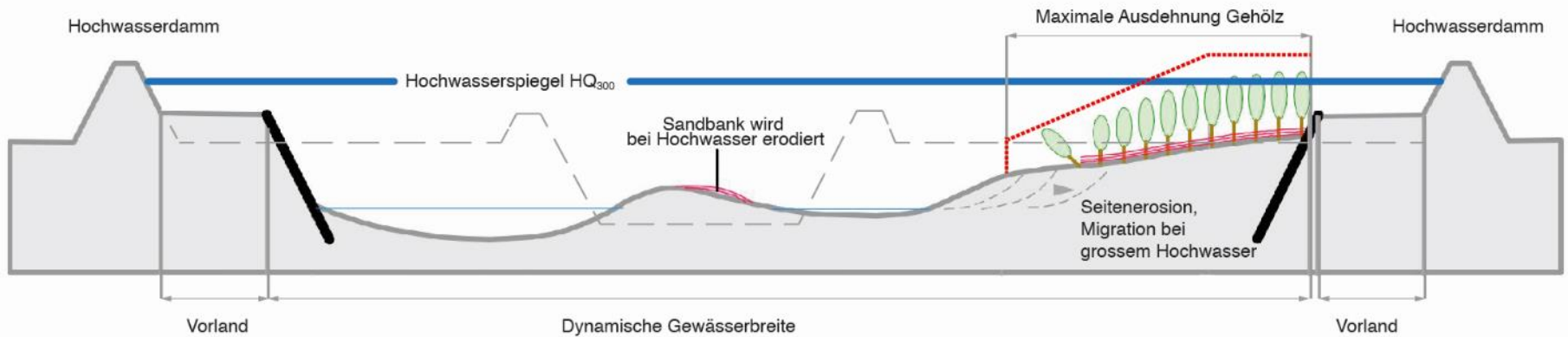
Wien: Detailmodellversuch
Kolk bei Brückenpfeiler
TU Wien, Massstab 1:30



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

Bayland
Extremhochwasser
Hochwasser (HQ100)
Niederwasser
Generelles Projekt
Hochwasser (HQ100)
Niederwasser
Bayland
Extremhochwasser
Hochwasser (HQ100)
Niederwasser
Generelles Projekt
Hochwasser (HQ100)
Niederwasser



Gesamtübersicht Bereich Meiningen - Diepoldsau Bereich Widnau - Hard Detail



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



Abschnitt Oberriet – Koblach

Hochwasserschutzprojekt Rhesi | Generelles Projekt, Stand 2018

Meiningen | Generelles Projekt - Niederwasser



Rhein-Km 66.0 – 71.0
im Modell 100 m

| Generelles Projekt | Generelles Projekt | Bestand | Bestand |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Hochwasser (HQ100) | Extremhochwasser | Hochwasser (HQ100) | Niederwasser |



Gesamtübersicht Bereich Meiningen - Diepoldsau Bereich Widnau - Hard Detail



Modellversuche Dornbirn 1: 50

Etappe 2 (2021-2022)

Abschnitt Oberriet – Koblach

Ziele

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

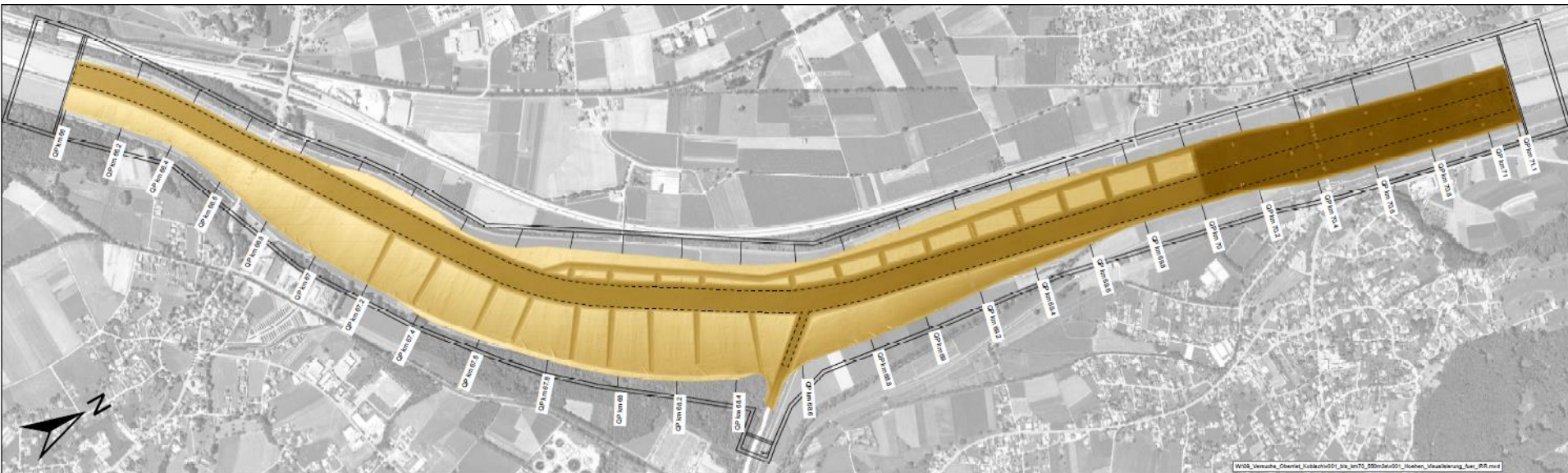


Startgeometrie April 2021



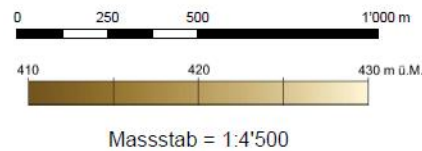
Startgeometrie April 2021

Startgeometrie April 2021



Versuch PRJ_v001

Sohlzustand nach Neueinbau der mittleren Sohle
und der Vorländer gemäss Bestand



Rhesi - Hybride Modellversuche



ETH zürich

Morphologische Entwicklung nach 9 Jahren

