

Horber Schienen-Tage

BIM am Horschheimer Tunnel
Entwicklung eines „echten“ BIM-Modells

Dipl.-Ing.
Heiner Fromm

Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Schmitt

18.11.2021



**CDM
Smith**

h_da
HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
fbu
FACHBEREICH BAU- UND
UMWELTINGENIEURWESEN

Agenda



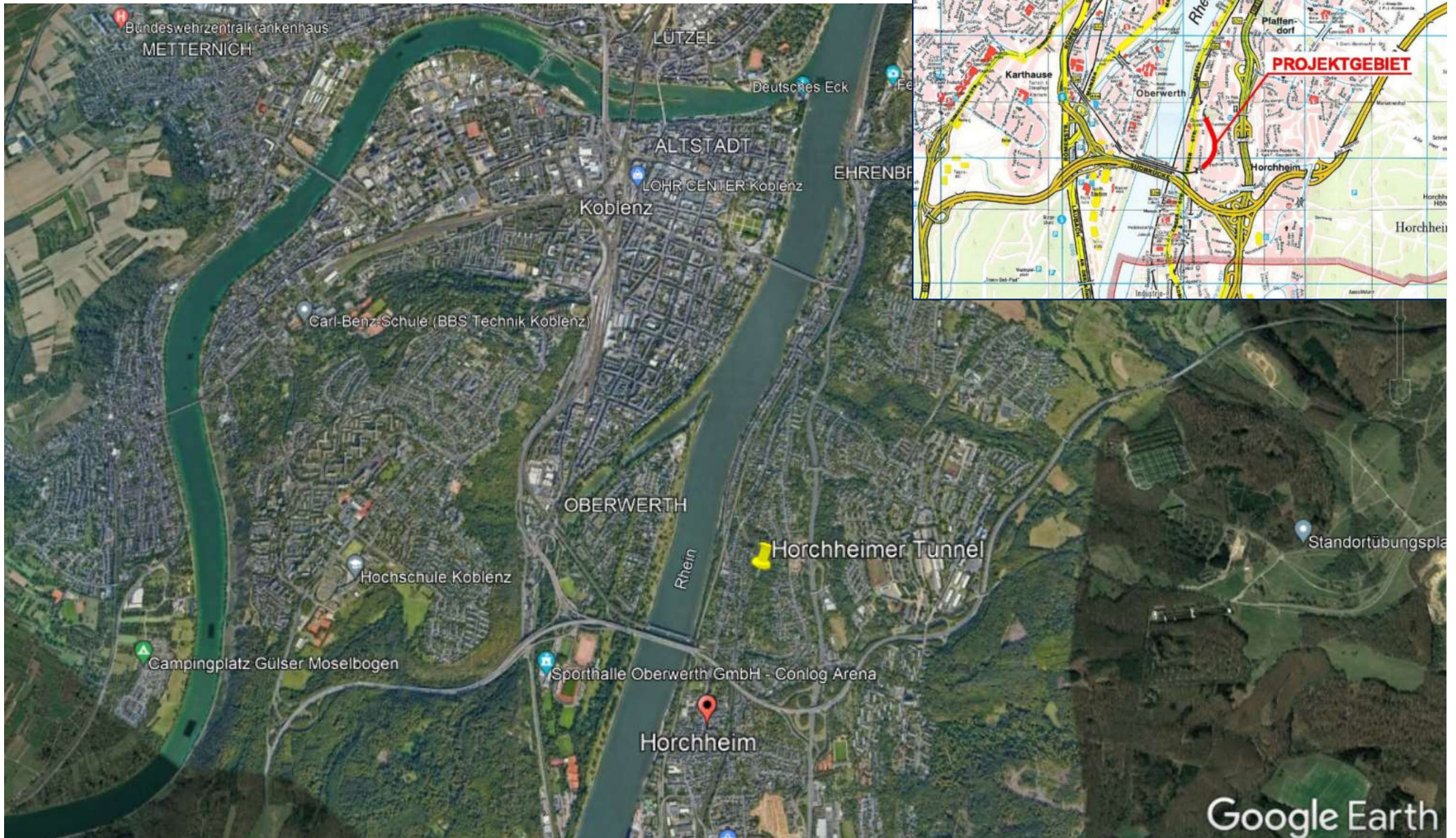
1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Agenda

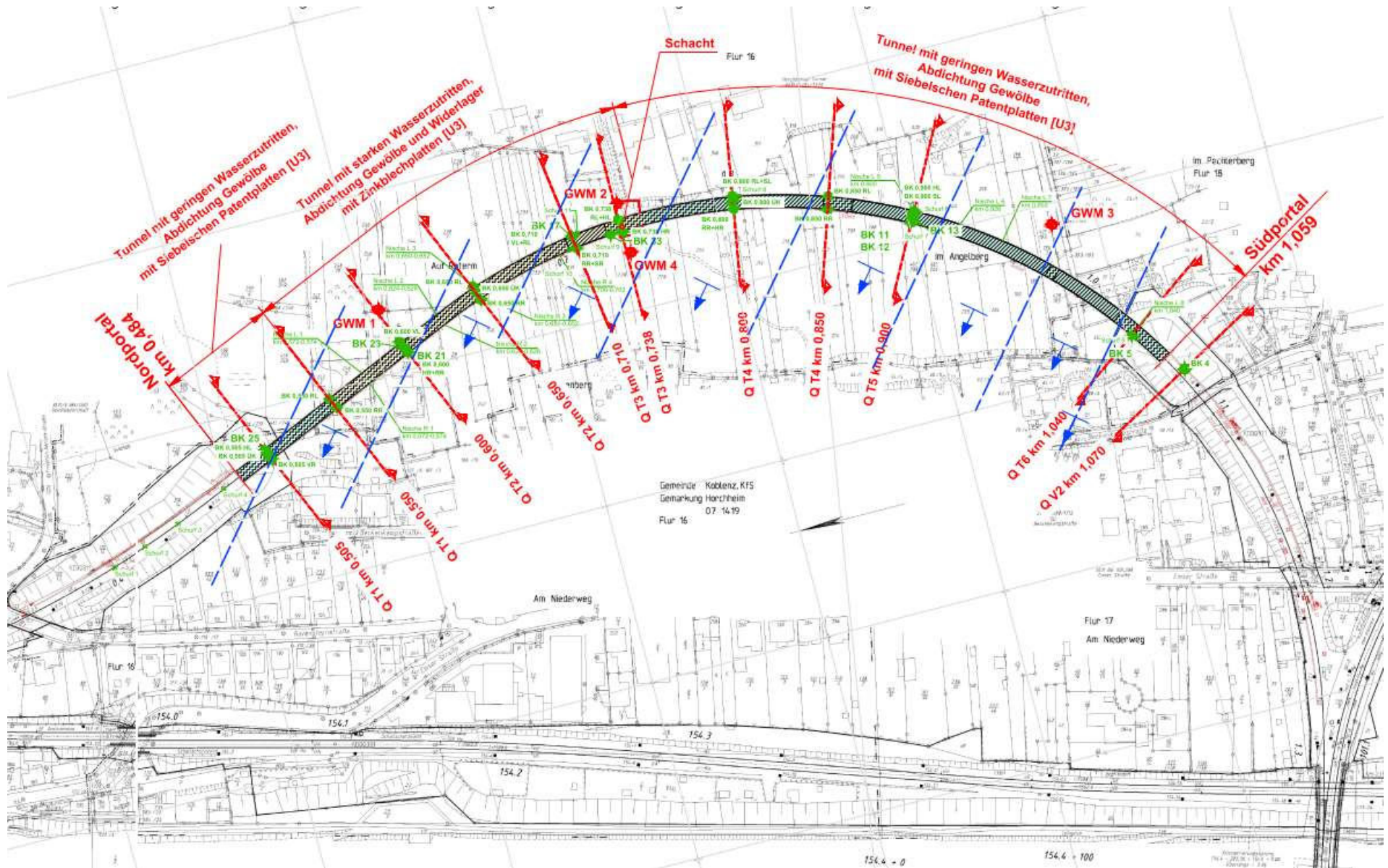


1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Projektvorstellung



Projektvorstellung



Projektvorstellung

- Strecke 3031
- eingleisige elektrifizierte Hauptbahn
- TEN Kernnetz Güterverkehr und Personenverkehr
- Tunnel Horchheim
 - zwischen Abzweig Koblenz Pfaffendorf und Abzweig Koblenz Horchheim
 - Tunnellänge 576 m
 - Baujahr 1902
 - Zustandskategorie 4 nach Ril 853.8001:

Zustandskategorie 4:

Gravierende Schäden am Bauwerk, welche die Sicherheit noch nicht beeinflussen. Eine wirtschaftliche Instandsetzung ist nicht mehr möglich.

Projektvorstellung

- Gesamtbauzeit 26,25 Monate
- 19,25 Monate Vollsperrung
- Von 20:00-07:00 kein lärmintensiven Arbeiten wegen Anrainern
- fehlende BE Flächen im Norden, primäre Abwicklung von Süden aus
- Da der Oberbau 2011 erneuert wurde, werden die Oberbaustoffe wiederverwendet
- Rückbau der Tunnelinnenschale und Hinterfüllung
- Aufweitung des Felshohlraumes
- Bagger- (Meissel) und Sprengvortrieb
- Sicherungsmittel: Systemankerung, Spritzbeton, Spieße
- Ausbau gemäß Regelquerschnitt RIL 853 mit neuer Innenschale und Gleisabstand 4 m
- Sicherung der Bestandsschale mit mechanischer Stützung anstatt Rückverankerung

Projektvorstellung



Tunnel-in-Tunnel Methode z.B. Frauenberger Tunnel, Kupferhecktunnel (Quelle: GTA)

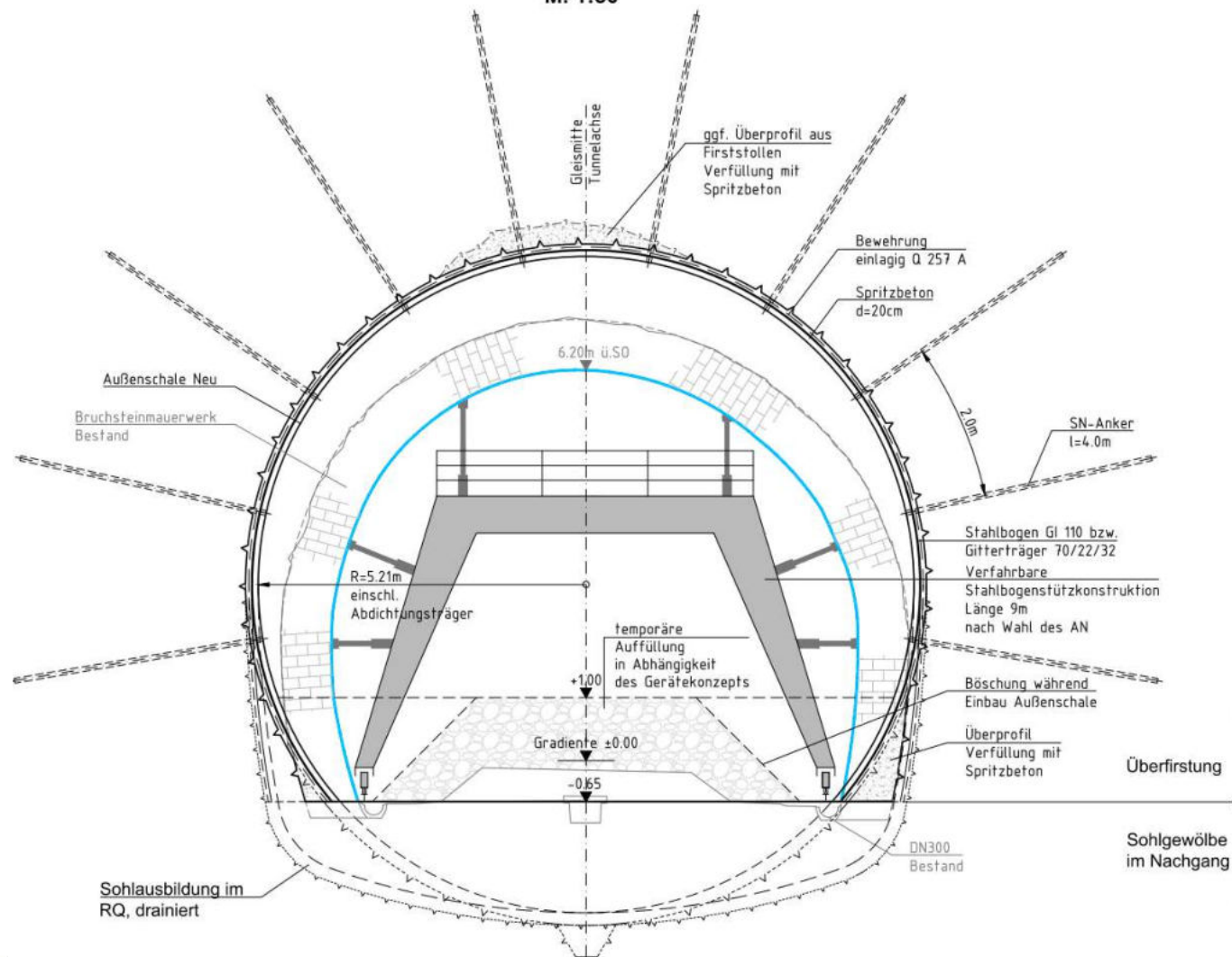
Projektvorstellung

Vortriebsklasse 4A Querschnitt Überfistung

$$F_{\text{Überfistung}} = 32.22\text{m}^2$$

Schnitt 1 - 1

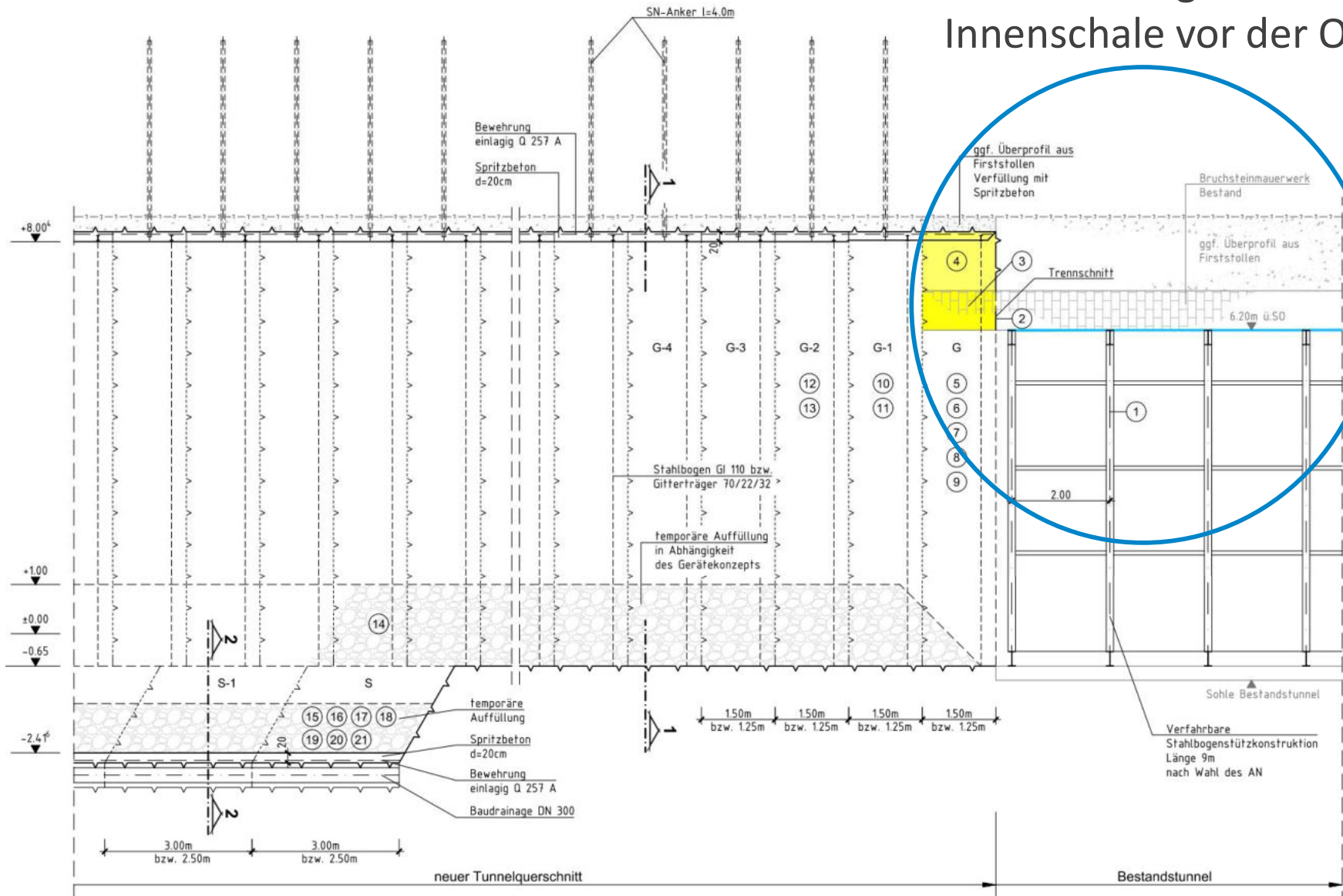
M. 1:50



Projektvorstellung

Längsschnitt Bauablauf
M. 1:50

Mechanisch gestützte
Innenschale vor der Ortsbrust



Agenda



1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Erkundungsarbeiten

- Handnahe Untersuchung inkl. Kartierung
Trennflächeninventar des Gebirges
 - 4 Kernbohrungen und Grundwassermessstellen von Übertage
 - 36 kurze, aus dem Tunnel heraus hergestellte, radial angeordnete Kernbohrungen
 - 11 Schürfe im Gleisbereich innerhalb vom Tunnel und in den Voreinschnitten
 - Georadar in der Sohle und im Gewölbe
 - 3-D-Laserscans durch Befliegung des Geländes
 - 3-D-Laserscans der Tunnellaibung
 - Feld- und Laborversuche
- ➔ insgesamt hohe Erkundungsdichte und gute Datengrundlage

Erkundungsarbeiten



Erkundungsarbeiten

- Erkundungen Übertage



Erkundungsarbeiten

- Erkundungen Untertage



Erkundungsarbeiten

- Befahrung Firststollen



Firststollen Südportal: Zinkblech



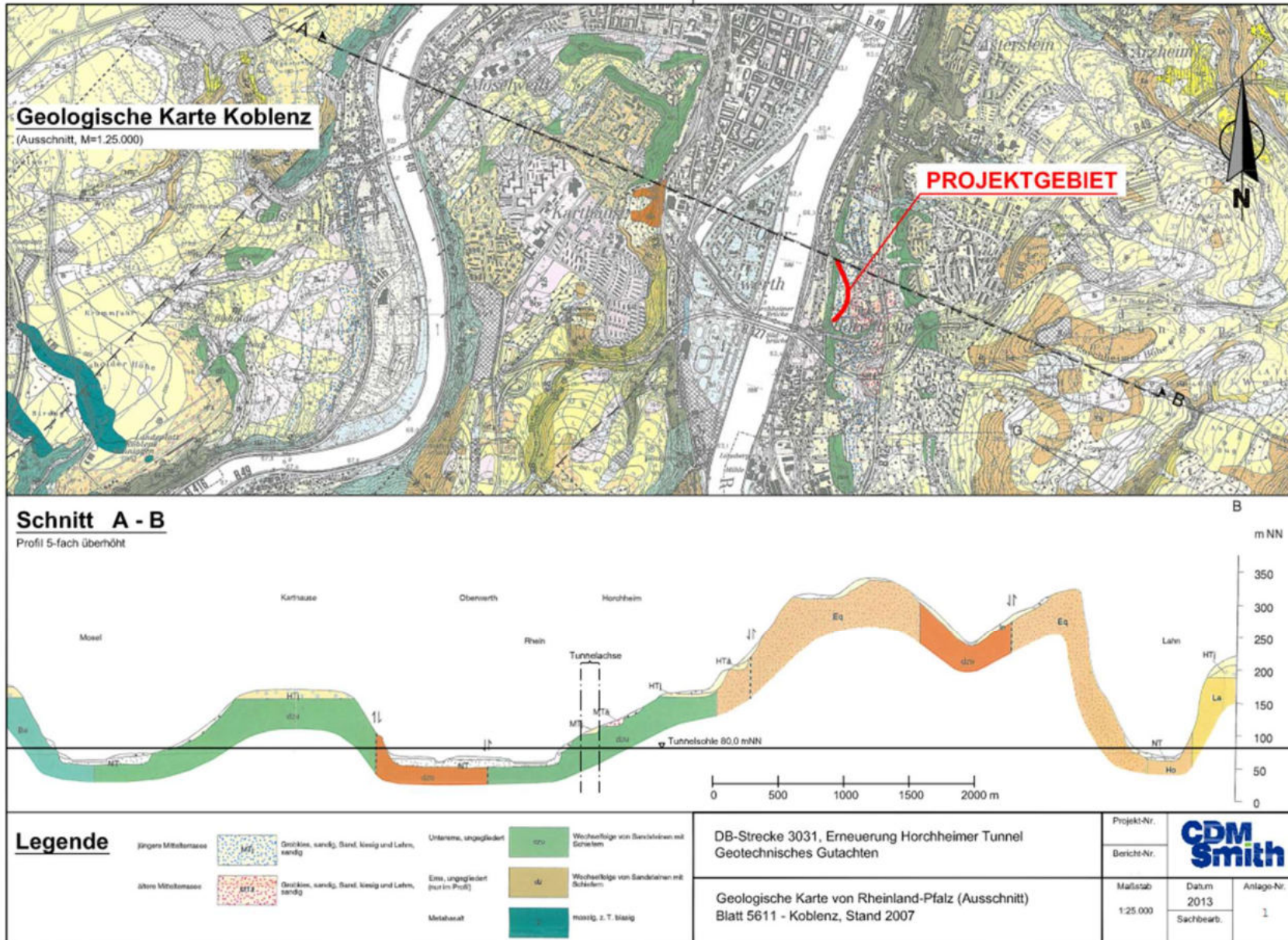
Firststollen Südportal: Bruchflächen

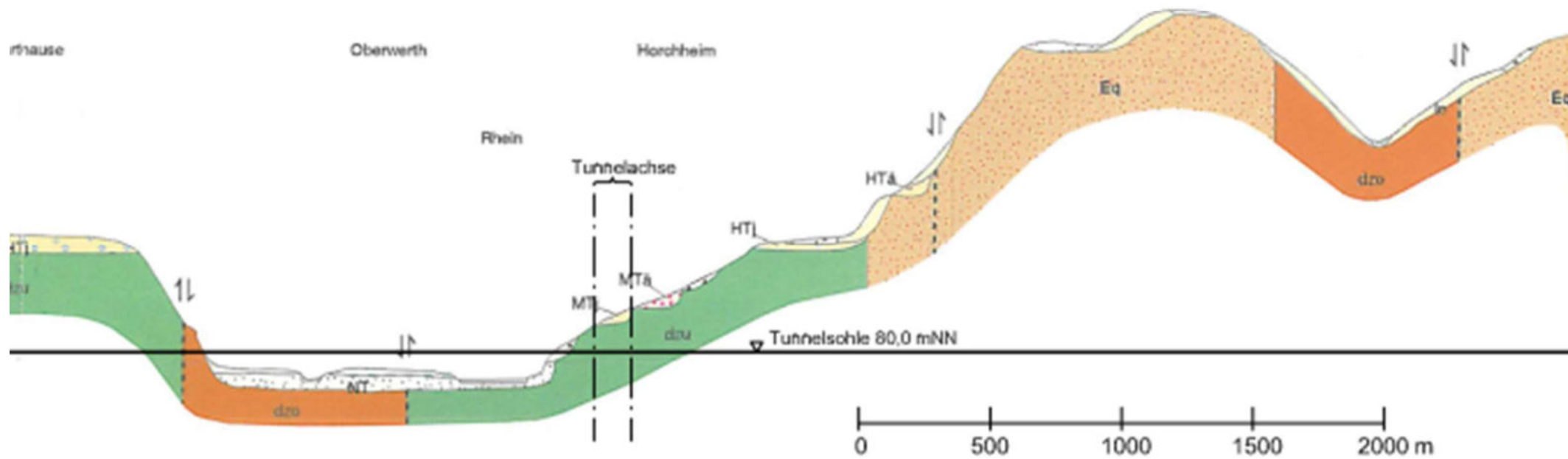
Agenda



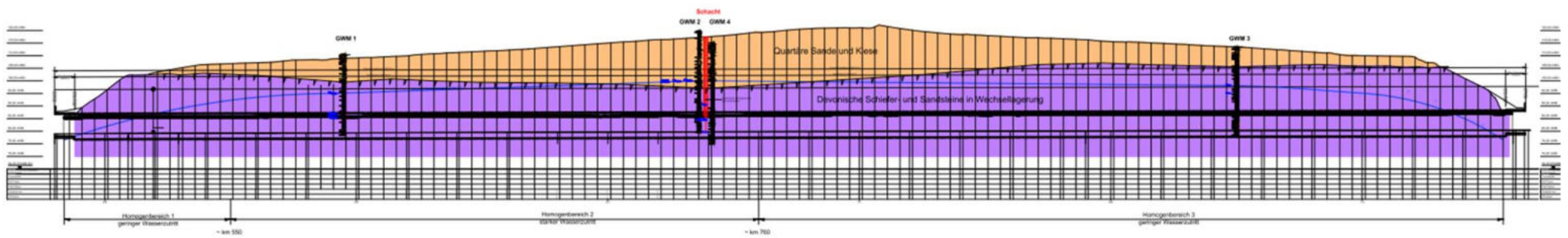
1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Erkundungsergebnisse

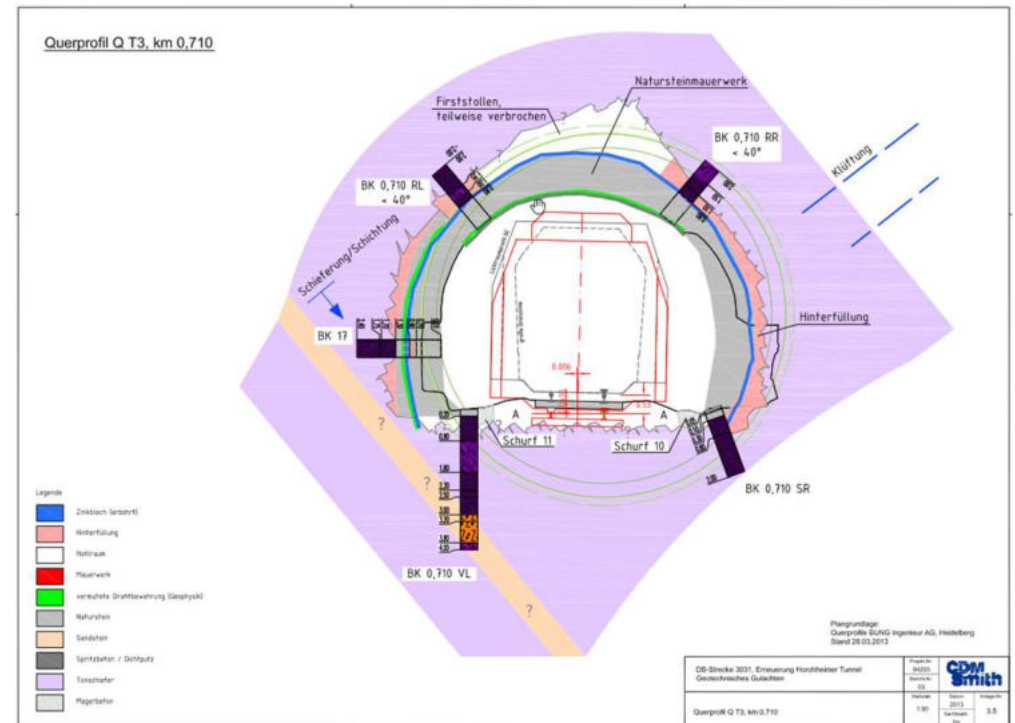
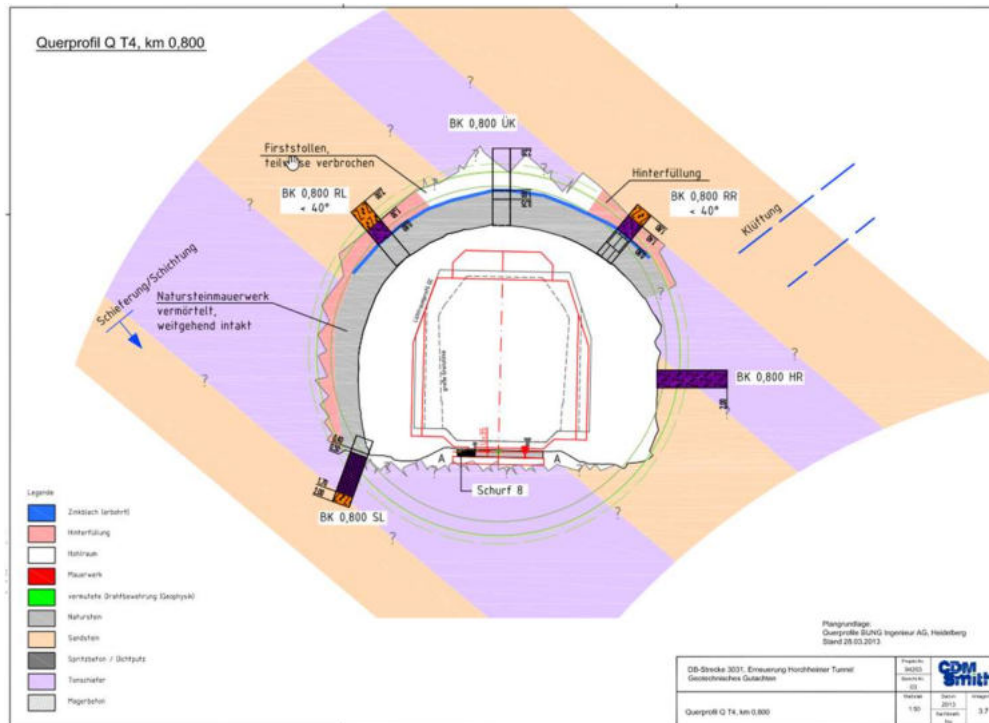




Erkundungsergebnisse



Erkundungsergebnisse



Agenda



1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau / Geotechnik

Building Information Modeling (BIM)

- BIM: Planen, Bauen und Betreiben eines Bauwerks während des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks (nD-Modell)
- Grundlage: 3D-Computermodell

Standard Dimensionen:

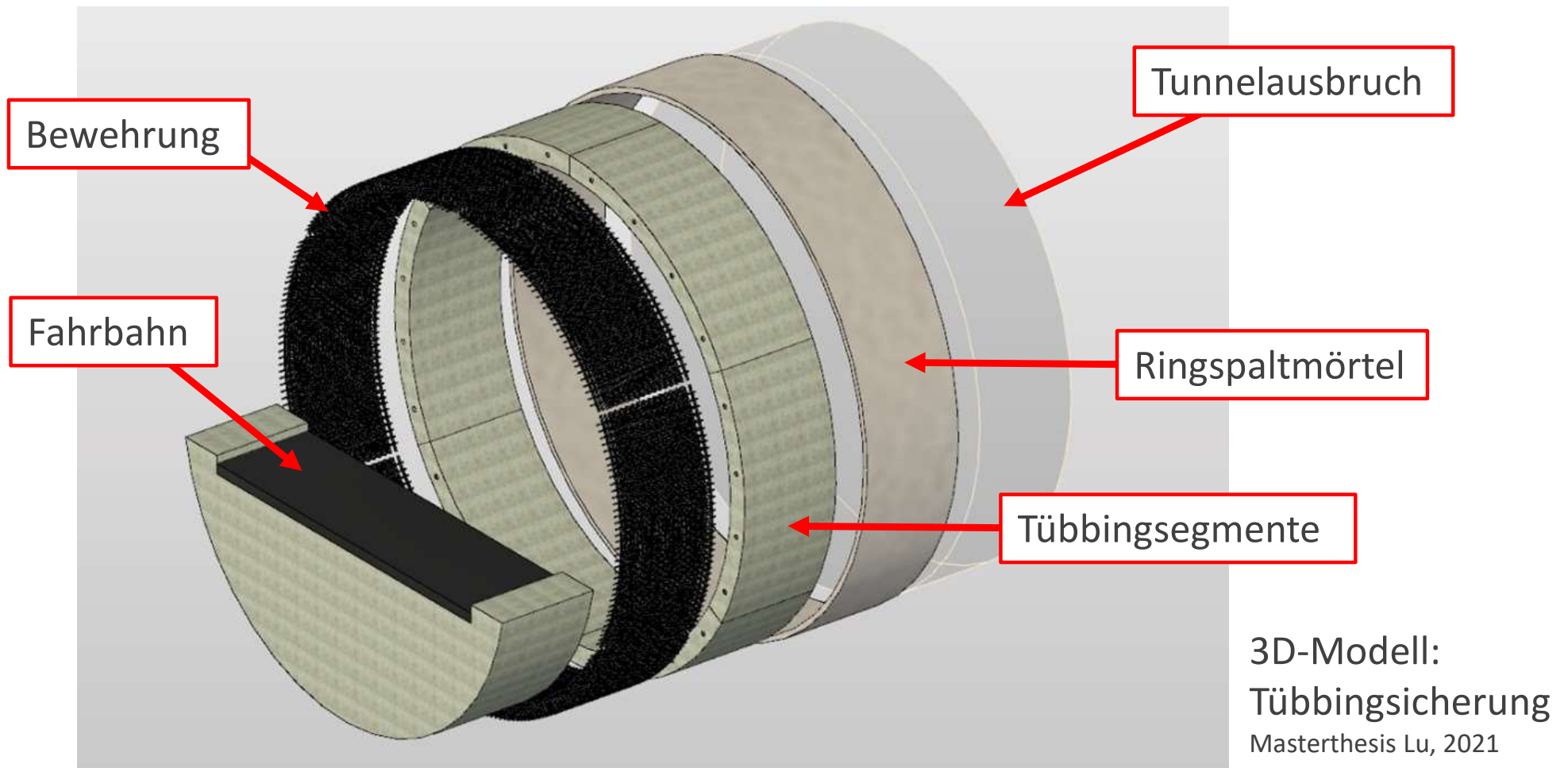
- Erweiterung 4D: Bauzeit / Simulation Bauprozess
- Erweiterung 5D: Bauwerkskosten
- Erweiterung 6D: Betrieb / Lebenszyklusdaten

Neue Dimensionen (kein Standard):

- Erweiterung 7D: z. B. Betriebskosten, Nachhaltigkeit
- Erweiterung 8D: z. B. Sicherheitsinformationen
- Erweiterung 9D: z. B. Umnutzung, Abbruch

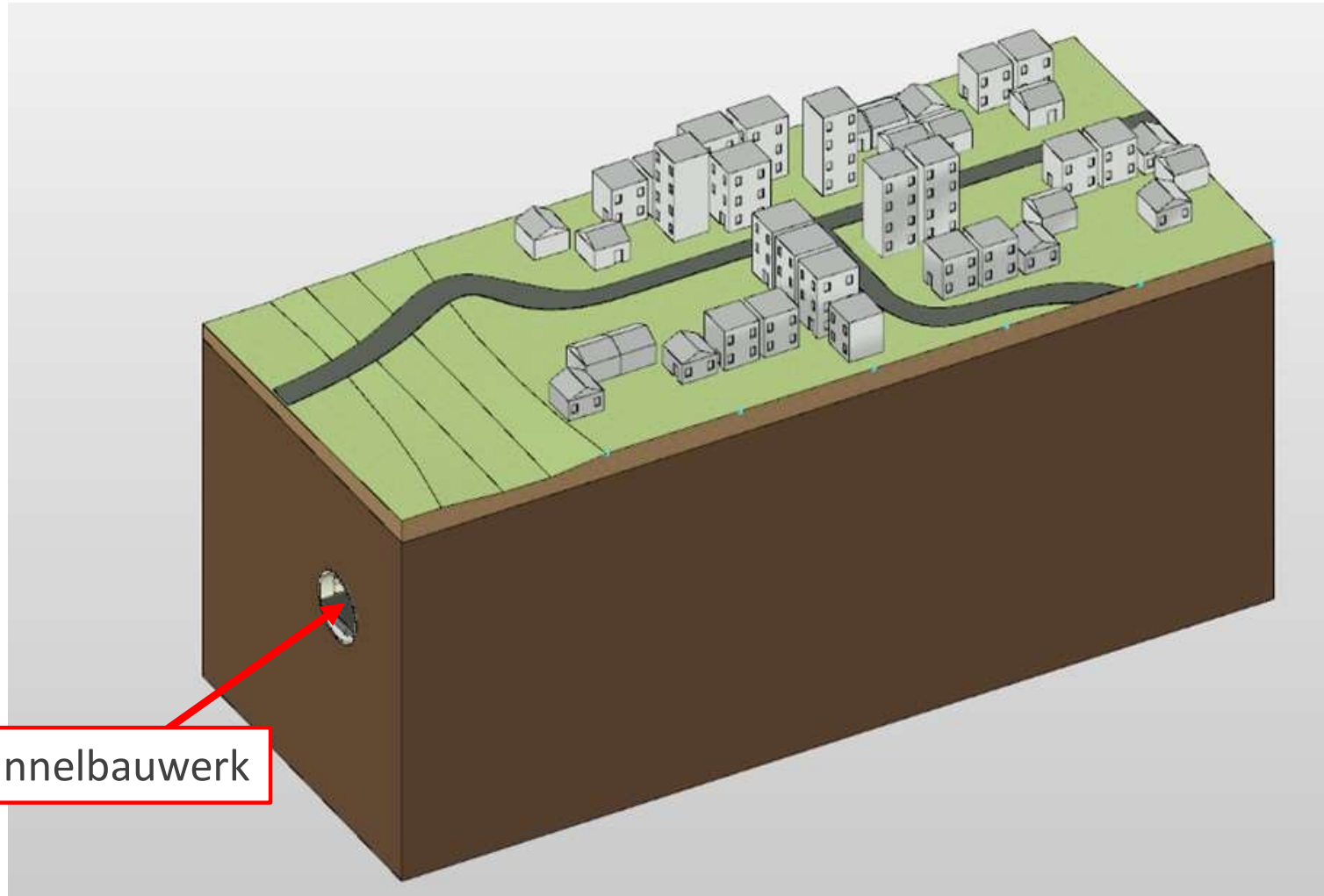
Building Information Modeling (BIM)

- Anwendungsbeispiel: Tunnel mit Tübbingsicherung



Building Information Modeling (BIM)

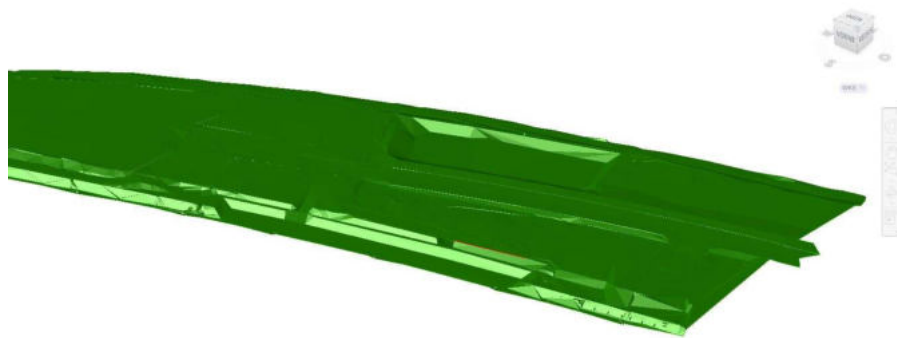
- Anwendungsbeispiel: Tunnel mit Tübbingsicherung



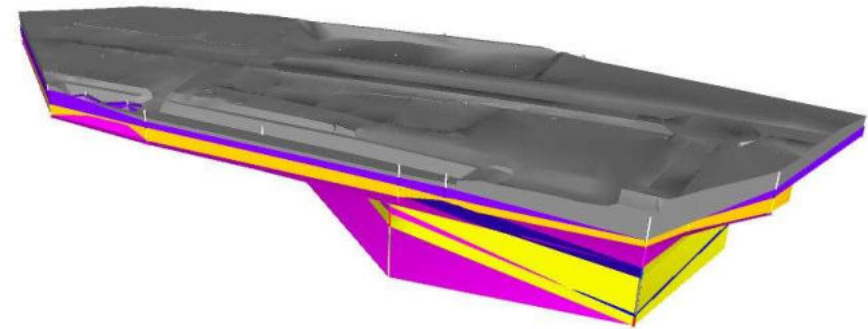
3D-Modell:
Gesamtmodell
Masterthesis Lu, 2021

Building Information Modeling (BIM)

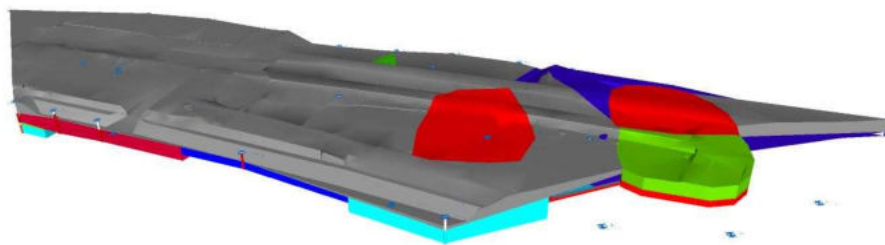
- Anwendungsbeispiel: Tiefe Baugrube



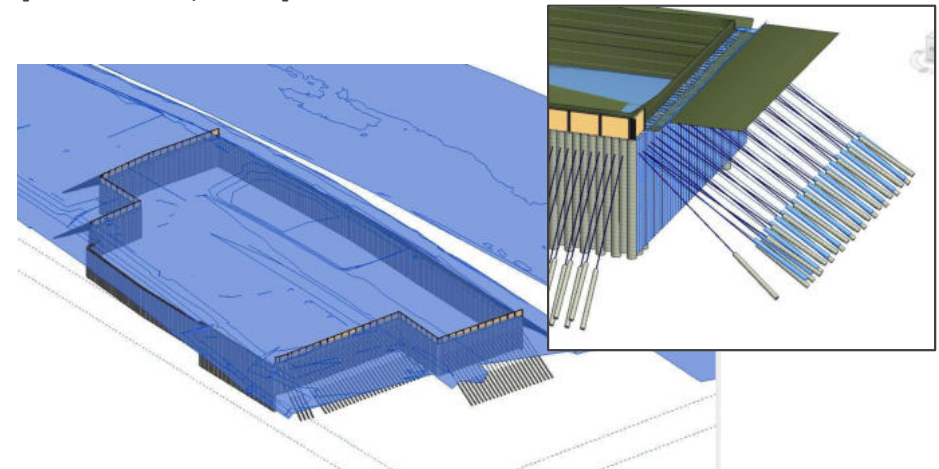
3D-Modell: Fachmodell Gelände
[CDM Smith, 2021]



3D-Modell: Fachmodell Baugrund
[CDM Smith, 2021]



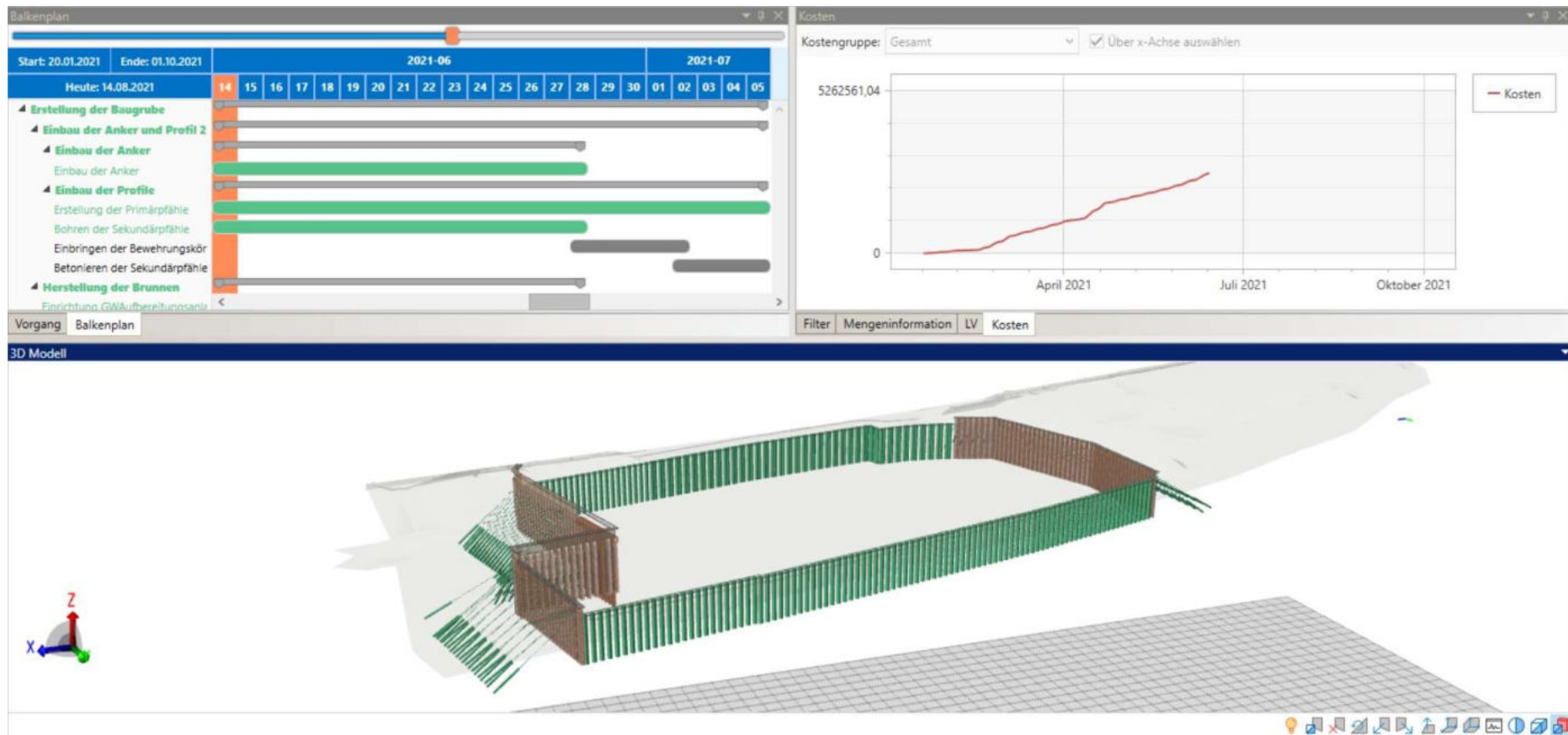
3D-Modell: Fachmodell Umwelt
[CDM Smith, 2021]



3D-Modell: Fachmodell Baugrube
[CDM Smith, 2021]

Building Information Modeling (BIM)

■ Anwendungsbeispiel: Tiefe Baugrube



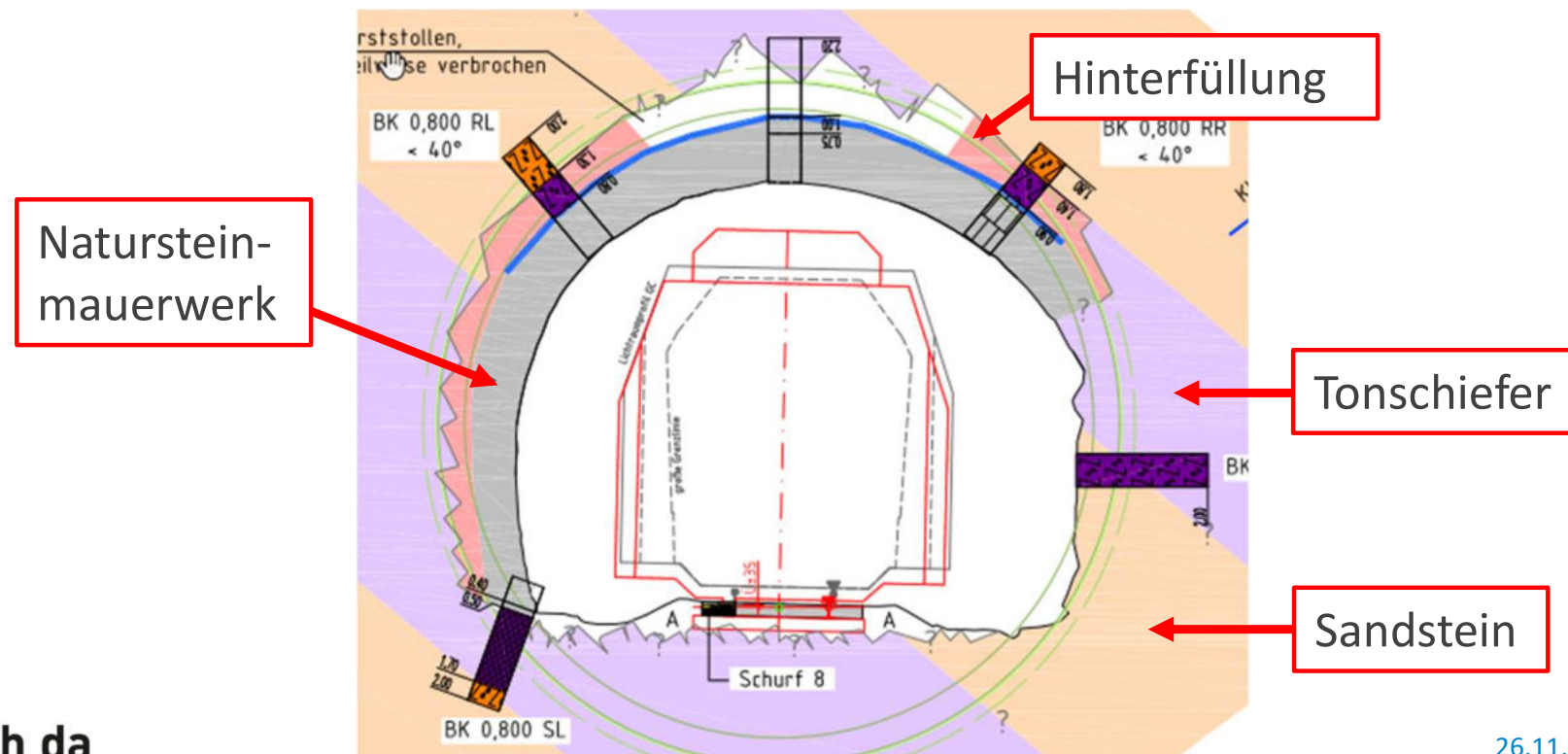
4D-Modell: Bauzeit + 5D-Modell: Baukosten

[CDM Smith, 2021]

Entwicklung eines „echten“ BIM-Modells „Horchheimer Tunnel“ Bauen im Bestand

Zielstellung

- Berechnung des Ausbruchsmassen
 - Komplexe Geometrien Ausbruchsquerschnitt bzw. Querschnitt Bestandstunnel
 - Verschiedene Baumaterialien (z. B. Mauerwerk, Hinterfüllung) und Felsarten (z. B. Sandstein, Tonschiefer)



Baugrundmodell

Baugrundmodell

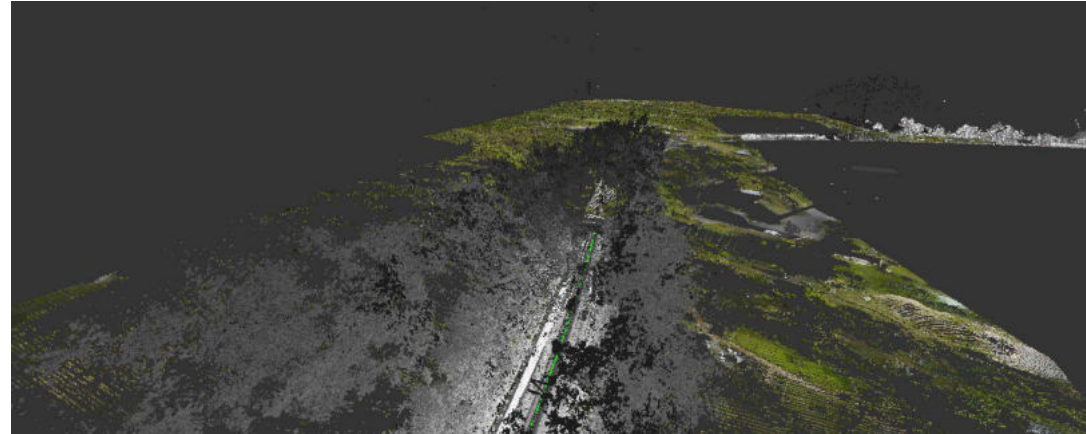
- Software
 - Civil 3D von Autodesk zum Erstellen der Modelle und Volumenauswertung
 - Hole BASE SI von Keynetix Limited (Bentley) zur Erstellung der Bohrprofile
 - Recap von Autodesk zur Bearbeitung der Punktwolken

Baugrundmodell

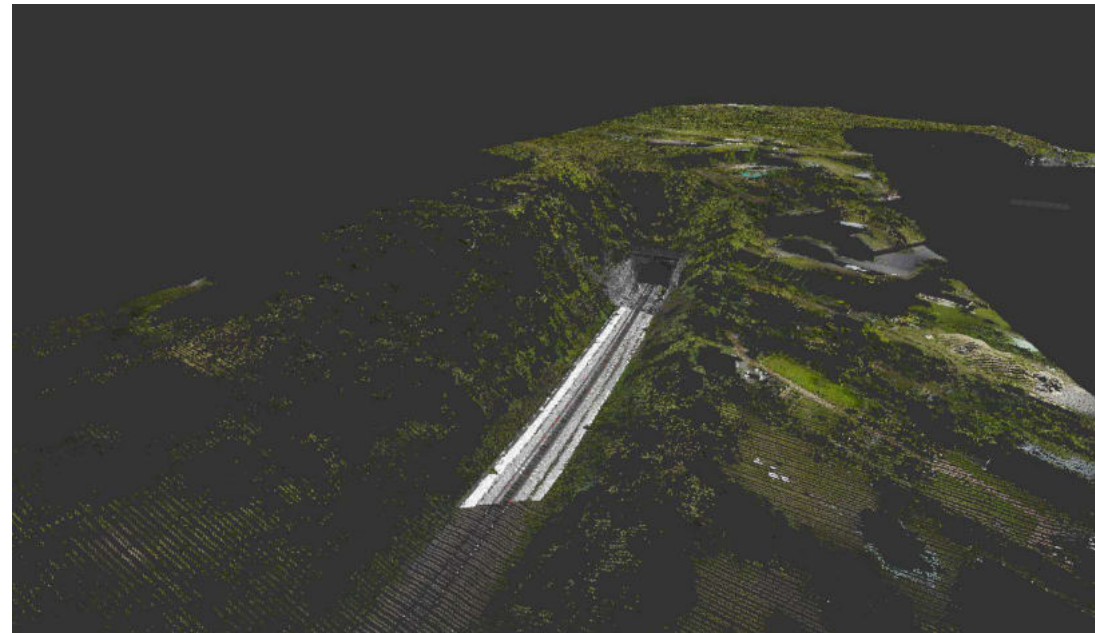
- Datenaufbereitung
 - Die ursprüngliche Punktwolke (3-D-Laserscan) der Geländeoberfläche beinhaltet 333.436.624 Punkte.
 - Die Punktwolke nach Bearbeitung beinhaltet 41.337.335 Punkte.
 - Nach der Bearbeitung wurde die Punktwolke in Civil 3D importiert.
 - Die Aufschlüsse wurden in Hole Base SI in eine Datenbank eingepflegt und anschließend als Volumenkörper in Civil 3D importiert.

Baugrundmodell

Nordportal als Punktwolke
(inkl. Vegetation und technischer
Ausbau der Bahntrasse)



Nordportal als Punktwolke nach
Bearbeitung
(ohne Vegetation und technischer
Ausbau der Bahntrasse)



Baugrundmodell

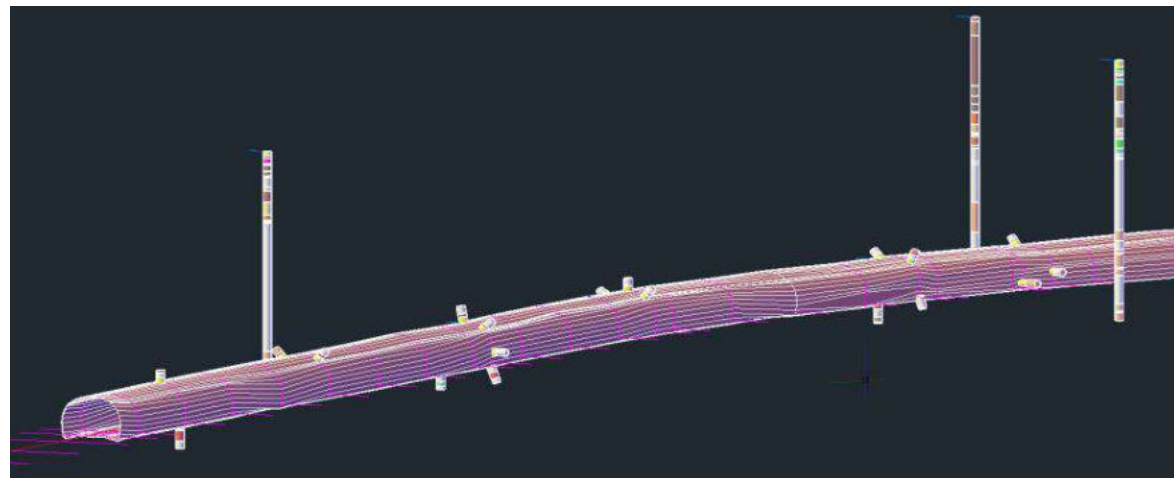
All Data

Location Details Orientation and Inclination

Location ID	Location Type	Status	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)	Latitude	Latitude Decimal (°)	Longitude Decimal (°)
BK 0.850 RR korrekt			5578541.40	3400527.39	85.03		49.6651851551	18.49
BK 11 korrekt	HY		5578490.44	3400507.30	80.38		49.664846823	18.48
BK 4 korrekt	HY		5578374.87	3400394.96	80.31		49.6629152787	18.48
BK 0.505 HL korrekt	HY		557874.53	3400477.89	81.24		49.6681827342	18.49
BK 0.505 UK korrekt	HY		5578872.83	3400473.56	85.10		49.6681725234	18.49
BK 0.505 VR korrekt	HY		5578871.47	3400471.02	78.49		49.668166813	18.49
BK 0.550 RL korrekt	HY		5578832.43	3400494.37	84.41		49.6677887833	18.49
BK 0.550 RR korrekt	HY		5578830.50	3400489.96	84.50		49.6677783754	18.49
BK 0.600 HR korrekt	HY		5578783.04	3400508.50	80.98		49.6673342411	18.49
BK 0.600 RR korrekt	HY		5578783.67	3400509.95	84.46		49.6673376817	18.49
BK 0.600 VL korrekt	HY		5578786.09	3400515.47	78.96		49.6673057502	18.49
BK 0.650 RL korrekt	HY		5578739.96	3400533.85	84.39		49.6669185922	18.49
BK 0.650 RR korrekt	HY		5578738.31	3400528.90	84.69		49.6669114127	18.49
BK 0.650 UK korrekt	HY		5578739.09	3400531.24	85.56		49.6669148141	18.49
BK 0.710 RL korrekt	HY		5578679.74	3400547.74	84.96		49.6663693245	18.49
BK 0.710 RR korrekt	HY		5578679.19	3400542.64	85.01		49.6663715302	18.49
BK 0.710 SR korrekt	HY		5578678.96	3400541.20	79.89		49.6663721994	18.49
BK 0.710 VL korrekt	HY		5578679.82	3400548.45	79.28		49.6663690240	18.49
BK 0.738 HL korrekt	HY		5578853.79	3400551.61	81.70		49.6661358186	18.49
BK 0.738 HR korrekt	HY		5578853.63	3400543.18	81.77		49.6661469078	18.49
BK 0.738 RL korrekt	HY		5578853.76	3400549.95	84.96		49.6661379999	18.49
BK 0.800 HR korrekt	HY		5578591.16	3400539.02	80.86		49.665047851	18.49
BK 0.800 RR korrekt	HY		5578589.91	3400545.68	85.53		49.6658389883	18.49
BK 0.800 RL korrekt	HY		5578590.78	3400541.06	85.53		49.6658883630	18.49
BK 0.800 SL korrekt	HY		5578589.63	3400547.20	79.96		49.6655791302	18.49
BK 0.800 UK korrekt	HY		5578590.33	3400543.45	86.20		49.665908804	18.49
BK 0.850 RL korrekt	HY		5578539.37	3400533.27	85.03		49.665156814	18.49
BK 0.900 HL korrekt	HY		5578495.45	3400515.05	81.41		49.6647946456	18.48
BK 0.900 SL korrekt	HY		5578495.49	3400514.97	80.38		49.6648006214	18.48
BK 12 korrekt	HY		5578499.51	3400507.18	81.40		49.6648140252	18.48

Search Project Explorer... Page 1 of 1 (41 of 41)

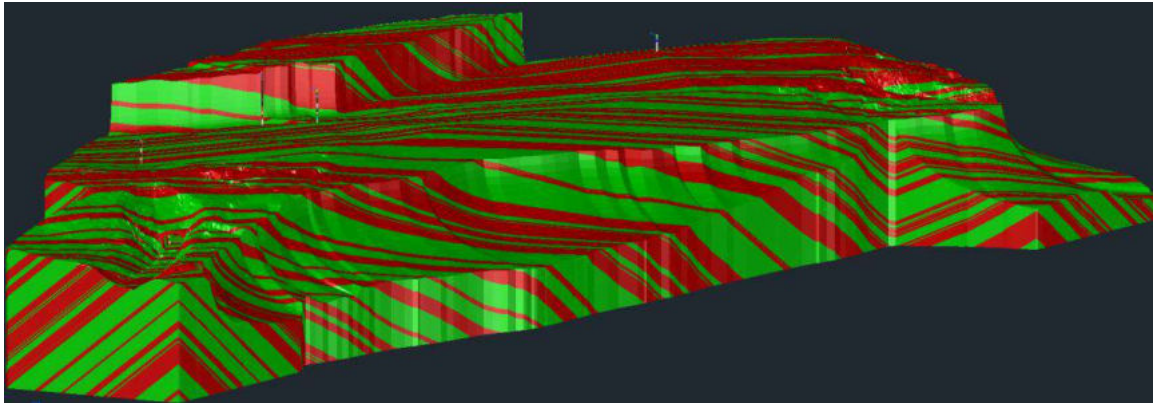
Nördlicher Abschnitt
Tunnel
Innenkante Tunnelschale
mit Erkundungsbohrungen



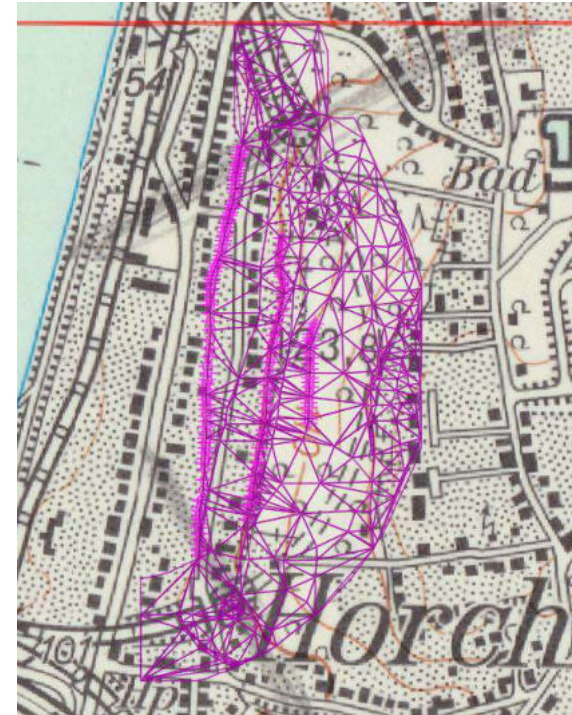
Baugrundmodell

- Digitale Geländemodelle
 - Auf Basis der Punktwolke der Geländeoberfläche sowie den Informationen aus den Aufschlüssen
- Baugrundmodell
 - In Form von 3D Volumenkörpern welche aus den zuvor erstellen digitale Geländemodellen erstellt wurden

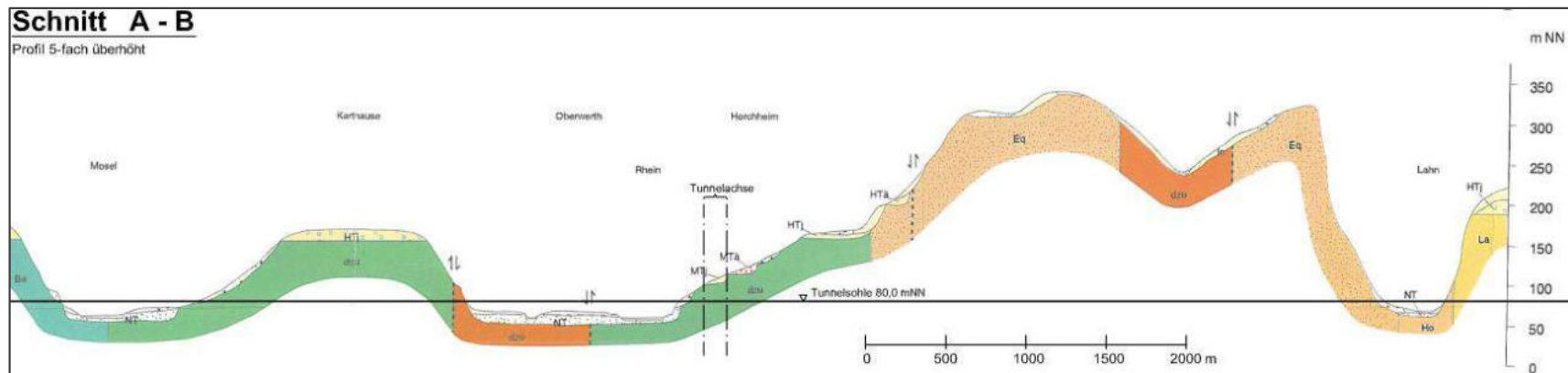
Baugrundmodell



Schicht Unterems: Schiefer (grün) / Sandstein (rot)

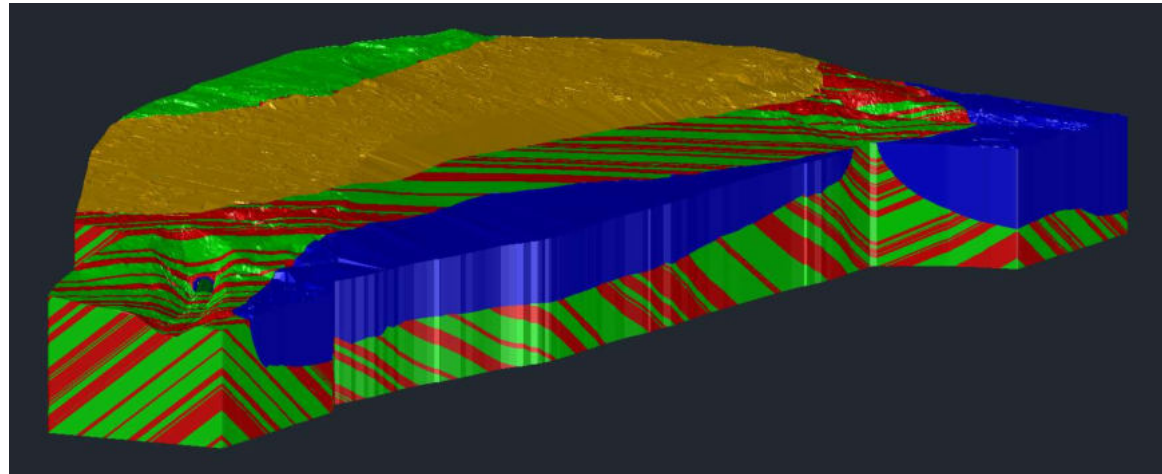


DGM aus Punktwolke der Geländeoberfläche

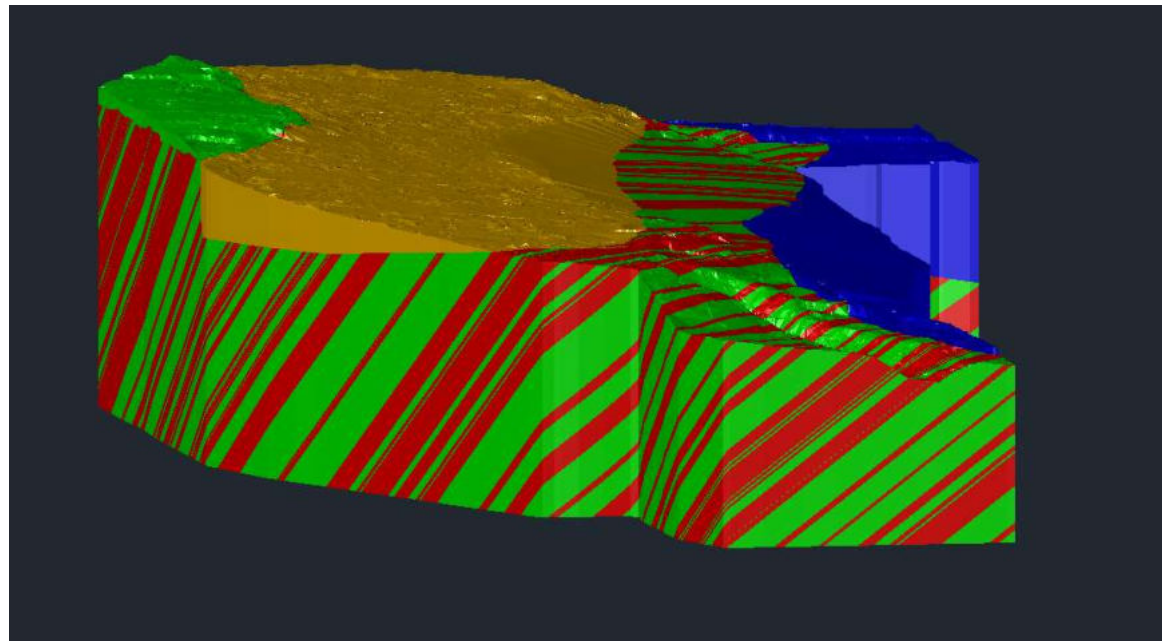


Baugrundmodell

Baugrundmodell
(Betrachtung von Nordwest)



Baugrundmodell
(Betrachtung von Norden)



Modell Bauwerksbestand

Modell Bauwerksbestand

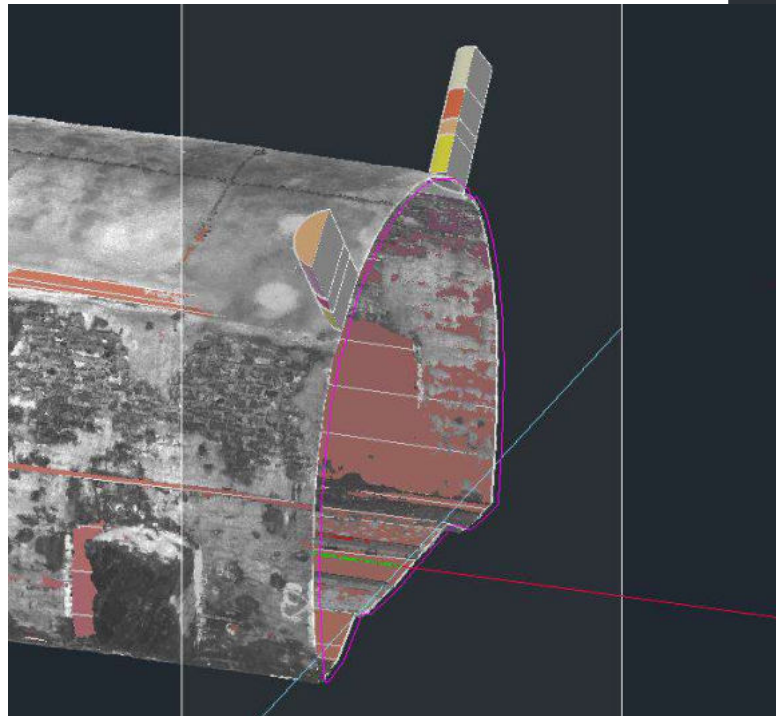
- Datenaufbereitung
 - Die Punktwolke der Tunnelinnenschale wurde in Civil 3D importiert.
 - Die Aufschlüsse im Tunnel wurden in Hole Base SI in eine Datenbank eingepflegt, ausgerichtet und anschließend als Volumenkörper in Civil 3D importiert.

Modell Bauwerksbestand

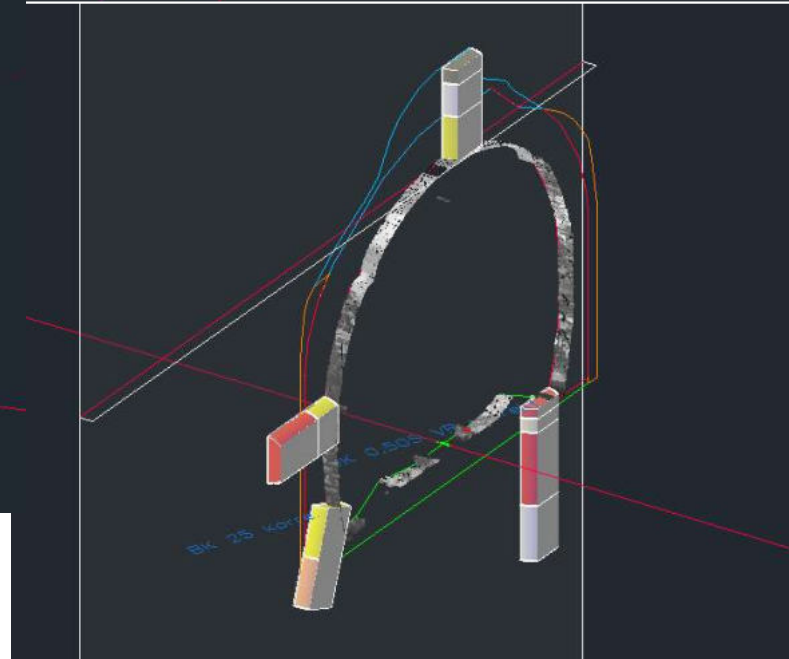
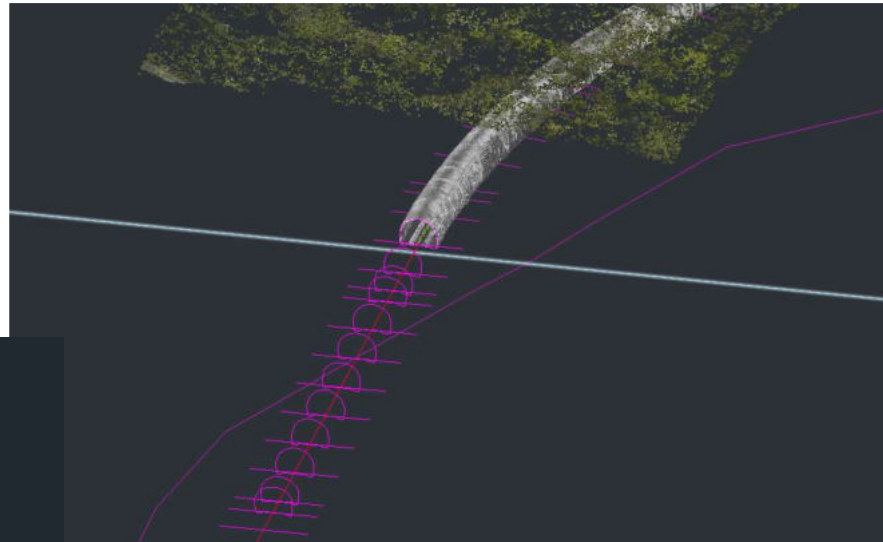
- Querprofile der Tunnelinnenschale
 - Auf Basis der Punktwolke der Innenkante der Tunnelinnenschale und den Aufschlüssen wurden entlang der Tunnelachse Querprofile erstellt.
 - Im Abstand von 15 m entstanden 50 Querprofile.
 - In den Querprofilen sind die Tunnelinnenschale, die Hinterfüllung, der Friststollen sowie der Aufbau der Bahnkörpers dargestellt.

Modell Bauwerksbestand

Schnitt Punktwolke /
Querschnitte der Tunnelschale



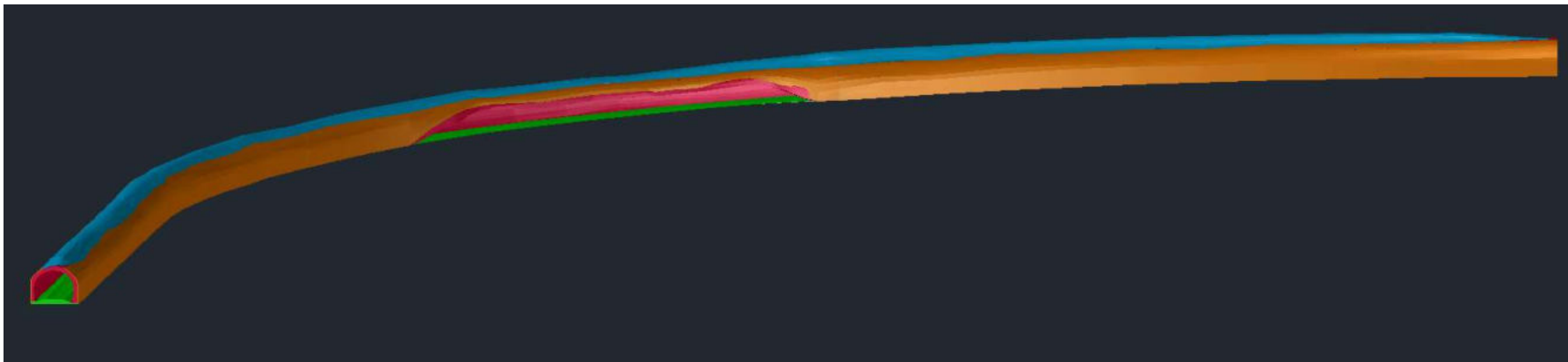
Innenkante Tunnelschale
und Erkundungsbohrungen



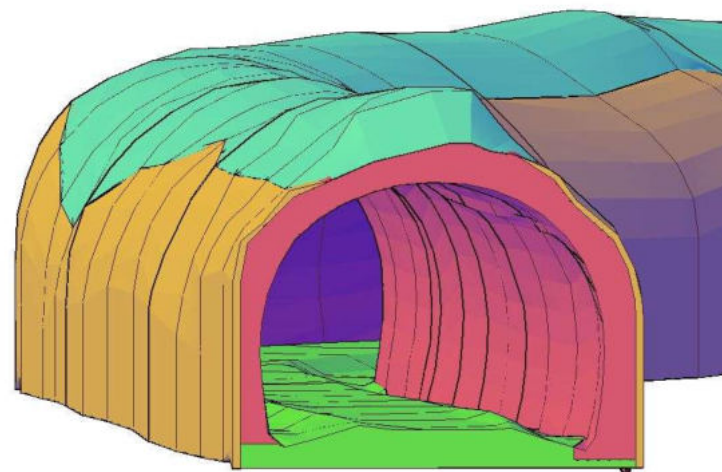
Querprofil
Bestandstunnel

Modell Bauwerksbestand

- Modell Bauwerksbestand
 - In Form von 3D Volumenkörpern auf Basis der Querprofile



Modell Bestandstunnel (Tunnelschale / Hinterfüllung / Tunnelsohle / Firststollen)



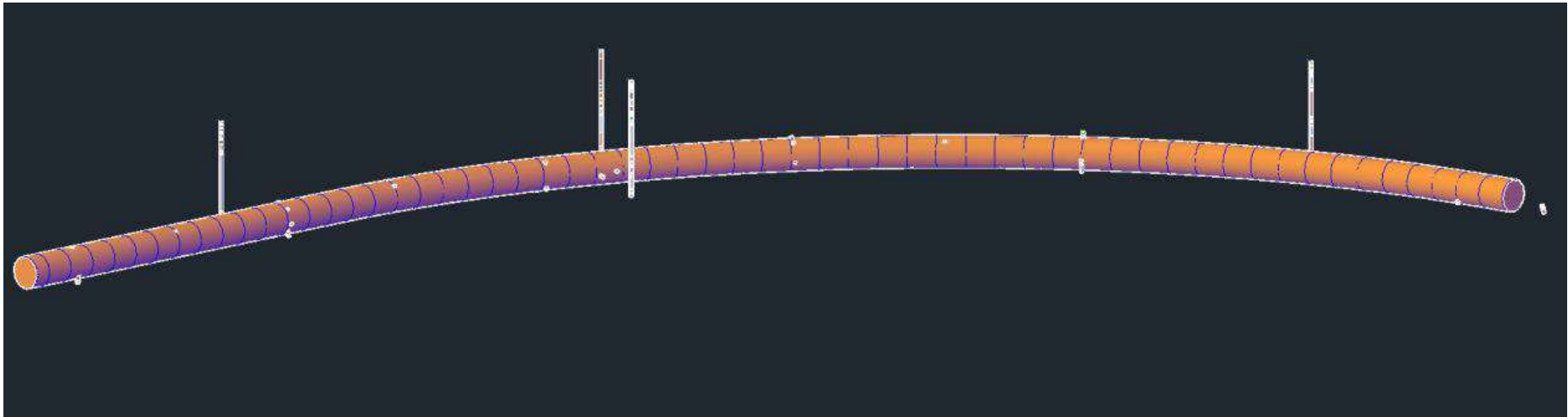
Detail
Bestandstunnel

Modell Neubau

Modell Neubau

- Erstellung einer neuen Tunnelachse
- Entlang der Achse wurde alle 15 m der Regelquerschnitt eingefügt.
- Modell Bauwerksbestand
 - In Form von 3D Volumenkörpern auf Basis der Querprofile

Modell Neubau



Volumenkörper Tunnelneuplanung

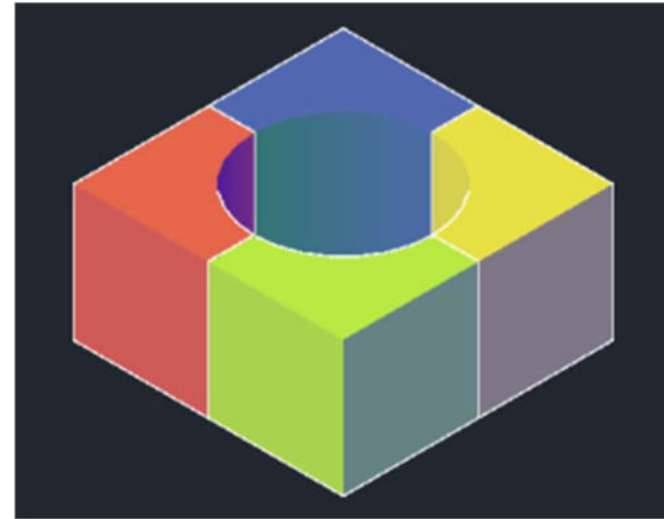
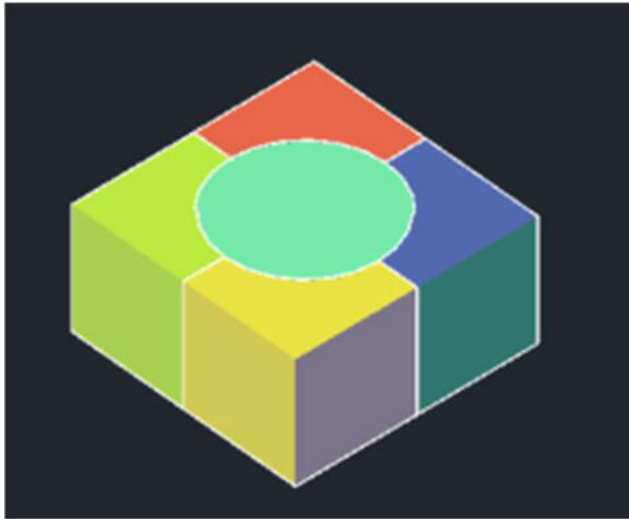
Verschneidung

Verschneidung

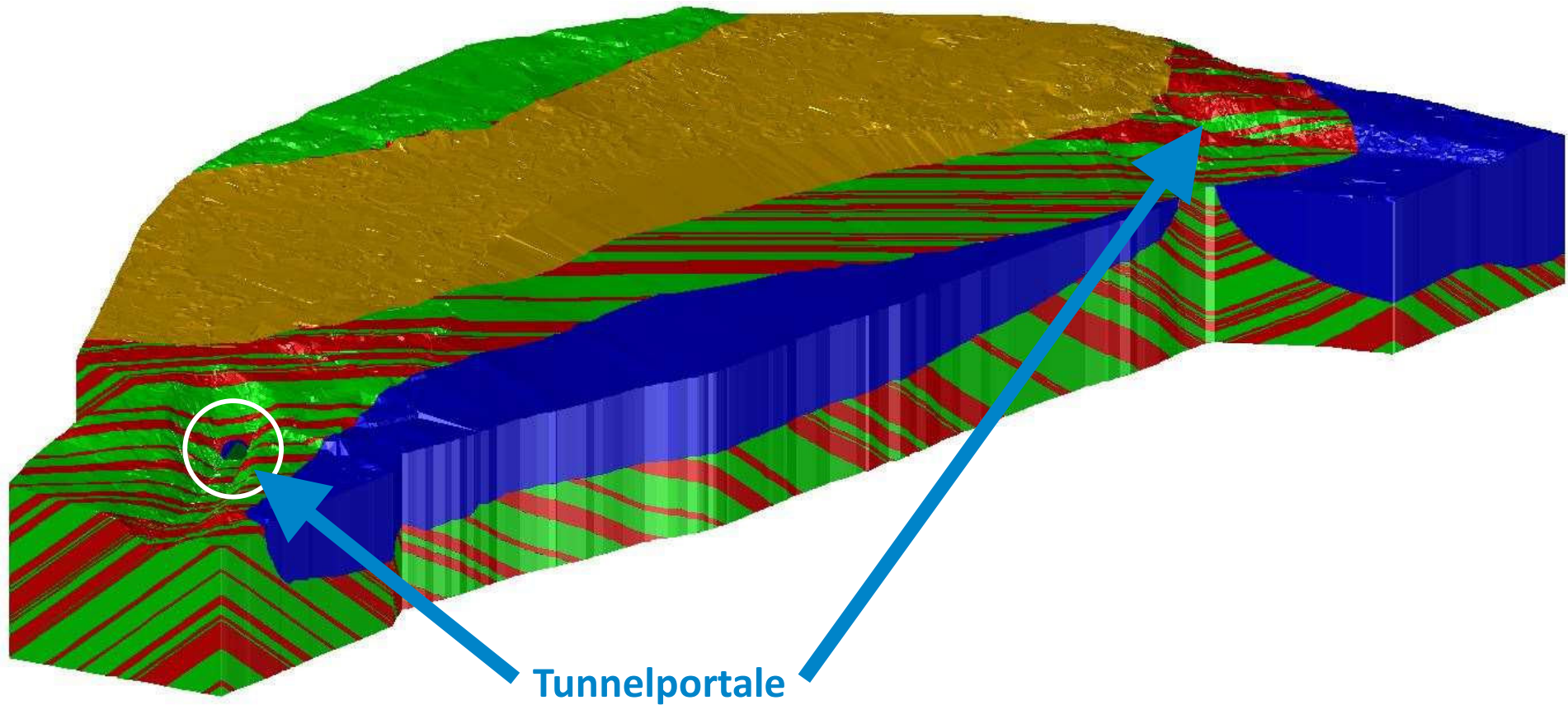
- Kombinieren der Modelle des Baugrundmodells und des Bauwerksbestands durch ausschneiden und kopieren
- Verschneidung Bauwerksbestand, Baugrundmodell und Modell Neubau zur Auswertung der Ausbruchsvolumen
- Auswertung der Volumina in Civil 3D

Verschneidung

- Testmodelle



Verschneidung



Gesamtmodell mit eingeladenem Bestandstunnel

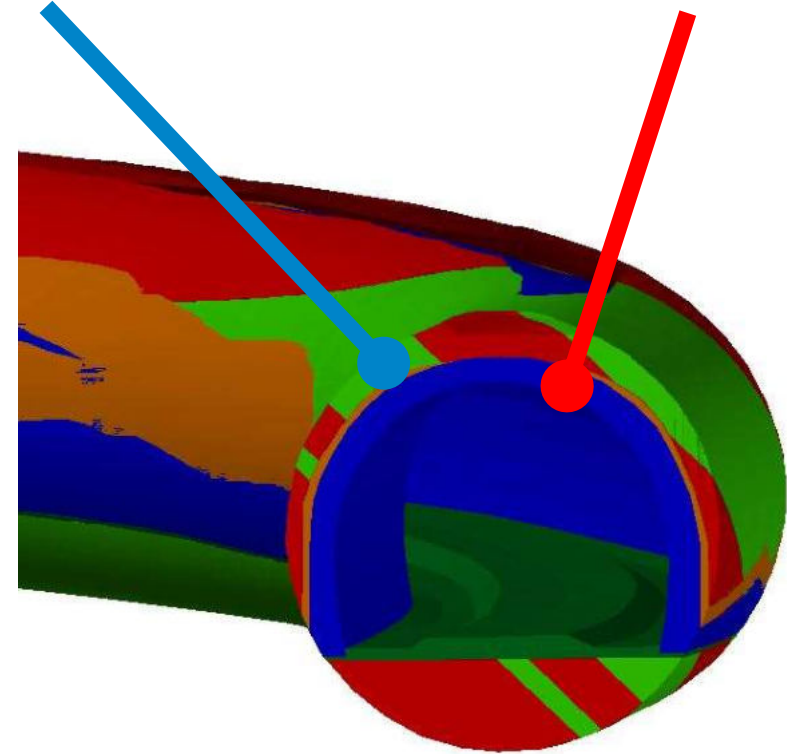
Verschneidung



Gesamtmodell mit eingeladenem Bestandstunnel und darüber gelegte Neuplanung

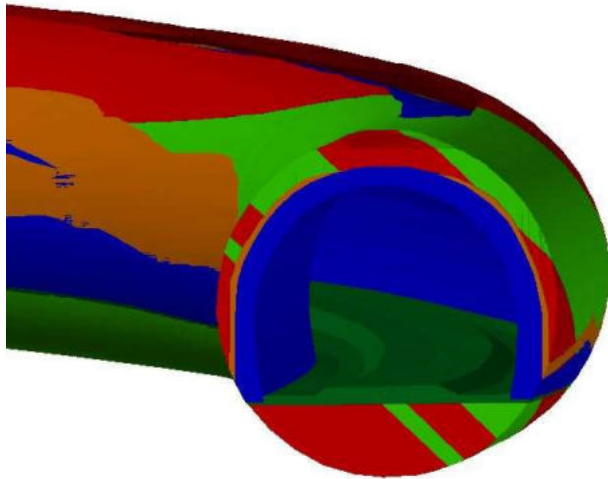
Neuplanung

Bestandstunnel



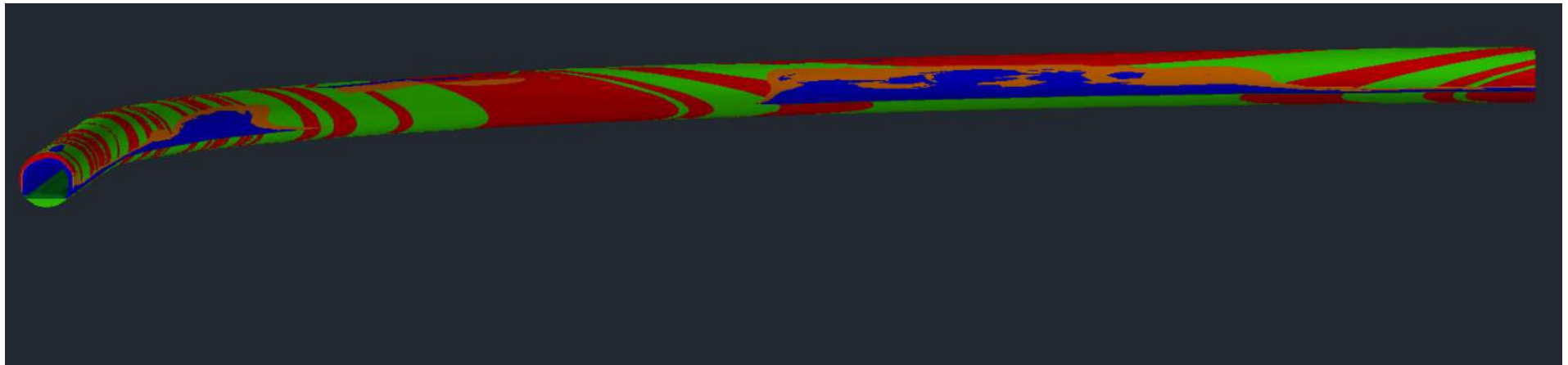
Detail Südportal Volumenkörper nach Verschneidung Bestandstunnel / Neuplanung

Verschneidung



----- FESTKÖRPER -----

```
Masse: 5133.357
Volumen: 5133.357
Begrenzungsrahmen: X: 3400398.498 -- 3400553.262
Y: 5578378.144 -- 5578894.189
Z: 76.037 -- 88.186
Schwerpunkt: X: 3400509.031
Y: 5578630.573
Z: 80.230
Trägheitsmomente: X: 1.598E+17
Y: 5.936E+16
Z: 2.191E+17
Deviationsmomente: XY: -9.738E+16
YZ: -2.298E+12
ZX: -1.401E+12
Trägheitsradien: X: 5578630.573
Y: 3400509.031
Z: 6533342.763
Hauptträgheitsmomente und K-Y-Z-Richtung um Schwerpunkt:
I: 43950388.327 entlang [0.765 0.644 0.002] J: -100678255.656 entlang [-0.644 0.765 -
0.002] K: -56841880.671 entlang [-0.003 0.000 1.000]
```



Volumenkörper nach Verschneidung Bestandstunnel / Neuplanung

Agenda



1. Projektvorstellung
2. Erkundungsarbeiten
3. Erkundungsergebnisse
4. BIM / Modellierung
5. Ergebnis und Ausblick

Ergebnis und Ausblick

- Angewandte Methodik ist sehr gut geeignet zur Berechnung der Ausbruchmassen.
- Methodik stellt den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik dar.
- Bauwerk und Baugrund müssen individuell modelliert werden.

Ergebnis und Ausblick

- Modell ist effizientes Werkzeug zum analysieren und optimieren.
 - In frühen Projektphasen lassen sich verschiedene Planungsvarianten (Querschnittsformen, Gradienten, Trassierung) auf Ausbruchmassen optimieren.
 - Bei Verschneidung mit Neubaumodell in 3D lassen sich auch Einbaumassen berücksichtigen wie z. B. Ausgleich von Überprofilen mit Spritzbeton.
 - ➔ Wird derzeit im Rahmen einer Masterarbeit durch hda und CDM Smith erarbeitet
 - Mit weiteren Attributen sind Prognosen und Optimierungen von Parametern wie Kosten, Zeit, Nachhaltigkeit oder entsorgungs- und arbeitsschutzrechtliche Fragestellungen.