



Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz



Südümfahrung Küssnacht

Betonkolloquium 23. und 25. Mai 2018

Bergseitig verankerte Stützmauer Räbmatt
Aus Sicht Projektverfasser und Unternehmer

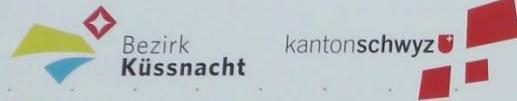
Andreas Zimmermann, Nikolaos Lavdas
INGE Küssnacht, Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Stefan Annen,
ARGE Küssnacht Süd, Anliker AG



Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz



Wir realisieren die
Südumfahrung
Küssnacht

Gesamtprojektleitung Tiefbauamt Kanton Schwyz
Dauer der Bauarbeiten 2015 – 2020
Informationen: www.sz.ch/suedumfahrung

ARGE Küssnacht Süd



INGENIEURE SÜDUMFAHRUNG

BG



Rothpletz | Lienhard

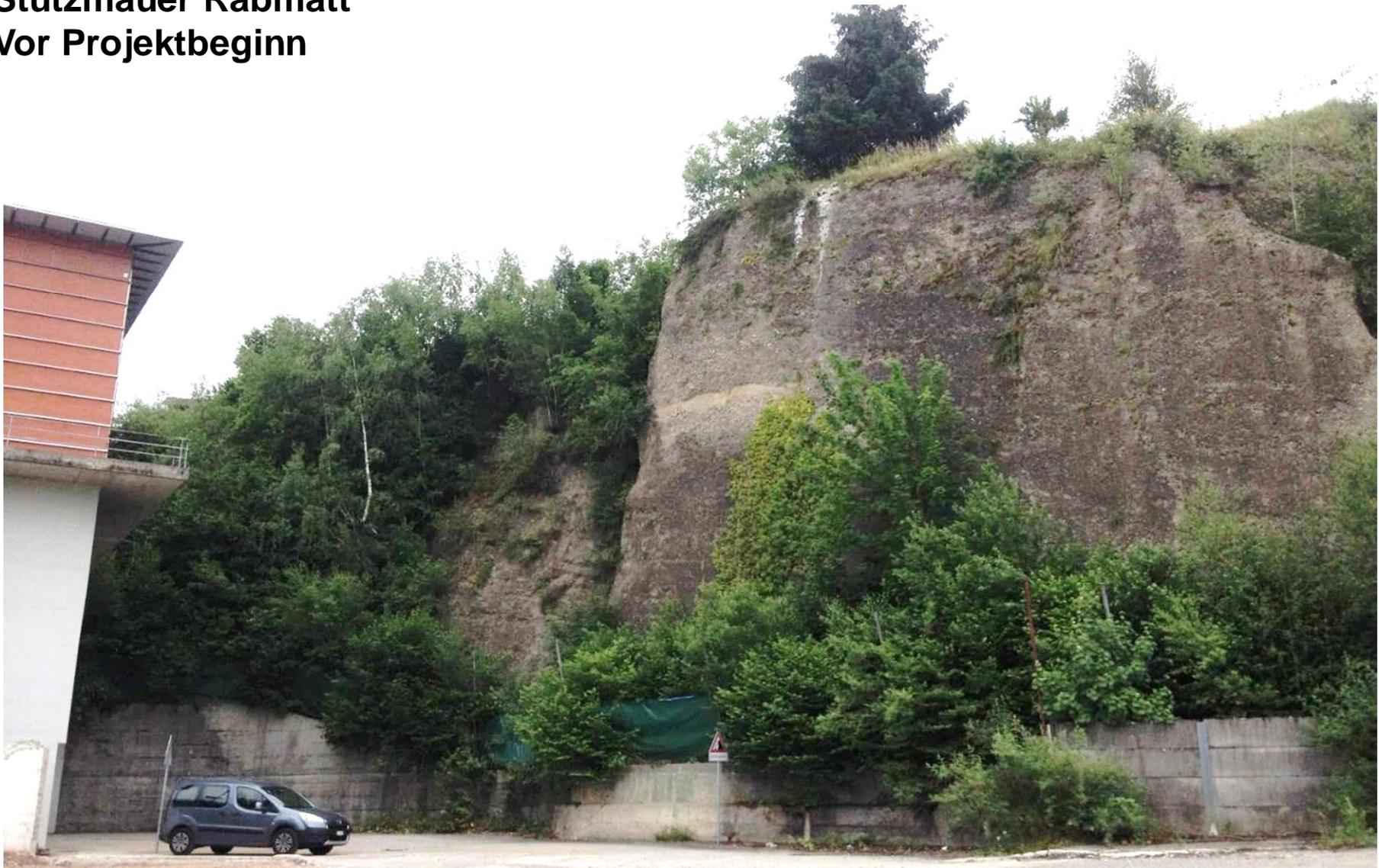


Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz



Stützmauer Rääbmatt Vor Projektbeginn





Stützmauer Rämatt Nach Fertigstellung





Küssnacht am Rigi, Seebodenalp aus 1900 m
1919, Walter Mittelholzer

ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz /
Fotograf: Mittelholzer, Walter / LBS_MH01-000523 / Public
Domain Mark



Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz 

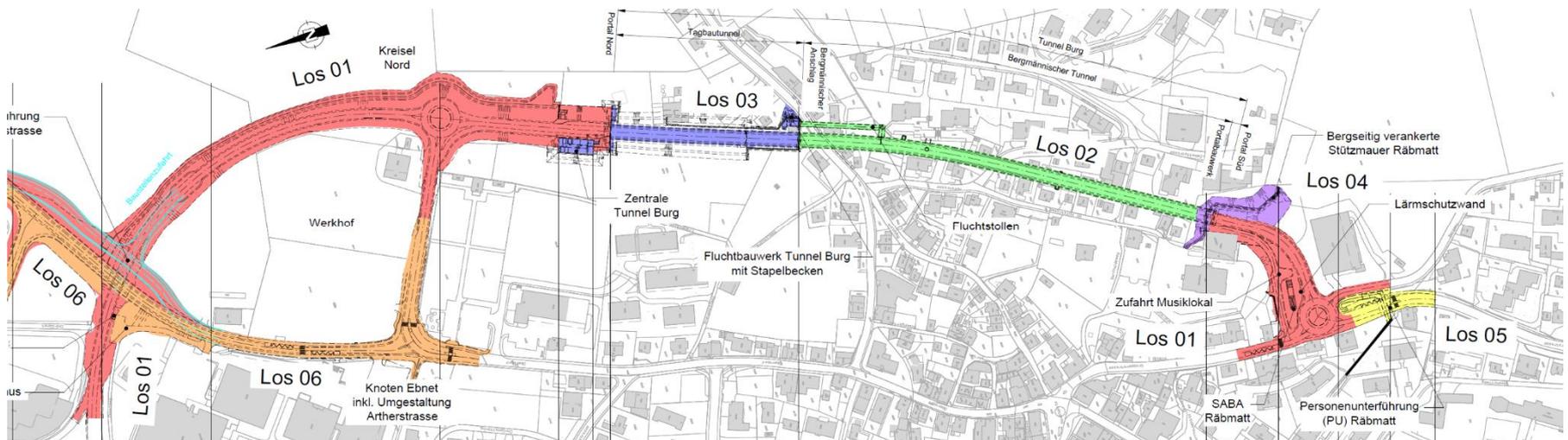


Küssnacht am Rigi, Tschümperlin Cimentröhrenfabrik
1934, Walter Mittelholzer

ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz / Fotograf:
Mittelholzer, Walter / LBS_MH03-0490 / Public Domain Mark



- Zurückversetzen der Steilböschung um wenige Meter
- Hohe Kosten (≈ CHF 4.5 Mio.)
- Linienführung fix, Lage Portal gegeben
 - Anhaltesichtweiten vor Knoten Rämatt
 - Gesamtlänge Tunnel Burg 500 m (Sprungkosten)
 - Politische Gründe (Musiklokal soll erhalten bleiben)
- Alternativen wie Steinschlaggalerie, Verschiebung Portal à keine Option





Bezirk
Küsnacht

kantonschwyz 



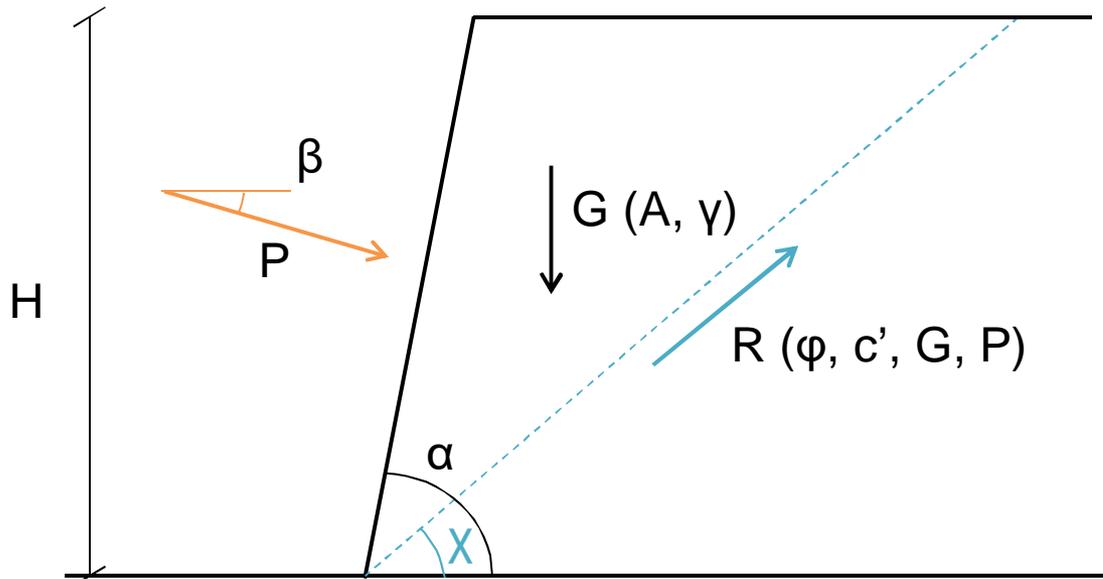


Geotechnische Prognose

- Raumgewicht $\gamma_k = 23 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\varphi_k = 36.4^\circ$
- Kohäsion $c' = 0\text{-}30 \text{ kPa}$
 - «Technische Kohäsion» infolge hoher Lagerungsdichte, geht bei Auflockerung vollständig verloren
 - Rückrechnung ergab $c' \geq 48 \text{ kPa}$
- Ausziehungswiderstand
 - ungespannte Anker (Bodennägel) $R_{a,k} = 40 - 50 \text{ kN/m}$
 - vorgespannte Anker $R_{a,k} = 1'000 - 1'200 \text{ kN}$

Konzept

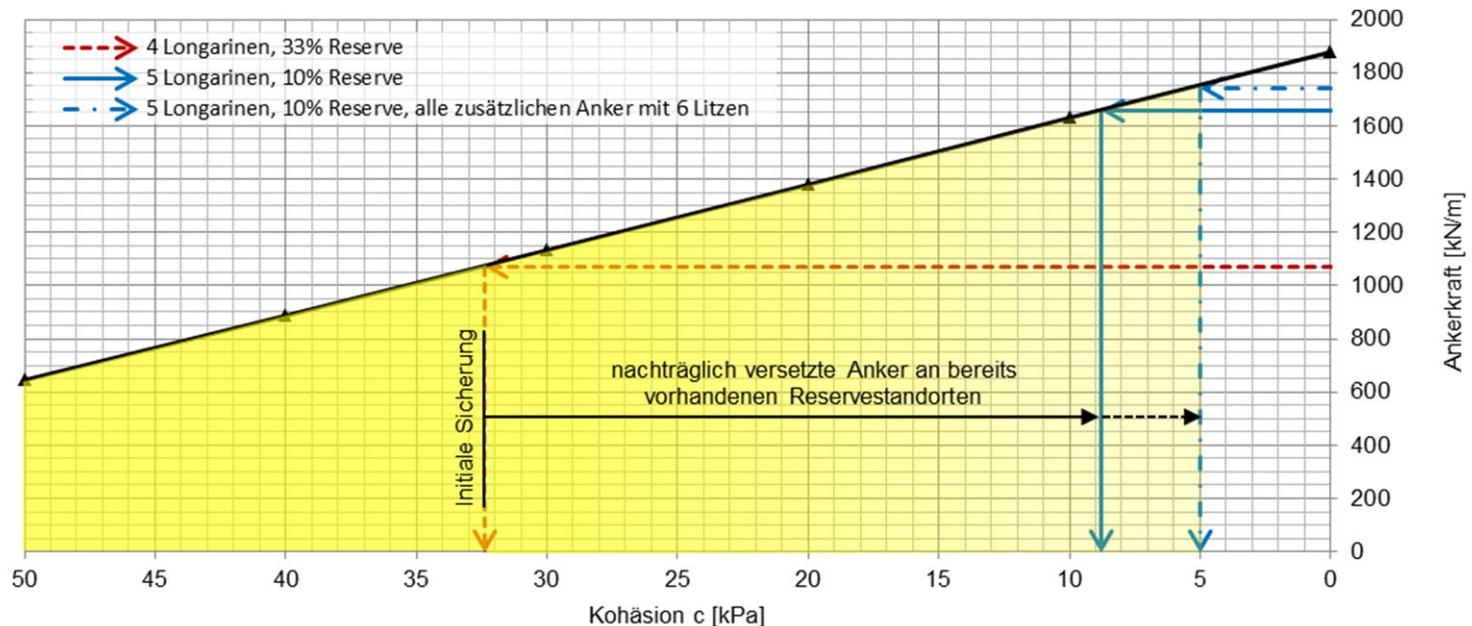
- Auflockerungen möglichst vermeiden
 - Aufbringen einer horizontalen Stützkraft durch permanente, vorgespannte Anker
 - Anordnung Anker in mehreren Longarinen über gesamte Fläche verteilt
- Anwendung der Beobachtungsmethode
 - Reduzierte Partialsicherheitsbeiwerte
 - Konsequente messtechnische Überwachung
 - Einführung duktiler Elemente (ungespannte Anker)
- Grundsätzlicher Ablauf: von oben nach unten
 - Aushub
 - Erstsicherung (Nagelwand)
 - Vorspannte Anker
 - Nächste Etappe

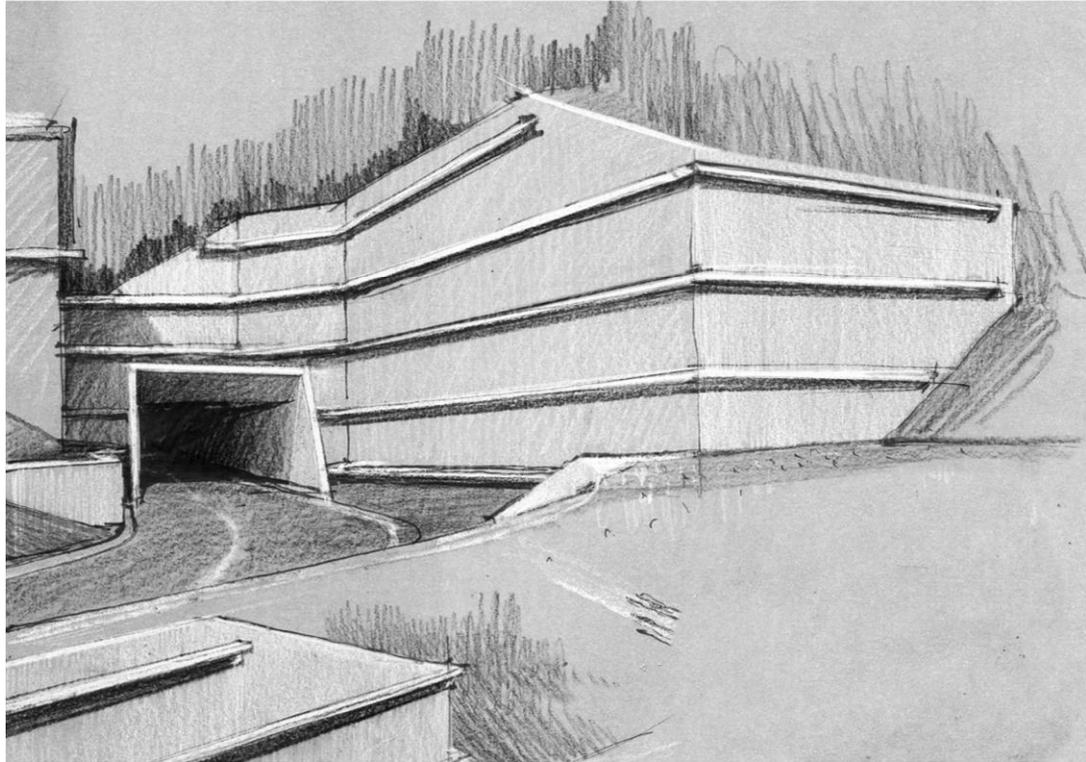


- A – Fläche des Bruchkörpers
 - H (21 m)
 - α (81°)
- G – Gewicht des Bruchkörpers
 - γ (23 kN/m^3)
- P – Ankerkräfte
 - β (10° , Ankerneigung)
- R – Rückhaltende Kräfte
 - φ (36.4°)
 - c' (var.)
 - χ (var.)

- «unendlich lange Böschung»
- Bruchmechanismus vorgegeben, ebene Gleitfläche
- Durch Variation der Neigung der Gleitfläche (Winkel χ) Ermittlung des kritischen Zustands
- Rückrechnung: $E_d = R_d \quad (P=0)$
- Dimensionierung: $E_d \leq R_d / \gamma_R + \Delta R_d$

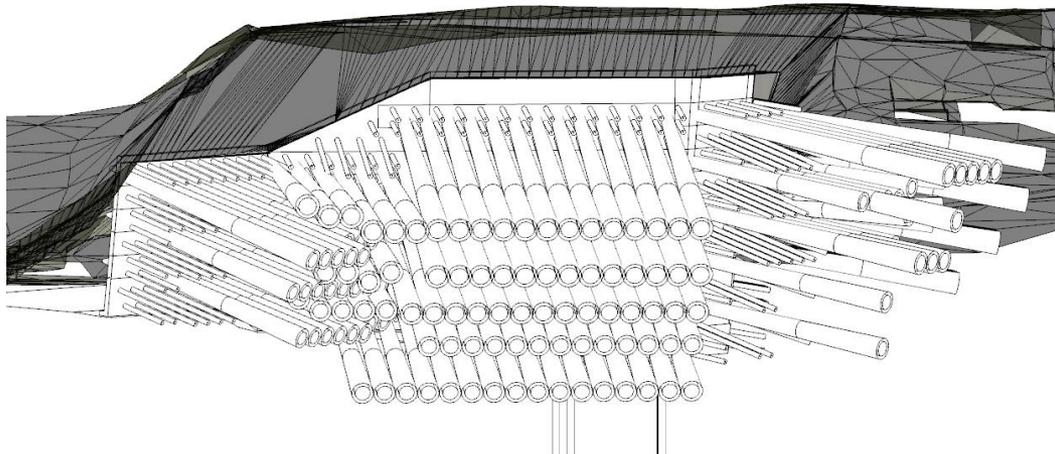
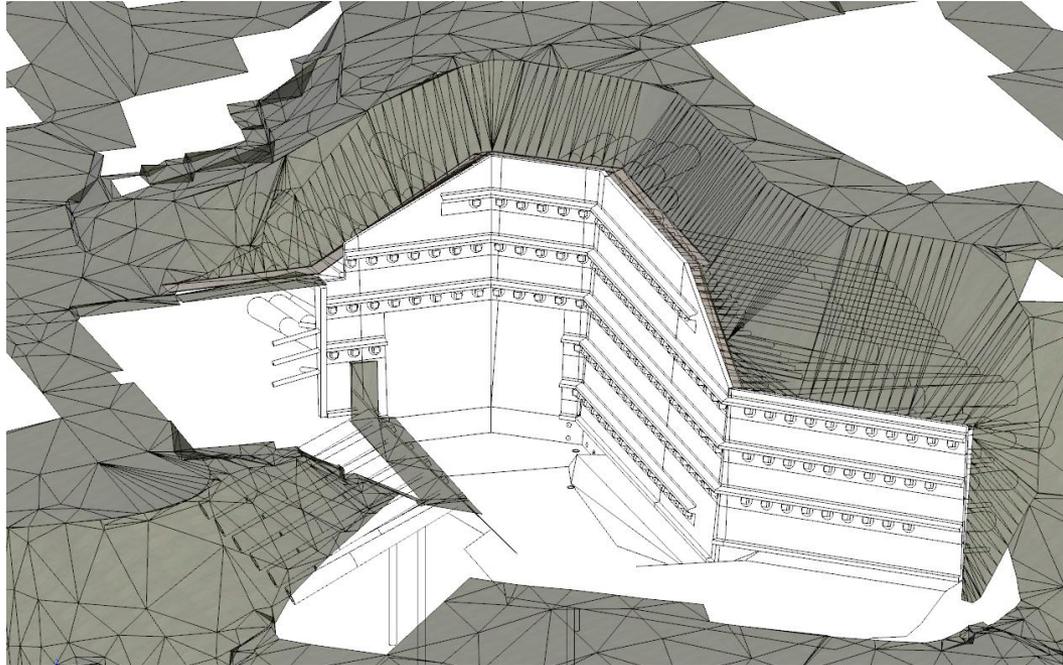
- $E_d \leq R_d / \gamma_R + \Delta R_d$ (GZ Typ 3)
- Beobachtungsmethode, Bestimmung der charakteristischen Werte aus Rückrechnung
 - $\gamma_\phi = \gamma_c = 1.0$ (SIA 267, 5.3.2.4)
 - Modellunschärfe, $\gamma_R = 1.20$ (SIA 267, 5.4.4.2 und 14.5.3.5)
- Erforderliche Ankerkraft als Funktion der (langfristig) vorhandenen Kohäsion





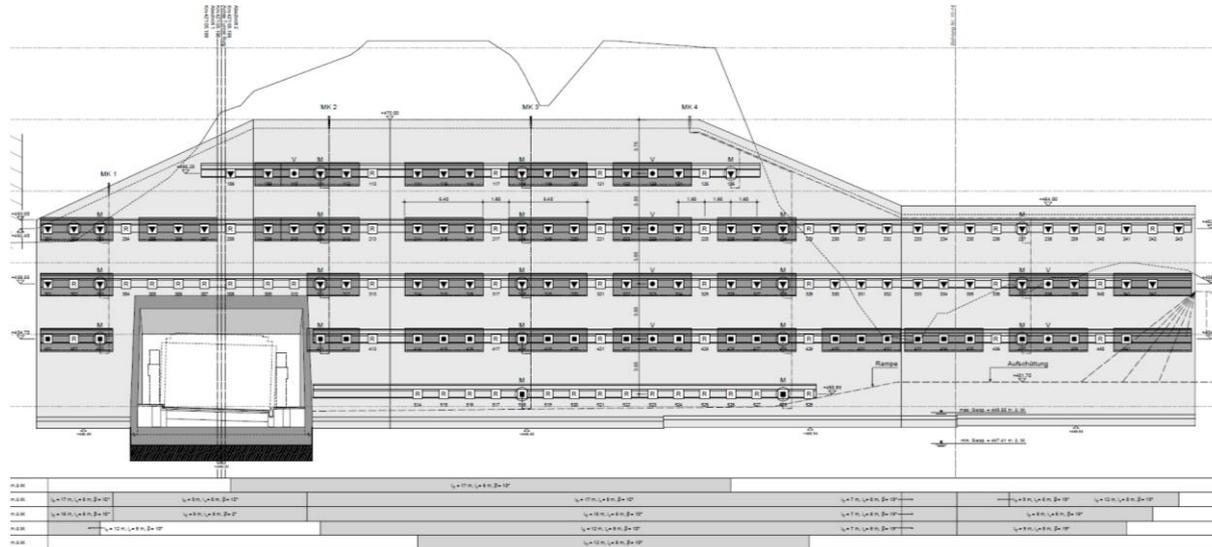
Gestaltung (E. Imhof)

- Anordnung Anker in horizontalen Longarinen
- Eine Stützmauer mit einer Oberfläche, keine Bermen
- Integration Portalbauwerk in Stützmauer
- Schutzdächer sehr markant, Anforderung Dauerhaftigkeit, nicht Gestaltung



- Ankerraster horizontal: 1.8 m
- Neigung 2-19°
- Freie Ankerlänge 7-12 m
- Länge Verankerungskörper 8 m
- Vorgabe Bohrgenauigkeit 2 %

- Ankeranzahl
 - Reihe 1: 16 (+3 Reserve)
 - Reihe 2: 33 (+8 Reserve)
 - Reihe 3: 28 (+11 Reserve)
 - Reihe 4: 25 (+9 Reserve)
 - Reihe 5: 14 (+3 Reserve)
 - Total: 116 (+34)



Bauprojekt/Ausschreibung

- Böschungabtrag mit Erstsicherung (Nagelwand)
 - Arbeitsplattform
 - «duktils Element» (Beobachtungsmethode)
- Longarinen aufgelöst, vorgefertigte Elemente
 - Anker (Festsetzkraft 558 bis 670 kN)
 - Ankerversuche (Prüfkraft bis 1'064 kN)
- Ausfachungen und Schutzdächer nachträglich

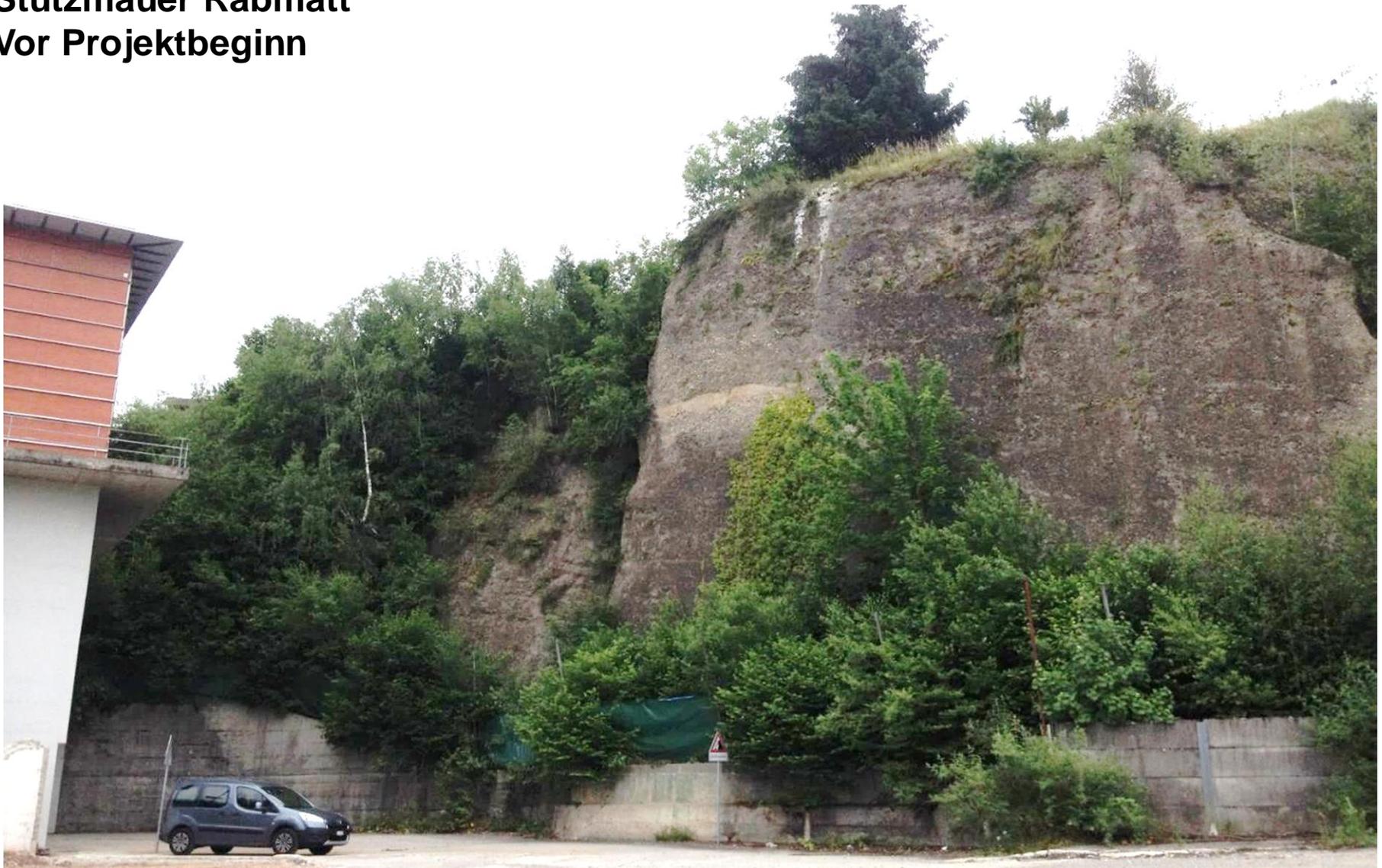


Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz



Stützmauer Räbmatt Vor Projektbeginn



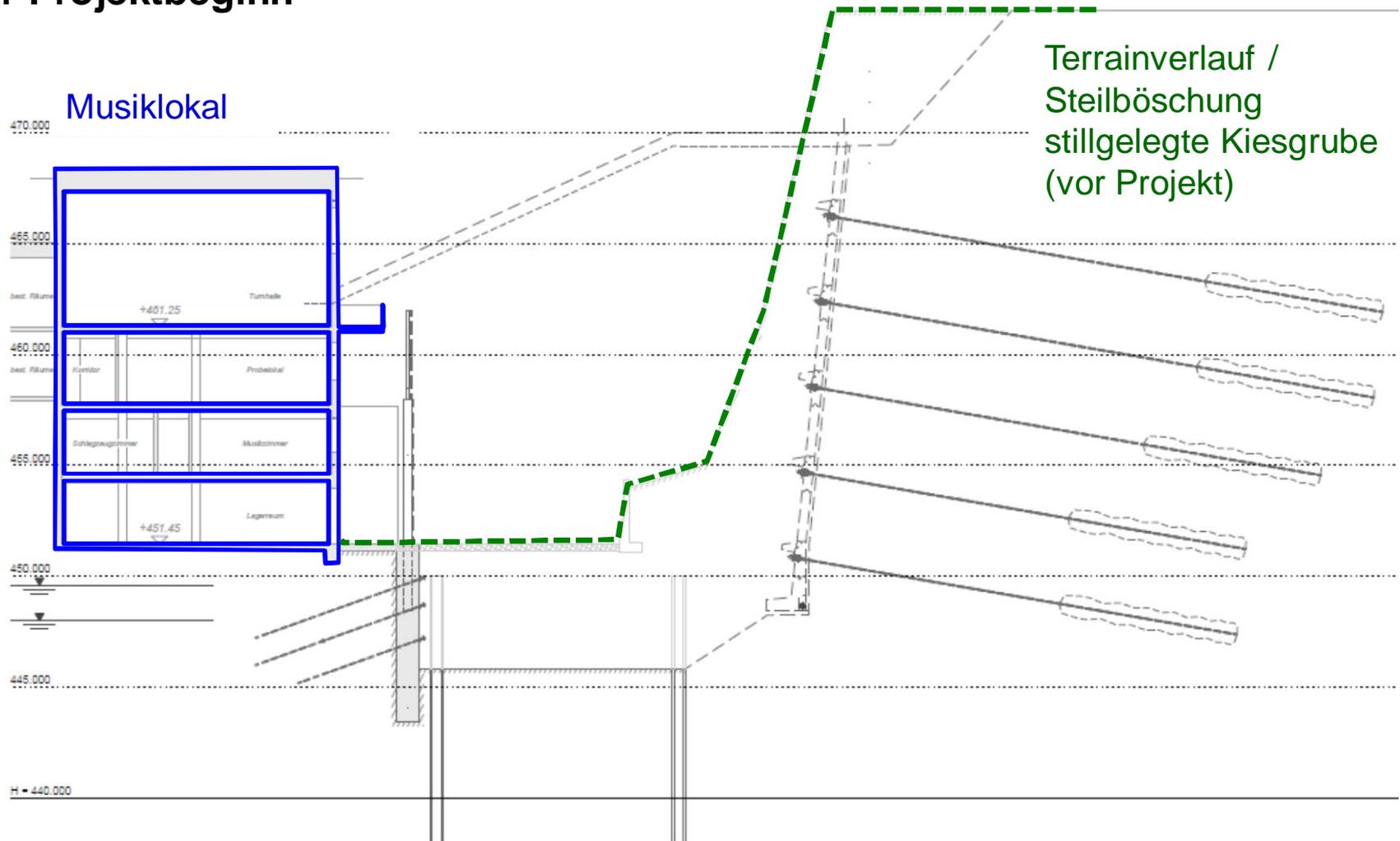


Stützmauer Rämatt Nach Fertigstellung



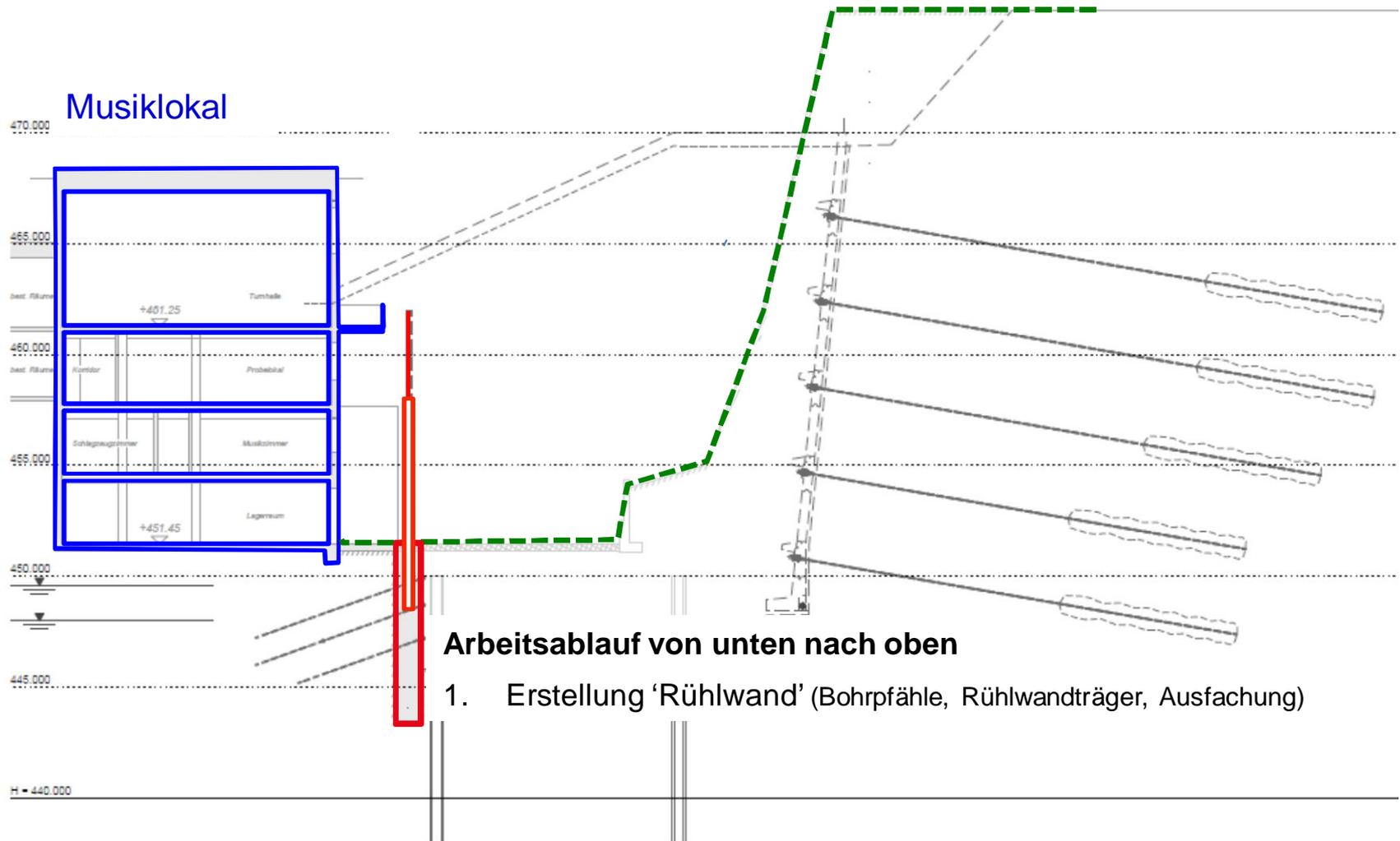


Projektdarstellung Vor Projektbeginn

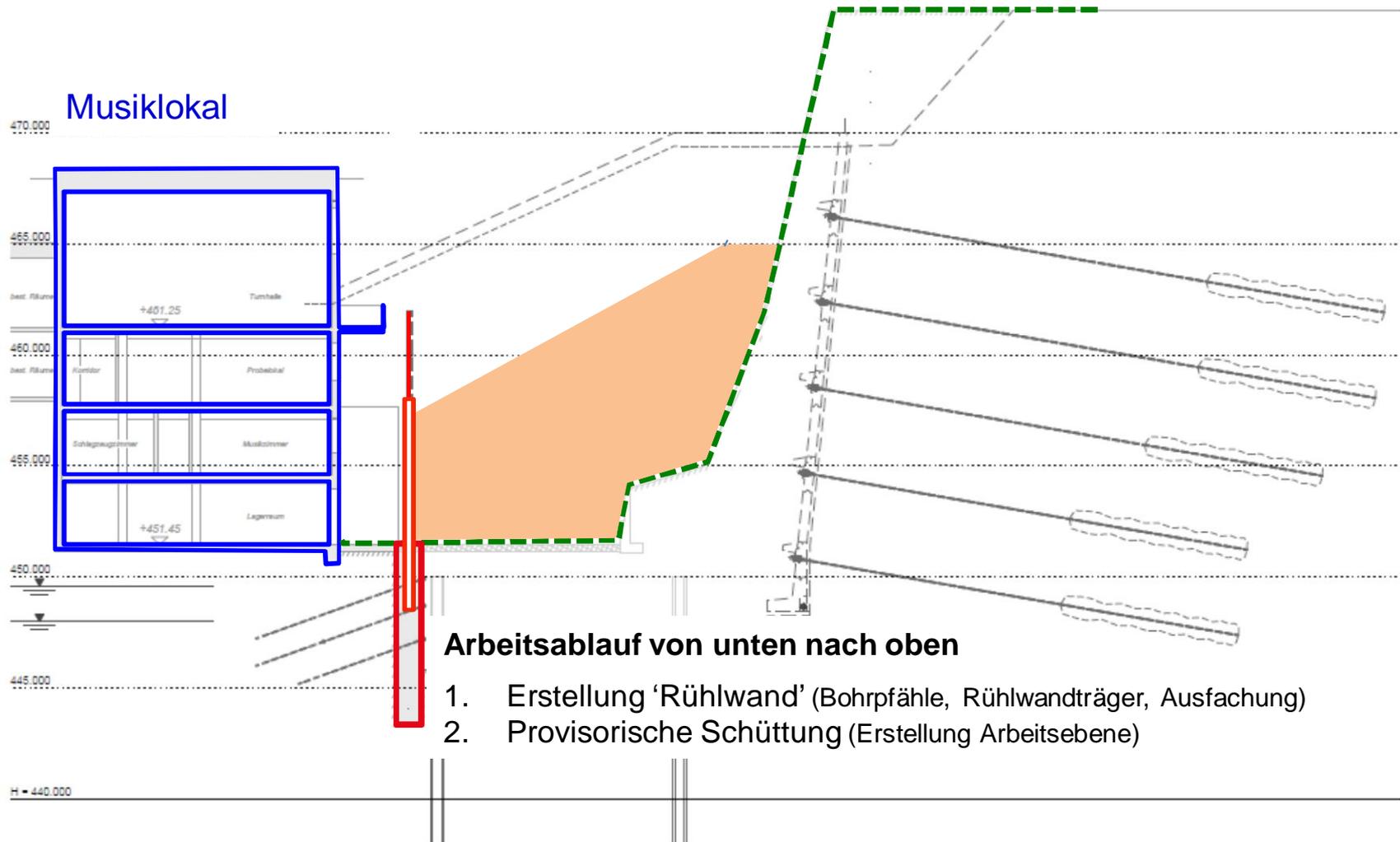




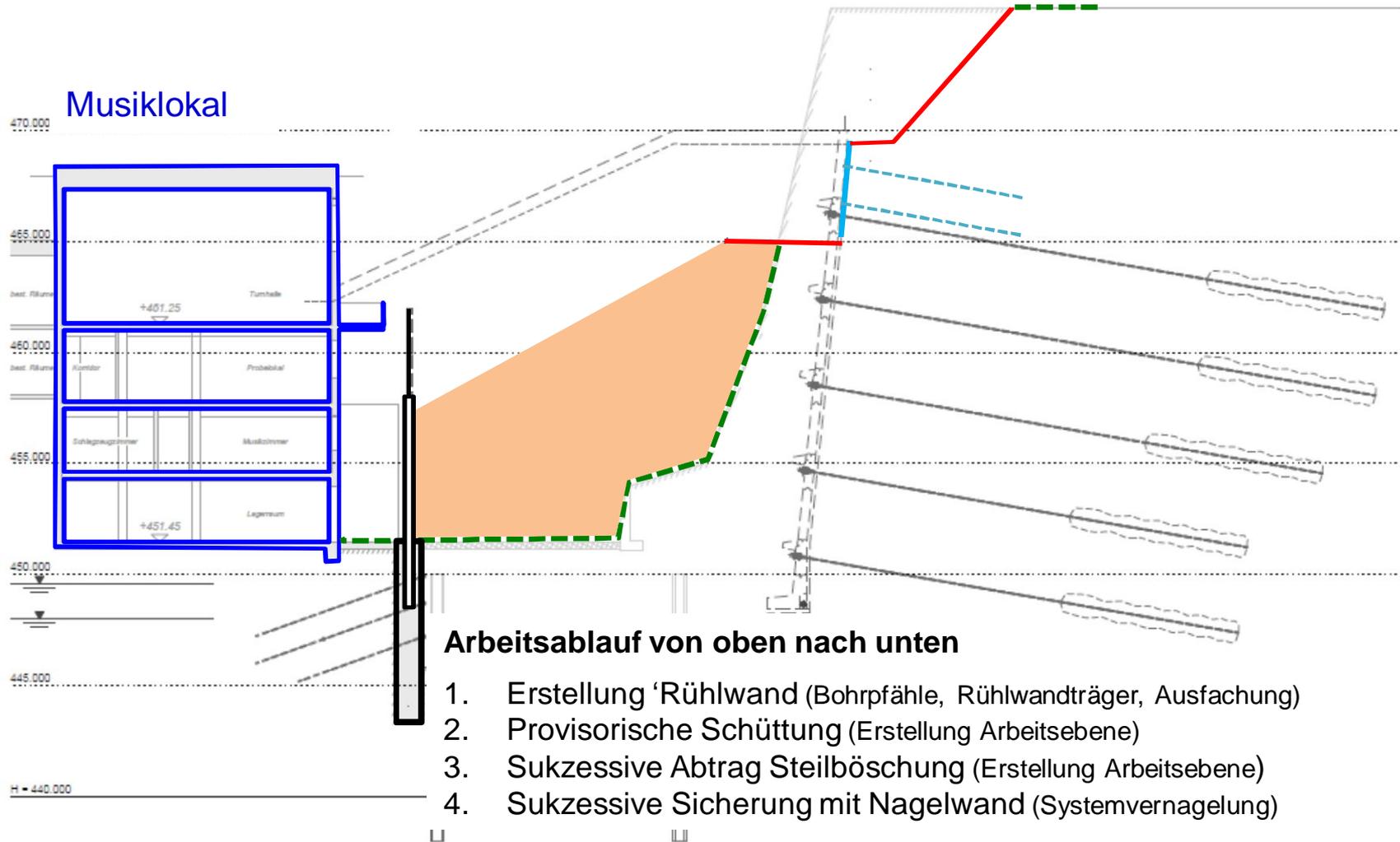
Bauablauf Submissionsprojekt



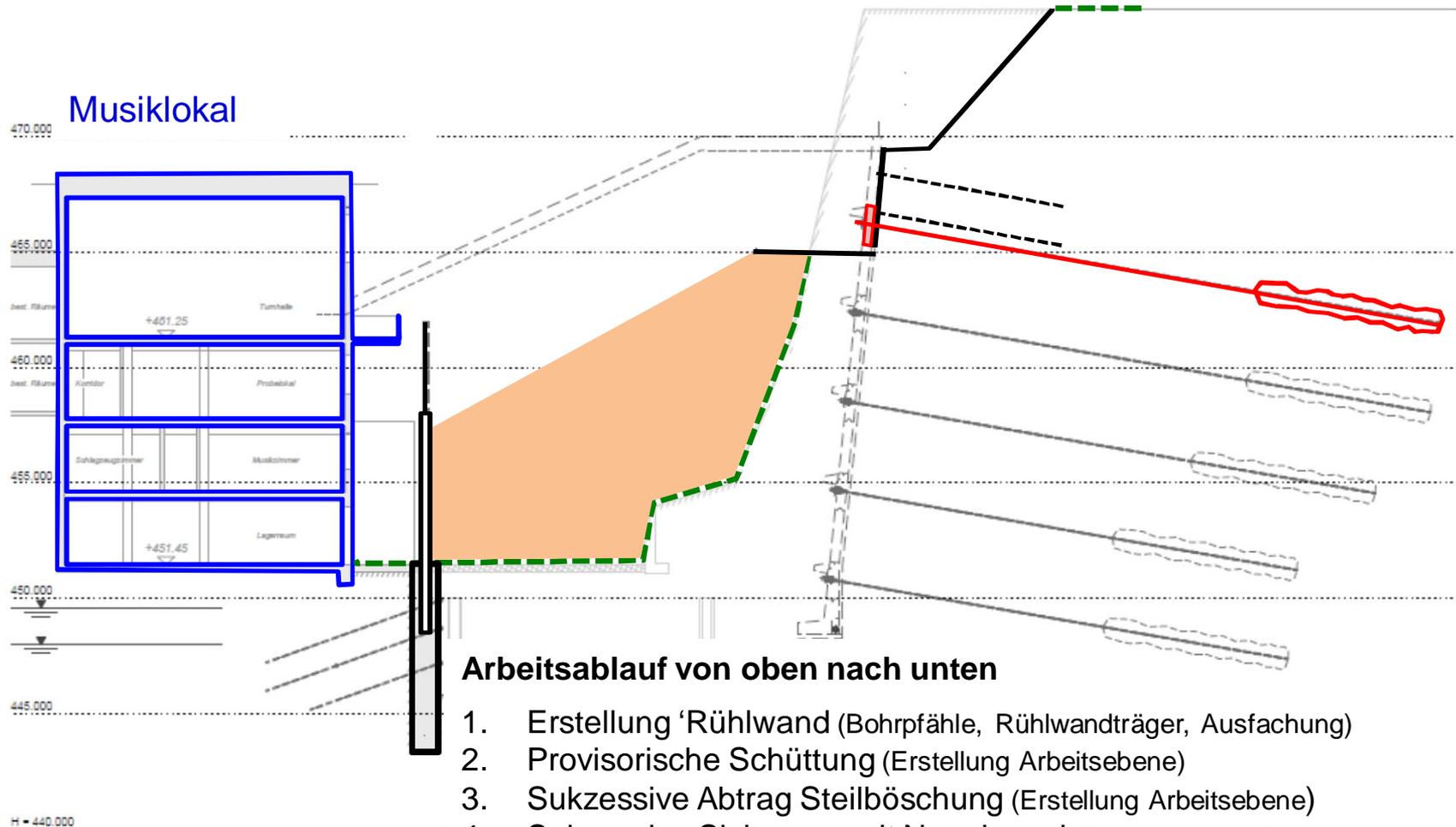
Bauablauf Submissionsprojekt



Bauablauf Submissionsprojekt

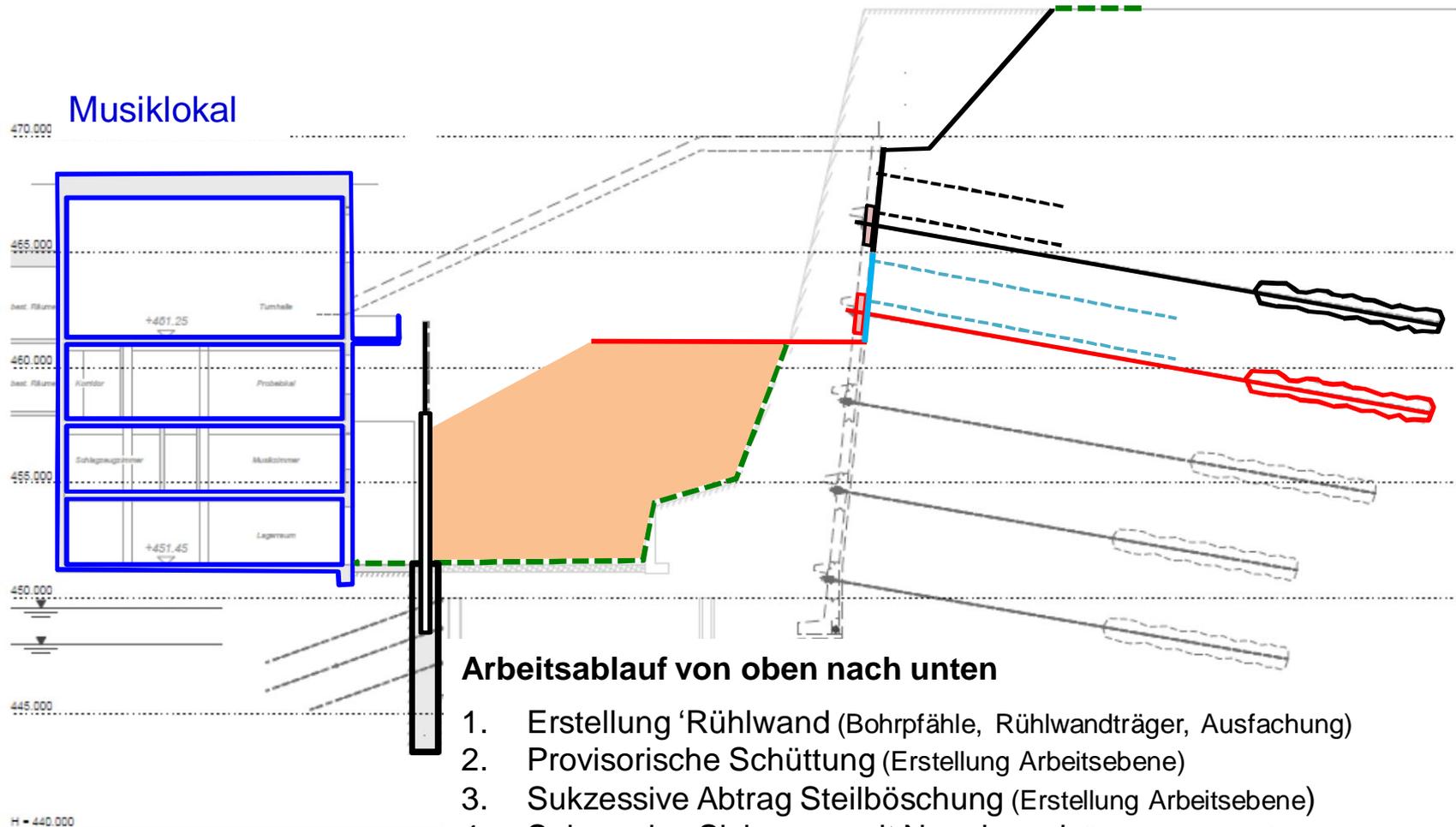


Bauablauf Submissionsprojekt



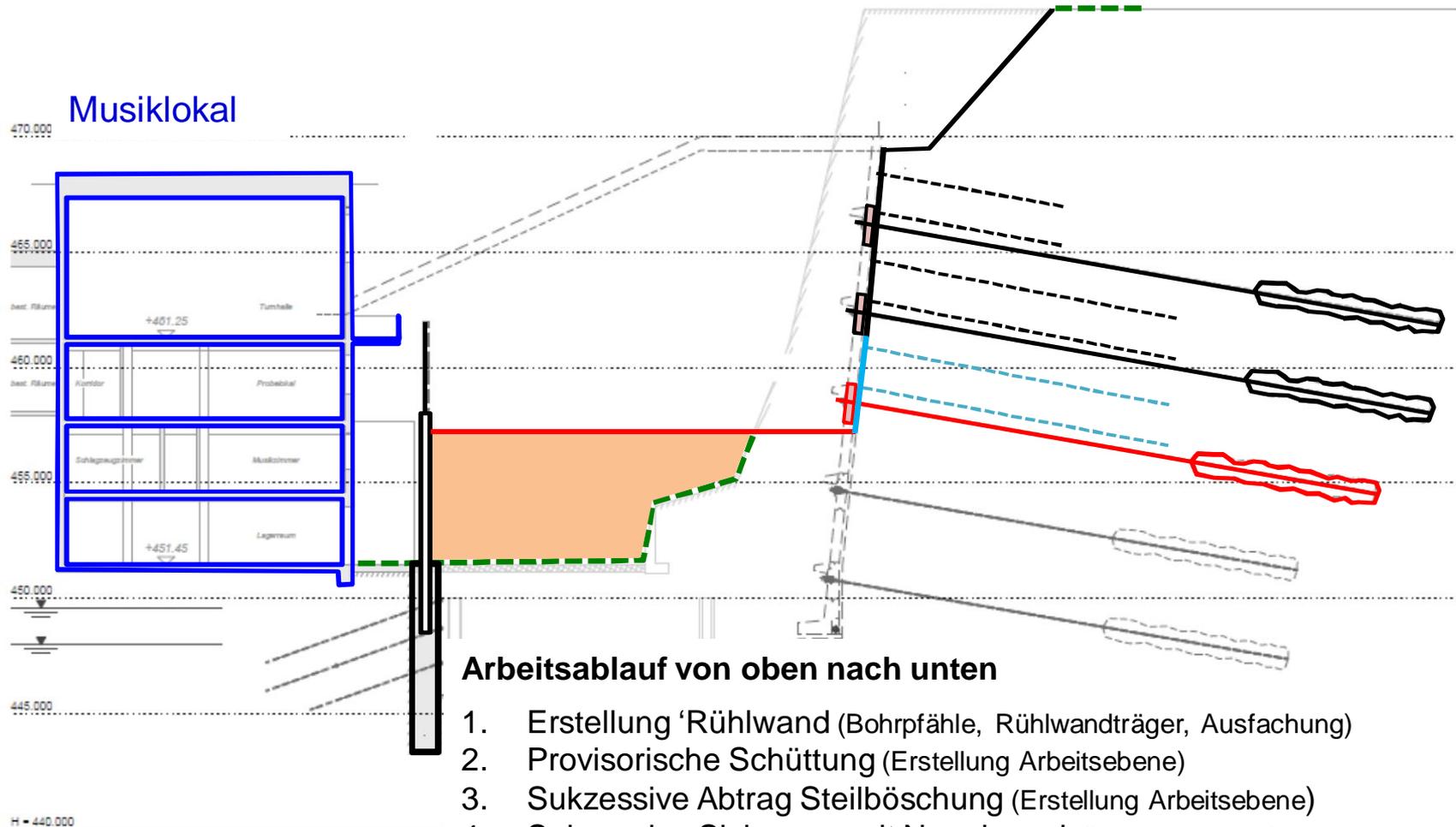
1. Erstellung 'Rühlwand (Bohrpfähle, Rühlwandträger, Ausfachung)
2. Provisorische Schüttung (Erstellung Arbeitsebene)
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Versetzen vorgefertigte Longarinenelemente
6. Bohren und versetzen permanente Anker

Bauablauf Submissionsprojekt



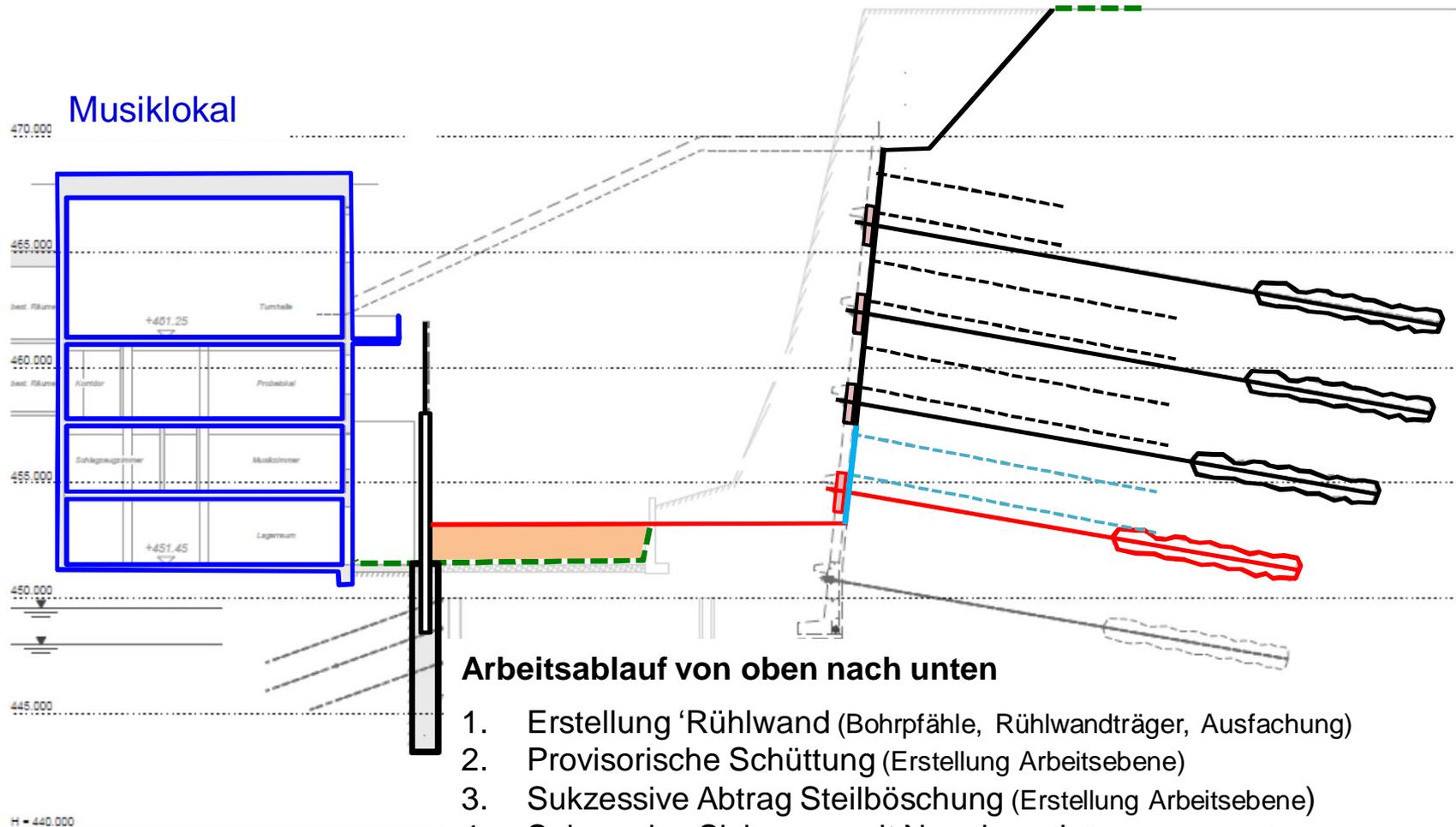
1. Erstellung 'Rühlwand (Bohrpfähle, Rühlwandträger, Ausfachung)
2. Provisorische Schüttung (Erstellung Arbeitsebene)
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Versetzen vorgefertigte Longarinenelemente
6. Bohren und versetzen permanente Anker

Bauablauf Submissionsprojekt



1. Erstellung 'Rühlwand (Bohrpfähle, Rühlwandträger, Ausfachung)
2. Provisorische Schüttung (Erstellung Arbeitsebene)
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Versetzen vorgefertigte Longarinenelemente
6. Bohren und versetzen permanente Anker

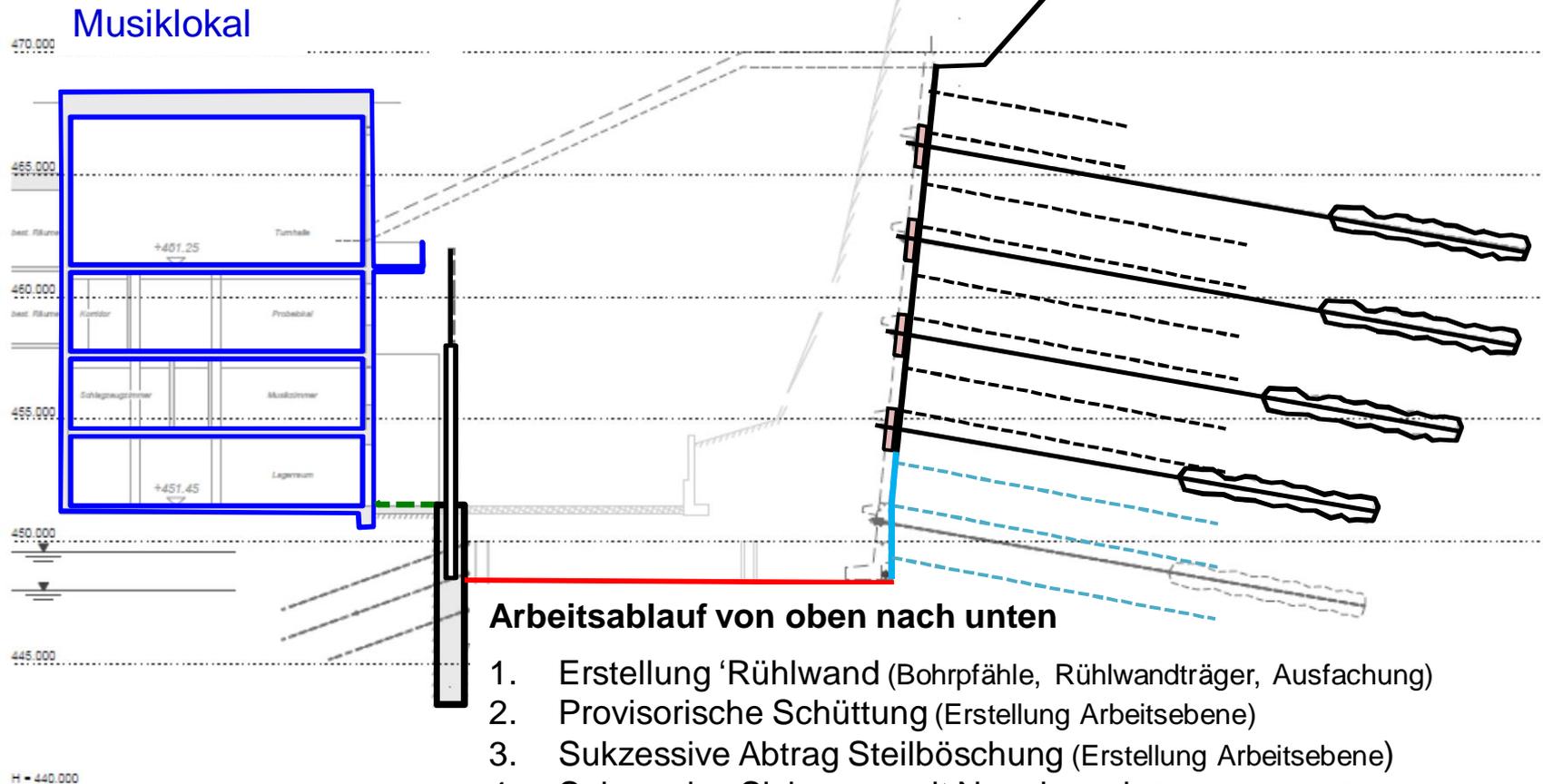
Bauablauf Submissionsprojekt



Arbeitsablauf von oben nach unten

1. Erstellung 'Rühlwand' (Bohrpfähle, Rühlwandträger, Ausfachung)
2. Provisorische Schüttung (Erstellung Arbeitsebene)
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Versetzen vorgefertigte Longarinenelemente
6. Bohren und versetzen permanente Anker

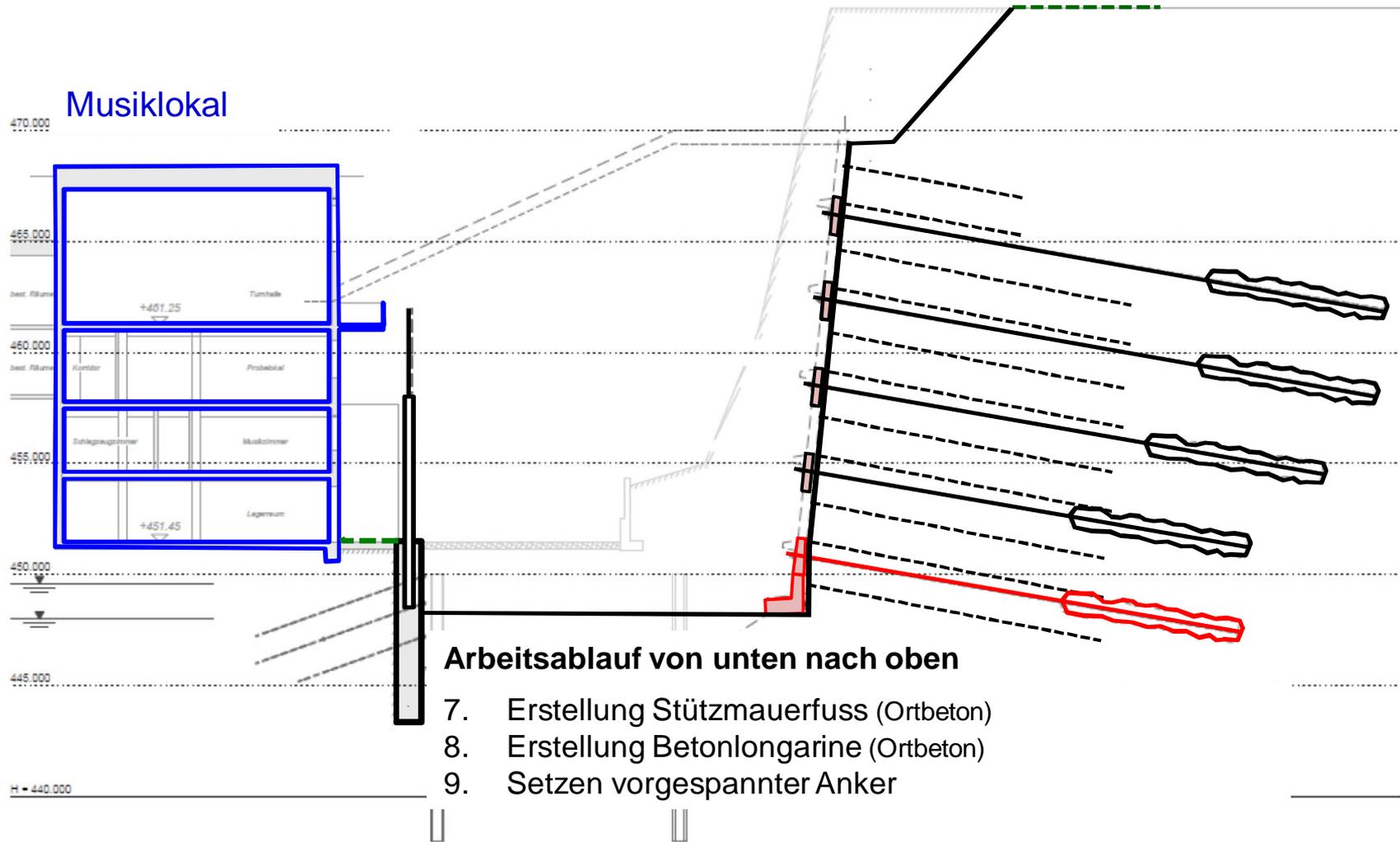
Bauablauf Submissionsprojekt



1. Erstellung 'Rühlwand' (Bohrpfähle, Rühlwandträger, Ausfachung)
2. Provisorische Schüttung (Erstellung Arbeitsebene)
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Versetzen vorgefertigte Longarinenelemente
6. Bohren und versetzen permanente Anker

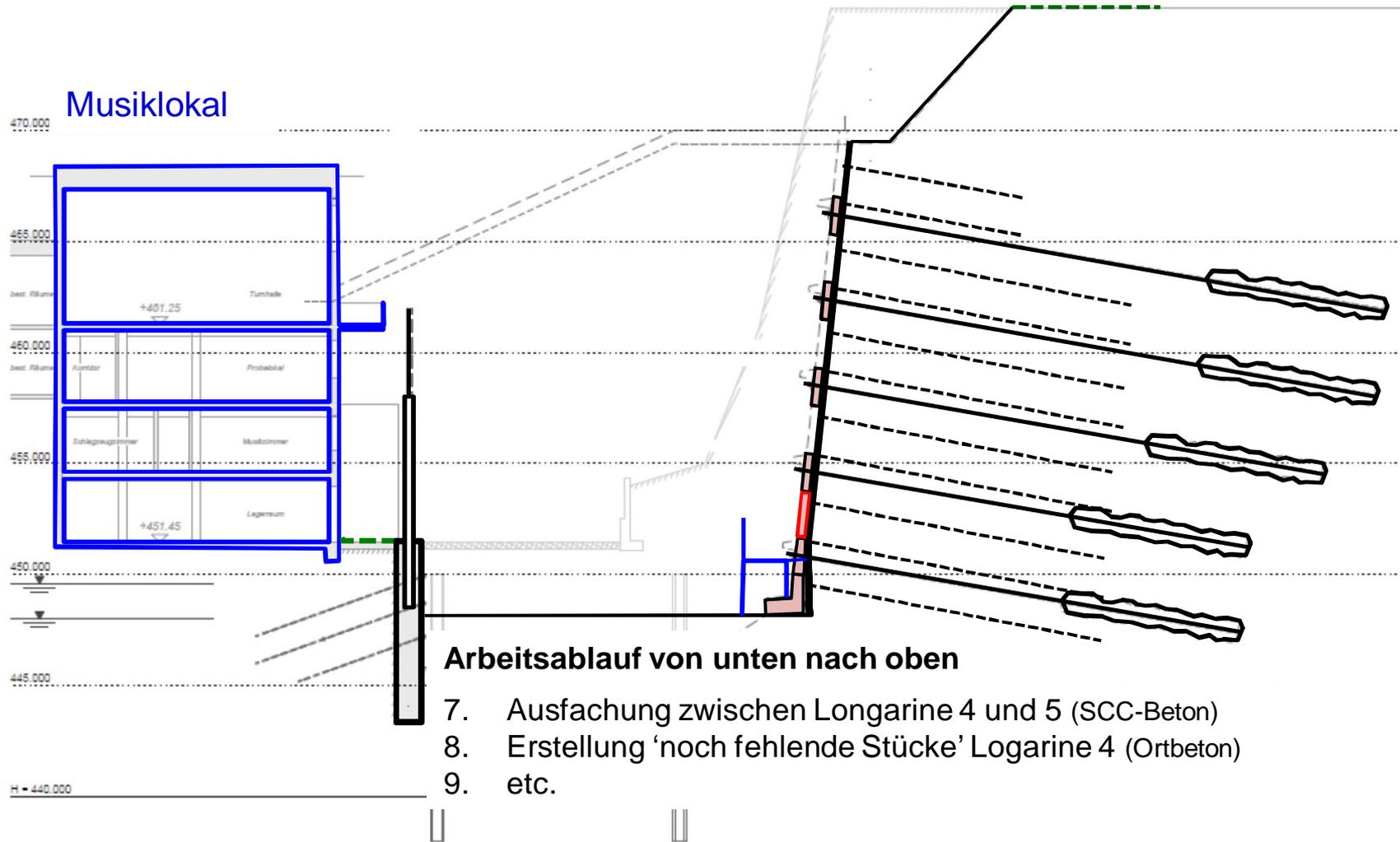


Bauablauf Submissionsprojekt



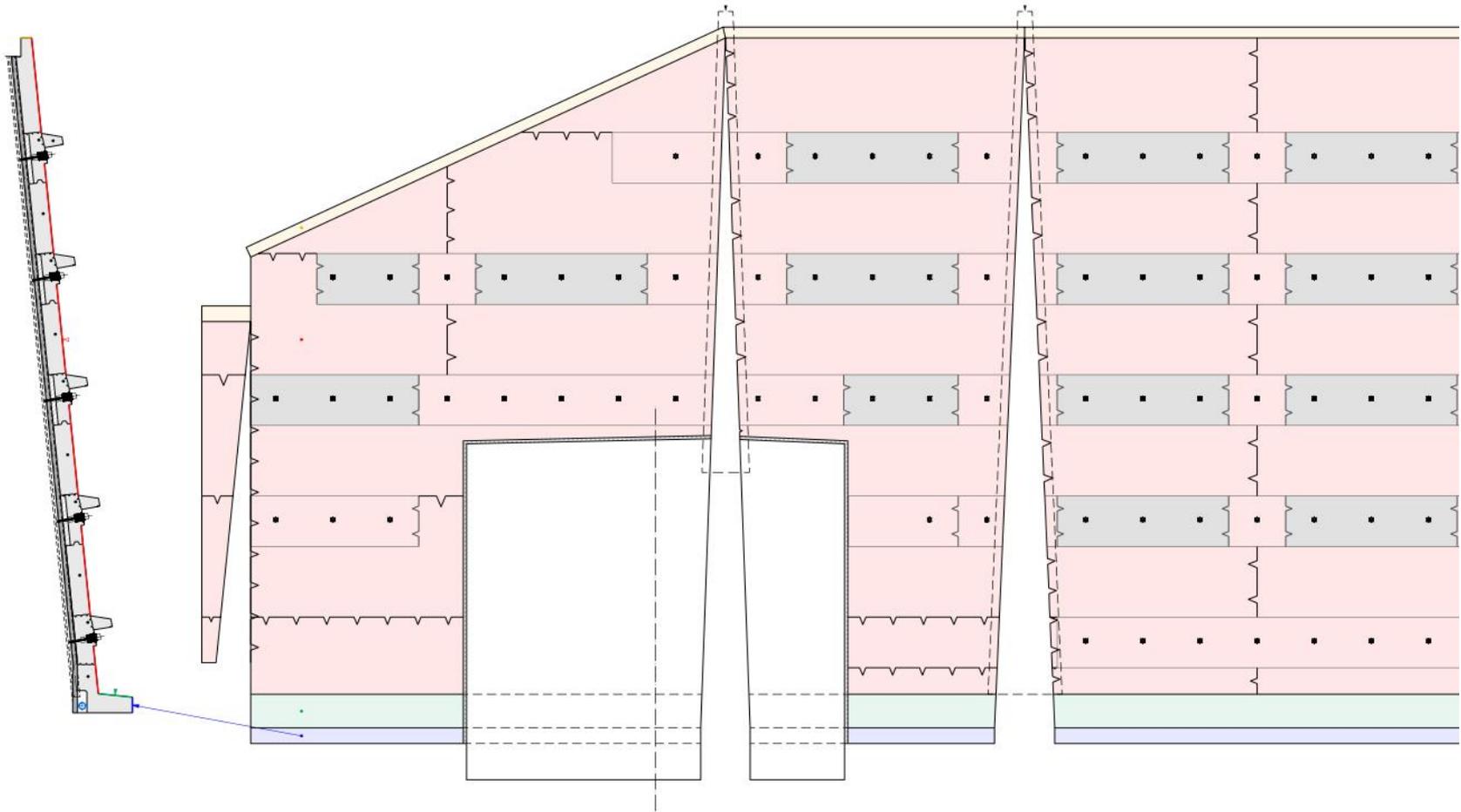


Bauablauf Submissionsprojekt



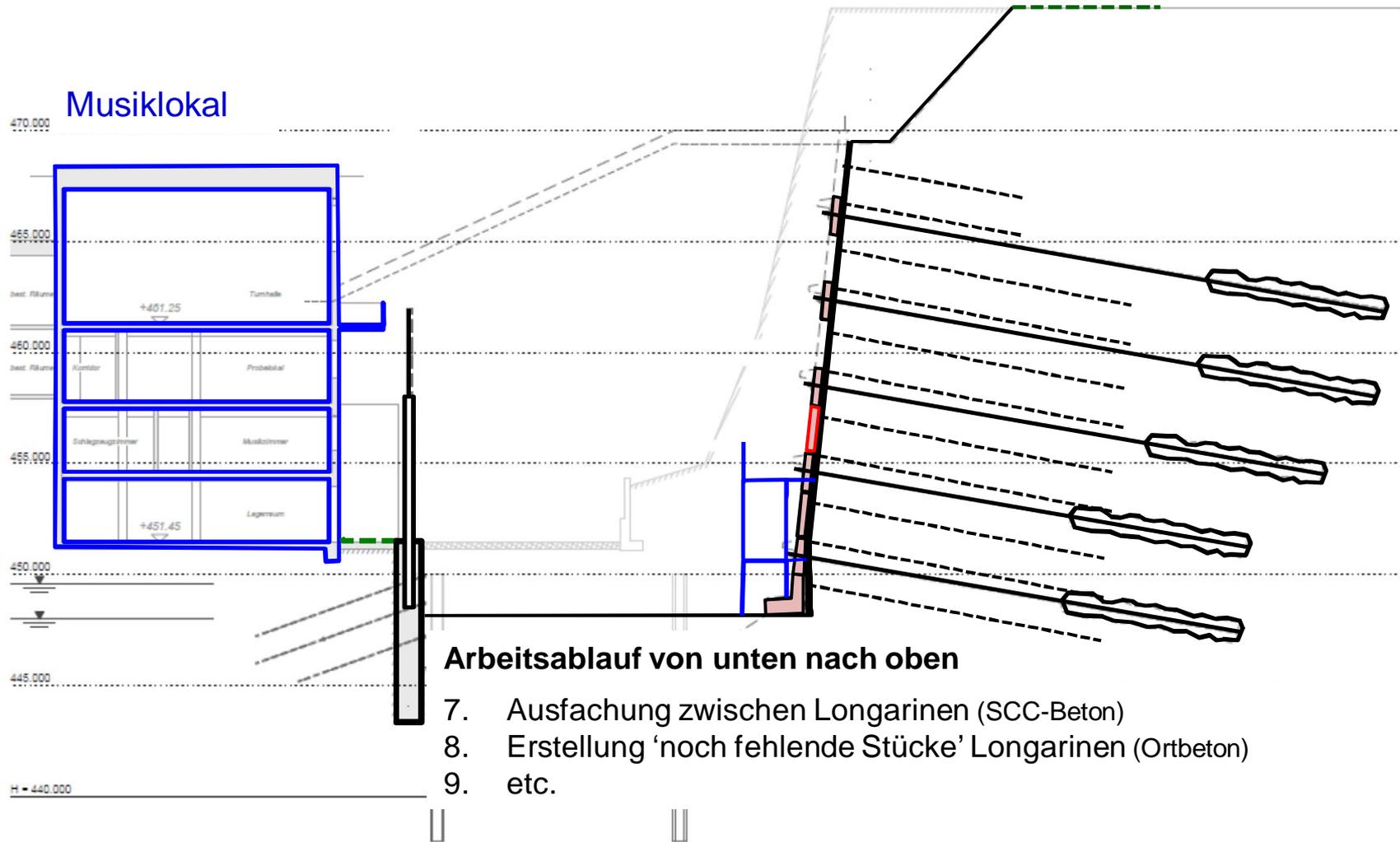


Bauablauf Submissionsprojekt

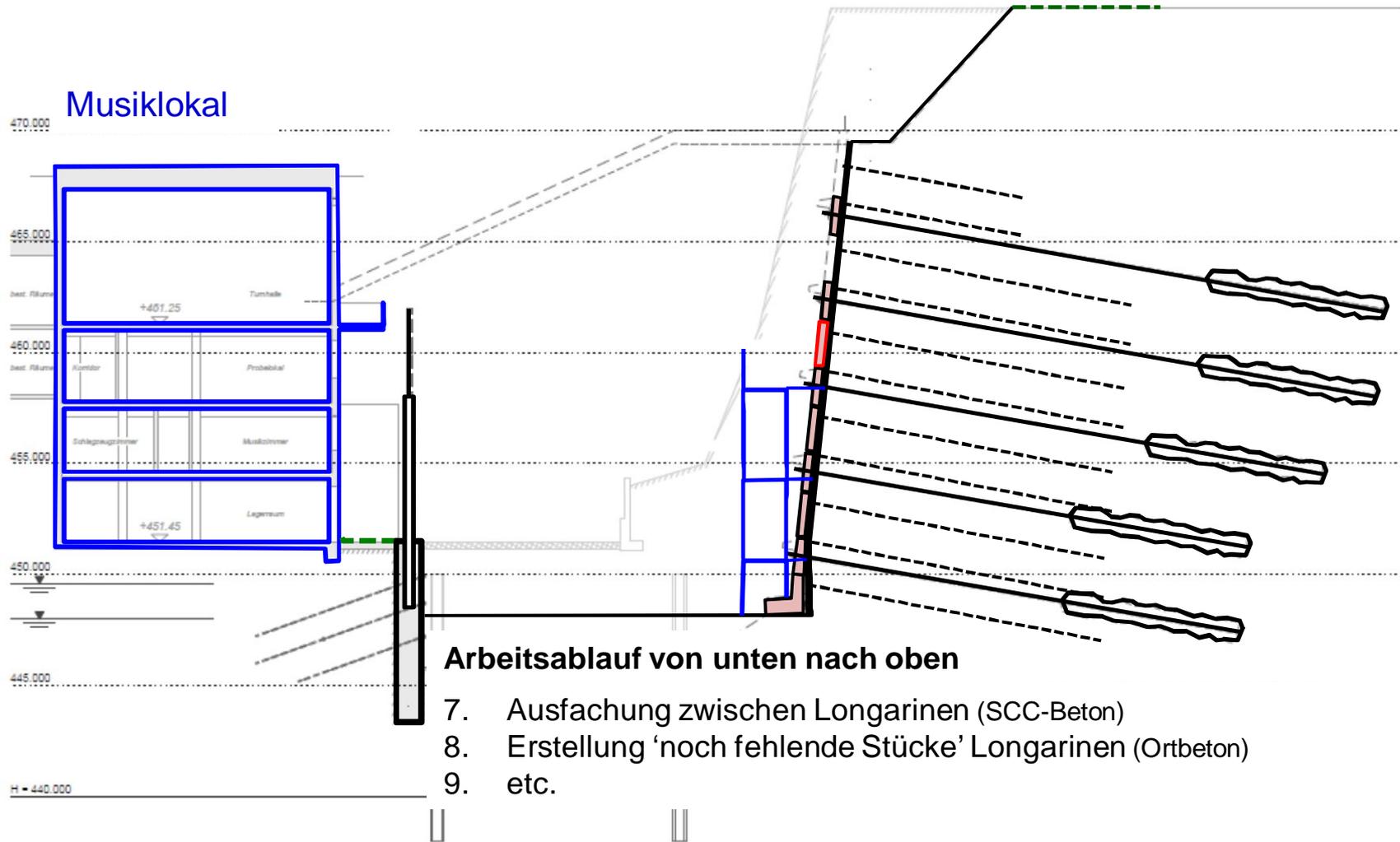




Bauablauf Submissionsprojekt

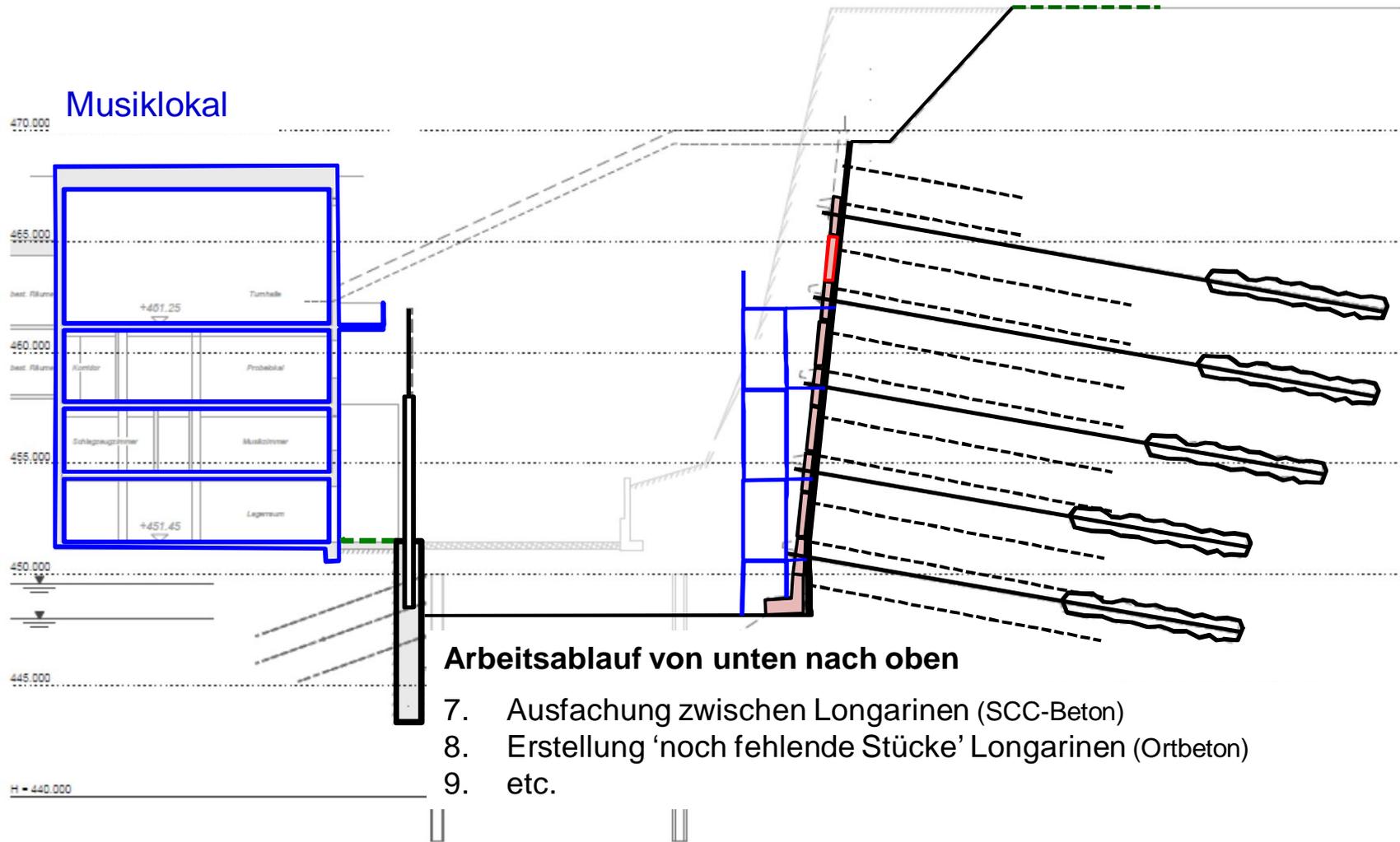


Bauablauf Submissionsprojekt

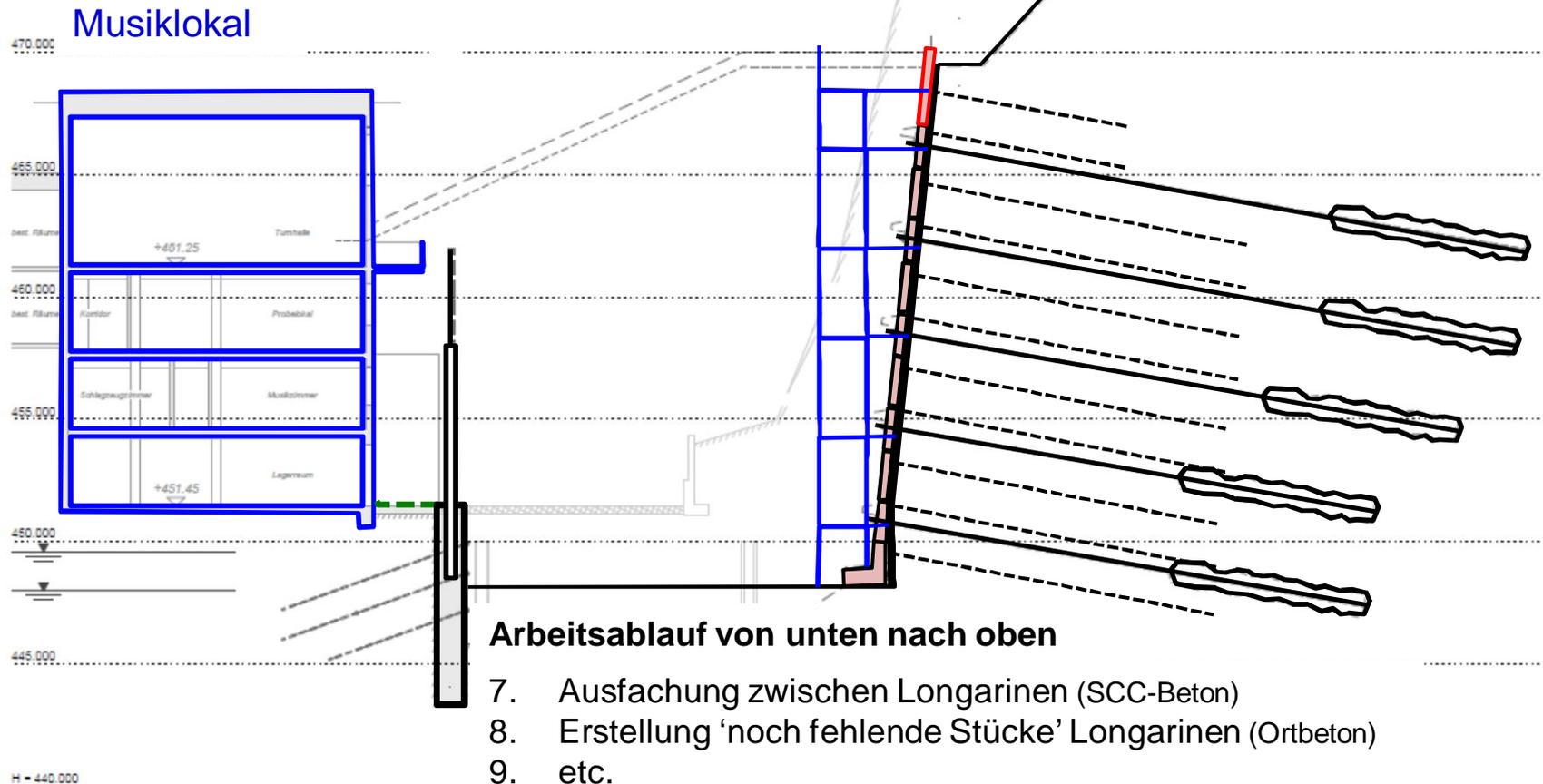




Bauablauf Submissionsprojekt

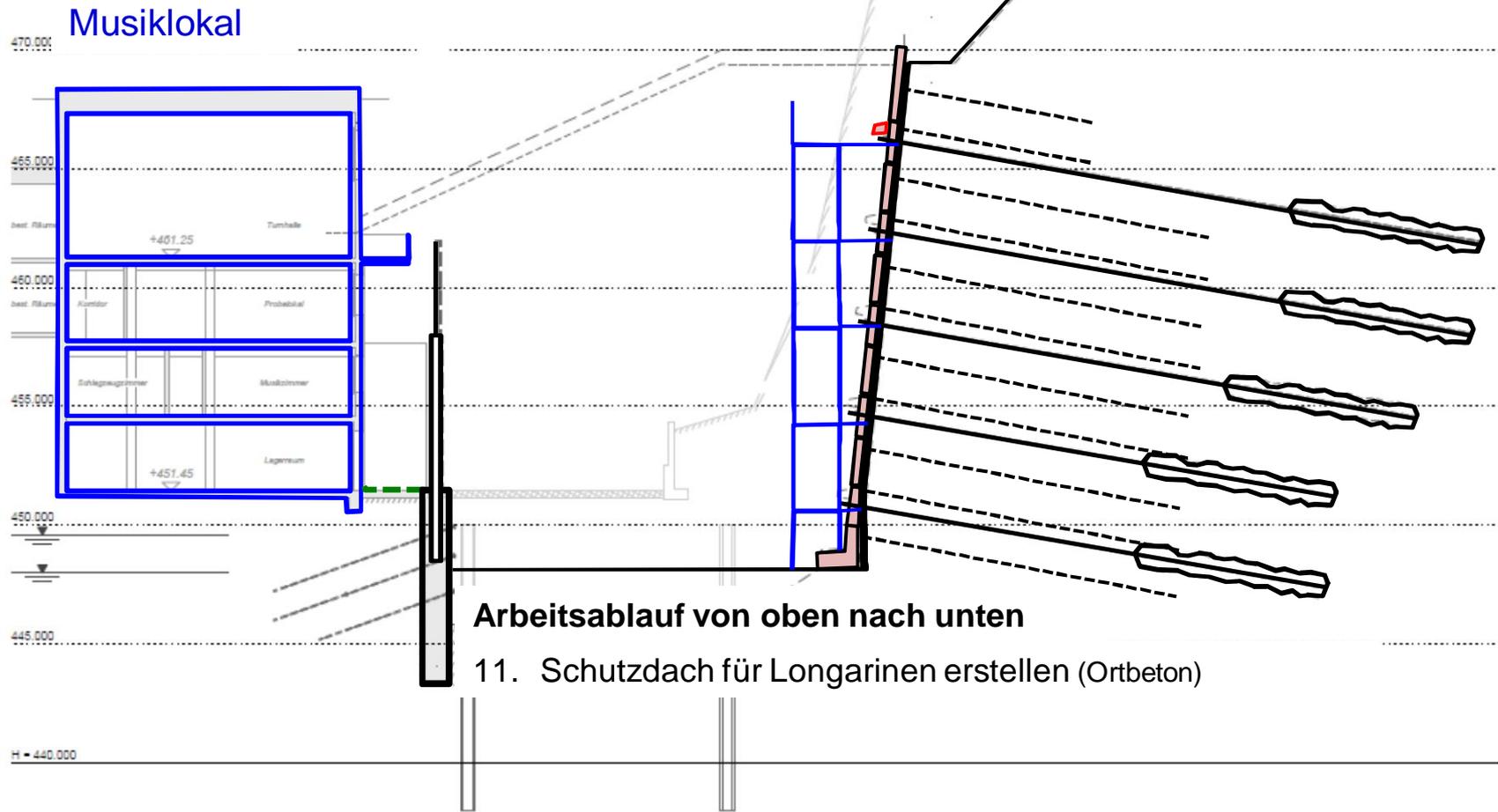


Bauablauf Submissionsprojekt



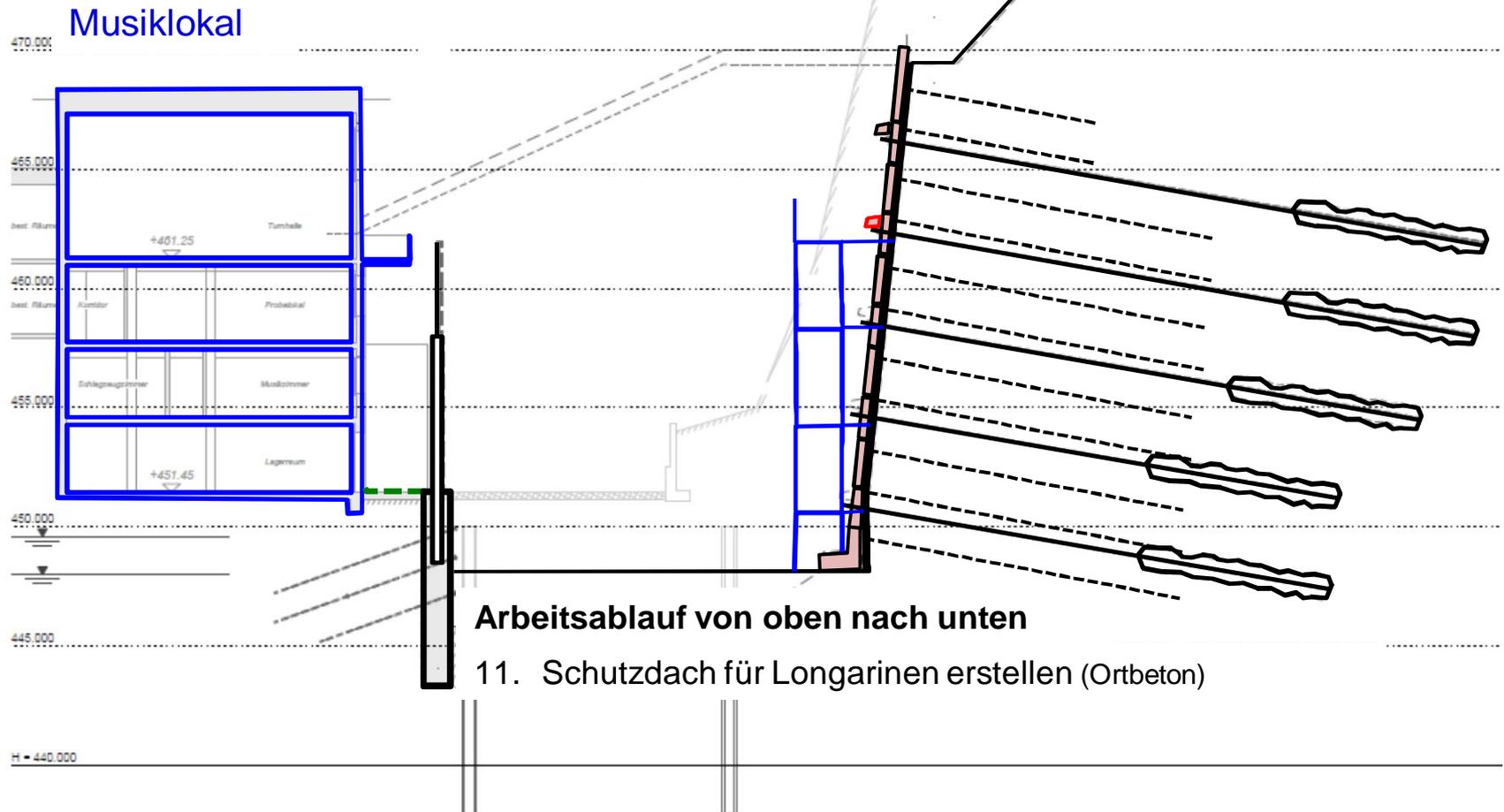


Bauablauf Submissionsprojekt



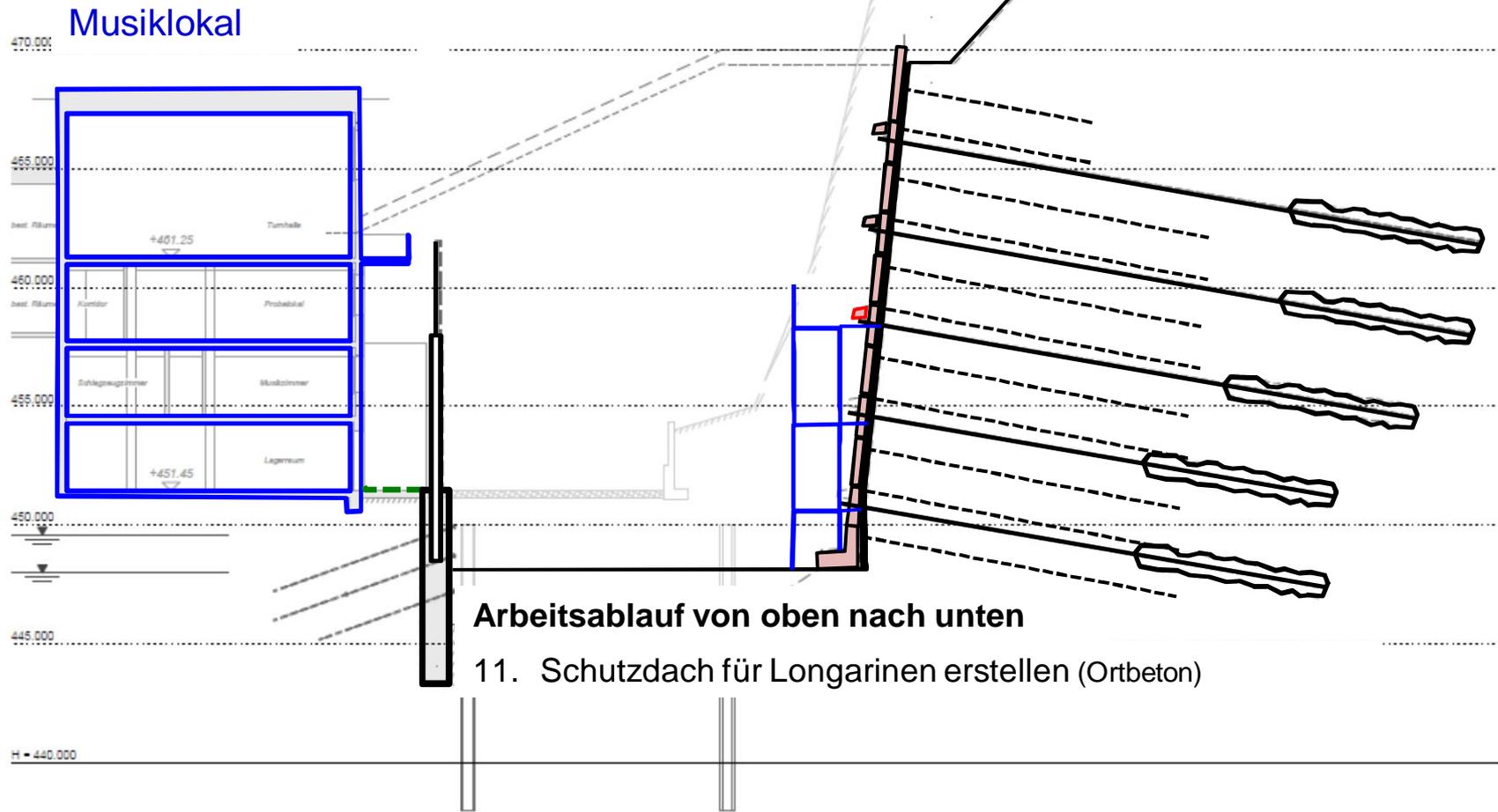


Bauablauf Submissionsprojekt



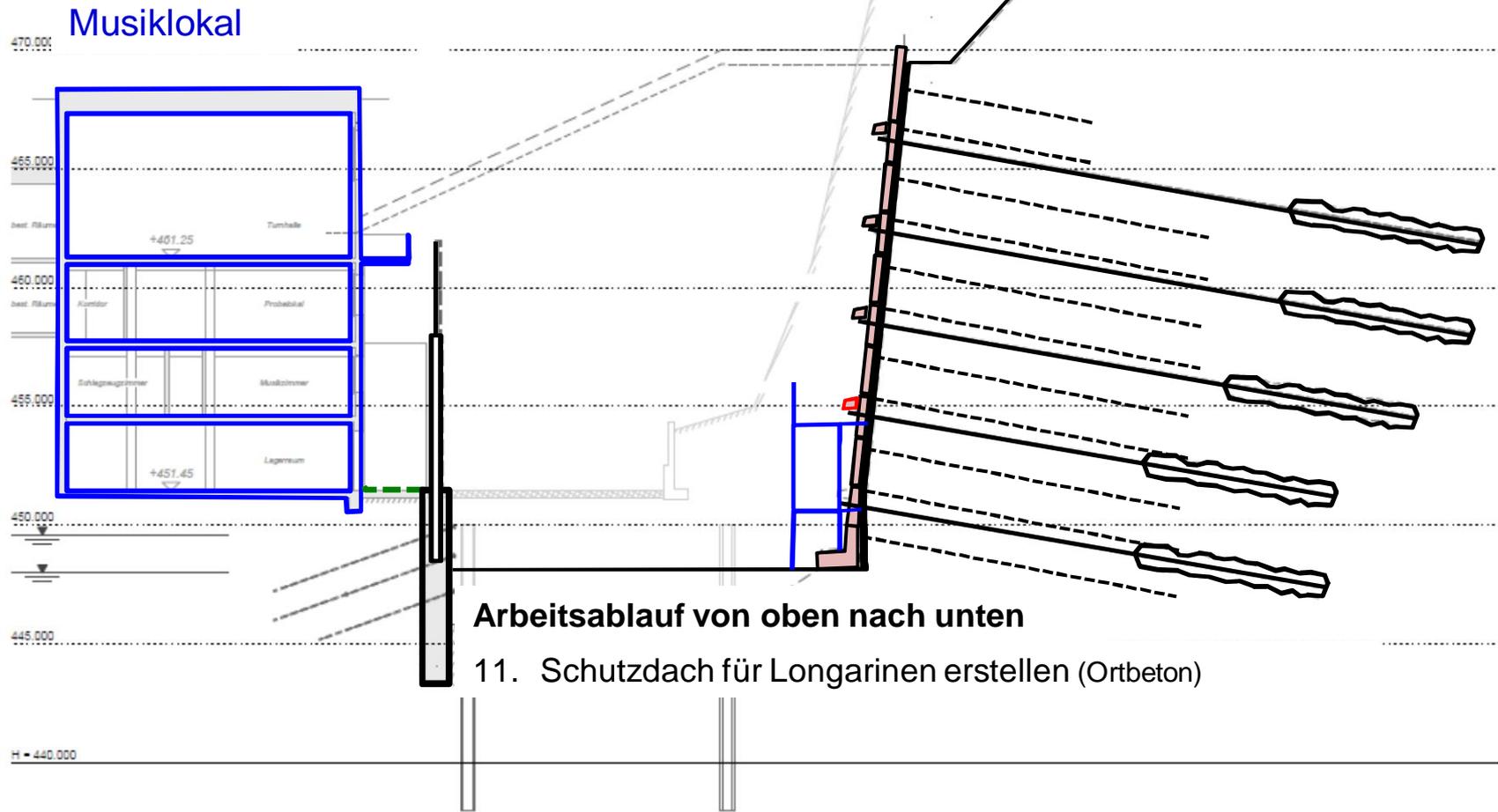


Bauablauf Submissionsprojekt



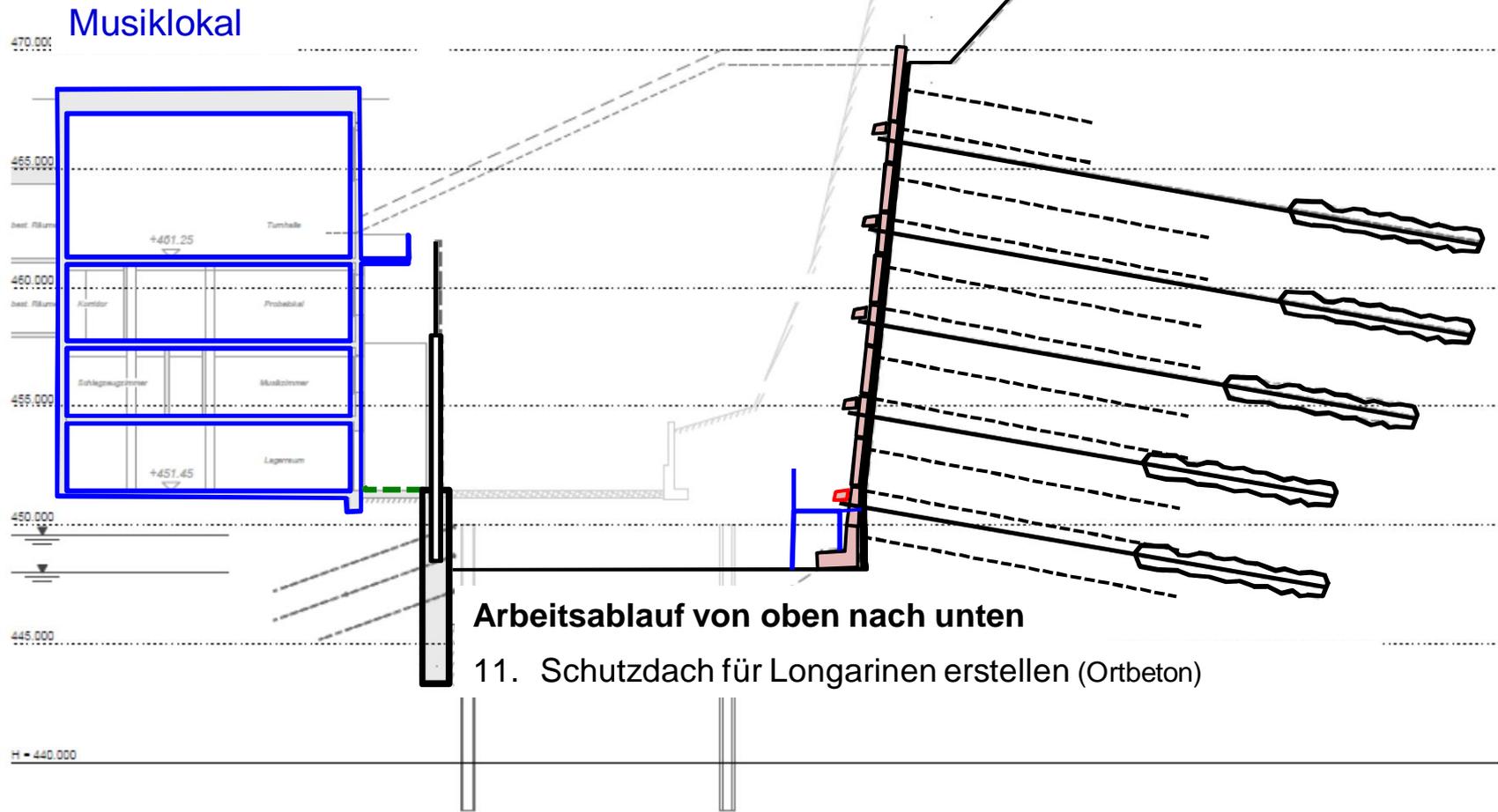


Bauablauf Submissionsprojekt



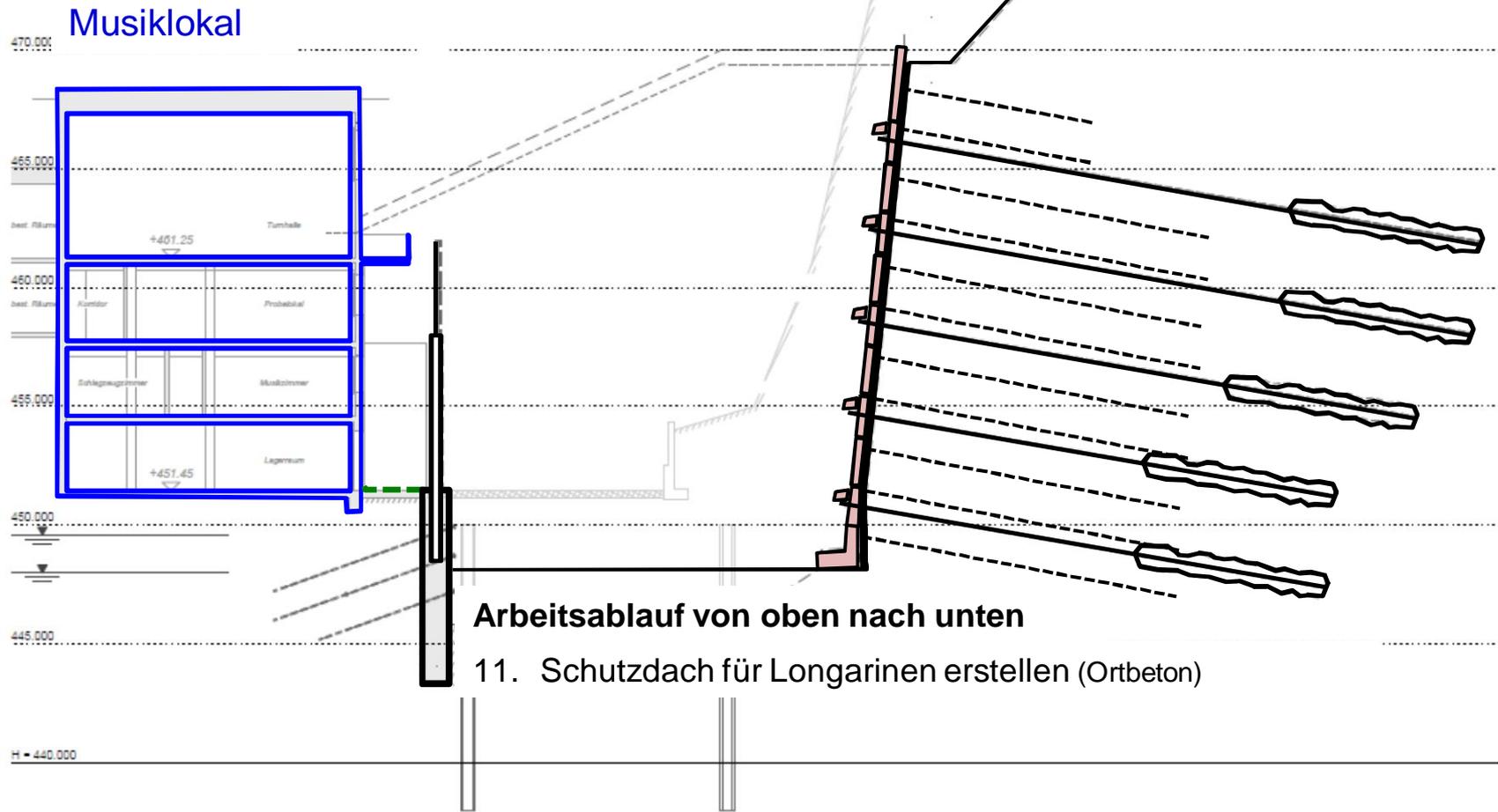


Bauablauf Submissionsprojekt



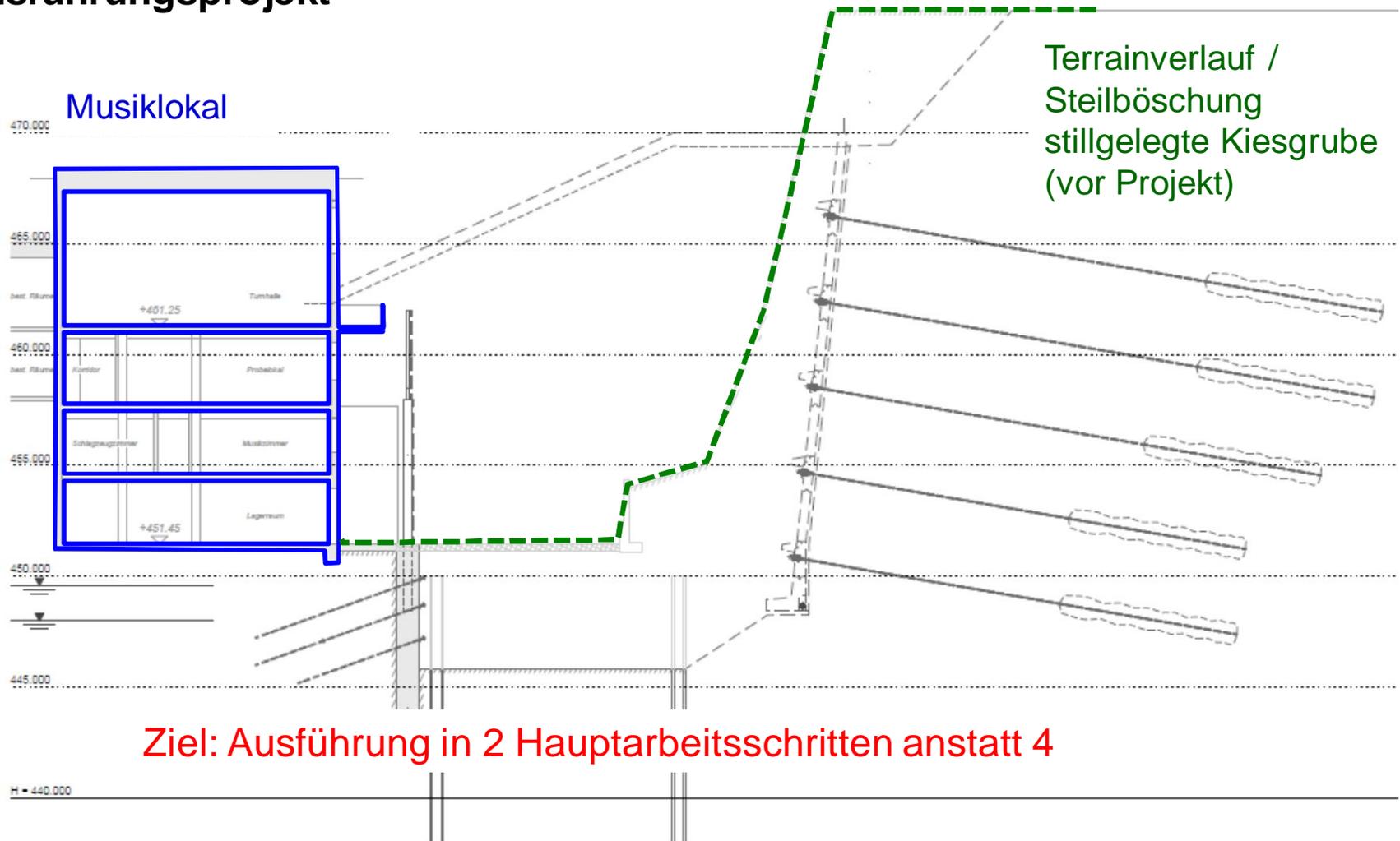


Bauablauf Submissionsprojekt



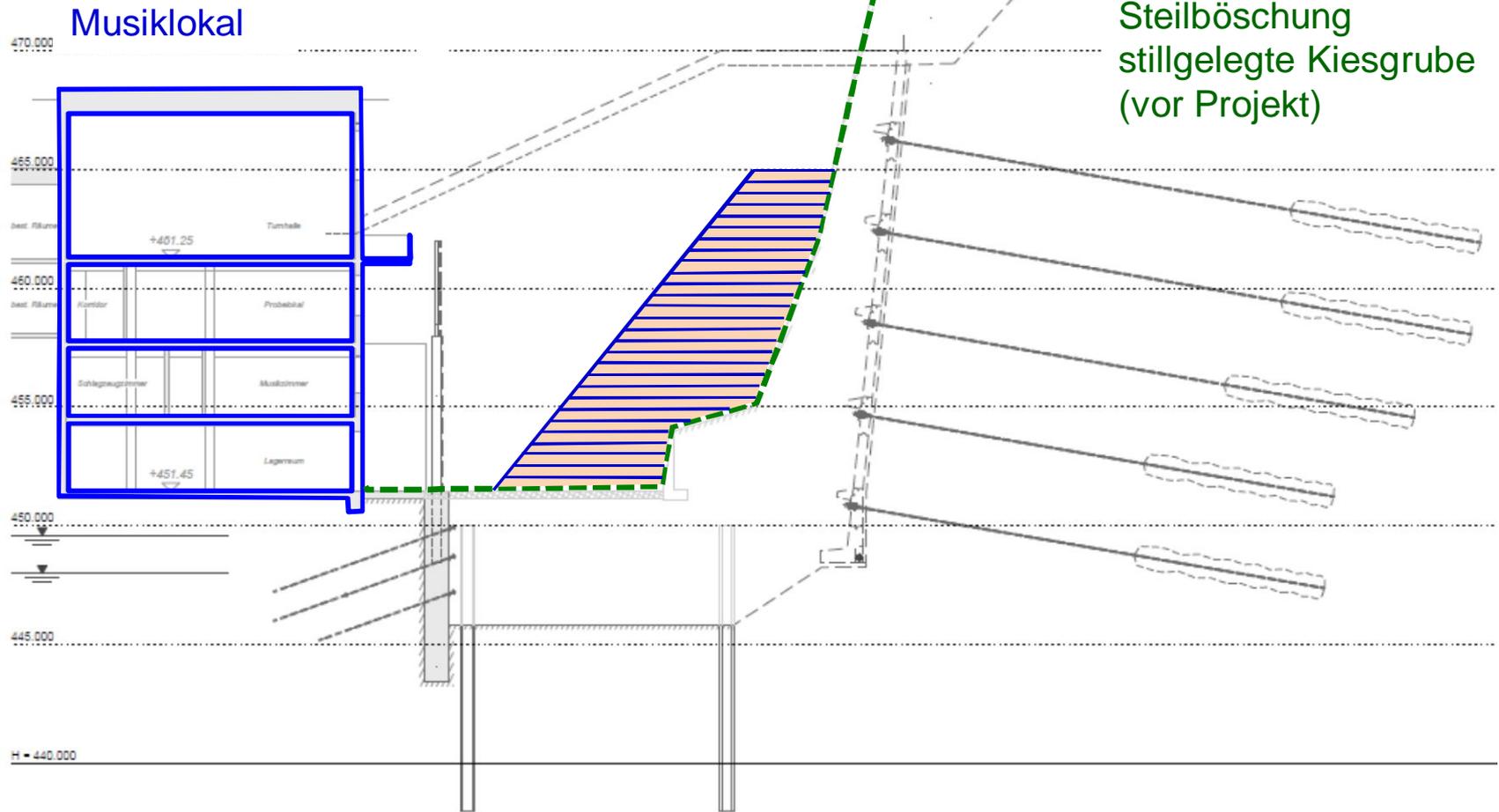


Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt

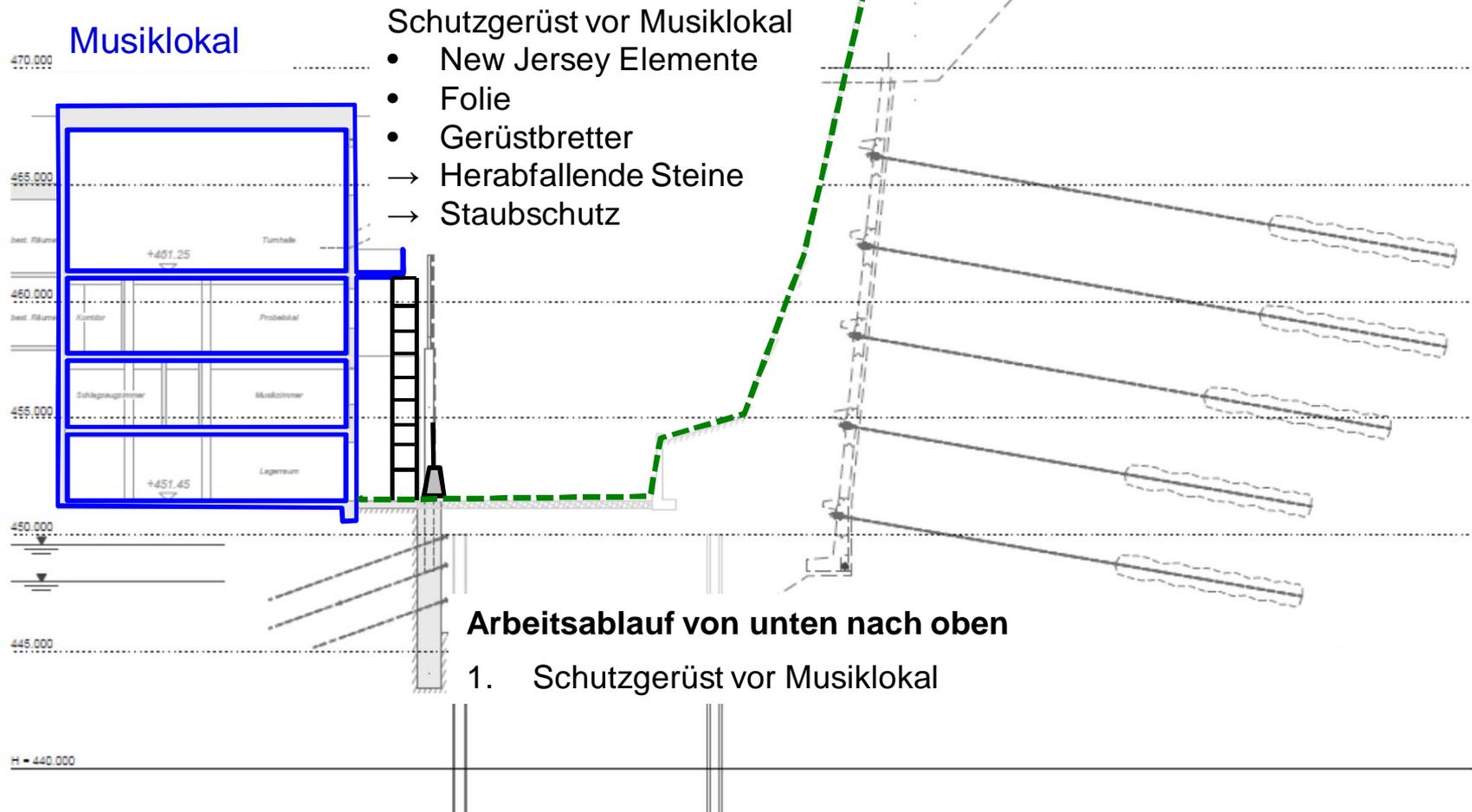




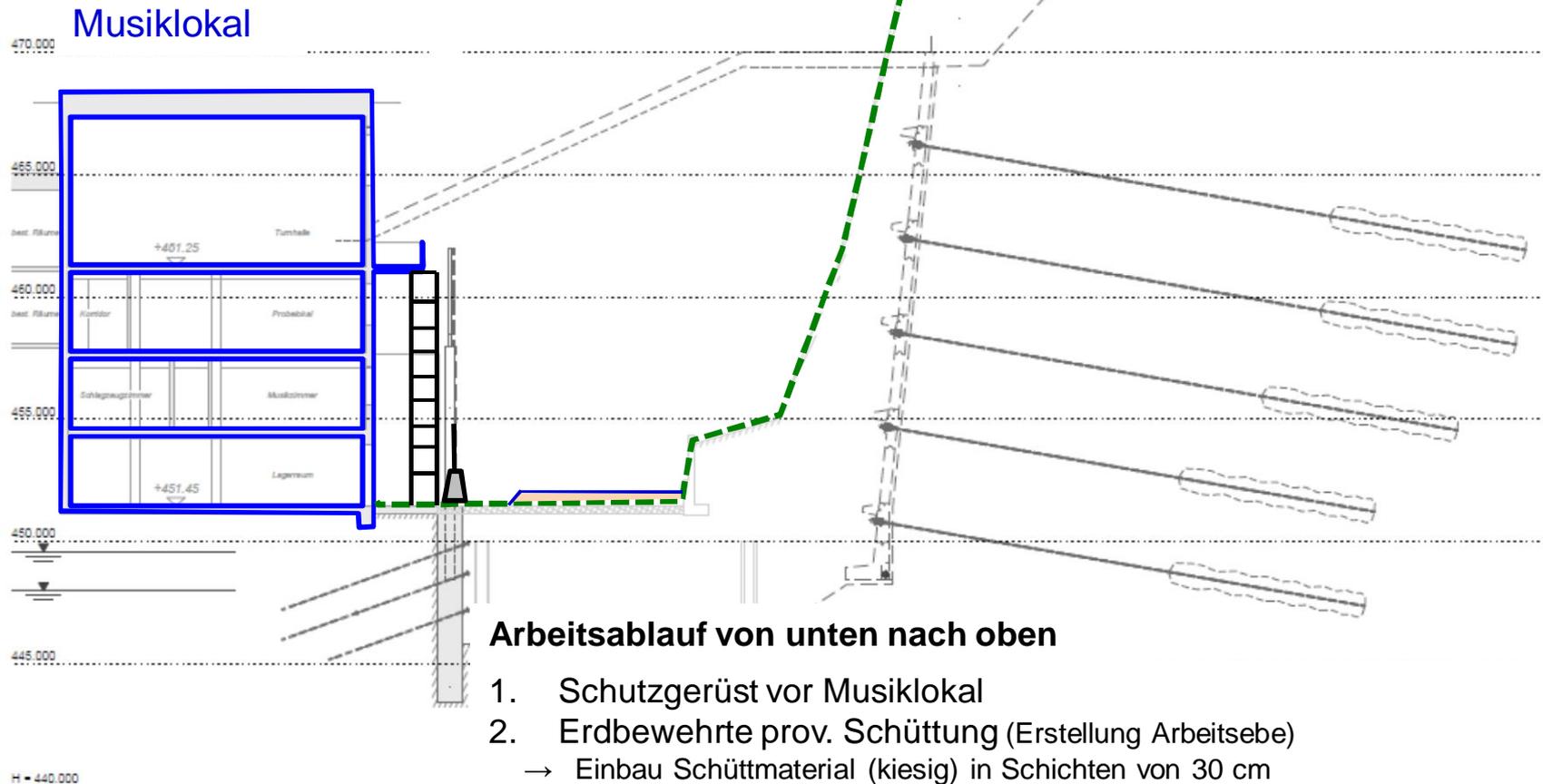
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



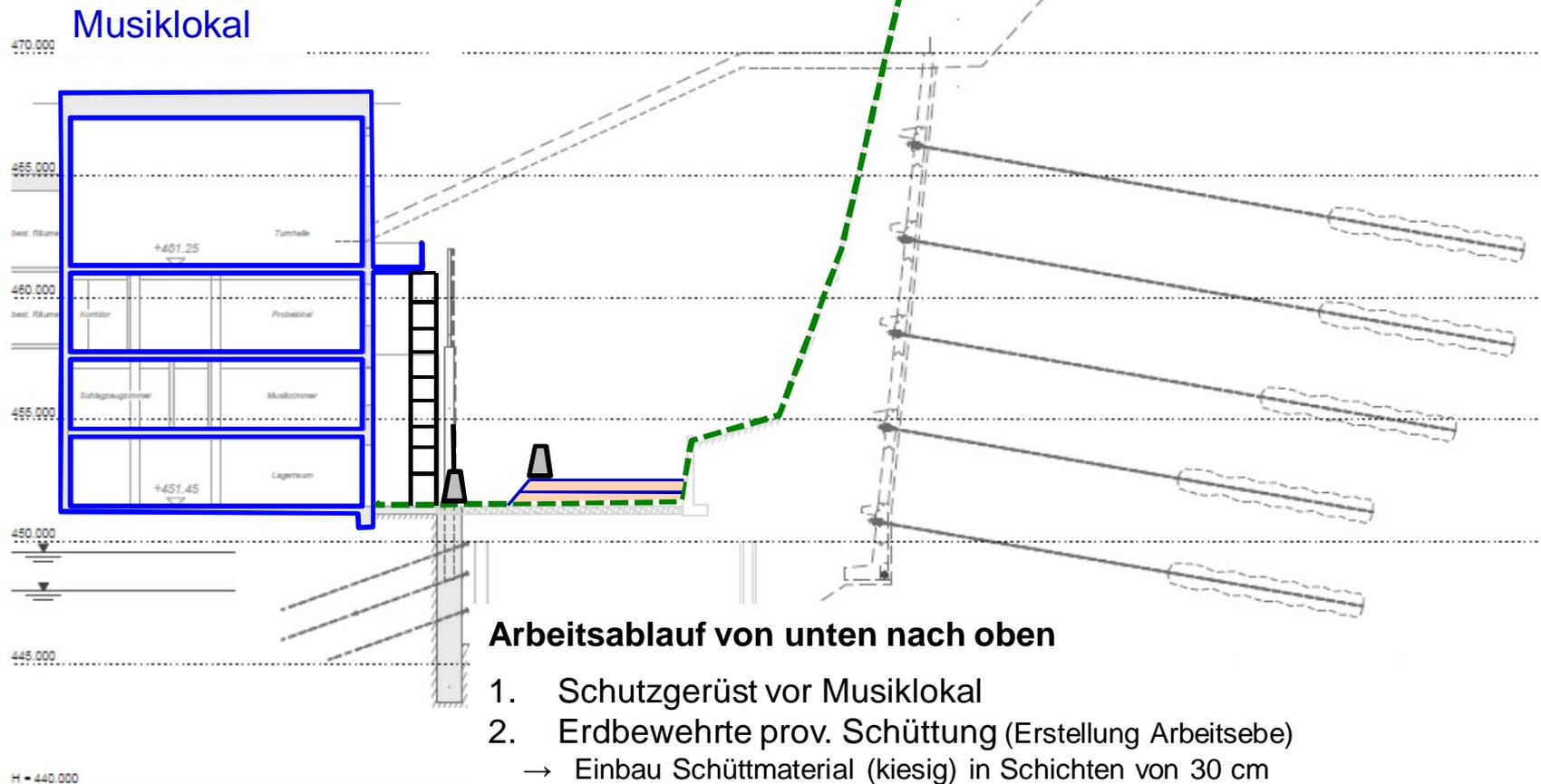
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



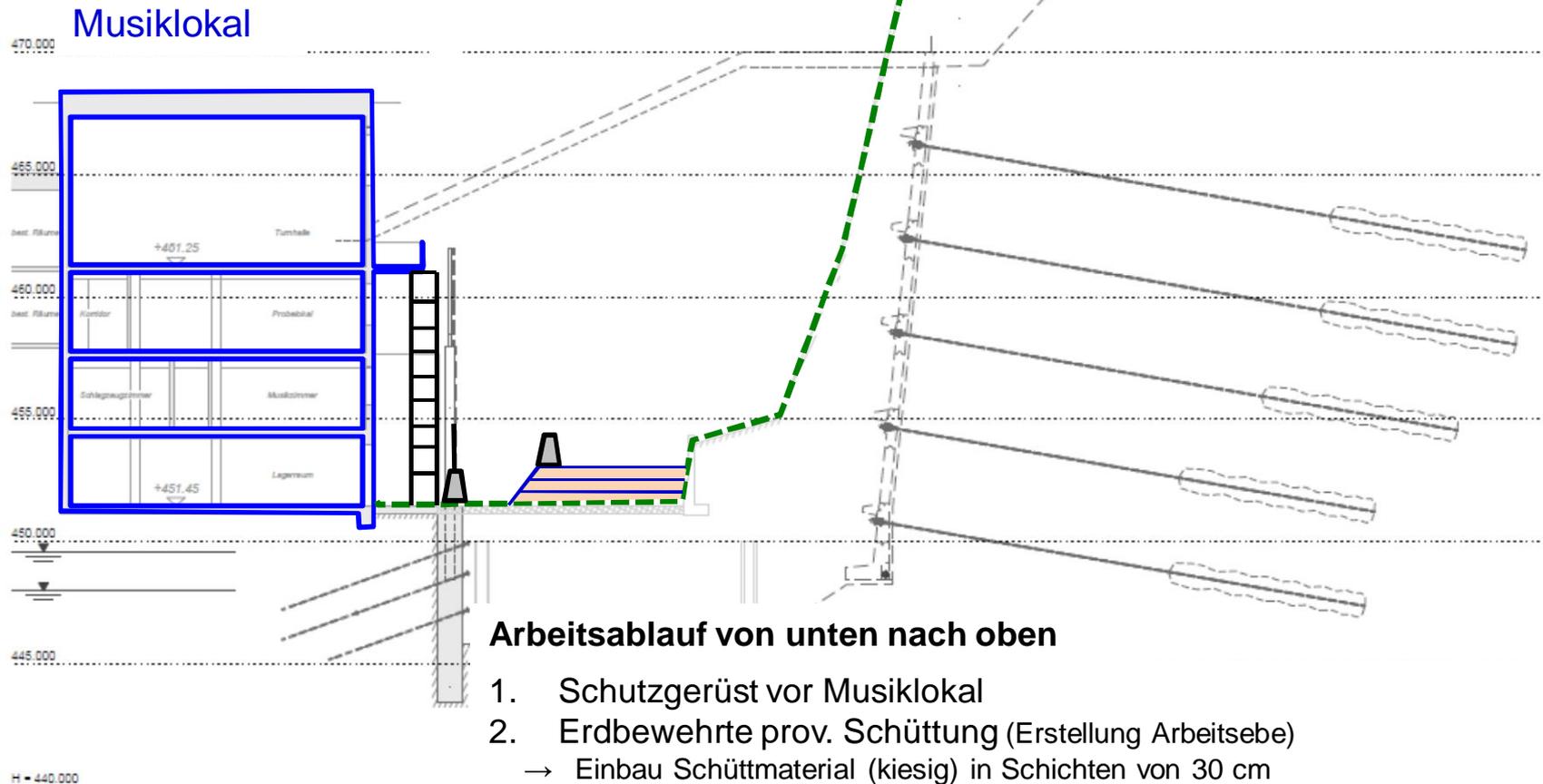
Arbeitsablauf von unten nach oben

1. Schutzgerüst vor Musiklokal
2. Erdbewehrte prov. Schüttung (Erstellung Arbeitsebe)
 - Einbau Schüttmaterial (kiesig) in Schichten von 30 cm
 - Umgeklapptes Geotextil als 'Bewehrung' alle 60 cm

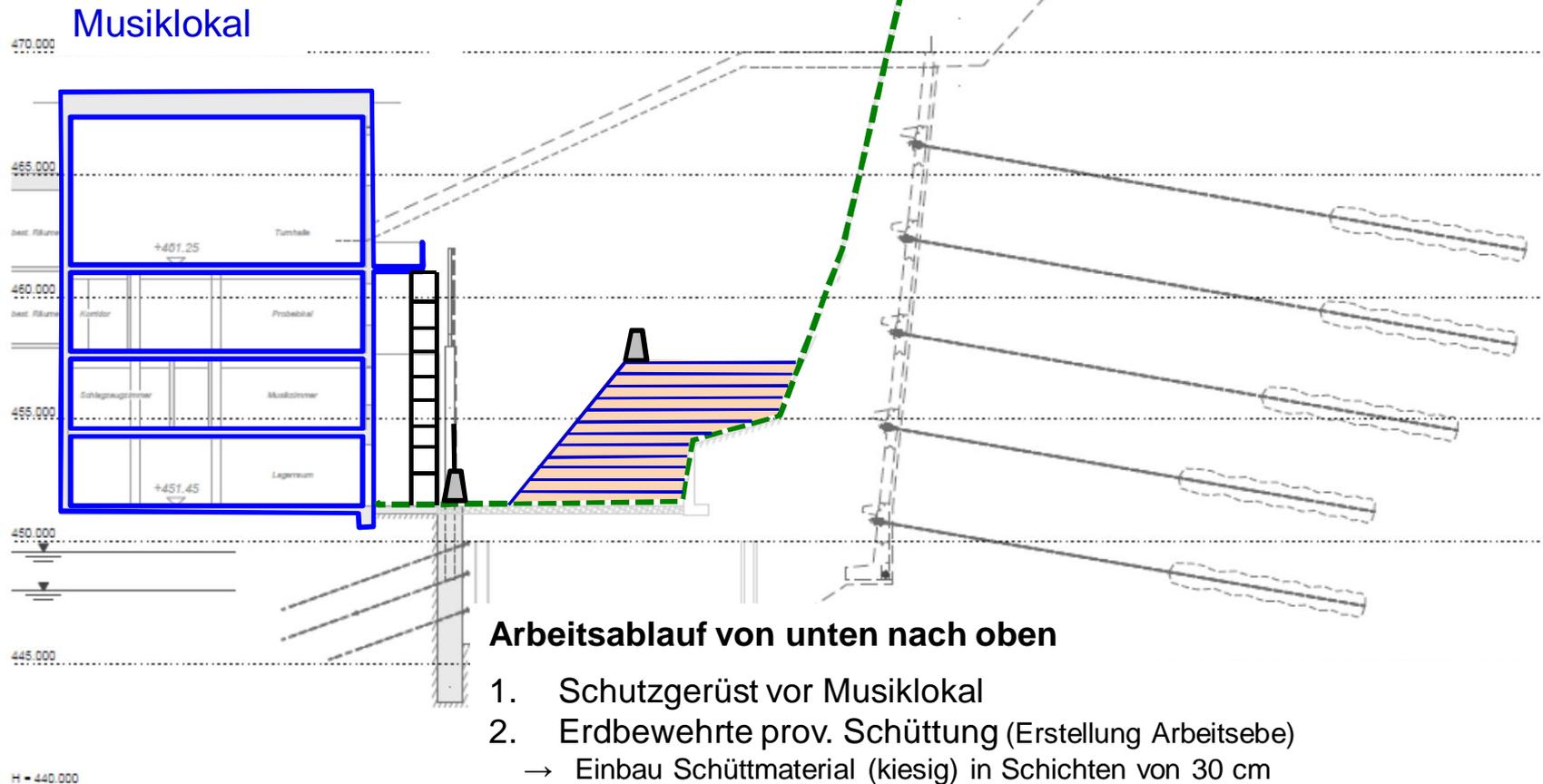
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt

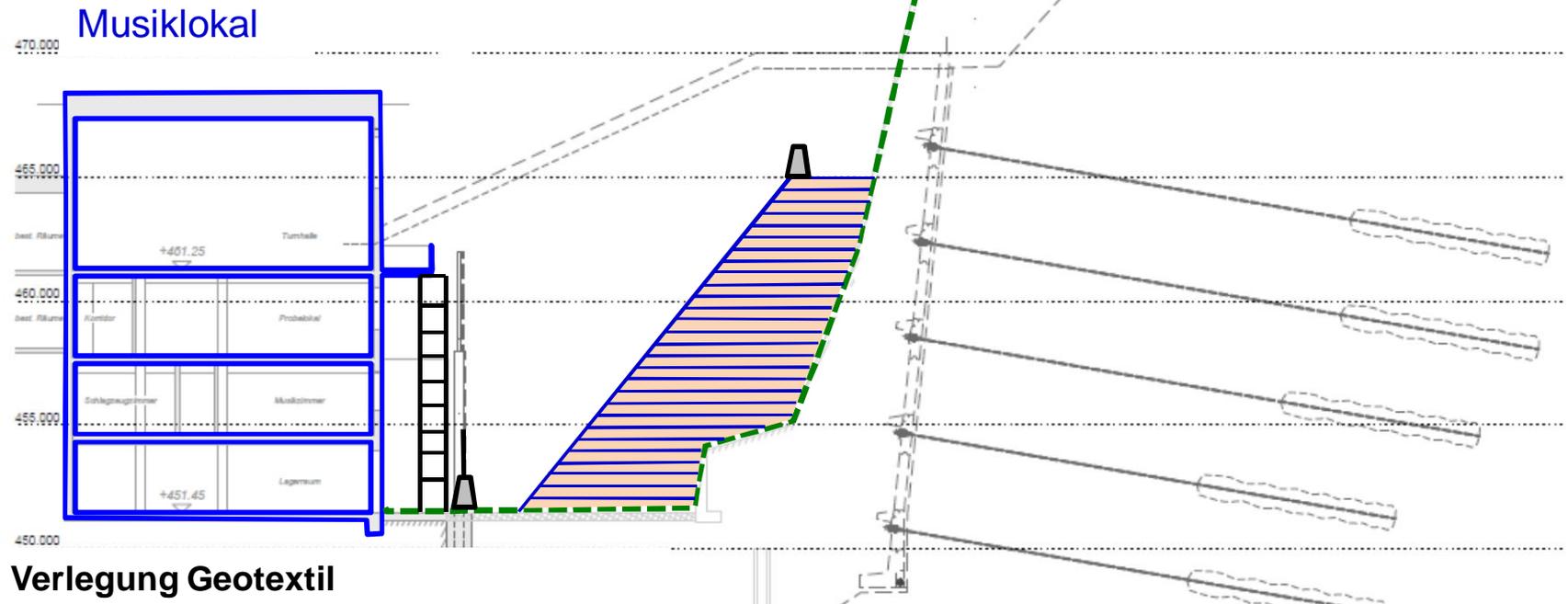


Arbeitsablauf von unten nach oben

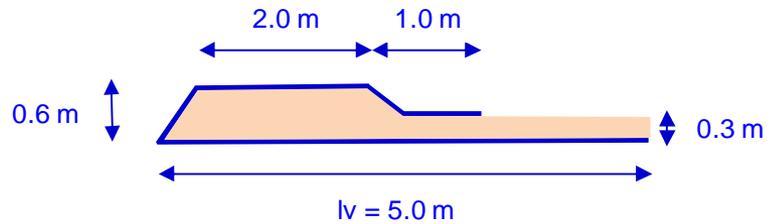
1. Schutzgerüst vor Musiklokal
2. Erdbewehrte prov. Schüttung (Erstellung Arbeitsebe)
 - Einbau Schüttmaterial (kiesig) in Schichten von 30 cm
 - Umgeklapptes Geotextil als 'Bewehrung' alle 60 cm



Details Erdbewehrte prov. Schüttung

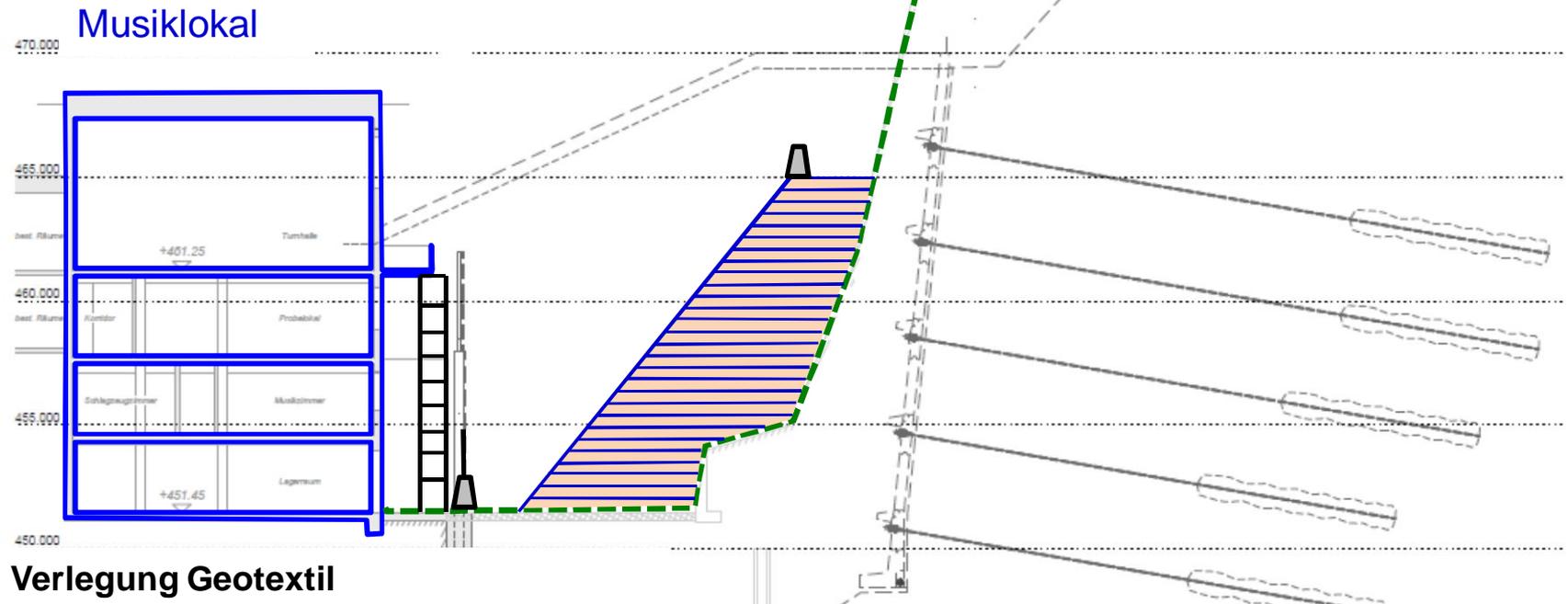


Verlegung Geotextil

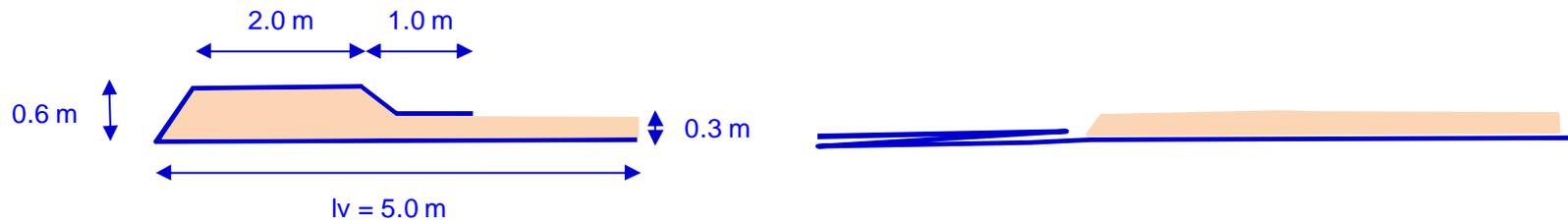




Details Erdbewehrte prov. Schüttung

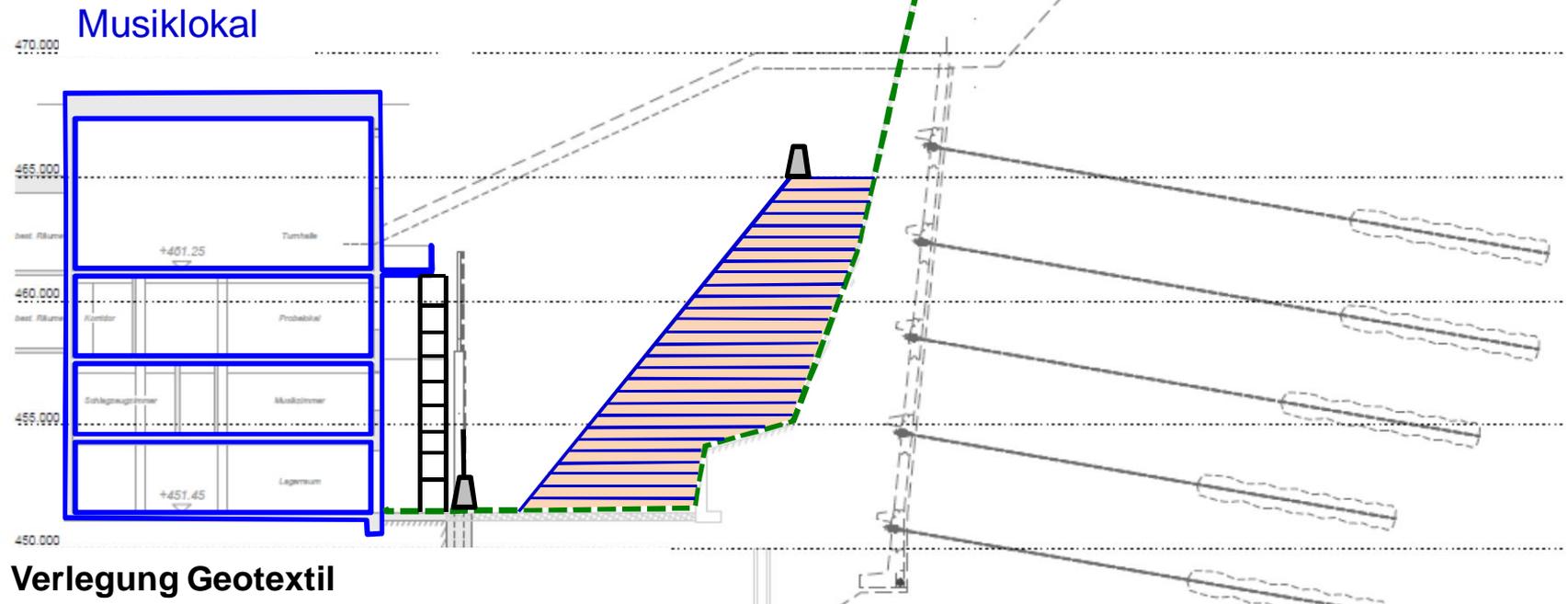


Verlegung Geotextil

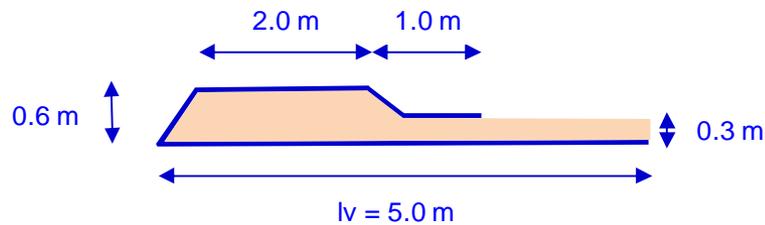




Details Erdbewehrte prov. Schüttung

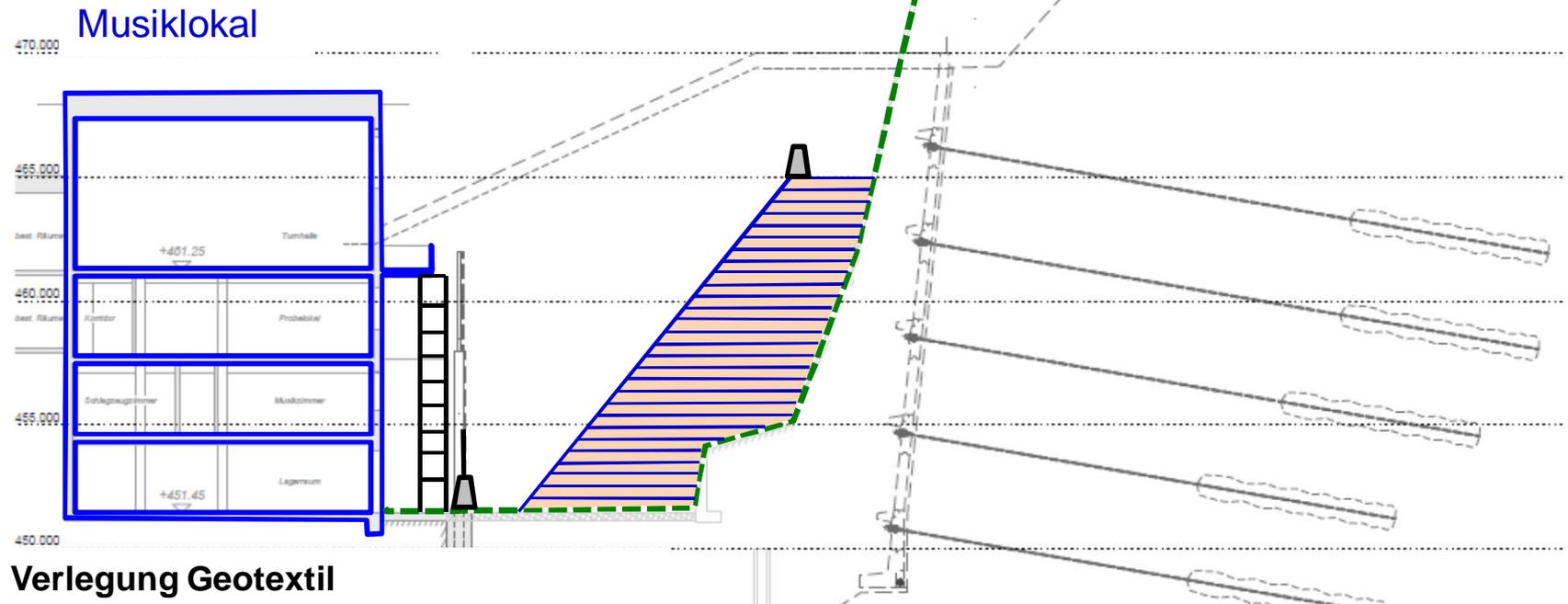


Verlegung Geotextil

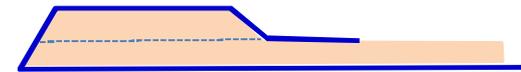
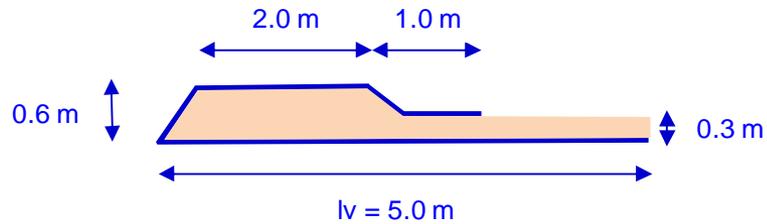




Details Erdbewehrte prov. Schüttung

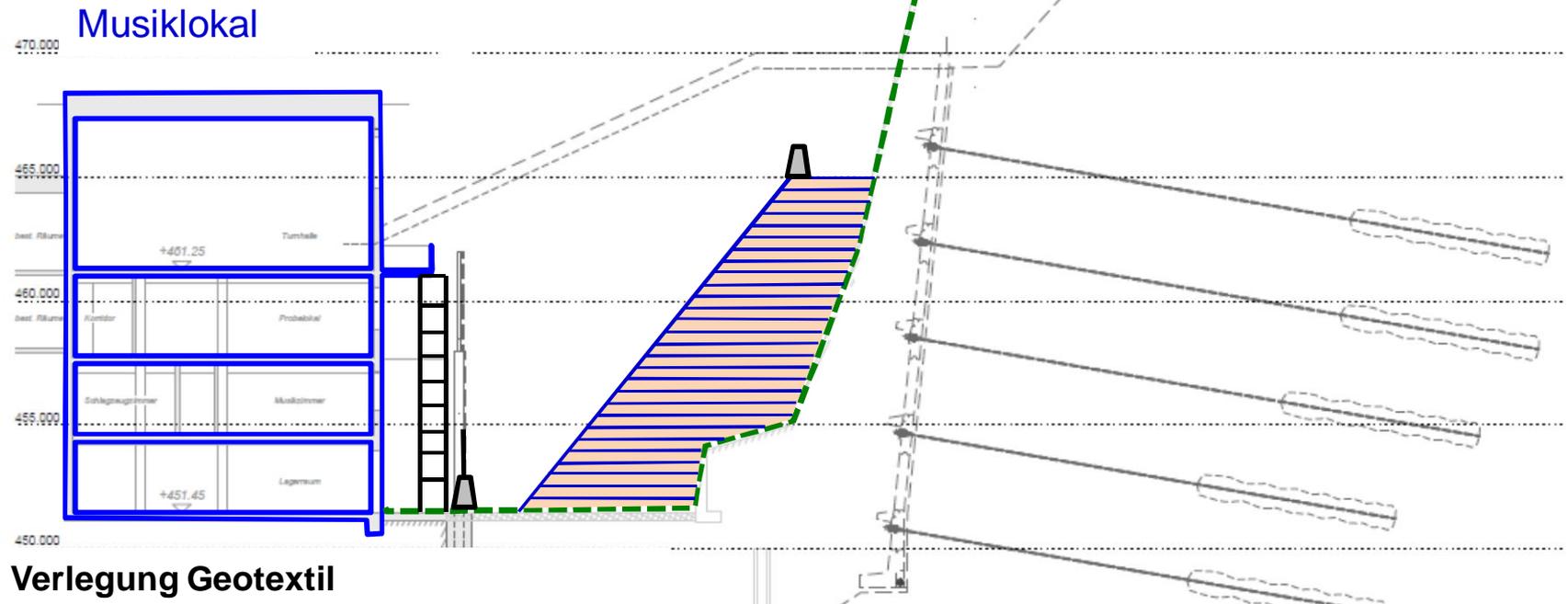


Verlegung Geotextil

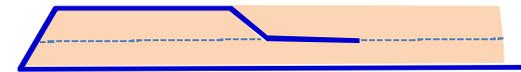
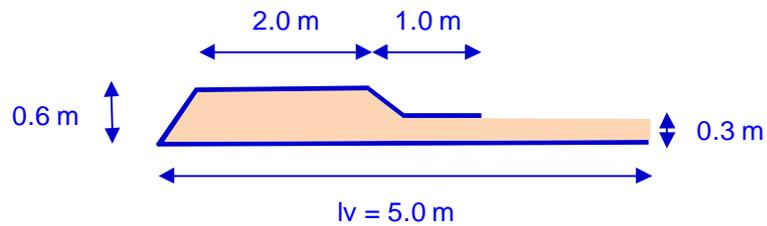




Details Erdbewehrte prov. Schüttung

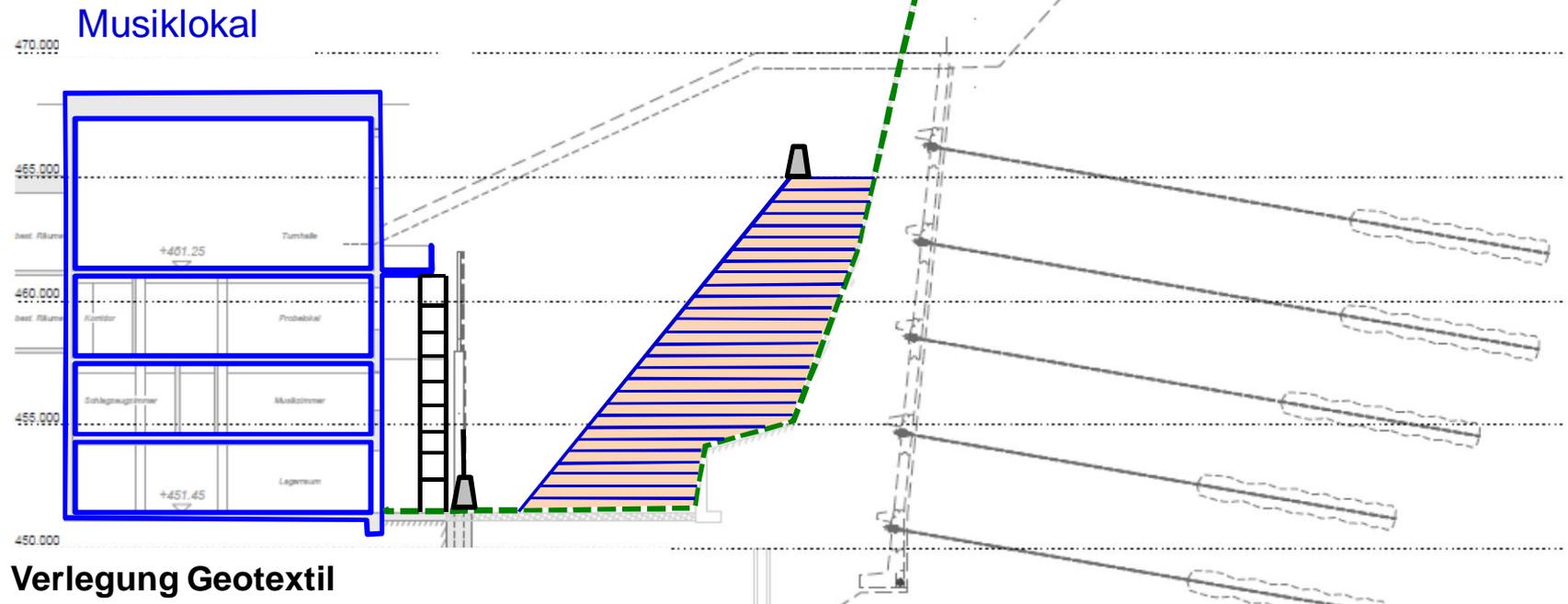


Verlegung Geotextil

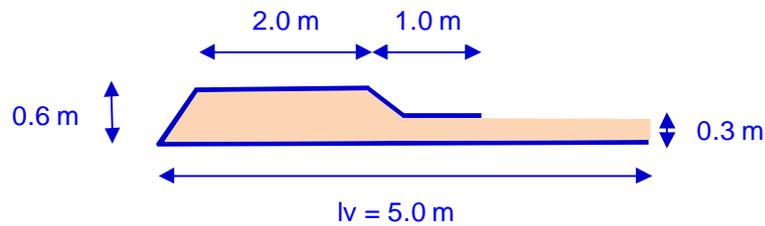




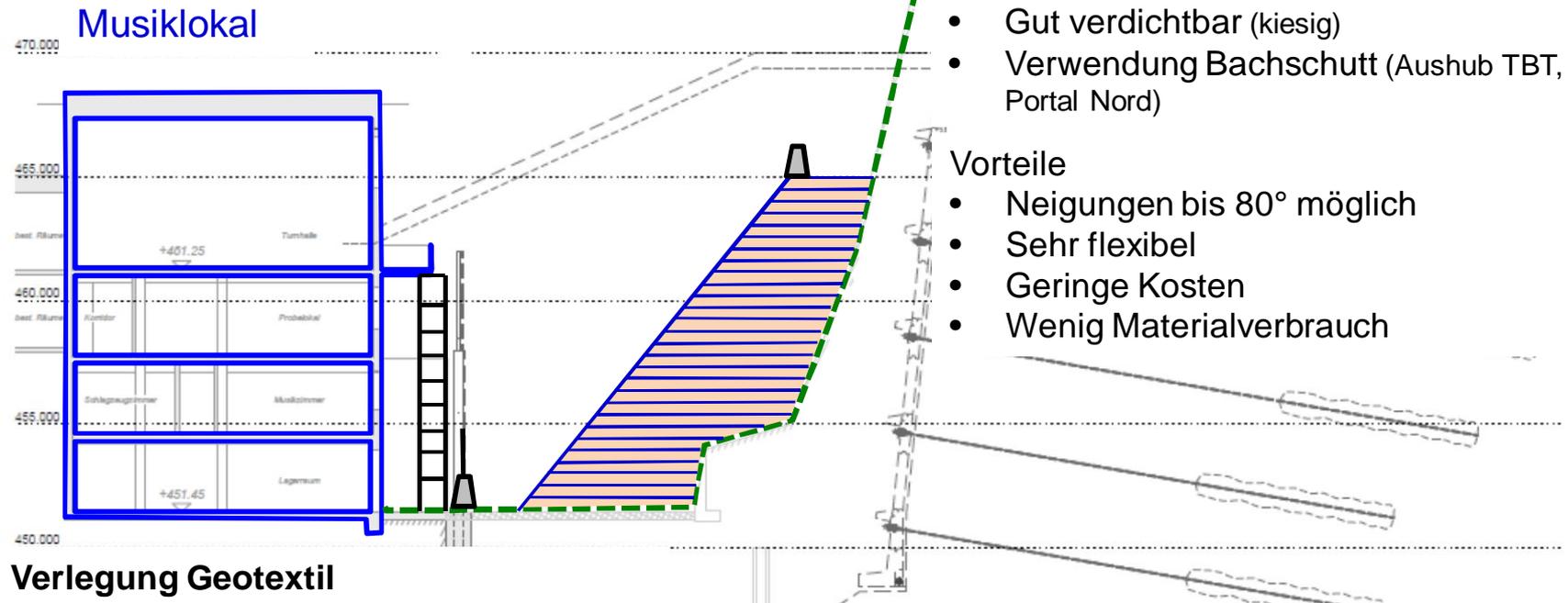
Details Erdbewehrte prov. Schüttung



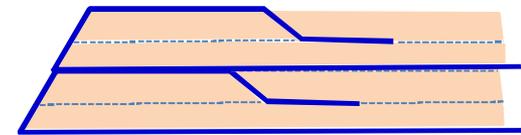
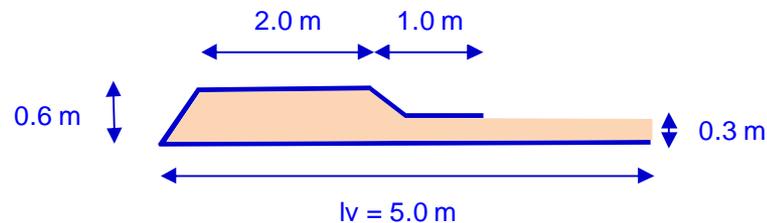
Verlegung Geotextil



Details Erdbewehrte prov. Schüttung



Verlegung Geotextil





Details Erdbewehrte prov. Schüttung

Auslegung 1. Lage Geotextil





Details Erdbewehrte prov. Schüttung

Einbau Schicht für Schicht

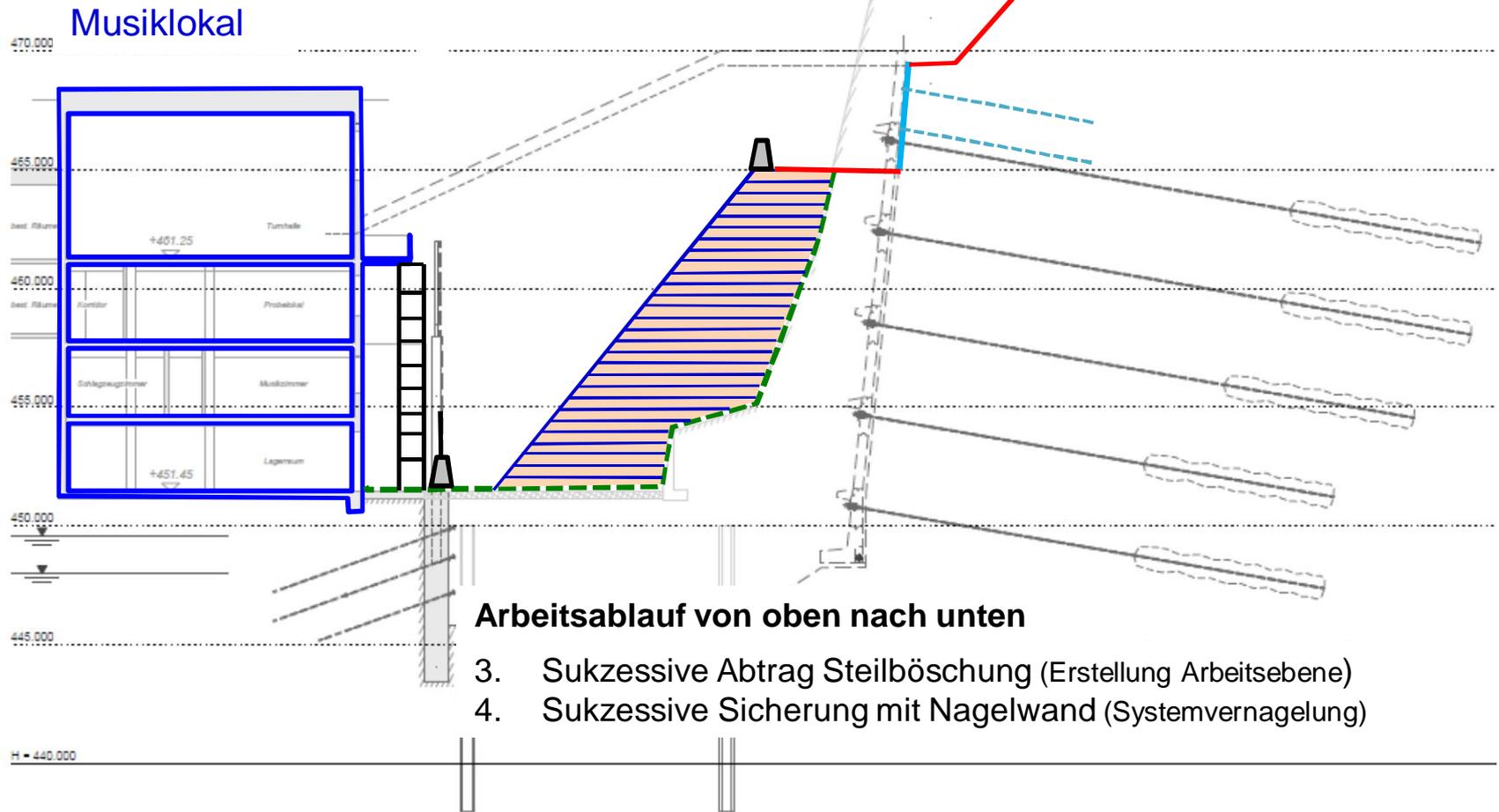


Details Erdbewehrte prov. Schüttung

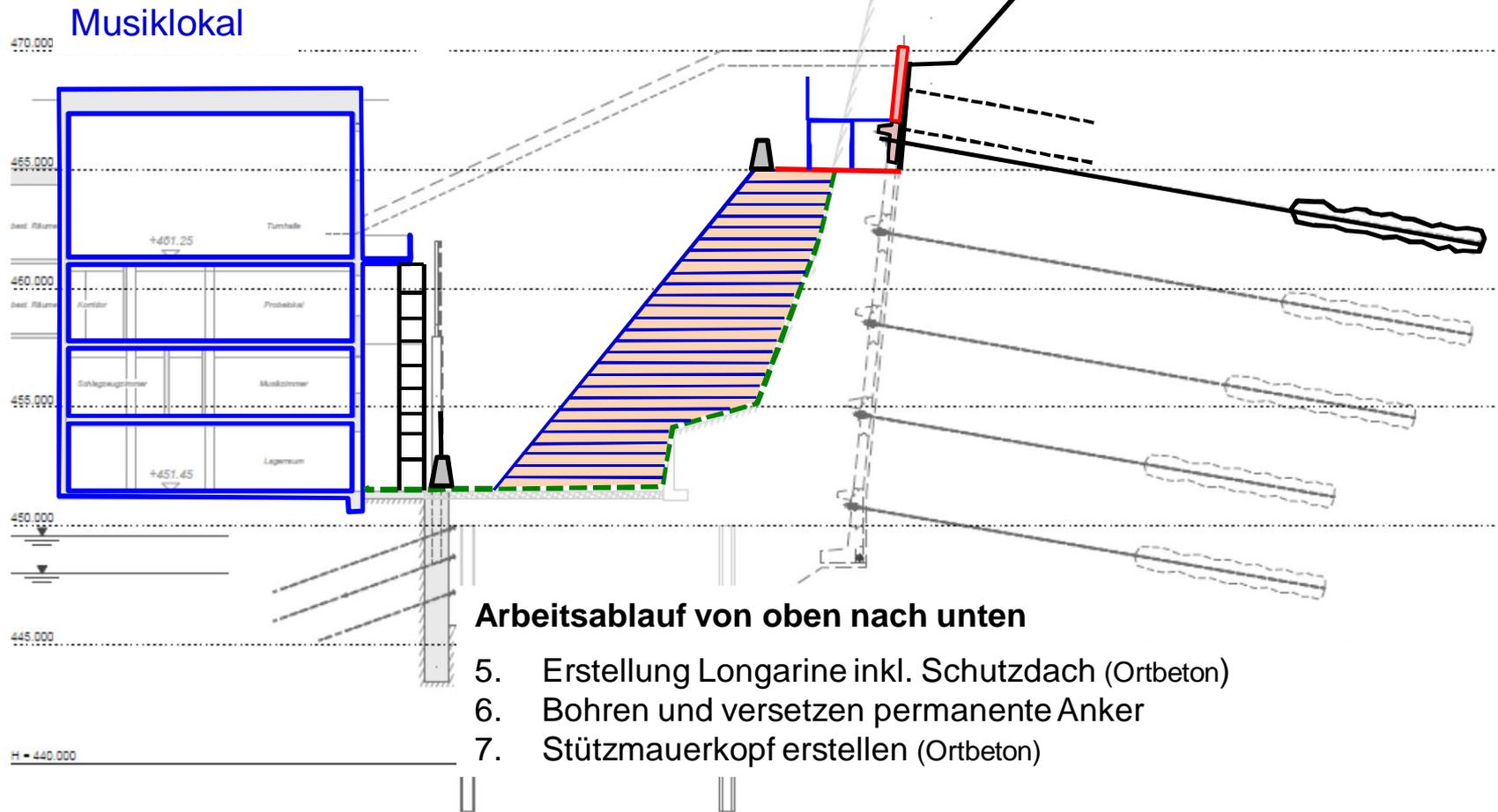
Oberste Arbeitsebene erreicht



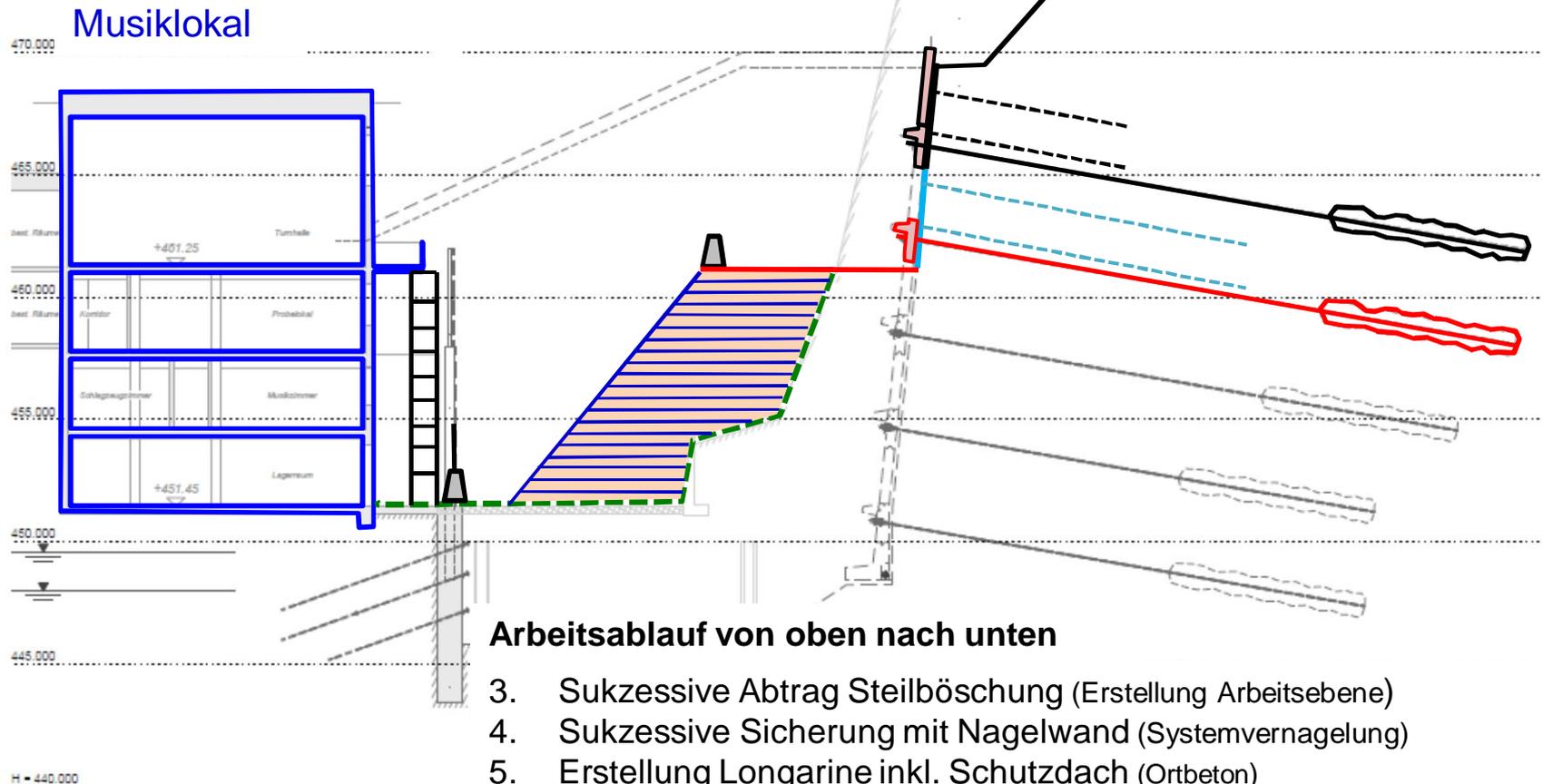
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt

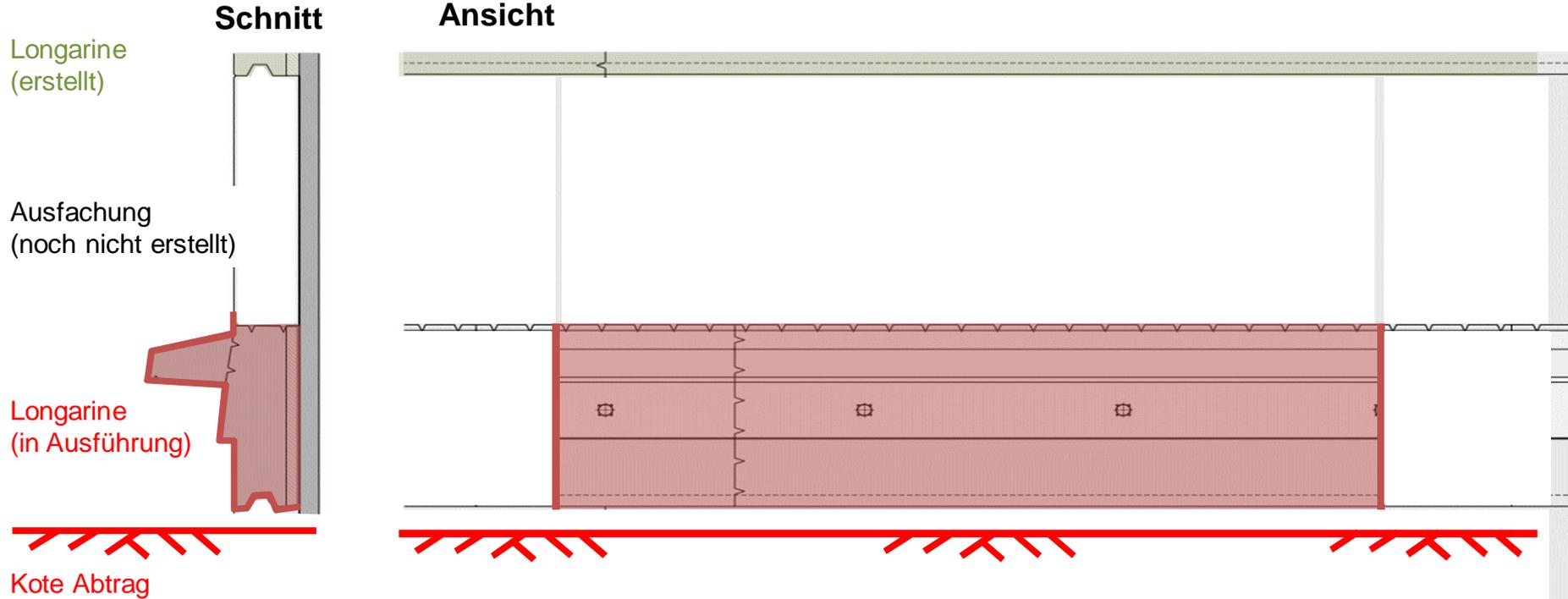
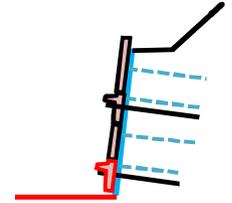


3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Erstellung Longarine inkl. Schutzdach (Ortbeton)
6. Bohren und versetzen permanente Anker



Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

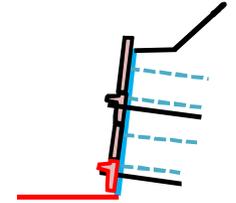
Vorgefertigte Schalungselemente





Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

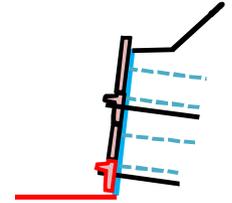
Vorgefertigte Schalungselemente





Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

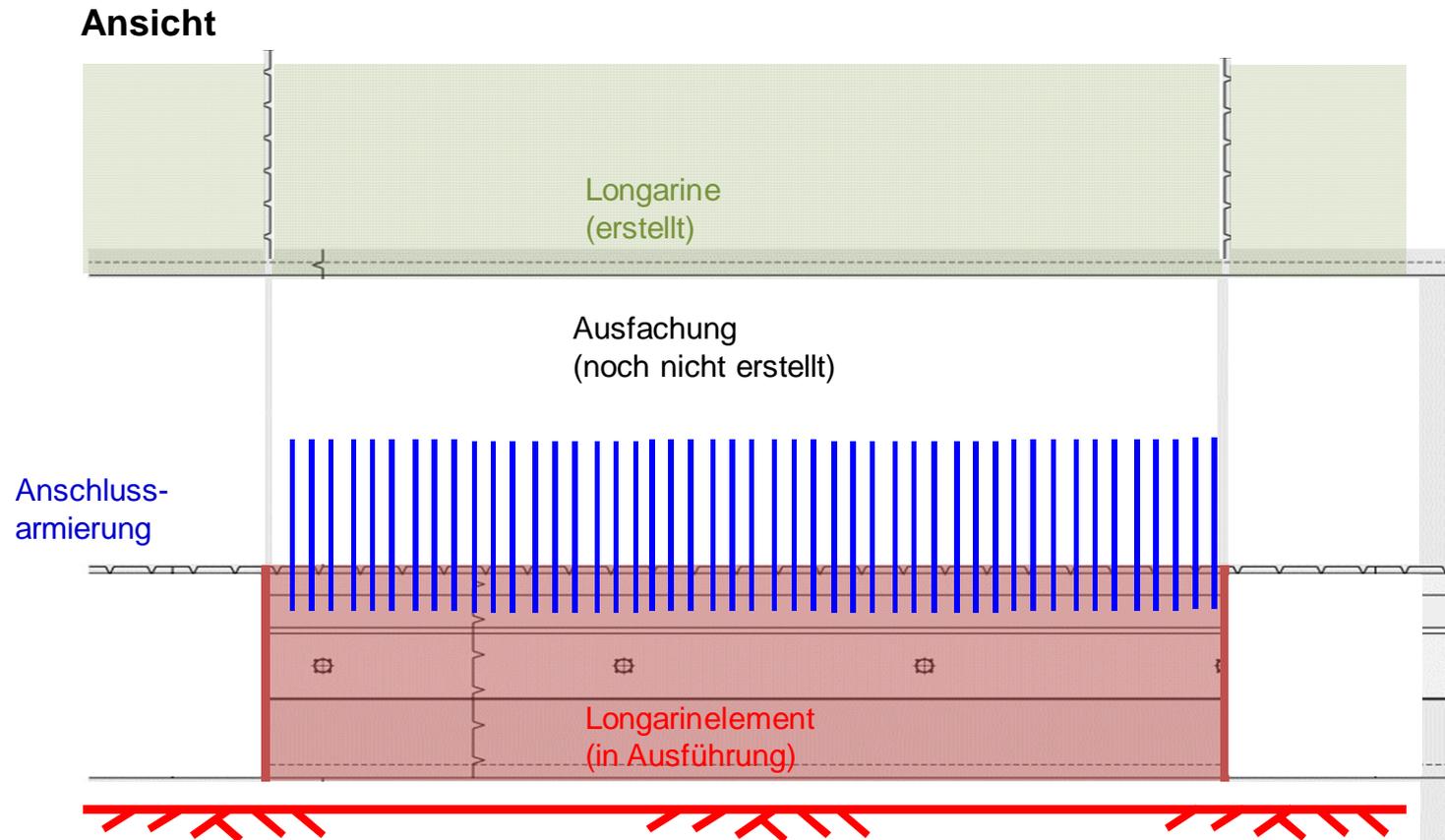
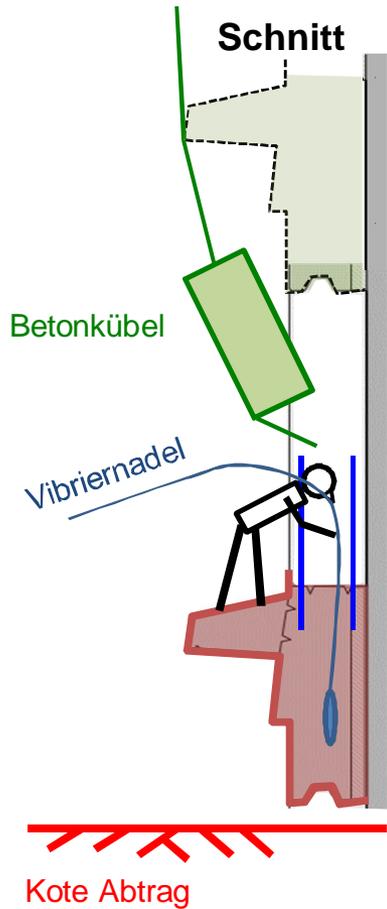
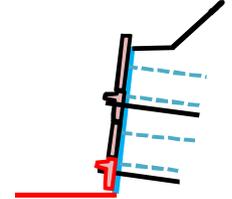
Vorgefertigte Schalungselemente





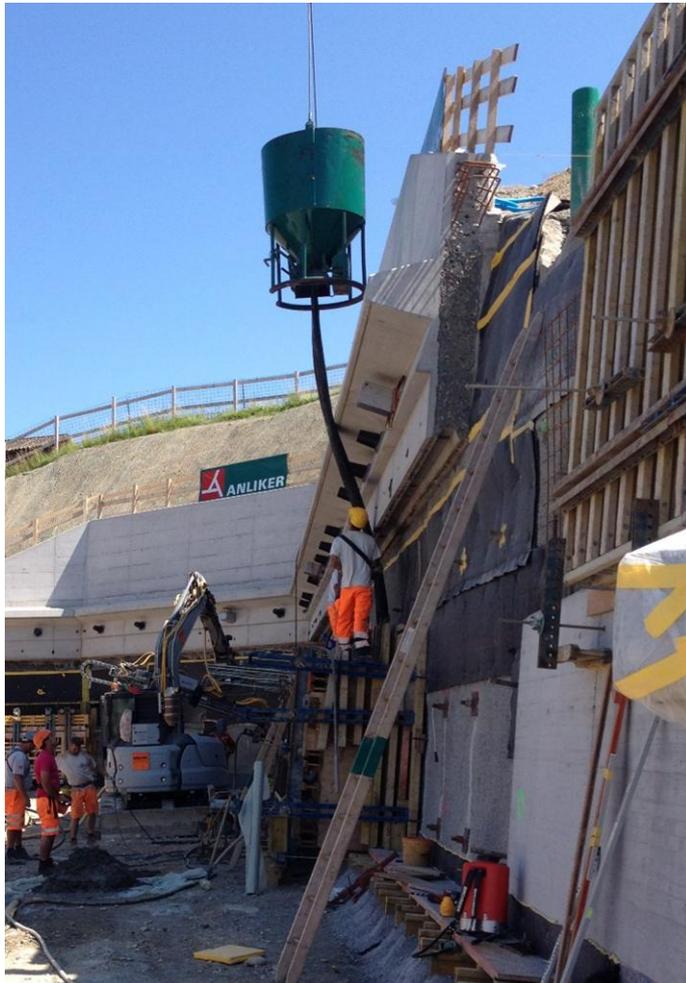
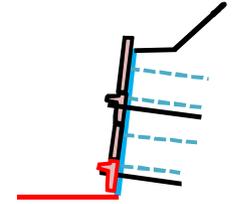
Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

‘Schwierigkeiten’ Einbringung Beton



Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

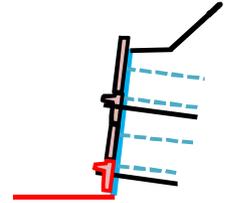
‘Schwierigkeiten’ Einbringung Beton





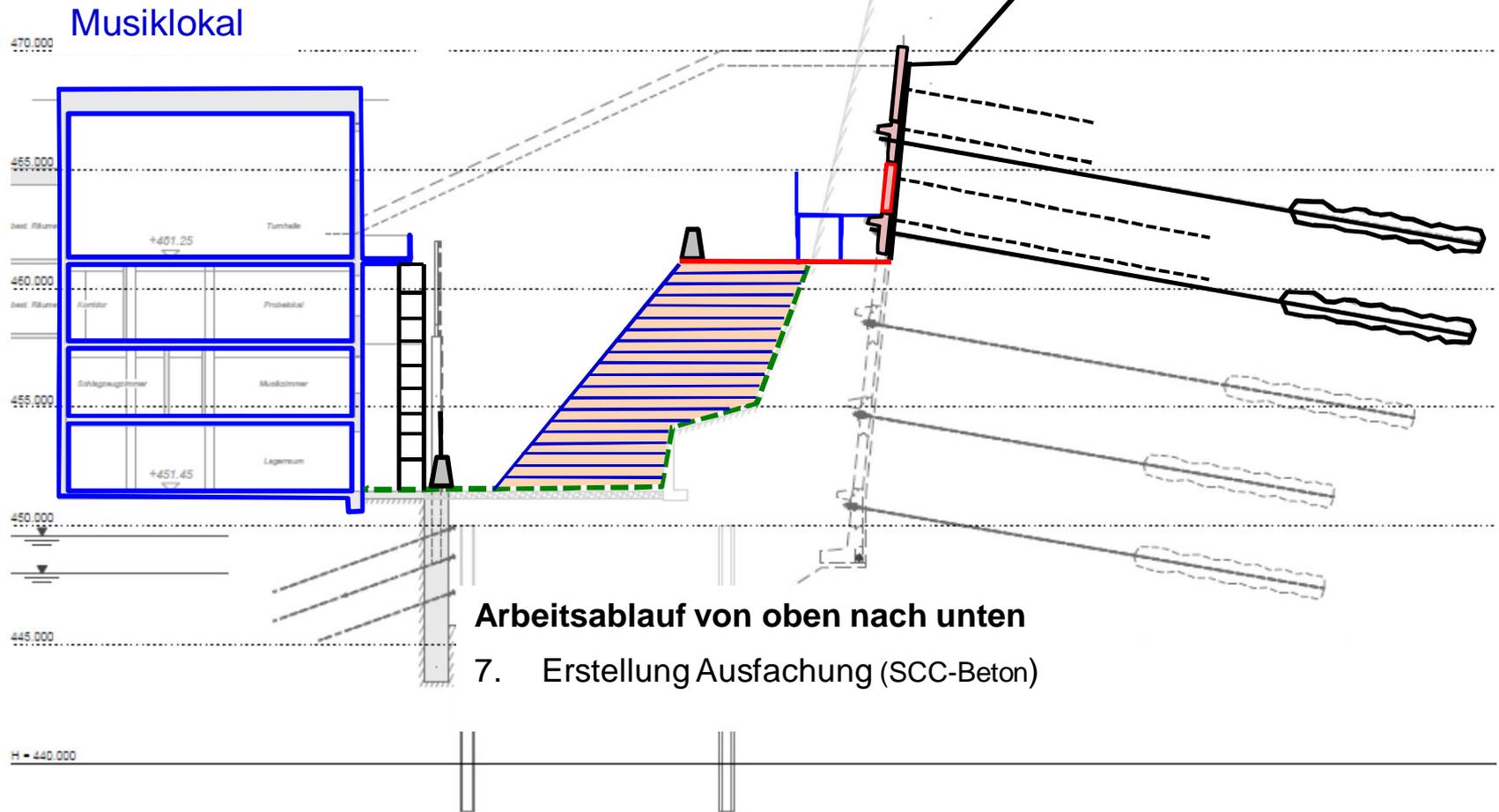
Details Erstellung Betonlongarine mit Ortbeton

Fertiggestelltes Longarinenelement





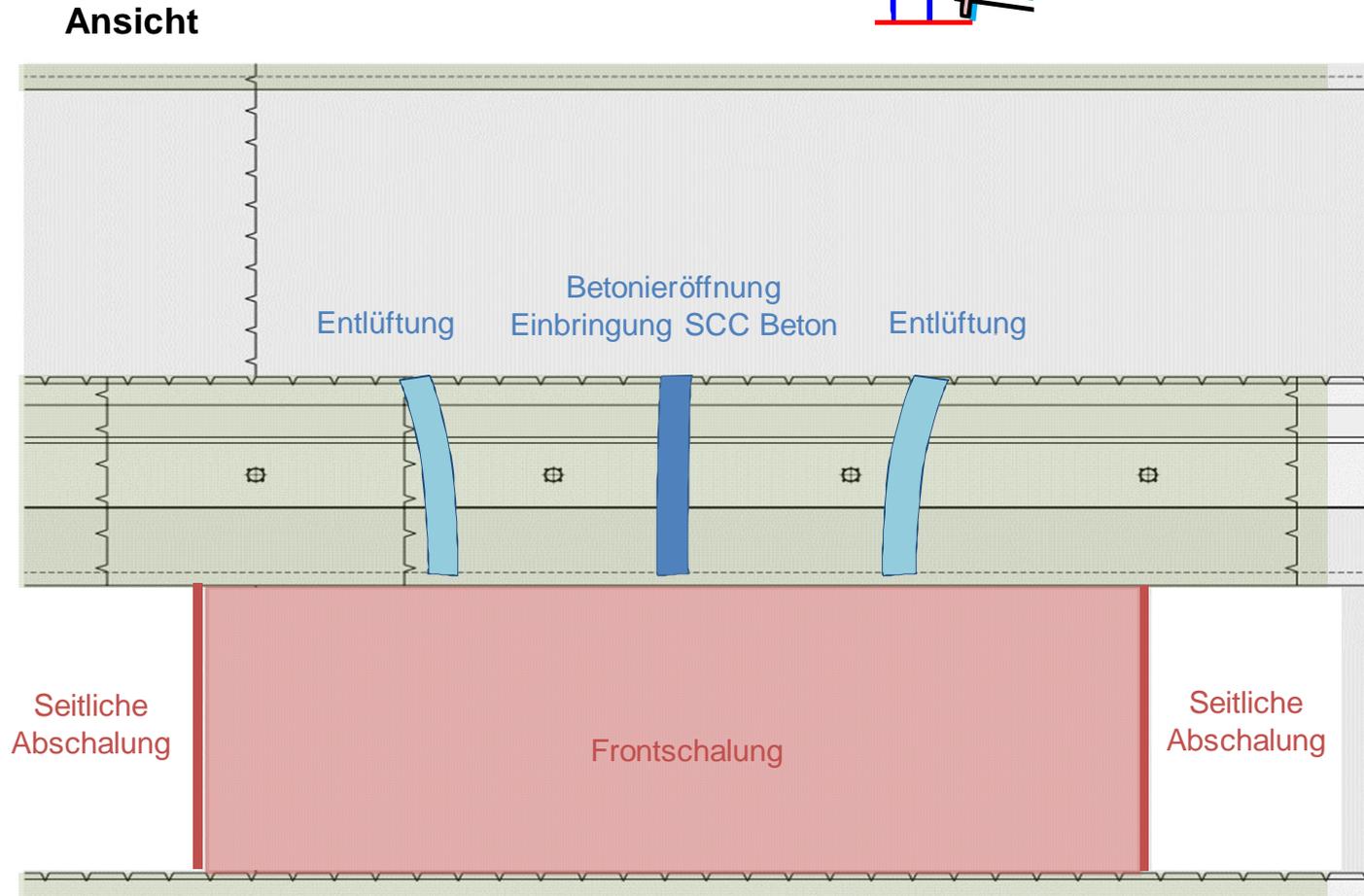
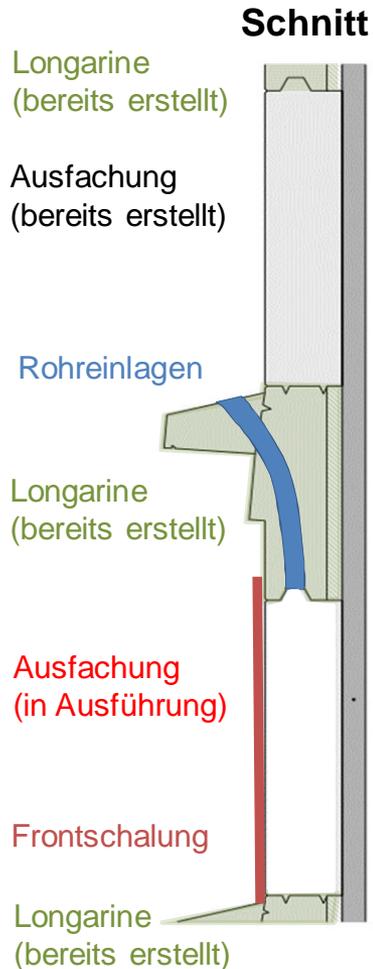
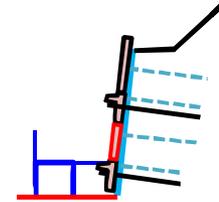
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

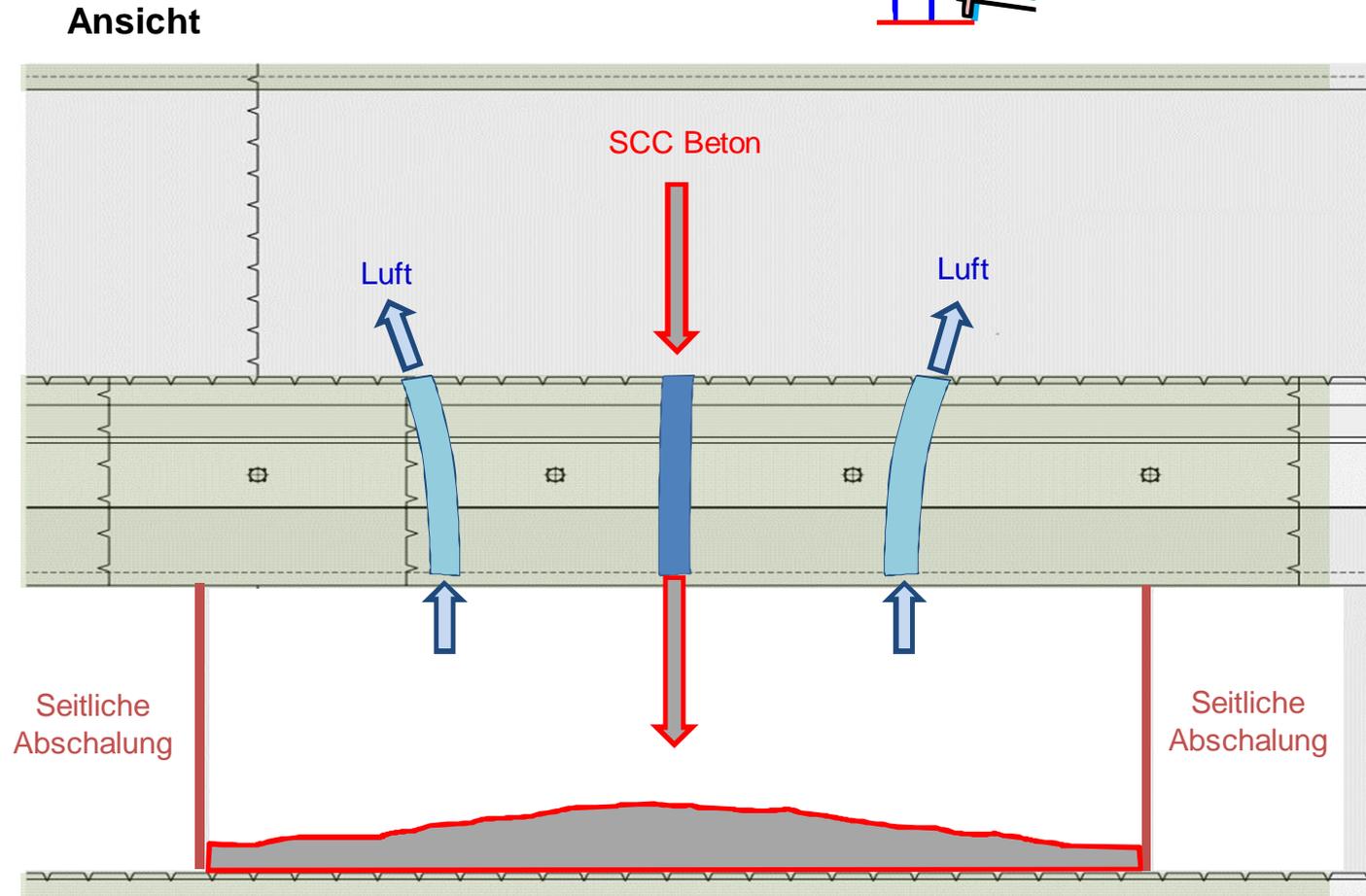
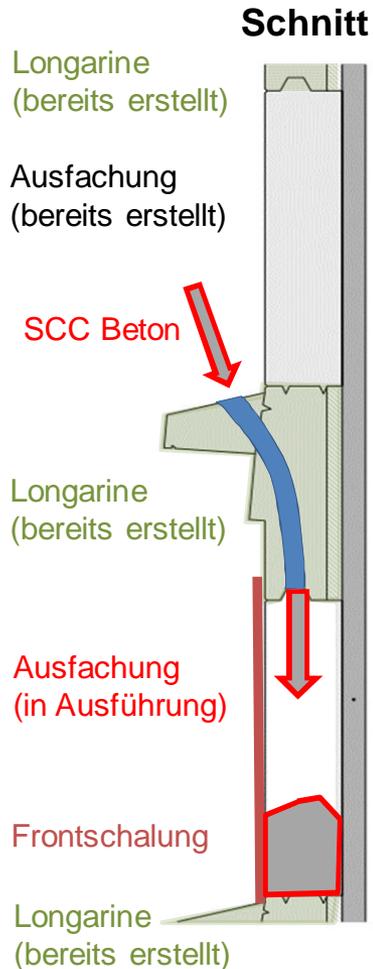
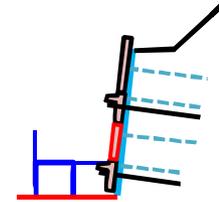
Schalung und Schalungseinlagen





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

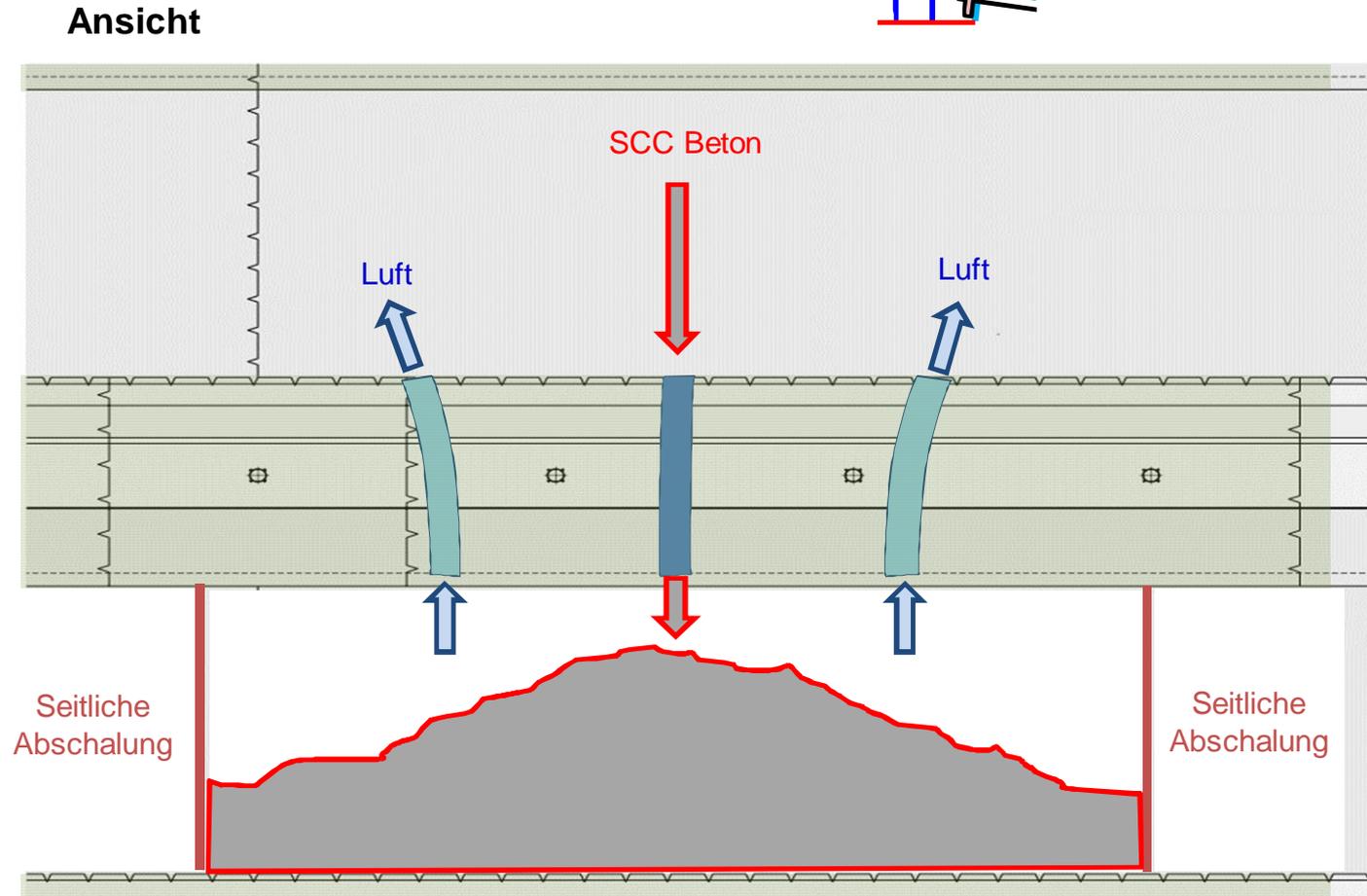
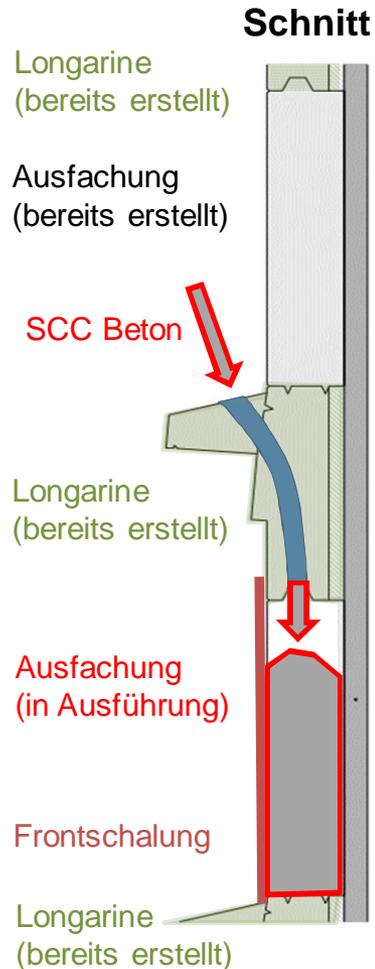
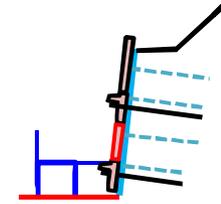
Betoniervorgang





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

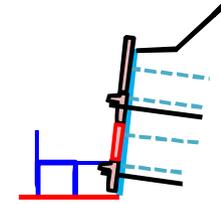
Betoniervorgang





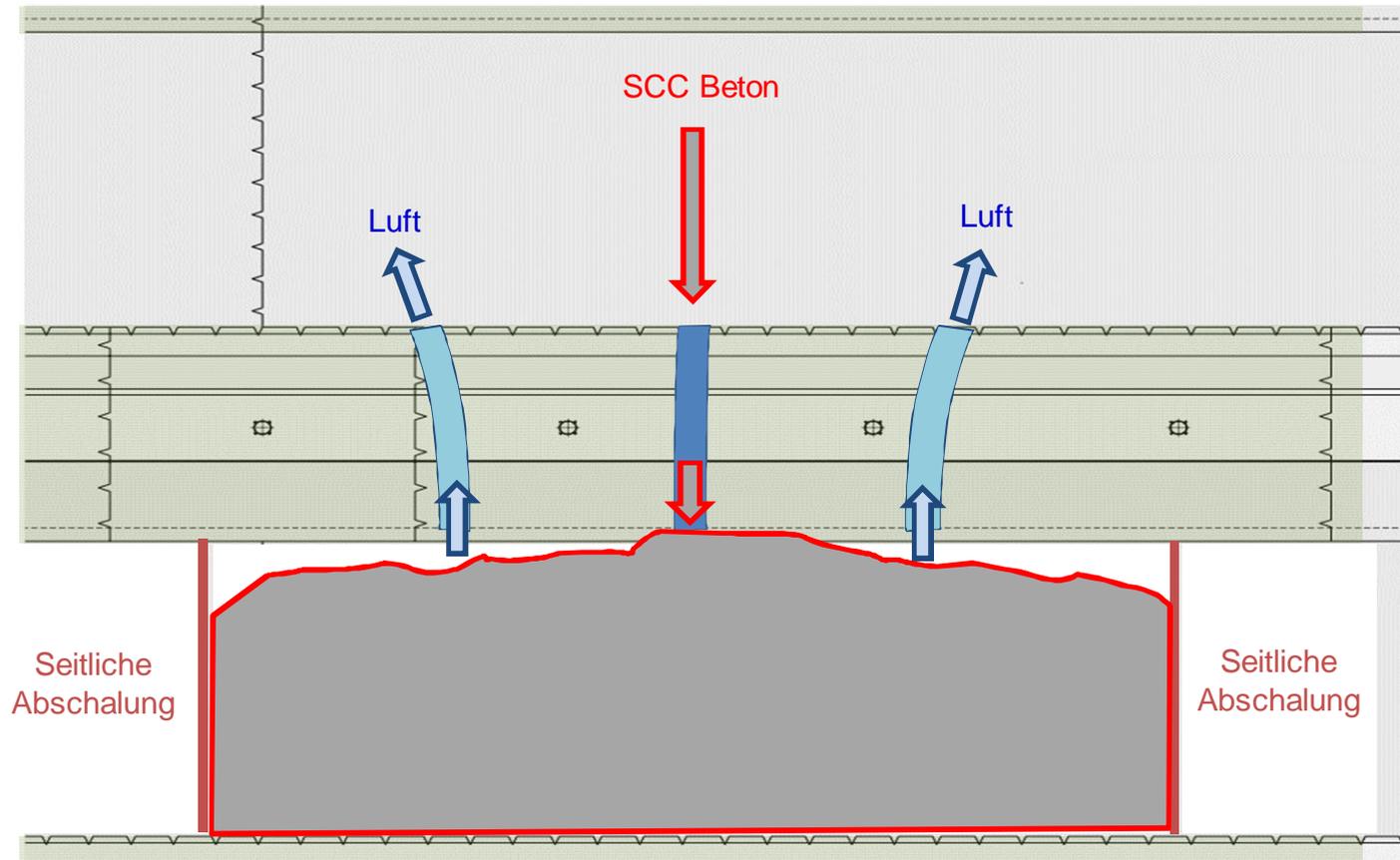
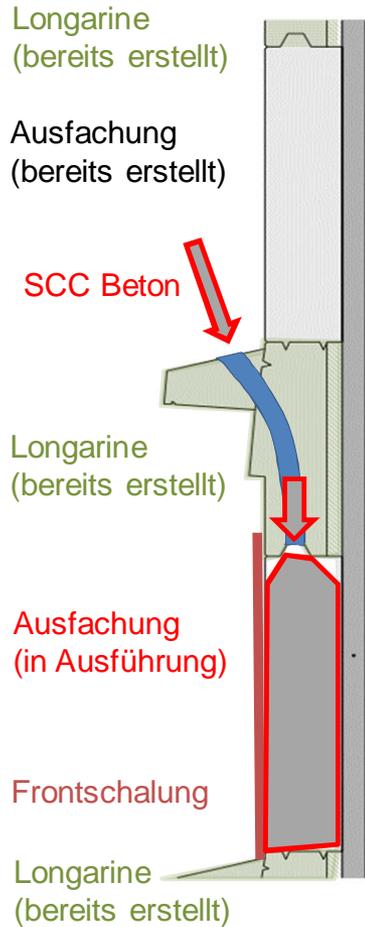
Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

Betoniervorgang



Schnitt

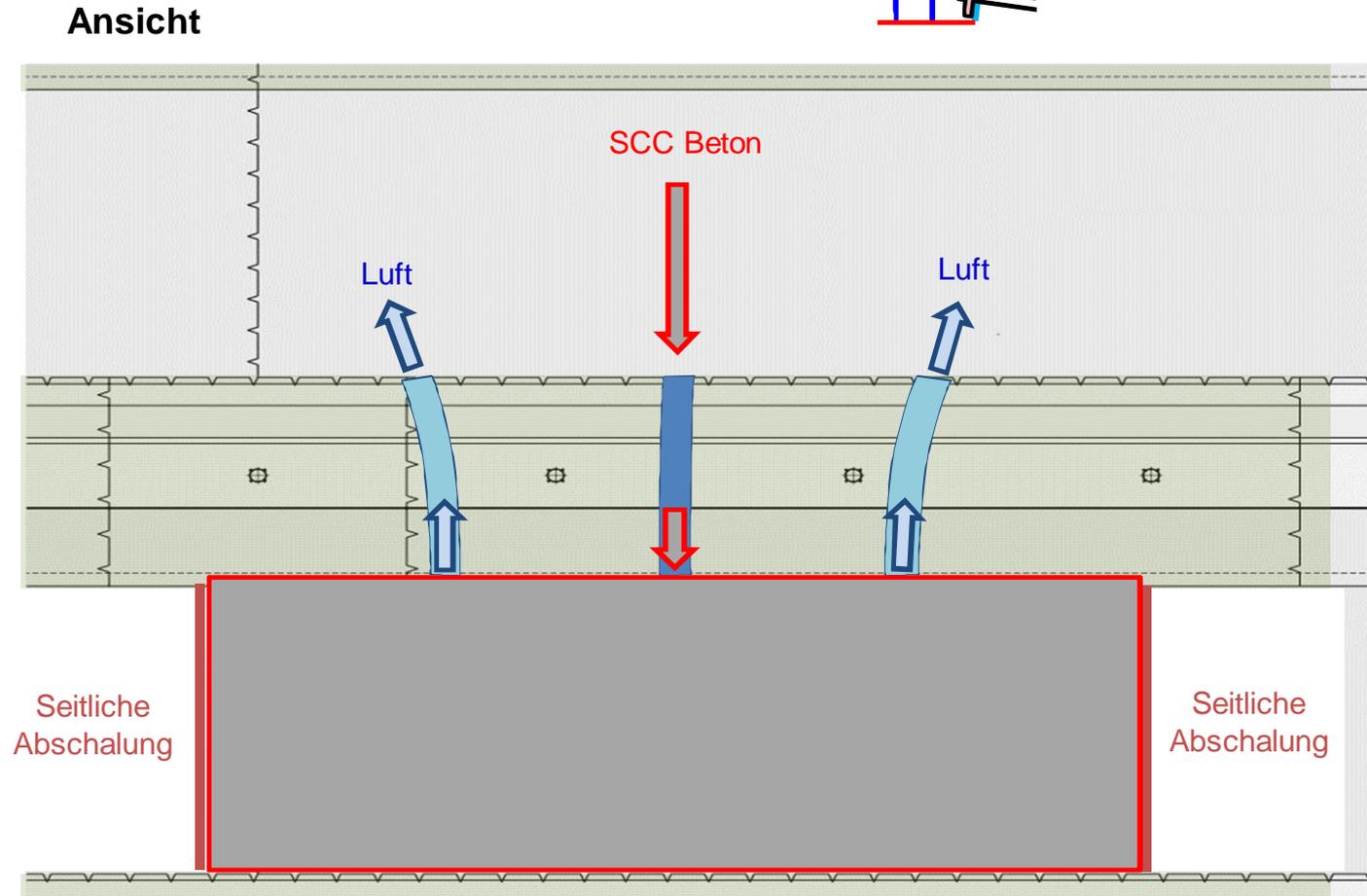
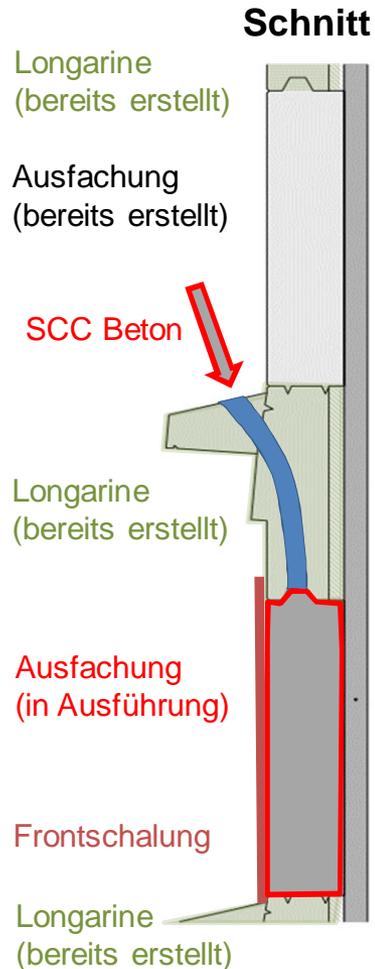
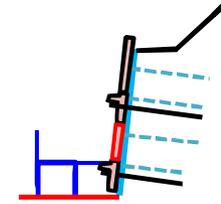
Ansicht





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

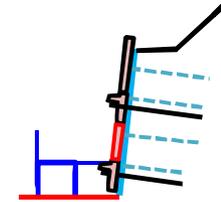
Betoniervorgang





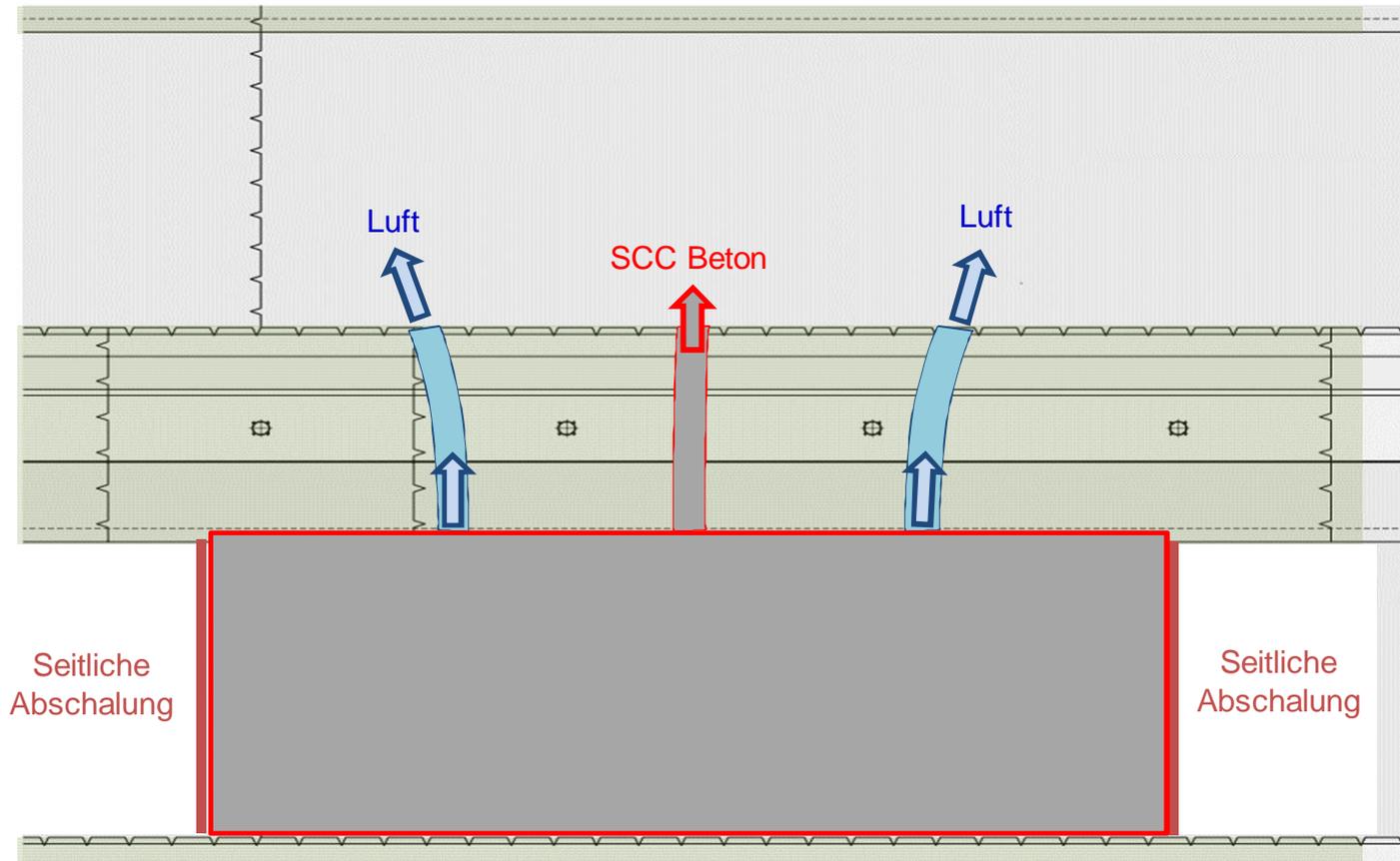
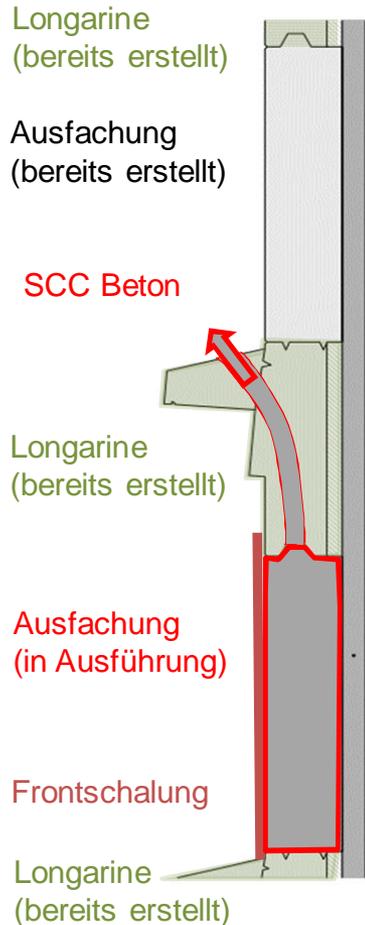
Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

Betoniervorgang



Schnitt

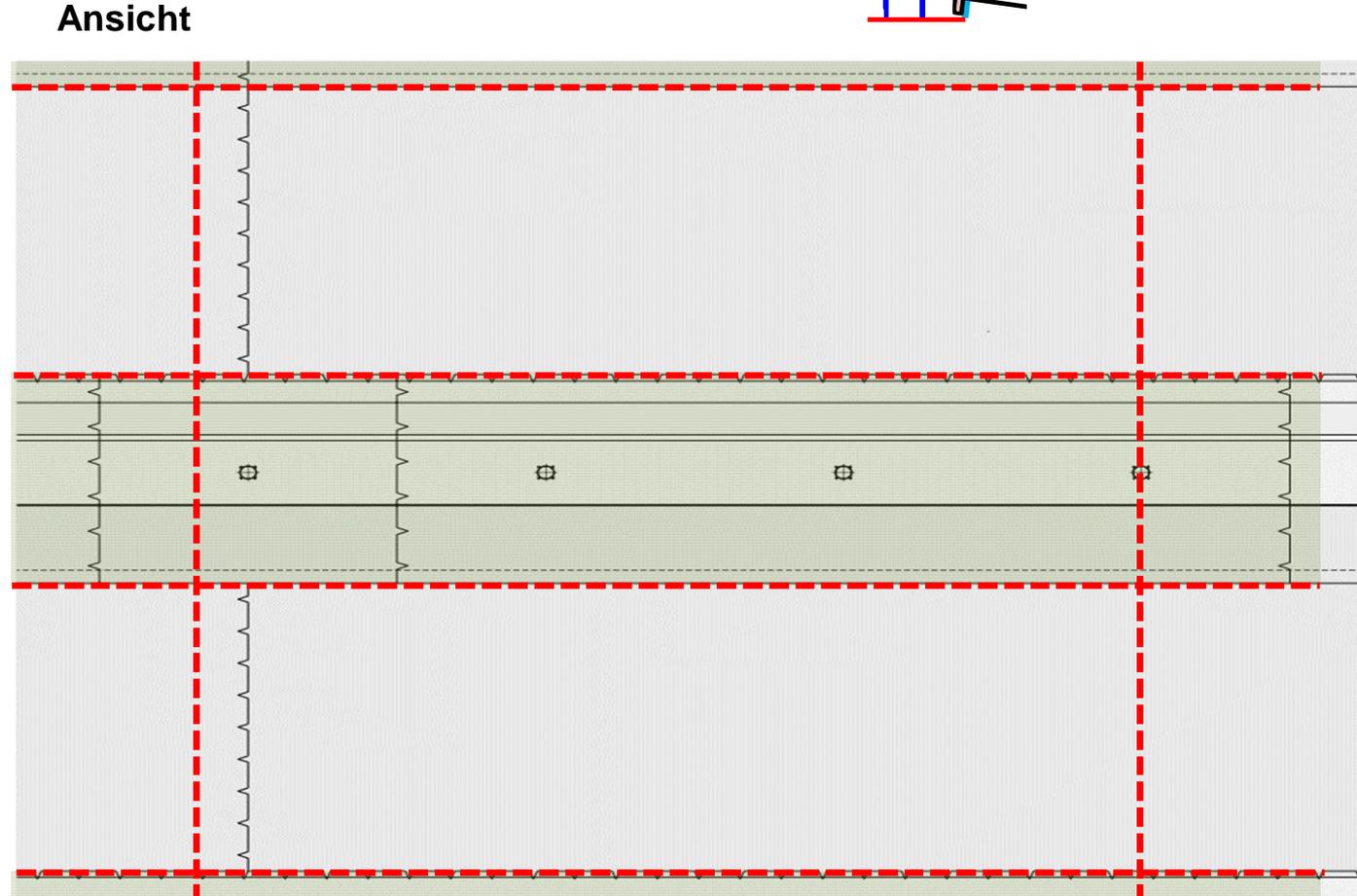
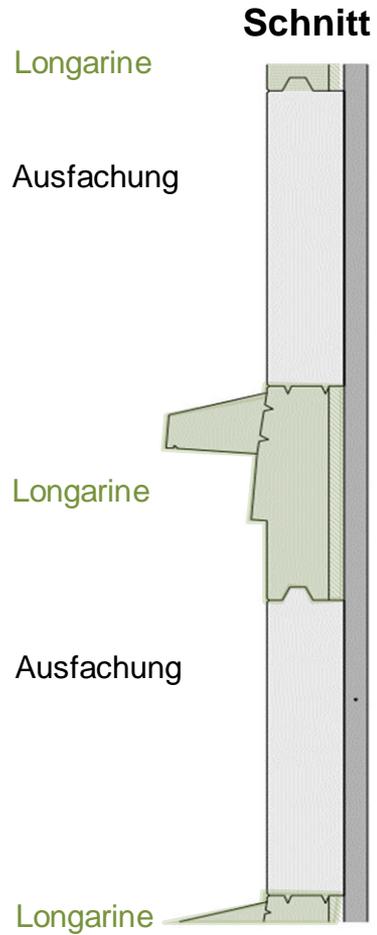
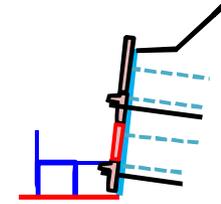
Ansicht





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

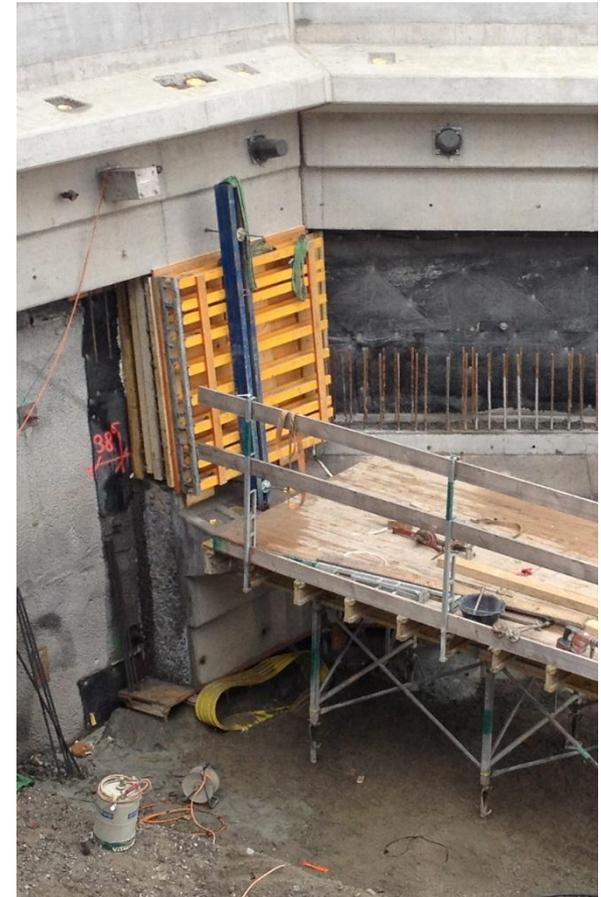
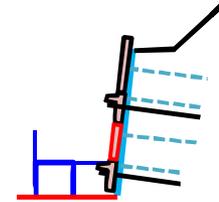
Fugenschnitt





Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

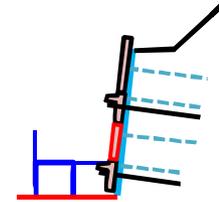
Schalung und Betoniervorgang



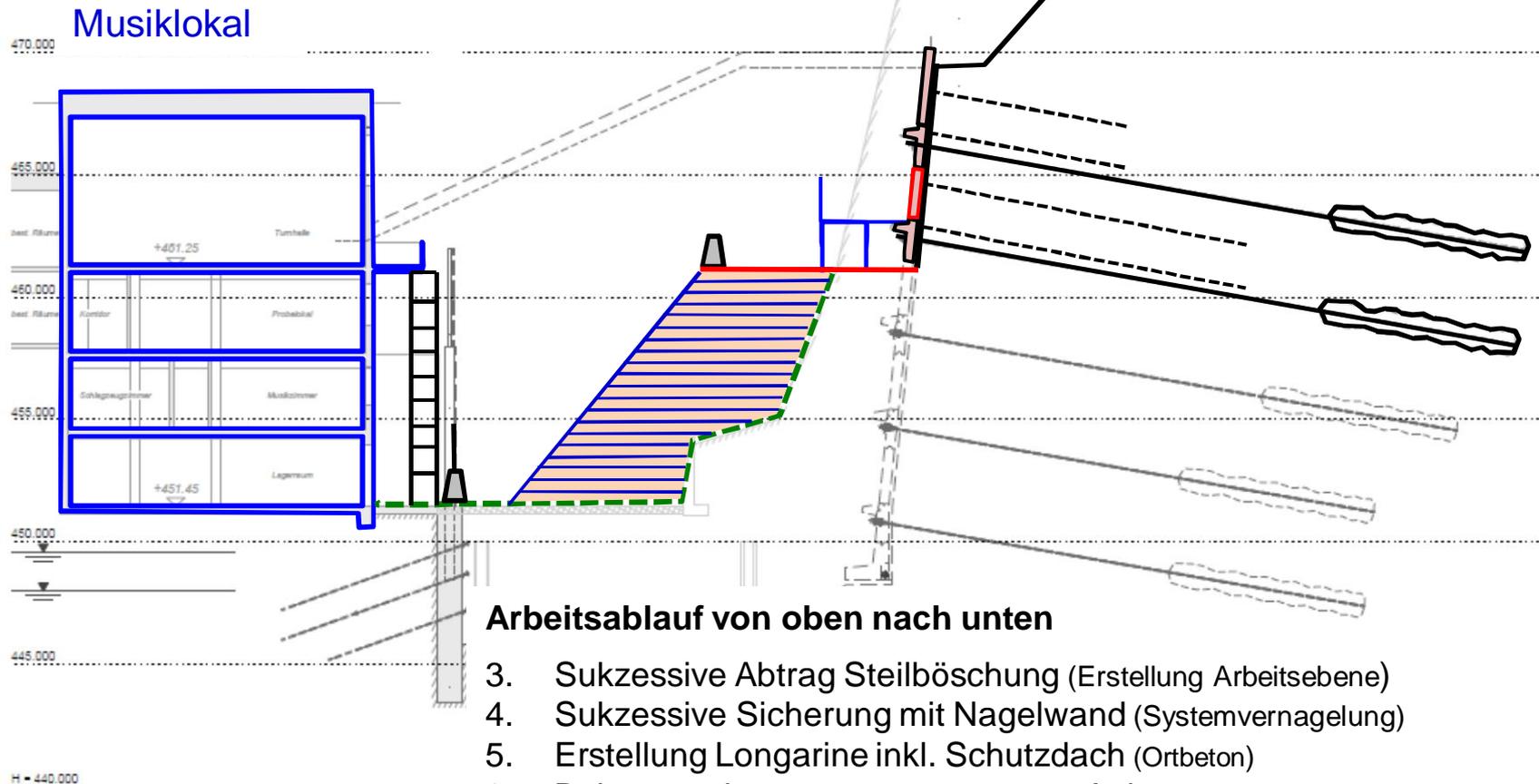


Details Erstellung Ausfachung mit SCC Beton

Schalung und Betoniervorgang



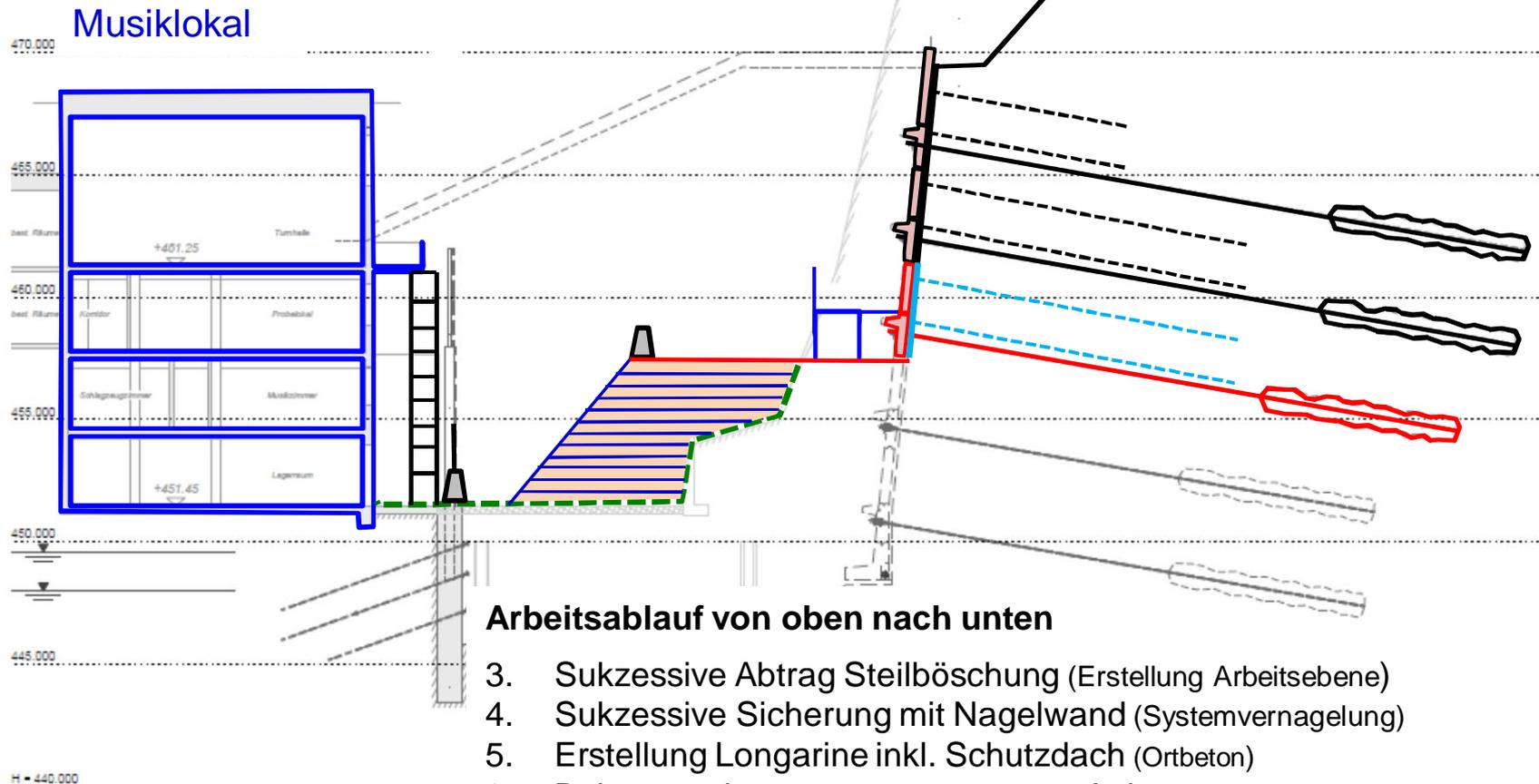
Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Arbeitsablauf von oben nach unten

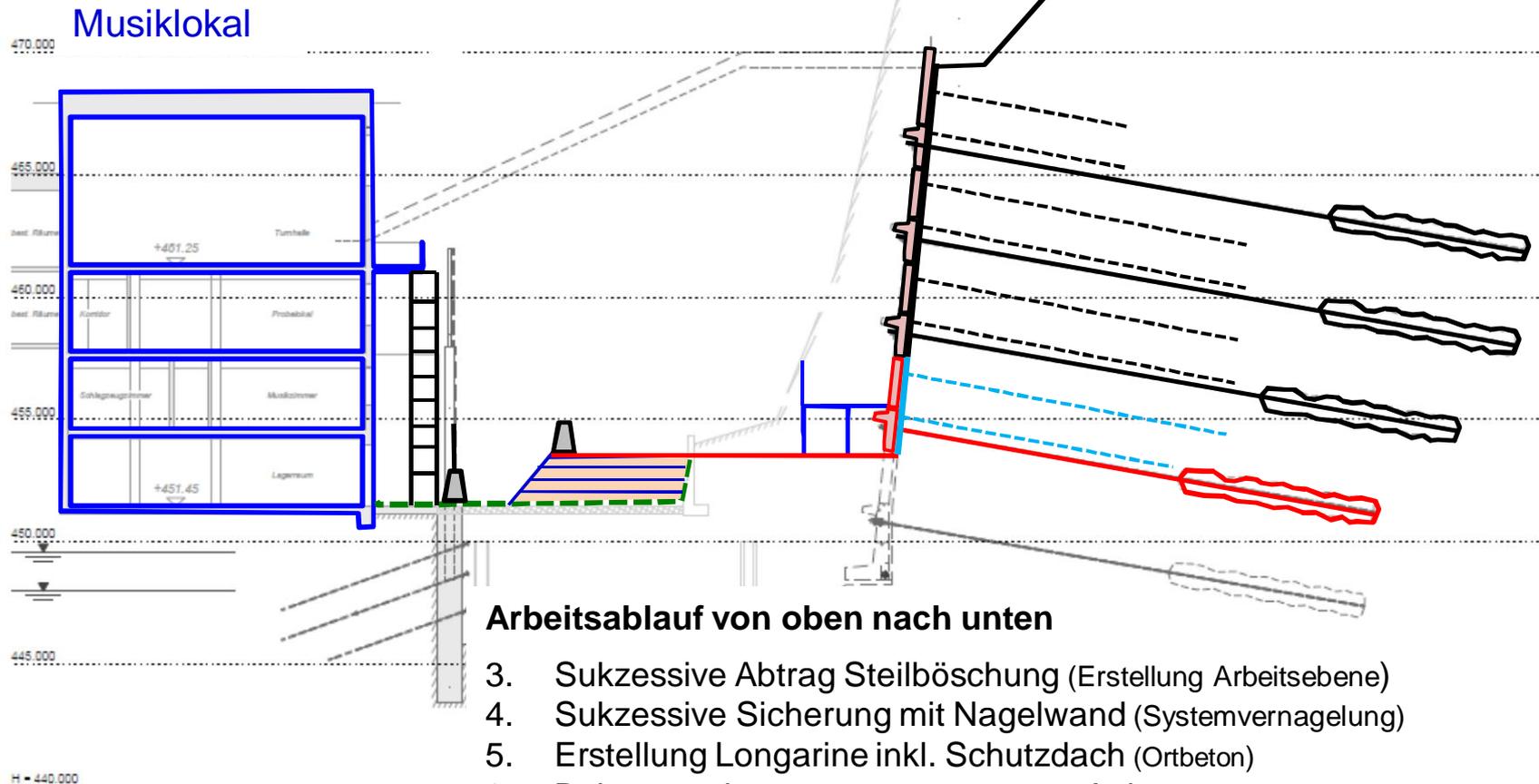
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Erstellung Longarine inkl. Schutzdach (Ortbeton)
6. Bohren und versetzen permanente Anker
7. Erstellung Ausfachung (SCC-Beton)

Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



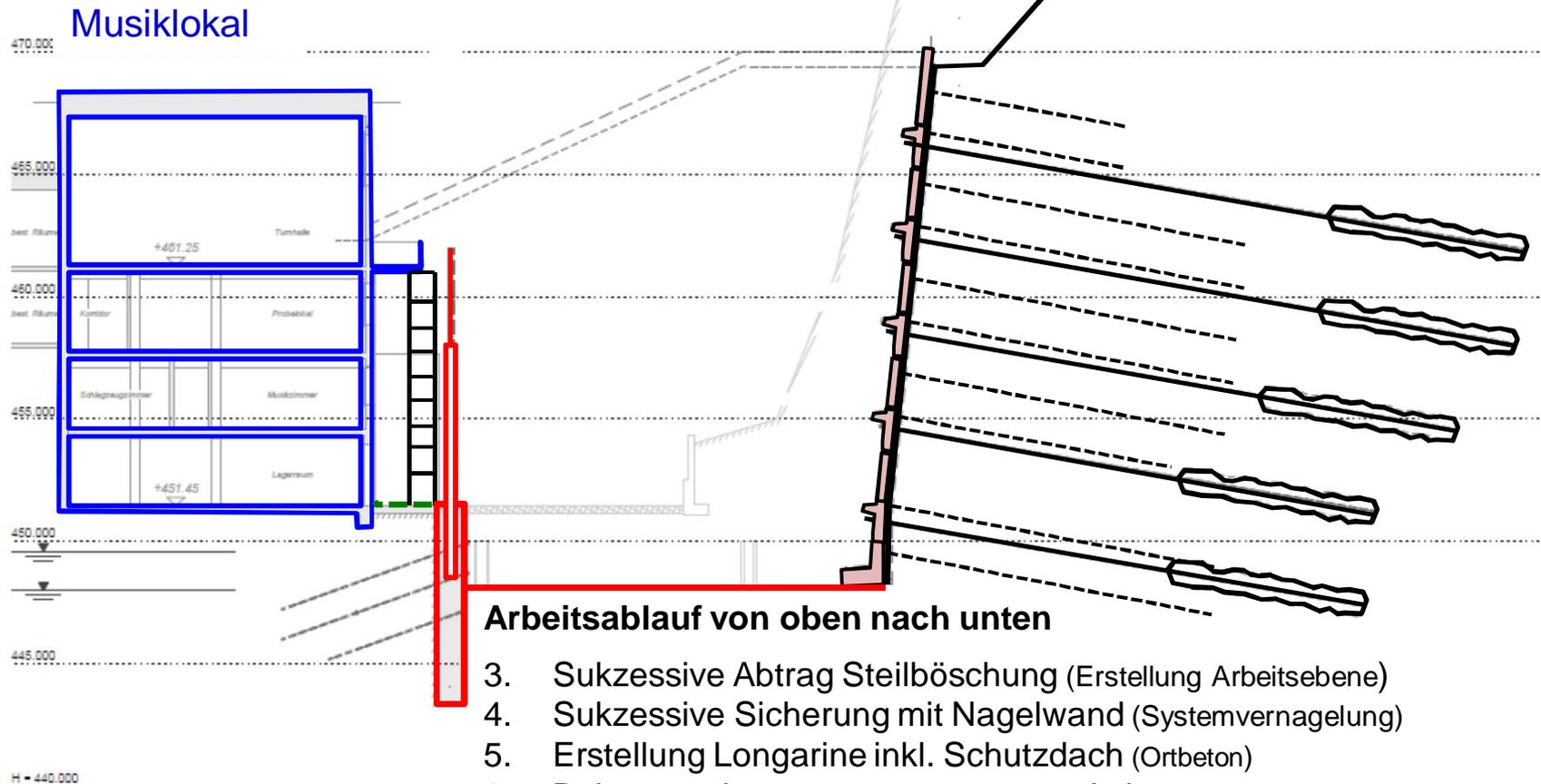
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Erstellung Longaraine inkl. Schutzdach (Ortbeton)
6. Bohren und versetzen permanente Anker
7. Erstellung Ausfachung (SCC-Beton)

Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



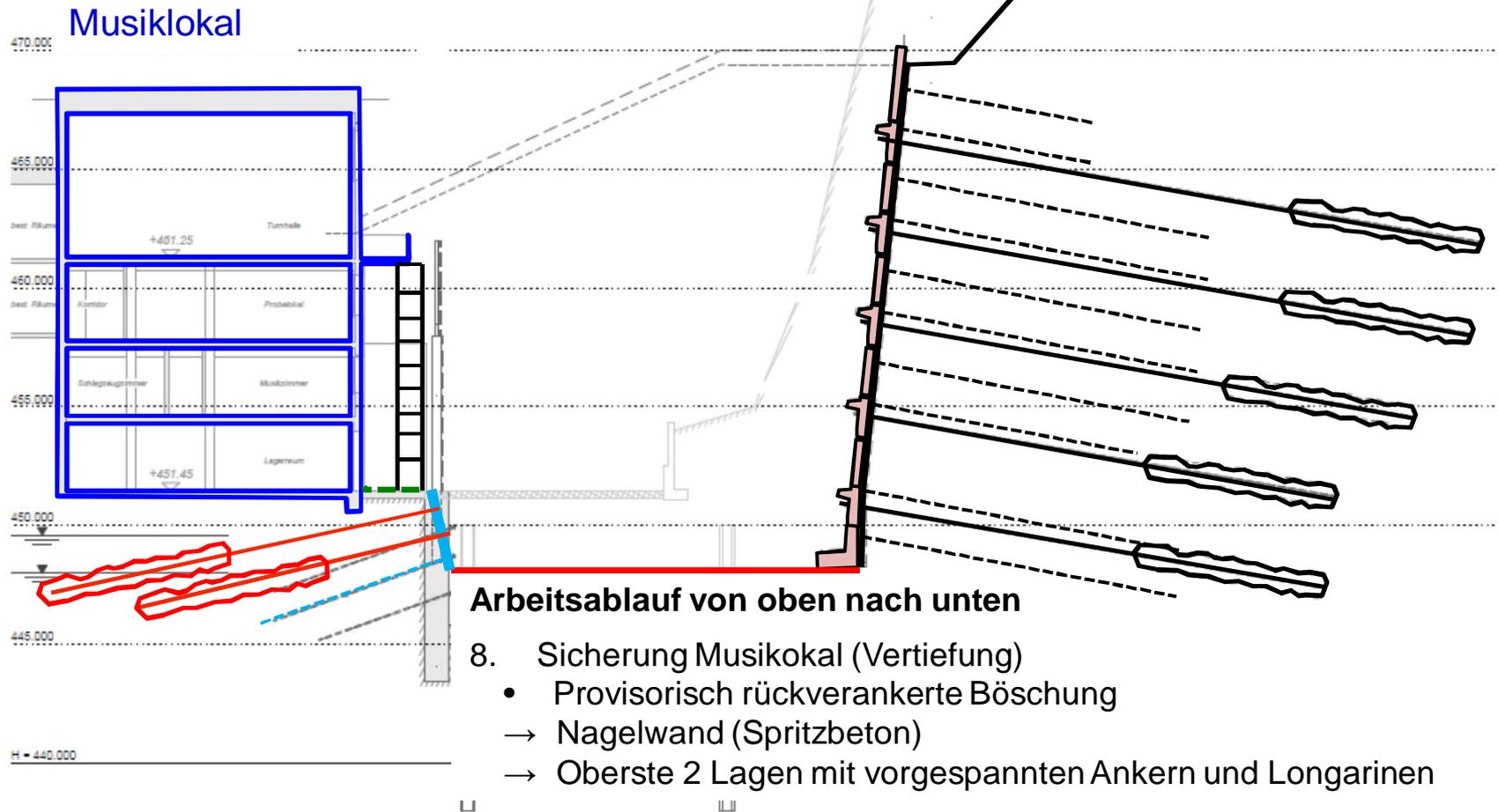
3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Erstellung Longarine inkl. Schutzdach (Ortbeton)
6. Bohren und versetzen permanente Anker
7. Erstellung Ausfachung (SCC-Beton)

Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



3. Sukzessive Abtrag Steilböschung (Erstellung Arbeitsebene)
4. Sukzessive Sicherung mit Nagelwand (Systemvernagelung)
5. Erstellung Longarine inkl. Schutzdach (Ortbeton)
6. Bohren und versetzen permanente Anker
7. Erstellung Ausfachung (SCC-Beton)

Bauablauf Unternehmervariante Ausführungsprojekt



Bauablauf Unternehmervariante Übersichtsfoto / Zusammenfassung



- Longarinen 1, 2 und 3 erstellt
- Ausfachung zwischen Longarine 1 und 2 erstellt
- Nachbehandlung der letzten Ausfachungsetappen zwischen Longarine 2 und 3
- Sukzessive Abtrag Steilböschung und Systemvernagelung unter Longarine 3
- Erstellung Longarine 4



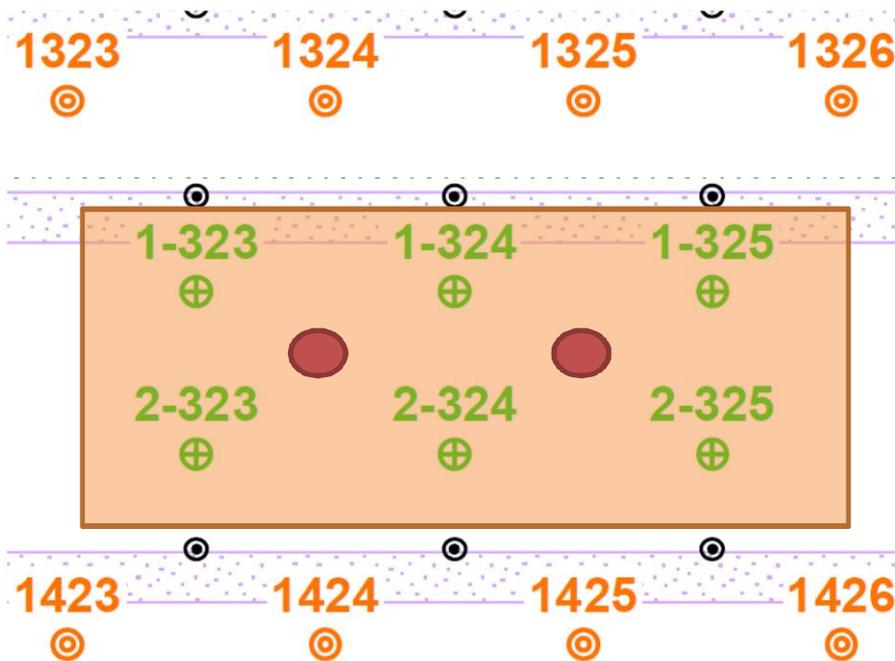
Bauablauf Unternehmervariante

Vorteile aus Sicht des Unternehmers

- Erdbewehrte Anschüttung
 - Einfache und sehr flexible Konstruktion
 - Lediglich Geotextilien als Verbrauchsmaterial
 - Keine Grossbohrpfähle und damit verbunden teure Installationen notwendig
 - Schonung von Ressourcen
 - Einsparung von Zeit
 - Wirtschaftlichere Bauausführung
- Massive Reduktion der Anzahl Arbeitsschritte (2 Hauptarbeitsschritte, anstatt 4)
 - Generell einfacherer Arbeitsablauf
 - Zeitersparnis
 - Wirtschaftlichere Bauausführung
- Ästhetische Vorteile
 - Klares Muster von Arbeitsfugen
 - Klarer Wechsel zwischen Ortbeton (Longarinen) und SCC-Beton (Ausfachungen)
 - Keine vorgefertigten Betonelemente
- Referenzobjekt
 - In dieser Form bisher wohl einzigartig in der Schweiz
 - Empfehlung der Anliker AG für weitere komplizierte Ingenieurtiefbauten in Beton

Anpassungen Konzept / Statik

- Höhere Beanspruchung (mehr Gewicht) im Bauzustand
 - Zusätzliche ungespannte Anker
 - Anpassung Ankeranordnung, ausgelegt auf Longarinengeometrie und Anordnung der vorgespannten Anker





Anpassungen Konzept / Statik

- Grössere Beanspruchung
(Durchlaufträger)
 - Erhöhung der Biege- und
Schubbewehrung
- Angepasste
Querschnittsgeometrie
 - Schutzdächer als Elemente
mit
grösstem Hebelarm
 - Anpassung der Bewehrung,
zusätzliche Schubbewehrung





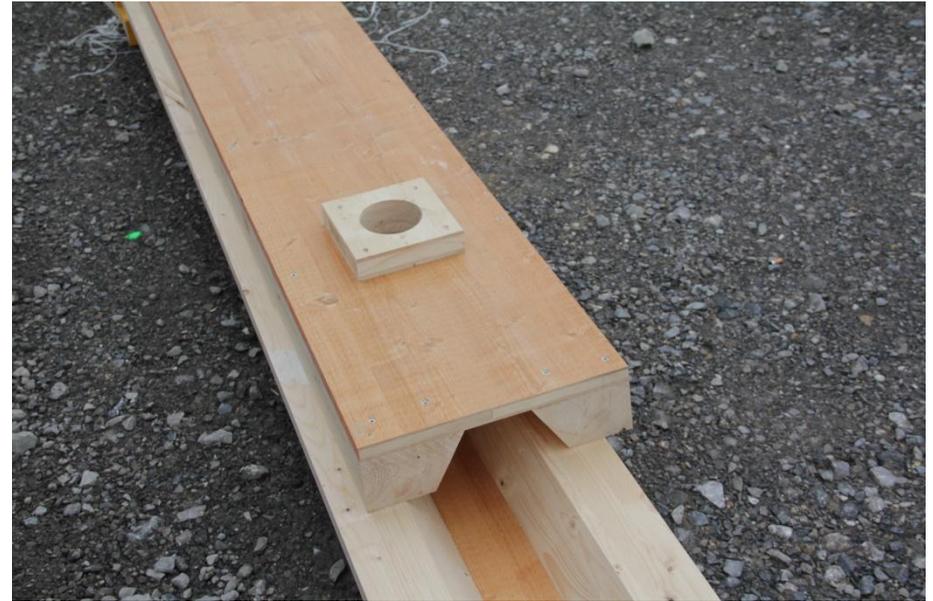
Qualitätssicherung / Anforderungen aus der Statik

- Wand im Endzustand als ein flächiges Tragwerk angesehen
- Querkraftversagen, Widerstand in Arbeitsfugen erforderlich
- Unterkante Longarine mit Schalungseinlage ausgebildet
 - (Quer-)kraftschlüssiger Verbund von Longarine und Ausfachung
 - Entlüftung bei Einbringung SCC
- Nachweis für Eignung Beton und Betoneinbringung in Form eines Vorversuchs verlangt



Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz





Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz





- Ausführungsvariante UN führte zu optimiertem Projekt
- Flexibilität Projektverfasser war erforderlich
- Vorteile Ästhetik definitiv
- Ausführung ohne grössere Probleme
- Besten Dank für die gute Zusammenarbeit





Bezirk
Küsnacht

kantonschwyz





Bezirk
Küsnacht

kantonschwyz



2016-01-21 16:45:06





Bezirk
Küssnacht

kantonschwyz



2016-06-16 13:30:04

