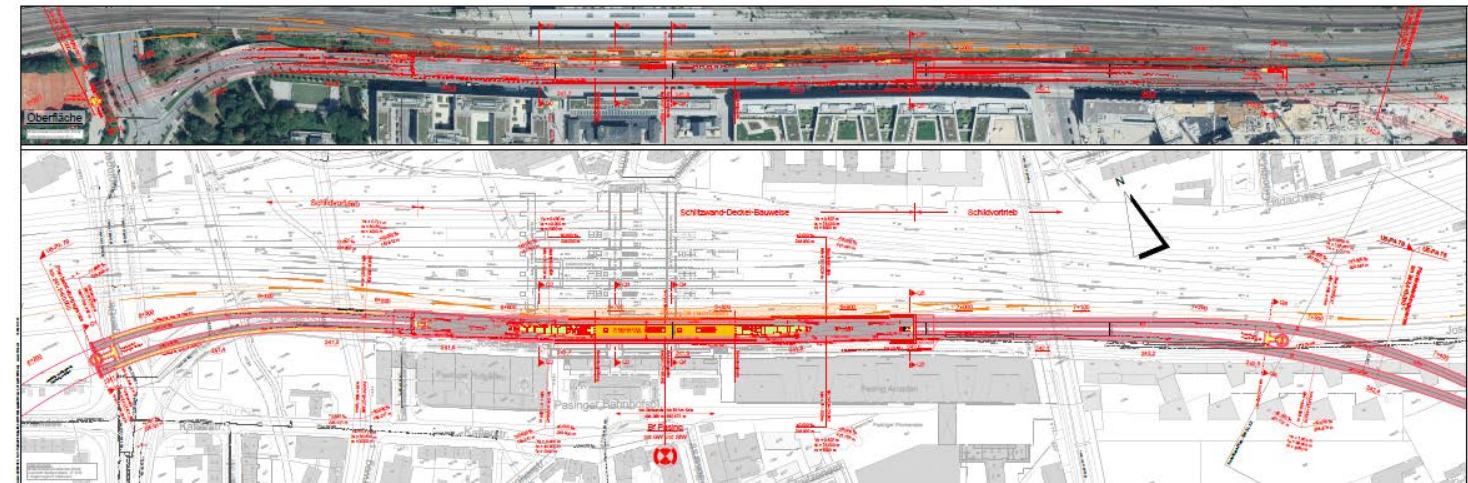




U5 MÜNCHEN, LOS 2

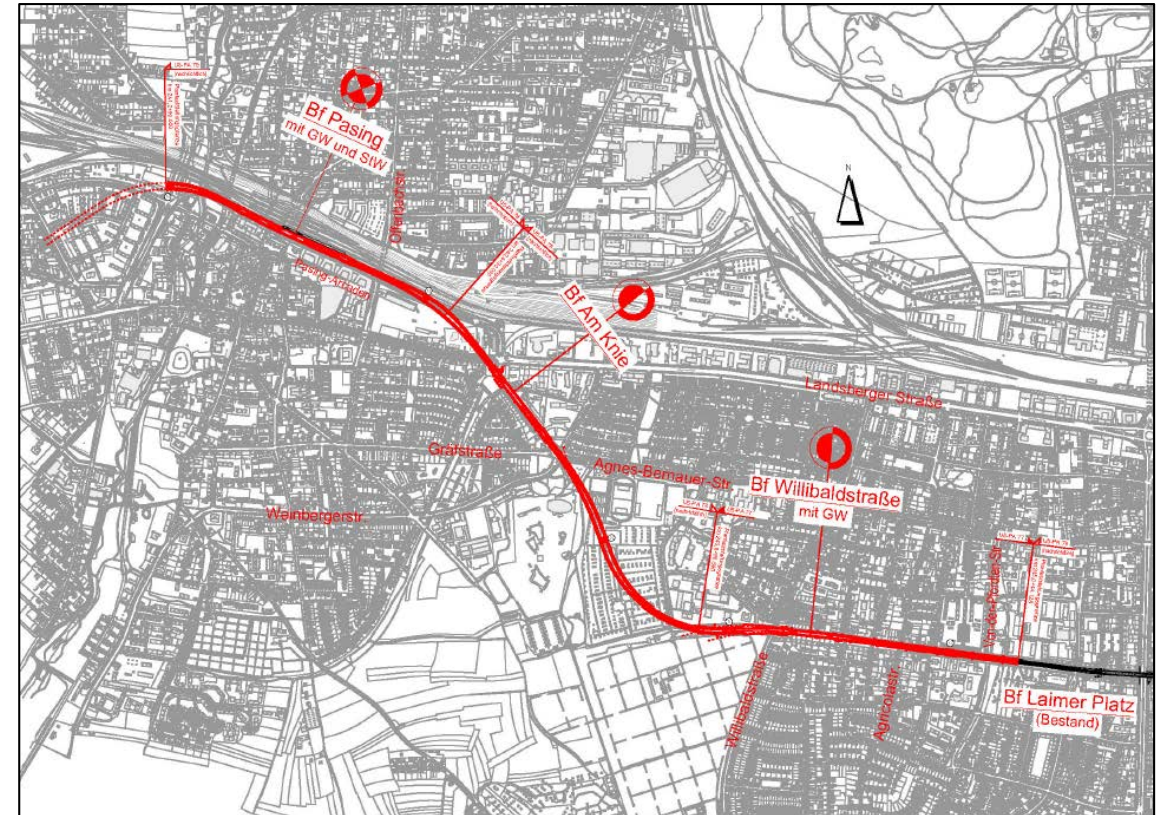
Planung herausfordernder Bauhilfsmaßnahmen im innerstädtischer Tunnel- und Stationsbau



Verlängerung U5 München, Los 2

Inhaltsverzeichnis

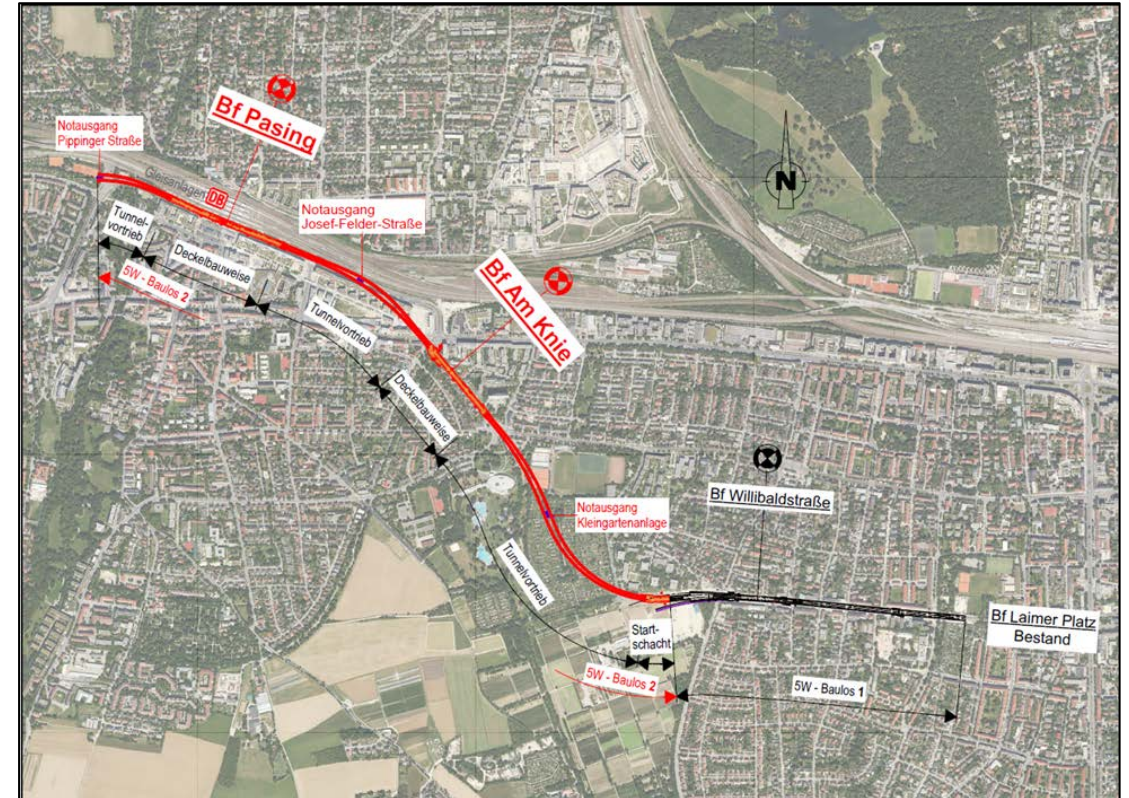
- Projektbeschreibung
- Bf Am Knie,
Bauablauf, Grundwasserausgleichsmaßnahmen
- Bf Pasing,
Bauablauf, Grundwasserausgleichsmaßnahmen
- Tunnelbau,
Geologie, Schildvortrieb, Tübbingbemessung, Terminkonzept
- Bauhilfsmaßnahme
Gefrierkörper Notausgangsschächte
Berechnungsmodelle



Verlängerung U5 München, Los 2

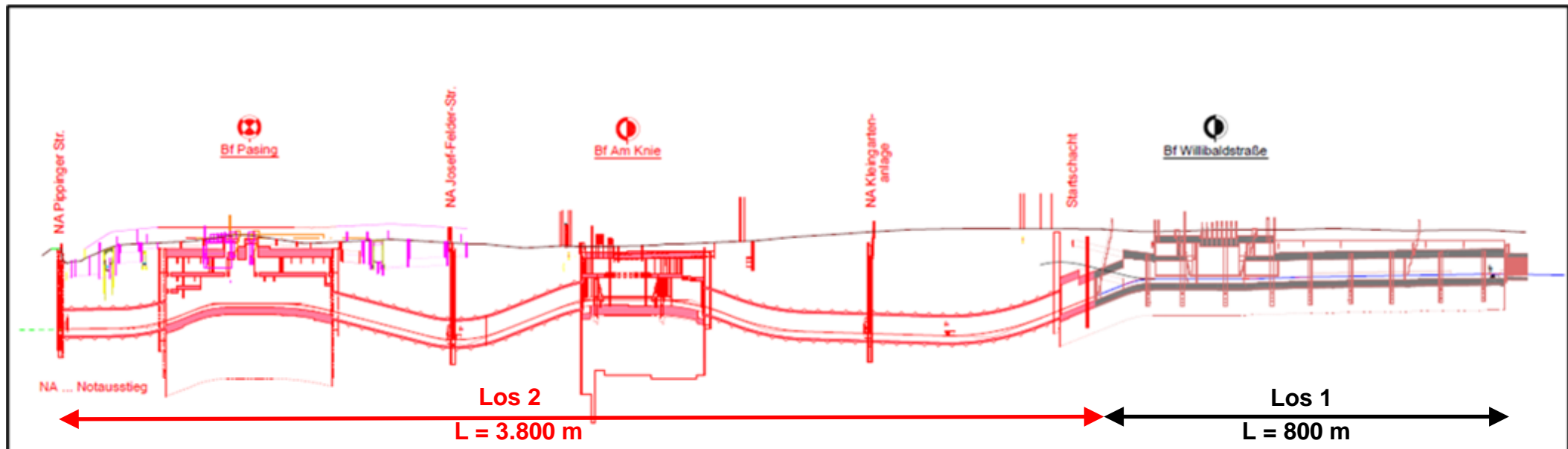
Projektbeschreibung:

- Streckenlänge ca. 3,8 Kilometer
- Bau vom Laimer Platz nach Pasing in zwei Teilabschnitten (Baulosen)
- Baulos 5W-1: Streckenabschnitt ab dem Laimer Platz über die Gotthardstraße bis zum künftigen U-Bahnhof Willibaldstraße
- Baulos 5W-2: beginnt westlich des U-Bahnhofs Willibaldstraße mit einem Startschacht, verläuft über den neuen U-Bahnhof Am Knie und endet mit einem Abstellbereich westlich des neuen U-Bahnhofs Pasing
- drei neue U-Bahnhöfe Willibaldstraße, Am Knie und Pasing
- Streckentunnel im Baulos 2 können aufgrund ausreichender Bodenüberdeckung in bergmännischer Bauweise mittels Tunnelvortriebsmaschine hergestellt werden.
- U-Bahnhöfe Willibaldstraße, Am Knie und Pasing werden in Deckelbauweise erstellt



Verlängerung U5 München, Los 2

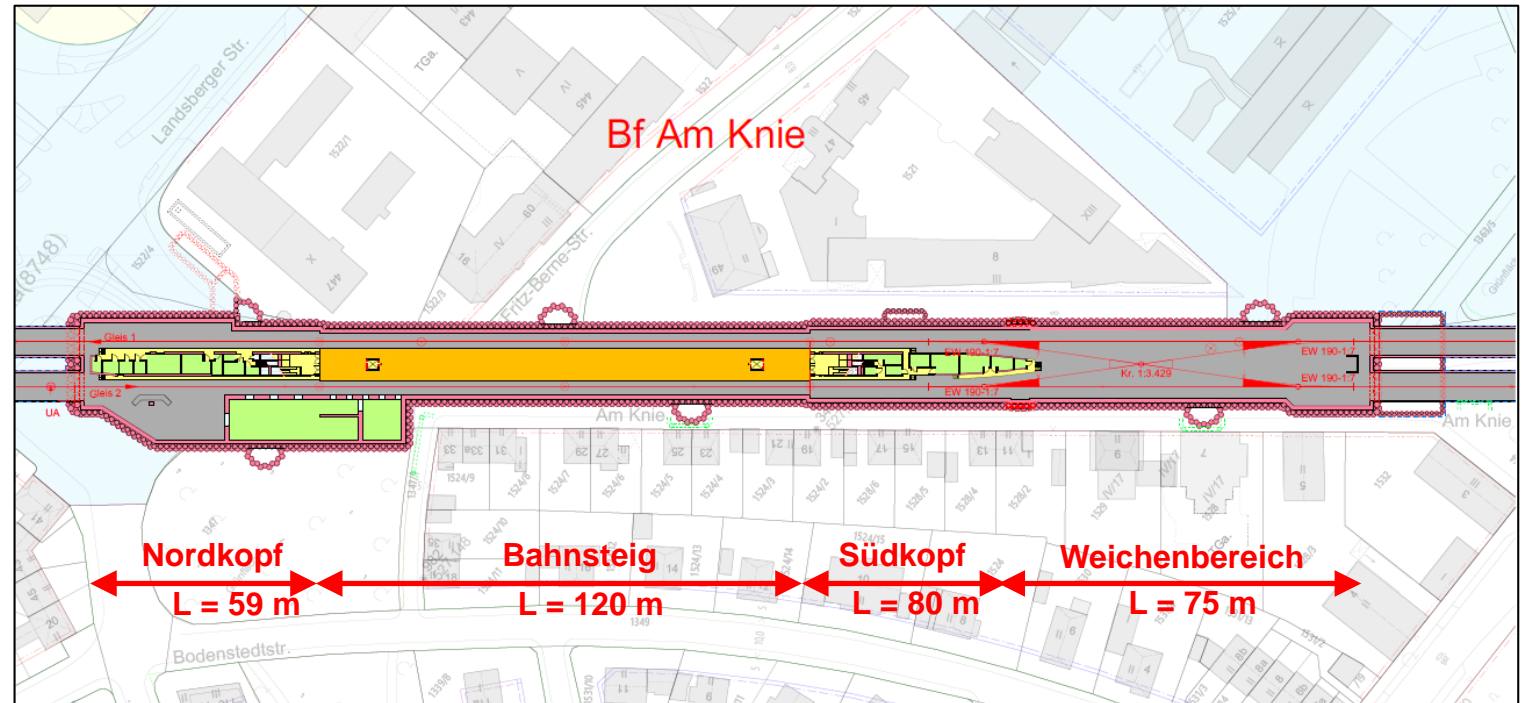
Längsschnitt Los 1 / Los 2:



Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Am Knie

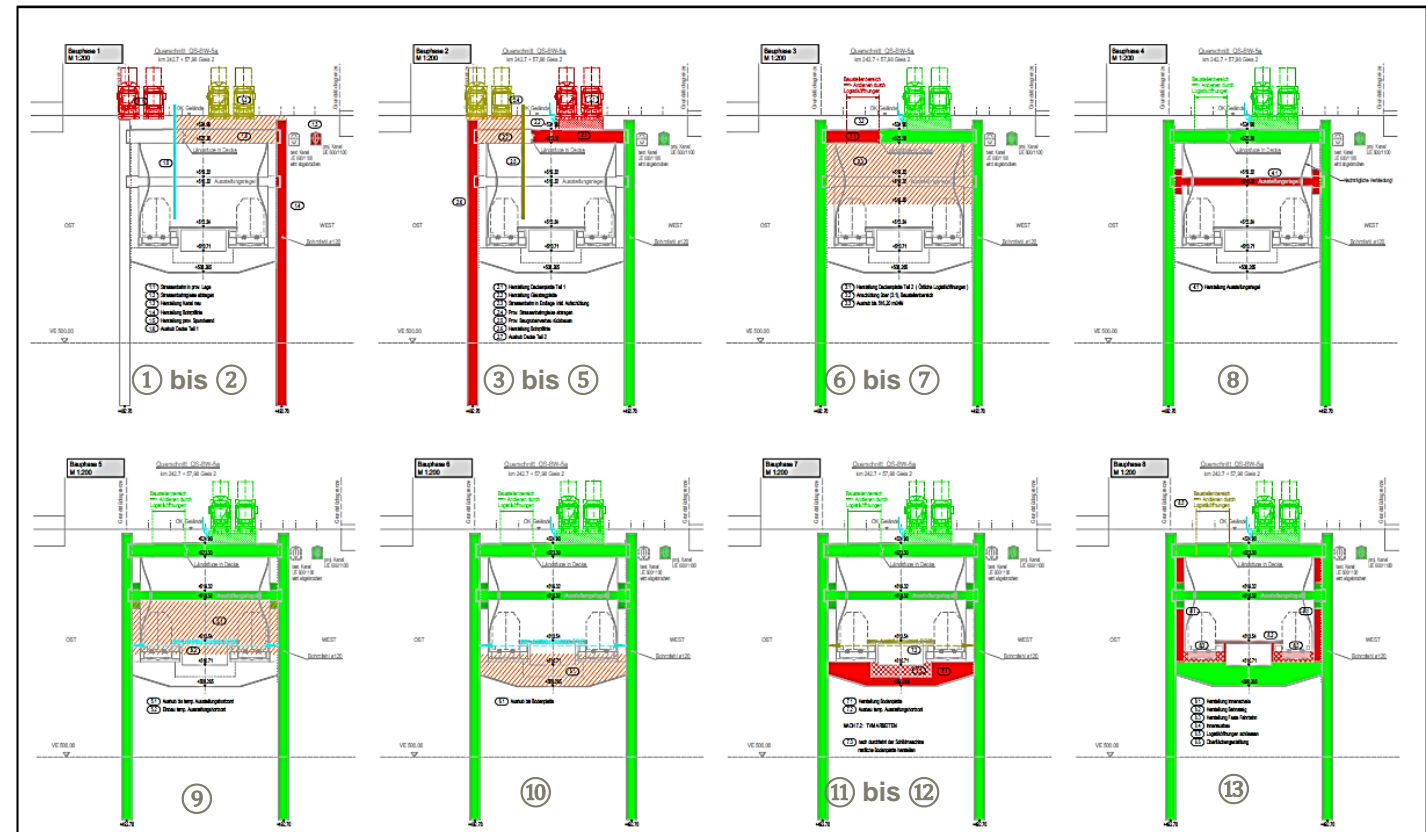
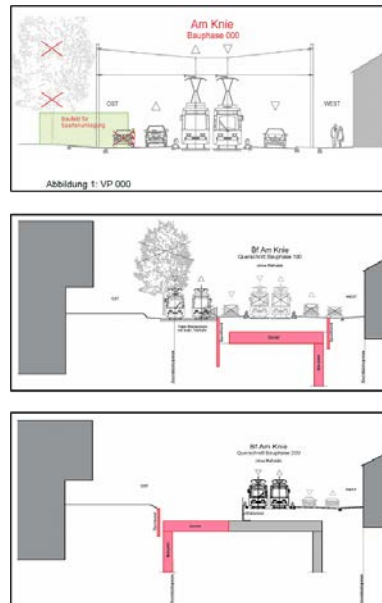
- Bohrpfehl-Deckelbauweise
- Länge des Bauwerks ca. 320 m
- Breite: 19,70 m bis 32,0 m
- Pfahlänge ca. 35 m, Fußeinbindung in Stauer
- 3 Grundwasserausgleichsanlagen, 6 Dükerschächte
- Nordkopf mit Betriebsräumen und Verteilerebene
- Bahnsteig Länge ca. 120 m
- Südkopf mit Betriebsräumen und Verteilerebene
- Weichenbereich Länge ca. 75 m



Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Am Knie Bauablauf

- ① Straßenbahn Provisorium
- ② Bohrpfähle West
- ③ Baugrube und Deckel West
- ④ Straßenbahn Endlage
- ⑤ Bohrpfähle Ost
- ⑥ Baugrube und Deckel Ost
- ⑦ Aushub unter Deckel
- ⑧ horizontal Aussteifungsriegel
- ⑨ Aushub und tempor. Horizontalaussteifung
- ⑩ Endaushub und Bodenplatte
- ⑪ Rückbau tempor. Horizontalaussteifung
- ⑫ Durchschleppen TVM
- ⑬ Innenschalenwände



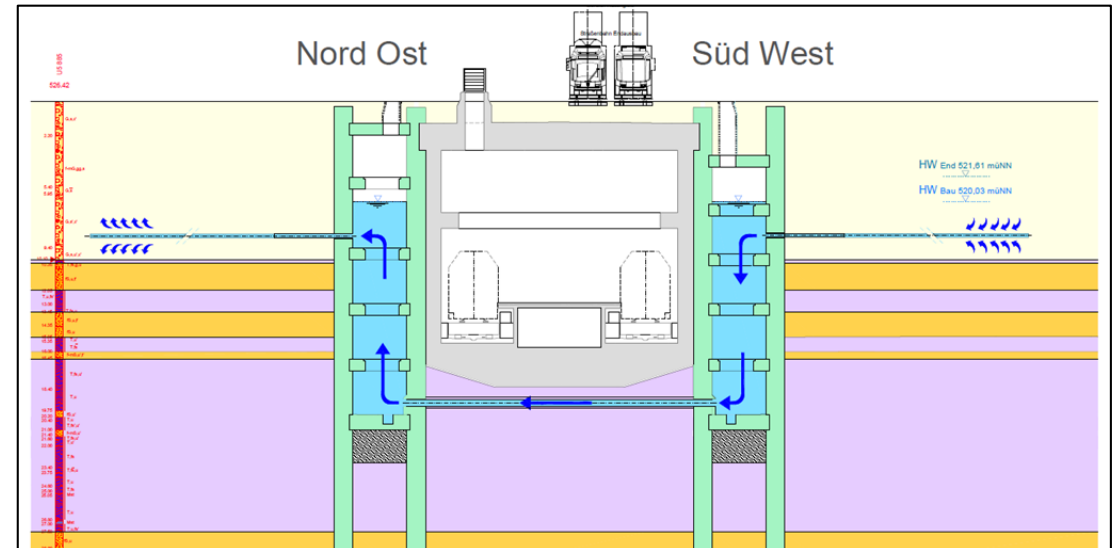
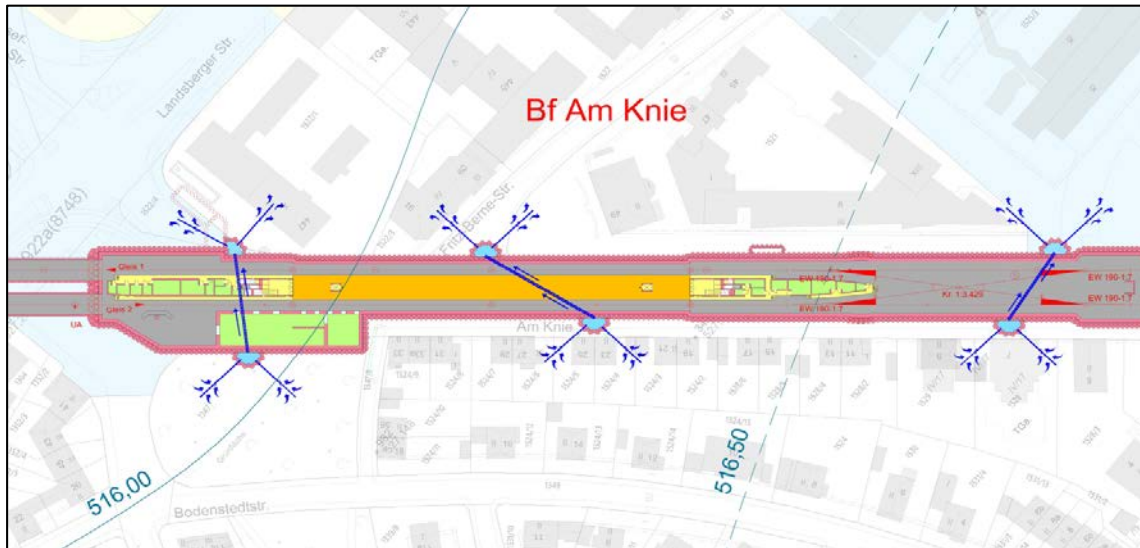
Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Am Knie -

Grundwasserausgleichmaßnahmen

- Bahnhofsbauwerk als dichter Trog sperrt Grundwasserdurchfluss von Südwest nach Nordost
- Vermeidung eines schädlichen Aufstaus
- 3 Grundwasserüberleitungsanlagen (Düker)

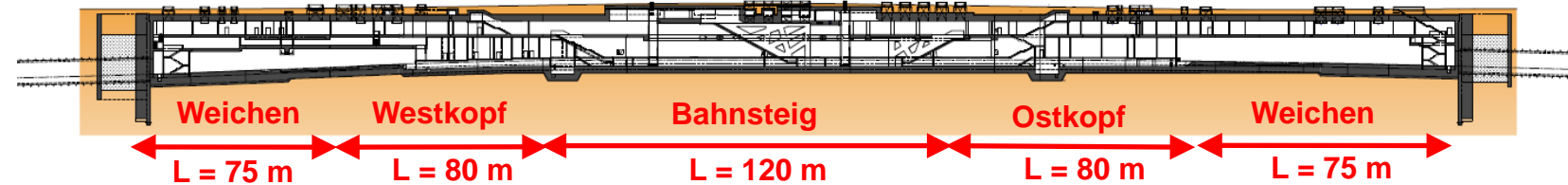
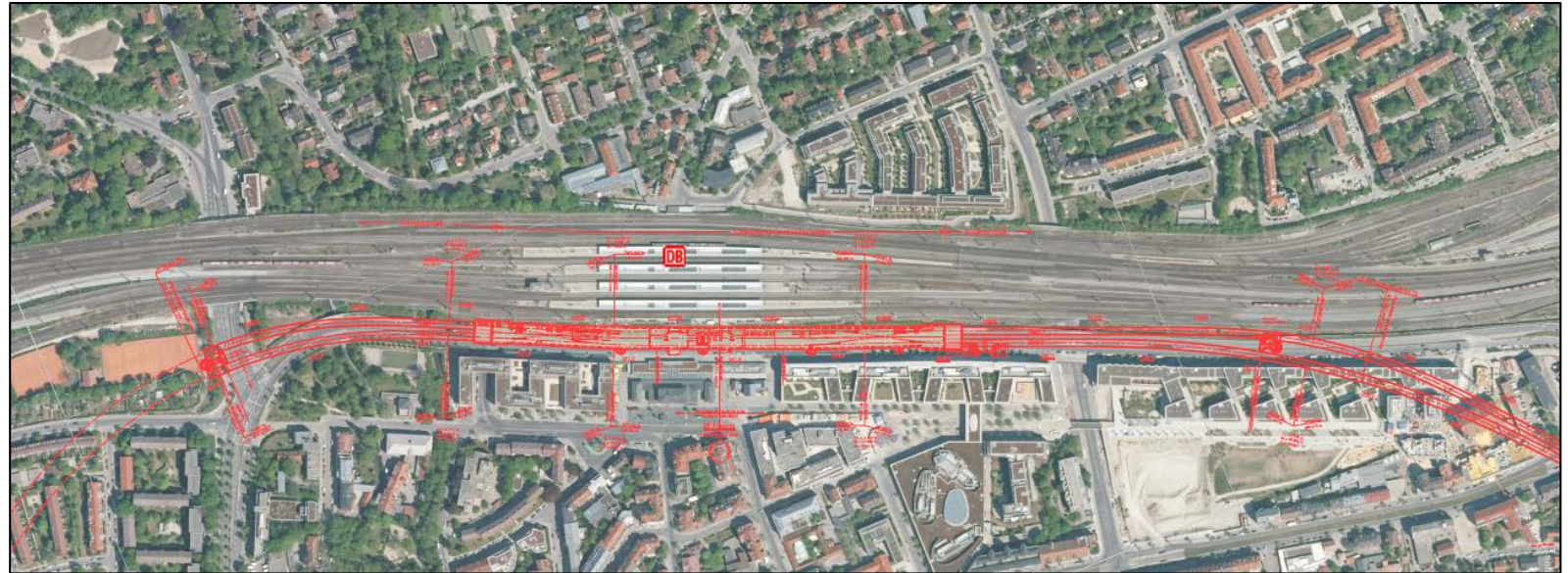
- 6 Schächte und Horizontaldrains
- Fassung des Grundwassers auf Anströmseite (Süd)
- Versickerung auf Abströmseite in Quartär



Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Pasing

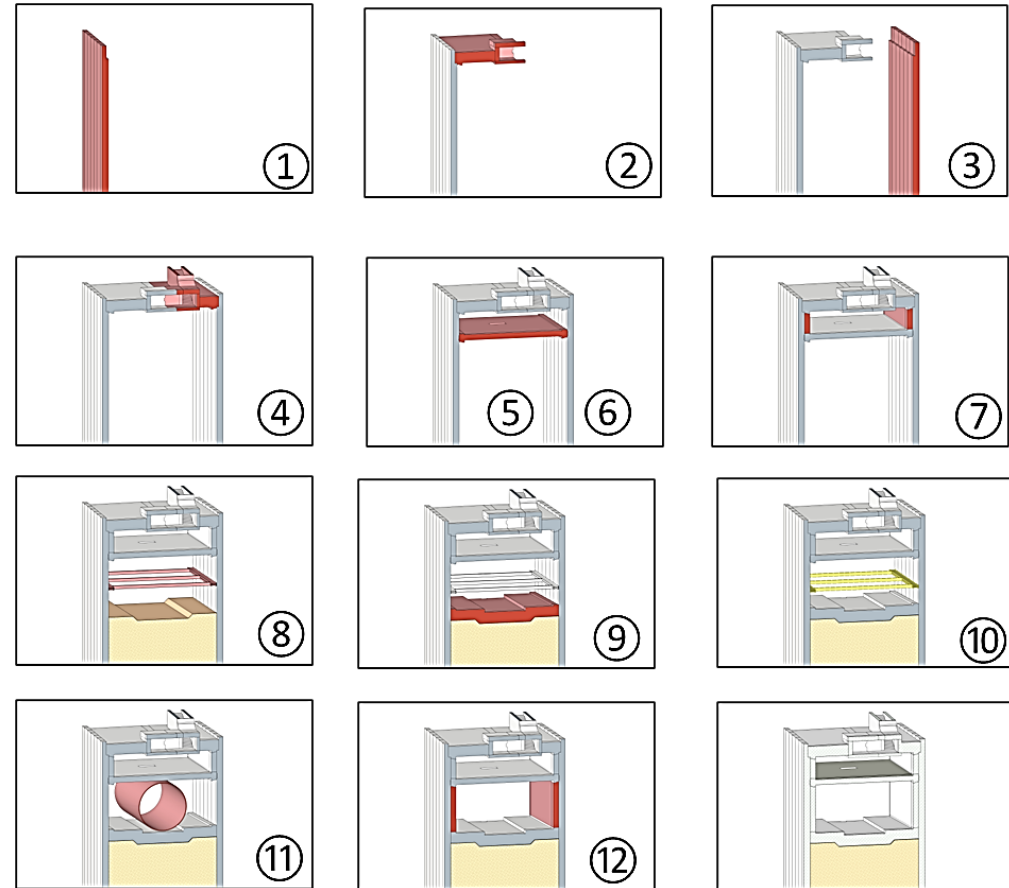
- Schlitzwand-Deckelbauweise
- Länge des Bauwerks ca. 430 m, Bahnsteig Länge ca. 120 m, Bahnsteig Breite: 21,80 m bis 24,8 m
- Schlitzwandlänge ca. 45 m, Fußeinbindung in Stauer
- 5 Grundwasserausgleichsanlagen, Dükerschächte
- Westkopf mit Betriebsräumen und Verteilerebene sowie Weichenanlage
- 2 überquerende DB-Unterführungen für Fußgänger und Radfahrer
- Ostkopf mit Betriebsräumen und Verteilerebene
- Weichenbereich Länge ca. 75 m



Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Pasing Bauablauf

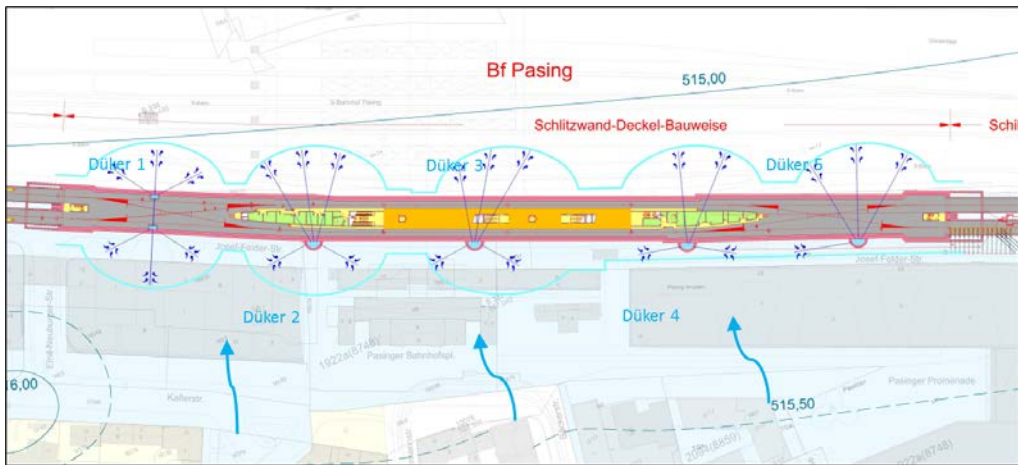
- ① Schlitzwand Süd
- ② Deckelhälfte Süd
- ③ Schlitzwand Nord
- ④ Deckelhälfte Nord
- ⑤ Aushub unter Deckel
- ⑥ Zwischendecke oben
- ⑦ Innenschalenwände oben
- ⑧ temp. Horizontalaussteifung
- ⑨ Endaushub und Einbau Sohle
- ⑩ Ausbau temp. Horizontalaussteifung
- ⑪ Durchschleppen TVM
- ⑫ Innenschalenwände unten



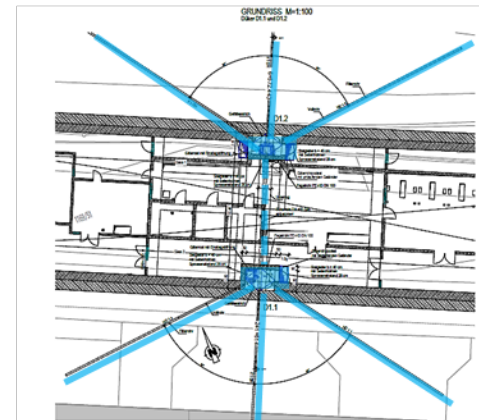
Verlängerung U5 München, Los 2

Bf Pasing Grundwasser- ausgleichsmaßnahmen

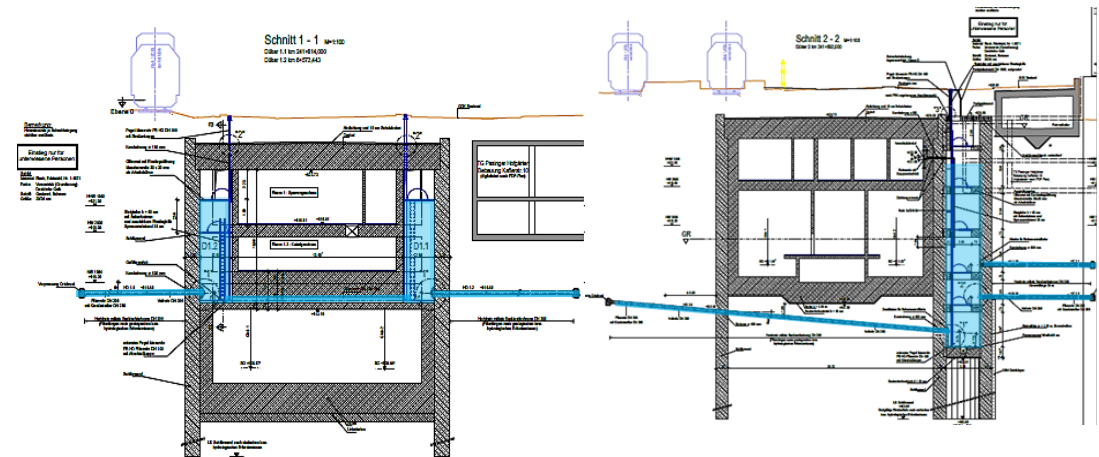
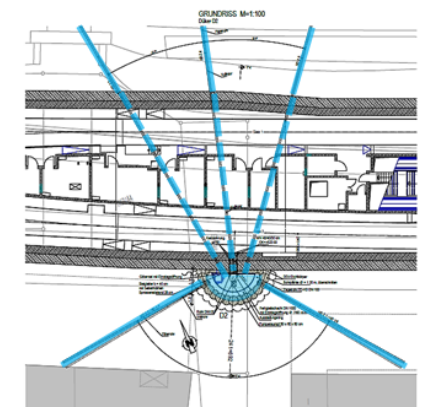
- Bahnhofsbauwerk als dichter Trog sperrt Grundwasserdurchfluss von Süd nach Nord
- Vermeidung eines schädlichen Aufstaus
- 5 Grundwasserüberleitungsanlagen (Düker)
- 6 Schächte und Horizontaldrains
- Fassung des Grundwassers auf Anströmseite (Süd)
- Einleitung auf Abströmseite in Quartär



Düker 1



Düker 2 bis 5



Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau – Geologie

- Tunnelvortrieb im Lockergestein, in quartären und tertiären Bodenschichten
- Überdeckung über Firste zw. 9,5 und 22 m
- Tunnelvortrieb im Grundwasser
- Maximal HHW 1940: +30 cm

Tab. 7.1: Bodenkenngrößen für den Bahnhof Pasing (Stoffmodell Mohr-Coulomb)

Hauptboden-schichten	Winkel der inneren Reibung φ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Wichte γ / γ' [kN/m ³]	Steifemodul (Belastung) E_s [MN/m ²]	Steifemodul (Entlastung) $E_{s'}$ [MN/m ²]	Seitendruckbeiwert K_0 [-]
Auffüllungen (nichtbindig)	30	0	21 / 12	-	-	$1 - \sin \varphi = 0,5$
dicht gelagerte quartäre Kiese GW, GE, GI, GU, GT, GU*, GT*	37,5	0	23 / 14	60 – 160 cal. 100	cal. 200	0,4
halbfeste/feste tertiäre Tone und Schluffe, teilweise mit Verfestigungen TL, TM, TA, UL, UM	25	25 a)	21 / 11	60 – 140 cal. 90	cal. 180	0,58
dicht gelagerte tertiäre Sande SU, SU*, SE, ST, ST*	35	0	21 / 11	60 – 200 cal. 100	cal. 200	0,42

a) Mittelwert über das gesamte Schichtpaket. Aufgrund der bröckeligen Struktur und des Vorliegens von Hamischflächen ist die Kohäsion in einzelnen Schichten deutlich niedriger und kann im ungünstigsten Fall auf 0 kN/m² absinken.

Tab. 7.2: Ergänzende Kenngrößen für das Stoffmodell Hardening Soil

		1 Nichtbindige Auffüllungen	2 Dicht gelagerte quartäre Kiese	3 Halbfeste/feste tertiäre Tone und Schluffe tw. mit Verfestigungen	4 Dicht gelagerte tertiäre Sande
Erstbelastungsmodul für deviatorische Belastung E_{s1}^{ref}	[MN/m ²]	20	100	90	80
Erstbelastungsmodul für kompressive Belastung E_{s2}^{ref}	[MN/m ²]	20	100	90	80
Wiederbelastungs-/Entlastungsmodul E_{s3}^{ref}	[MN/m ²]	50	200	180	160
Querdehnzahl für Entlastung / Wiederbelastung ν_{ur}	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2
Seitendruckbeiwert K_0 (nur zur Bestimmung des Primärspannungszustands)	[-]	$1 - \sin \varphi' = 0,50$	$1 - \sin \varphi' = 0,40$	$1 - \sin \varphi' = 0,58$	$1 - \sin \varphi' = 0,42$
E-Modul gültig bei					
Mittlere Werte				100	
p^{ref}	[kN/m ²]				
Steifelexponent m	[-]			0,4	
Untere Grenzwerte				200	
p^{ref}	[kN/m ²]				
Steifelexponent m	[-]			0,5	

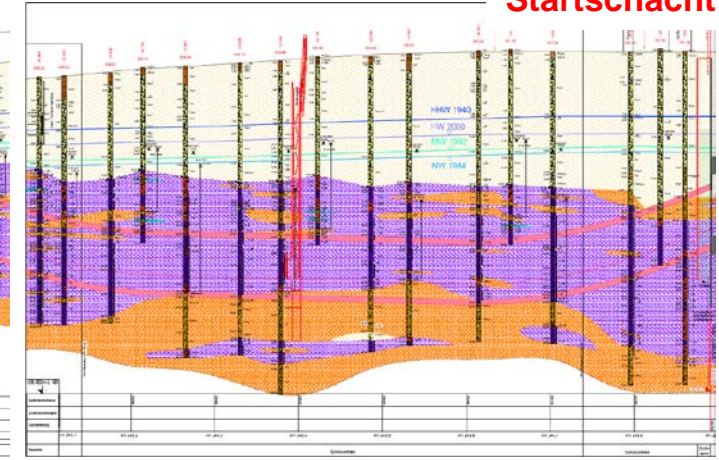
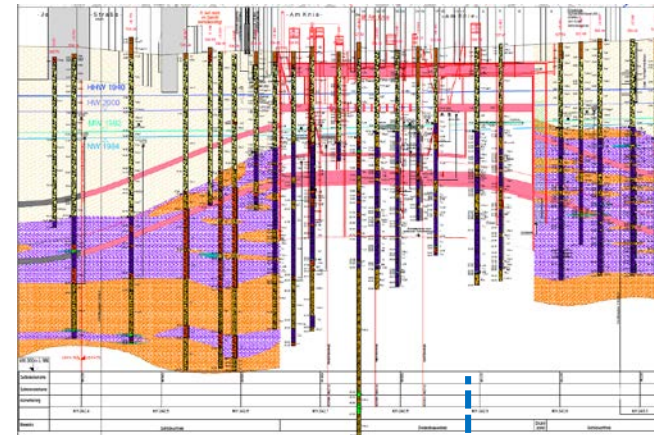
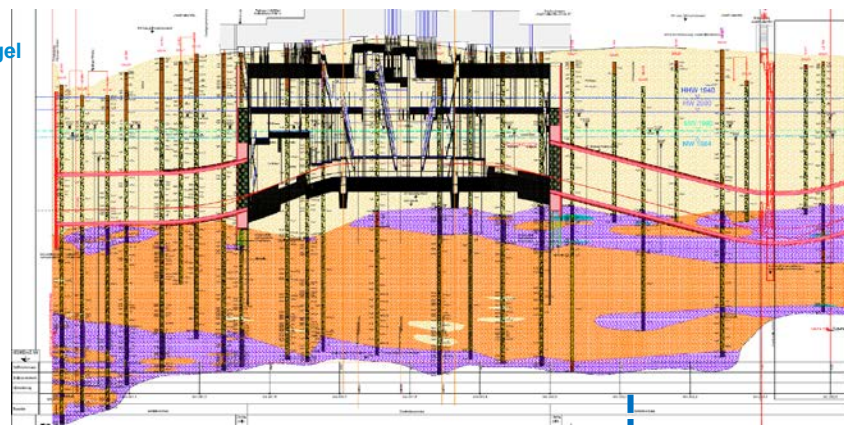
Pippinger Str.

Bf. Pasing

Bf. Am Knie

Startschacht

Max. GW-Spiegel HHW



← quartärer Kies

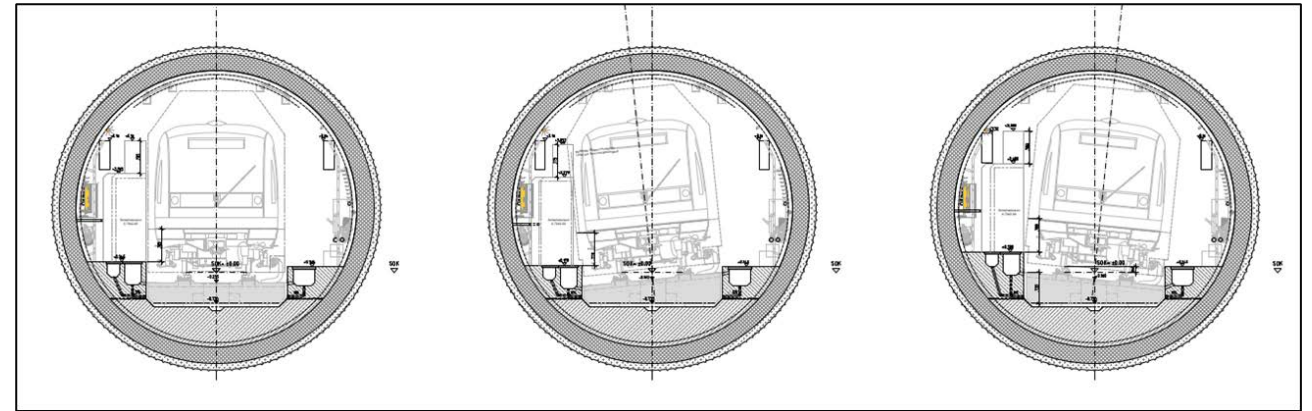
← quartärer Kies + tertiärer Ton / Sand

← tertiärer Ton / Sand

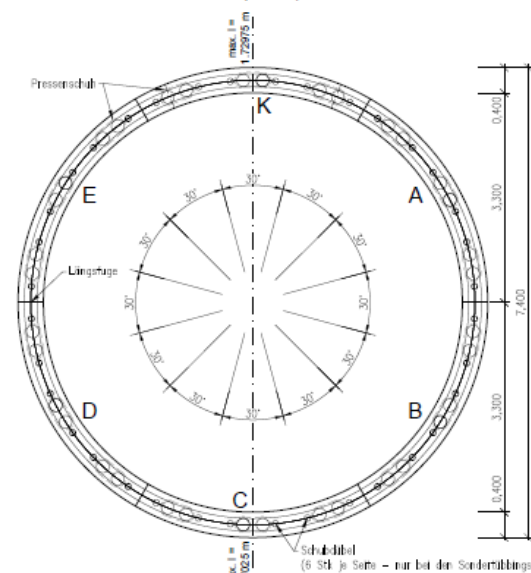
Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau – Schildvortrieb

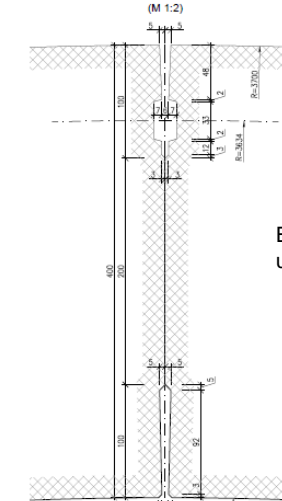
- 2 Tunnelröhren, Gesamtlänge 3.717 m
- Tunneldurchmesser $d_{\text{innen}} = 6,60$ m
- Tübbingdicke $d = 40$ cm
- 6-teiliger Universalring mit großem Schlussstein
- Maximale Neigung $s = 40$ ‰
- Minimaler Radius $R = 290$ m
- 2 Schildvortriebsmaschinen mit aktiver Ortsbruststützung
- Tübbingbreite, $L = 1,75$ m
- Versatz der Längsfuge, $1/3$ Tübbinglänge (20°)
- Packer (Presseneinheit), 18 Stück (3 je Tübbing)
- Betongüte (WU-Beton): C40/50
- Sicherheitsbeiwert (Fertigteil): $\gamma_c = 1,35$
- Rissbreiten: 0,15 mm (außen), 0,2 mm (innen)
- Bewehrungsüberdeckung: 45 mm (innen/außen), 20 mm (Stirnflächen)
- Sondertübbing (Querschläge) C50/60 mit Kopplung der Rinfuge über Bicones.



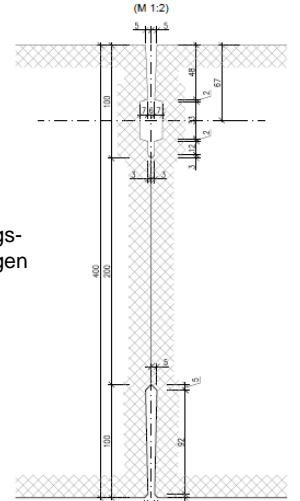
Ansicht der Tübbingfugen
gegen Vortriebsrichtung, Blick auf Pressenschuhe
(M 1:50)



Fugendetail
Längsfuge
(M 1:2)



Fugendetail
Ringfuge
(M 1:2)



Ebene Längs-
und Ringfugen

Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau – Tübbingbemessung

- 2D gebettetes Stabwerksmodell;
Gekoppelte (Reibung) und ungekoppelte Ringe.
→ Tangentiale Bettung nur für zukünftige Lasten
- Drehsteifigkeit der Längsfuge mit der Momenten-Verdrehung Beziehung gem. DAUB-Richtlinie in Abhängigkeit der wirkenden Normalkraft.
- Zukünftige Gebäudelasten von 160 kN/m² sowie Aushub von bis zu 7 m sind zu berücksichtigen.

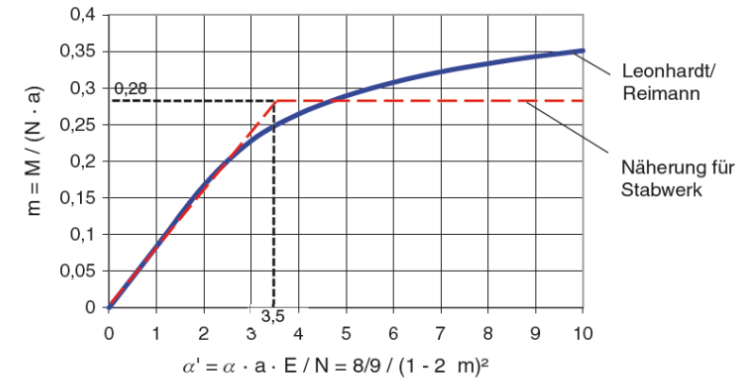
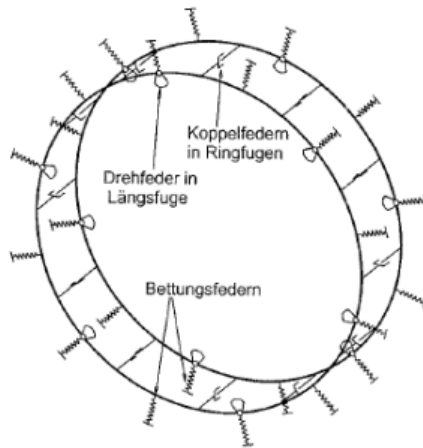
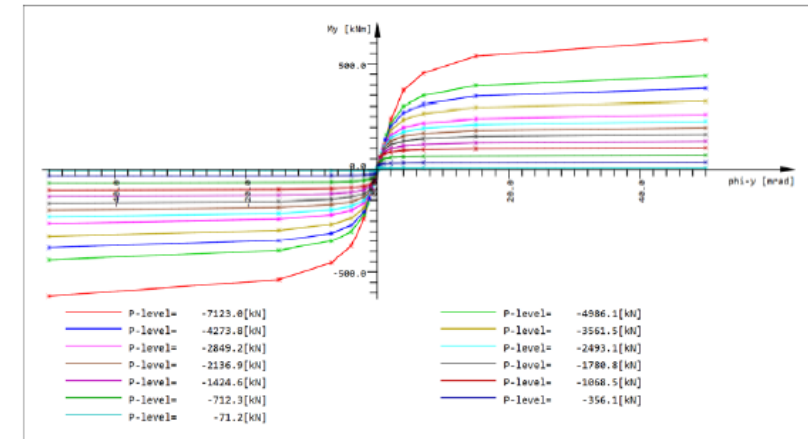


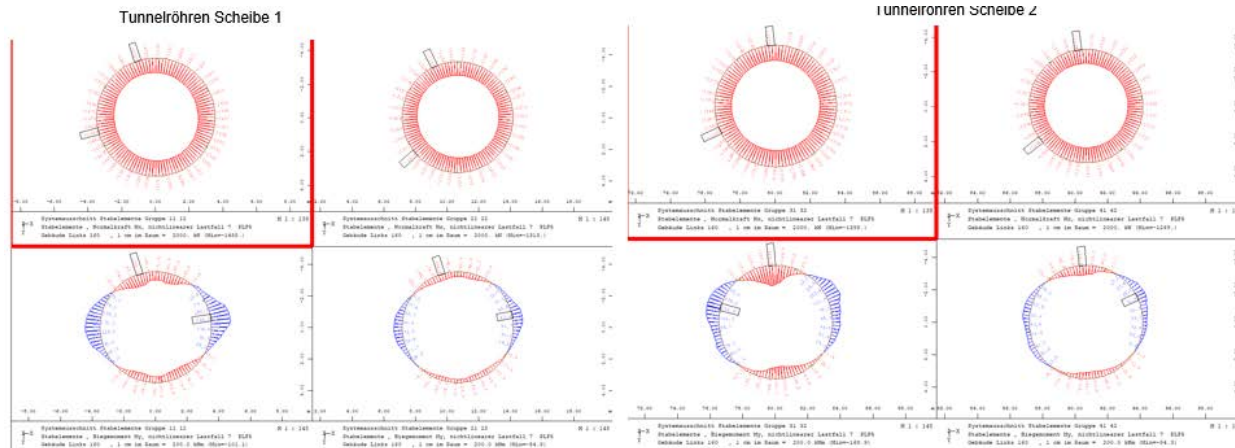
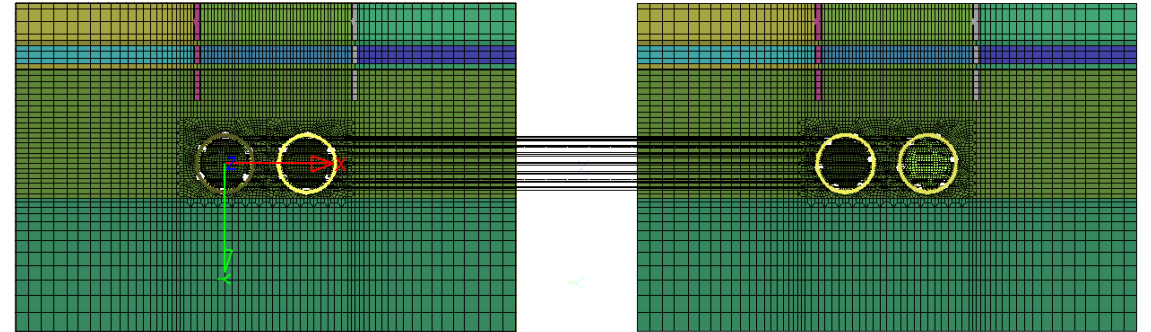
Abbildung 11: Modellierung der Längsfuge, Beziehung α' – m nach Leonhardt & Reimann, Bilineare Annäherung für die Berechnung, Auszug aus [4]



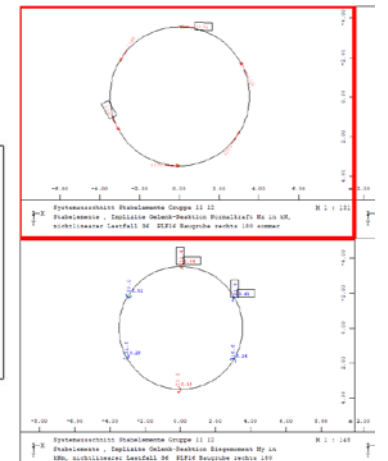
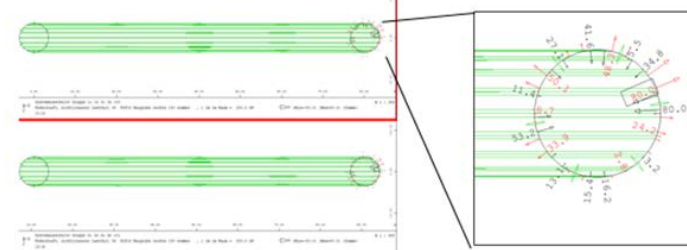
Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau – Tübbingbemessung

- 2D gebettetes Stabwerksmodell;
Gekoppelte (Reibung) und ungekoppelte Ringe.
→ Tangentiale Bettung nur für zukünftige Lasten



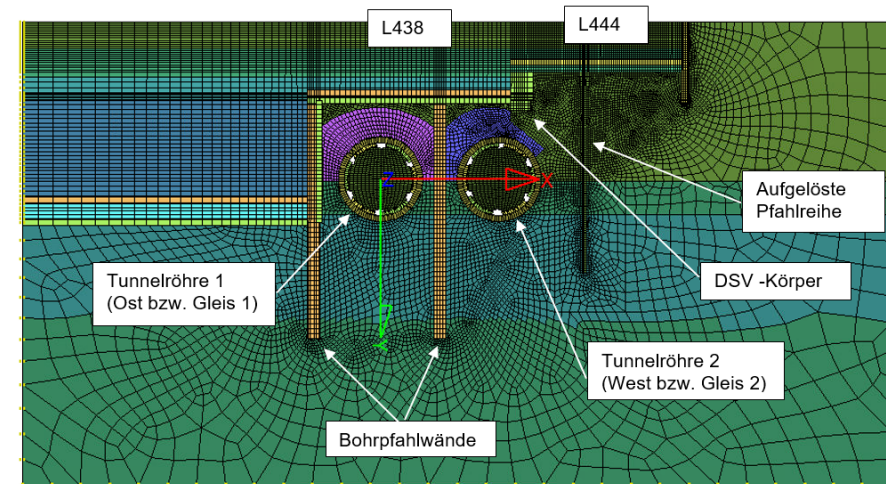
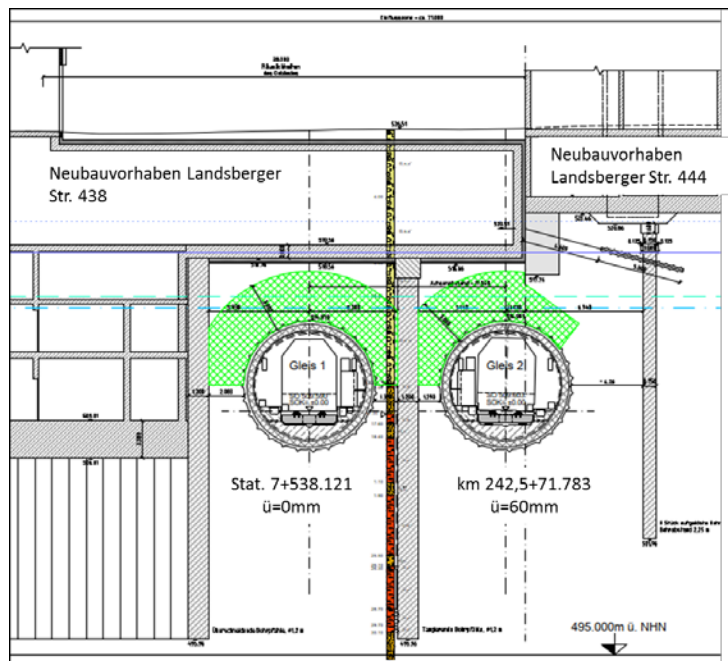
Koppelfeder (Ringfuge)



Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau –Tübbingbemessung

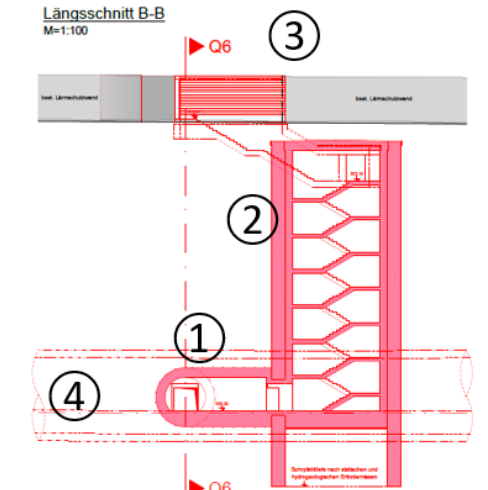
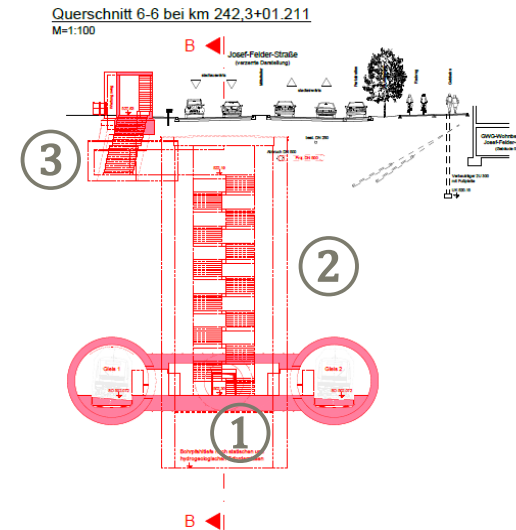
- Tunnelenglage und Unterfahrung Bauvorhaben Landsbergerstrasse wurden mit gekoppelten Scheibenmodellen untersucht.



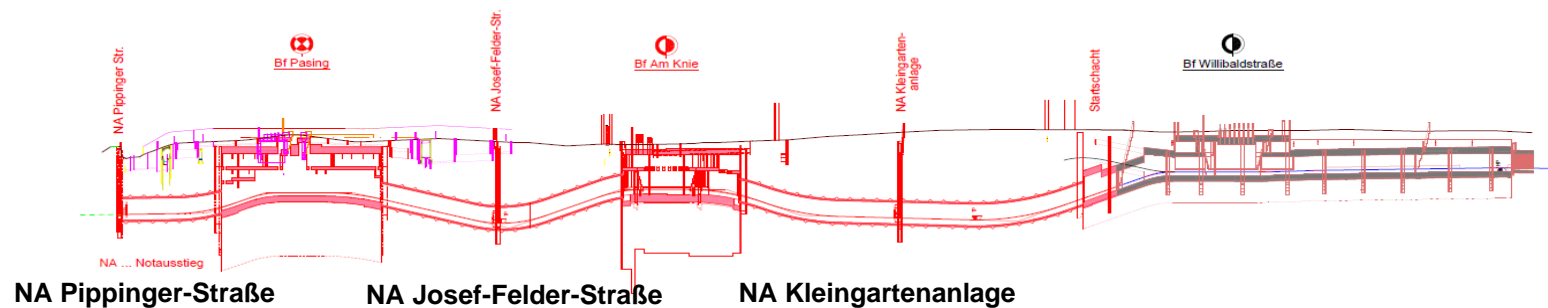
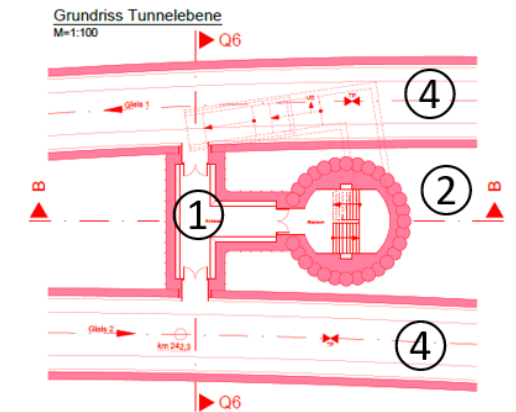
Verlängerung U5 München, Los 2

Notausgangsbauwerke

- Kreisrunde Schächte aus überschnittenen Bohrpfehlen
- Stahlbetoninnenschale
- Verbindungs- und Zugangsstollen in bergmännischer Bauweise
- Bodenverfestigung mittels Vereisung



- ① Verbindungs- und Zugangsstollen
- ② Notausgangsschacht
- ③ Ausstiegsbauwerk
- ④ U-Bahn Tunnel

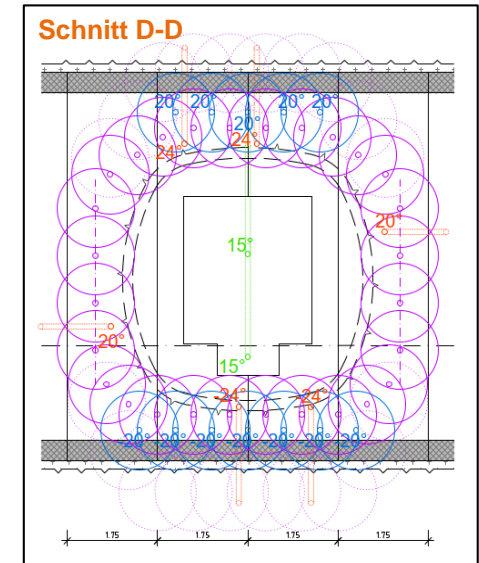
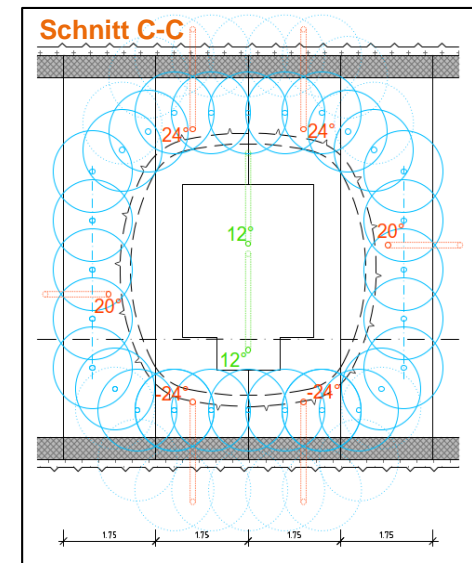
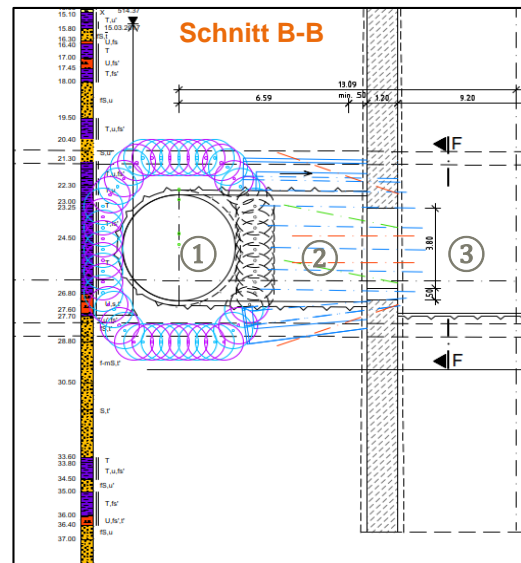
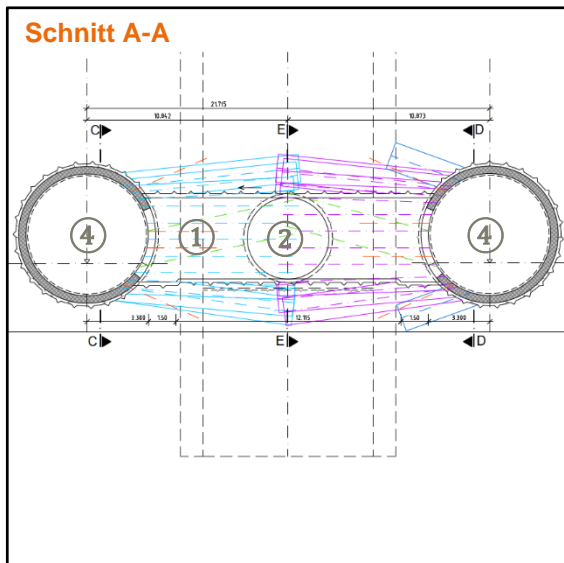
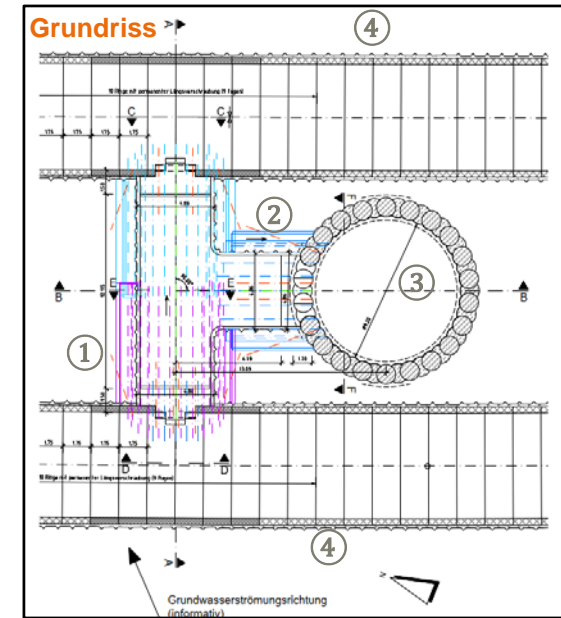


Verlängerung U5 München, Los 2

Bauhilfsmaßnahme Gefrierkörper / Vereisung

- Das Auffahren der Verbindungsstollen erfolgt im Schutze eines Gefrierkörpers
- Die Herstellung des Gefrierkörpers erfolgt von 3 Seiten
- Die Bohrungen überschneiden sich und müssen jeweils versetzt abgeteuft werden.

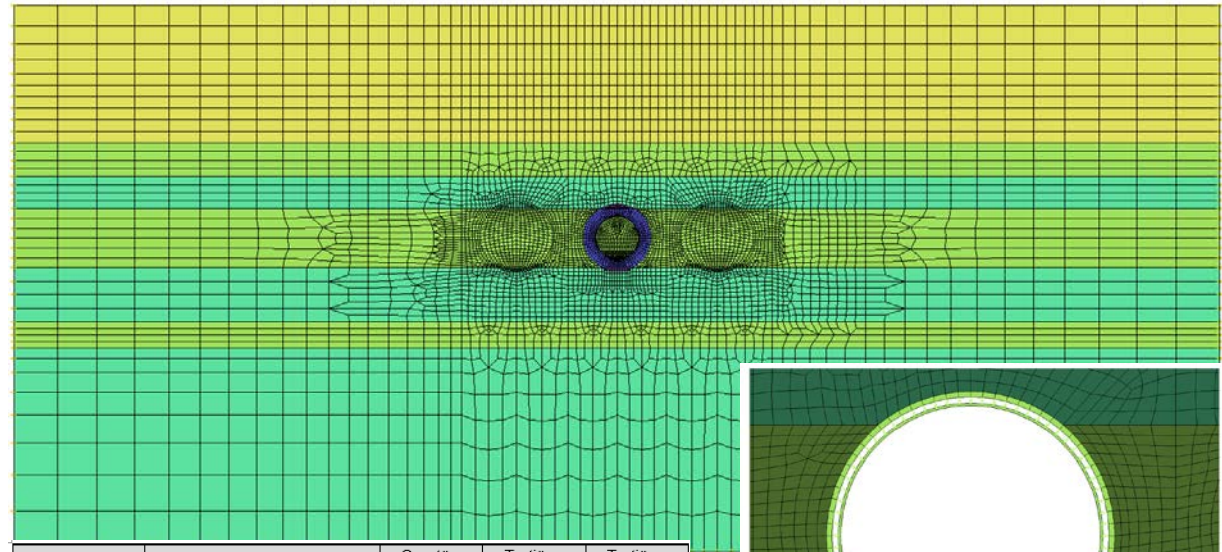
- ① Verbindungsstollen
- ② Zugangsstollen
- ③ Notausgangsschacht
- ④ U-Bahn Tunnel



Verlängerung U5 München, Los 2

Berechnungsmodell für die Gefrierkörper

- 2D FE-Modell mit nichtlinearem elastischem-ideal plastischem Materialverhalten gem. dem Hardening Soil Stoffgesetz.
- Mit der Zeit abnehmenden Bodenkennwerten für den Vereisungskörper. Globale Sicherheitsfaktor von 2.0 auf Festigkeitsparameter.
- Vereinfachte Modellierung der Tunnelschale als biegesteifer Stabzug mit reduzierten Biegesteifigkeit (Tübbing nur zur Modellierung des Spannungszustandes bzw. Interaktion mit Vereisungskörper). Der Ringspaltmörtel wird diskret modelliert. Die Eigenschaften (flüssig oder erhärtet) werden entsprechend der Phase angepasst.
- Aussen- und Innenschale in den Stollen werden als gekoppelte Stabzüge abgebildet.



Parametersatz	Vereisungsparameter	Quartäre Kiese	Tertiärer Ton/Schluff	Tertiärer Sand
Grundparameter	E-Modul E [MN/m ²]	600	200	400
	Scherparameter ϕ_k [°]	25	10	18
1 Woche (1W)	Druckfestigkeit $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	5,0	2,0	3,0
	Zugfestigkeit $\sigma_{t,k}$ [MN/m ²]	0,75	0,3	0,45
	Kohäsion c_k [MN/m ²]	1,5	0,8	1,0
1 Monat (1M)	Druckfestigkeit $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	4,0	1,6	2,4
	Zugfestigkeit $\sigma_{t,k}$ [MN/m ²]	0,6	0,24	0,36
	Kohäsion c_k [MN/m ²]	1,2	0,6	0,8
1 Monat (1M) reduziert	Scherparameter ϕ_k [°]	13,12	5,04	9,23
	Druckfestigkeit $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	2,0	0,8	1,2
	Zugfestigkeit $\sigma_{t,k}$ [MN/m ²]	0,3	0,12	0,18
	Kohäsion c_k [MN/m ²]	0,6	0,3	0,4

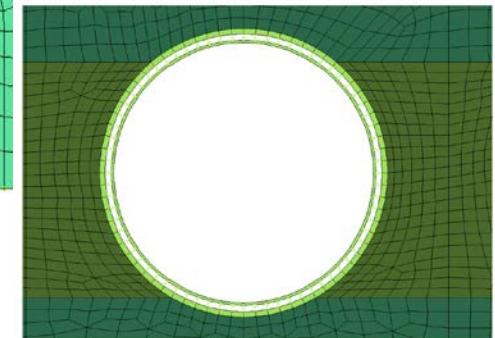


Abbildung 10: Tübbingtunnel mit Ringspaltmörtel, Tübbingschale und Kopplung

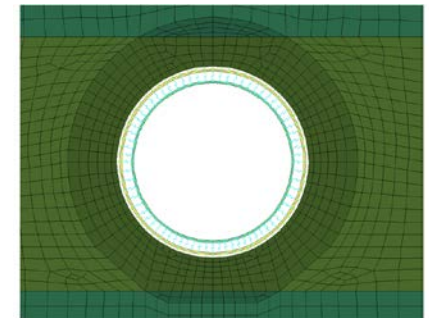


Abbildung 11: Zugangsstollen mit Vereisungsschirm, Außen- und Innenschale sowie Kopplungen

Verlängerung U5 München, Los 2

Berechnungsmodell für die Vereisung

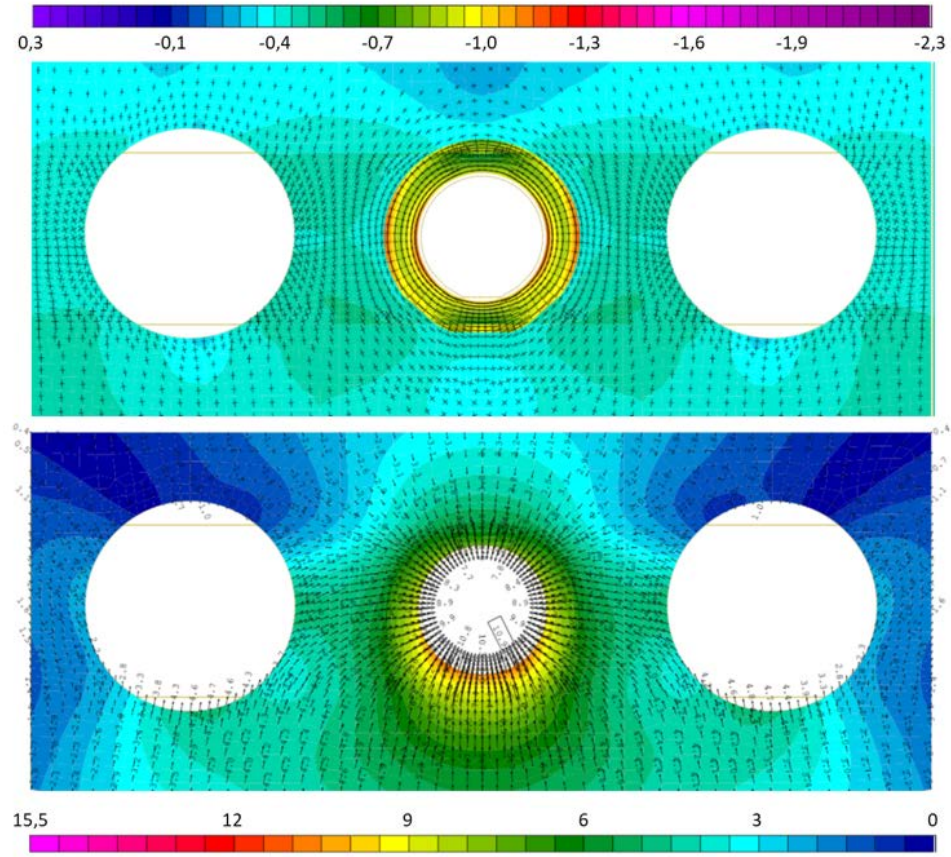


Abbildung 19: LF22 (Block 1m, Ausbruch Stollen): Spannungen und Verschiebungen im Baugrund

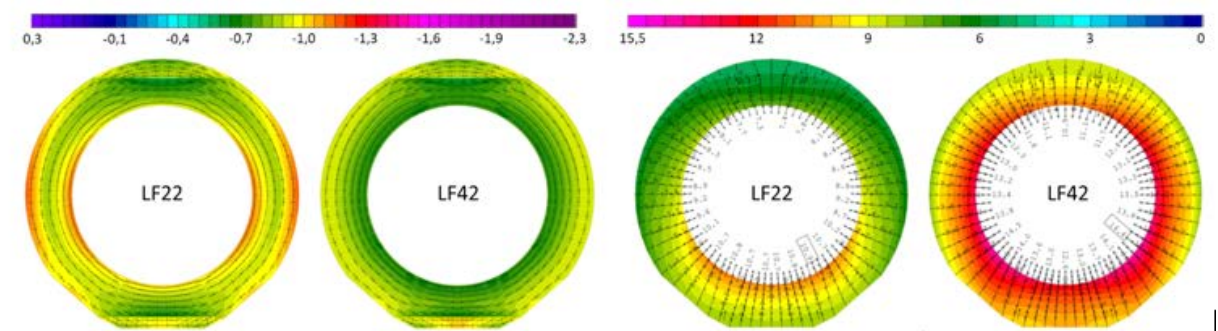


Abbildung 44: LF22 & LF42 (Block 1m, Ausbruch Stollen): Spannungen & Verschiebungen in der Vereisung

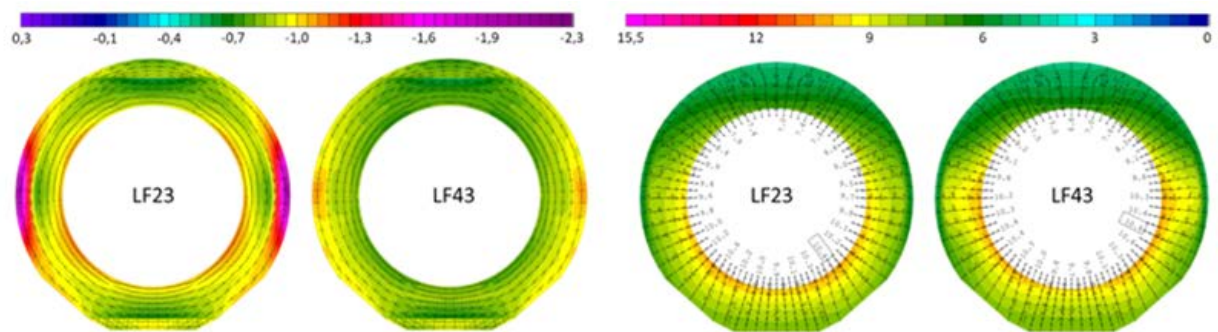


Abbildung 45: LF23 & LF43 (Block 1m, Sicherung Stollen): Spannungen & Verschiebungen in der Vereisung

Verlängerung U5 München, Los 2

Tübbingbemessung - Querschlagsöffnung

- 3D gebettetes Schalenmodell mit 12 Ringen.
- Modellierung der Längsfugen über nichtlineare Koppelfedern zur Momenten- und Querkraftübertragung.
- Modellierung der Ringkopplung über Reibung mit nichtlinearen Koppelfedern.
- Modellierung des Betonkragens und der Ringspaltverpressung mit Volumenelementen
- 4 Sonderringe mit Beton C50/60 und zusätzlicher Kopplung in der Ringfuge über 6 Scherdübel je Tübbing.
- Berücksichtigung des Vereisungsdrucks aus dem Querschlag

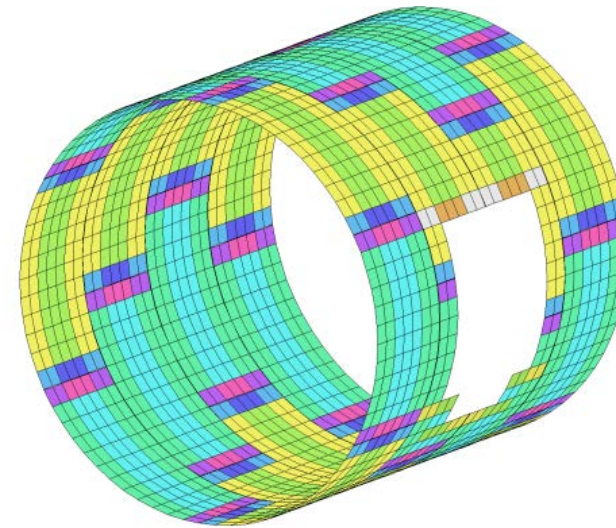


Abbildung 9: 3D-Schalenmodell mit 4 Sonderringen und der Tunnelöffnung

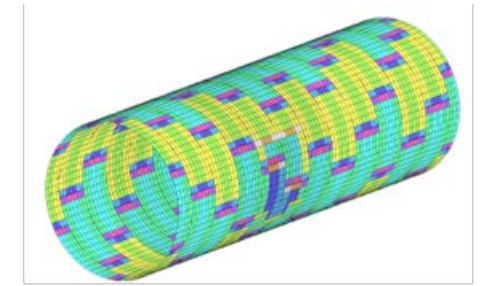


Abbildung 17: Lastbild Vereisungsdruck am Querschlag KGA

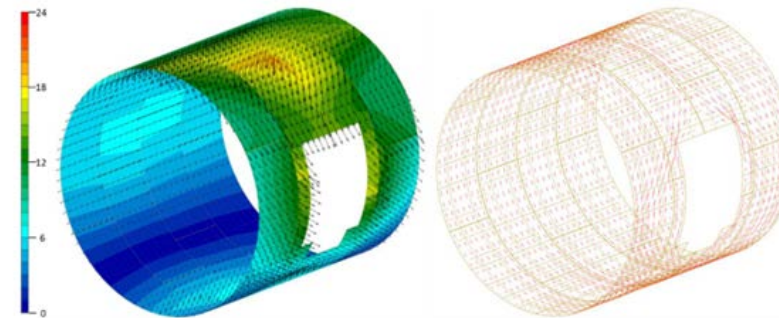
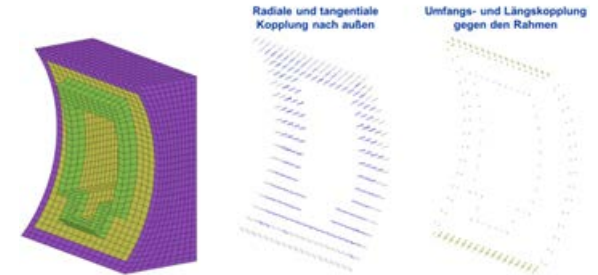
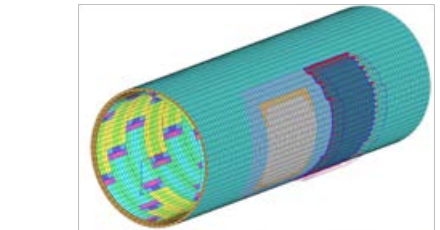
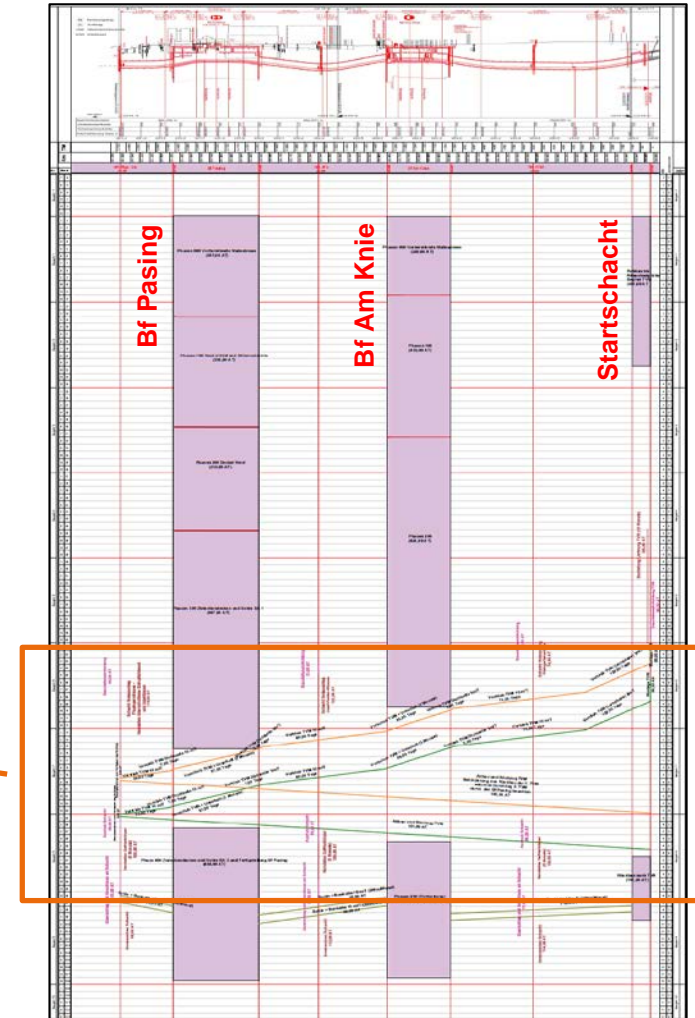
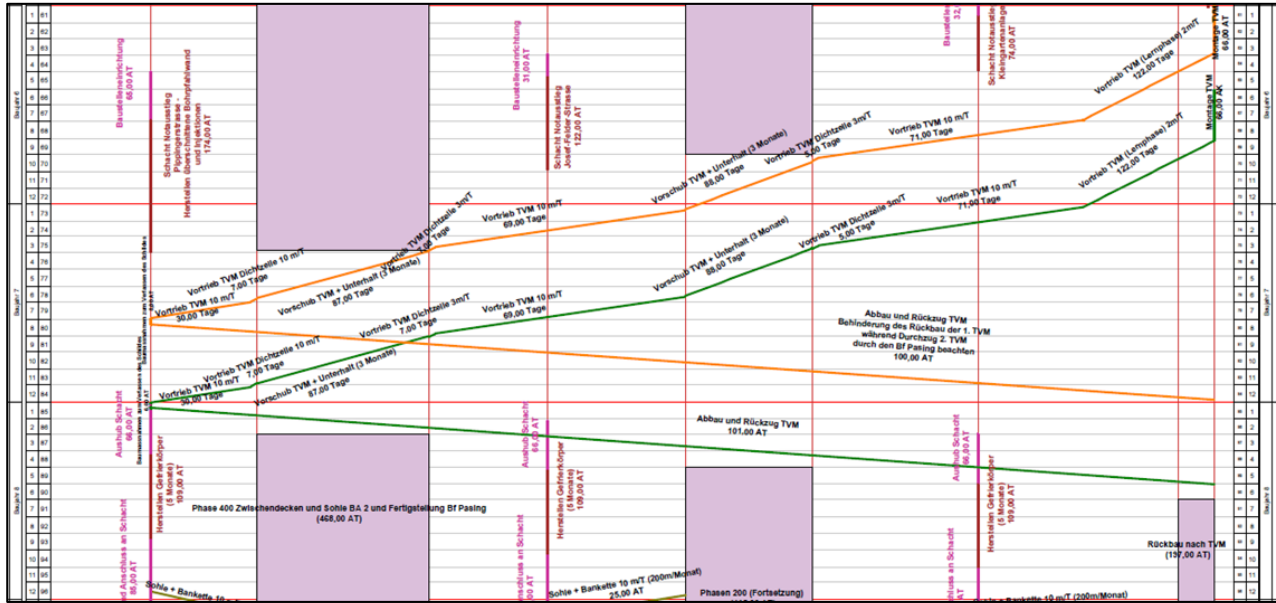


Abbildung 26: LF705 (Öffnen Tunnel, ohne RF-Reibung): Verschiebungen und Hauptmembrankräfte in den Sondersegmenten

Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau - Terminkonzept

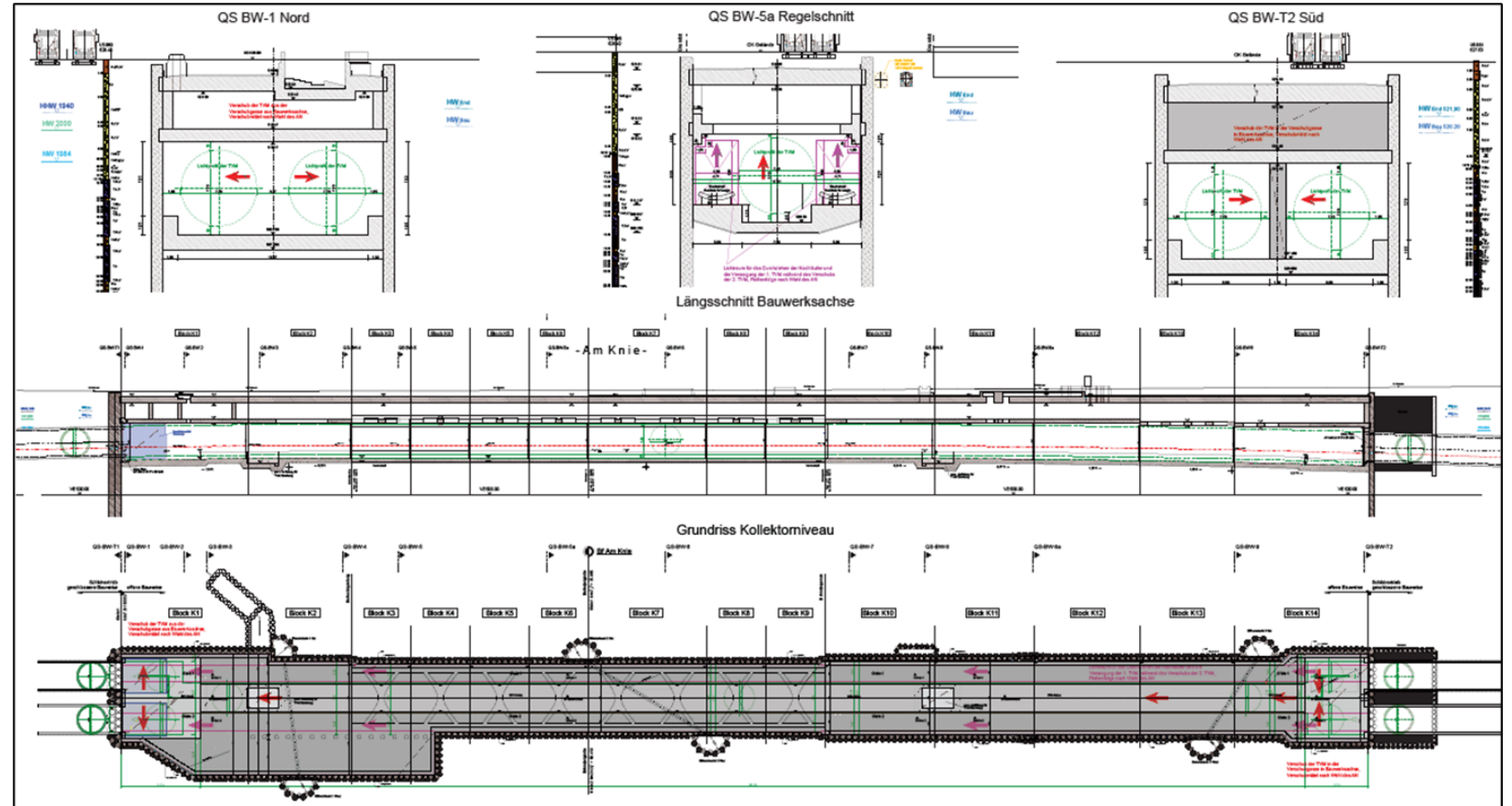
- Durchschleppen TVM durch vorab fertiggestellte Bahnhöfe



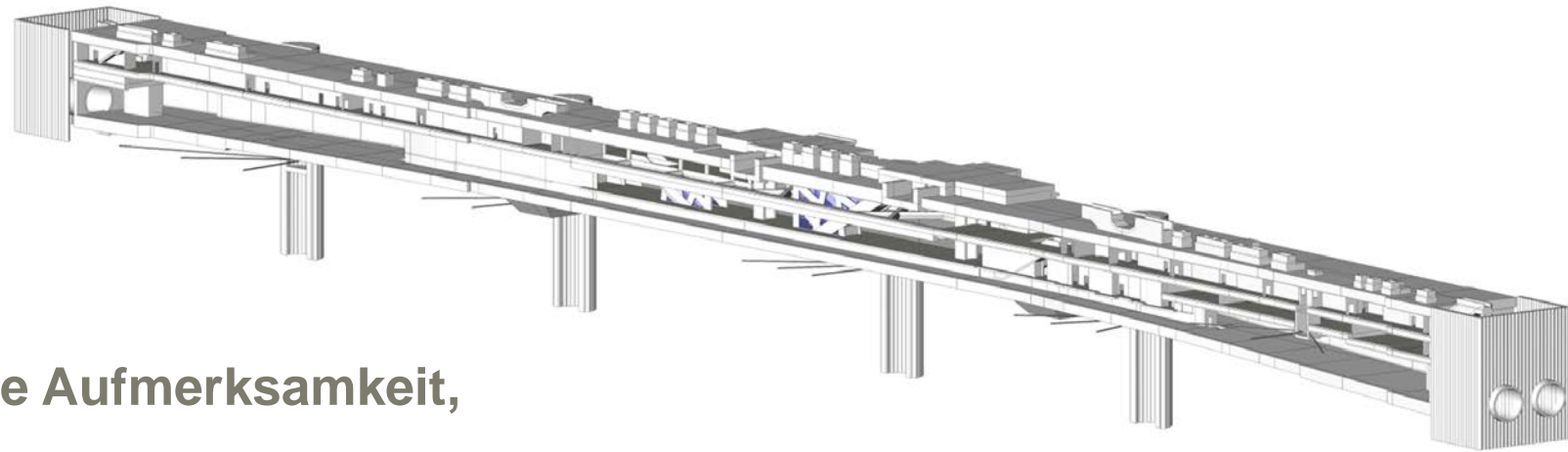
Verlängerung U5 München, Los 2

Tunnelbau - Terminkonzept

- Durchschleppen TVM durch vorab fertiggestellte Bahnhöfe



Verlängerung U5 München, Los 2



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit,
Glück auf!

Amberg Engineering AG

Regensdorf / Sargans / Chur / Nyon / Paris / Innsbruck / Köln

perdmann@amberg.ch

+49 1523/ 4598263

www.amberggroup.com

