

**Öffentlich bestellte und vereidigte
Sachverständige und Prüfsachver-
ständige für Erd- und Grundbau**

Darwinstraße 13 · 10589 Berlin
Tel. +49-30-78 90 89-0 · Fax -89
E-Mail office@gudconsult.de
www.gudconsult.de

Standorte

Berlin | Leipzig | Hamburg
Köln | Frankfurt/M. | Athen

Verformungsprognose für den U-Bahntunnel der Linie U8 BV: JAHO 2 Stadtturm / Holzmarktstraße 3-5 in Berlin-Mitte

**Gutachten
Beratung
Planung
Bauüberwachung**

Auftraggeber: JAHO Stadtturm Verwaltungs GmbH
Sophie-Charlotten-Straße 33
14059 Berlin

Bearbeiter: Dipl.-Ing. P. Hao
Dr.techn. B. Schädlich

Geschäftsführer und Prokuristen
Dr.-Ing. Silke Appel
Dr. rer. nat. Götz Hirschberg
Dr.-Ing. Fabian Kirsch¹
Dr.-Ing. Jens Mittag¹
Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider
Dipl.-Ing. Kerstin Deterding (ppa.)⁴
Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt (ppa.)

Senior-Partner
Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert²
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener
Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter³
em. Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

Berlin, den 29.04.2021

Berichtnummer: S 160/20_A_Rev00

Dieser Bericht umfasst 67 Seiten und 2 Anlagen gemäß Anlagenverzeichnis.

K:\Holzmarkt3(JAHO2)_S160.20\Objekt-und Tragwerksplanung\4-Genehmigungsplanung\01_FE-
Berechnungen\01_BVG+Bahn\04_Bericht\BVG\210429_S160.20_A_JAHO2_Verformungsprognose_BVG.docx

¹ Anerkannter Prüfsachverständiger für den Erd- und Grundbau.
² von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugruben, Injektionen und Bauwerksabdichtungen im Untergrund.
³ von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund.
⁴ EBA-Gutachter für Geotechnik bei Bau-maßnahmen im Eisenbahnbau.

Revisionsblatt für Bericht S 160/20_A_Rev00

Revision	Datum	Bemerkung	erstellt	geprüft / freigegeben
00	29.04.2021	Ersterstellung	PH/BeS	Ki

INHALTSVERZEICHNIS

0	ZUSAMMENFASSUNG	4
1	UNTERLAGENVERZEICHNIS	5
1.1	Unterlagen der Bestandsbauwerke	5
1.2	Projektbezogene Unterlagen	6
1.3	Unterlagen Baugrund	7
1.4	Literatur	7
2	PLANUNGSGRUNDLAGEN	8
2.1	Allgemeines zum Neubau	8
2.2	Bauwerkslasten	12
2.3	Baugruben	13
2.3.1	Baugrube JAHO 2	13
2.3.2	Baugrube JAHO 1	17
2.4	Bestandsbauwerke	19
2.5	Baugrund	24
3	BERECHNUNGSMODELL	26
3.1	Berechnungsmodell	26
3.2	Baugrund und Grundwasser	28
3.2.1	Bodenkennwerte	28
3.2.2	Grundwasser	31
3.3	Bestandsbauwerke	31
3.3.1	U-Bahntunnel der Linie U8	31
3.3.2	S-Bahnhof Jannowitzbrücke	32
3.4	Neubauvorhaben JAHO2	35
3.4.1	Baugrube	35
3.4.2	Bodenplatte und Decken des Neubaus	36
3.4.3	Gebäudelasten	36
3.5	Berechnungsphasen	37
4	ERGEBNISSE DER VERFORMUNGSPROGNOSE	40
4.1	Systembedingte Verformungen	40
4.2	Herstellbedingte Verformungen	42
4.3	Mögliche Gesamtverformungen	44
	VERZEICHNIS DER ANLAGEN	45

0 ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich der Holzmarktstraße 3 bis 5 in Berlin-Mitte ist der Bau eines zwölfgeschossigen Geschäftsgebäudes, einer siebengeschossigen Blockrandbebauung sowie eines Stadtturmes mit 26 Obergeschossen (Stadtturm) geplant. Die Bauwerke erhalten jeweils drei Untergeschosse.

Der Bau des geplanten Neubaus bedingt im umgebenden Baugrund Verformungen, die sich u.a. auf den westlich des Baufelds gelegenen Tunnel der U-Bahnlinie U8 auswirken.

Die Verformungen des U-Bahntunnels infolge der Errichtung des Stadtturms werden mittels eines 3D-FE-Modells (Programmpaket Plaxis 3D) ermittelt. Aufgrund der Notwendigkeit, auch die vorgelagerten Einflüsse zu berücksichtigen, wird dabei auch die Errichtung der östlich benachbarten baulichen Anlagen (Stadthaus und Stadthof) modelliert. Das Berechnungsmodell ist geeignet, Verschiebungen im Baugrund infolge von großräumigen Lastumlagerungen zu ermitteln. Mit diesem Modell werden die Verformungen infolge der Errichtung des Neubaus (sog. systembedingte Verformungen) ermittelt (siehe Kap. 4.1). Verformungen aus der Herstellung der Baugrubenumschließung (sog. herstellbedingte Verformungen) sind aufgrund der großen Entfernung des U-Bahntunnels zur Baugrube nicht zu erwarten (siehe Kap. 4.2).

Zur Ermittlung der möglichen Verformungen werden die berechneten systembedingten Verformungen mit einem Sicherheitsaufschlag von 1,2 belegt. Damit ergeben sich mögliche Verformungen des U8-Tunnels von vertikal ca. 2 mm (Hebung und Setzung) und horizontal ca. 1 mm (in Richtung und weg von der Baugrube).

1 UNTERLAGENVERZEICHNIS

1.1 Unterlagen der Bestandsbauwerke

- [U 1] Pfeilerlänge Stadtbahn Berlin Baustelle Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338008960-1984972-PLA-03-000, vom 23.04.1927
- [U 2] Instandsetzung der Pfeiler und Bogen 45 bis 66, Stadtbahn Berlin Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338008962-1984974-PLA-03-000, vom 13.09.1927
- [U 3] Statische Untersuchung des Erdwiderlagers an der Jannowitzbrücke, Stadtbahn Berlin Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338009006-1985018-PLA-03-000, vom 19.03.1927
- [U 4] Ausbildung des Widerlagerpfeilers 41 am Bogen 66, Stadtbahn Berlin Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338009009-1985021-PLA-03-000, vom 26.09.1930
- [U 5] Bahnhof Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338013547-1989858-PLA-03-000
- [U 6] Bahnhof Jannowitzbrücke, Plannummer: BE_01_0338013940-1990276-PLA-03-000, vom Mai 1928
- [U 7] Überbrückung der Vorhalle am Bahnhof Jannowitzbrücke Br.Nr. 1116, Plannummer: 0338041439-3976212-PLA-03-000, vom Januar 1933
- [U 8] Umbau des Reichsbahnviaduktes am Stadtbahnhof Jannowitzbrücke, Pfeiler „G“, Plannummer: BE_01_0338024705-2799985-PLA-03-000, vom Juni 1930
- [U 9] Umbau des Reichsbahnviaduktes vom Stadtbahnhof Jannowitzbrücke bis Rolandufer Fundament H1 u. H2, Plannummer: 0338024703-2799983-PLA-03-000, vom März 1935
- [U 10] Statische Berechnung des Fundamentes „G“, Band I, Umbau des Reichsbahnviaduktes am Stadtbahnhof Jannowitzbrücke, Bauwerksnummer 144/145, 0338107082-101061485-PLA-02-000, vom November 1929
- [U 11] Statische Berechnung der endgültigen eisernen Überbauten und der Fundamente, Band VII 2. Teil, Portale der Bahnsteigvorhalle in der Reihe „H“, Bauwerksnummer 144/145, 0338107081-101061484-PLA-02-000, vom Mai 1930
- [U 12] Bestandszeichnung Linie D, Bahnhof Jannowitzbrücke, Lageplan und Längsschnitte, D49.1, vom April 1933

- [U 13] Bestandszeichnung Linie D, Bahnhof Jannowitzbrücke, Schnitte, D49.3, April 1933

1.2 Projektbezogene Unterlagen

- [S 1] Grundriss 3. Untergeschoss, JAH02 Stadtturm, Plannummer: JAH0-H-DCA-ARC-01-GR-U3-001-B, erstellt von David Chipperfield Architects, vom 06.10.2020
- [S 2] Schnitt B-B, JAH02 Stadtturm, Plannummer: JAH0-H-DCA-ARC-01-SC-BB-001-A, erstellt von David Chipperfield Architects, vom 06.10.2020
- [S 3] Baugrube Grundriss, JAH0 2 Stadtturm, Plannummer: JAH0-H-GUD-BGP-02-GR-XX-001-0, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 30.03.2021
- [S 4] Baugrube Schnitte 1-1 bis 6-6, JAH0 2 Stadtturm, Plannummer: JAH0-H-GUD-BGP-02-SC-XX-002-0, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 30.03.2021
- [S 5] Baugrube Grundriss, Stadthaus und Stadthaus (Anbau) Holzmarktstraße 4-5, 10178 Berlin, Plannummer: JAH0-X-GUD-BGP-2A-GR-XX-001-0, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 04.02.2021
- [S 6] Baugrube Schnitte 1-1 bis 5-5, Stadthaus und Stadthaus (Anbau) Holzmarktstraße 4-5, 10178 Berlin, Plannummer: JAH0-X-GUD-BGP-2A-SC-XX-002-D, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 04.02.2021
- [S 7] Baugrube Schnitte 6-6 bis 9-9 und Details, Stadthaus und Stadthaus (Anbau) Holzmarktstraße 4-5, 10178 Berlin, Plannummer: JAH0-X-GUD-BGP-2A-SC-XX-003-B, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 04.02.2021
- [S 8] Baugrube Schnitte 10-10 bis 11-11, Stadthaus und Stadthaus (Anbau) Holzmarktstraße 4-5, 10178 Berlin, Plannummer: JAH0-X-GUD-BGP-2A-SC-XX-004-B, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 04.02.2021
- [S 9] Schnitt E-E, Stadthaus und Stadthaus (Anbau) und Tiefgarage, Plannummer: JAH0-X-KMA-ARC-02-SC-EE-XXX-D, erstellt von Kuehn Malvezzi Projects GmbH, vom 01.02.2021

- [S 10] Bodenpressung, E-Mail von Schübler Plan Ingenieurgesellschaft mbH (Hr. F. Koch) an GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH (Fr. P. Hao), Betreff: JAHO2 – Bodenpressung, vom 22.01.2021
- [S 11] Charakteristische Gründungslasten, AWD Ingenieurgesellschaft mbH, E-Mail von Hr. Schenk, vom 03.03.2020
- [S 12] Geotechnischer Entwurfsbericht JAHO1, 210128_S135.18_G_Rev02, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 28.01.2021

1.3 Unterlagen Baugrund

- [R 1] Geotechnischer Bericht (Hauptuntersuchung) zum Bauvorhaben JAHO / Holzmarktstraße 3–5, G135-1/18 Rev. 01, erstellt von GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vom 17.04.2020

1.4 Literatur

- [L 1] Empfehlungen des Arbeitskreises Numerik in der Geotechnik – EANG, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Ernst & Sohn Verlag, 2014
- [L 2] Plaxis Reference Manual, Plaxis 3D 2018
- [L 3] B. Schädlich, Th. Richter und K.-M. Borchert: Herstellungsbedingte Verformungen bei innerstädtischen Baugruben in Berlin, 35. Christian Veder Kolloquium Graz 2021 (im Druck)
- [L 4] Mittag, J., Richter, Th., Schädlich, B., Hao, P. 2020. Herausforderungen von Hochhausgründungen in Gebieten mit glazial geprägten Böden, geotechnik 43(4), S. 289-297

2 PLANUNGSGRUNDLAGEN

2.1 Allgemeines zum Neubau

Im Bereich der Holzmarktstraße 3 bis 5 in Berlin-Mitte ist der Bau eines zwölfgeschossigen Geschäftsgebäudes, einer siebengeschossigen Blockrandbebauung sowie eines Stadtturmes mit 26 Obergeschossen geplant (s. Bild 2-1).

Auf dem östlichen Baufeld in der Holzmarktstraße 4 – 5 werden zunächst das zwölfgeschossige Geschäftshaus und die siebengeschossige Blockrandbebauung (JAHO1 – Stadthaus und Stadtloft) errichtet (s. Bild 2-1). Direkt westlich davon in der Holzmarktstraße 3 wird im Anschluss der Stadtturm (JAHO2) errichtet. Nördlich grenzen die Baufelder an die Holzmarktstraße. Südlich schließen die Baufelder an den denkmalgeschützten S-Bahnhof Jannowitzbrücke an. In westlicher Richtung grenzt das Baufeld JAHO2 an den Stadtplatz, der zwischen der Jannowitzbrücke und der Holzmarktstraße liegt. Noch etwas weiter westlich verläuft der U-Bahntunnel der Linie U8. Im Lageplan (s. Bild 2-1) sind die Baufelder der JAHO 1 und 2 sowie die Nachbarbauwerke dargestellt.

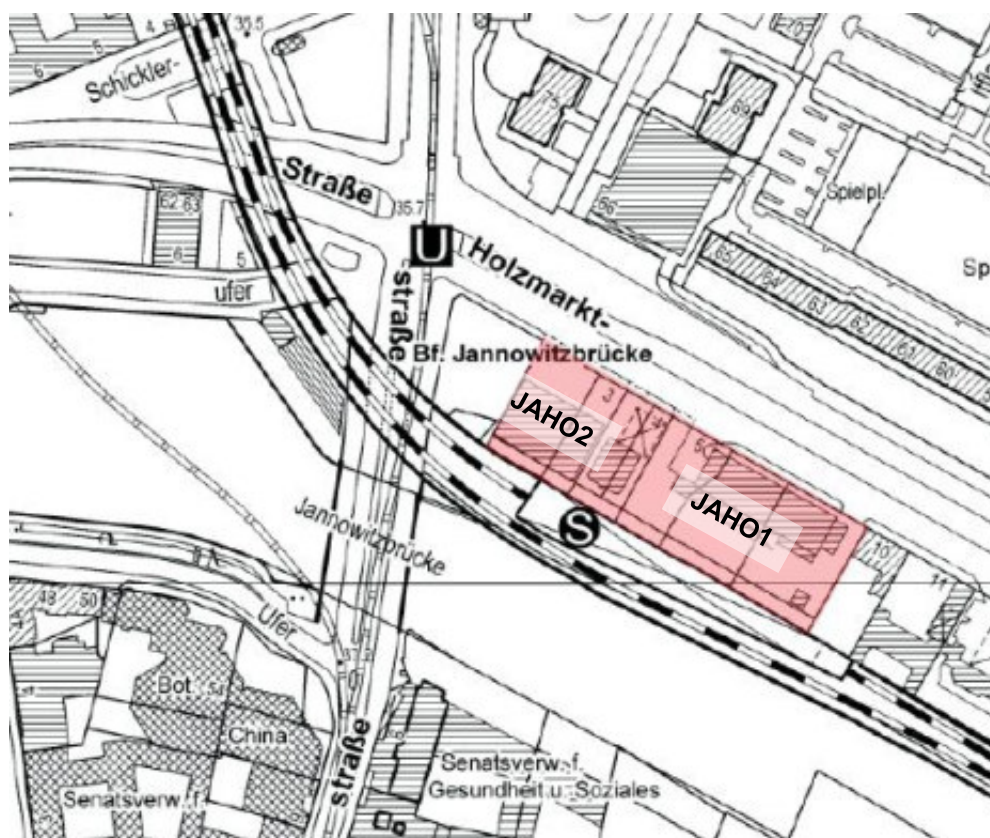


Bild 2-1 Lageplan (Fisbroker Karte 1:5000 <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>)

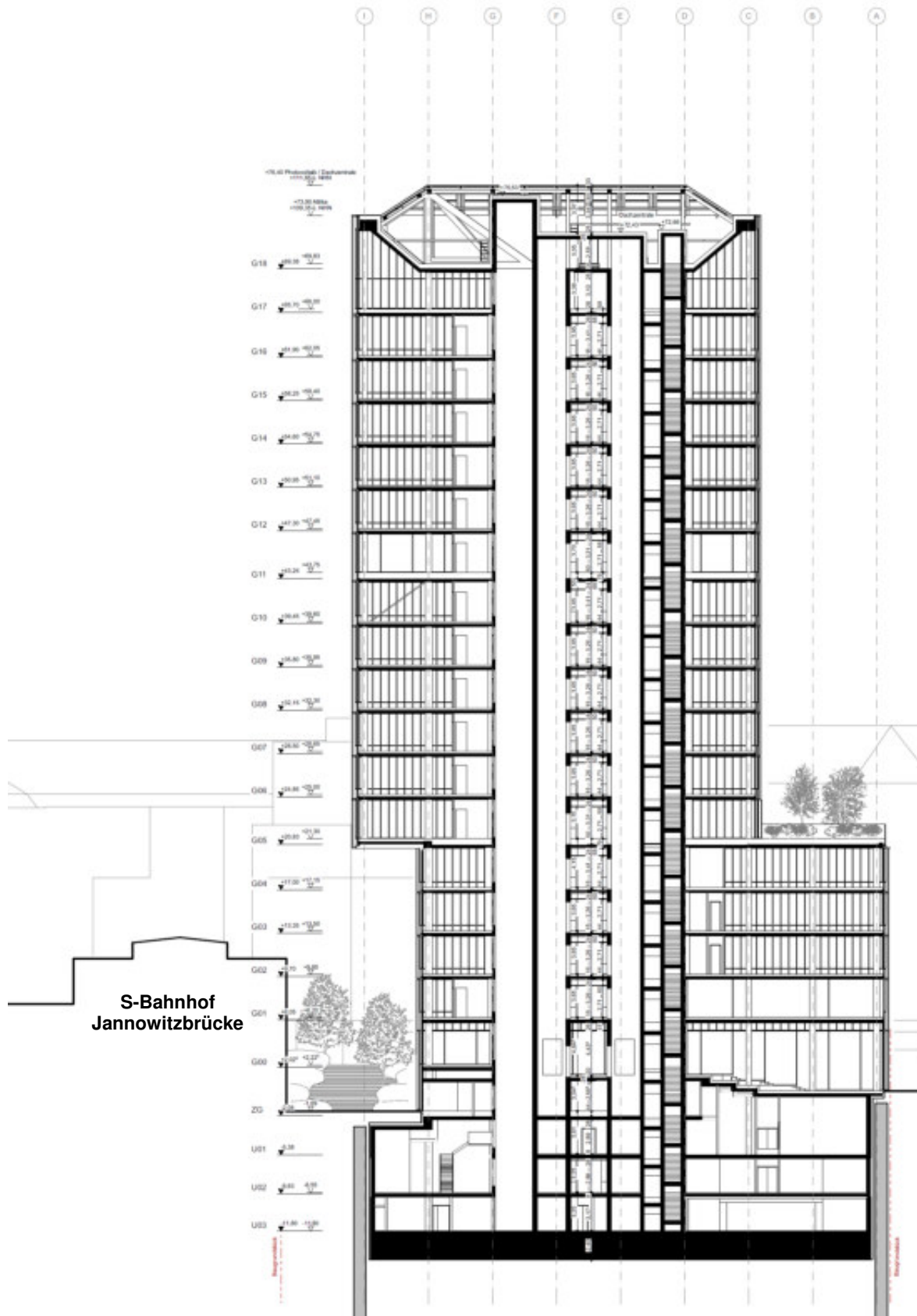


Bild 2-3 Schnitt JAH02 Stadtturm aus [S 2], Blick Richtung Westen

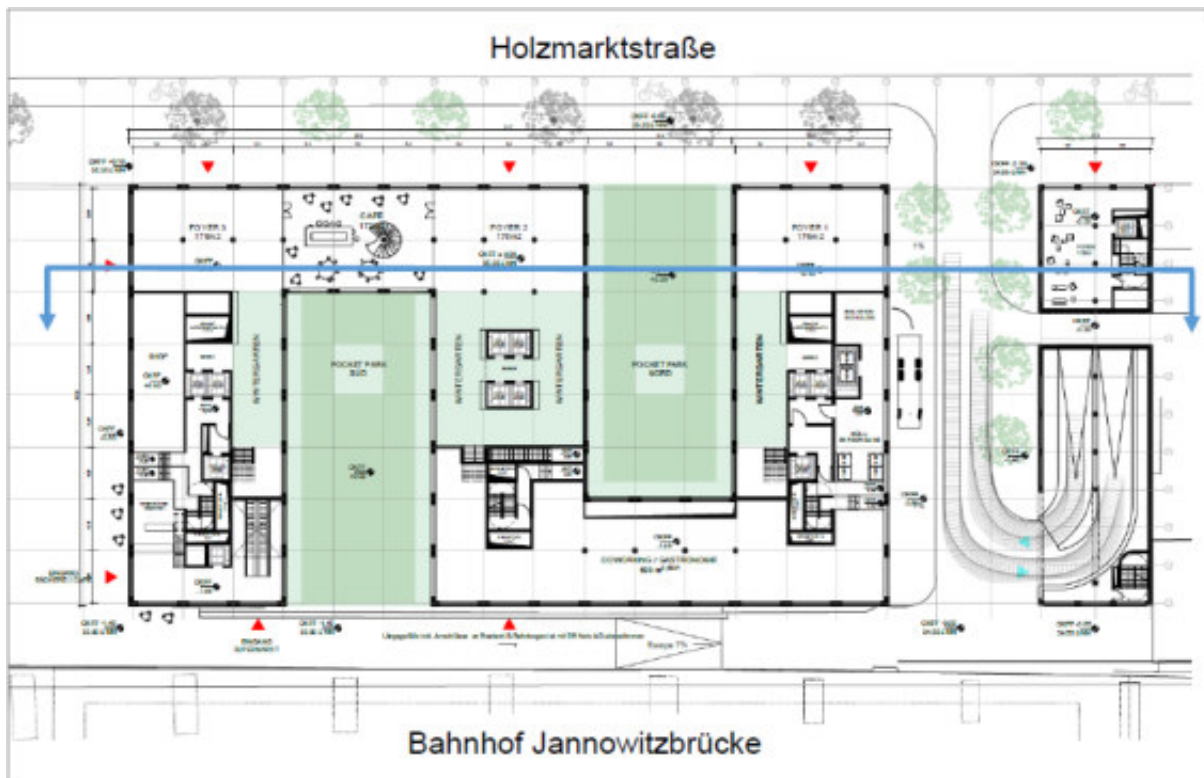


Bild 2-4 Übersichtsplan mit Darstellung des zentralen Stadthauses sowie dem Anbau JAH01

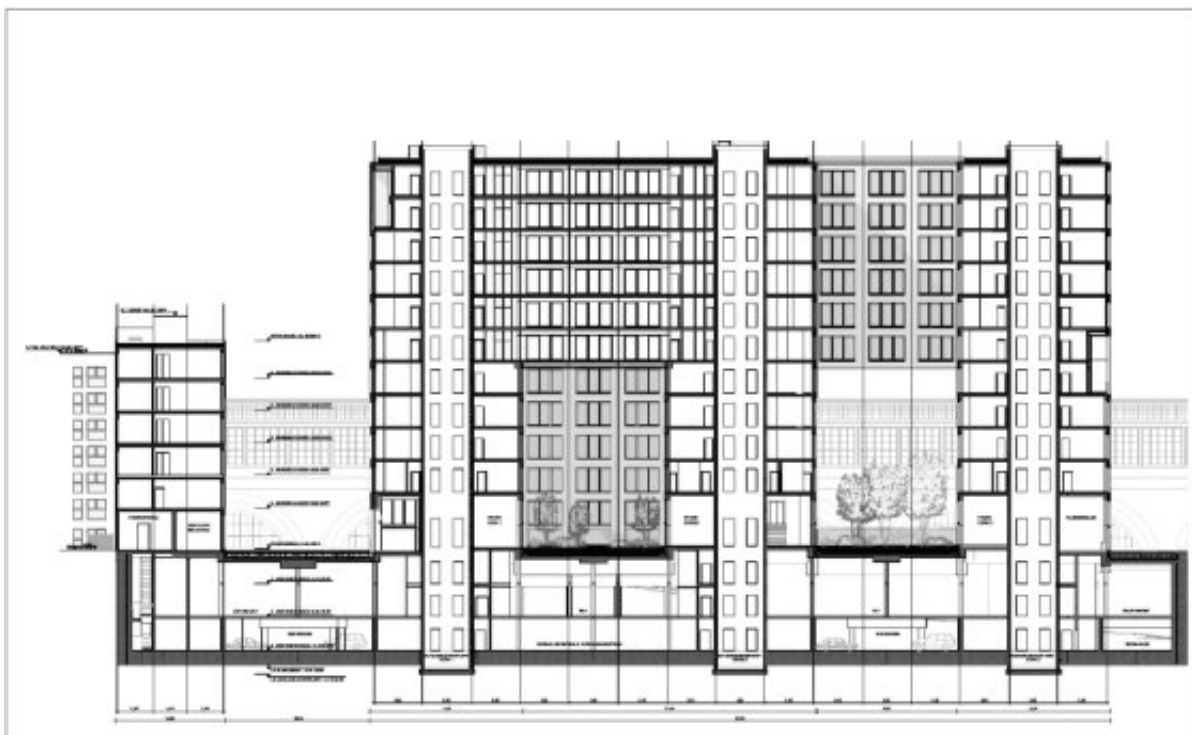


Bild 2-5 Schnitt durch das zentrale Stadthaus sowie dem Anbau JAH01 (Blick Richtung Süden)

2.2 Bauwerkslasten

Die Bodenpressung des Stadtturms wird gemäß den Angaben der Tragwerksplanung in [S 10] angesetzt. Für die Verformungsberechnung werden charakteristische setzungsrelevante Bauwerkslasten unter Berücksichtigung der ständigen und 30% der veränderlichen Einwirkungen ($1,0 \cdot G_k + 0,3 \cdot Q_k$) angesetzt. Die angegebene Bodenpressung wurde vom Tragwerksplaner in Abstimmung mit GuD als geotechnischer Sachverständiger bzgl. der Bettung der Bodenplatte ermittelt.

Für das Stadthaus (JAH01) wird ebenfalls die setzungsrelevanten Bauwerkslasten von $1,0 \cdot G_k + 0,3 \cdot Q_k$ angesetzt. Dies entspricht 201 kN/m^2 gem. den Angaben der Tragwerksplanung vom 03.03.2020 [S 11].

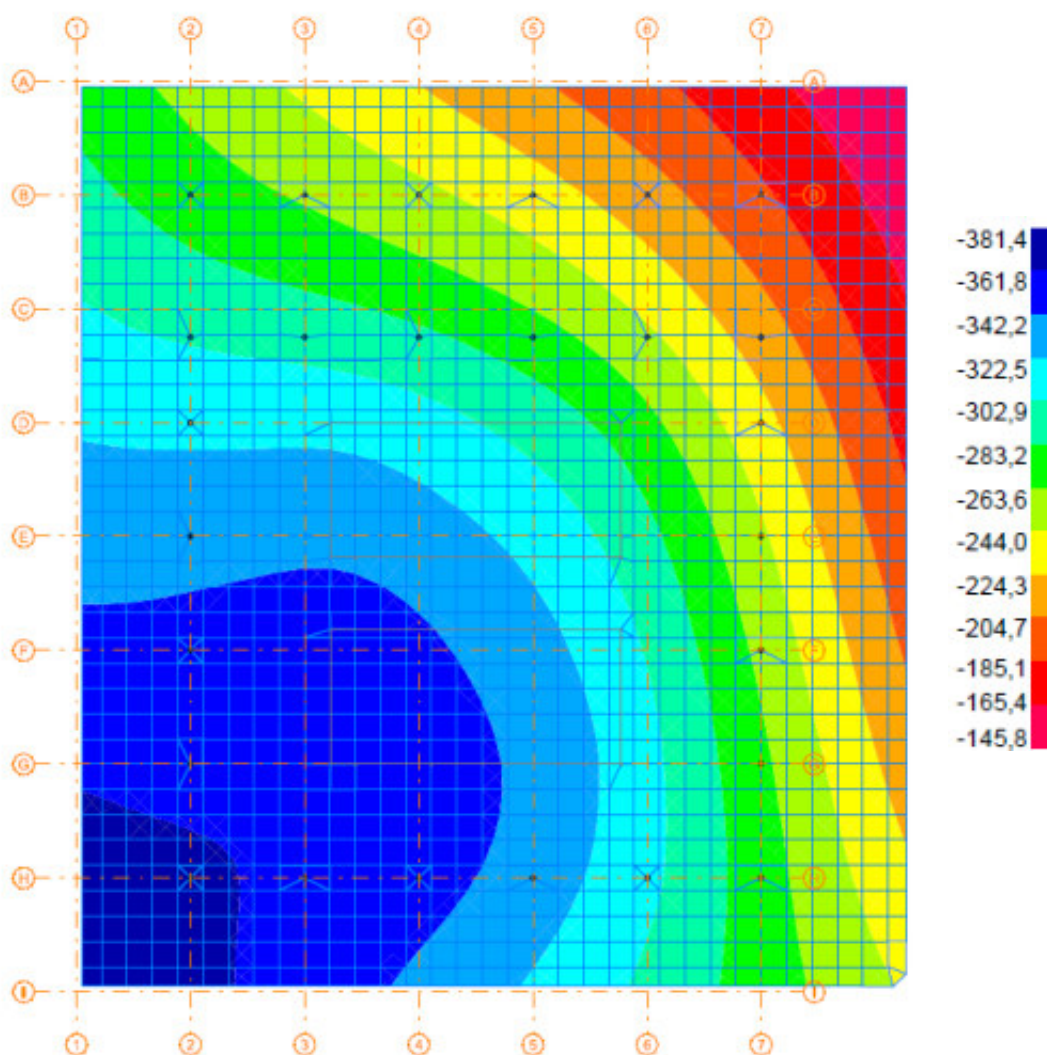


Bild 2-6 Maximale Bodenpressung des Stadtturms JAH02 aus [S 10]

2.3 Baugruben

2.3.1 Baugrube JAHO 2

Der Stadtturm besitzt einen nahezu quadratischen Grundriss von ca. 45 m x 40 m. Die Baugrube hat eine Grundfläche von ca. 1.800 m² und besteht aus einer quasi wasserundurchlässigen Trogbaugrube mit Schlitzwänden und einer auftriebssicheren, tiefliegenden Düsenstrahlsohle. Die Schlitzwand hat eine Dicke von 1,0 m, die Unterkante der Wand liegt bei +5,0 m NHN.

Die horizontale Stützung der Schlitzwände erfolgt über eine Stahlaussteifung und eine Düsenstrahl-Stützsohle dicht unterhalb der Aushubsohle. Die Stahlaussteifung liegt in der Höhe +32,7 m NHN und besteht aus Stahlrohren RO 1016x20.

Der Trägerbohl-Vorverbau wird im südöstlichen Bereich (Schnitt 6-6) durch ca. 15 m lange Verpressanker rückverankert, deren Endpunkt jedoch oberhalb der Gründungshöhe des U8-Tunnels und damit außerhalb des Lastabtragungsbereichs des Tunnels liegt.

Die Ober- und Unterkanten der Bodenplatte und der Düsenstrahlsohlen sind in Tabelle 2-1 angegeben. Die obere Düsenstrahlsohle (DSV) hat im Randbereich eine 2 m hohe Aufkantung.

Tabelle 2-1 Ober- und Unterkante der Bodenplatte und Düsenstrahlsohlen JAHO2

Bauteil	OK [m NHN]	UK [m NHN]
Bodenplatte	+23,65	+21,25
Obere DS-Sohle (Stützsohle)	+19,45	+18,45
Untere DS-Sohle (Dichtsohle)	+7,0	+5,5

Die Baugrubensohle liegt großflächig bei +21,15 m NHN, in 2 lokal begrenzten Tieftteilen bei +19,85 m NHN.

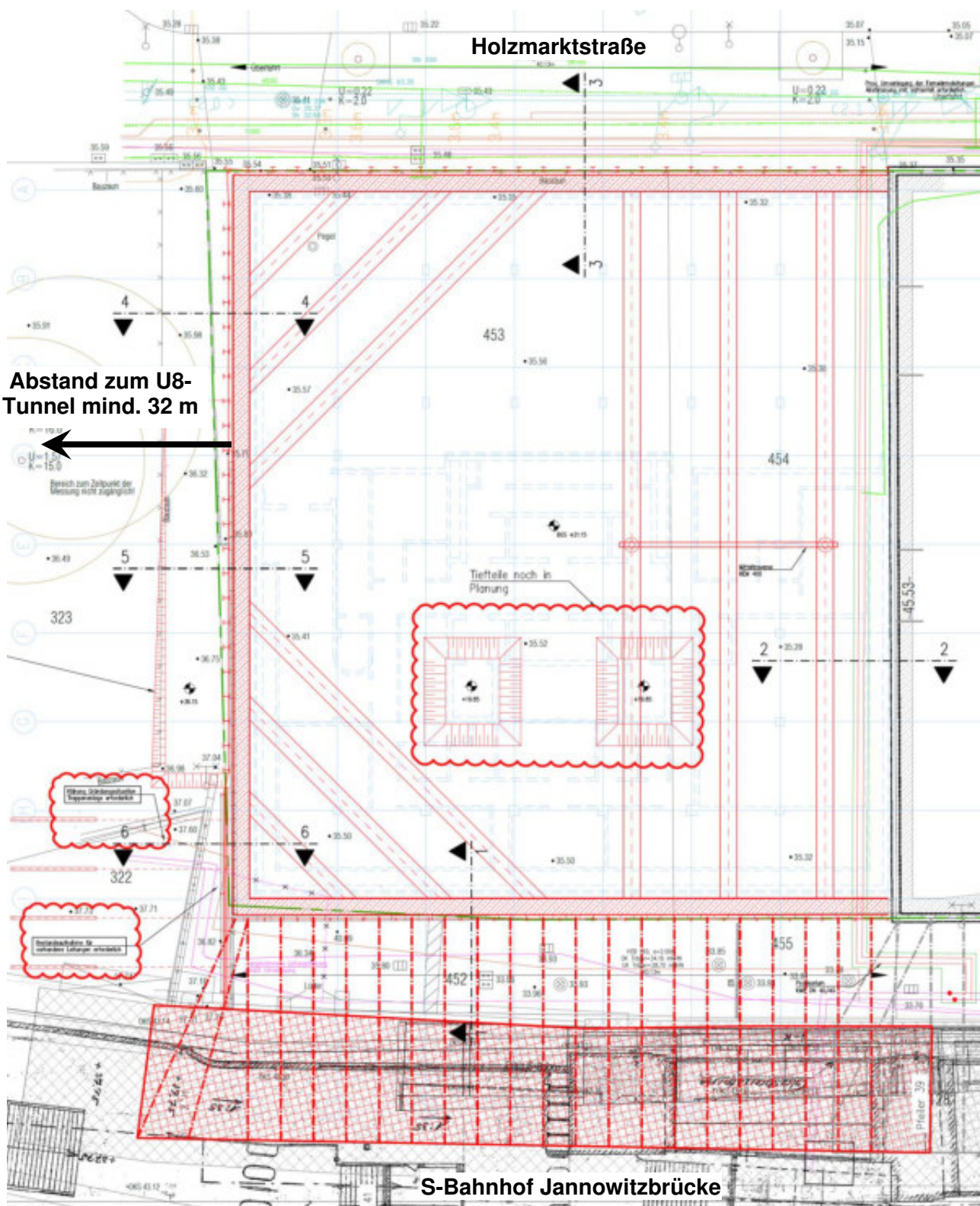


Bild 2-7 Grundriss Baugrube JAH0 2 aus [S 3]

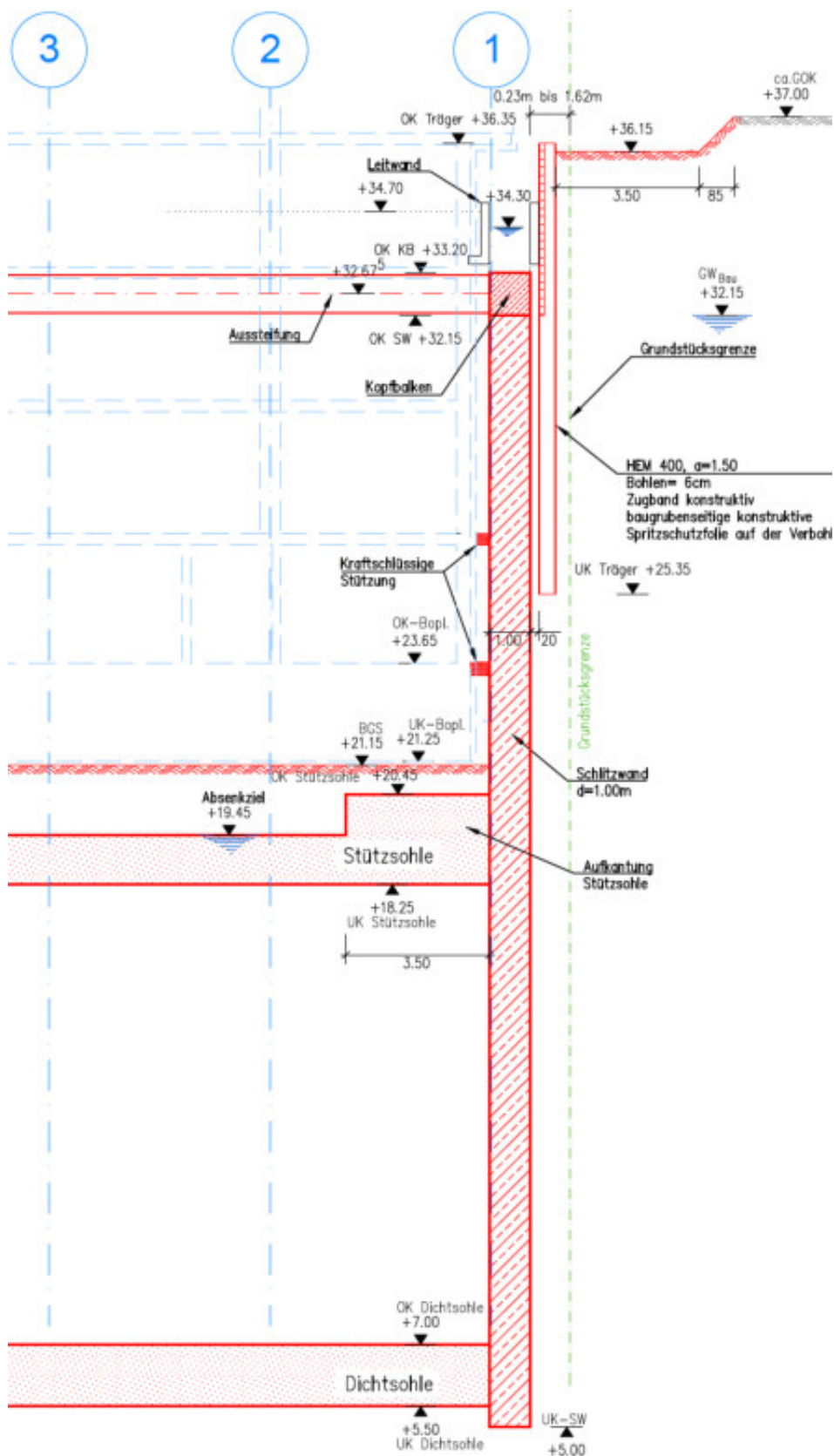


Bild 2-8 Schnitt 5-5 Westseite Baugrube JAH02 aus [S 4]

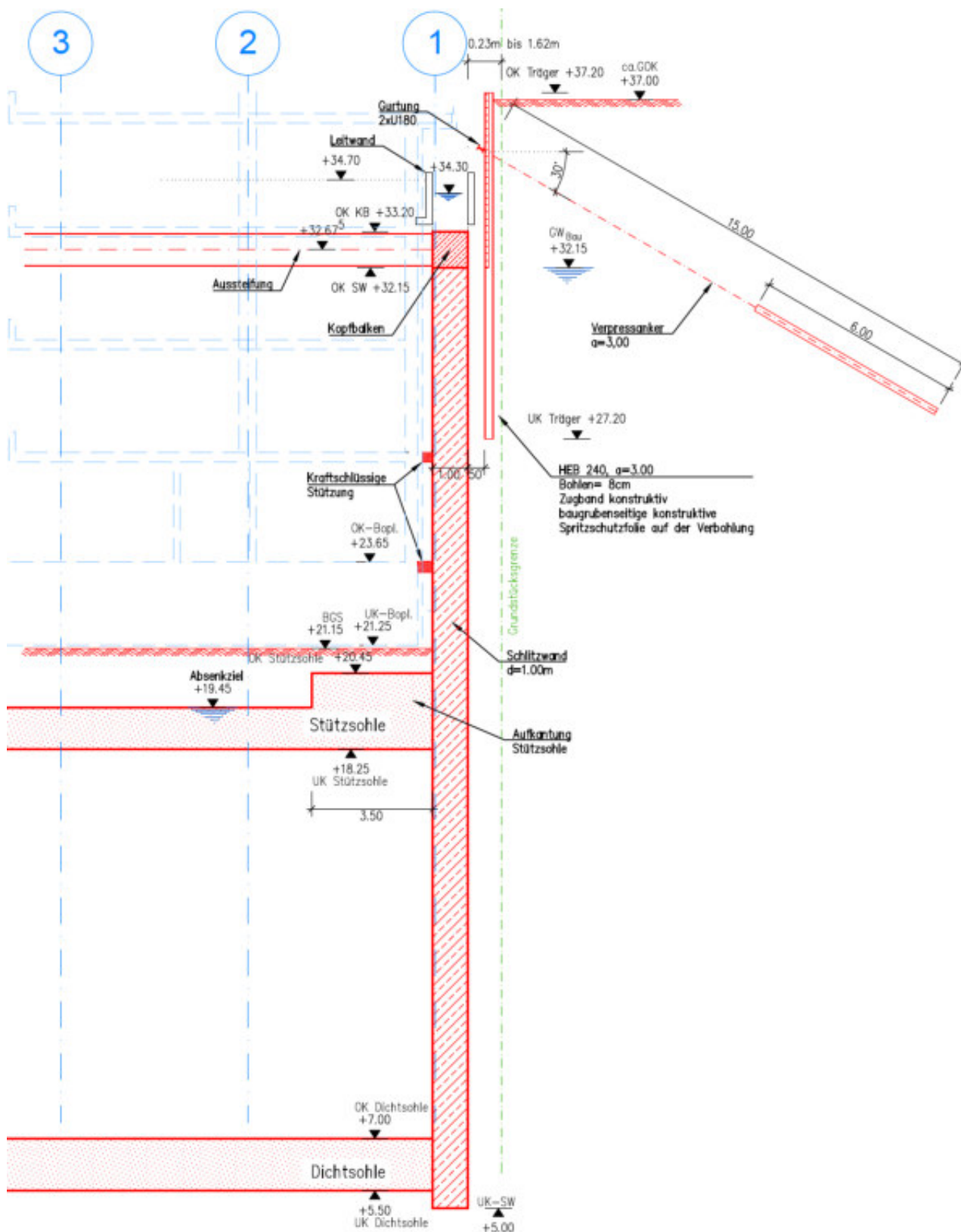


Bild 2-9 Schnitt 6-6 Westseite Baugrube JAH02 aus [S 4]

2.3.2 Baugrube JAHO 1

Die östlich benachbarte Baugrube JAHO1 hat einen rechteckigen Grundriss mit Abmessungen von ca. 114 m x 40 m und besteht ebenfalls wie die Baugrube JAHO 2 aus einer wasser-undurchlässigen Trogbaugrube mit Schlitzwänden und einer auftriebssicheren, tiefliegenden Düsenstrahlsohle. Die horizontale Stützung erfolgt über eine Stahlaussteifung in der Höhe +32,7 m NHN, bestehend aus Stahlrohren RO 1016x20, und eine Stützsohle mit der Unterkante bei +19,10 m NHN. Die Stützsohle hat eine Dicke von 1,0 m. An den Rändern der Stützsohle gibt es eine Aufkantung von 2,0 m Höhe.

Die Unterkante der tiefer liegenden Dichtsohle befindet sich bei +6,5 m NHN.

Die Schlitzwand hat eine Dicke von 1,0 m und eine Unterkante bei +6,0 m NHN.

Die Ober- und Unterkanten der Bodenplatte und der Düsenstrahlsohlen der Baugrube JAHO1 sind in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Die Baugrubensohle liegt großflächig bei +21,8 m NHN, in den Tiefteilen bei bis zu +20,6 m NHN.

Tabelle 2-2 Ober- und Unterkante der Bodenplatte und Düsenstrahlsohlen JAHO1

Bauteil	OK [m NHN]	UK [m NHN]
Bodenplatte	+23,65	+22,05
Obere DS-Sohle (Stützsohle)	+20,1	+19,1
Untere DS-Sohle (Dichtsohle)	+8,0	+6,5

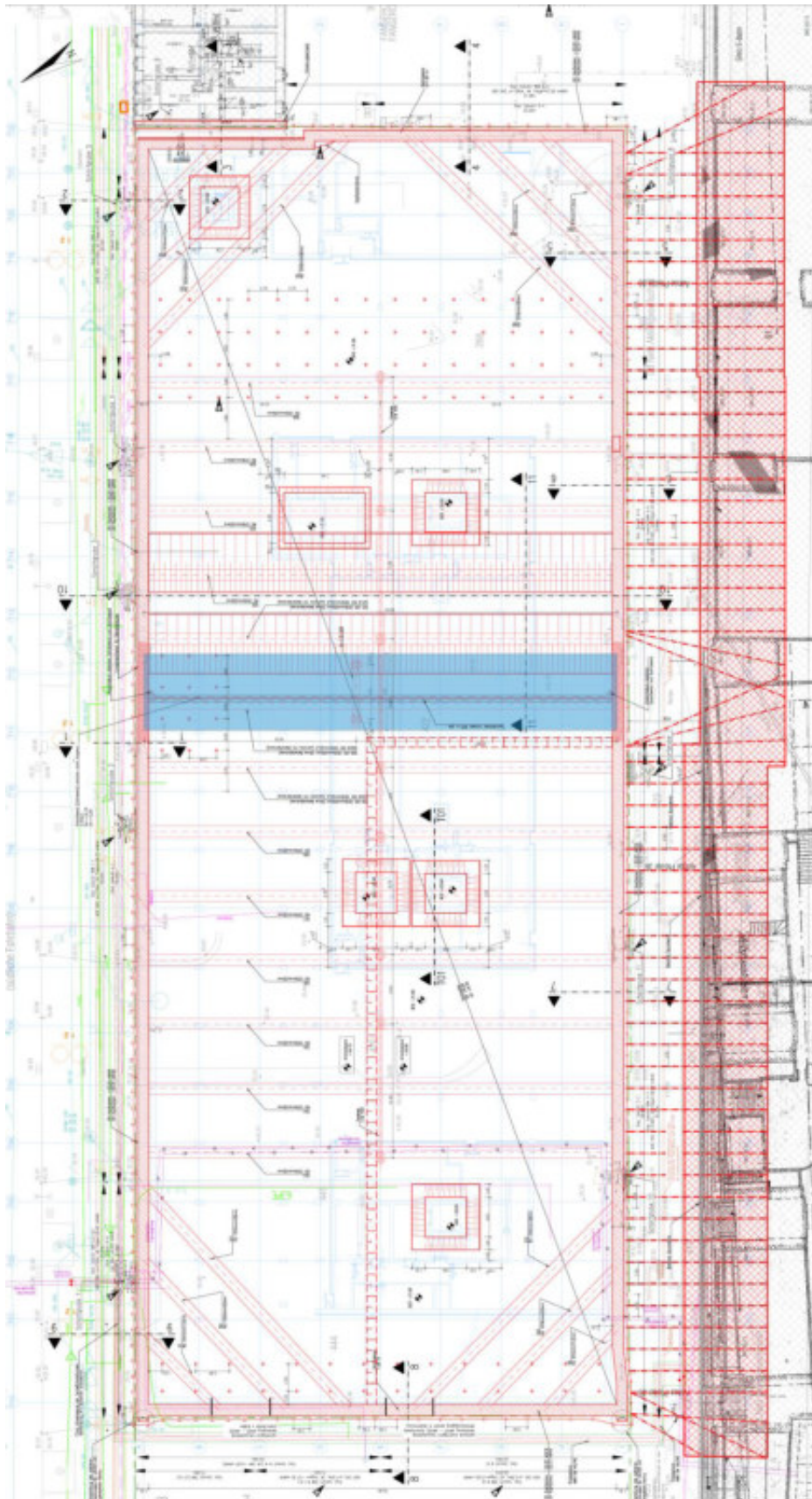


Bild 2-10 Grundriss Baugrube JAH0 1 aus [S 5]

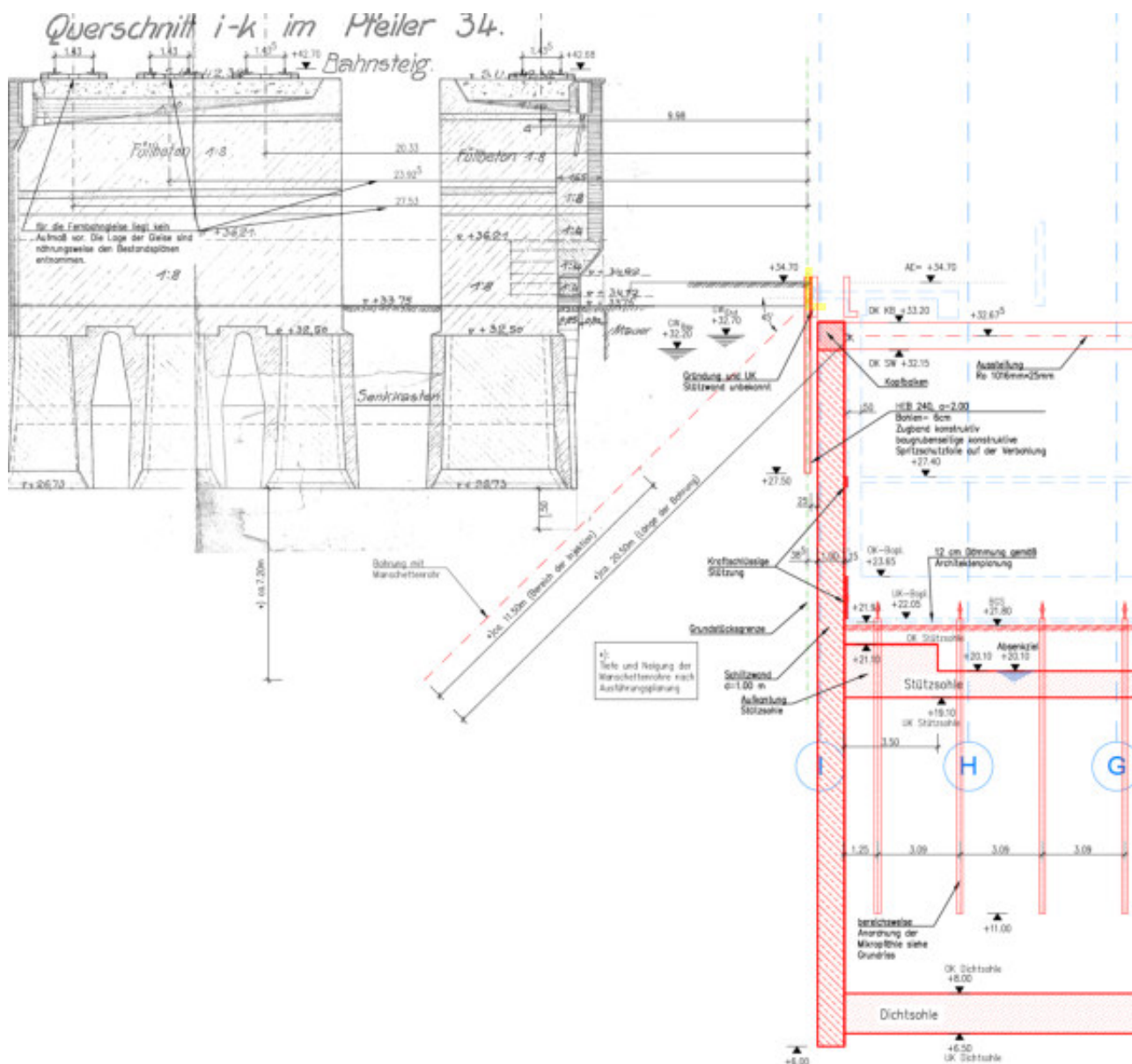


Bild 2-11 Schnitt 5-5 Baugrube JAHO 1 aus [S 6]

2.4 Bestandsbauwerke

Im Rahmen dieses Berichtes wird der westlich des Baufeldes liegende U-Bahntunnel der Linie U8 untersucht.

Westlich des Baufeldes JAH02 verläuft der Abschnitt D49 des U-Bahntunnels der Linie U8. An der südwestlichen Ecke des JAH02 Baufeldes beträgt der minimale Abstand des Tunnels zum Baufeld ca. 32 m. Nach Norden hin biegt der Tunnel nach Westen ab entlang der Alexanderstraße (s. Bild 2-12). Der Grundriss des U-Bahntunnels ist in Bild 2-13 dargestellt.

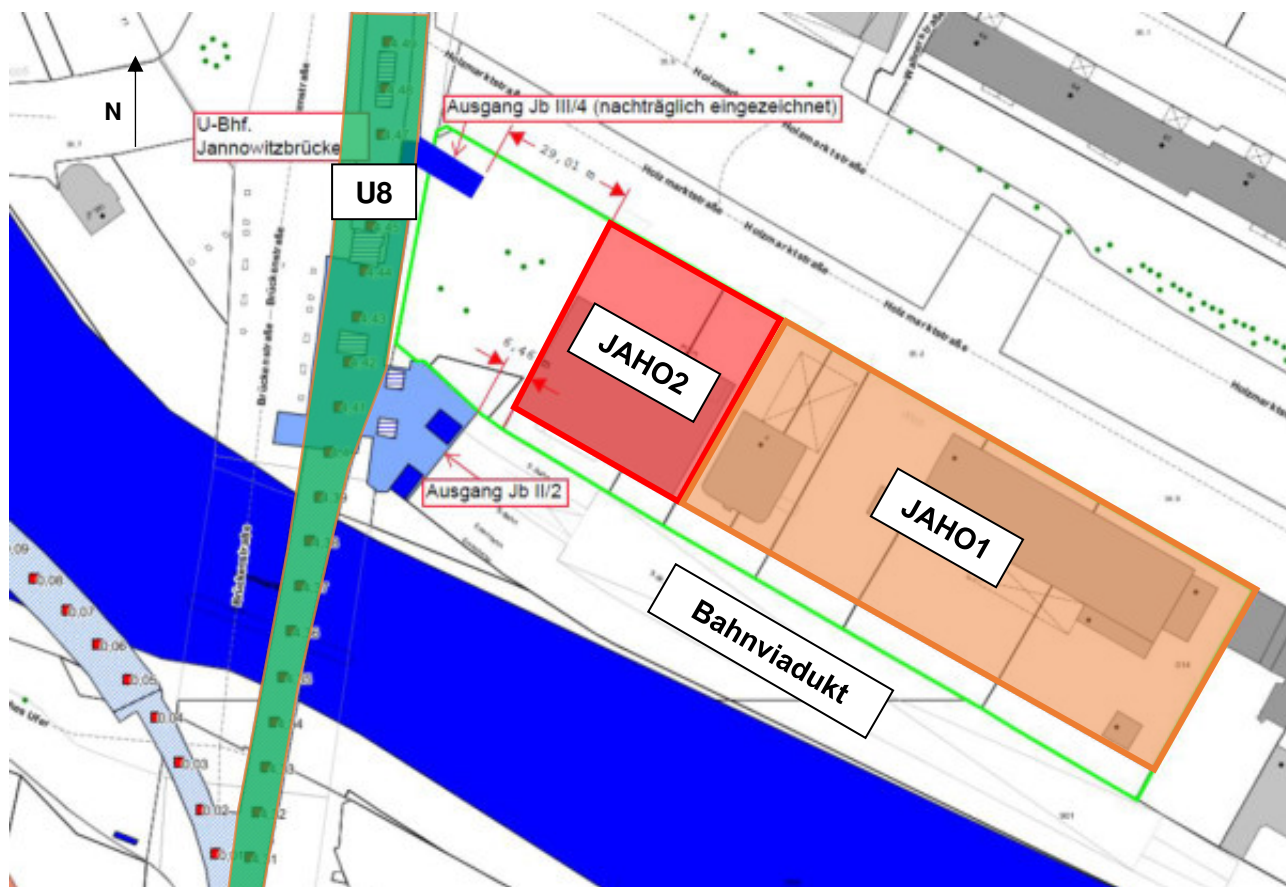


Bild 2-12 Übersicht Bestandsbauwerke in der Umgebung der Baufelder JAHO1 und 2

Die Unterkante des U8-Tunnels liegt im Bereich des Baufeldes zwischen ca. +23,3 m NHN und +24,0 m NHN, im Bereich des S-Bahnhofs zwischen +22,5 m NHN und +23,3 m NHN und im Bereich der Spree zwischen ca. +22,0 m NHN und +22,5 m NHN (s. Bild 2-14 und Bild 2-15). Der Tunnelquerschnitt im Bereich des Baufeldes ist in Bild 2-16 und der Tunnelquerschnitt im Bereich der Spree ist in Bild 2-17 dargestellt. Die Breite des Tunnels im Bereich des Baufeldes beträgt ca. 18 m. Im Bereich der Spree verkleinert sich die Breite auf ca. 12 m.

Unterhalb +30,8 m NHN beträgt die Wanddicke des Tunnels 1,0 m und oberhalb beträgt die Wanddicke ca. 0,5 m. Die Bodenplatte hat eine Dicke von 1,5 m. Die Decke hat eine Dicke von 0,5 m und wird von 2 Stützenreihen gestützt.

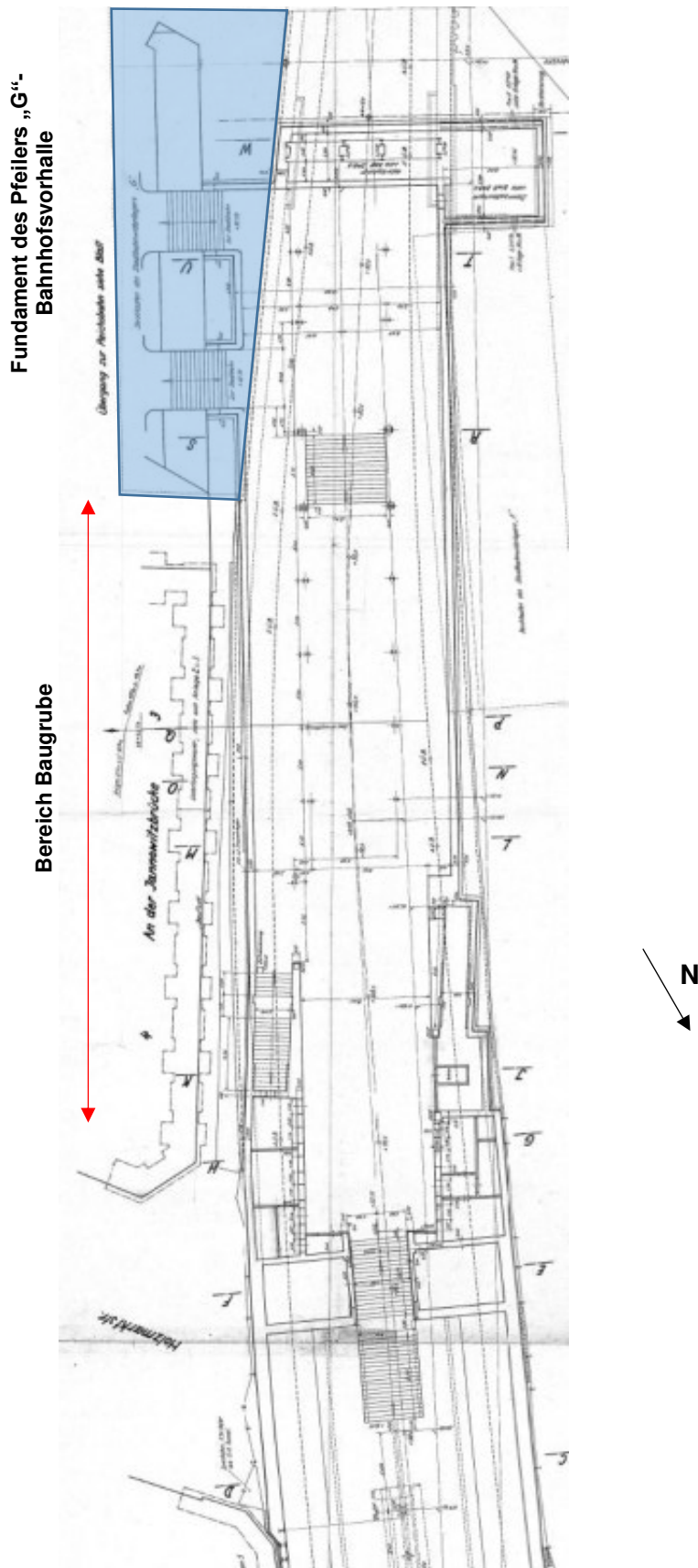


Bild 2-13 Grundriss U-Bahntunnel U8 im Bereich zwischen Holzmarktstraße und der Spree aus [U 12]

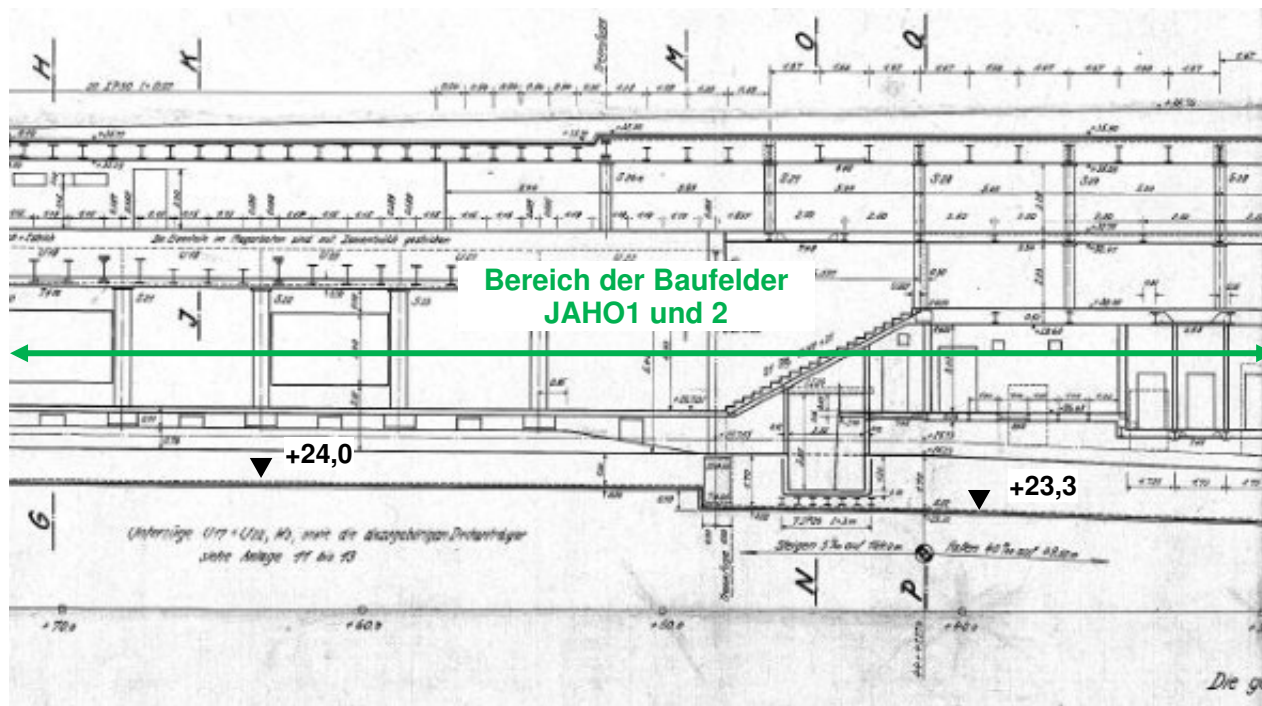


Bild 2-14 Längsschnitt U-Bahntunnel U8 im Bereich zwischen Holzmarktstraße und S-Bahnhof Jannowitzbrücke [U 12]

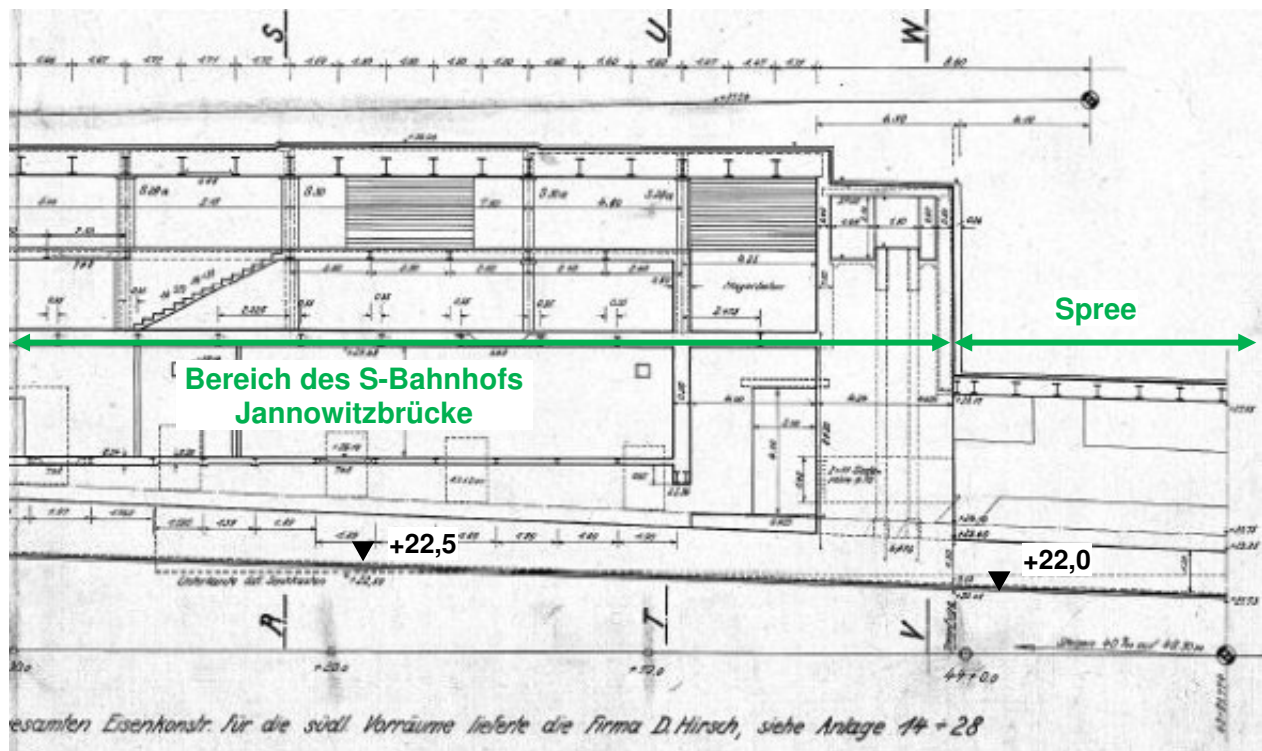


Bild 2-15 Längsschnitt U-Bahntunnel U8 im Bereich des S-Bahnhofs Jannowitzbrücke und der Spree aus [U 12]

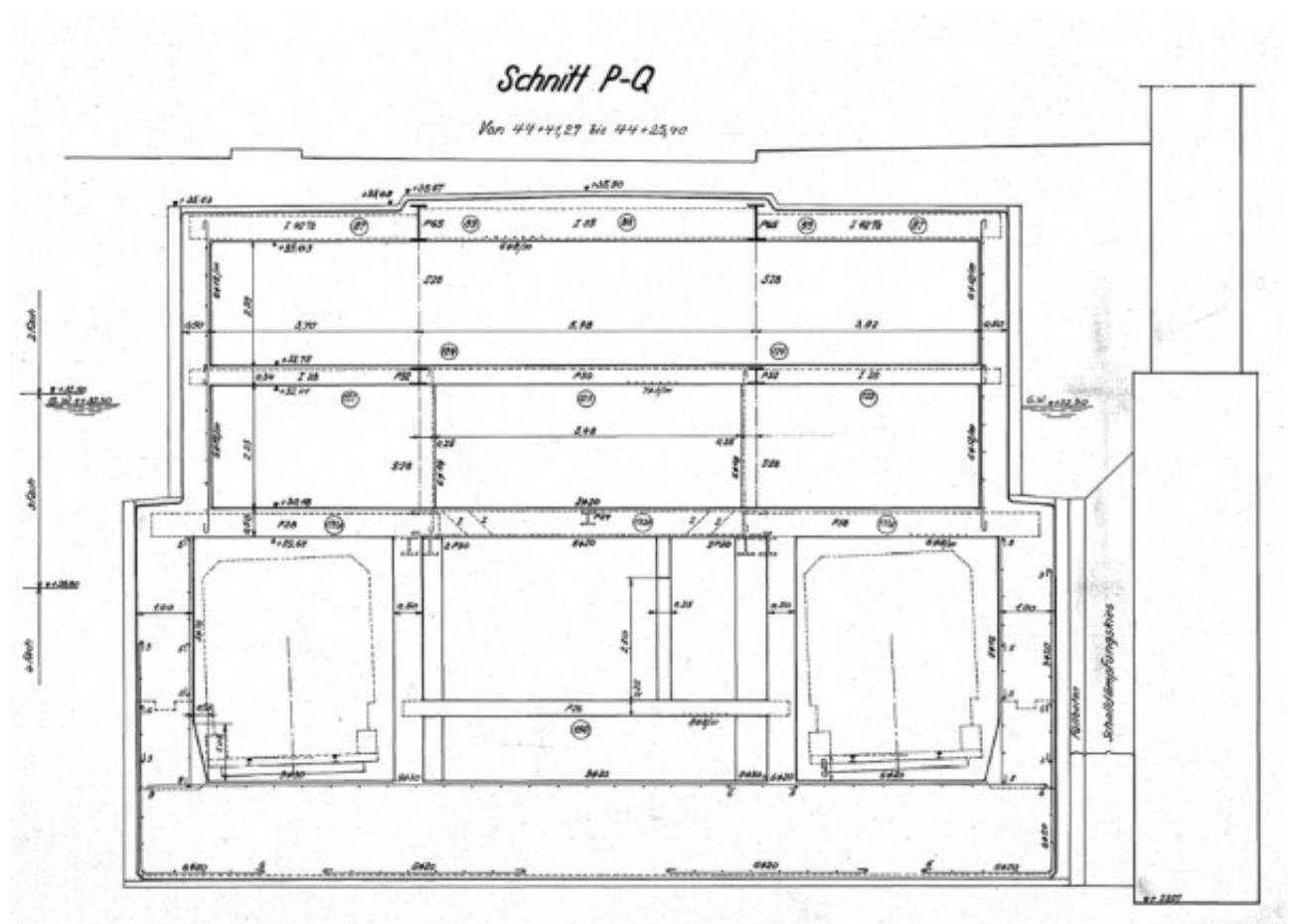


Bild 2-16 Querschnitt des U-Bahntunnels U8 im Bereich des Baufeldes JAH02 aus [U 13]

Tabelle 2-3 Bodenschichten und Schichtgrenzen nach [R 1]

Bodenschichten	OK [m NHN]	eiszeitlich vorbelastet
Auffüllung	+34,5	nein
Sand, locker	+31,0	nein
Sand, mitteldicht	+26,5	nein
Geschiebemergel	+18,0	ja
Sand, dicht	+15,1	ja
Ton, Schluff	-7,3	ja
Geschiebemergel	-12	ja
Sand, dicht	-20	ja

Tabelle 2-4 Charakteristische Bodenkennwerte nach [R 1]

Bodenschichten	Wichten		Kohäsion		Reibungs- winkel φ_k °	Steifemodul	
	feucht γ_k kN/m ³	Auftrieb γ_k kN/m ³	$c_{u,k}$ kN/m ²	c_k kN/m ²		$E_{sv,k}$ MN/m ²	$E_{sw,k}$ MN/m ²
Auffüllung	17,0	9,0	0	0	30,0	-	-
Sand, locker	17,5	9,0	0	0	33,0	20 \sqrt{t}	4 x E_{sv}
Sand, mitteldicht	18,0	10,0	0	0	36,0	30 \sqrt{t}	3 x E_{sv}
Geschiebemergel, halbfest	22,0	12,0	250	20	30,0	15 \sqrt{t}	2 x E_{sv}
Sand, dicht	19,0	11,0	0	0	39,0	45 \sqrt{t}	2 x E_{sv}
Ton, Schluff	18,0	9,0	50	15	22,5	30,0	95,0
Geschiebemergel, halbfest	22,0	12,0	250	20	30,0	15 \sqrt{t}	2 x E_{sv}
Sand, dicht	19,0	11,0	0	0	39,0	45 \sqrt{t}	2 x E_{sv}

T ... Tiefe unter Geländeoberkante

 $E_{sv,k}$... Steifemodul bei Erstbelastung $E_{sw,k}$... Steifemodul bei Wiederbelastung

Der Ist-Grundwasserstand wird gleich dem Bau-Bemessungswasserstand von +32,2 m NHN nach [R 1] angesetzt.

3 BERECHNUNGSMODELL

3.1 Berechnungsmodell

Das Modell erstreckt sich im Grundriss ca. 177 m entlang der x-Achse und 170 m entlang der y-Achse. X- und y- Achse entsprechen dabei weitgehend der West-Ost und Süd-Nord-Richtung. Die Baugrube JAH01 entlang der x-Achse wird ca. in Baugrubenmitte (Symmetrieachse) durch den Modellrand abgeschnitten. Der Abstand zu den anderen drei Modellrändern wurde so gewählt, dass eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Modellränder vernachlässigbar ist. An den Modellrändern ist der U-Bahntunnel der Linie U8 eingespannt, er kann sich jedoch parallel zum Modellrand horizontal und vertikal verschieben.

Die Geländeoberkante wird als eben in Höhe +34,5 m NHN angesetzt. Die Tiefe des Modells wurde so ausgewählt, dass die lotrechten setzungserzeugenden Spannungen unter JAH02 20% des ursprünglichen Überlagerungsdruckes aus Bodeneigengewicht am unteren Rand des Modells nicht überschreiten. Die Unterkante des Modells liegt bei -25,0 m NHN.

Das Berechnungsmodell wird mit ca. 360.000 tetraederförmigen Finiten Elementen mit quadratischer Ansatzfunktion (3 Knoten je Elementkante) diskretisiert. Die Diskretisierung wurde dabei im Bereich der Baugruben und des S-Bahnhofs verfeinert.

Der Koordinatenursprung des Berechnungsmodells liegt an der südöstlichen Ecke der JAH02-Baugrube (s. Bild 3-2).

Schnitte des FE-Modells sind in Bild 3-3 bis 0.1 dargestellt. Darin sind Informationen über Bodenschichtung, Schichtgrenzen und Geometrien bzw. Abstände zwischen den Bauwerken enthalten.

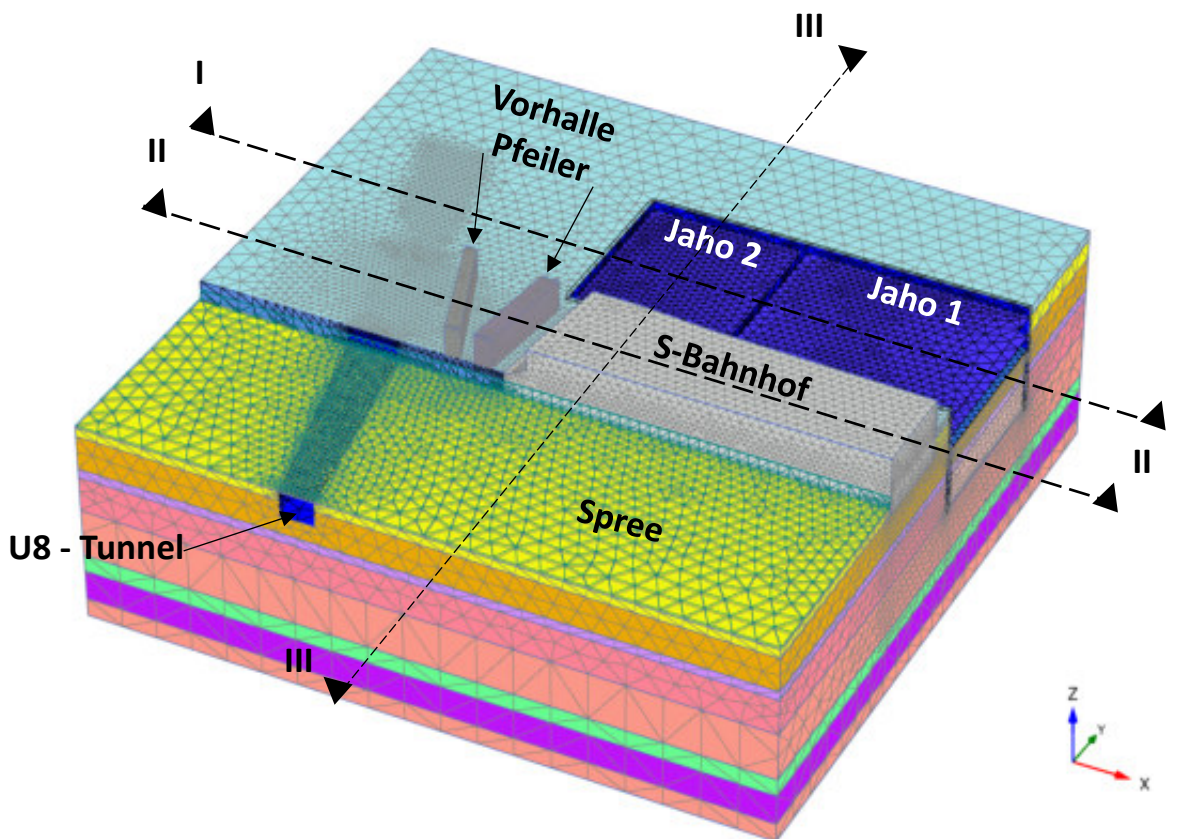


Bild 3-1 Isometrie 3D FE-Modell (Ansicht von Südost)

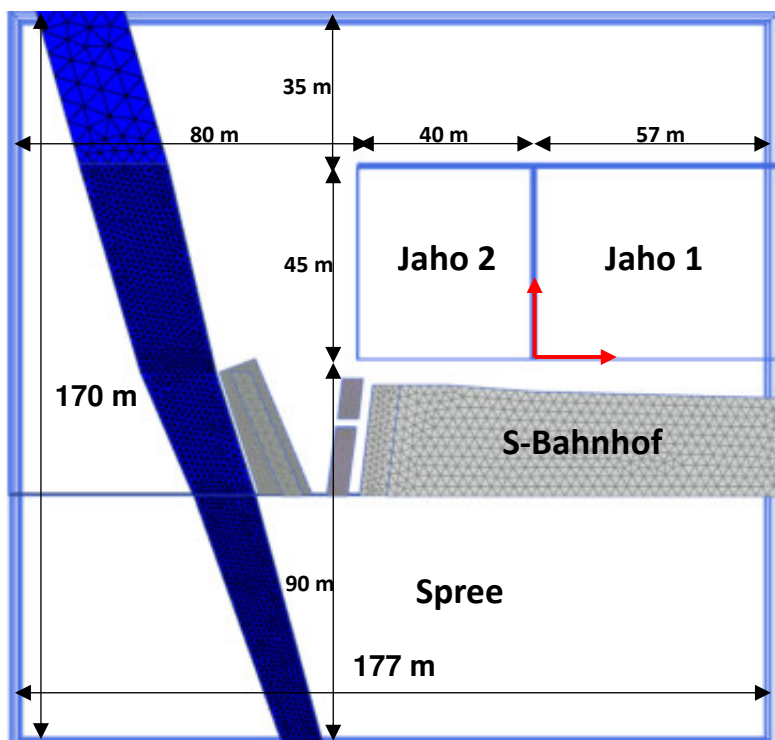


Bild 3-2 Draufsicht 3D-FE-Modell

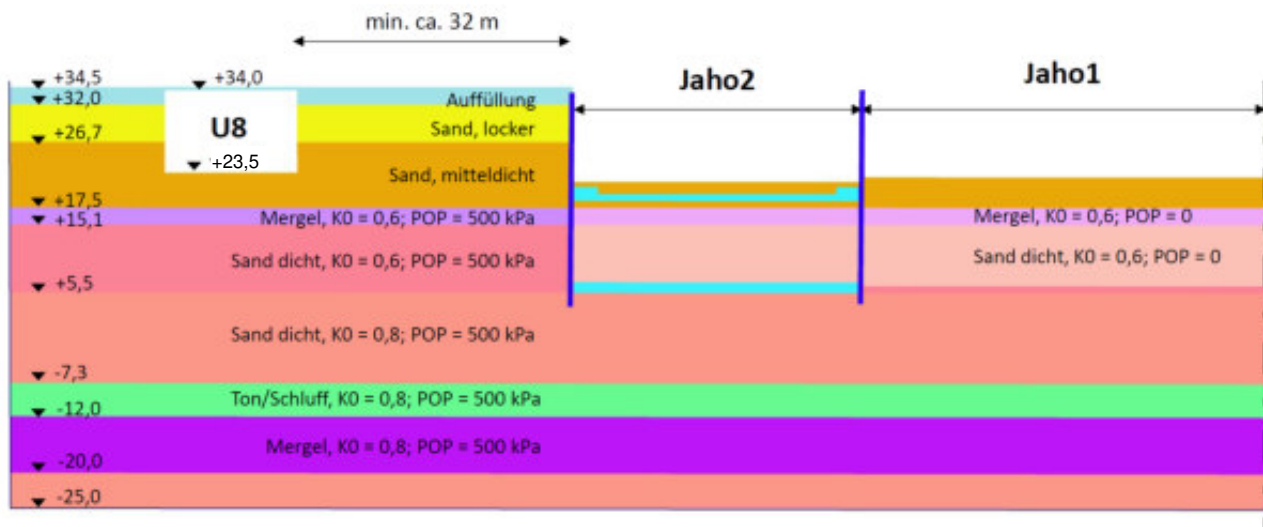


Bild 3-3 Schnitt I-I FE-Modell in x-Richtung, Höhen in m NHN

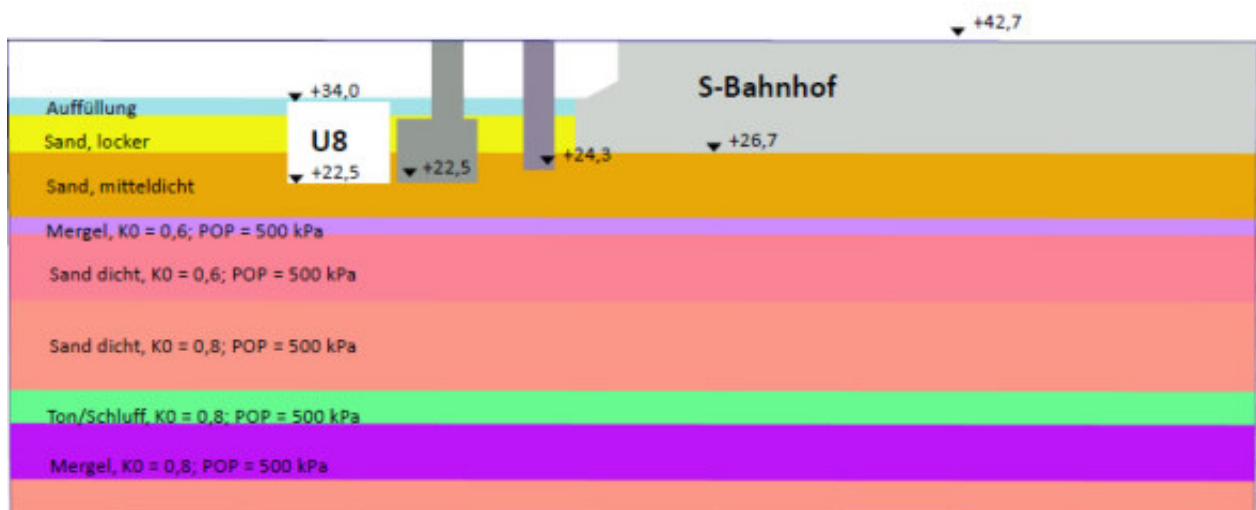


Bild 3-4 Schnitt II-II FE-Modell in y-Richtung, Höhen in m NHN

3.2 Baugrund und Grundwasser

3.2.1 Bodenkennwerte

Die Baugrundsichtung wird gem. Kap. 2.5 mit horizontal verlaufenden Schichtgrenzen angesetzt.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Bodenschichten wird mit dem Hardening-Soil-Materialmodell beschrieben. Dieses Materialmodell ermöglicht die Berücksichtigung von

- Mohr-Coulomb-Bruchkriterium (Reibungswinkel ϕ' , Kohäsion c'),
- spannungsabhängiger Bodensteifigkeit,

- unterschiedliche Steifigkeit bei Erst- und Ent-/Wiederbelastung,
- nicht-linearem Lastverformungsverhalten vor Erreichen der Scherfestigkeit

Das Hardening-Soil-Modell ist gut geeignet, das komplexe Materialverhalten von natürlichen Böden realistisch wiederzugeben und stellt ein etabliertes Werkzeug für numerische Verformungsprognosen in Lockergesteinen dar. Die spannungsabhängige Steifigkeit wird mit der folgenden Beziehung ermittelt:

$$E_{Oed} = E_{Oed}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_v \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

Mit E_{Oed} = Oedometersteifigkeit (entspricht Steifemodul E_s)

E_{Oed}^{ref} = Referenzwert der Oedometersteifigkeit bei p_{ref}

σ'_v = Überlagerungsdruck in kN/m²

p_{ref} = Atmosphärischer Druck = 100 kN/m²

m = 0,5 (Sande) bis 1,0 (Ton)

Das HS-Modell verwendet weiterhin eine Sekantensteifigkeit bei deviatorischer Belastung, E_{50} , sowie eine Ent-/Wiederbelastungssteifigkeit, E_{ur} . Die Spannungsabhängigkeit dieser Steifigkeitsparameter ist analog zur oedometrischen Steifigkeit definiert. Nähere Informationen zu dem HS-Materialmodell sind [L 2] enthalten.

Die in Kap. 2.5 angegebenen tiefenabhängigen Steifemoduli werden in die Erstbelastungssteifigkeit E_{Oed}^{ref} des HS-Modells überführt. Die weiteren Steifigkeitsparameter des HS-Modells werden über erfahrungsbasierte Korrelationen aus E_{Oed}^{ref} abgeleitet. Die Kalibrierung der HS-Steifigkeitskennwerte für den initiellen Spannungszustand ist in Anlage 1.1 dargestellt.

Für alle Schichten unterhalb der oberen Geschiebemergelschicht wird aufgrund der eiszeitlichen Vorbelastung im Modell eine Vorbelastung POP von 500 kN/m² und ein Seitendruckbeiwert $K_0 = 0,8$ angesetzt.

Bei den Schichten des Geschiebemergels und des dichten Sandes oberhalb der tieferen Düsenstrahlsohle (d.h. im Höhenbereich von +17,5 m NHN bis +5,5 m NHN) wird innerhalb der Baugruben keine Vorbelastung POP und ein auf $K_0 = 0,6$ reduzierter Seitendruckbeiwert angesetzt, um die Störung des Bodengefüges und des Spannungszustandes durch die Herstellung der tiefliegenden Düsenstrahlsohle

näherungsweise zu berücksichtigen. Es wird jedoch angenommen, dass durch den Störeffekt keine Reduzierung der Erstbelastungssteifigkeit in diesem Tiefenbereich hervorgerufen wird. Außerhalb der Baugruben wird in dieser Höhe auch ein auf $K_0 = 0,6$ reduzierter Seitendruckbeiwert angesetzt, jedoch die eiszeitliche Vorbelastung $POP = 500$ angesetzt.

Die Scherfestigkeiten und Wichten werden aus dem Geotechnischen Bericht [R 1] übernommen. Der Dilatanzwinkel wird für die Sandschichten mit $\psi = \varphi' - 30^\circ$ angesetzt.

Die Materialparametersätze sind in Anlage 1.2 dokumentiert und in Tabelle 3-1 zusammengefasst.

Tabelle 3-1 Angesetzte Hardening Soil - Materialparameter der Bodenschichten

Materialparameter	Symbol	Einheit	Auffüllung	Sand locker	Sand mitteldicht	Mergel halbfest gestört / ungestört	Sand dicht gestört / ungestört	Ton/Schluff halbfest
Reibungswinkel	φ_k	[°]	30	33	36	30	39	22,5
Kohäsion	c_k	[kN/m ²]	0	0	0	20	0	15
Dilatanzwinkel	ψ	[°]	0	3	6	0	9	0
Wichte feucht	γ_k	[kN/m ³]	17	17,5	18	22	19	18
Wichte gesättigt	γ_{sat}	[kN/m ³]	19	19,5	20	22	21	19
Steifigkeit Erstbelastung	E_{oed}^{ref}	[kN/m ²]	20 000	36 000	60 000	44 000	137 000	12 000
Deviatorische Steifigkeit	E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	20 000	36 000	60 000	44 000	137 000	12 000
Referenzspannung	p_{ref}	[kN/m ²]	100	100	100	100	100	100
Steifigkeit Ent- / Wiederbelastung	E_{ur}^{ref}	[kN/m ²]	60 000	144 000	180 000	88 000	274 000	38 000
Exponent	m	--	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Vorbelastung	POP	[kN/m ²]	0	0	0	0/500	0/500	500
Erddruckbeiwert	K_0	--	$1 - \sin\varphi'$	$1 - \sin\varphi'$	$1 - \sin\varphi'$	0,6/0,8	0,6/0,8	0,8

3.2.2 Grundwasser

Der bauzeitliche Bemessungswasserspiegel von +32,2 m NHN wird in der Berechnung als Ist-Grundwasserstand angesetzt. Für den Aushub der Baugrube wird der Grundwasserstand innerhalb des Trogs im Modell auf +20,1 m NHN (JAHO1) bzw. +19,45 m NHN (JAHO2) abgesenkt. Nach Aufbringen der Gebäudelasten werden die Grundwasserverhältnisse in den Baugruben JAHO 1 und 2 wieder zurückgestellt.

3.3 Bestandsbauwerke

3.3.1 U-Bahntunnel der Linie U8

Im Modell werden die Außenwände, die Decke sowie die Bodenplatte des U8-Tunnels des Tunnels mit linear-elastischen Plattenelementen ($E = 20\,000\text{ N/mm}^2$, $\gamma = 23\text{ kN/m}^3$) abgebildet. Die Außenwände und die Decke werden mit einer Dicke von 0,6 m und die Bodenplatte mit einer Dicke von 1,5 m abgebildet. Die Stützen und die Zwischendecke innerhalb des Tunnels werden auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt. Auf die Bodenplatte wird eine Last von 15 kN/m^2 aufgebracht.

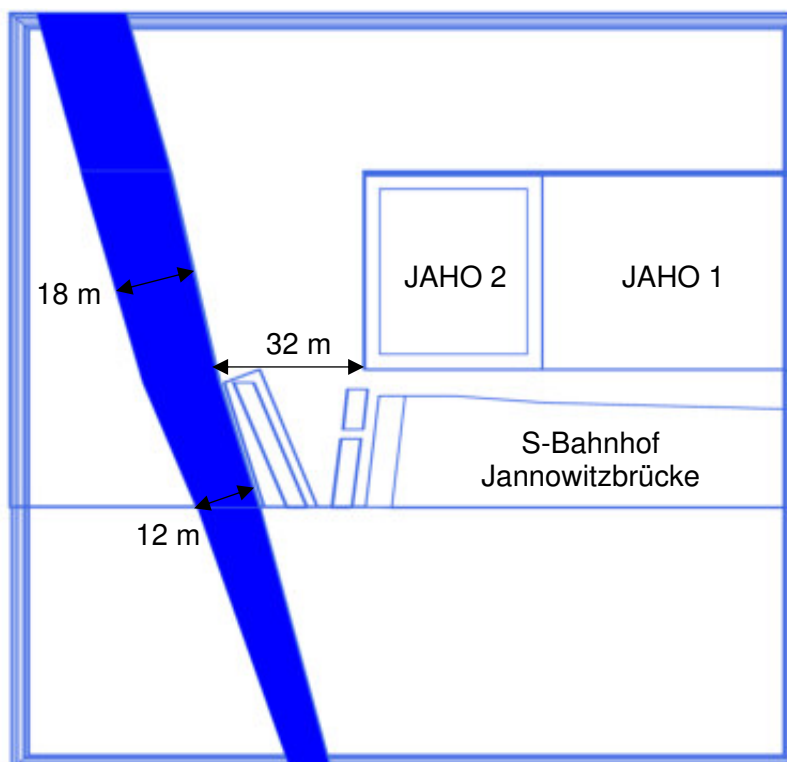


Bild 3-5 Draufsicht des U-Bahntunnels der Linie U8 im Modell

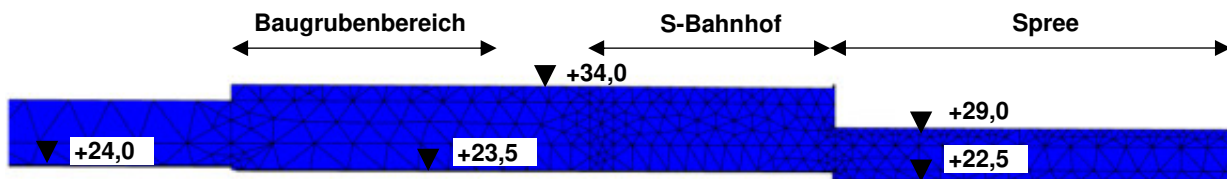


Bild 3-6 Seitenansicht U-Bahntunnel U8 von Westen (in Richtung Baugrube) im Modell



Property	Unit	Value	Value
Material set			
Identification number		6	7
Identification		UBahn	U-Bahn_Bodenplatte
Comments			
Colour		 RGB 0, 0, 255	 RGB 55, 121, 242
Material type		Elastic	Elastic
Properties			
d	m	0,6000	1,500
γ	kN/m ³	23,00	23,00
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E_1	kN/m ²	20,00E6	20,00E6
E_2	kN/m ²	20,00E6	20,00E6
ν_{12}		0,2000	0,2000
G_{12}	kN/m ²	8,333E6	8,333E6
G_{13}	kN/m ²	8,333E6	8,333E6
G_{23}	kN/m ²	8,333E6	8,333E6
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Prevent punching		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild 3-7 Materialkennwerte der Plattenelemente des U8-Tunnels

3.3.2 S-Bahnhof Jannowitzbrücke

Im Modell werden das Stadtbahnviadukt, auf dem sich der S-Bahnhof Jannowitzbrücke befindet, sowie die vorgelagerten Pfeiler G und H mit linear-elastischen Volumenelemente abgebildet (Bild 3-8). Die Oberkante des Viadukts wird im Modell bei +42,7 m NHN und die Unterkante bei +26,7 m NHN angesetzt.

Da der Volumenkörper die Hohlräume zwischen den Viadukt Pfeilern nicht mit abbildet und die Pfeiler in der Realität einen lichten Abstand von ca. 13 m zueinander haben und durch Bögen mit einander verbunden sind, wird im Modell die Steifigkeit des Viadukts mit $E = 6\,000\text{ N/mm}^2$ angesetzt, d.h. gegenüber der Betonsteifigkeit von ca. $30\,000\text{ N/mm}^2$ auf 20% abgemindert. Für das Volumenmaterial wird keine Wichte angesetzt. Stattdessen wird eine Sohlspannung $\sigma = 281\text{ kN/m}^2$ gem. Unterlage [U 3] angesetzt, die das Eigengewicht des Bahnhofs inkl. Pfeiler und Bögen enthält.

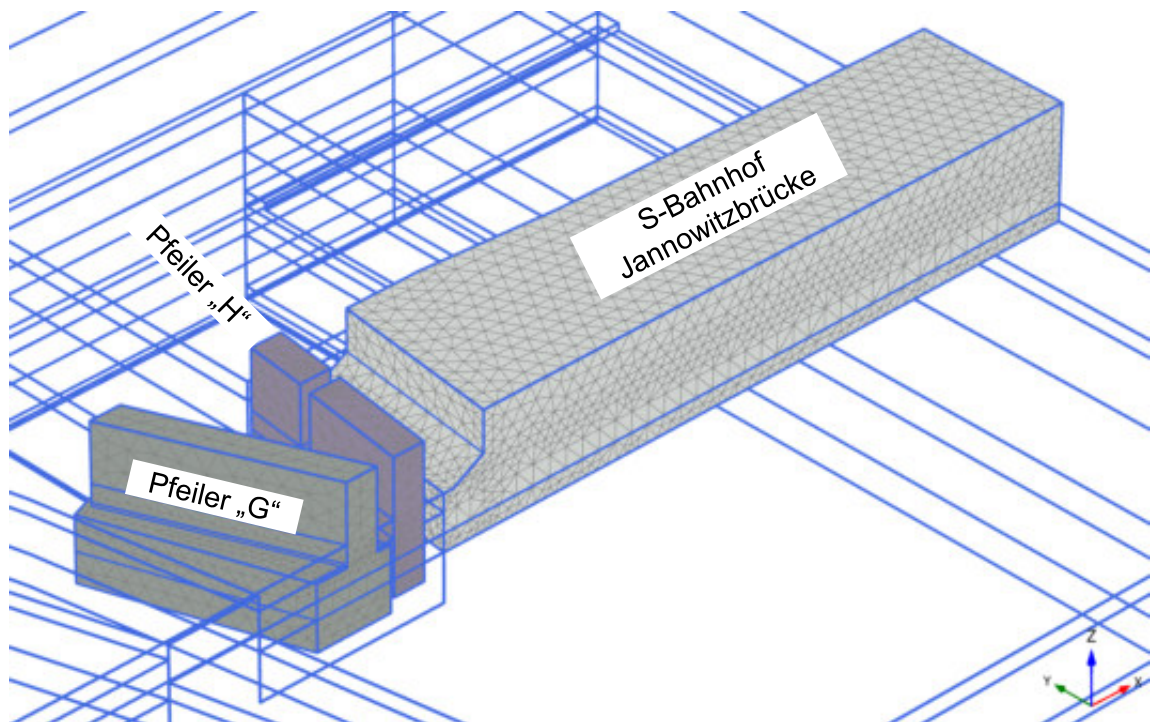


Bild 3-8 S-Bahnhof Jannowitzbrücke und Pfeiler „G“ und „H“ der Bahnhofsvorhalle

Property	Unit	Value	Value	Value
Material set				
Identification number		7	8	14
Identification		Bestandsbauwerk	Pfeiler G	Pfeiler H
Material model		Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		RGB 207, 211, 208	RGB 147, 154, 149	RGB 143, 133, 157
Comments				
General properties				
γ_{unsat}	kN/m ³	0,000	22,00	12,00
γ_{sat}	kN/m ³	0,000	22,00	12,00
Stiffness				
E	kN/m ²	6,000E6	20,00E6	20,00E6
ν (ν_{iu})		0,2000	0,2000	0,2000
Alternatives				
G	kN/m ²	2,500E6	8,333E6	8,333E6
E_{oed}	kN/m ²	6,667E6	22,22E6	22,22E6
Velocities				
V_s	m/s	0,000	1885	2610
V_p	m/s	0,000	3079	4262

Bild 3-9 Materialkennwerte des Bahnviadukts

Gem. den Statiken für die Pfeiler „G“ [U 10] und „H“ [U 11] werden die Auflagerlasten aus der Stahlbrücke auf den Pfeilern in Form von Punktlasten angesetzt (Bild 3-10). Dabei werden 100% der ständigen und 30% der veränderlichen Lasten als quasi-ständige Lasten angesetzt.

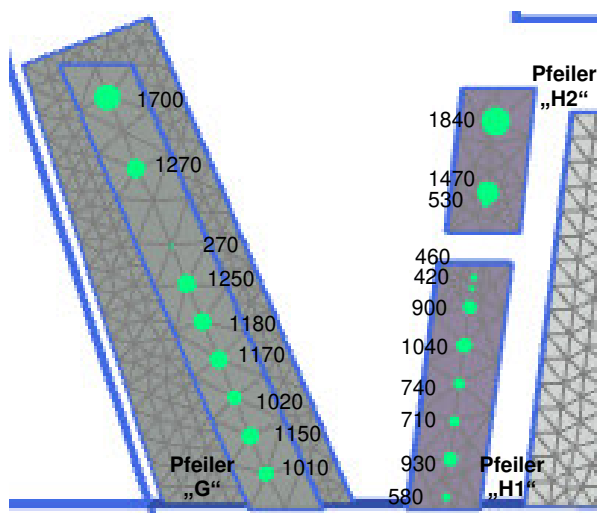


Bild 3-10 Angesetzte Auflagerlasten in kN auf den Pfeilern „G“ und „H“ gem. [U 10] und [U 11]

3.4 Neubauvorhaben JAH02

3.4.1 Baugrube

Die Schlitzwände werden mit linear-elastischen Plattenelementen ($E = 30\,000\text{ N/mm}^2$, $\gamma = 25\text{ kN/m}^3$, $d = 1,0\text{ m}$) abgebildet mit einer Oberkante bei +34,5 m NHN und einer Unterkante bei +6,0 m NHN (JAH01) und +5,0 m NHN (JAH02). Zur Berücksichtigung der verringerten Scherfestigkeit in der Fuge Schlitzwand-Boden werden Interface-Elemente mit abgeminderter Scherfestigkeit eingesetzt, so dass die Scherfestigkeit des Bodens auf ca. 2/3 abgemindert wird ($R_{\text{inter}} = 0,62 \Rightarrow \delta' \approx 2/3 \cdot \varphi'$).

Die Steifen werden durch sog. node-to-node Anker ($EA = 13\,140\text{ MN}$) abgebildet, was der Längssteifigkeit der Steifenprofile RO 1060 x 20 mm gem. [S 12] entspricht.

Die Rückverankerung des Trägerbohl-Vorverbaus an der Südwestecke der Baugrube JAH02 wird für das FE-Modell vernachlässigt, da die Endpunkte der Anker deutlich oberhalb der U8-Tunnelsohle liegen und im Grundriss einen Abstand von ca. 15 m zur Tunnelaußenwand aufweisen (siehe auch Bild 4-4).

Die beiden DSV-Sohlen werden mit Volumenelementen abgebildet. Für das DSV-Material wird ein Mohr-Coulomb-Materialmodell (MC) mit Ausschluss von Zugspannungen verwendet. Die Steifigkeits- und Festigkeitswerte der Dichtsohlen werden auf der sicheren Seite liegend mit $E = 2\,000\text{ N/mm}^2$ (E-Modul) und $f_{ck} = 5,0\text{ N/mm}^2$ (einaxiale Druckfestigkeit) angesetzt. Die einaxiale Druckfestigkeit wird unter Ansatz eines Reibungswinkels $\varphi' = 37,5^\circ$ in die Kohäsion c überführt mit

$$c = \tan \varphi \cdot \left(\frac{f_{ck}}{2} - \frac{f_{ck}}{2} \right)$$

Damit ergeben sich die in Bild 3-11 angeführten Materialkennwerte des DS-Materials.

Die Stütz- und Dichtsohlen werden vor dem Aufbringen der Gebäudelasten jeweils in JAH01 und 2 deaktiviert. Das heißt, dass an Stelle des DSV-Materials wieder die Materialkennwerte der Bodenschichten angesetzt werden.

Material set		
Identification number		9
Identification		DSV
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 55, 241, 251
Stiffness		
E	kN/m ²	2,000E6
ν (ν)		0,3500
Alternatives		
G	kN/m ²	740,7E3
E_{oed}	kN/m ²	3,210E6
Strength		
c_{ref}	kN/m ²	1233
φ (ϕ)	°	37,50
ψ (ψ)	°	0,000

Bild 3-11 Materialkennwert DSV-Sohle

3.4.2 Bodenplatte und Decken des Neubaus

Die Stahlbeton-Bodenplatten haben eine Stärke von 1,6 m (JAHO1) bzw. 2,4 m (JAHO2) und werden mit linear-elastischen Plattenelementen ($E = 30\,000\text{ N/mm}^2$, $\nu = 0$) abgebildet. Diese Plattenelemente werden in Höhe +22,2 m NHN (JAHO1) und +22,8 m NHN (JAHO2), d.h. jeweils $\frac{2}{3}$ x Plattendicke über der Baugrubensohle angesetzt und dienen ausschließlich der horizontalen Lagerung der Baugrubenwände nach Ausbau der Steifen. Das Eigengewicht der Bodenplatten werden durch Flächenlasten von 40 kN/m² (JAHO1) und 60 kN/m² (JAHO2) abgebildet und zusammen mit den Bauwerkslasten auf der Aushubsohle angesetzt.

Die Untergeschossdecken haben eine Dicke von 30 cm und werden im Modell mit linear-elastischen Plattenelementen abgebildet ($E = 30\,000\text{ N/mm}^2$, $\nu = 0$). Auch diese Plattenelemente dienen ausschließlich der horizontalen Stützung der Baugrubenwände nach dem Rückbau der Aussteifung.

3.4.3 Gebäudelasten

Die Gebäudelasten werden als charakteristische Flächenlasten auf den Baugrubensohlen angesetzt. Die Lasten entsprechen den quasi-statischen Lasten von

$1,0 \cdot G_k + 0,3 \cdot Q_k$. Für JAHO1 beträgt die Flächenlast 201 kN/m^2 gem. [S 11] und für JAHO2 werden bereichsweise abgestufte Flächenlasten angesetzt (s. Bild 3-12).

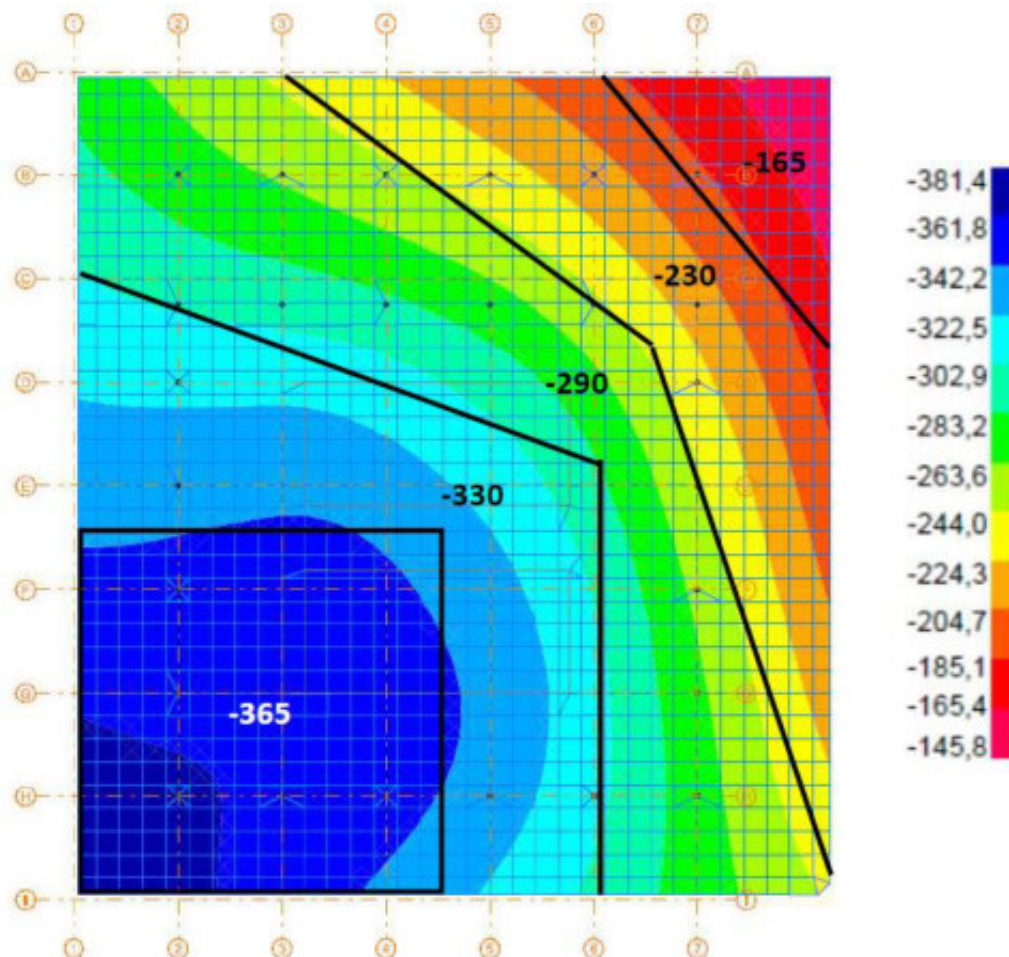


Bild 3-12 Im Modell angesetzten Flächenlasten für JAHO2 gem. [S 11]

3.5 Berechnungsphasen

Die Berechnungsphasen wurden aus dem geplanten Bauablauf abgeleitet. Alle Phasen starten von der vorherigen Berechnungsphase.

0. Initialzustand: Initialer Spannungszustand mit $\sigma'_h = K_{0nc} \cdot \sigma'_v$, $K_{0nc} = 1 - \sin \phi'$, ebenes Gelände ohne Bauwerke, Grundwasserspiegel bei $+32,2 \text{ m NHN}$.
1. Herstellung der Bestandsbauwerke (S-Bahnhof, U-Bahntunnel), Aktivierung Flussbett der Spree, „wished-in-place“, d.h. ohne Abbildung der Bauzustände, danach Zurückstellen der Verformungen

Bau JAHO1 (Stadthaus und Stadloft):

2. Aktivierung der Schlitzwände und Herstellung der Dicht- und Stützsohle
3. Voraushub auf +32,0 m NHN
4. Einbau Aussteifung auf +32,7 m NHN und Pumpversuch bis Grundwasserabsenkung auf +20,1 m NHN
5. Grundwasser zurückstellen
6. Grundwasserabsenkung auf +20,1 m NHN
7. Endaushub auf +21,8 m NHN
8. Einbau der Bodenplatte und der unteren Untergeschossdecke mit Eigengewicht der Bodenplatte
9. Deaktivierung Aussteifung
10. Einbau der oberen Untergeschossdecke und Deaktivierung der Dicht- und Stützsohle
11. Aktivierung der Gebäudelasten des Neubaus
12. Grundwasser zurückstellen

Bau JAHO2 (Stadtturm):

13. Aktivierung der Schlitzwände und Herstellung der Dicht- und Stützsohle
14. Voraushub bis +32,0 m NHN
15. Einbau Aussteifung auf +32,7 m NHN und Pumpversuch bis Grundwasserabsenkung auf +19,45 m NHN
16. Grundwasser zurückstellen
17. Grundwasserabsenkung auf +19,45 m NHN
18. Endaushub auf +21,15 m NHN
19. Einbau der Bodenplatte und der unteren Untergeschossdecke mit Eigengewicht der Bodenplatte

20. Deaktivierung der Aussteifung
21. Aktivierung der oberen Untergeschossdecke und Deaktivierung der Dicht- und Stützsohle
22. Aktivierung der Gebäudelasten des Neubaus
23. Grundwasser zurückstellen

4 ERGEBNISSE DER VERFORMUNGSPROGNOSE

4.1 Systembedingte Verformungen

Die mittels des 3D-FE-Modells ermittelten Verformungen werden nachfolgend als systembedingte Verformungen bezeichnet und werden ab Berechnungsphase 2, d.h. mit dem Beginn der Bautätigkeiten am Neubau JAHO1 ausgewertet.

Die größten Verformungen des U8-Tunnels werden am Ende der Bauphase „Endaushub JAHO2“ ermittelt. Die akkumulierten Verformungen in dieser Bauphase sind in Bild 0-1 und Bild 4-2 dargestellt. Die maximale vertikale Verformung beim Endaushub JAHO2 beträgt 1,3 mm (Hebung) und die maximale horizontale Verformung 1,0 mm (weg von der Baugrube). Auf der sicheren Seite liegend wird die Hebung von 1,3 mm im Weiteren auch als maximal zu erwartende „Setzung“ angesetzt.

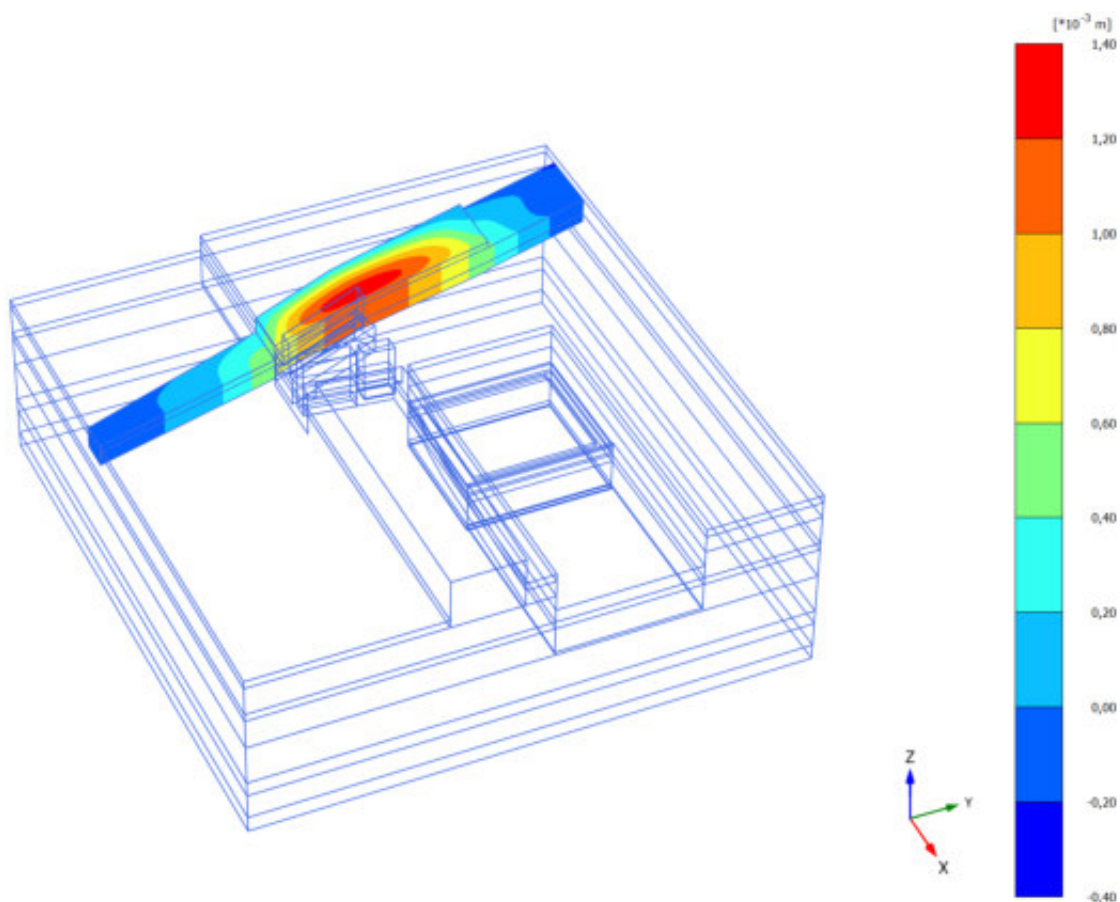


Bild 4-1 Vertikale Verformung u_z [mm] des U8-Tunnels am Ende der Phase 18 „Endaushub JAHO2“

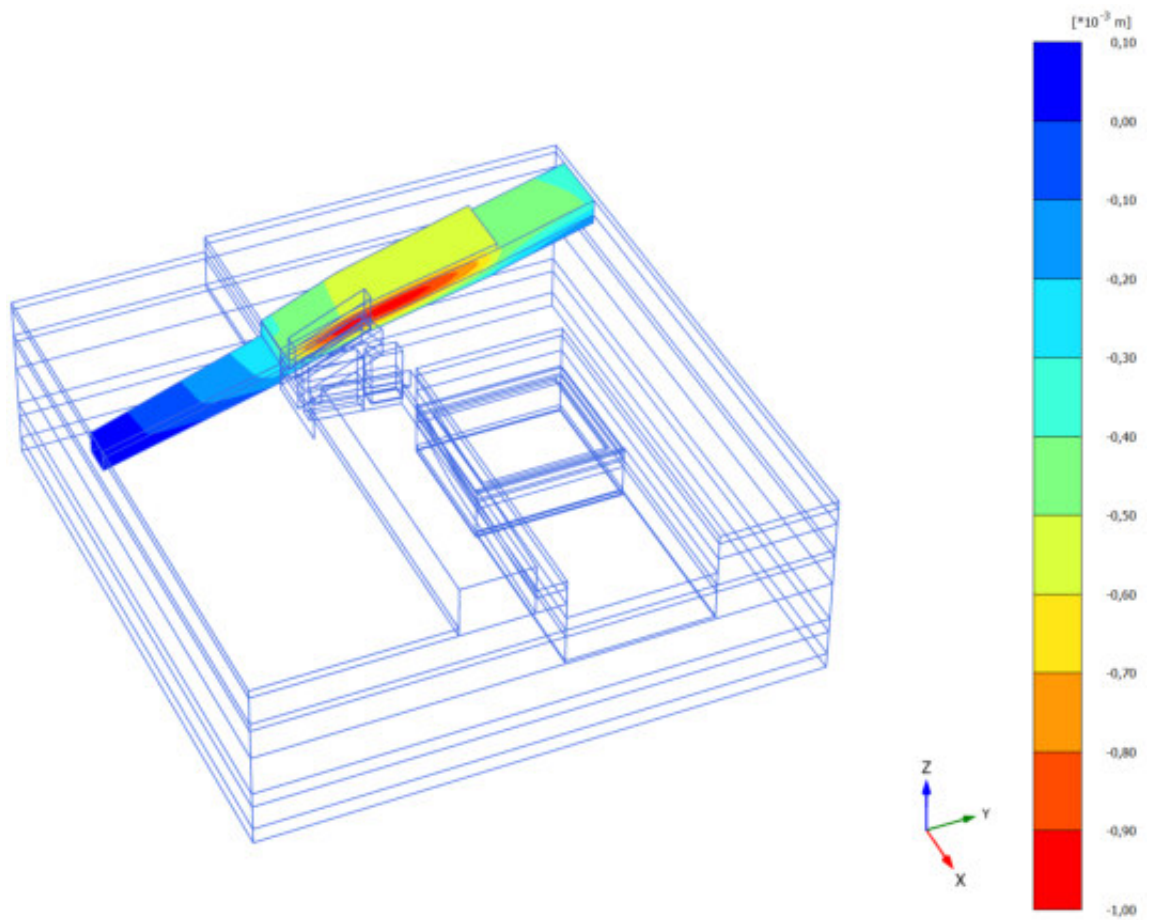


Bild 4-2 Horizontale Verformung u_x [mm] des U8-Tunnels am Ende der Phase 18 „Endaushub JAH02“

4.2 Herstellbedingte Verformungen

Herstellbedingte Verschiebungen resultieren aus Kornumlagerungen, die im Zusammenhang mit der Herstellung von unterirdischen Bauteilen stehen. Herstellereinflüsse im Nahbereich der Baugrube sind bei dem hier betrachteten Bauvorhaben aus der Herstellung der Schlitzwand sowie der Dicht- und Stützsohle zu erwarten.

Die Abschätzung der Herstellereinflüsse auf angrenzende Bauwerke basiert auf Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben in Berliner Sandböden. Bild 4-3 zeigt schematisch den Einflussbereich der herstellbedingten Setzungen für DSV-Arbeiten nach [L 3]. In Bild 4-4 ist der Einflussbereich der Herstellereinflüsse für das Bauvorhaben JAH0 dargestellt. Da der U-Bahntunnel außerhalb des Einflussbereichs (hier angesetzt als aktiver Gleitkeil unter 45° von Unterkante der Schlitzwand) liegt, sind keine herstellbedingten Verformungen des Tunnels zu erwarten.

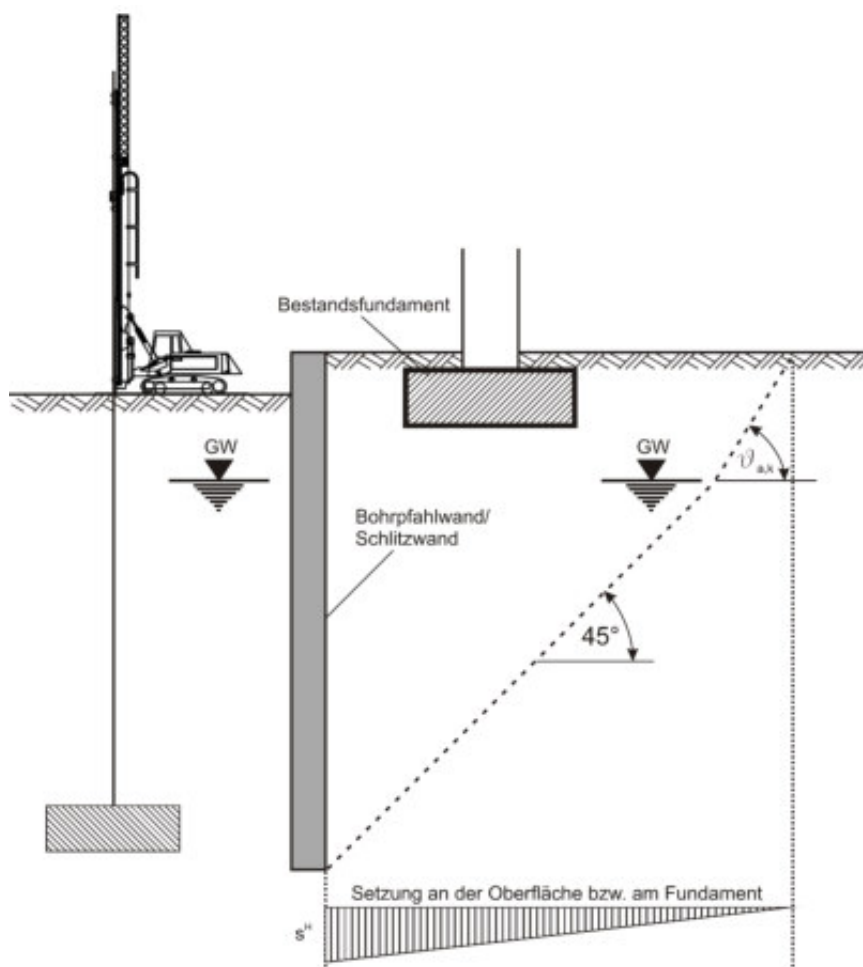


Bild 4-3 Herstellung einer Dichtsohle und Einflussbereich der Setzungen (aus [L 3])

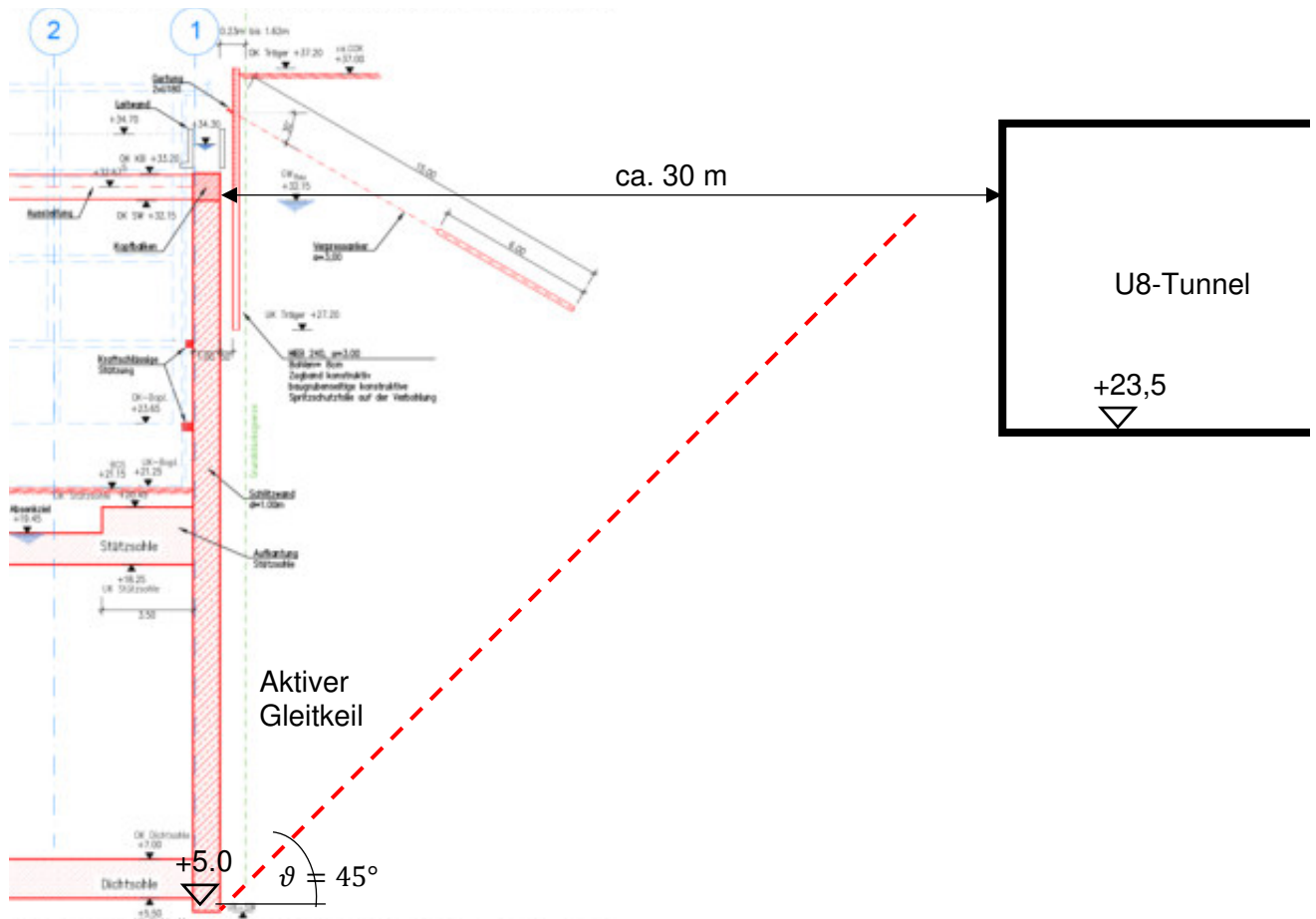


Bild 4-4 Einflussbereich der Herstellung der Schlitzwand und der Dicht- bzw. Stützsohle in Relation zur Lage des U8-Tunnels

4.3 Mögliche Gesamtverformungen

Die möglichen Gesamtverformungen werden als Summe der 1,2-fachen systembedingten Verformungen (Kap. 4.1) und der möglichen herstellungsbedingten Verformungen nach Kap. 4.2 (hier Null) ermittelt. Damit ergeben sich für den U8-Tunnel mögliche vertikale Verformungen von $1,2 * \pm 1,3 \text{ mm} = \pm 1,6 \text{ mm}$ (gerundet 2 mm, Hebung und Setzung) und mögliche horizontale Verformungen von $1,2 * \pm 1,0 \text{ mm} = \pm 1,2 \text{ mm}$ (gerundet 1 mm, in Richtung und weg von der Baugrube).



Dr.-Ing. F. Kirsch



Dipl.-Ing. P. Hao



Dr.techn. B. Schädlich

VERZEICHNIS DER ANLAGEN

	Seiten- anzahl
1 Anlage 1 Dokumentation des Berechnungsmodells	
1.1 HS-Materialmodell Bodenparameter	2
1.2 Isometrie, Materialparameter und Spannungszustände	20

ANLAGE 1.1

Ableitung der Bodensteifigkeiten für das HS-Modell

Die Steifigkeitskennwerte der Bodenschichten im Geotechnischen Bericht wurden in Abhängigkeit der Tiefe t ab Geländeoberkante (GOK) festgelegt. Für FE-Berechnungen auf der Grundlage des Hardening Soil (HS) Modells müssen diese tiefenabhängige Steifigkeitsangabe in den spannungsabhängigen ödometrischen Steifemodul E_{oed} überführt werden. Die Umrechnung erfolgt für den initiellen Spannungszustand.

GW-Spiegel: 32,2 m ü. NHN

Hinweise: t ist die Tiefe ab GOK

$$\text{Umrechnungsformel: } E_{\text{oed}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} \left(\frac{c \cdot \cos\varphi - \sigma'_1 \cdot \sin\varphi}{c \cdot \cos\varphi + p^{\text{ref}} \cdot \sin\varphi} \right)$$

Bodenschicht	Geotechnischer Bericht						Angesetzte HS-Materialparameter für $p^{\text{ref}}=100 \text{ kPa}$	
	Steifigkeiten E_s [MN/m ²]	Scherfestigkeit c [kN/m ²]	φ [°]	Wichte γ [kN/m ³]	Vorbelastung?	OK Schicht [m ü. NHN]	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [MN/m ²]	m [--]
Auffüllung	18	0	30,0	17,0	nein	34,5	20	0,5
Sand locker	20	0	33,0	19,0	nein	32,2	36	0,5
Sand mitteldicht	30	0	36,0	20,0	nein	26,9	60	0,5
Mergel	15	20	30,0	22,0	ja	17,5	44	0,7
Sand dicht	45	0	39,0	21,0	ja	15,1	137	0,5
Ton/Schluff	30	15	22,5	19,0	ja	-7,3	12	0,7
Mergel	15	20	30,0	22,0	ja	-12,0	40	0,7
Sand dicht	45	0	39,0	21,0	ja	-20,0	137	0,5

Abminderungsfaktor auf E_s -Werte des

Geotechnischen Berichtes: 0,667 für nicht vorbelastete Böden
1,000 für vorbelastete Böden

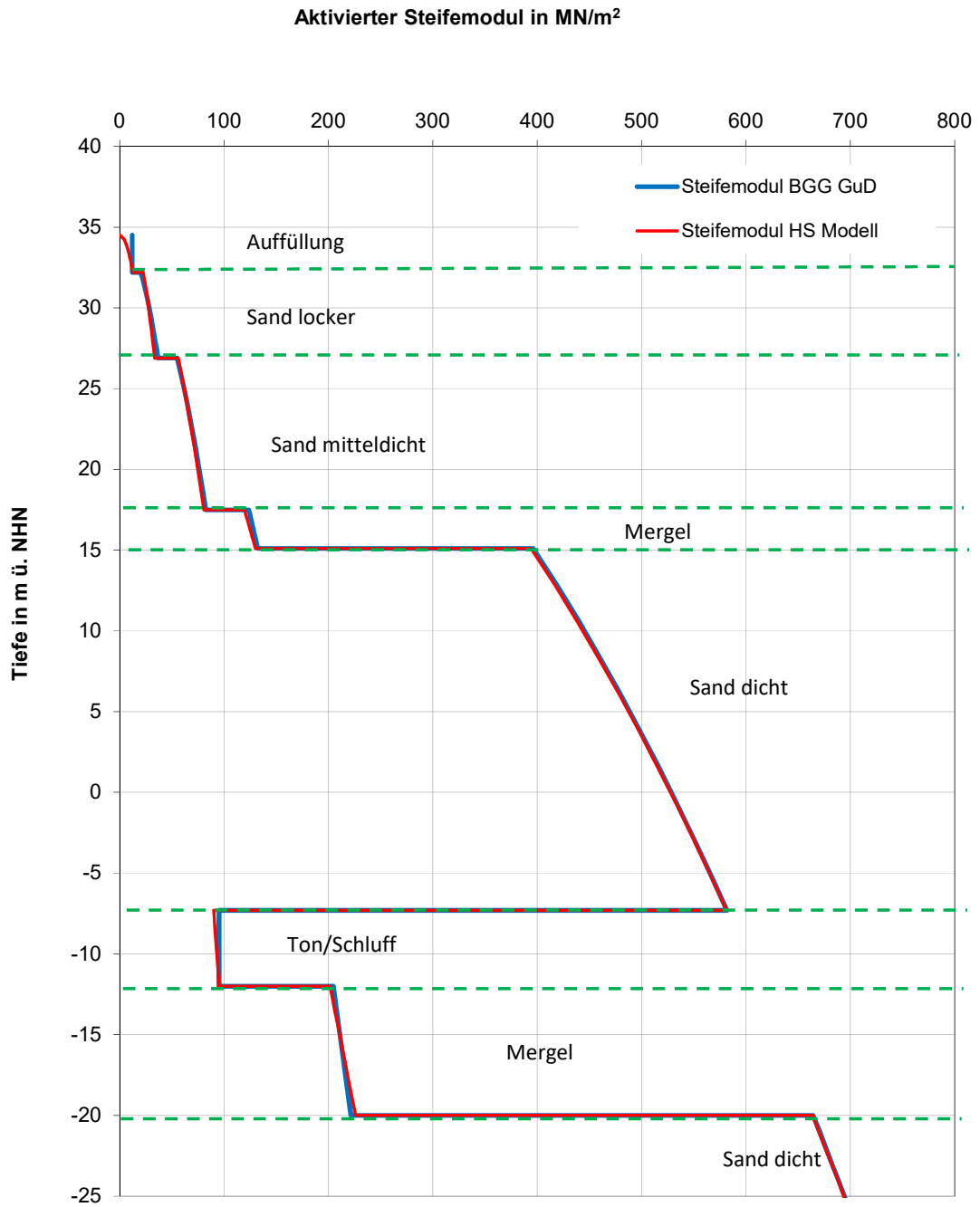
Die E_s -Werte des Baugrundgutachtens basieren auf Rückrechnungen von Setzungsmessungen an ausgeführten Bauwerken (siehe Th. Richter 1995: Zur rechnerischen Abschätzung des Lastsetzungsverhalten von Bauwerken). In diesen Rückrechnungen wurde die Zunahme der Bodensteifigkeit durch die Gebäudeauflast nicht explizit betrachtet, d.h. dieser Effekt ist implizit in den abgeleiteten E_s -Werten enthalten.

In den FE-Berechnungen mit dem HS-Modell hingegen wird dieser versteifenden Effekt über die spannungsabhängigen Steifigkeitsparameter direkt berücksichtigt. FE-Vergleichsberechnungen zeigten, dass bei üblichen Auflasten die Steifigkeitszunahme in den nicht vorbelasteten Bodenschichten ca. 30-50% beträgt.

In den eiseitlich vorbelasteten Schichten tritt in der FE-Berechnung dagegen keine nennenswerte Steifigkeitszunahme durch die Auflast auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Fall die Bodensteifigkeit durch den Ent-/Wiederbelastungsmodul E_{ur} bestimmt wird, der im HS-Modell von der kleineren Hauptspannung σ'_3 (d.h. näherungsweise der horizontalen Spannung) abhängt. Die Zunahme des Seitendrucks durch die Auflast ist deutlich geringer als die Zunahme der vertikalen Bodenspannung (in den vorbelasteten Schichten ca. 25% der vertikalen Spannungszunahme), was sich in einer entsprechend geringen Steifigkeitserhöhung ausdrückt.

Für den Abgleich der tiefenabhängigen E_s -Werte mit den E_{oed} -Werten des HS-Modells werden daher die E_s -Werte des Geotechnischen Berichtes für die nicht vorbelasteten Schichten mit dem Faktor $1/1,5 = 0,6667$ abgemindert. Für die eiseitlich vorbelasteten Schichten werden dagegen die 1,0-fachen E_s -Werte des Geotechnischen Berichtes zugrunde gelegt.

Das Diagramm auf der folgenden Seite zeigt die Entwicklung des Steifemoduls über die Tiefe ab GOK für den Steifigkeitsansatz des Geotechnischen Berichtes und des HS-Modells.



Anlage 1.2

Abbildungsverzeichnis Anlage 1.2 – Dokumentation 3D-FE-Berechnungen

Abbildung	Seite
Isometrie Gesamtmodell Phase 0 - Ausgangszustand	2
Isometrie Gesamtmodell Phase 1 – Errichtung Bestandsbauwerke	2
Isometrie Gesamtmodell Phase 2 – JAHO1 Einbau Schlitzwände und Dicht- und Stützsohle	3
Isometrie Gesamtmodell Phase 3 – JAHO1 Voraushub bis +32,0 m NHN.....	3
Isometrie Gesamtmodell Phase 4 – JAHO1 Einbau Aussteifung +32,7 m NHN.....	4
Isometrie Gesamtmodell Phase 7 – JAHO1 Endaushub bis +21,8 m NHN.....	4
Isometrie Gesamtmodell Phase 10 – JAHO1 Deaktivierung Dicht- und Stützsohle	5
Isometrie Gesamtmodell Phase 13 – JAHO2 Aktivierung Schlitzwände und Dicht- und Stützsohle.	5
Isometrie Gesamtmodell Phase 14 – JAHO2 Voraushub bis +32,0 m NHN.....	6
Isometrie Gesamtmodell Phase 18 – JAHO2 Endaushub bis +21,15 m NHN.....	6
Isometrie Gesamtmodell Phase 21 – Deaktivierung der Dicht- und Stützsohle und Aktivierung der Untergeschossdecken.....	7
Materialkennwerte Boden HS-Modell Teil 1	8
Materialkennwerte Boden HS-Modell Teil 2	9
Materialkennwerte Kontinuum linear elastisch	10
Materialkennwerte Kontinuum Mohr-Coulomb	11
Materialkennwerte Struktur – Node to Node Anchors	12
Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – Teil 1	12
Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – Teil 2	12
Phase 0 – Initieller Spannungszustand – effektive Vertikalspannung.....	13
Phase 0 – Initieller Spannungszustand – effektive Horizontalspannung.....	13
Phase 0 – Initieller Spannungszustand – Porenwasserdruck	14
Phase 1 – Bestand – Effektive Vertikalspannung	14
Phase 1 – Bestand – Effektive Horizontalspannung	15
Phase 7 – JAHO1: Endaushub – Effektive Vertikalspannung.....	15
Phase 7 – JAHO1: Endaushub – Effektive Horizontalspannung.....	16
Phase 7 – JAHO1: Endaushub – Porenwasserdruck.....	16
Phase 11 – JAHO1: Gebäudelast – Effektive Vertikalspannung.....	17
Phase 12 – JAHO1: Wasseranstieg – Effektive Vertikalspannung	17
Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Effektive Vertikalspannung	18
Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Effektive Horizontalspannung.....	18
Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Porenwasserdruck.....	19
Phase 22 – JAHO 2: Gebäudelast – Effektive Vertikalspannung.....	19
Phase 23 – JAHO 2: Wasseranstieg – Effektive Vertikalspannung	20

1 BERECHNUNGSMODELL

1.1 Geometrie und FE-Netz

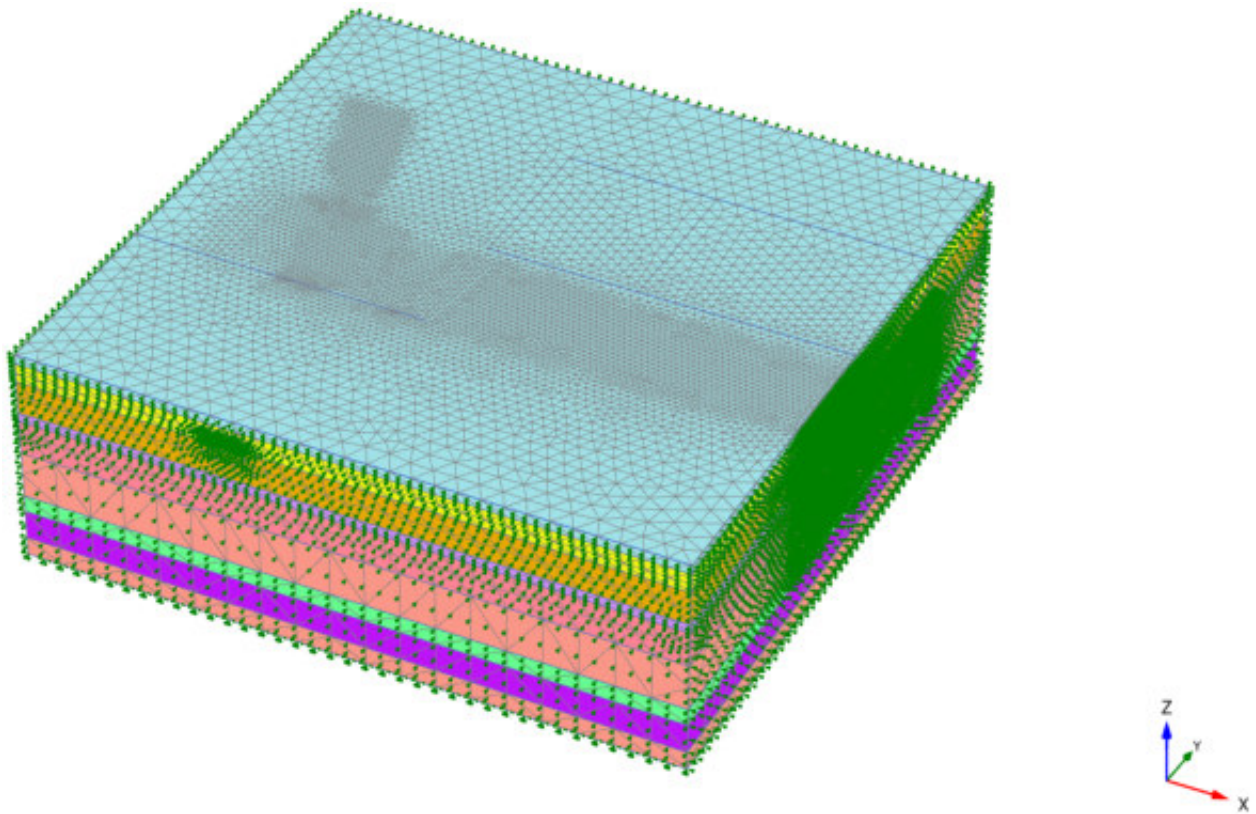


Abbildung A1.2 - 1: Isometrie Gesamtmodell Phase 0 - Ausgangszustand

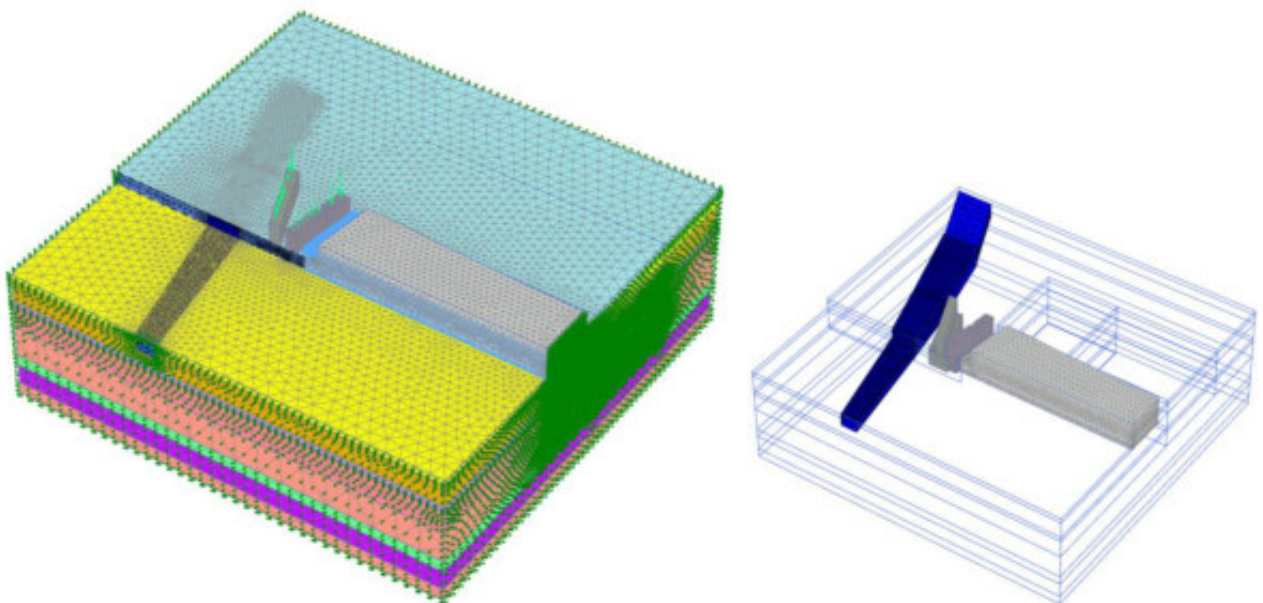


Abbildung A1.2 - 2: Isometrie Gesamtmodell Phase 1 – Errichtung Bestandsbauwerke

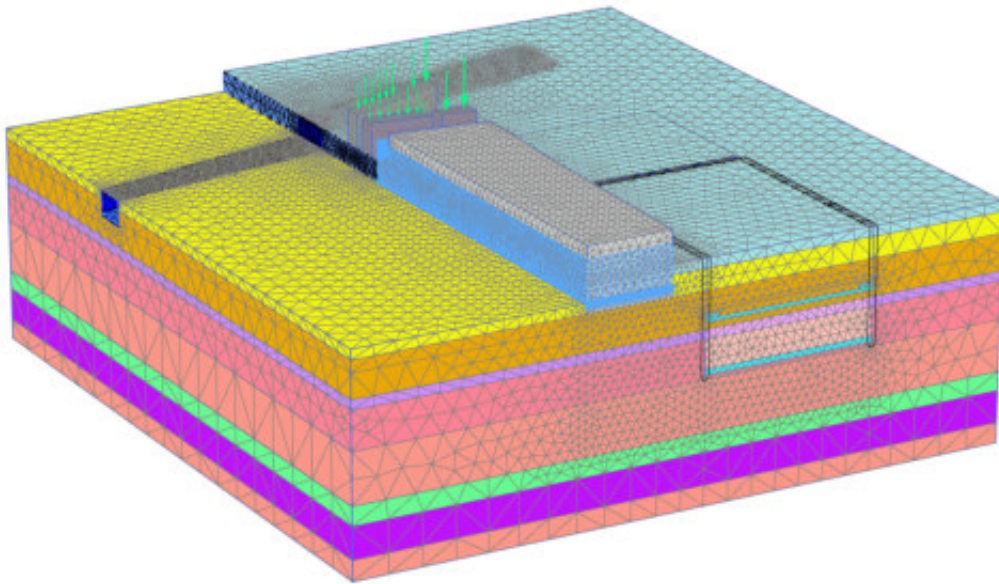


Abbildung A1.2 - 3: Isometrie Gesamtmodell Phase 2 – JAH01 Einbau Schlitzwände und Dicht- und Stützsohle

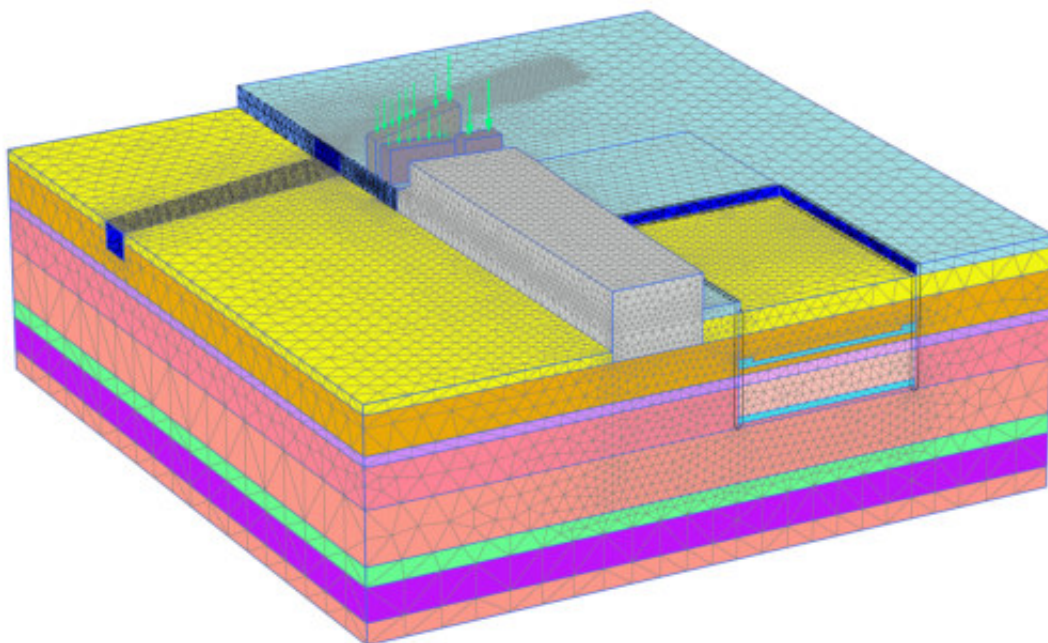


Abbildung A1.2 - 4: Isometrie Gesamtmodell Phase 3 – JAH01 Voraushub bis +32,0 m NHN

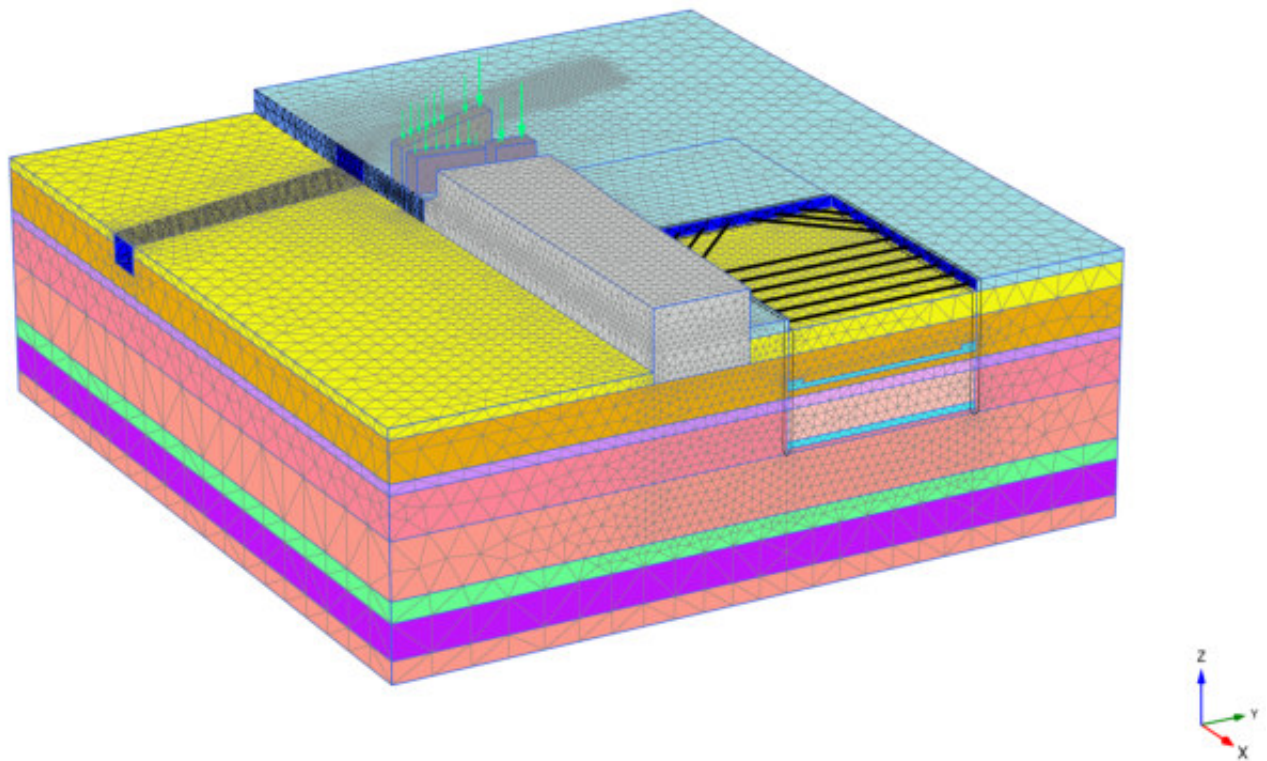


Abbildung A1.2 - 5: Isometrie Gesamtmodell Phase 4 – JAH01 Einbau Aussteifung +32,7 m NHN

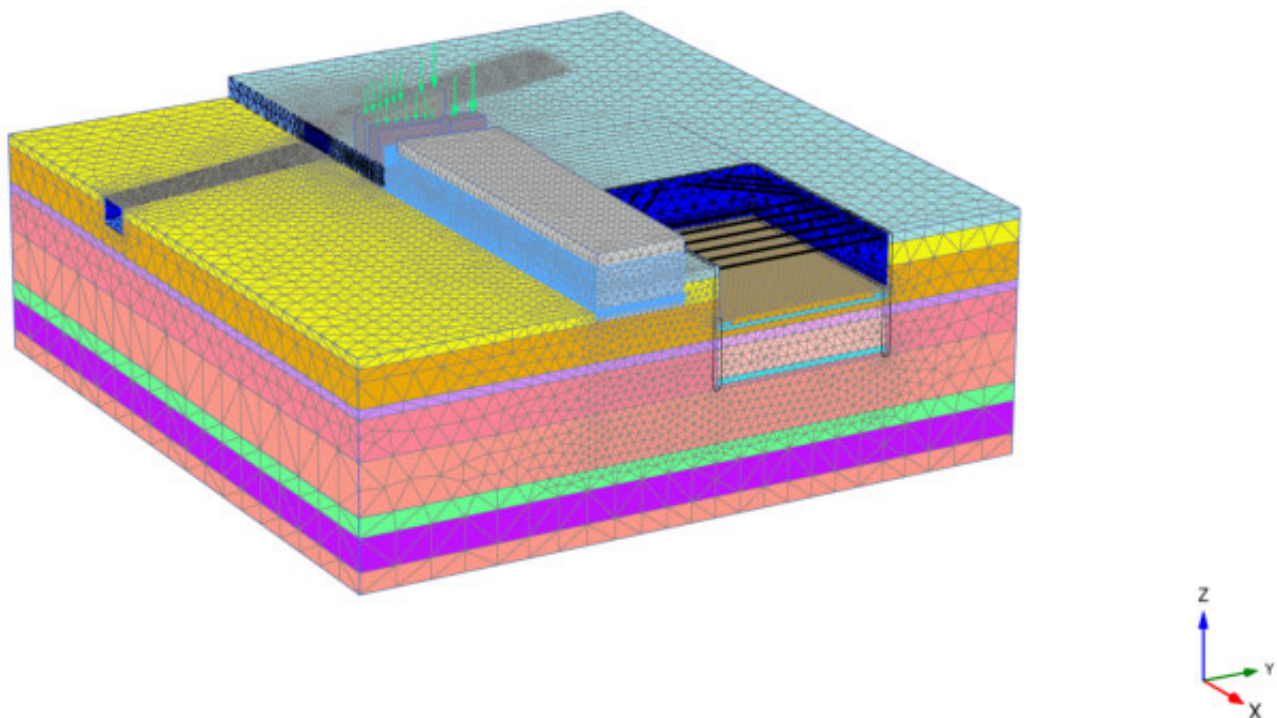


Abbildung A1.2 - 6: Isometrie Gesamtmodell Phase 7 – JAH01 Endaushub bis +21,8 m NHN

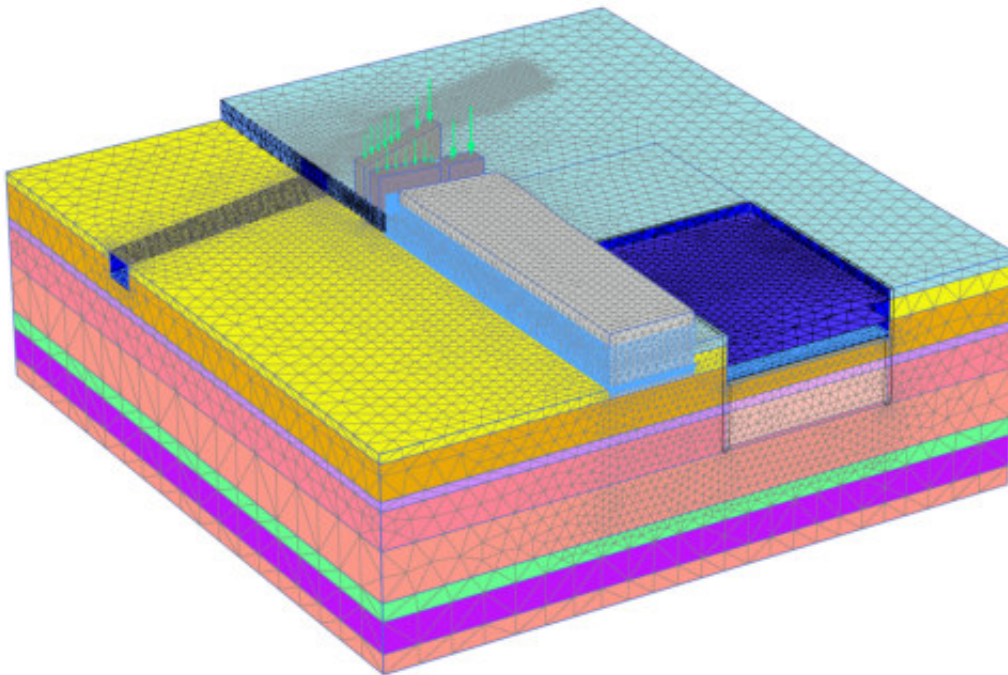


Abbildung A1.2 - 7: Isometrie Gesamtmodell Phase 10 – JAH01 Deaktivierung Dicht- und Stützsohle

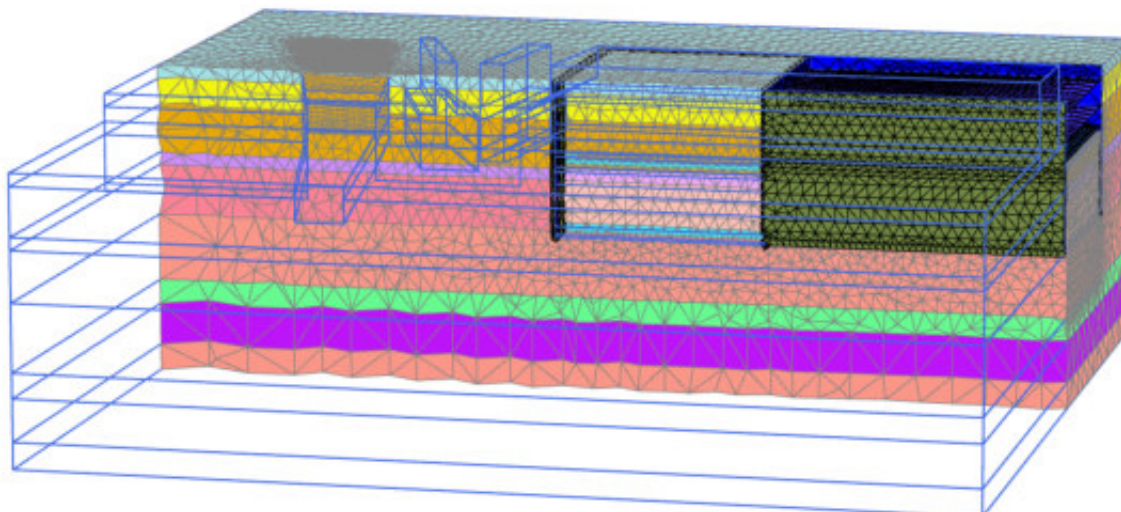


Abbildung A1.2 - 8: Isometrie Gesamtmodell Phase 13 – JAH02 Aktivierung Schlitzwände und Dicht- und Stützsohle

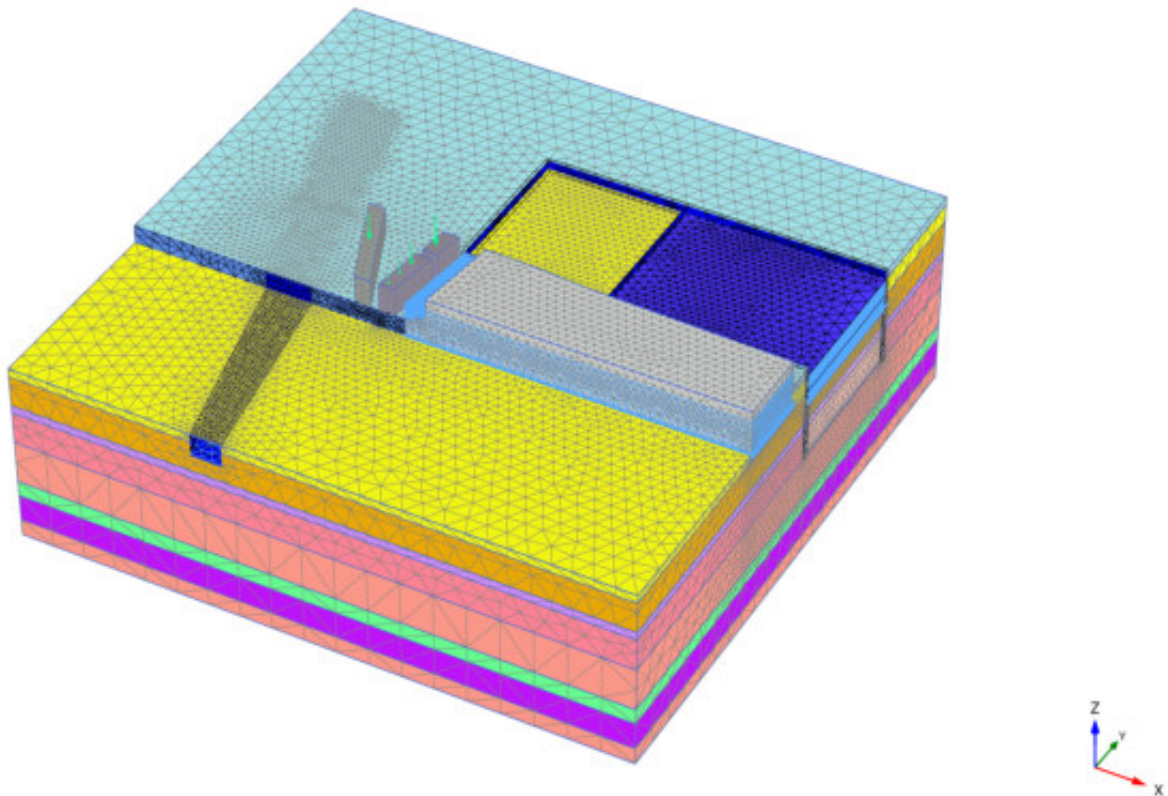


Abbildung A1.2 - 9: Isometrie Gesamtmodell Phase 14 – JAH02 Voraushub bis +32,0 m NHN

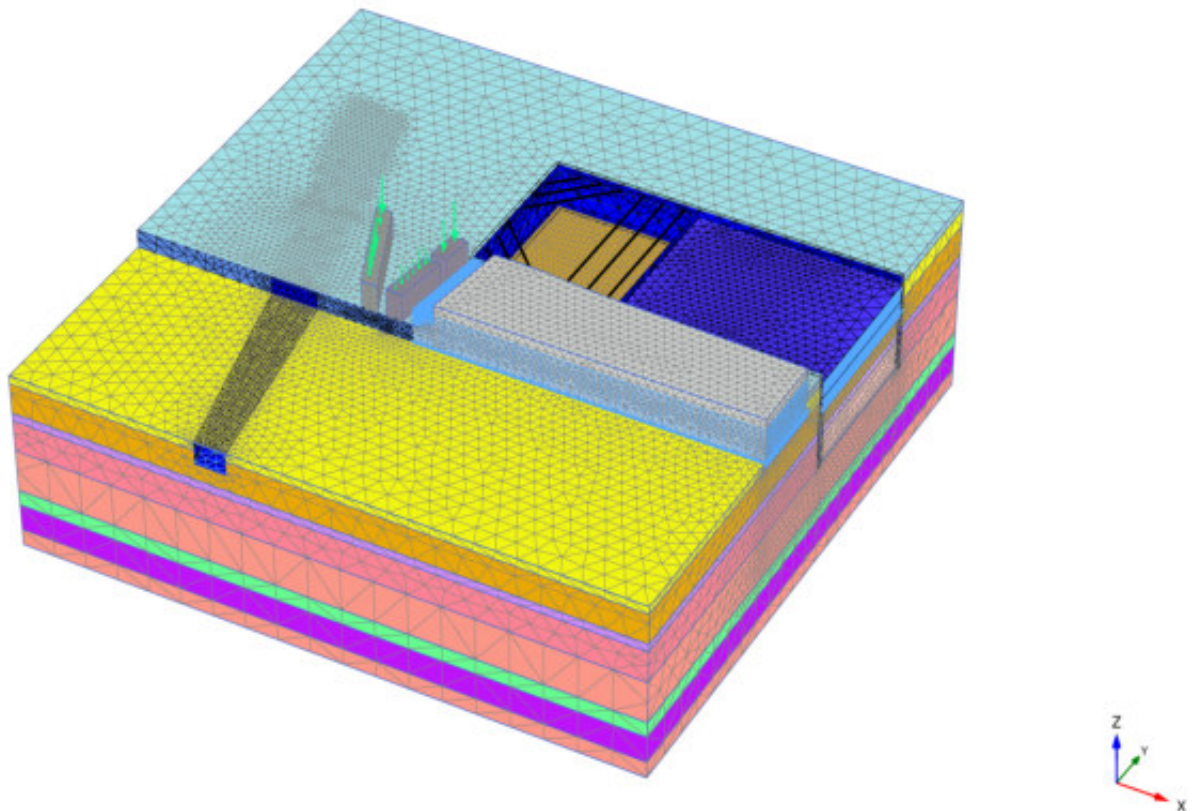


Abbildung A1.2 - 10: Isometrie Gesamtmodell Phase 18 – JAH02 Endaushub bis +21,15 m NHN

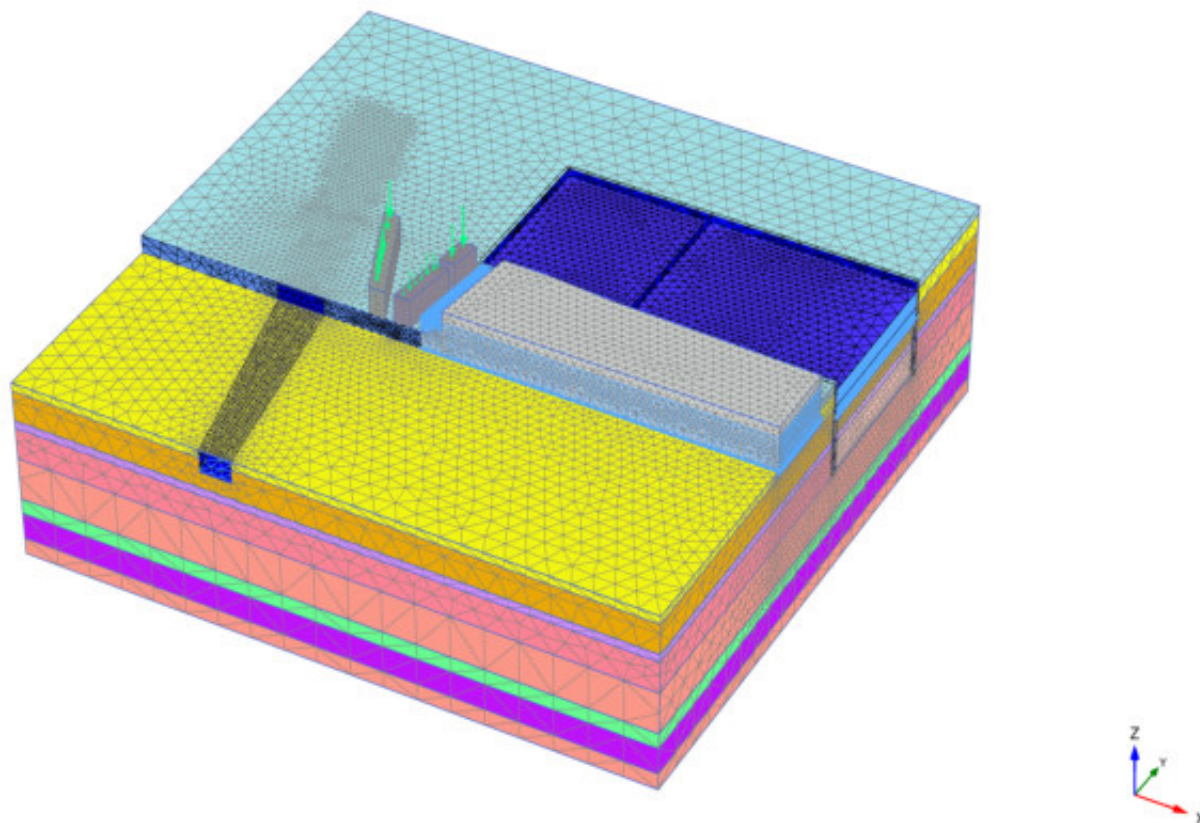


Abbildung A1.2 - 11: Isometrie Gesamtmodell Phase 21 – Deaktivierung der Dicht- und Stützsohle und Aktivierung der Untergeschosdecken

1.2 Materialkennwerte Boden und Strukturelemente






Identification		Auffüllung	Sand locker	Sand mitteldicht	Mergel	Sand dicht
Identification number		1	2	3	4	5
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{sat}	kN/m ³	17,00	17,50	18,00	22,00	19,00
γ_{sk}	kN/m ³	19,00	19,00	20,00	22,00	21,00
Dilatancy cut-off		No	Yes	Yes	Yes	Yes
e_{sk}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{sk}		0,000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
e_{sk}		999,0	0,6500	0,6500	0,6500	0,6500
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E_{sk}^{ref}	kN/m ²	20,00E3	36,00E3	60,00E3	44,00E3	136,00E3
E_{sk}^{ref}	kN/m ²	20,00E3	36,00E3	60,00E3	44,00E3	136,00E3
E_{sk}^{ref}	kN/m ²	60,00E3	144,00E3	180,00E3	90,00E3	272,00E3
power (m)		0,5000	0,5000	0,5000	0,7000	0,5000
Use alternatives		No	No	No	No	No
C_v		0,01725	9,583E-3	5,750E-3	7,841E-3	2,537E-3
C_v		5,175E-3	2,156E-3	1,725E-3	3,450E-3	1,142E-3
e_{sk}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
c_{sk}	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	20,00	0,000
φ (phi)	°	30,00	33,00	36,00	30,00	39,00
φ (psi)	°	0,000	3,000	6,000	0,000	9,000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
v_{sk}		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
p_{sk}	kN/m ²	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
K_{sk}^*		0,5000	0,4554	0,4122	0,5000	0,3707
c_{sk}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
z_{sk}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R_v		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9866	0,9866	0,9866	0,9866	0,9866
v_{sk}		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
K_{sk}^{ref} / n	kN/m ²	2,458E6	5,900E6	7,375E6	3,687E6	11,14E6
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{sk}		0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{sk}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity λ_v, dk	m ² /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Drainage conductivity λ_v, dk	m ² /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_{sk} determination		Automatic	Automatic	Automatic	Manual	Manual
$K_{sk} = K_{sk}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K_{sk}		0,5000	0,4554	0,4122	0,8000	0,8000
K_{sk}		0,5000	0,4554	0,4122	0,8000	0,8000
OCR		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
POP	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	500,0	500,0
k_{sk}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_{sk}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_{sk}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
e_{sk}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
S_v	1/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_v		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

Abbildung A1.2 - 12: Materialkennwerte Boden HS-Modell Teil 1






Identification		Ton/Schluff	Mergel 0,6 innen	Sand, dicht 0,6 innen	Mergel, 0,6 außen	Sand, dicht 0,6 außen
Identification number		6	10	11	12	13
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{sat}	kN/m ³	18,00	22,00	19,00	22,00	19,00
γ_{sub}	kN/m ³	19,00	22,00	21,00	22,00	21,00
Dilatancy cut-off		No	Yes	Yes	Yes	Yes
e_{max}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
e_{sw}		999,0	0,6500	0,6500	0,6500	0,6500
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E_{sw}^{ref}	kN/m ²	12,00E3	44,00E3	136,0E3	44,00E3	136,0E3
E_{sub}^{ref}	kN/m ²	12,00E3	44,00E3	136,0E3	44,00E3	136,0E3
E_{u}^{ref}	kN/m ²	38,00E3	90,00E3	272,0E3	90,00E3	272,0E3
power (m)		0,7000	0,7000	0,5000	0,7000	0,5000
Use alternatives		No	No	No	No	No
C_v		0,02875	7,841E-3	2,537E-3	7,841E-3	2,537E-3
C_h		8,171E-3	3,450E-3	1,142E-3	3,450E-3	1,142E-3
e_{sw}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
c_{sw}	kN/m ²	15,00	20,00	0,000	20,00	0,000
φ (phi)	°	22,50	30,00	39,00	30,00	39,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	9,000	0,000	9,000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
v_{sw}		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
p_{sw}	kN/m ²	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
K_{sw}^*		0,6173	0,5000	0,3707	0,5000	0,3707
c_{sw}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
z_{sw}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R_v		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9866	0,9866	0,9866	0,9866	0,9866
v_{u0}		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
K_{sw} / n	kN/m ²	1,557E6	3,687E6	11,14E6	3,687E6	11,14E6
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{sw}		0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{sw}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $\gamma_{, dk}$	m ³ /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Drainage conductivity $\gamma_{, dk}$	m ³ /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_v determination		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$K_{sw} = K_{v0}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K_{v0}		0,8000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
K_{v1}		0,8000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
OCR		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
POP	kN/m ²	500,0	0,000	0,000	500,0	500,0
k_{v1}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_{v2}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_{v3}	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
e_{sw}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
S_v	1/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_v		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

Abbildung A1.2 - 13: Materialkennwerte Boden HS-Modell Teil 2




Identification		Bestandsbauwerk	Pfeiler G	Pfeiler H
Identification number		7	8	14
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour				
Comments				
γ_{unsat}	kN/m ³	0,000	22,00	12,00
γ_{sat}	kN/m ³	0,000	22,00	12,00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{min}		0,5000	0,5000	0,5000
e_{max}		0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
E	kN/m ²	6,000E6	20,00E6	20,00E6
ν (nu)		0,2000	0,2000	0,2000
G	kN/m ²	2,500E6	8,333E6	8,333E6
E_{ref}	kN/m ²	6,667E6	22,22E6	22,22E6
V_s	m/s	0,000	1885	2610
V_p	m/s	0,000	3079	4262
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E_{int}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000
z_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9866	0,9866	0,9866
ν_u		0,4950	0,4950	0,4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	245,8E6	819,4E6	819,4E6
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $k_{1,dk}$	m ² /day/m	0,000	0,000	0,000
Drainage conductivity $k_{2,dk}$	m ² /day/m	0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,v} = K_{0,h}$		Yes	Yes	Yes
$K_{0,v}$		0,5000	0,5000	0,5000
$K_{0,h}$		0,5000	0,5000	0,5000
OCR		1,000	1,000	1,000
POP	kN/m ²	0,000	0,000	0,000
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000
k_z	m/day	0,000	0,000	0,000
e_{int}		0,5000	0,5000	0,5000
S_x	1/m	0,000	0,000	0,000
c_x		1000E12	1000E12	1000E12

Abbildung A1.2 - 14: Materialkennwerte Kontinuum linear elastisch


Identification		DSV
Identification number		9
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{sat}	kN/m ³	21,00
γ_{se}	kN/m ³	21,00
Dilatancy cut-off		No
e_{sat}		0,5000
e_{min}		0,000
e_{max}		999,0
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
E	kN/m ²	2,000E6
ν (ν_u)		0,3500
G	kN/m ²	740,7E3
E_{sat}	kN/m ²	3,210E6
c_{sat}	kN/m ²	1233
φ (ϕ)	°	37,50
ψ (ψ)	°	0,000
V_s	m/s	588,2
V_p	m/s	1225
Set to default values		Yes
E_{sc}	kN/m ² /m	0,000
Z_{ref}	m	0,000
c_{sc}	kN/m ² /m	0,000
Z_{ref}	m	0,000
Tension cut-off		Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000
Undrained behaviour		Standard
Skempton-B		0,9699
ν_u		0,4950
K_{sat} / n	kN/m ²	71,60E6
Strength		Rigid
R_{over}		1,000
Consider gap closure		Yes
δ_{over}		0,000
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity $k_{x, dk}$	m ³ /day/m	0,000
Drainage conductivity $k_{z, dk}$	m ³ /day/m	0,000
K_s determination		Automatic
$K_{s,x} = K_{s,z}$		Yes
$K_{s,x}$		0,3912
$K_{s,z}$		0,3912
OCR		1,000
POP	kN/m ²	0,000
k_x	m/day	0,000
k_y	m/day	0,000
k_z	m/day	0,000
e_{sat}		0,5000
S_s	1/m	0,000
c_s		1000E12

Abbildung A1.2 - 15: Materialkennwerte Kontinuum Mohr-Coulomb

Identification		Steifen
Identification number		1
Comments		
Colour		■
Material type		Elastic
EA	kN	13,14E6
Identification number		1

Abbildung A1.2 - 16: Materialkennwerte Struktur – Node to Node Anchors

Identification		Schlitzwand	BoPla1	BoPla2	Uferwand	Decken
Identification number		1	2	3	4	5
Comments						
Colour		■	■	■	■	■
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
d	m	1,000	1,600	2,400	0,1300	0,3000
γ	kN/m³	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Isotropic		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E ₁	kN/m²	30,00E6	30,00E6	30,00E6	210,0E6	30,00E6
E ₂	kN/m²	30,00E6	30,00E6	30,00E6	210,0E6	30,00E6
ν ₁₂		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
G ₁₂	kN/m²	12,50E6	12,50E6	12,50E6	87,50E6	12,50E6
G ₁₃	kN/m²	12,50E6	12,50E6	12,50E6	87,50E6	12,50E6
G ₂₃	kN/m²	12,50E6	12,50E6	12,50E6	87,50E6	12,50E6
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prevent punching		Yes	No	No	No	No

Abbildung A1.2 - 17: Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – Teil 1

Identification		UBahn	U-Bahn_Bodenplatte
Identification number		6	7
Comments			
Colour		■	■
Material type		Elastic	Elastic
d	m	0,6000	1,500
γ	kN/m³	23,00	23,00
Isotropic		Yes	Yes
E ₁	kN/m²	20,00E6	20,00E6
E ₂	kN/m²	20,00E6	20,00E6
ν ₁₂		0,2000	0,2000
G ₁₂	kN/m²	8,333E6	8,333E6
G ₁₃	kN/m²	8,333E6	8,333E6
G ₂₃	kN/m²	8,333E6	8,333E6
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Prevent punching		No	No

Abbildung A1.2 - 18: Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – Teil 2

2 BERECHNUNGSERGEBNISSE MODELL

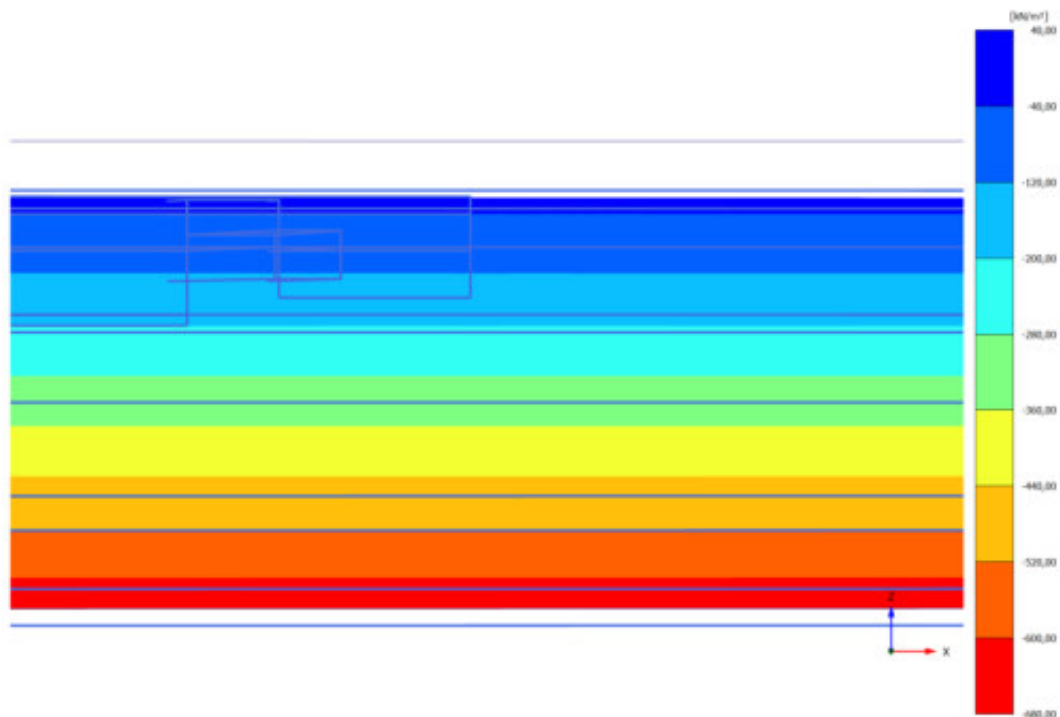


Abbildung A1.2 - 19: Phase 0 – Initieller Spannungszustand – effektive Vertikalspannung

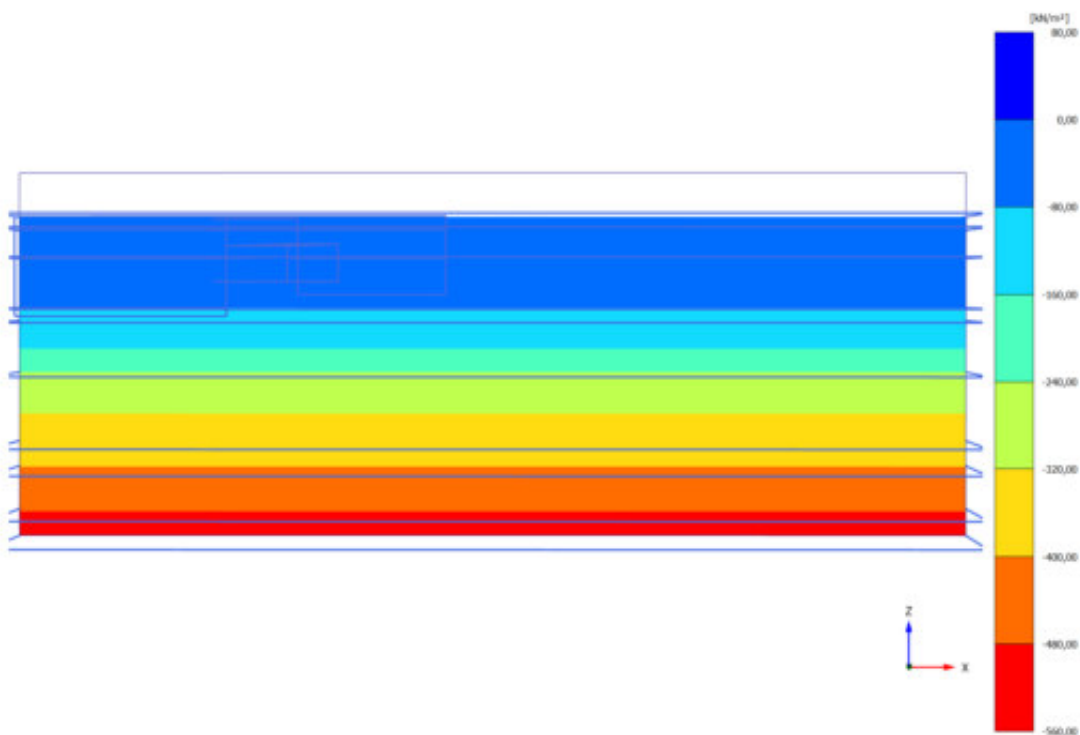


Abbildung A1.2 - 20: Phase 0 – Initieller Spannungszustand – effektive Horizontalspannung

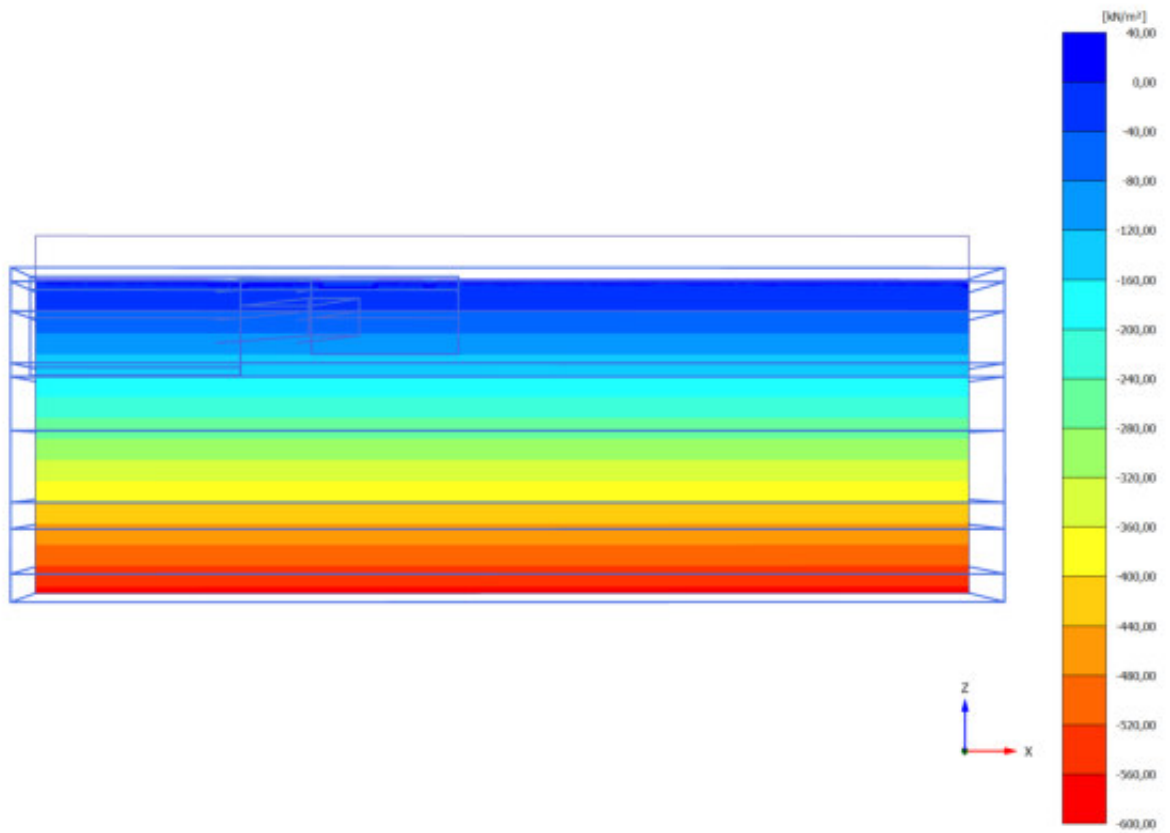


Abbildung A1.2 - 21: Phase 0 – Initieller Spannungszustand – Porenwasserdruck

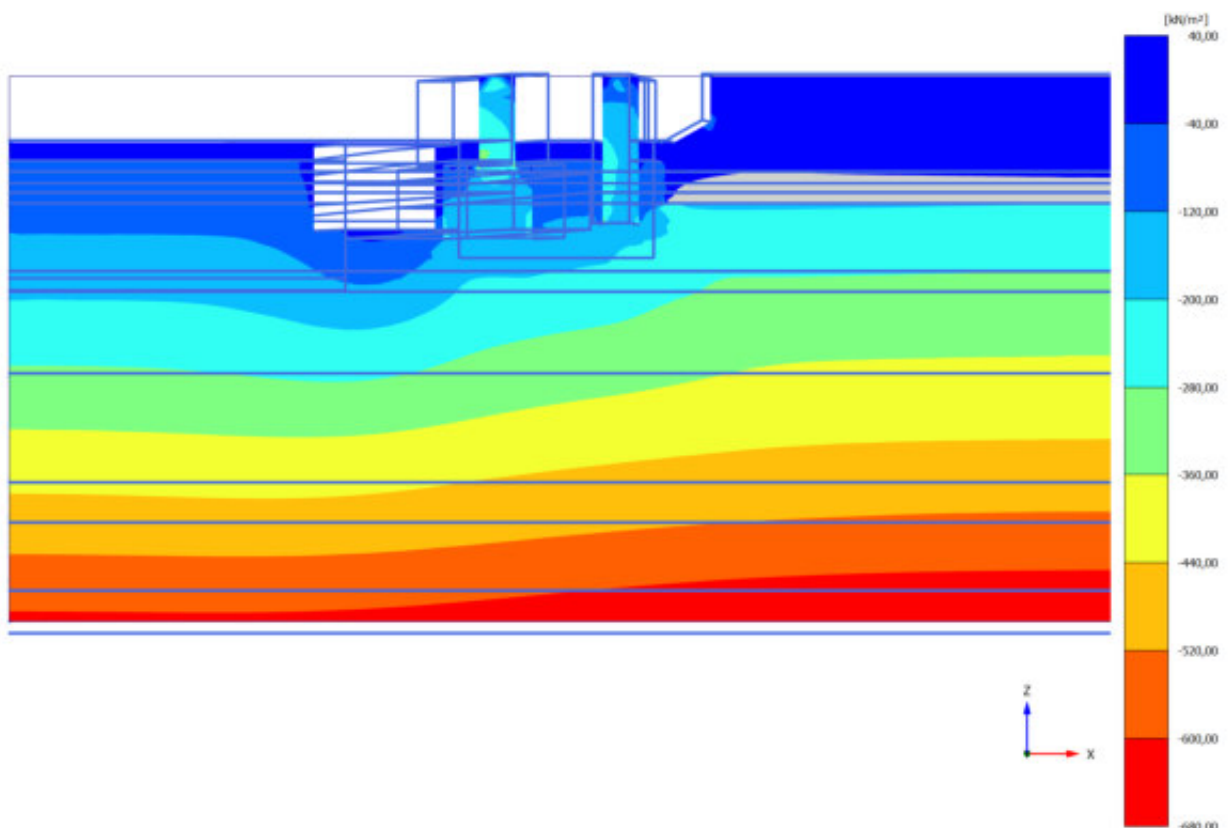


Abbildung A1.2 - 22: Phase 1 – Bestand – Effektive Vertikalspannung

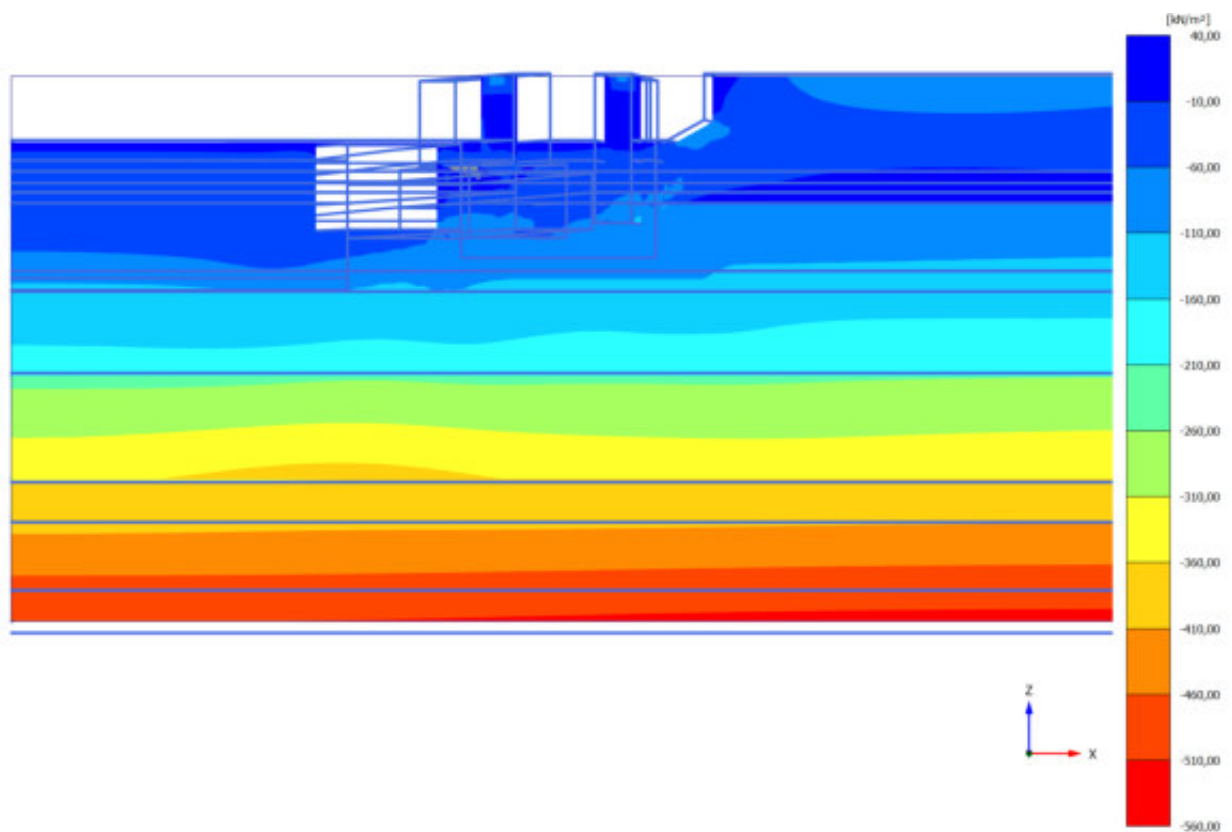


Abbildung A1.2 - 23: Phase 1 – Bestand – Effektive Horizontalspannung

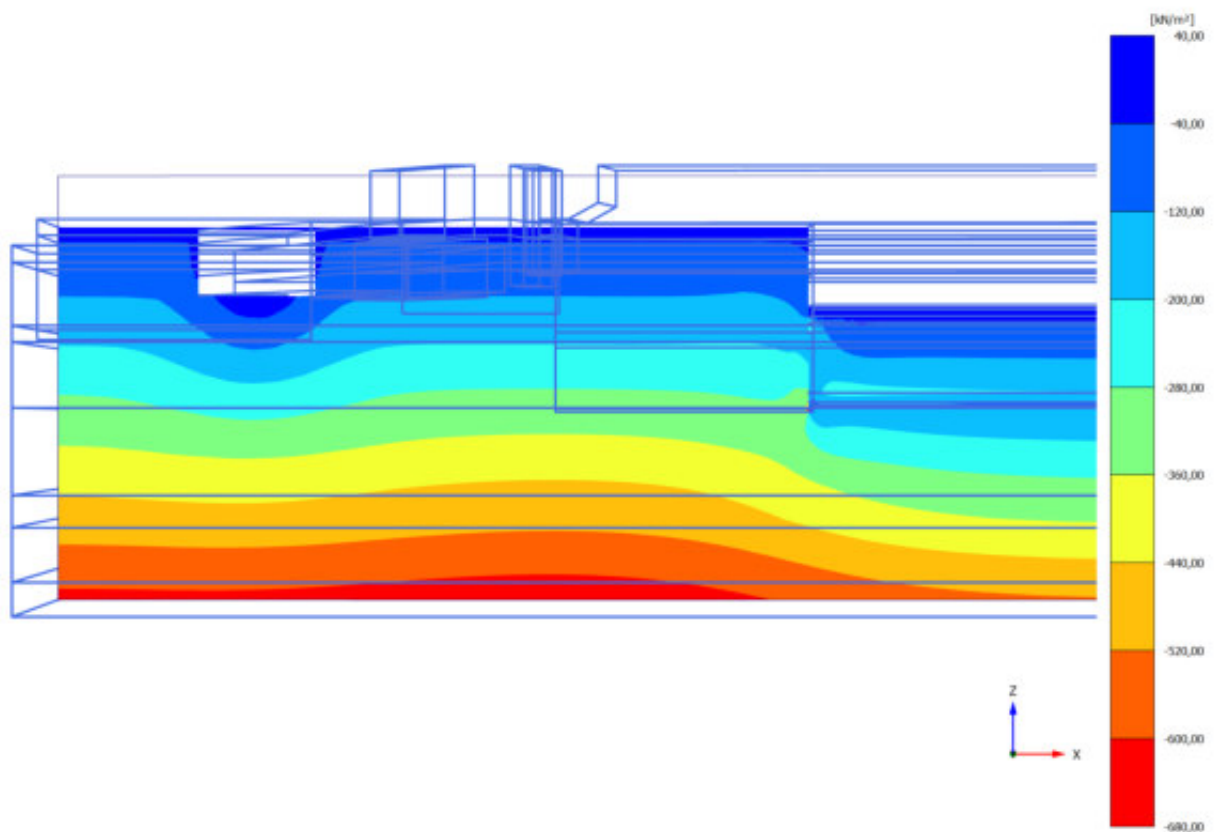


Abbildung A1.2 - 24: Phase 7 – JAH01: Endaushub – Effektive Vertikalspannung

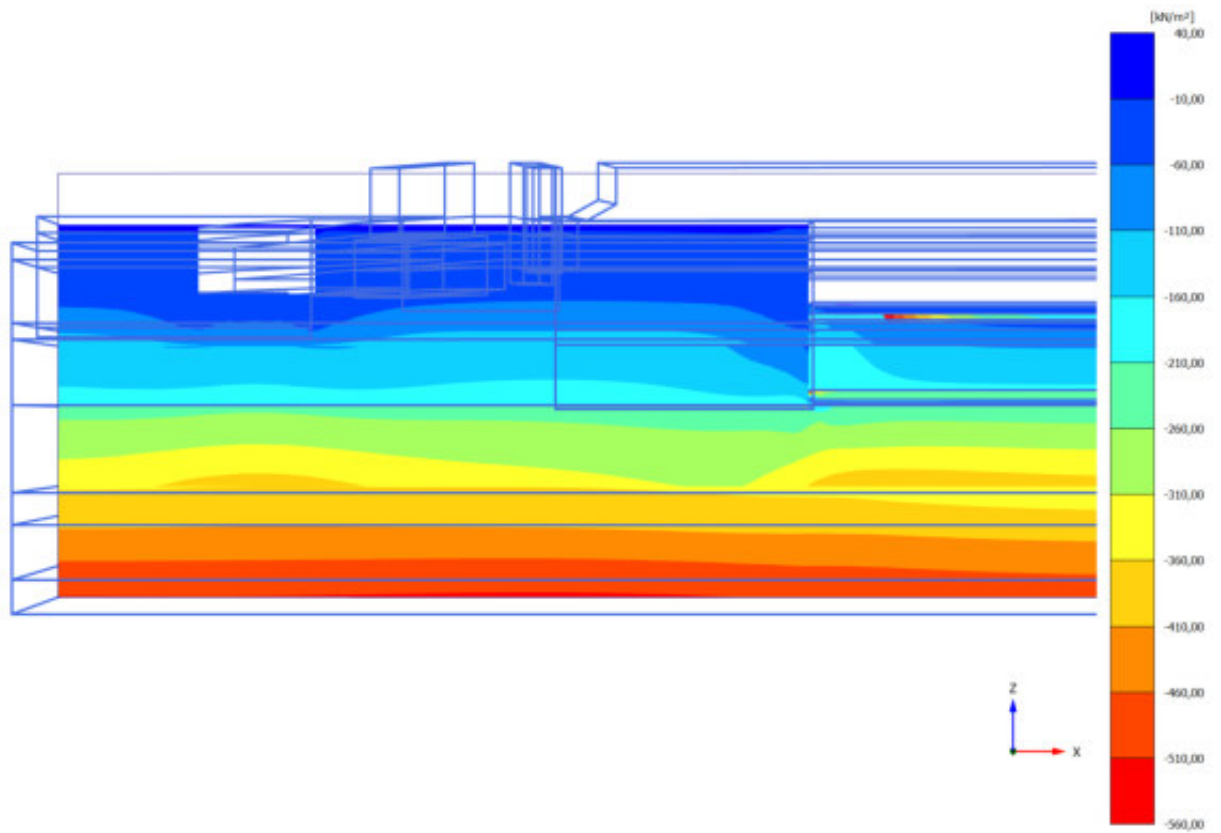


Abbildung A1.2 - 25: Phase 7 – JAHO1: Endaushub – Effektive Horizontalspannung

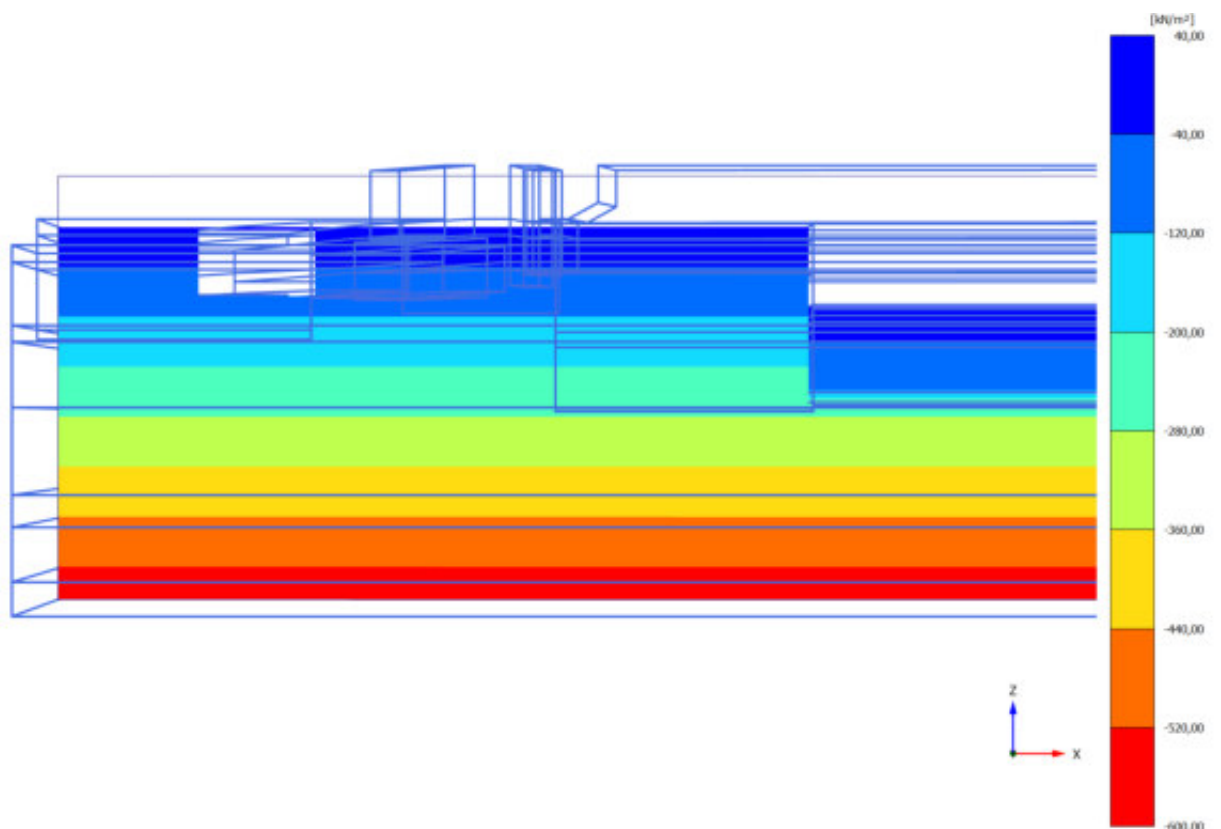


Abbildung A1.2 - 26: Phase 7 – JAHO1: Endaushub – Porenwasserdruck

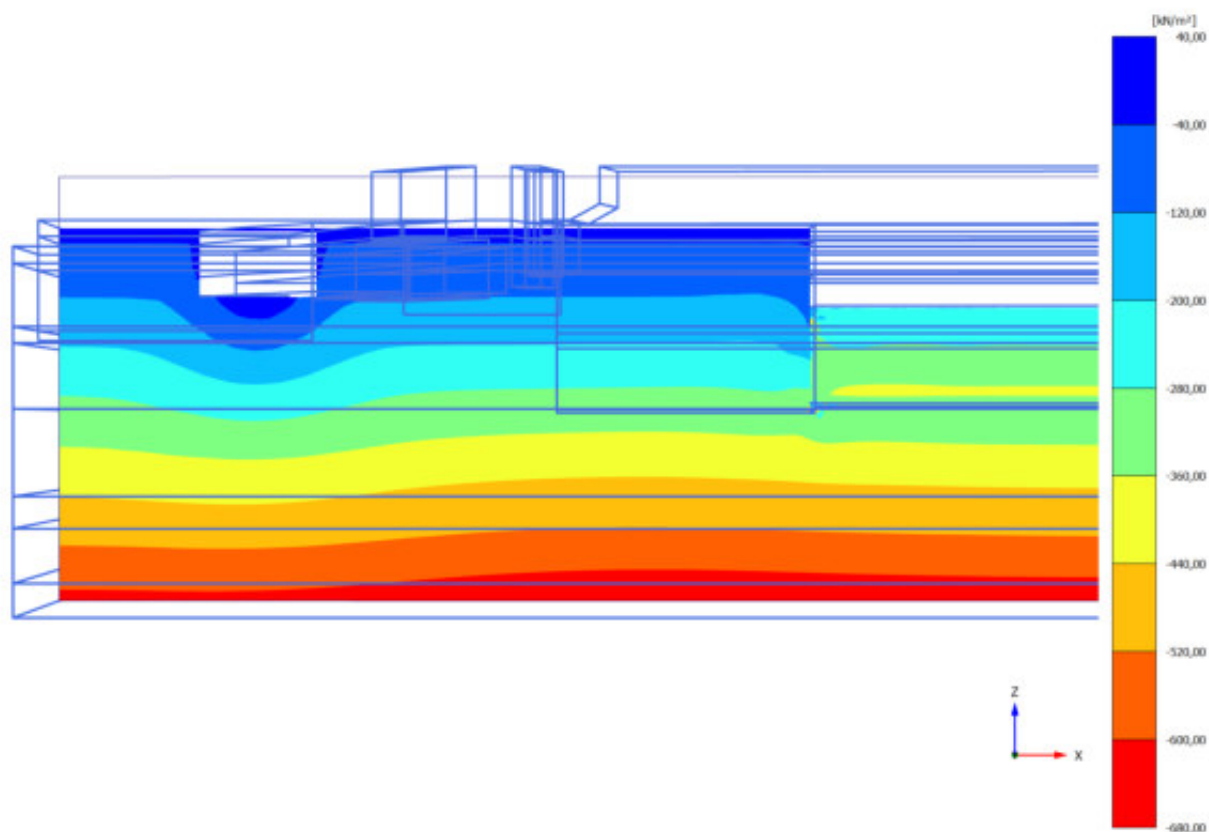


Abbildung A1.2 - 27: Phase 11 – JAHO1: Gebäudelast – Effektive Vertikalspannung

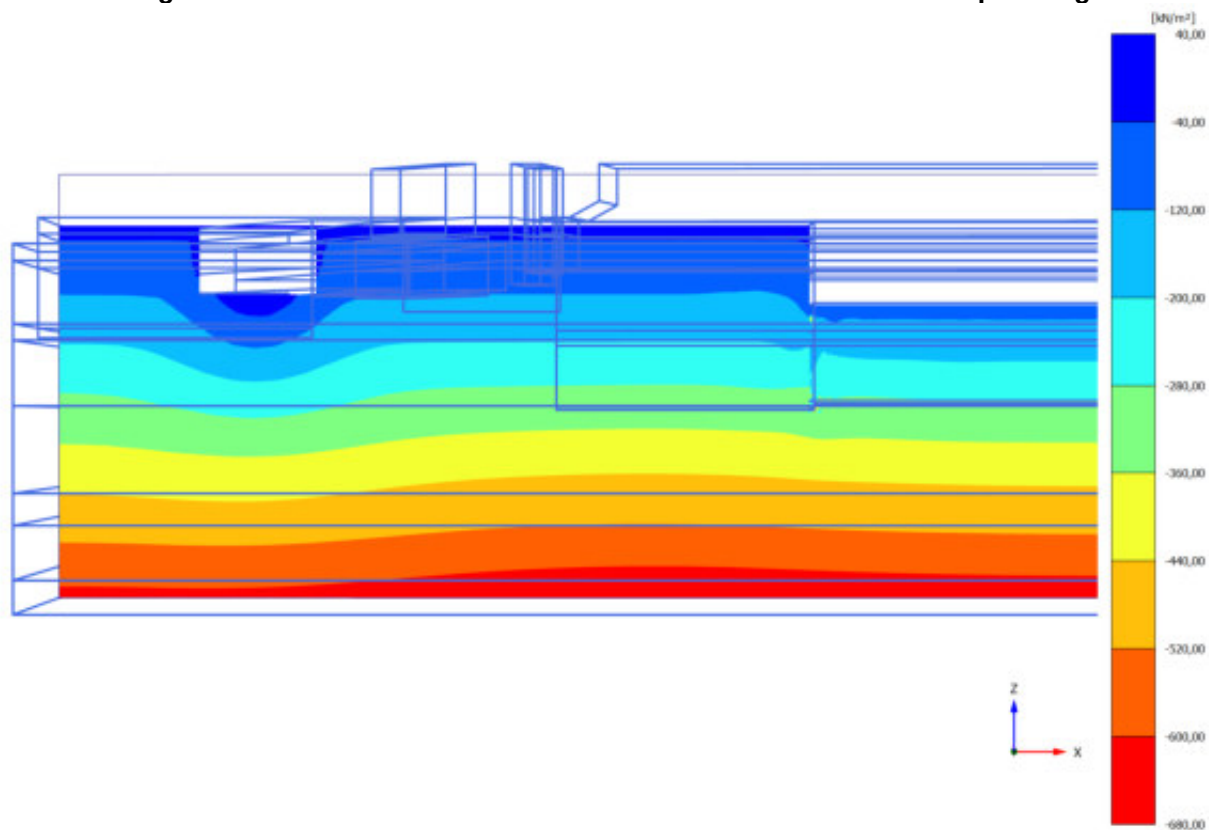


Abbildung A1.2 - 28: Phase 12 – JAHO1: Wasseranstieg – Effektive Vertikalspannung

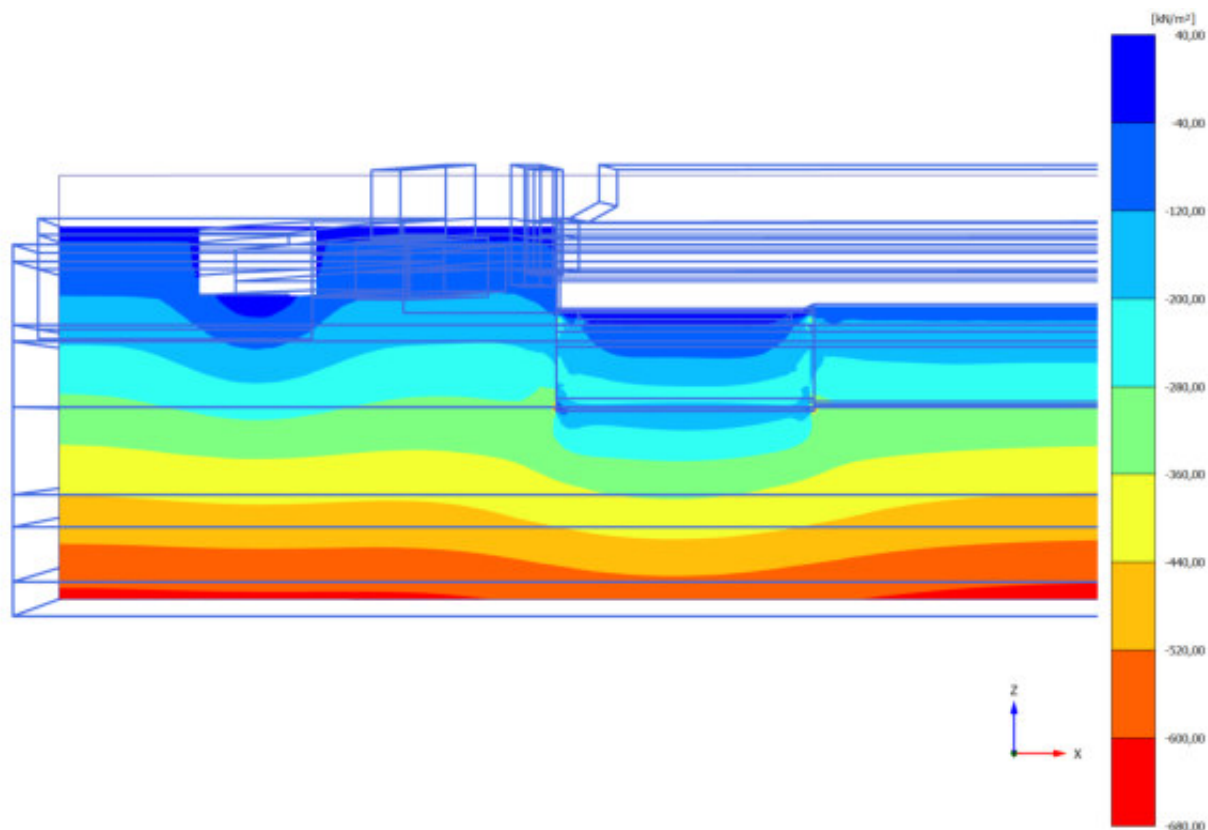


Abbildung A1.2 - 29: Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Effektive Vertikalspannung

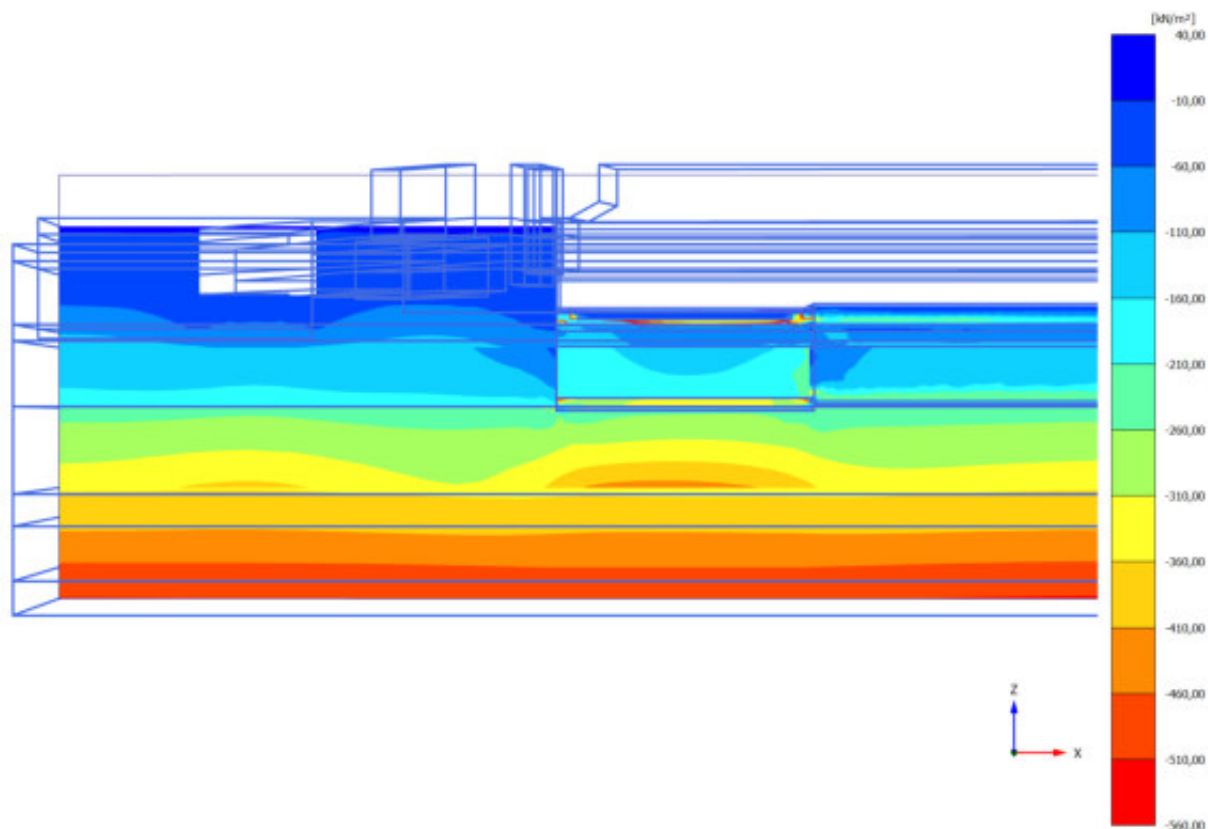


Abbildung A1.2 - 30: Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Effektive Horizontalspannung

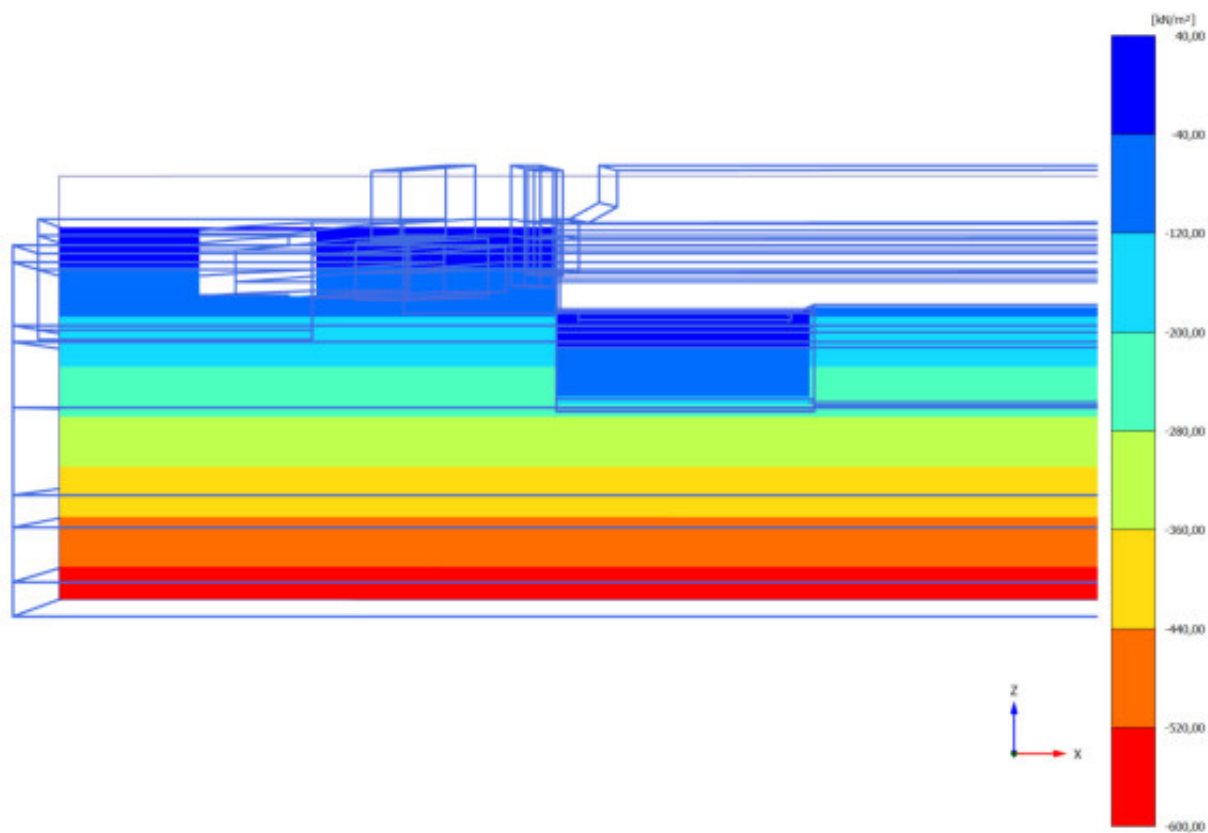


Abbildung A1.2 - 31: Phase 18 – JAHO 2: Endaushub – Porenwasserdruck

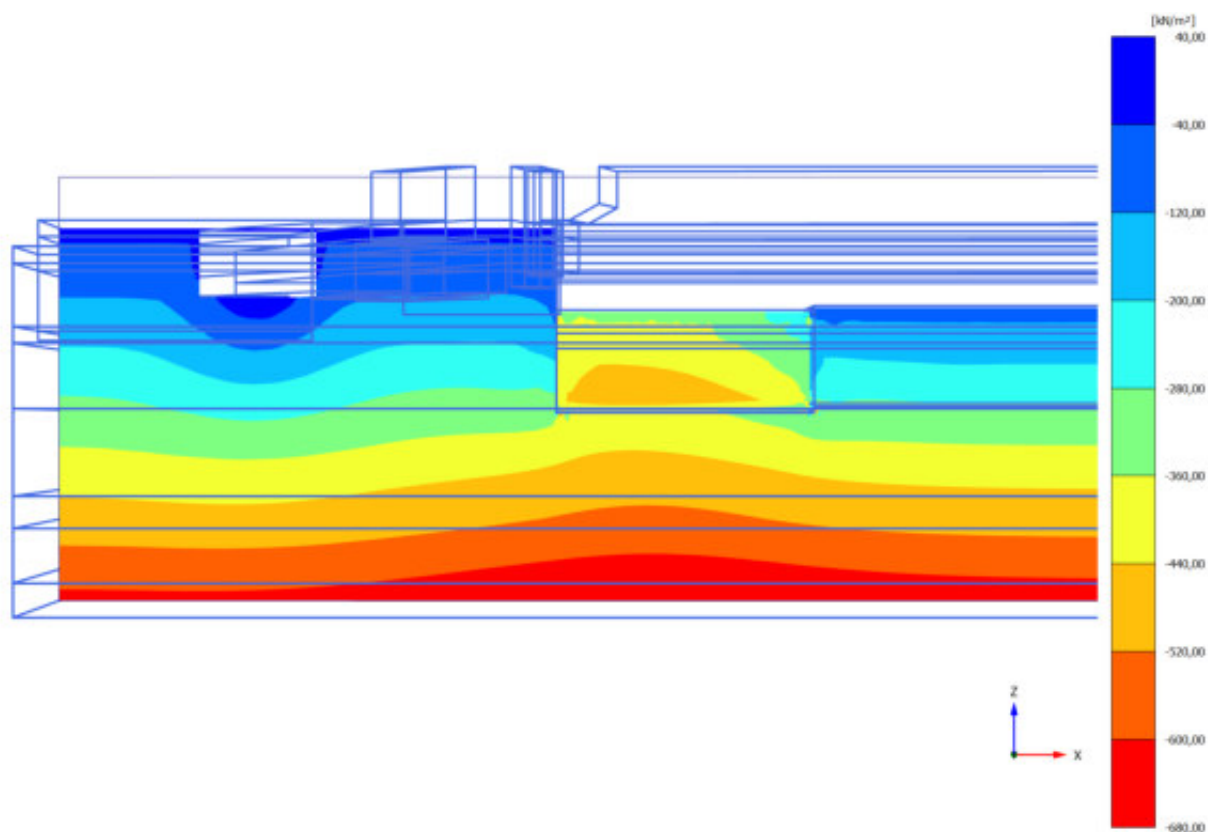


Abbildung A1.2 - 32: Phase 22 – JAHO 2: Gebäudelast – Effektive Vertikalspannung

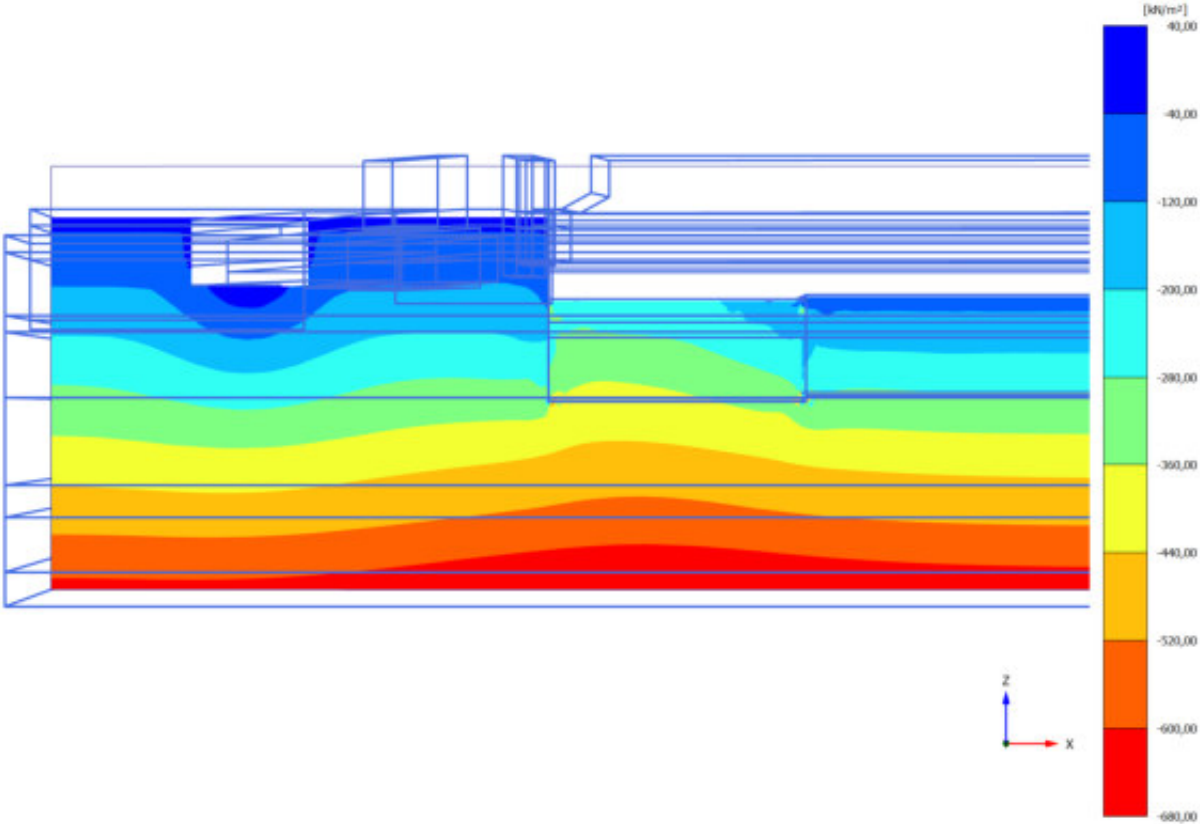


Abbildung A1.2 - 33: Phase 23 – JAH0 2: Wasseranstieg – Effektive Vertikalspannung