

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

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

GuD-Verbund Standorte

Berlin	Leipzig	Hamburg
Gdynia	Frankfurt / M.	Mannheim

Verformungsprognose für die Bestandsbauwerke

Bauvorhaben: WAB - Quartier Warschauer Brücke
Rudolfstraße 17-19 in 10245 Berlin

Auftraggeber: Rudolfstraße 18 Projektentwicklung GmbH
c/o Atrium Development Group GmbH
Hardenbergstraße 27
10623 Berlin

und

Rudolfstraße 19 GmbH & Co. KG
Spichernstraße 24
10777 Berlin

Bearbeiter: ppa. Dr. techn. B. Schädlich

Berlin, den 24.02.2026

**Gutachten
Beratung
Planung
Bauüberwachung**

Geschäftsführer und Prokuristen
Dr.-Ing. Silke Appel
Dr. rer. nat. Götz Hirschberg
Dr.-Ing. Fabian Kirsch¹
Dr.-Ing. Jens Mittag¹
Dr. Patrick Arnold (ppa.)
Dipl.-Ing. Kerstin Deterding (ppa.)³
Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt (ppa.)
Dr. techn. Bert Schädlich (ppa.)

Senior-Berater
Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener
Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter²
em. Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis
Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider

¹ Anerkannter Prüfsachverständiger für den Erd- und Grundbau.

² von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund.

³ EBA-Gutachter für Geotechnik bei Bau-maßnahmen im Eisenbahnbau.

Revisionsblatt für Bericht S 233-1/25

Revision	Datum	Bemerkung	erstellt	geprüft / freigegeben
00	24.02.2026	Ersterstellung	BeS	GH

INHALTSVERZEICHNIS

0	ZUSAMMENFASSUNG	5
1	UNTERLAGENVERZEICHNIS	8
1.1	Unterlagen zum Bauvorhaben, Planungsunterlagen	8
1.2	Unterlagen zu den Bahnanlagen	8
1.3	Normen / Regelwerke / Richtlinien	9
1.4	Sonstige Unterlagen	9
2	BESCHREIBUNG DES BAUVORHABENS	10
2.1	Allgemein	10
2.2	Geplante Neubebauung	11
2.3	Baugrube und Gründung der Neubauten	12
2.3.1	Bauteil A	12
2.3.2	Bauteile B, C und D	13
3	BENACHBARTE BAUWERKE UND ANLAGEN	19
3.1	Übersicht	19
3.2	Gleisanlagen der DB AG	20
3.3	Stützwand ehemalige Rampe Rudolfstraße	22
3.4	BVG-Betriebshof	22
4	BAUGRUNDVERHÄLTNISSE	24
4.1	Bodenschichtung und Kennwerte	24
4.2	Grundwasserverhältnisse	25
5	FE-VERFORMUNGSBERECHNUNG	26
5.1	Berechnungsmodell	26
5.1.1	Modellgeometrie und Baugrundsichtung	26
5.1.2	Baugrubenwand - Schlitzwand	31
5.1.3	Düsenstrahlsohle	32
5.1.4	Aussteifung	33
5.1.5	Gebäudelasten der Neubauten	35
5.1.6	Boden- und Deckenplatten des Neubaus	37
5.1.7	Gründungspfähle Hochhaus BT C	38
5.1.8	Bahngleise	42
5.1.9	BVG-Betriebshof Rudolfstraße	43
5.1.10	Stützwand Rampe Rudolfstraße	44
5.1.11	Grundwasser	44
5.2	Materialmodell und Materialparameter für den Boden	45
5.3	Berechnungsphasen	47

5.4	Ergebnisse – systembedingte Verformungen	48
6	HERSTELLUNGSBEDINGTE VERFORMUNGEN	56
7	ZUSAMMENSTELLUNG DER VERFORMUNGEN	61
8	BEWERTUNG DER GLEISSETZUNGEN NACH RIL 836.3001	71
8.1	Vorgehensweise	71
8.2	Ermittlung der zulässigen Gleissetzung	72
	ANLAGENVERZEICHNIS	74

0 ZUSAMMENFASSUNG

In dem vorliegenden Bericht werden die zu erwartenden Verformungen der Bestandsbauwerke im Umfeld des Bauvorhabens WAB Quartier Warschauer Brücke in Berlin-Friedrichshain untersucht. Das Bauvorhaben ist in die Bauteile A bis D aufgeteilt, wobei die Bauteile A und D zeitlich getrennt von den Bauteilen B und C errichtet werden können.

Bei den hier betrachteten Bestandsbauwerken und -anlagen handelt es sich um:

- die Bahngleise der Strecken 6004 (S-Bahn) sowie 6152 und 6153 (Fern- und Güterverkehr), ca. Strecken-km 1,25 bis km 1,5
- das Gebäude des BVG-Betriebshofs in der Rudolfstraße 1-8
- die Stützwand der ehemaligen Rampe Rudolfstraße

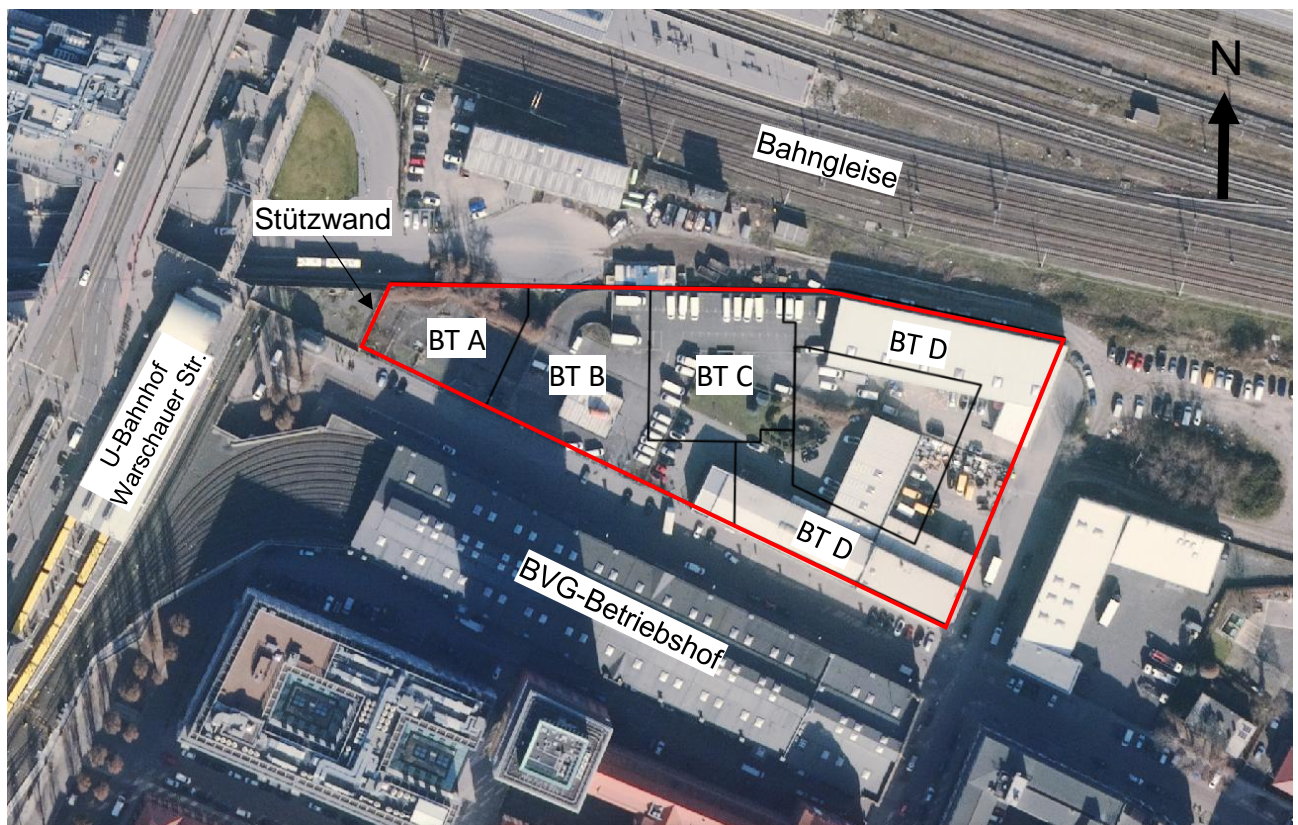


Bild 0-1 Lage des Baugrundstücks mit den geplanten Bauteilen A bis D (rot) und den Nachbarbauwerken [Luftbild: Geoportal Berlin]

Für die Verformungsberechnung wurden numerische 3D-FE-Berechnungen durchgeführt. Zur Berücksichtigung der natürlichen Variabilität der Bodeneigenschaften

wurden die rechnerisch ermittelten Werte um 20 % erhöht (mögliche Verformungen). Herstellbedingte Verformungen (z.B. aus der Herstellung der Baugrubenwände und der Dichtsohlen) wurden auf Basis von Erfahrungswerten bei Bauvorhaben in Berlin abgeschätzt und mit den rechnerisch ermittelten Verformungen überlagert.

Folgende Maximalwerte der möglichen Verformungen (rechnerisch + herstellbedingt) wurden für die Bauwerke ermittelt:

	vertikal (Setzung) [mm]	horizontal (in Richtung Baugrube) [mm]
Bahngleise	8	7
BVG-Betriebshof	8	8
Stützwand Rudolfstr.	50	41

Die prognostizierten Verformungen der Bahngleise und des BVG-Betriebshofs resultieren nahezu vollständig aus den Gebäudelasten der Bauteile B und C (Mitnahmesetzungen). Die Verformungen der Stützwand Rampe Rudolfstraße resultieren hingegen aus der Herstellung der Baugrube für Bauteil A. Eine detaillierte Darstellung der Verformungen sowie der Entwicklung über die Bauphasen ist in Kap. 7 enthalten.

Die möglichen Setzungen der Bahngleise von max. 8 mm liegen unter der zulässigen Differenzsetzung innerhalb des Instandhaltungsintervalls von $\Delta s = 62$ mm (siehe Kap. 8.2). Sollten sich die Gleise bereits vor Baubeginn am Rand des zulässigen Verformungsbereichs befinden, ist ggfls. während der Bauzeit ein Nachstopfen der Bahngleise erforderlich.

Die prognostizierten Setzungen des BVG-Betriebshofs von max. 8 mm erfordern eine Abstimmung mit der BVG sowie eine Bewertung der Verträglichkeit, basierend auf dem Ist-Zustand des Bauwerks. Die für die Verformungsprognose getroffenen Annahmen zur Gründung und zu den Lasten des Bestandsgebäudes müssen in den weiteren Planungsphasen verifiziert werden.

Die vergleichsweise großen Setzungen und Horizontalverformungen der Stützwand Rampe Rudolfstraße resultieren vorrangig aus der angenommenen Flachgründung der Stützwand. Für die Stützwand liegen keine Bestandsunterlagen vor, es ist jedoch

wahrscheinlich, dass die Wand als Bohrpfehlwand ausgeführt bzw. auf Bohrpfehlen gegründet wurde. In diesem Fall wären die zu erwartenden Setzungen deutlich geringer. In den weiteren Planungsphasen sollte die vorhandene Gründung der Stützwand genauer untersucht und die Ergebnisse bei der Verformungsprognose berücksichtigt werden. Sollte sich bestätigen, dass die Stützwand tatsächlich flach gegründet ist, sind Sicherungsmaßnahmen (z.B. mittels DSV-Unterfangung) zu empfehlen, um die Verformungen auf ein verträgliches Maß zu reduzieren.

Die möglichen Setzungen am S-Bahnhof Warschauer Str. sind ≤ 2 mm, an der Warschauer Brücke sowie dem U-Bahnhof Warschauer Str. sind sie < 1 mm.

Wir empfehlen eine geodätische und bautechnische Beweissicherung der Bahngleise, der Stützwand Rudolfstraße und des BVG-Betriebshofes während der Baumaßnahme.

Die prognostizierten Verformungen sind Prognosewerte gemäß DIN EN 1997-1 und DIN 1054. Die tatsächlich eintretenden Verformungen sind während der Bauausführung messtechnisch zu erfassen. Bei maßgebenden Bauzuständen sind die Messergebnisse und die Ergebnisse der rechnerischen Prognose miteinander zu vergleichen. Bei maßgeblichen Überschreitungen der Werte bei der Messung gegenüber den Werten der Prognose ist zu überprüfen, inwieweit die in der Prognose verwendeten geometrischen Vorgaben, geotechnischen Kenngrößen und sonstigen Berechnungsannahmen noch zutreffen. Ergeben sich dabei Abweichungen von den ursprünglichen Annahmen, so ist die Verformungsprognose zu überarbeiten und die Verträglichkeit erneut zu bewerten. Gleiches gilt bei Planungsänderungen für die Neubauten oder die Baugruben.

1 UNTERLAGENVERZEICHNIS

1.1 Unterlagen zum Bauvorhaben, Planungsunterlagen

- [U 1] Projektsteckbrief Quartier Warschauer Brücke/ Rudolfstraße 18, REALACE GmbH, 06.11.2025
- [U 2] Amtlicher Lageplan für das Grundstück/Bauvorhaben Rudolfstraße 17, 18 und Ehrenbergstraße 15, Vermessungsingenieure Zech – Ruth - Blasius, 26.11.2025
- [U 3] Architekturplanung der Bauteile B und C, Henning Larsen GmbH, Stand 02/2026, Grundrisse und Schnitte
- [U 4] Architekturplanung BT D, Thomas Müller Ivan Reimann Architekten, Stand 02/2026
- [U 5] Geotechnischer Bericht (Voruntersuchung), BV WAB - Quartier Warschauer Brücke, GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, Bericht G 233/25_Rev.01, 18.02.2026
- [U 6] Baugrubenplanung (Vorplanung) für das Bauteil A (Rudolfstraße 19), Ingenieurbüro für Grundbau und Umwelttechnik Günther & Lippick GbR: - RUD19_LP2_BG_V (Grundriss und Schnitt), Stand 06.02.2026
- [U 7] Baugrubenplanung (Vorplanung) für die Bauteile B, C und D (Rudolfstraße 17-18), GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH: - WAD_00_GuD_3_300_GS_0002_VA_00, Stand 02/2026
- WBE_00_GuD_3_300_GS_0001_VA_00, Stand 02/2026
- [U 8] Gebäudelasten des Bauteils A (Rudolfstraße 19), Ingenieurbüro für Grundbau und Umwelttechnik Günther & Lippick GbR, per E-Mail übermittelt am 06.02.2026
- [U 9] Gebäudelasten der Bauteile B, C und D (Rudolfstraße 17-18), Werner Sobek Frankfurt GmbH, per E-Mail übermittelt am 14.01.2026

1.2 Unterlagen zu den Bahnanlagen

- [S 1] Streckenplan (Ivl-Plan) 6153 AF, Strecke 6153 km 0,6 + 68 ... km 1,4 + 25, DB Netze AG, 03.05.2022
- [S 2] Streckenplan (Ivl-Plan) 6153 AL, Strecke 6153 km 1,4 + 25 ... km 2,1 + 37, DB Netze AG, 26.07.2022

1.3 Normen / Regelwerke / Richtlinien

- [L 1] Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Ernst & Sohn Verlag, 6. Auflage
- [L 2] Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, Deutsche Fassung DIN EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013, einschl. Nationaler Anhang NA:2010.
- [L 3] DIN 1054: 2021-04: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [L 4] Ril 836: Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, 08. Aktualisierung, gültig ab 01.05.2022
- [L 5] Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP-Richtlinie), Jürgen Hanisch, Rolf Katzenbach, Gert König, Ernst & Sohn Verlag, 2002

1.4 Sonstige Unterlagen

- [R 1] Plaxis Reference Manual, Plaxis 3D, 2024
- [R 2] Schädlich, B.; Richter, Th.; Borchert, K.-M.: Herstellbedingte Verformungen bei innerstädtischen Baugruben in Berlin, Christian-Veder-Kolloquium 2021, Graz, S. 35-49
- [R 3] Mittag, J., Richter, T., Schädlich, B., Hao, P: Herausforderungen von Hochhausgründungen in Gebieten mit glazial geprägten Böden, Geotechnik 43 (4), S. 671-678, 2021

2 BESCHREIBUNG DES BAUVORHABENS

2.1 Allgemein

Die Rudolfstraße 18 Projektentwicklungs GmbH und die Rudolfstraße 19 GmbH & Co. KG beabsichtigen, auf dem Gelände zwischen Tamara-Danz-Straße, Rudolfstraße und Ehrenbergstraße in 10245 Berlin-Friedrichshain einen Neubaukomplex aus insgesamt 4 Bauteilen zu errichten. Das geplante Quartier besteht nach [U 1] aus den Bauteilen A, B, C und D.

Das Grundstück hat eine Gesamtfläche von 10.775 m² und ist derzeit im nördlichen Bereich zweigeschossig sowie unterkellert bebaut. Im südöstlichen Bereich befindet sich ebenfalls eine 1-2-geschossige, gewerblich genutzte Bebauung. Die Geländeoberkante (GOK) befindet sich ungefähr auf der Ordinate +36,70 m NHN. Westlich des Grundstücks befindet sich die Warschauer Brücke, nördlich die Gleisanlagen der DB AG sowie südlich ein Betriebsgebäude der BVG.

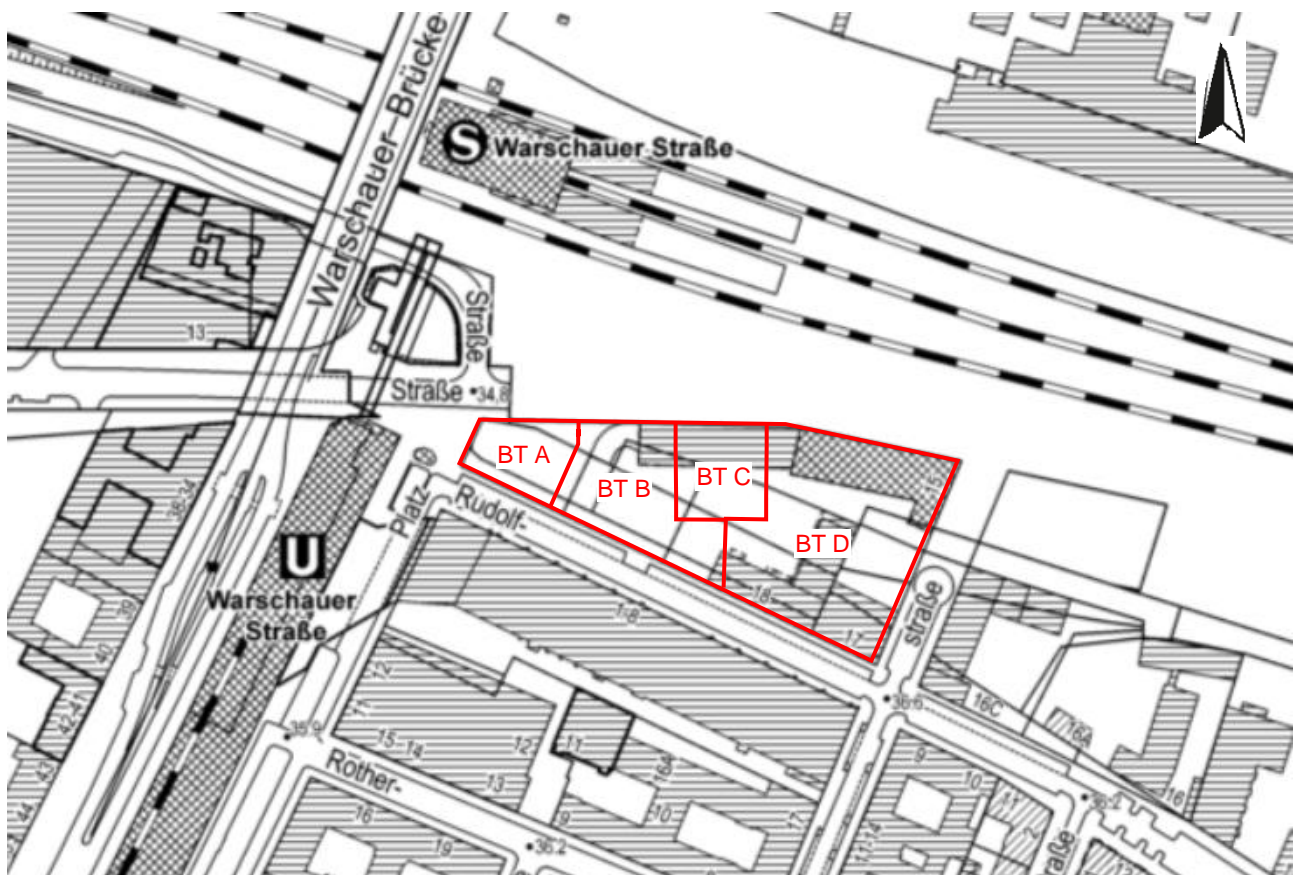


Bild 2-1 Lage des Baugrundstücks mit den Bauteilen A, B, C und D (Hintergrund: Geoportal Berlin / Karte von Berlin 1:5000, SW-Ausgabe)

Die GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH wurde von den o.g. Bauherrn mit einer Verformungsprognose für die Bahnanlagen und Nachbarbauwerke infolge der Baugrubenherstellung und des Neubaus beauftragt.

2.2 Geplante Neubebauung

Das Bauteil A (Forumhaus) soll mit einem UG, EG und 6 bzw. teilweise 7 OG als Hotel genutzt werden. Das Bauteil B (Forumhaus II) soll mit drei Untergeschossen, EG und 6 bzw. teilweise 7 Obergeschossen einer gemischten Nutzung (Serviced Apartments, Gastronomie, Gewerbe) dienen. Das Kernstück des Ensembles ist das Hochhaus Bauteil C. Das ebenfalls dreifach unterkellerte Hochhaus soll 51 Obergeschosse erhalten und zum Wohnen genutzt werden. In dem einfach unterkellerten Bauteil D (Wohnblock) sollen auf 6 bzw. teilweise 7 Obergeschossen Sozial-, Studierenden- und Seniorenwohnungen sowie eine Kita und andere soziale Angebote untergebracht werden.

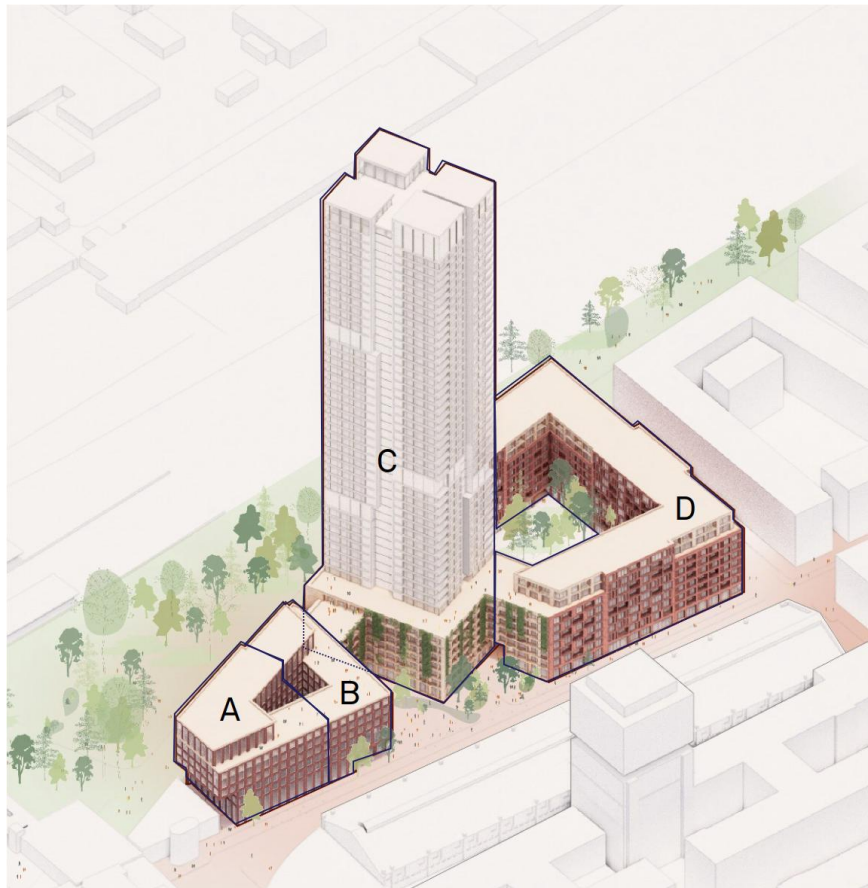


Bild 2-2 Isometrie Neubau WAB [U 1]

Bauteil D frei auskragend ausgeführt werden. Die Baugrubenumschließung erfolgt durch Stahlbetonschlitzwände mit einer Dicke von 80 cm (BT B und C) bzw. 60 cm (BT D). Die horizontale Dichtebene wird durch eine DSV-Sohle gebildet, deren Unterkante bei BT B und C bei +13,0 m NHN und bei BT D bei +28,0 m NHN liegt.

Die Bauteile B und D werden flach auf Stahlbeton-Bodenplatten mit einer Dicke von 1,0 m auf dem anstehenden Boden gegründet.

Für das Hochhaus ist aufgrund der hohen Gebäudelasten eine Kombinierte-Pfahl-Plattengründung (KPP) vorgesehen. Bei dieser Gründungsart werden die Gebäudelasten durch die Bodenplatte und die Gründungspfähle gemeinsam abgetragen (siehe KPP-Richtlinie [L 5]). Als Gründungspfähle sind 64 Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 1,5 m und einer Länge von 20 m ab Unterkante Bodenplatte des Hochhauses vorgesehen.

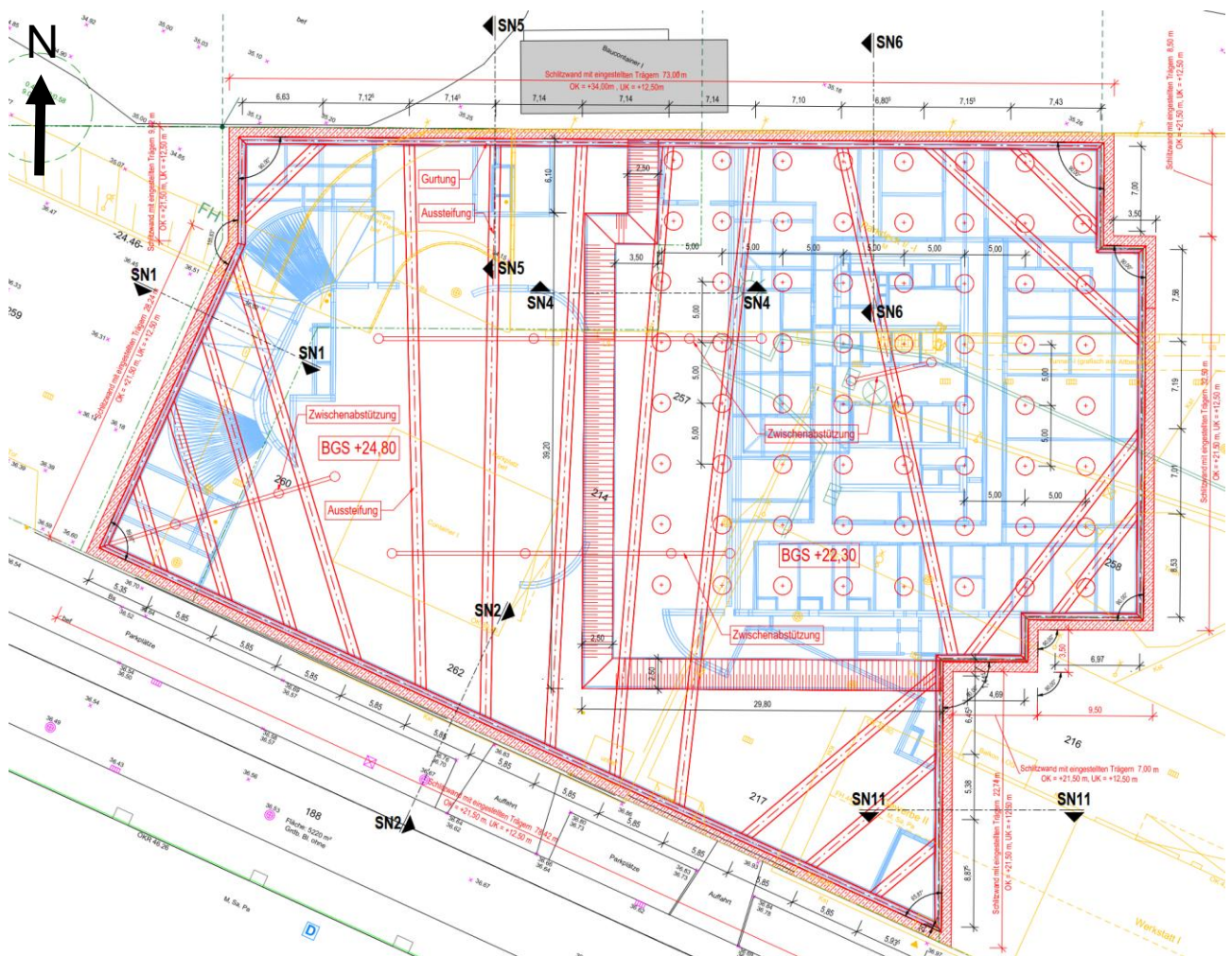


Bild 2-5 Grundriss Baugrube Bauteil B und C (aus [U 7])

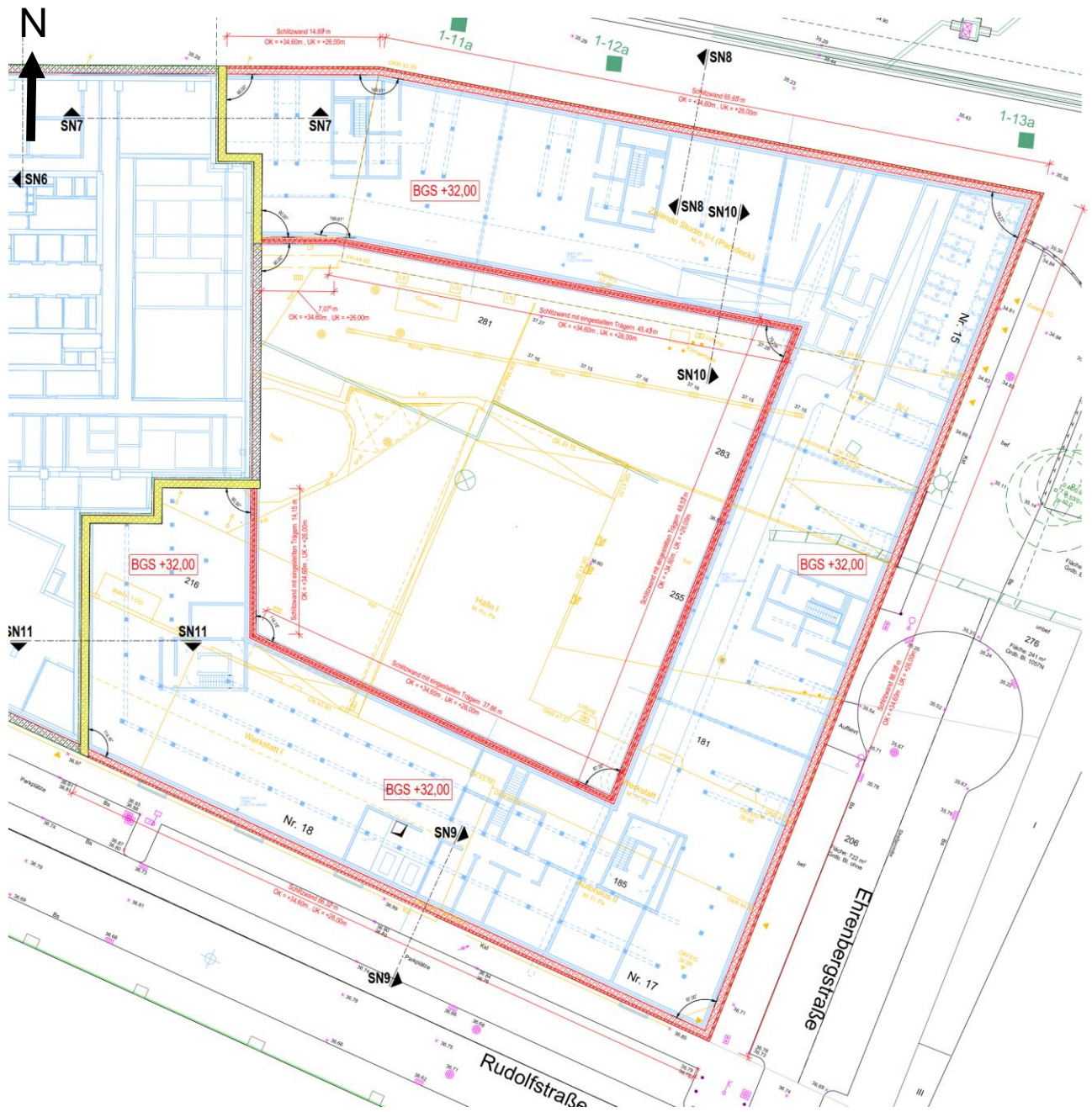


Bild 2-6 Grundriss Baugrube Bauteil B und C (aus [U 7])

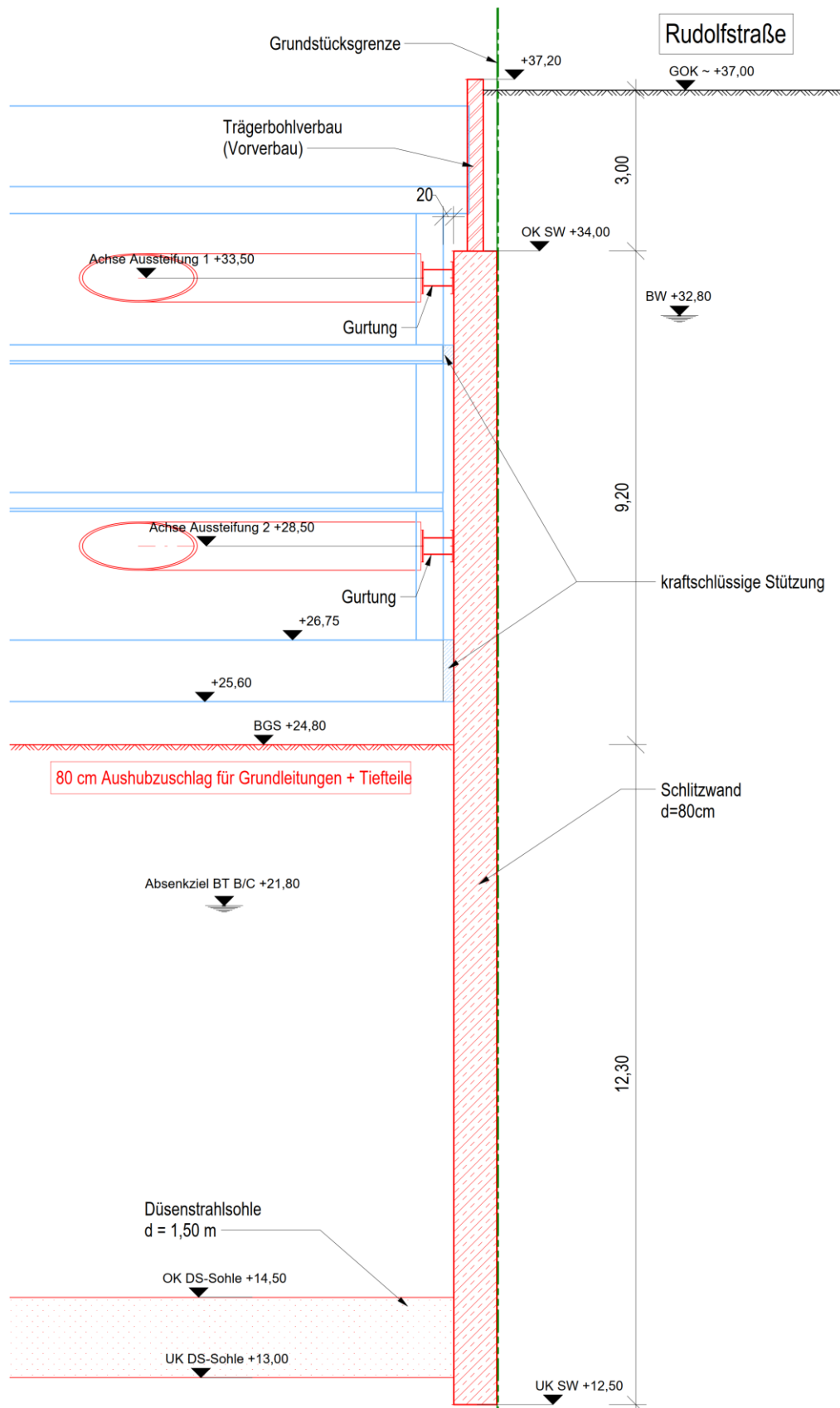


Bild 2-7 Baugrube Bauteil B – Schnitt 2 (aus [U 7])

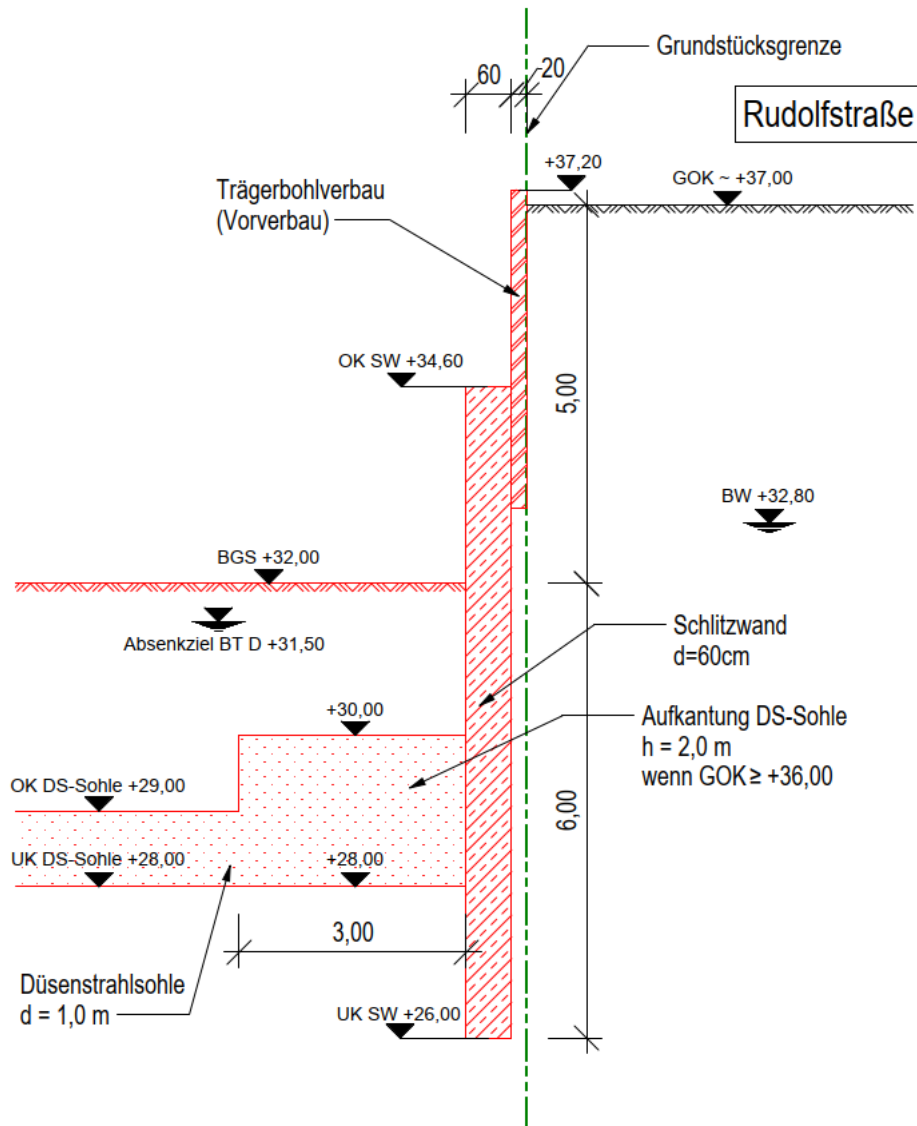


Bild 2-9 Baugrube Bauteil D – Schnitt 9 (aus [U 7])

3 BENACHBARTE BAUWERKE UND ANLAGEN

3.1 Übersicht

Im Nahbereich der Baumaßnahme befinden sich die folgenden Bauwerke und Anlagen:

- die Bahngleise der Strecken 6004 (S-Bahn) sowie 6152 und 6153 (Fern- und Güterverkehr), ca. Strecken-km 1,25 bis km 1,50
- das Gebäude des BVG-Betriebshofs in der Rudolfstraße 1-8
- die Stützwand der ehemaligen Rampe Rudolfstraße

Im weiteren Umfeld des Grundstücks befinden sich die Warschauer Brücke (Abstand zum Baufeld ca. 70 m), der U-Bahnhof Warschauer Straße (Abstand ca. 30 m) sowie der S-Bahnhof Warschauer Straße (Abstand ca. 50 m). Die Verformungen dieser Bauwerke werden aus dem FE-Modell ausgewertet, die Bauwerke werden aufgrund des großen Abstandes und des geringen Einflusses jedoch nicht explizit in dem Modell abgebildet.

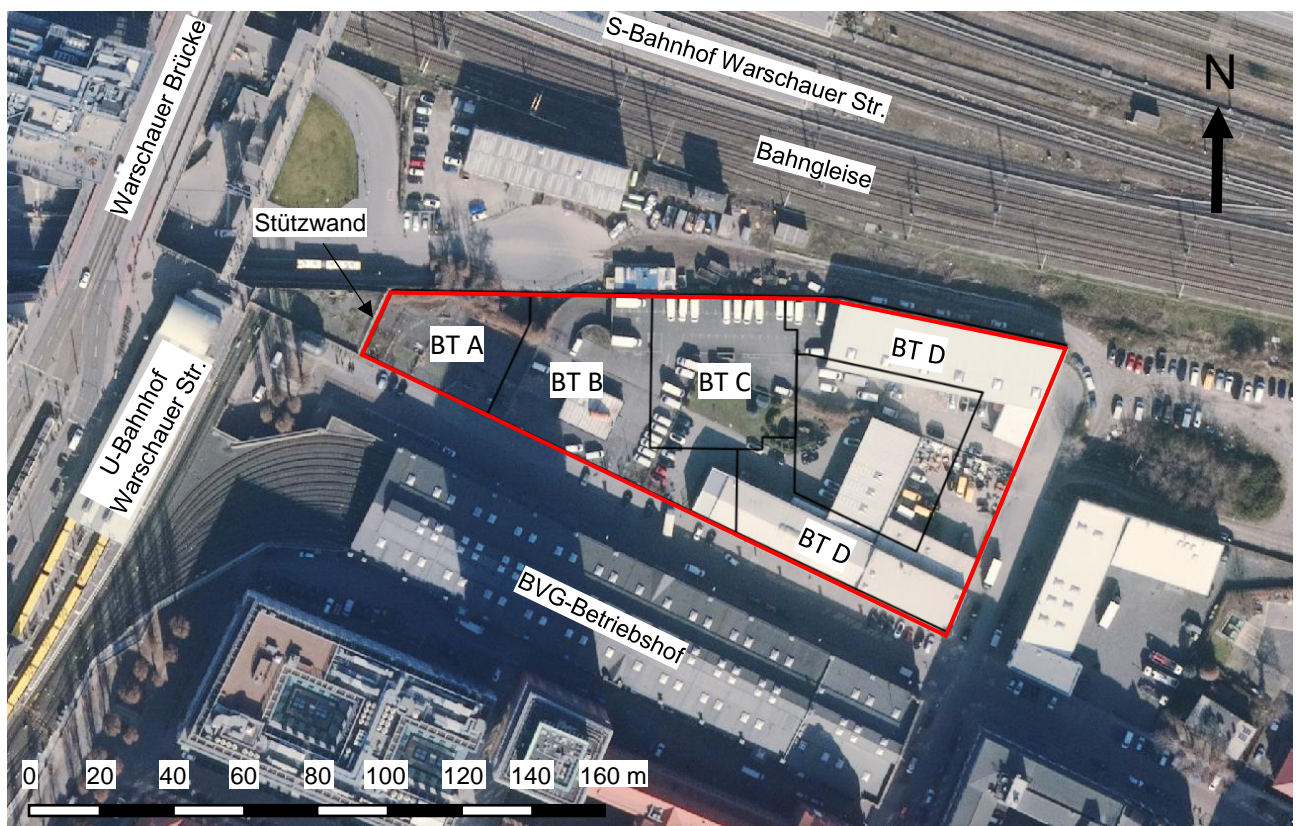


Bild 3-1 Lage des Baugrundstücks (rot) und der Nachbarbauwerke [Luftbild: Geoportal Berlin]

3.2 Gleisanlagen der DB AG

Aktuelle Angaben zu den Schienenoberkanten liegen nicht vor. Das Bahngelände nördlich des Baufelds ist weitgehend eben, so dass die Geländehöhe der Tamara-Danz-Straße von ca. +35,4 m NHN näherungsweise auch für die Schienenoberkanten angesetzt werden kann.

Nach dem Vermesserplan [U 2] werden die in Bild 3-2 angegebenen Abstände der Gleisachsen zur Grundstücksgrenze angesetzt.

Die im Vermesserplan [U 2] in der Tamara-Danz-Straße noch eingezeichneten Oberleistungsmaste (übernommen aus dem IVL-Plan [S 1] und [S 2]) existieren nicht mehr. Vor Ort vorhanden sind ausschließlich Maste direkt neben den Bahngleisen.

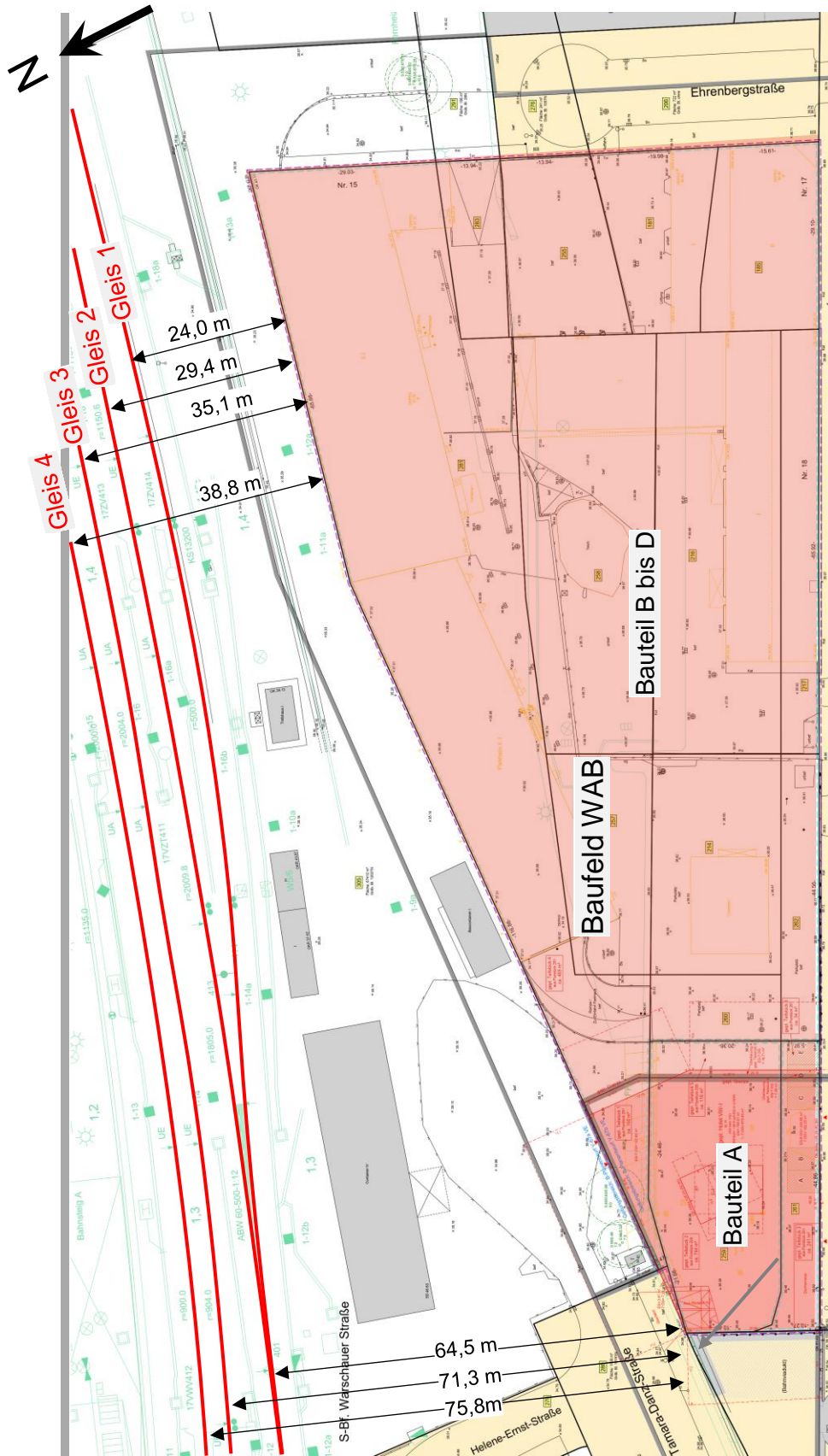


Bild 3-2 Lage der Bahngleise zum Baufeld aus [U 2]

3.3 Stützwand ehemalige Rampe Rudolfstraße

Die unmittelbar westlich von Bauteil A gelegene, ca. 4,5 m hohe Stützwand stellt den Rest der ehemals über das Baugrundstück verlaufenden Rampe Rudolfstraße dar, die bis ca. 1999 von der Warschauer Brücke auf das Höhenniveau der Rudolfstraße führte. Die Rampe wurde 1999/2000 auf dem Grundstück zurückgebaut, ein Rest der Rampe blieb westlich davon jedoch erhalten. Zur Sicherung des dadurch entstehenden Geländesprungs wurde 1999 eine neue Stützmauer errichtet. Nach den Verfassern vorliegenden Informationen aus der Bauzeit wurde die neue Wand vermutlich als Bohrpfehlwand ausgeführt, Konstruktionspläne liegen dazu jedoch nicht vor.



Bild 3-3 Rest der Rampe Rudolfstraße und Stützwand zum Baufeld, Ansicht von Südosten

3.4 BVG-Betriebshof

Das südlich des Baufelds gelegene Betriebsgebäude der BVG in der Rudolfstraße 1-8 wurde 1907 in Stahlskelettbauweise errichtet und steht unter Denkmalschutz. Es handelt sich um ein 2-geschossiges, unterkellertes Gebäude, das im Erdgeschoss durch Gewerbebetriebe und im Obergeschoss als Wagenhalle genutzt wird.

Konstruktionspläne für das Gebäude liegen nicht vor. Für die Verformungsprognose wird von einer 1-fachen Unterkellerung mit einer Gründungssohle in Höhe +33,0 m NHN (ca. 3,7 m unter Gelände) ausgegangen.



Bild 3-4 Ansicht BVG-Betriebsgebäude Rudolfstraße 1-8, Blick Richtung Südosten

4 BAUGRUNDVERHÄLTNISSE

4.1 Bodenschichtung und Kennwerte

Nach dem Geotechnischen Bericht [U 5] kann das in Tabelle 4-1 angegebene Baugrundprofil zusammen mit den in Tabelle 4-2 angegebenen charakteristischen Bodenkennwerten angesetzt werden. Aufgrund der eiszeitlichen Vorbelastung kann für Setzungsberechnungen in den Schichten S3, qhol und S4 die Wiederbelastungssteifigkeit angesetzt werden.

Tabelle 4-1 Baugrundprofil für die FE-Berechnungen nach [U 5]

Bezeichnung	Modellschicht	Bodenart	Lagerungsdichte/ Konsistenz	Ordinaten in m NHN
A	1	Auffüllung	inhomogen	GOK bis +32,0
S1	2	Sand	locker bis mitteldicht	+32,0 bis +30,0
S2	3	Sand	mitteldicht	+30,0 bis +21,0
S3	4	Sand, Kies	dicht	+21,0 bis -13,0
qHol	5	Schluff, Ton	steif bis halbfest	-13,0 bis -24,0
S4	6	Sand	sehr dicht	-24,0 bis -50,0

Tabelle 4-2 Charakteristische Bodenkennwerte gem. [U 5]

Bodenart	Bodenkennwerte				
	Wichte erdfeucht γ_k [kN/m ³]	Wichte Auftrieb γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel ϕ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul E_s/E_{sw} in MN/m ²
A	17,0	10,0	30,0	-	-
S1	17,5	10,0	32,5	-	$18\sqrt{t} / 72\sqrt{t}$
S2	18,0	10,5	35,0	-	$30\sqrt{t} / 90\sqrt{t}$
S3	18,5	10,5	37,5	-	$45\sqrt{t} / 112,5\sqrt{t}$
qHol	19,0	10,5	27,5	30,0	50 / 150
S4	19,0	10,5	37,5	-	$60\sqrt{t} / 120\sqrt{t}$

t = Tiefe unter Geländeoberkante in m

E_s/E_{sw} = Steifemodul für die Erstbelastung / Wiederbelastung

4.2 Grundwasserverhältnisse

Im Geotechnischen Bericht [U5] werden die nachfolgenden Grundwasserstände angegeben:

zu erwartender höchster Grundwasserstand (zeHGW): +33,5 m NHN

bauzeitliche Bemessungswasserstand (GW_{Bau}): +32,8 m NHN

Der bauzeitliche Bemessungswasserstand wird den nachfolgenden Berechnungen zugrunde gelegt.

5 FE-VERFORMUNGSBERECHNUNG

5.1 Berechnungsmodell

5.1.1 Modellgeometrie und Baugrundsichtung

Die Berechnungen erfolgen an einem 3D-FE Modell mit dem Software-Paket PLAXIS 3D V.2024 [R 1]. Die Geometrie des Berechnungsmodells wurde aus den aktuellen Unterlagen zur Baugrube und zum Neubau ([U 3]-[U 9]) sowie den Bestandsunterlagen zu den Bahnanlagen ([S 1], [S 2]) abgeleitet.

Das Berechnungsmodell ist in Bild 5-1 bis Bild 5-4 dargestellt und umfasst die Baugruben für den Neubau der Bauteile A bis D inkl. der Sicherungselemente (Baugrubenwände, Aussteifungen), die Gründung der Neubauten, die Bahngleise, die Lastflächen der Stützwand Rampe Rudolfstraße und des BVG-Betriebshofes sowie den umgebenden Boden. Die Abmessungen des Modells wurden so gewählt, dass die Beeinflussung der Ergebnisse durch die Modellränder vernachlässigbar ist.

Die Geländeoberfläche wird südlich des Baufelds (Seite Rudolfstraße) in Höhe +36,7 m NHN und nördlich des Baufelds (Seite Tamara-Danz-Straße) in Höhe +35,4 m NHN angesetzt (Bild 5-2). Auf dem Baufeld wird zwischen den beiden vorgenannten Höhen interpoliert. Die Baugrundsichtung wird mit dem Profil nach Tabelle 4-1 abgebildet. Die Schichtgrenzen im Modell verlaufen horizontal.

Die Modellunterkante liegt bei -50,0 m NHN und erfüllt die Anforderung für die Grenztiefe für Setzungsberechnungen nach DIN 4019 [L 1] (Grenztiefe = Tiefe bei $\leq 20\%$ Zusatzspannung aus Gebäudelasten bezogen auf die Eigengewichtsspannungen).

Das Berechnungsmodell wird mit ca. 300.000 tetraederförmigen Finiten Elementen mit quadratischer Ansatzfunktion (3 Knoten je Elementkante) diskretisiert. Die Diskretisierung wurde dabei im Bereich der Baugruben, der Bahngleise und der Nachbarbauwerke verfeinert.

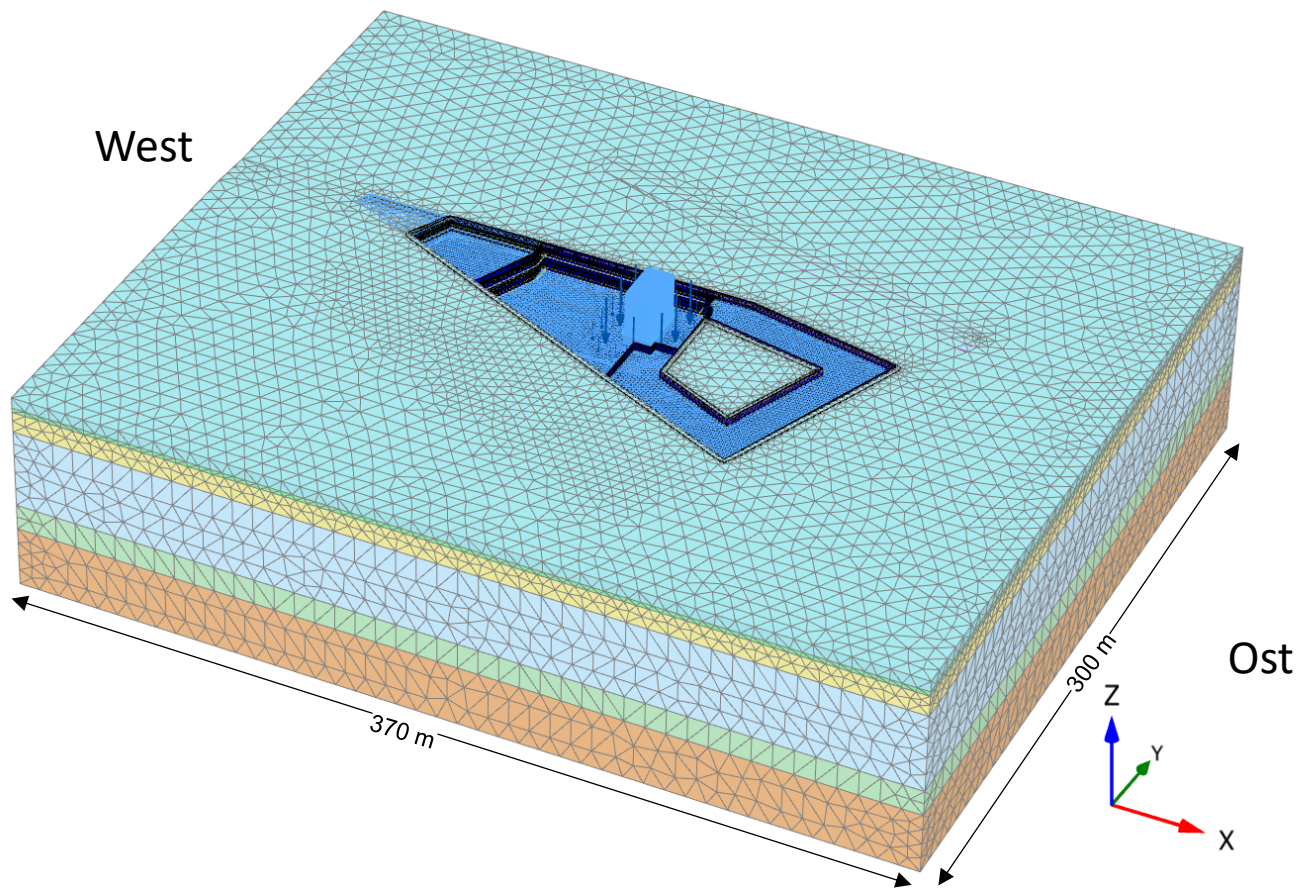


Bild 5-1 Isometrie Berechnungsmodell, Ansicht von Südosten

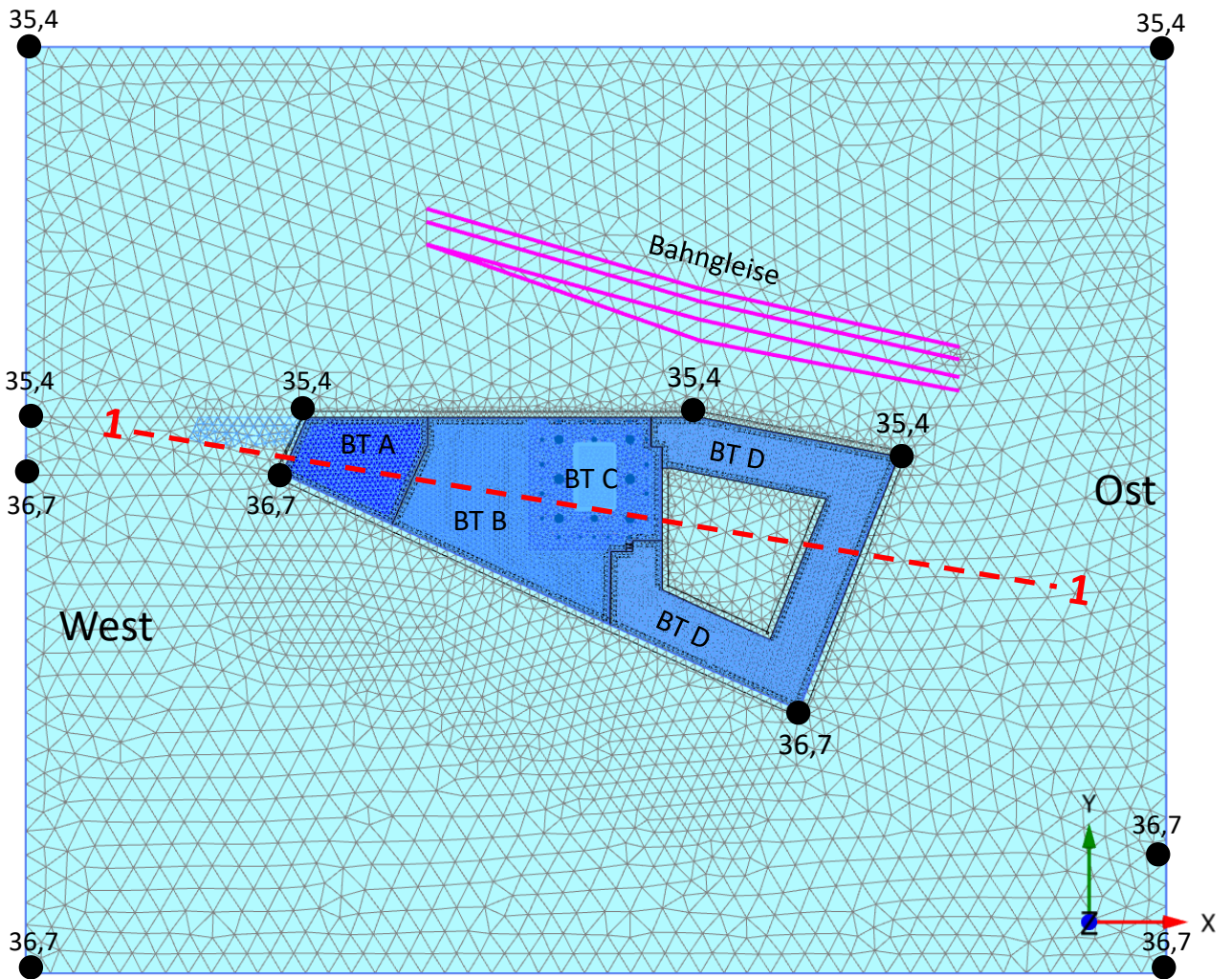


Bild 5-2 Draufsicht Modell - Geländeoberkanten in m NHN

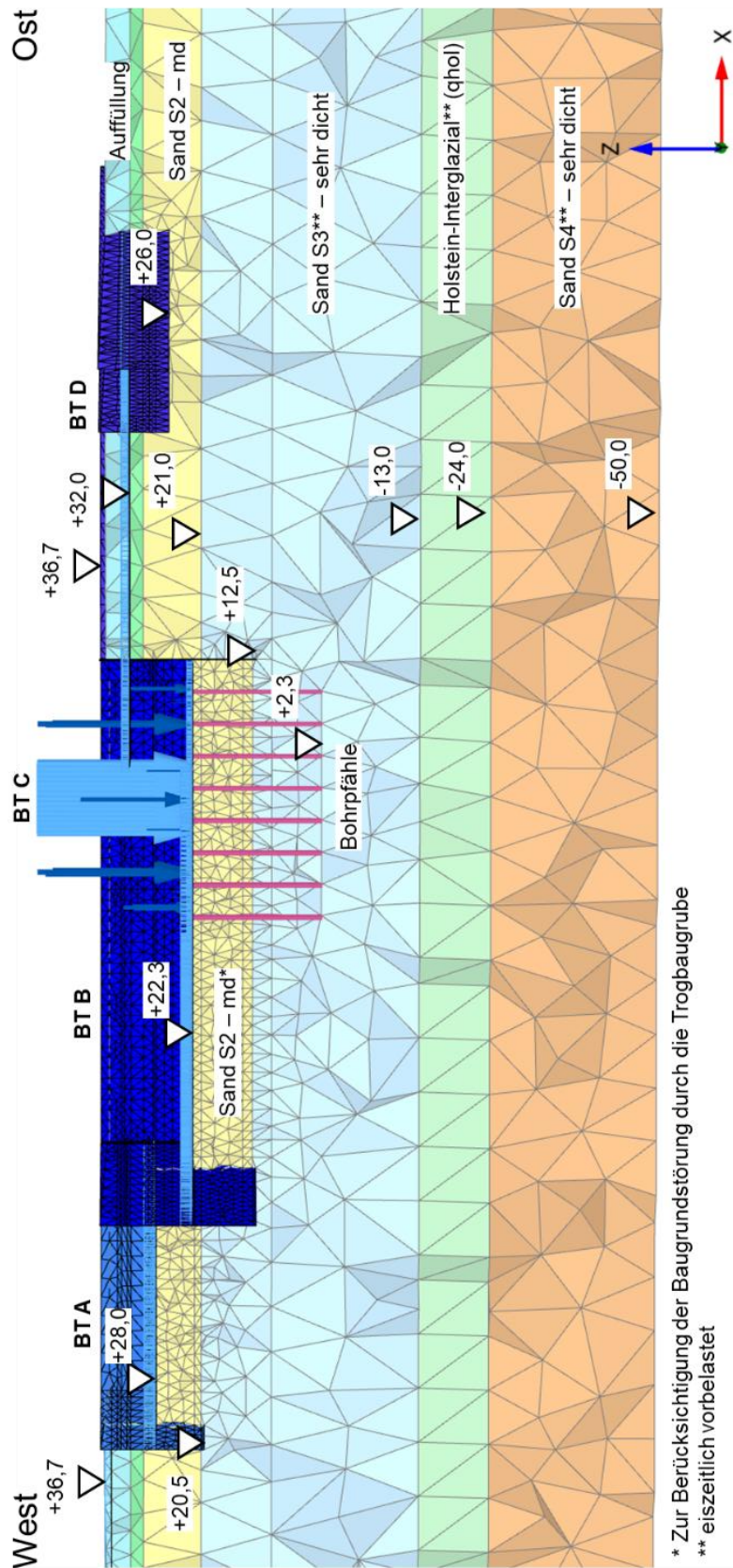


Bild 5-4 Modellschnitt 1-1 (Blick Richtung Norden), Höhen in m NHN

5.1.2 Baugrubenwand - Schlitzwand

Die Schlitzwände werden mit linear-elastischen „plate“ Elementen abgebildet ($E = 20.000 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0,2$, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$). Die Unterkante wird gemäß den Angaben in [U 6] und [U 7] in Höhe +20,5 m NHN (BT A), +12,5 m NHN (BT B+C) und +26,0 m NHN (BT D) modelliert (Bild 5-5). Die Wanddicke wird mit 0,6 m (BT A und D) bzw. 0,8 m (BT B+C) angesetzt (Bild 5-6). Die Oberkante aller Schlitzwände liegt bei +36,7 m NHN.

An der Innen- und Außenseite der Plattenelemente werden Interface-Elemente angesetzt, die Relativverschiebungen zwischen Boden und Baugrubenwand erlauben. Die Scherfestigkeit der Interface-Elementen wird gegenüber der Scherfestigkeit des Bodens auf ca. 2/3 abgemindert ($R_{\text{inter}} = 0,6 \rightarrow \delta' \approx 2/3 \cdot \phi'$).

Die Schlitzwände werden auf der sicheren Seite liegend auf der Grundstücksgrenze modelliert.

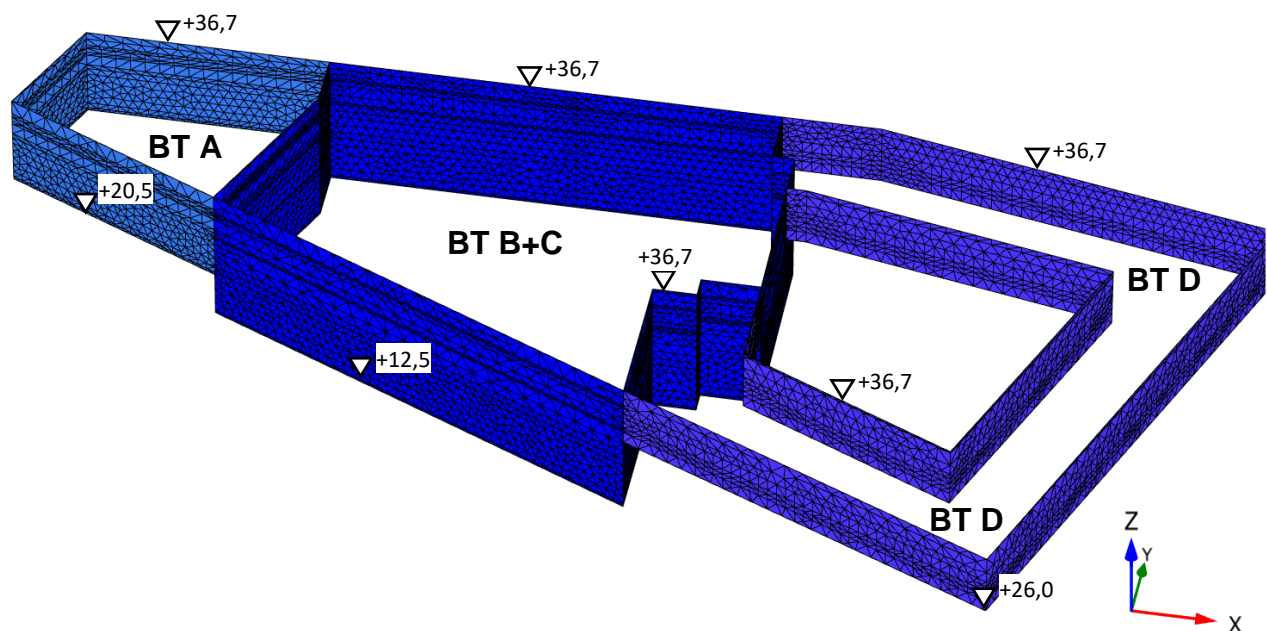


Bild 5-5 Übersicht der modellierten Baugrubenwände (Ansicht von Süden)

Property	Unit	Value	Value	Value
Material set				
Identification number		1	8	5
Identification		Baugrubenwände BT B+C	Baugrubenwände BTA	Baugrubenwände BT D
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
Colour		RGB 0, 0, 255	RGB 55, 121, 242	RGB 75, 53, 255
Comments				SPW AZ 14-700
Properties				
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stiffness				
E ₁	kN/m ²	20.00E6	20.00E6	20.00E6
E ₂	kN/m ²	20.00E6	20.00E6	20.00E6
ν ₁₂		0.2000	0.2000	0.2000
d	m	0.8000	0.6000	0.6000
G ₁₂	kN/m ²	8.333E6	8.333E6	8.333E6

Bild 5-6 Angesetzte Materialkennwerte der Schlitzwände

5.1.3 Düsenstrahlsohle

Die Düsenstrahlsohle wird mit Volumenelementen abgebildet und liegt bei BT A zwischen +21,0 m NHN und +22,0 m NHN, bei BT B+C zwischen +13,0 m NHN und +14,5 m NHN und bei BT D zwischen +28,0 m NHN und +29,0 m NHN.

Für die DS-Sohle wird das Mohr-Coulomb-Materialmodell (MC) verwendet. Die Steifigkeits- und Festigkeitswerte der DS-Sohle werden auf Grundlage von Erfahrungswerten mit $E = 2.000 \text{ N/mm}^2$ (E-Modul) und $f_{ck} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ (einaxiale Druckfestigkeit) angesetzt. Die einaxiale Druckfestigkeit wird unter Ansatz eines Reibungswinkels $\varphi' = 32,5^\circ$ in die Kohäsion c überführt mit

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

Damit ergeben sich die in Bild 5-7 dargestellten Materialkennwerte der DS-Sohle.

Material set		
Identification number		8
Identification	DSV	
Soil model	Mohr-Coulomb	▼
Drainage type	Drained	▼
Colour	 RGB 246, 190, 60	
Comments		
Stiffness		
E'_{ref}	kN/m ²	2.000E6
ν (nu)		0.2000
Alternatives		
G_{ref}	kN/m ²	833.3E3
E_{oed}	kN/m ²	2.222E6
Depth-dependency		
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
Wave velocities		
V_s	m/s	609.6
V_p	m/s	995.4
Strength		
Shear		
c'_{ref}	kN/m ²	823.0
φ' (phi)	°	32.50

Material set		
Identification number		8
Identification	DSV	
Soil model	Mohr-Coulomb	▼
Drainage type	Drained	▼
Colour	 RGB 246, 190, 60	
Comments		
Unit weights		
γ_{unsat}	kN/m ³	22.00
γ_{sat}	kN/m ³	22.00

Bild 5-7 Angesetzte Materialkennwerte der DS-Sohle

5.1.4 Aussteifung

Die Stahlrohrsteifen werden mit linear elastischen „node-to-node-anchor“-Elementen abgebildet. Die Steifenquerschnitte werden gemäß der Baugrubenplanung [U 6] und [U 7] angesetzt und sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Die Gurtung BT A wird in Höhe +34,1 m NHN mit Balkenelementen abgebildet (Profile 2x HEB 500 liegend: $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$, $I_2 = I_{zz} = 25\,247\text{ cm}^4$, $I_3 = I_{yy} = 214\,351\text{ cm}^4$). Die Gurtung BT B+C wird in Höhe +33,5 m NHN (1. Steifenlage) und +28,5 m NHN (2. Steifenlage) abgebildet (Profile 2x HEA 600: $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$, $I_2 = I_{zz} = 22\,540\text{ cm}^4$, $I_3 = I_{yy} = 282\,400\text{ cm}^4$). In der Baugrube BT D ist keine Aussteifung geplant.

Tabelle 5-1 Angesetzte Kennwerte der Steifen

Steife	Durchmesser	Blechdicke	Fläche	E*A
	[mm]	[mm]	[cm ²]	[kN]
BT B+C	900	25.0	687.2	1.443E+07
BT A S01	406	16.0	196.0	4.117E+06
BT A S02	508	20.0	306.6	6.439E+06
BT A S03	406.4	12.5	154.7	3.248E+06
BT A S04	610	16.0	298.6	6.270E+06
BT A S05	610	12.5	234.6	4.927E+06

Steife	Durchmesser	Blechdicke	Fläche	E*A
	[mm]	[mm]	[cm ²]	[kN]
BT A S06	wie S04			
BT A S07	wie S04			
BT A S08	wie S05			
BT A S09	610	8	151.3	3.177E+06
BT A S10	457	10	140.4	2.949E+06
BT A S11	711	16	349.3	7.336E+06
BT A S12	wie S04			
BT A S13	508	12.5	194.6	4.086E+06

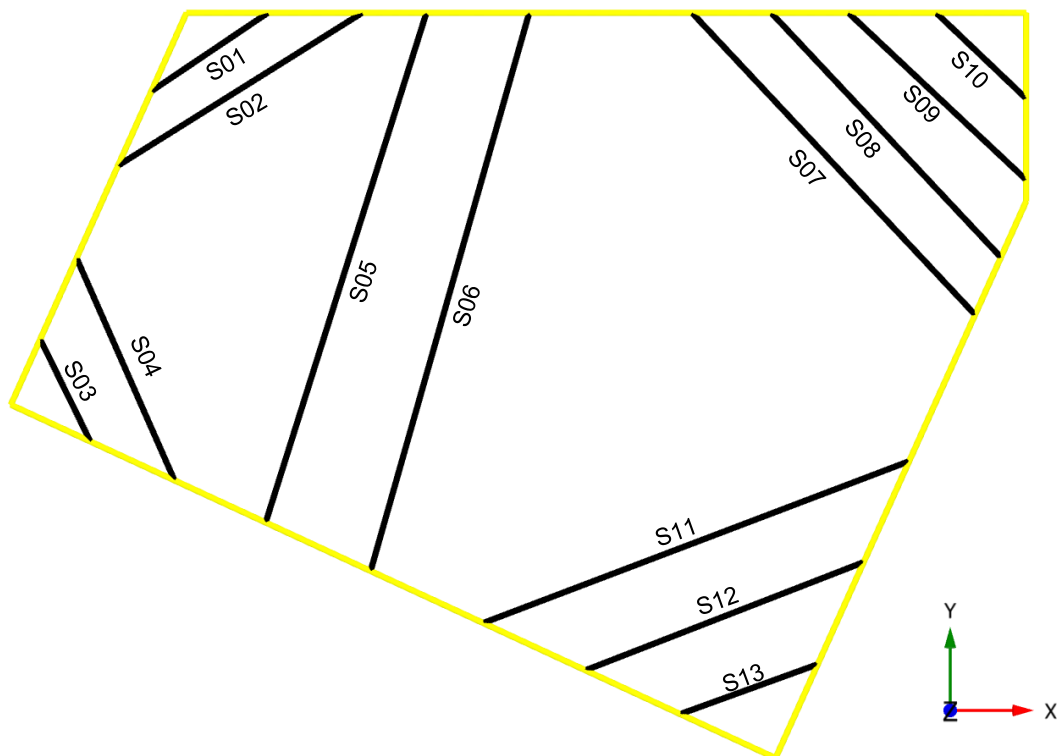


Bild 5-8 Draufsicht Rohrsteifen (schwarz) und Gurtung (gelb) der Baugrube BT A

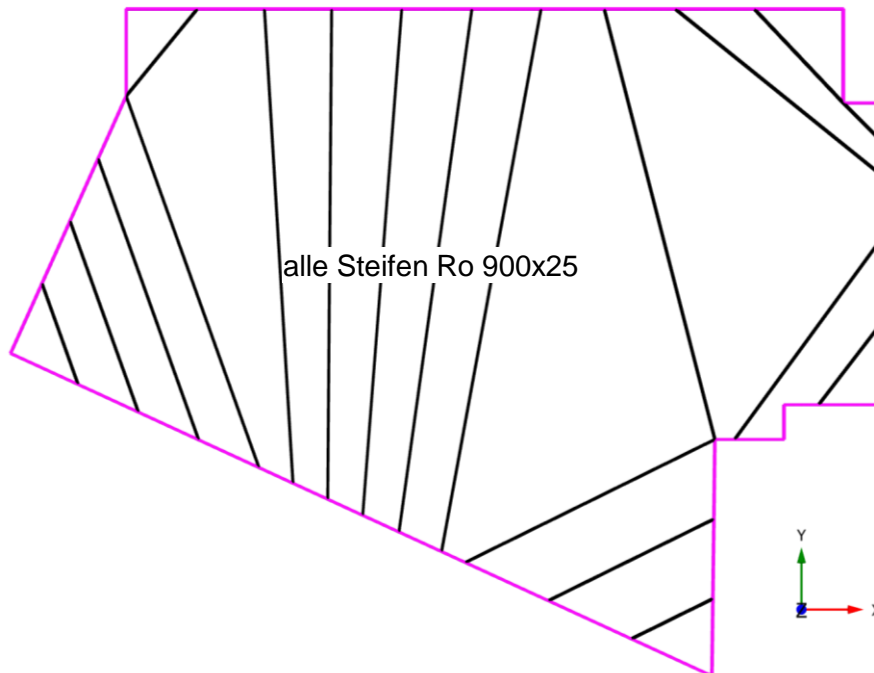


Bild 5-9 Draufsicht Steifen (schwarz) und Gurtung (violett) BT B+C

5.1.5 Gebäudelasten der Neubauten

Die Verformungsberechnung wird für das Gebrauchslastniveau durchgeführt (quasi-ständige Lastkombination = 100% ständige Lasten + 30% veränderliche Lasten). Die charakteristischen ständigen und veränderlichen Lasten des Neubaus werden von den Tragwerksplanern wie folgt angegeben:

- BT A: $g_k = 170 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 40 \text{ kN/m}^2$ [U 8]
- BT B: $g_k = 120 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 50 \text{ kN/m}^2$ [U 9]
- BT C: Einzellasten Randbereich siehe Tabelle 5-2, Flächenlast Kern $g_k = 2130 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 332 \text{ kN/m}^2$ [U 9], mittlere Flächenlast BT C $g + 0,3 \cdot q \approx 750 \text{ kN/m}^2$ zzgl. Bodenplatteneigengewicht
- BT D: $g_k = 100 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 50 \text{ kN/m}^2$ [U 9]

Die angesetzten Lasten für die LK $G + 0,3 \cdot Q$ sind in Bild 5-10 dargestellt.

Tabelle 5-2 Einzellasten BT C nach [U 9]

Stützenposition	Lastsumme Stützenposition (char.) an OK Bodenplatte		Koordinaten	
	ständig	veränderlich	x	y
[-]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
1	6492	580	-0.30	-1.15
2	16152	3735	3.20	-1.15
3	13319	2576	10.20	-1.15
4	15895	3864	14.75	-1.15
5	13319	2576	19.30	-1.15
6	16152	3735	26.30	-1.15
7	6428	580	29.80	-1.15
8	6299	451	31.80	-3.10
9	17247	3928	31.80	-7.15
10	20399	4379	31.80	-15.25
11	8940	1352	31.80	-19.97
12	20399	4315	31.80	-24.69
13	16925	3800	31.80	-32.79
14	6364	515	31.80	-36.84
15	6235	451	29.80	-38.84
16	16217	3800	26.30	-38.84
17	13383	2576	19.30	-38.84
18	15573	3735	14.75	-38.84
19	13383	2576	10.20	-38.84
20	16217	3800	3.20	-38.84
21	6235	451	-0.30	-38.84
22	6364	515	-2.30	-36.84
23	16925	3800	-2.30	-32.79
24	20206	4315	-2.30	-24.69
25	9133	1417	-2.30	-19.97
26	19948	4315	-2.30	-15.25
27	17505	3993	-2.30	-7.15
28	6170	451	-2.30	-3.10
29	39143	14619	3.20	-7.15
30	24396	8630	14.75	-7.15
31	39208	14619	26.30	-7.15
32	43136	16164	26.30	-19.97
33	40753	15263	26.30	-32.79
34	31158	11334	14.75	-32.79
35	40753	15263	3.20	-32.79
36	43200	16164	3.20	-19.97
Summe	669571	184635		

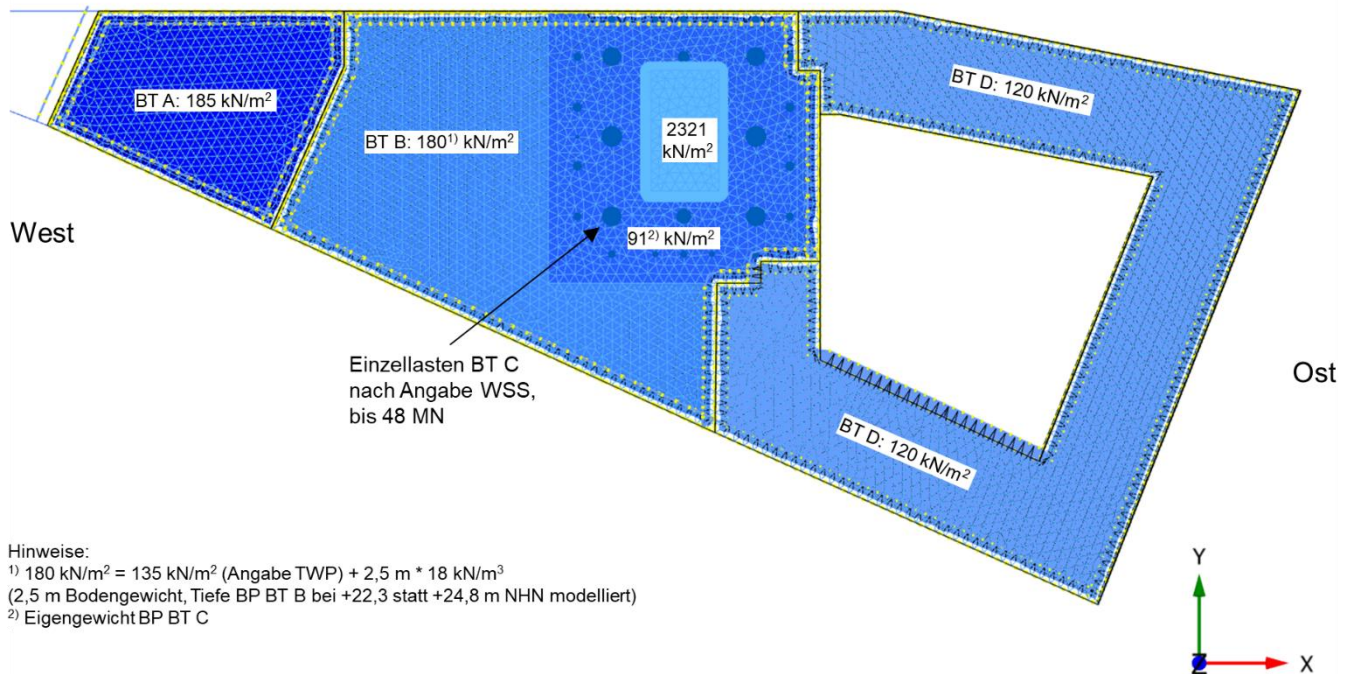


Bild 5-10 Angesetzte Neubaulasten $G + 0,3 \cdot Q$ im FE-Modell

5.1.6 Boden- und Deckenplatten des Neubaus

Die Bodenplatten werden mit linear-elastischen „plate“ Elementen ($E = 30.000 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0$) auf der Aushubsohle abgebildet. Die Plattendicke beträgt 1,2 m bei BT A, 1,0 m bei BT B und D sowie 3,5 m bei BT C (Bild 5-11). Die Plattenelemente sind gewichtslos, da das Eigengewicht bereits in den Gebäudelasten in Kap. 5.1.5 enthalten ist. Die Bodenplatten sind von den Baugrubenwänden in vertikaler Richtung und für Rotation entkoppelt, um die Weiterleitung von Vertikalkräften und Momenten aus der Bodenplatte in die Wände auszuschließen (nur horizontale Stützung der Wände).

Die aussteifende Wirkung der Deckenplatten der Untergeschosse für den Baugrubenverbau nach Rückbau der Aussteifung wird durch die Aktivierung von horizontalen, gewichtslosen Plattenelementen ($d = 0,5 \text{ m}$, $E = 30\,000 \text{ N/mm}^2$) senkrecht zur Baugrubenwand berücksichtigt. Die Stützplatten liegen bei BT A in Höhe +29,2 m NHN und +32,6 m NHN sowie bei BT B+C in Höhe +25,5 m NHN und +32,0 m NHN (jeweils Mitte Deckenplatte). Die Stützplatten sind mit den Baugrubenwänden über Liniengelenke (keine Momentenübertragung) verbunden.

Property	Unit	Value	Value	Value	Value
Material set					
Identification number		7	2	3	4
Identification		Bodenplatte BT_A	Bodenplatte BT_B	Bodenplatte BT_C	Bodenplatte BT_D
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour		RGB 0, 0, 255	RGB 55, 121, 242	RGB 37, 86, 254	RGB 95, 141, 228
Comments					
Properties					
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stiffness					
E ₁	kN/m ²	30.00E6	30.00E6	30.00E6	30.00E6
E ₂	kN/m ²	30.00E6	30.00E6	30.00E6	30.00E6
ν ₁₂		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
d	m	1.200	1.000	3.500	1.000
G ₁₂	kN/m ²	12.50E6	12.50E6	12.50E6	12.50E6

Bild 5-11 Angesetzte Materialkennwerte der Bodenplatten

5.1.7 Gründungspfähle Hochhaus BT C

Die Lage und Länge der Bohrpfähle ist in Bild 5-12 dargestellt. Alle Bohrpfähle werden mit einem Durchmesser $D = 1,5$, einer Unterkante bei $+2,3$ m NHN und einer Steifigkeit von $E = 30.000$ N/mm² angesetzt. Das Pfahleigengewicht wurde im Modell abzüglich des Bodeneigengewichtes mit $\gamma = 25 - 20 = 5$ kN/m³ angesetzt.

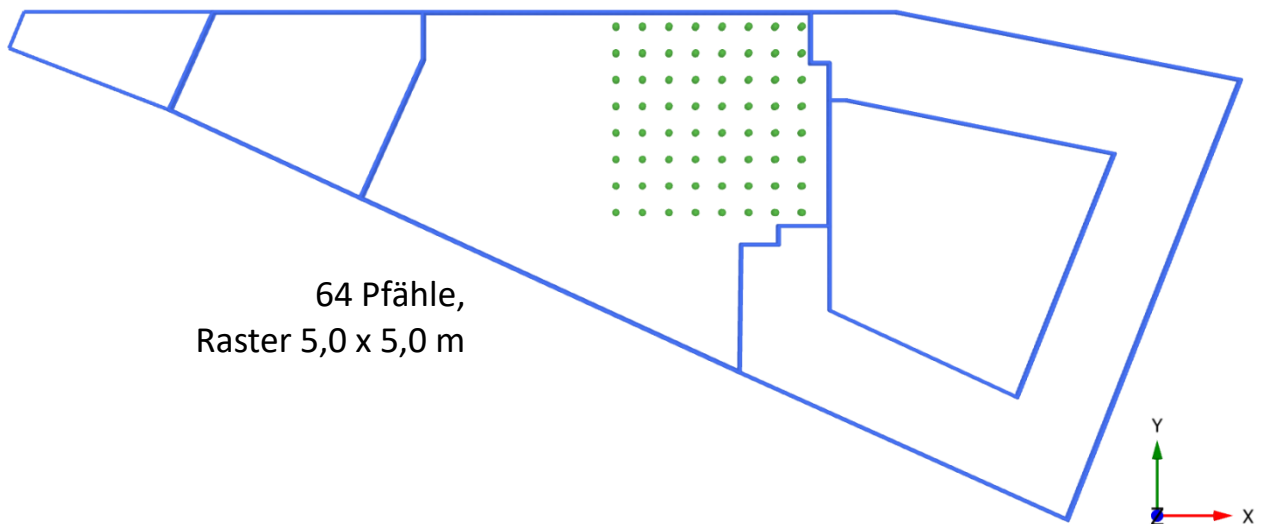


Bild 5-12 Lage der KPP-Pfähle im Grundriss

Die Pfähle werden im FE-Modell mit sog. „embedded-beam-Elementen“ modelliert. Diese Elemente bestehen aus einem Biegebalken, der die inneren mechanischen Eigenschaften des Pfahls (Längs- und Biegesteifigkeit) abbildet und mit dem umgebenden Bodenkontinuum über Schub- und Normalkraftfedern verbunden ist. Die äußere Tragfähigkeit des Pfahles wird limitiert durch die vom Programmanwender vorgegebene Pfahlfußkraft sowie die Mantelreibung. Die Pfahlmantelreibung der embedded piles kann entweder vom Anwender vorgegeben werden, oder sie wird programmintern aus der Normalspannung auf den embedded beam und der Scherfestigkeit des umgebenden Bodens ermittelt. Im vorliegenden Fall wurde die erste Option gewählt. Innerhalb des Pfahldurchmessers werden die Kontinuumselemente des Bodens auf „elastisch“ gestellt, so dass ein Bodenversagen innerhalb des Pfahlquerschnittes ausgeschlossen ist. Eine detaillierte Erläuterung zu diesem Elementtyp ist in [R 1] zu finden. In den hier dargestellten Berechnungen wird die spannungsabhängige elastische Steifigkeit innerhalb des Pfahldurchmesser durch einen sog. „opt-File“ von der mittleren Hauptspannung p' gesteuert, nicht wie im Standardfall von der kleineren Druck-Hauptspannung σ'_3 .

Zur Überprüfung des Last-Verformungsverhaltens der embedded-beam-Elemente wird eine Pfahlprobelastung in einem Einzelpfahlmodell simuliert. Zum Vergleich wird die Last-Setzungskurve der statischen Pfahlprobelastung eines Bauvorhabens im Umfeld des Vorhabens WAB herangezogen. Die Probelastung erfolgte an mantel- und fußverpressten Bohrpfählen mit einem Durchmesser von 1,2 m, weshalb die Nachrechnung ebenfalls mit diesem Pfahldurchmesser erfolgt. Die Probepfähle lagen wie die geplanten KPP-Pfähle des BV WAB in den dicht gelagerten, eiszeitlich vorbelasteten S3-Sanden.

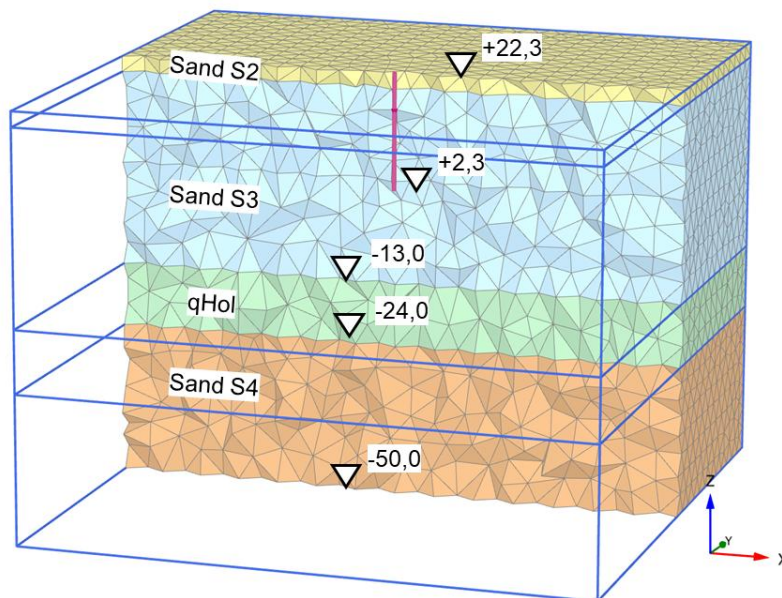
Das Berechnungsmodell ist in Bild 5-13 dargestellt. Am Kopf des Pfahls wird eine verformungsgesteuerte vertikale Belastung eingeprägt. Die Bodenschichtung und die Bodenkennwerte werden von dem Gesamtmodell übernommen (FE-Bodenparameter siehe Tabelle 5-4).

Der Spitzendruckwiderstand wird entsprechend [U 5] mit $q_{b,k} = 3500 \text{ kN/m}^2$ angesetzt. Der Mantelreibungswiderstand wird ebenfalls aus [U 5] entnommen, jedoch zur Berücksichtigung der geplanten Mantelverpressung mit dem Faktor 1,3 erhöht (Tabelle 5-3). Die für den Einzelpfahltest verwendeten embedded-beam-Kennwerte sind in Bild 5-15 dargestellt (Mantelreibung in kN je m Pfahl, Fußwiderstand in kN, d.h. unter Berücksichtigung des Pfahldurchmessers).

Tabelle 5-3 Ansatz der Bohrpfahlwiderstände im FE-Modell

Bodenschicht	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ in kN/m^2	Pfahlspitzenendruck $q_{b,k}$ in kN/m^2 bei einer bezogenen Pfahlkopfsenkung von		
		$s/D = 0,02$	$s/D = 0,03$	$s/D = 0,1$
Sand S2	$1,3 \cdot 80 = 104^*$	--	--	--
Sand S3	$1,3 \cdot 120 = 156^*$	1230	1570	3500

* mit Erhöhung um 30 % für Mantelverpressung

**Bild 5-13** FE-Modell für die Berechnung am Einzelpfahl

Die berechnete Lastsetzungslinie (Bild 5-14) zeigt gegenüber der Last-Verformungskurven der Probelastung eine gute Übereinstimmung.

Für die Abbildung in dem FE-Gesamtmodell wird die Mantelreibung (in kN je m Pfahl) und der Fußwiderstand der Pfähle (in kN) für den größeren Durchmesser $d = 1,5 \text{ m}$ erhöht (Bild 5-16).

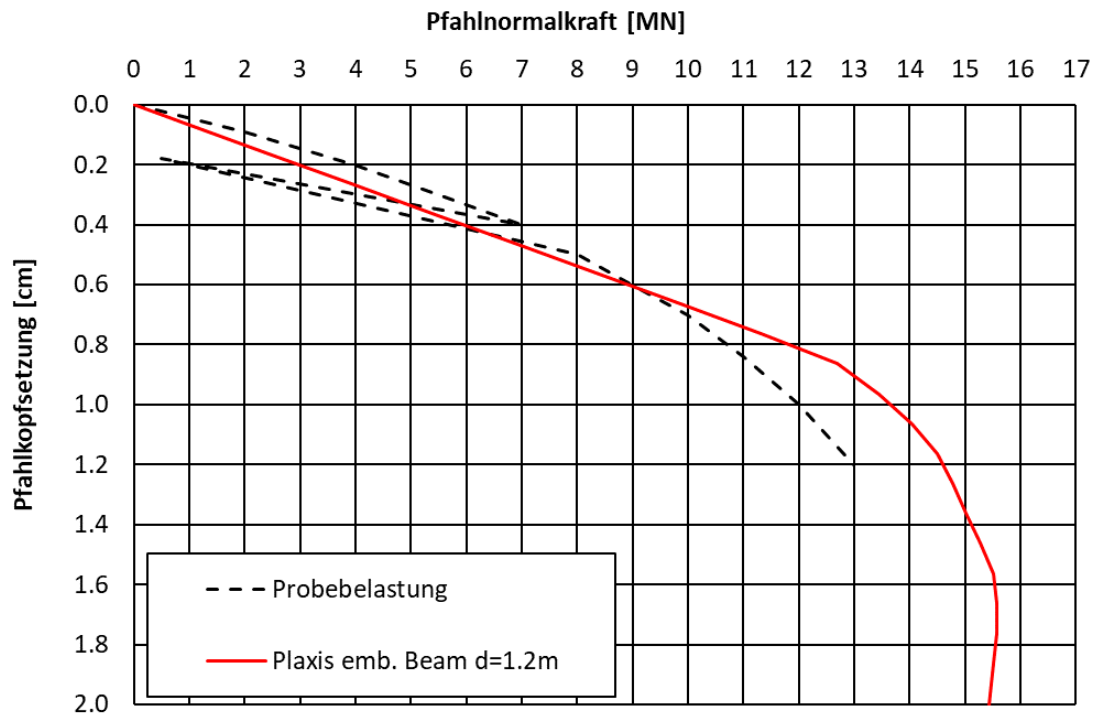


Bild 5-14 Numerische Last-Verformungskurve des Einzel-Bohrpfahls und Vergleich mit der Probebelastung

Property	Unit	Value
Properties		
Cross section type		Predefined
Predefined cross section type		Solid circular beam
Diameter	m	1.200
A	m ²	1.131
I ₂	m ⁴	0.1018
I ₃	m ⁴	0.1018
Stiffness		
E	kN/m ²	30.00E6
Axial skin resistance		
Axial skin resistance		Multi-linear
Multi-linear axial skin resistance		4 rows
Base resistance		
F _{max}	kN	3960

	Distance [m]	Axial skin resistance [kN/m]
1	0.000	392.0
2	1.800	392.0
3	1.810	588.0
4	100.0	588.0

Bild 5-15 Embedded beam Kennwerte zur Nachrechnung der Probebelastung (d = 1,2 m)

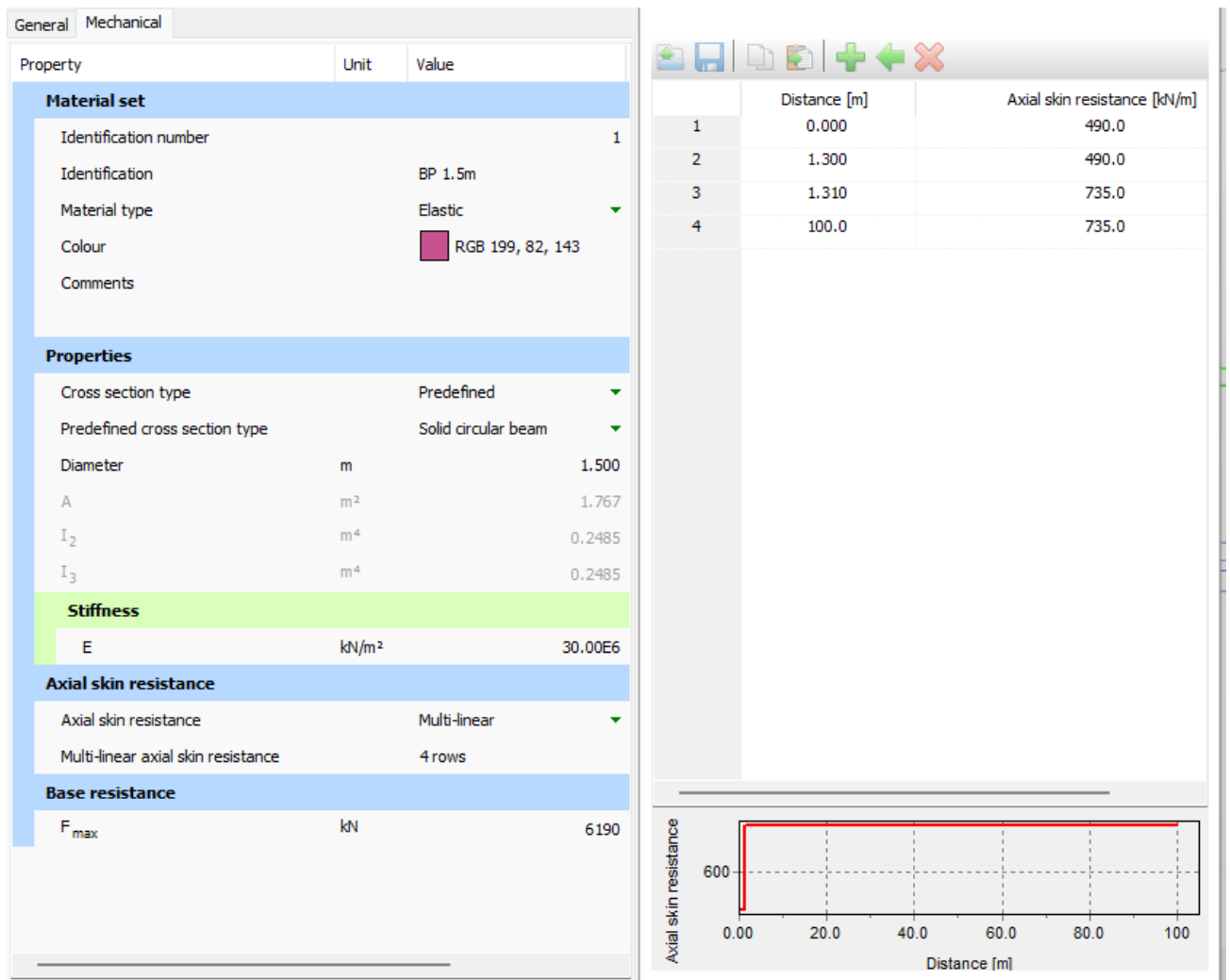


Bild 5-16 Embedded beam Kennwerte der KPP-Pfähle im Gesamtmodell (d = 1,5 m)

5.1.8 Bahngleise

Die S- und Fernbahngleise werden zur besseren Auswertung der Verformungen mit weichen elastischen Balken ($E = 500 \text{ kN/m}^2$, Kreisquerschnitt $\varnothing 10 \text{ cm}$) abgebildet, die in Höhe +35,4 m NHN (OK Gelände) in der jeweiligen Gleisachse liegen. Die Lage der Gleisachsen wird nach dem Lageplan [U 2] angesetzt und ist im Modell entsprechend Bild 5-17 abgebildet.

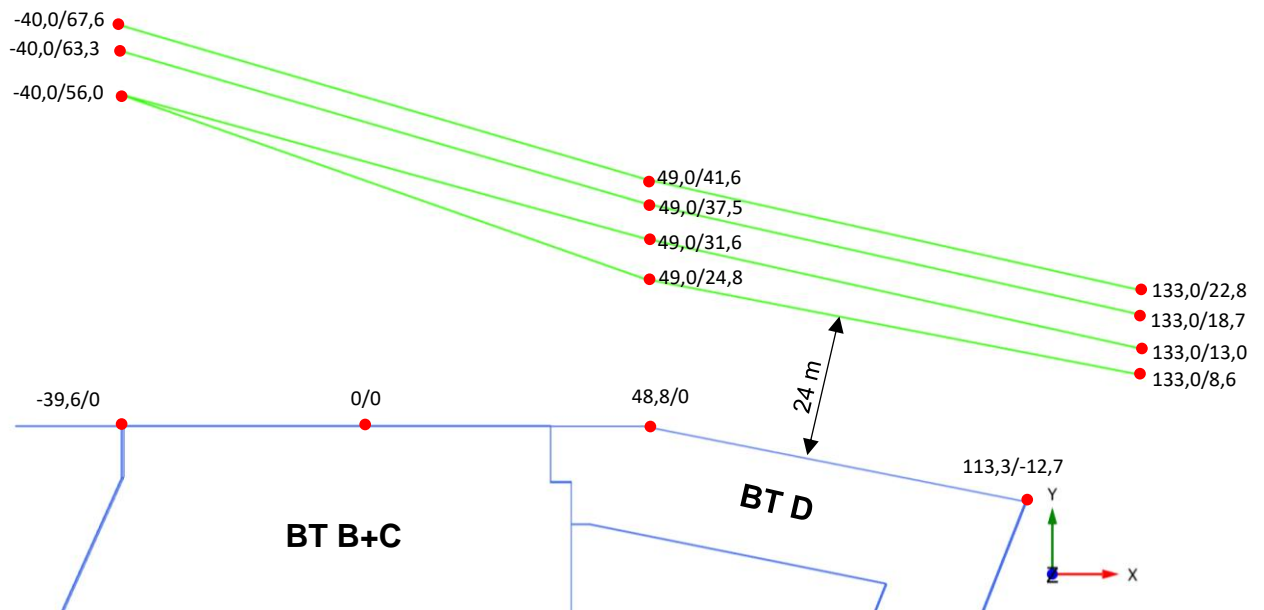


Bild 5-17 Koordinaten der Gleisachsen im FE-Modell – Grundriss

5.1.9 BVG-Betriebshof Rudolfstraße

Der Betriebshof wird vereinfacht als Flächenlast von 80 kN/m^2 in Höhe $+33,0 \text{ m NHN}$ (ca. $3,7 \text{ m}$ unter GOK) abgebildet. Die Lage des Gebäudes zum Baufeld wird dem Vermesserplan [U 2] entnommen und wie in Bild 5-18 dargestellt im Modell abgebildet. Zur Vereinfachung der Auswertung der Verformungen wird in Höhe der angenommenen Gründung des Gebäudes ein biegeweiches, gewichtsloses Plattenelement ($E = 1000 \text{ kN/m}^2$, $d = 0,2 \text{ m}$) angeordnet.

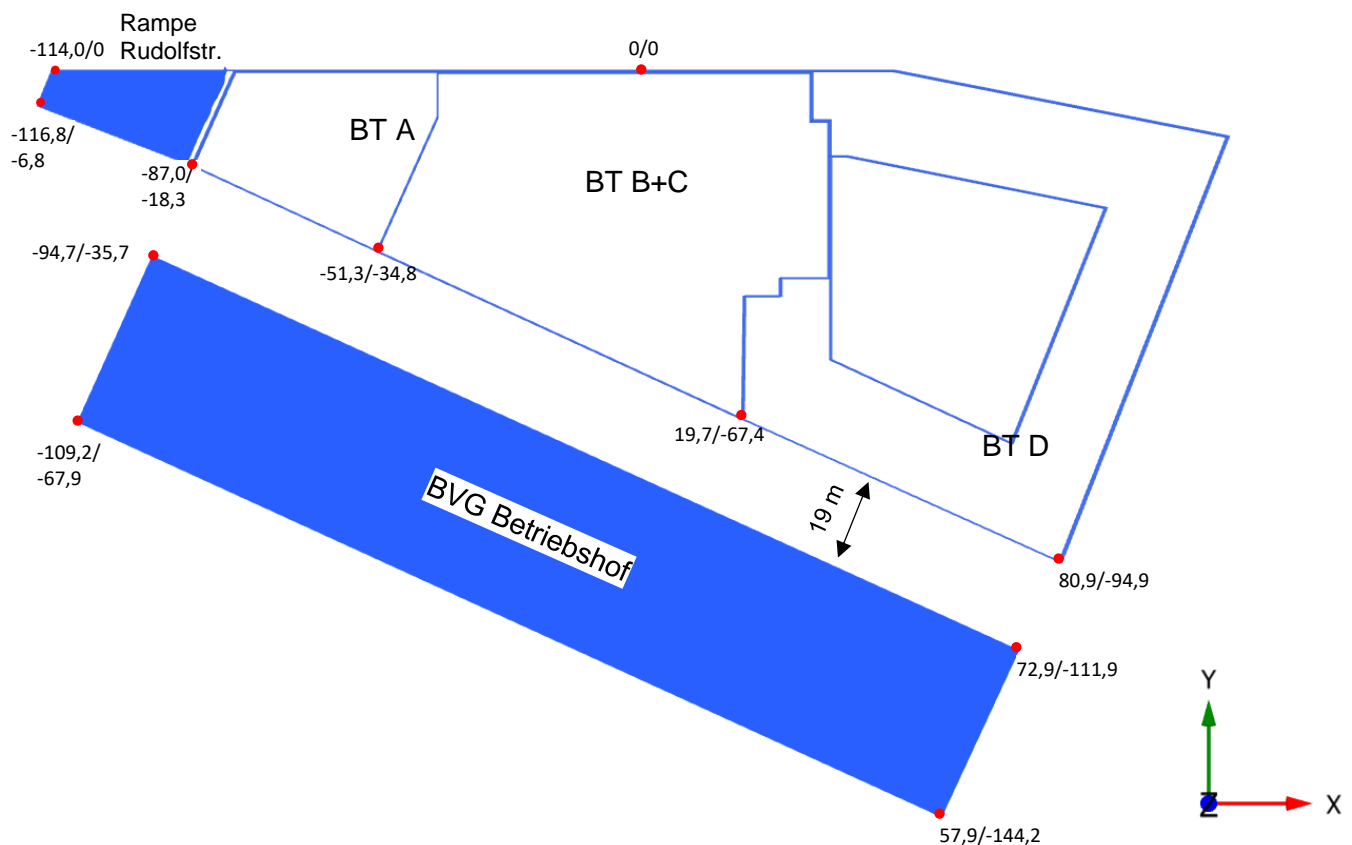


Bild 5-18 Lage des BVG-Betriebshofs und der Rampe Rudolfstraße im FE-Modell – Grundriss

5.1.10 Stützwand Rampe Rudolfstraße

Die Rampe Rudolfstraße wird als Flächenlast von 100 kN/m^2 ($5 \text{ m Höhe} \times 20 \text{ kN/m}^3$) in Höhe $+35,0 \text{ m NHN}$ (ca. $1,7 \text{ m}$ unter GOK) im Modell abgebildet. Die Lage zum Baufeld wird dem Vermesserplan [U 2] entnommen und wie in Bild 5-18 dargestellt im Modell abgebildet. Zur Vereinfachung der Auswertung der Verformungen wird in Höhe der Flächenlast ein biegeweiches, gewichtsloses Plattenelement ($E = 1000 \text{ kN/m}^2$, $d = 0,2 \text{ m}$) angeordnet.

5.1.11 Grundwasser

Es wird ein hydrostatischer Grundwasserspiegel bei $+32,8 \text{ m NHN}$ angesetzt (siehe Kap. 4.2). Der Grundwasserstand außerhalb der Baugruben bleibt über die Berechnungsphasen unverändert. In den Trogbaugruben wird der Grundwasserstand gemäß der Baugrubenplanung [U 6] und [U 7] bauzeitlich auf $+27,0 \text{ m NHN}$ (BT A), $+21,8 \text{ m NHN}$ (BT B+C) bzw. $+31,5 \text{ m NHN}$ (BT D) abgesenkt. Im Endzustand wird der Grundwasserstand in den Baugruben wieder auf das Ausgangsniveau von $+32,8 \text{ m NHN}$ angehoben.

5.2 Materialmodell und Materialparameter für den Boden

Die Bodenschichten werden mit dem Materialmodell Hardening Soil (HS) modelliert. 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 in [R 1] enthalten.

Die in Tabelle 4-2 angegebenen tiefenabhängigen Steifemoduli des Geotechnischen Berichts 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 ($E_{50}^{ref} = E_{Oed}^{ref}$, $E_{ur}^{ref}/E_{Oed}^{ref} = 2,5$ für Sand S3 und S4, sonst 3,0). Die Kalibrierung der HS-Steifigkeitskennwerte für den initialen Spannungszustand ist in Anlage 1 dargestellt.

Die Scherfestigkeiten und Wichten werden aus [U 5] übernommen. Der Dilatanzwinkel wird auf der sicheren Seite liegend mit 0 angesetzt. Die eiszeitliche Vorbelastung der Bodenschichten Sand S3 und S4 sowie q_{hol} wird durch eine Vorbelastung (POP) von 500 kN/m² sowie eine Erhöhung des initiellen Seitendruckbeiwertes auf $K_0 = 0,8$ berücksichtigt. Der angesetzte POP-Wert liegt gegenüber der geologisch gesicherten Eisüberlagerung der Weichselkaltzeit in Berlin von ca. 100 m (entspricht ca. 920 kN/m²) auf der sicheren Seite.

Zur Berücksichtigung einer möglichen Störung des Bodengefüges infolge der Herstellung der DSV-Sohle wird innerhalb der Baugrube BT B+C statt dem S3-Sand bis Unterkante Schlitzwand S2-Sand angesetzt.

Die angesetzten Materialparameter des HS-Modells sind in Tabelle 5-4 zusammengefasst.

Tabelle 5-4 Angesetzte numerische Materialparameter der Bodenschichten (HS-Modell)

Materialparameter	Symbol	Einheit	Auf-füllung	Sand S1	Sand S2	Sand S3	q_{hol}	Sand S4
Reibungswinkel	φ_k	[°]	30	32,5	35	37,5	27,5	37,5
Kohäsion	c_k	[kN/m ²]	0	0	0	0	30	0
Dilatanzwinkel	ψ	[°]	0	0	0		0	0
Wichte trocken	γ_k	[kN/m ³]	17	17,5	18	18,5	19	19
Wichte gesättigt	γ_{sat}	[kN/m ³]	20	20	20,5	20,5	20,5	20,5
Steifigkeit Erstbelastung	E_{oed}^{ref}	[kN/m ²]	15 000	30 000	56 000	135 000	20 000	145 000
Deviatorische Steifigkeit	E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	15 000	30 000	56 000	135 000	20 000	145 000
Steifigkeit Ent- / Wiederbelastung	E_{ur}^{ref}	[kN/m ²]	45 000	120 000	168 000	337 500	60 000	362 500
Referenzspannung	p_{ref}	[kN/m ²]	100	100	100	100	100	100
Exponent	m	--	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5
Vorbelastung	POP	[kN/m ²]	0	0	0	500	500	500
initialer Seitendruckwert	K_0	--	$1-\sin\varphi$	$1-\sin\varphi$	$1-\sin\varphi$	0,8	0,8	0,8

5.3 Berechnungsphasen

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

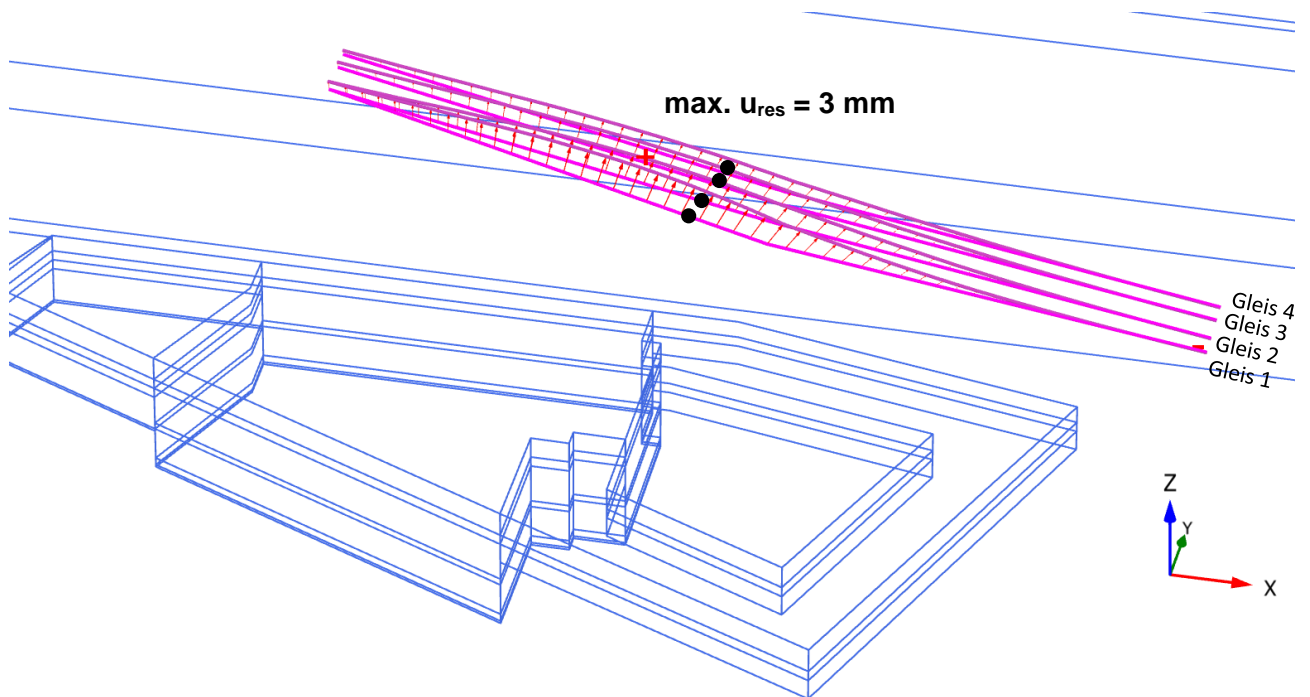
0. Initialzustand: Initialer Spannungszustand mit $\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$, vorhandenes Gelände ohne Bauwerke, Grundwasserspiegel bei +32,80 m NHN.
1. Bestand: Aktivierung Bahngleise, Lastflächen BVG und Rampe Rudolfstraße, danach Zurückstellen der Verformungen auf 0
2. BT B+C: Aktivierung Schlitzwände, DS-Sohle und Bohrpfähle
3. BT B+C: Aushub +33,0 m NHN
4. BT B+C: Pumpversuch (Probeabsenkung) auf +29,8 m NHN in der Baugrube
5. BT B+C: GW-Wiederanstieg auf +32,8 m NHN in der Baugrube
6. BT B+C: GW-Absenkung auf +21,8 m NHN in der Baugrube
7. BT B+C: Aktivierung 1. Steifenlage
8. BT B+C: Aushub +28,0 m NHN
9. BT B+C: Aktivierung 2. Steifenlage
10. BT B+C: Endaushub +22,3 m NHN
11. BT B+C: Aktivierung Bodenplatte (mit Eigengewicht) und Decke über 3. UG
12. BT B+C: Deaktivierung 2. Steifenlage
13. BT B+C: Aktivierung Deckenplatte über 2. UG und Deaktivierung 1. Steifenlage
14. BT B+C: Gebäudelast zur Auftriebssicherheit (150 kN/m²)
15. BT B+C: Zurückstellen Grundwasser
16. BT B+C: 100% Gebäudelasten
17. BT D: Aktivierung Schlitzwände und DS-Sohle
18. BT D: GW-Absenkung +31,5 m NHN in der Baugrube

19. BT D: Endaushub +22,0 m NHN
20. BT D: Aktivierung Bodenplatte (mit Eigengewicht)
21. BT D: 100% Gebäudelasten
22. BT D: Zurückstellen Grundwasser auf +32,8 m NHN
23. BT A: Aktivierung Schlitzwände und DS-Sohle
24. BT A: Aushub +33,6 m NHN
25. BT A: GW-Absenkung auf +27,0 m NHN in der Baugrube
26. BT A: Aktivierung Aussteifung
27. BT A: Endaushub
28. BT A: Aktivierung Bodenplatte (mit Eigengewicht) und Decke über 2. UG
29. BT A: Deaktivierung Aussteifung
30. BT A: Zurückstellen Grundwasser auf +32,8 m NHN
31. BT A: 100 % Gebäudelasten

5.4 Ergebnisse – systembedingte Verformungen

In Bild 5-19 bis Bild 5-24 werden die Berechnungsergebnisse (systembedingte Verformungen) für die maßgebenden Berechnungsphasen 10 – „Endaushub Baugrube BT B+C“ bzw. Phase 27 – „Endaushub Baugrube BT A“ sowie Phase 31 „100% Gebäudelasten“ für die Bahngleise, die Rampe Rudolfstraße und den BVG-Betriebshof graphisch dargestellt. Dargestellt sind die resultierenden Verformungen u_{res} . Eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse für weitere Berechnungsphasen ist in Anlage 2 enthalten. Die Entwicklung der Verformungen über die Berechnungsphasen (getrennt für vertikale und horizontale Verformungen) ist in Bild 5-25 bis Bild 5-28 dargestellt.

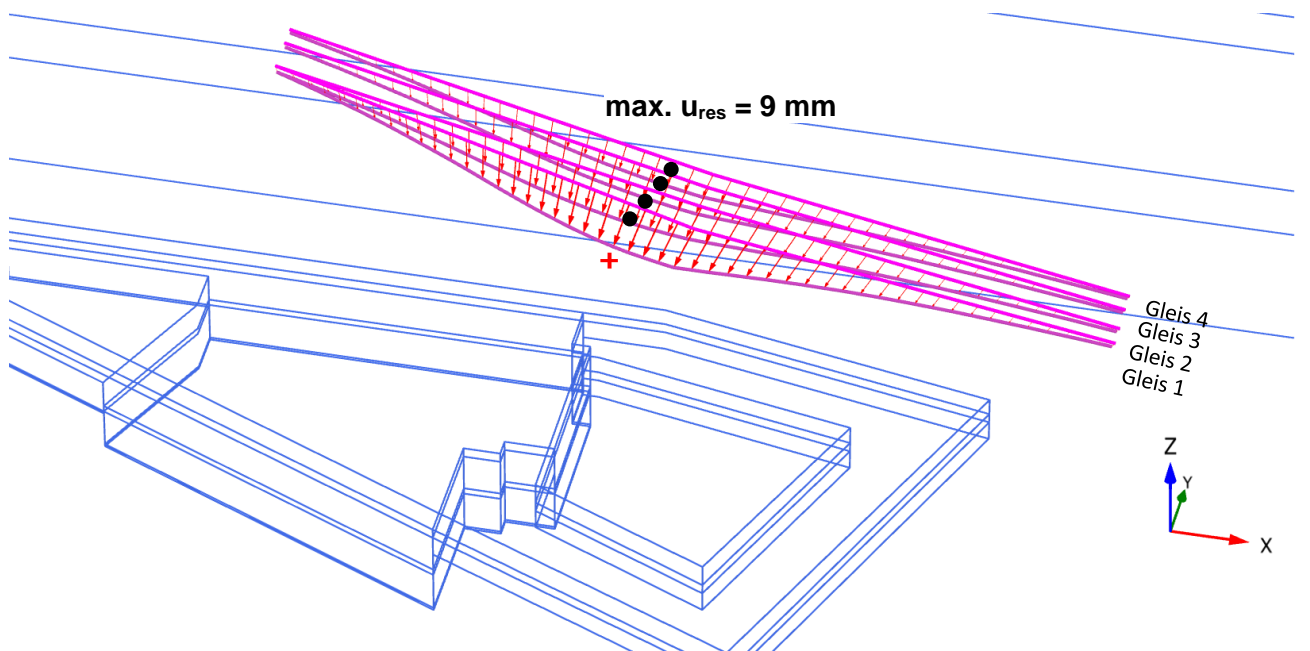
Maßgebend wird für alle Auswertepunkte der Endzustand. Die Verformungen der Bahngleise und des BVG-Betriebshofs resultieren nahezu ausschließlich aus den Gebäudelasten des Bauteils B+C (Hochhaus). Die vergleichsweise großen Verformungen der Stützwand Rampe Rudolfstraße unmittelbar neben BT A werden durch die Herstellung der Baugrube BT A verursacht.



Total displacements $|u|$ (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $2.843 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (Element 58 at Node 30080)

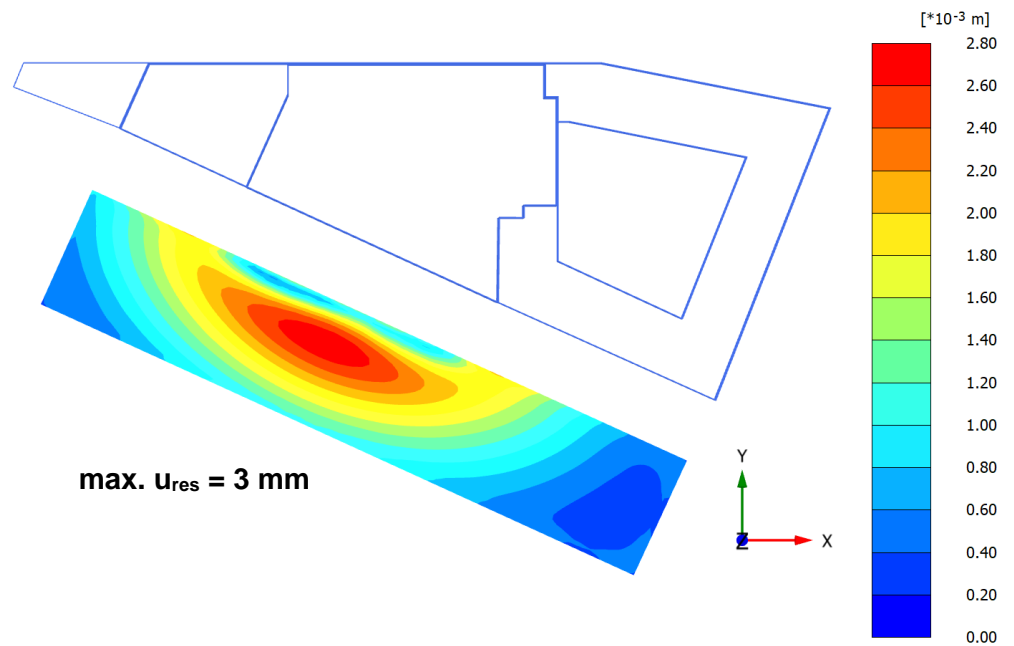
Bild 5-19 Bahngleise - resultierende Verformung u_{res} , Phase 10 – Endaushub BT B+C, Lage der Auswertepunkte in schwarz



Total displacements $|u|$ (scaled up $1.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $8.711 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (Element 60 at Node 30082)

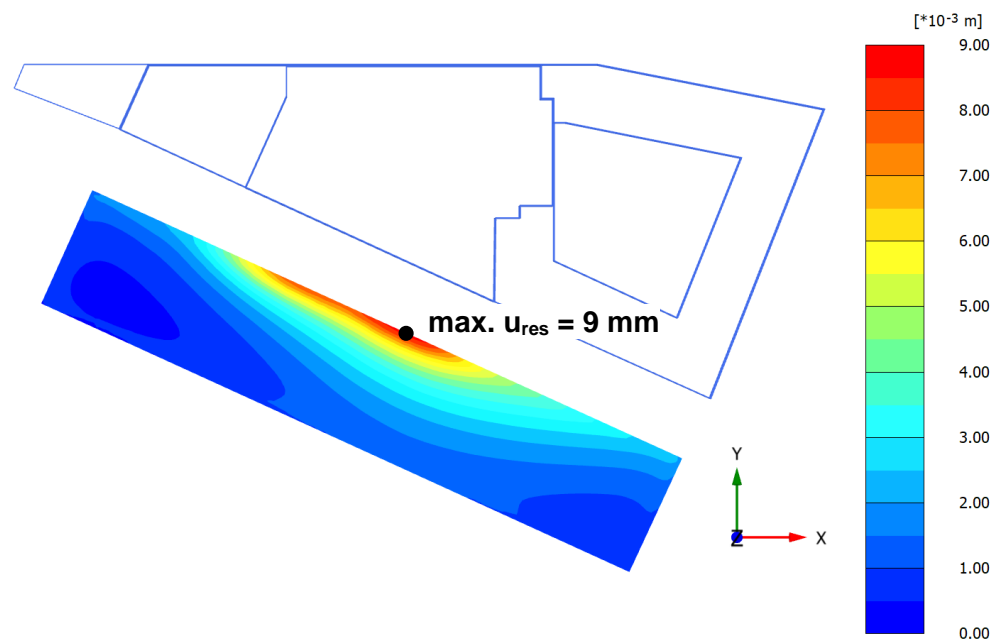
Bild 5-20 Bahngleise - resultierende Verformung u_{res} , Phase 31 – Endzustand



Total displacements |u| (scaled up 5.00*10³ times)

Maximum value = 2.750*10⁻³ m (Element 3476 at Node 150475)

Bild 5-21 BVG-Betriebshof - resultierende Verformung u_{res} , Phase 10 – Endaushub BT B+C



Total displacements |u| (scaled up 2.00*10³ times)

Maximum value = 8.850*10⁻³ m (Element 2703 at Node 31394)

Bild 5-22 BVG-Betriebshof - resultierende Verformung u_{res} , Phase 31 – Endzustand

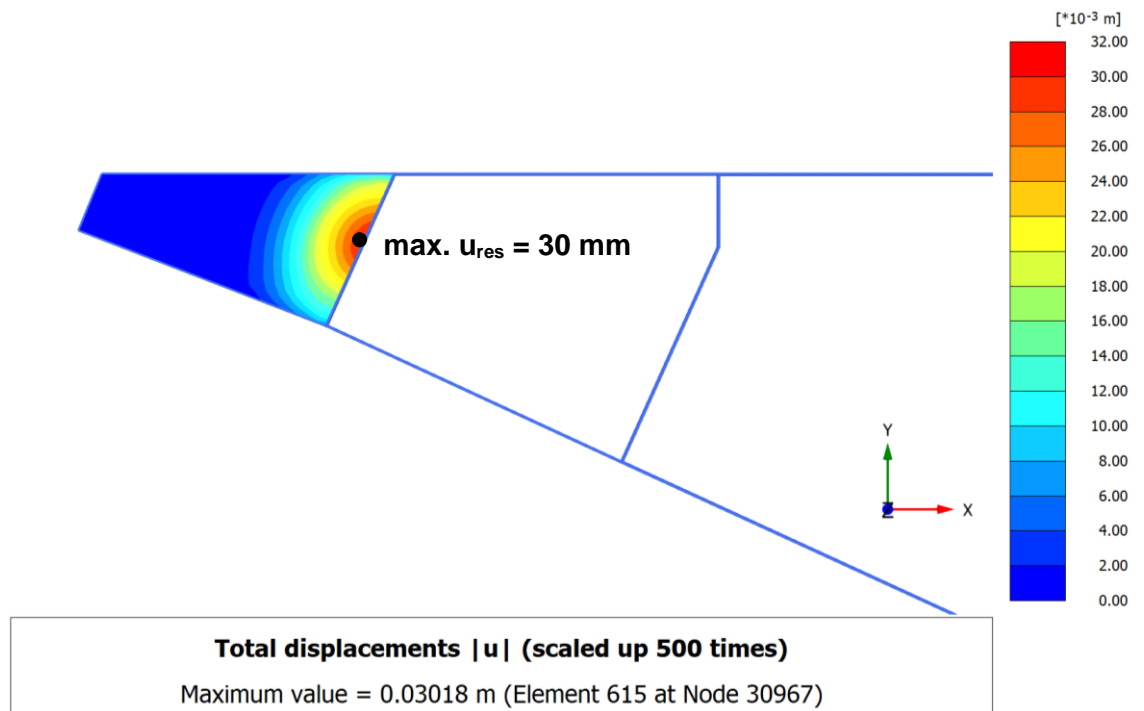


Bild 5-23 Rampe Rudolfstraße - resultierende Verformung u_{res} , Phase 27 – Endaushub BT A

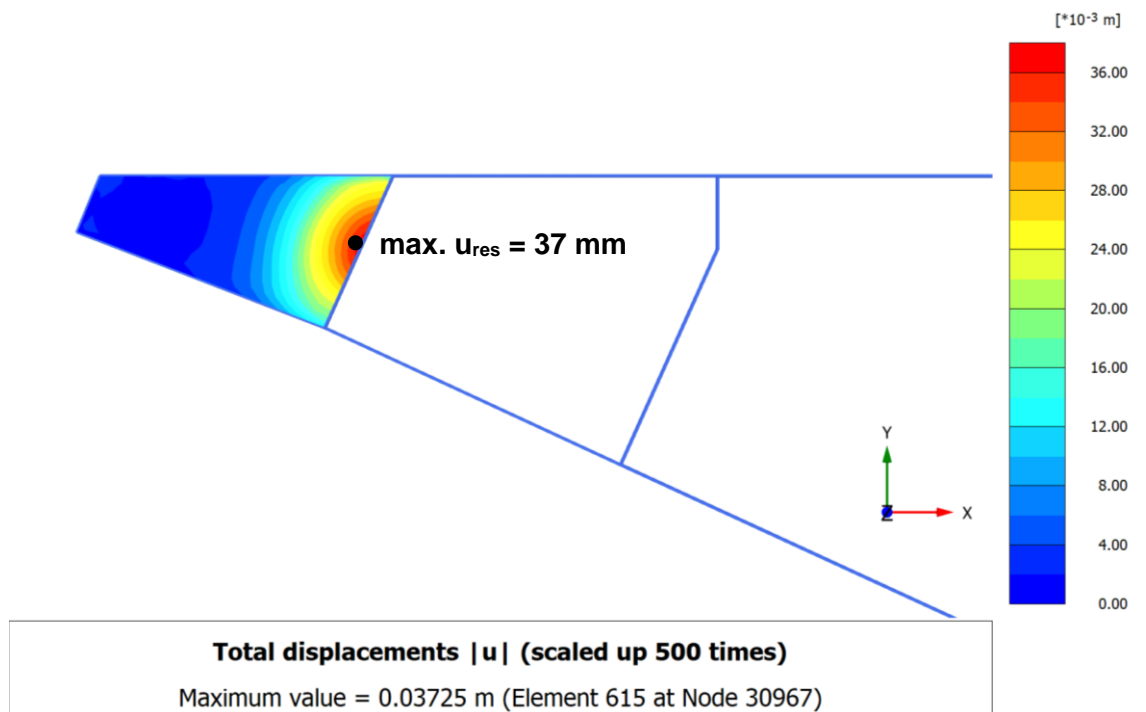


Bild 5-24 Rampe Rudolfstraße - resultierende Verformung u_{res} , Phase 31 – 100 % Gebäudelasten

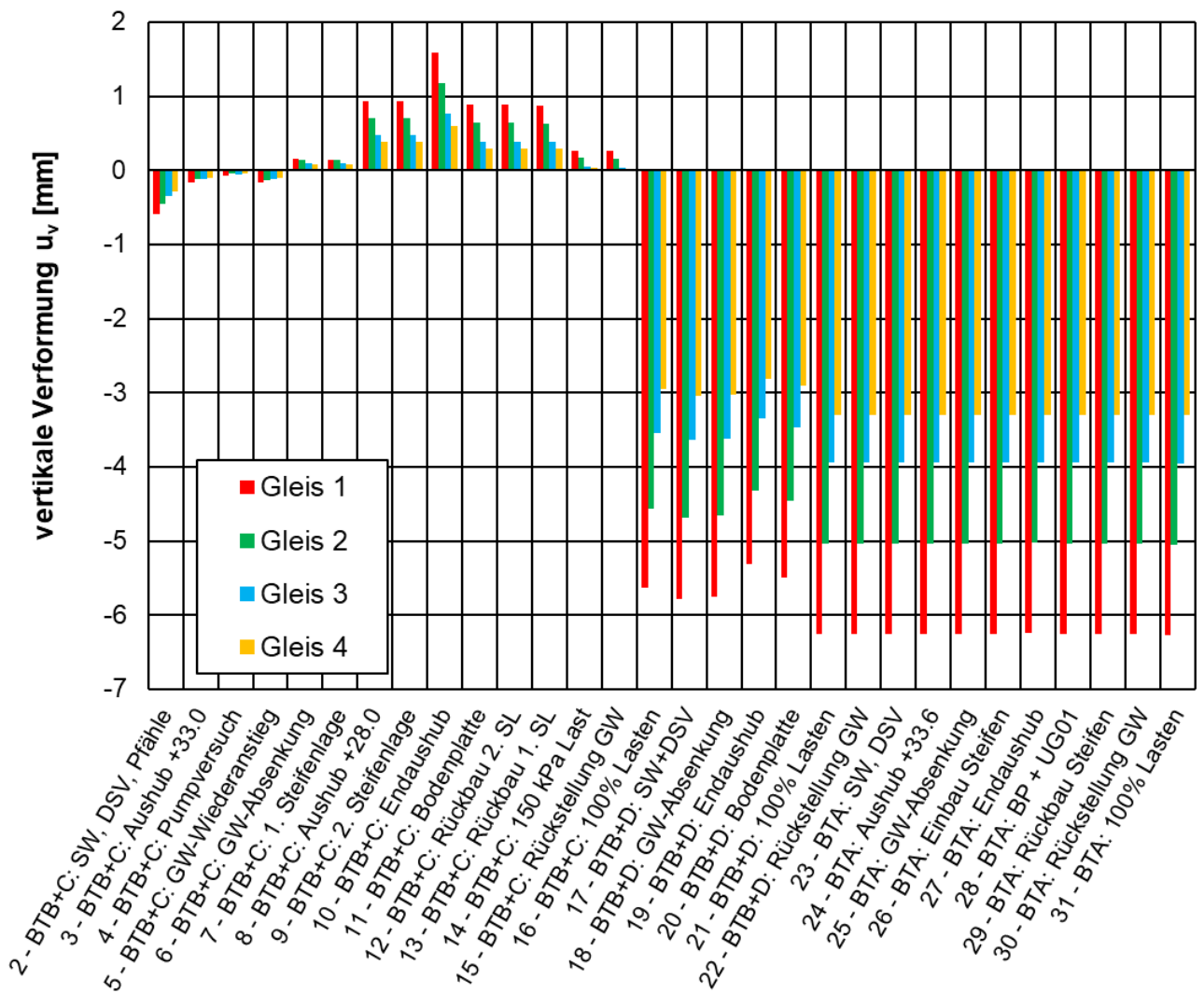


Bild 5-25 Entwicklung der charakteristischen systembedingten vertikalen Verformungen der Bahngleise über die Berechnungsphasen (Lage der Auswertepunkte siehe Bild 5-19), negative Werte ... Setzung

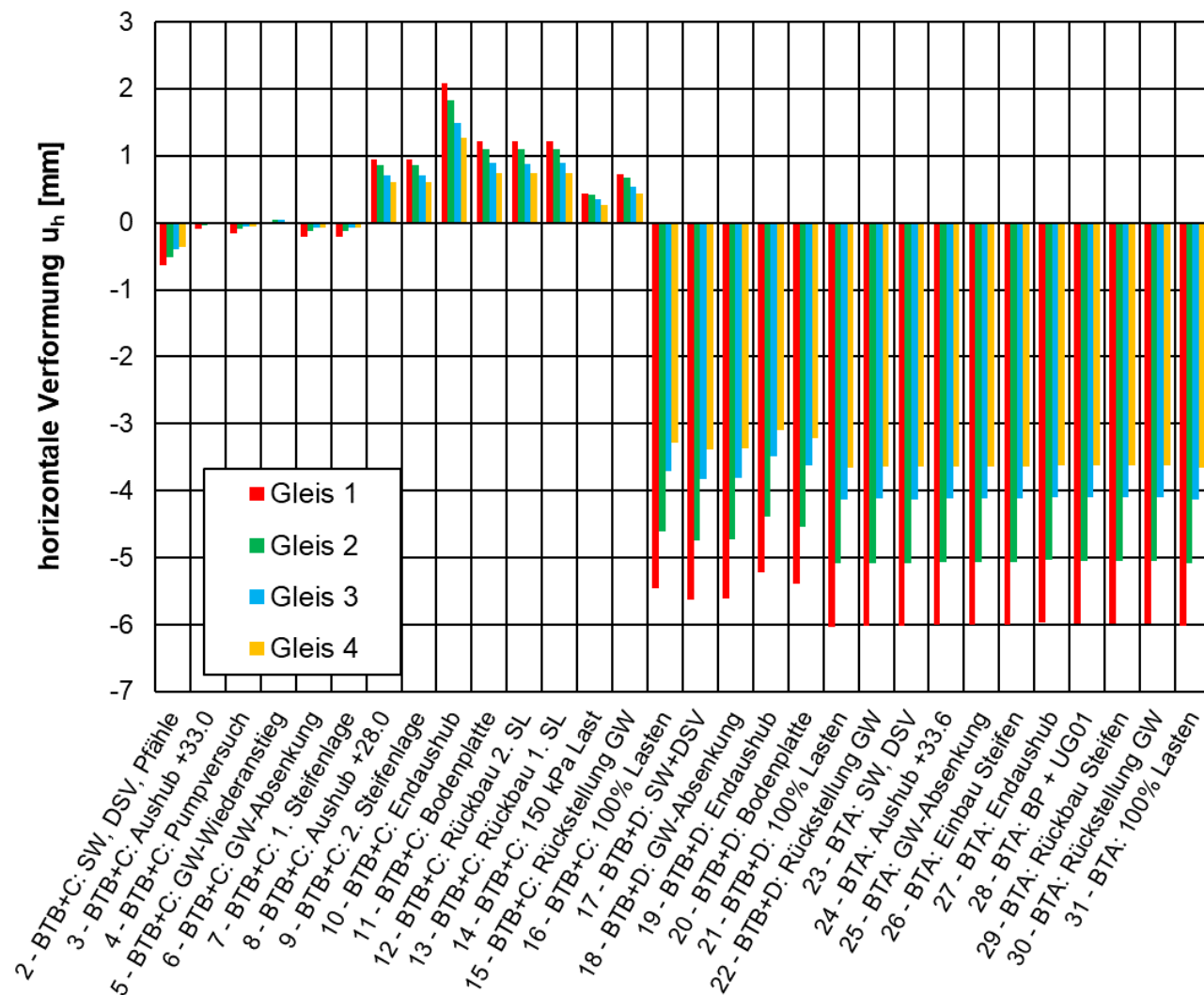


Bild 5-26 Entwicklung der charakteristischen systembedingten horizontalen Verformungen der Bahngleise über die Berechnungsphasen (Lage der Auswertepunkte siehe Bild 5-19), negative Werte ... in Richtung Baugrube

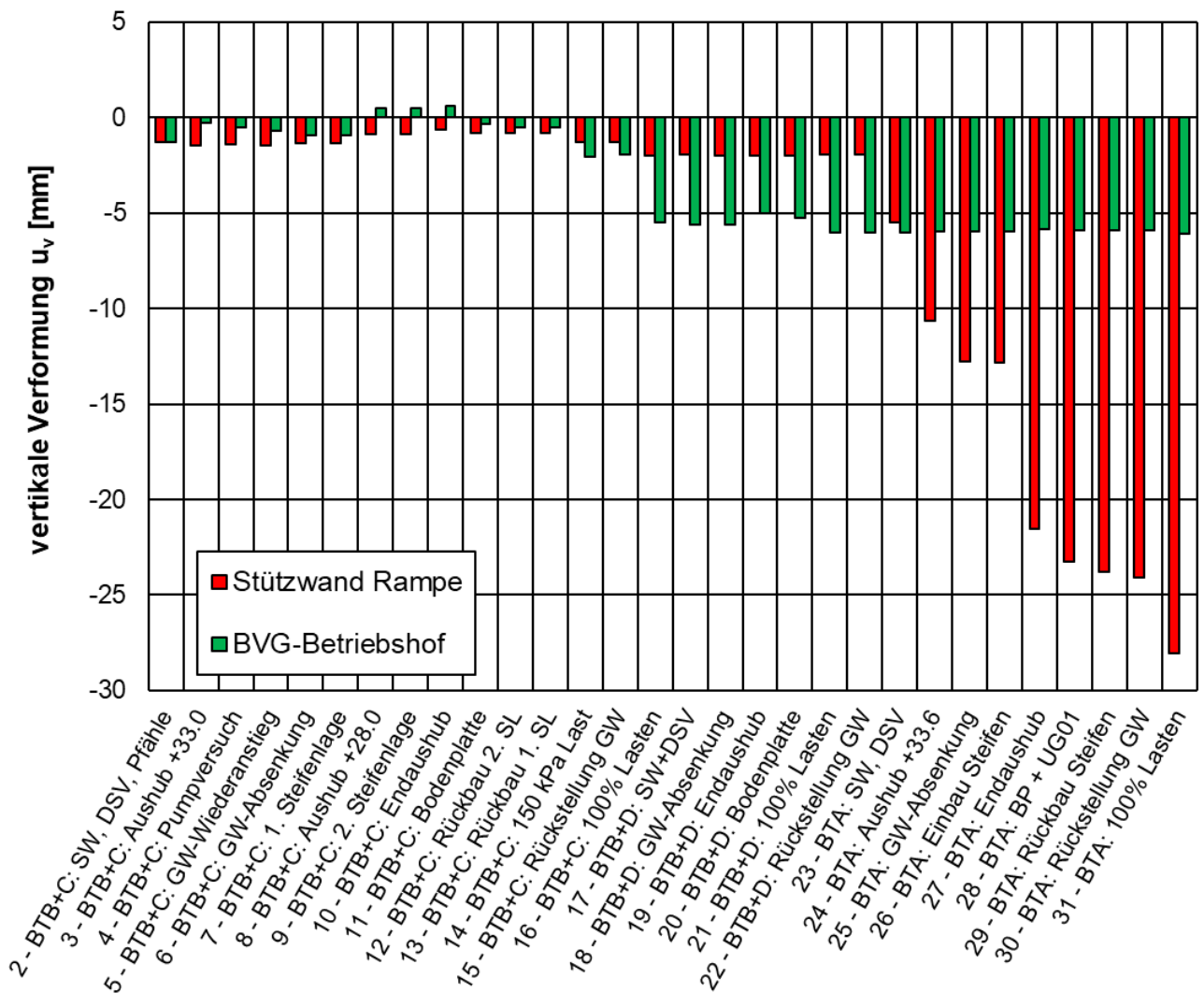


Bild 5-27 Entwicklung der charakteristischen systembedingten vertikalen Verformungen der Stützwand Rampe Rudolfstraße und des BVG-Betriebshofs über die Berechnungsphasen (Lage der Auswertepunkte siehe Bild 5-22 und Bild 5-23), negative Werte – Setzung

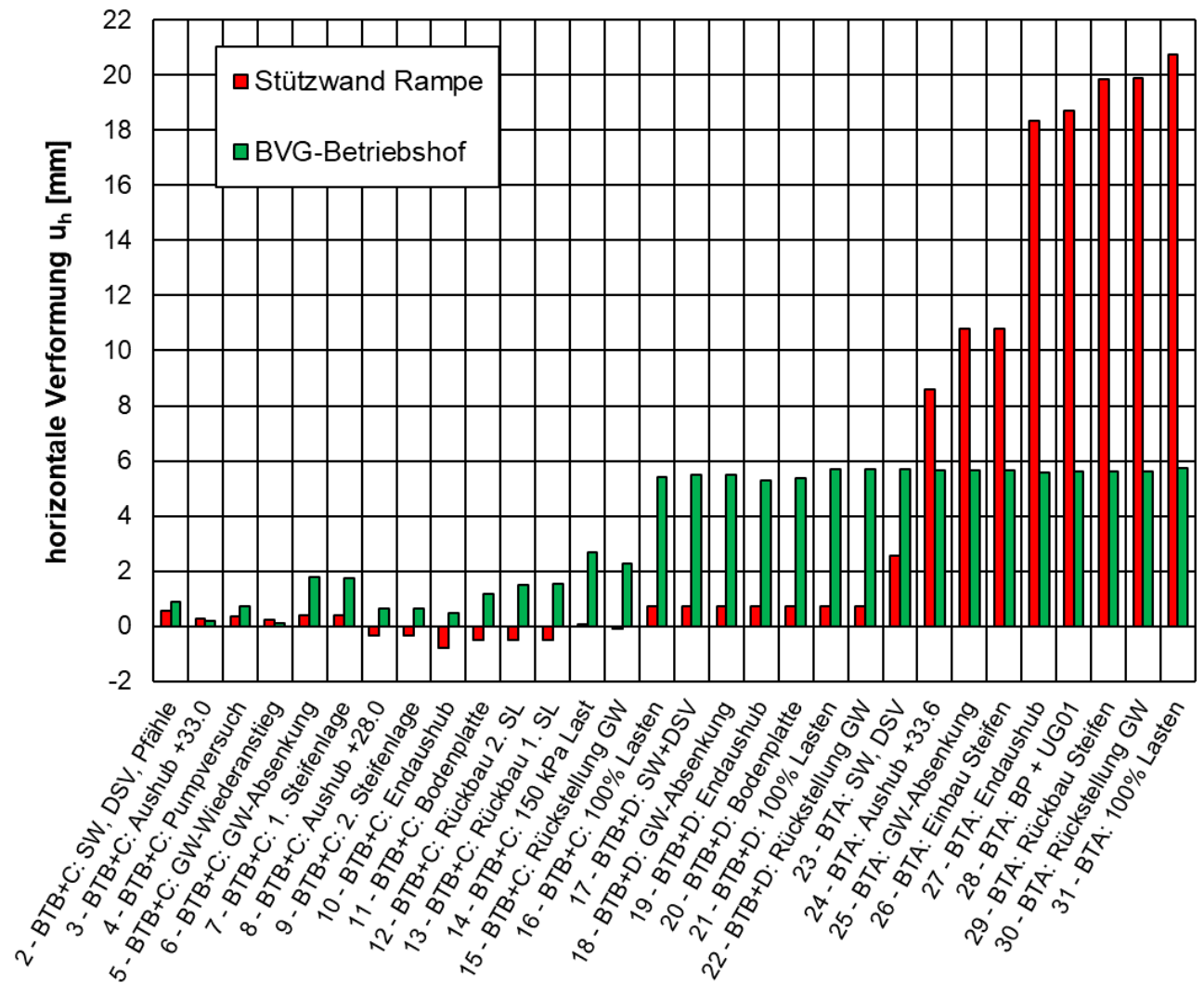


Bild 5-28 Entwicklung der charakteristischen systembedingten horizontalen Verformungen der Stützwand Rampe Rudolfstraße und des BVG-Betriebshofs über die Berechnungsphasen (Lage der Auswertepunkte siehe Bild 5-22 und Bild 5-23), positive Werte – in Richtung Baugrube

6 HERSTELLUNGSBEDINGTE VERFORMUNGEN

In den Betrachtungen des vorherigen Kapitels wurden keine Verformungen infolge des Herstellungsprozesses der Baugrubenumschließung berücksichtigt.

Die herstellbedingten Verformungen werden auf Grundlage von Erfahrungen bei ausgeführten Bauvorhaben in Berlin abgeschätzt (siehe [R 2]). Bei der Abschätzung der herstellbedingten Verformungen werden der Abstand des Bestandsbauwerks zur Baugrube, die Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der anstehenden Böden sowie das jeweilige Herstellverfahren berücksichtigt.

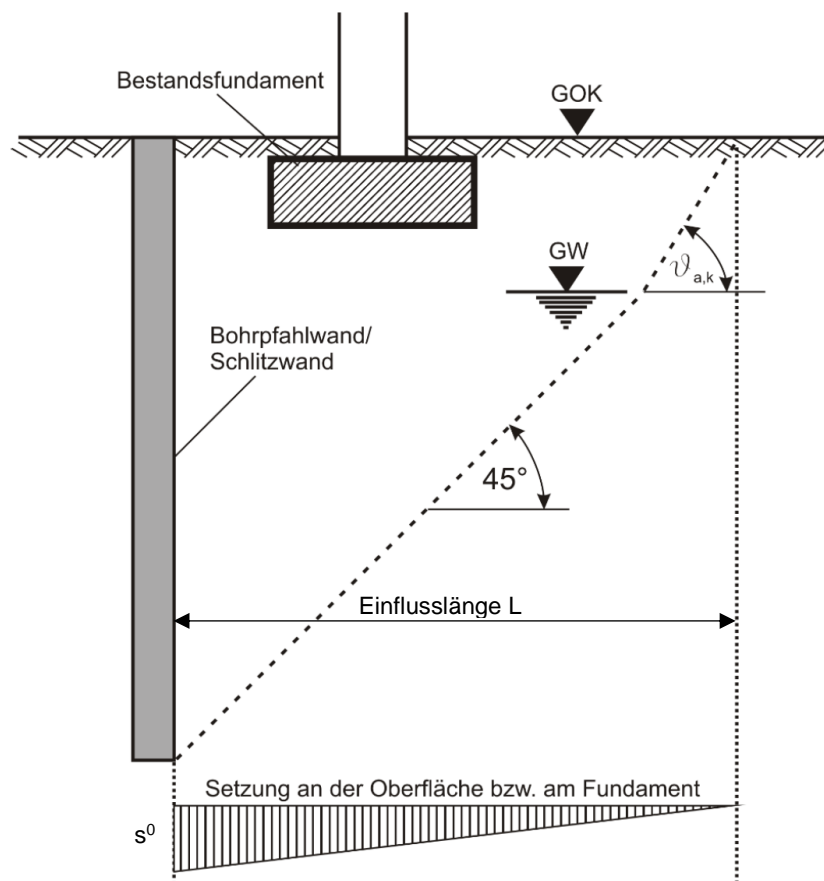


Bild 6-1 Einflussbereich der herstellbedingten Verformungen bei der Herstellung von Bohrfahl- und Schlitzwänden nach [R 2]

Herstellbedingte Verformungen können bei dem hier betrachteten Bauvorhaben infolge der Herstellung der Schlitzwand und der DSV-Sohle auftreten.

Der Grundwert s^H der herstellbedingten Setzungen wird nach [R 2] angesetzt mit:

$$s^0 = 6 \text{ mm für Schlitzwand}$$

$$s^0 = 10 \text{ mm für DSV-Sohle}$$

Die Ermittlung der herstellbedingten vertikalen Verformungen (Setzungen) an den Bahnanlagen und die zugrunde gelegten geometrischen Verhältnisse sind in Bild 6-2 bis Bild 6-5 dargestellt. Die herstellbedingten horizontalen Verformungen werden in gleicher Größe wie die herstellbedingten vertikalen Verformungen angesetzt.

Die Bahngleise liegen sowohl bei BT B+C (tiefste Baugrube) als auch bei BT D (geringster Abstand) außerhalb des Einflussbereichs der Spezialtiefbauarbeiten (Bild 6-4, Bild 6-5). Herstellbedingte Verformungen der Bahngleise sind daher nicht zu erwarten.

Für die Stützwand Rampe Rudolfstraße westlich neben der Baugrube BT A wird auf der sicheren Seite liegend eine Flachgründung in Höhe +35,0 m NHN angenommen (Bild 6-2). Sollte die Stützwand - wie zu vermuten ist - auf Bohrpfählen gegründet sein, sind in Abhängigkeit der Absetztiefe der Bohrpfähle deutlich geringere herstellbedingten Verformungen zu erwarten.

Die nördliche Außenwand des BVG-Betriebshofs liegt noch knapp im Einflussbereich der Baugrube, die zu erwartenden herstellbedingten Verformungen sind aufgrund des relativ großen Abstands zur Baugrube jedoch gering.

Gerundet werden die in Tabelle 6-1 angegebenen herstellbedingten Verformungen abgeschätzt.

Tabelle 6-1 Angesetzte herstellbedingte Verformungen

Bauteil	herstellbedingte Verformung [mm]	
	vertikal	horizontal
Bahngleise	0	0
Rampe Rudolfstraße	-16*	16*
BVG Betriebshof	-1	1

* bis 2 m hinter Baugrubenwand BT A, danach lineare Abnahme auf 0 bis 14 m hinter Baugrubenwand

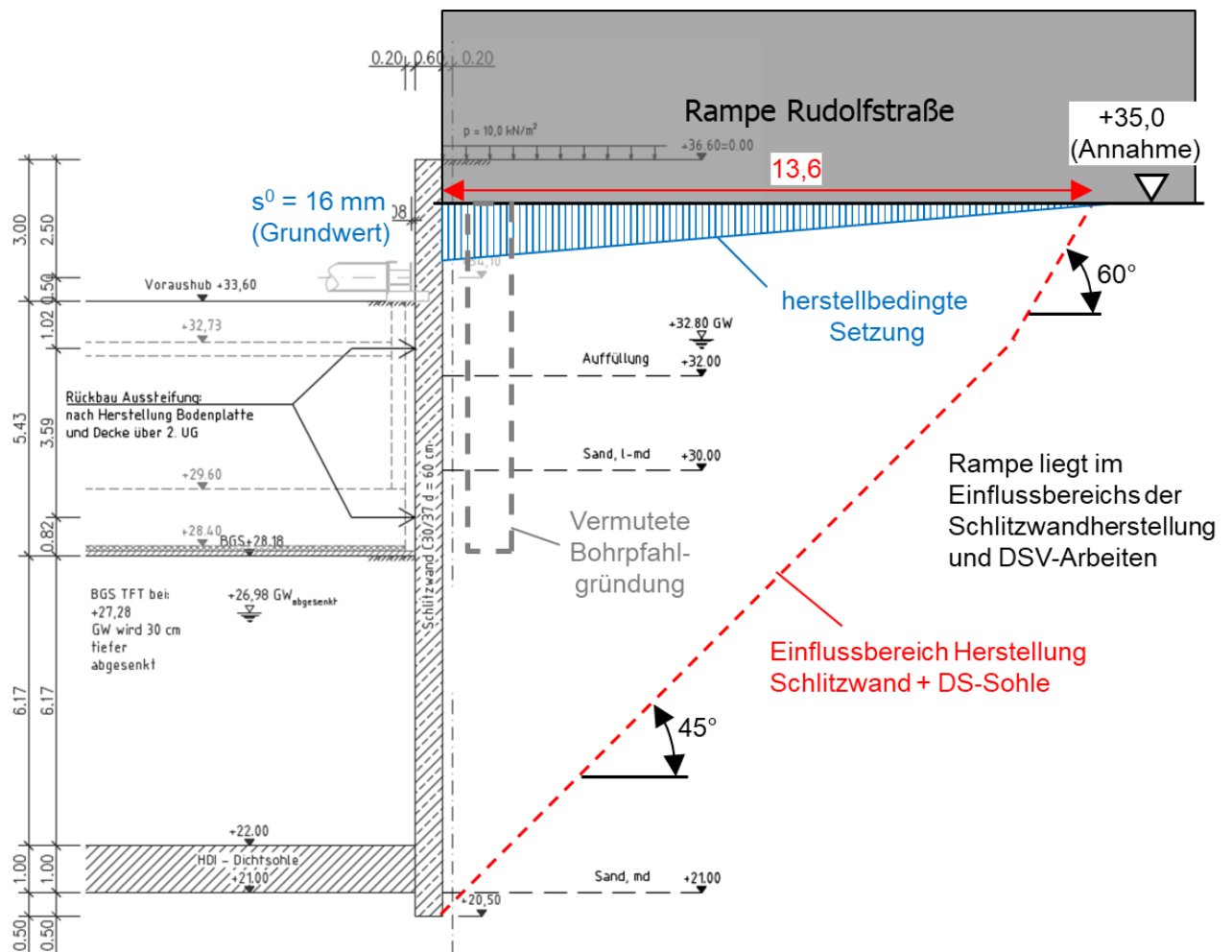


Bild 6-2 Baugrube BT A, Schnitt Westseite nach [U 6]: Einflussbereich der herstellbedingten Verformungen nach [R 2] und angenommene Gründungstiefe der Rampe Rudolfstraße ergänzt

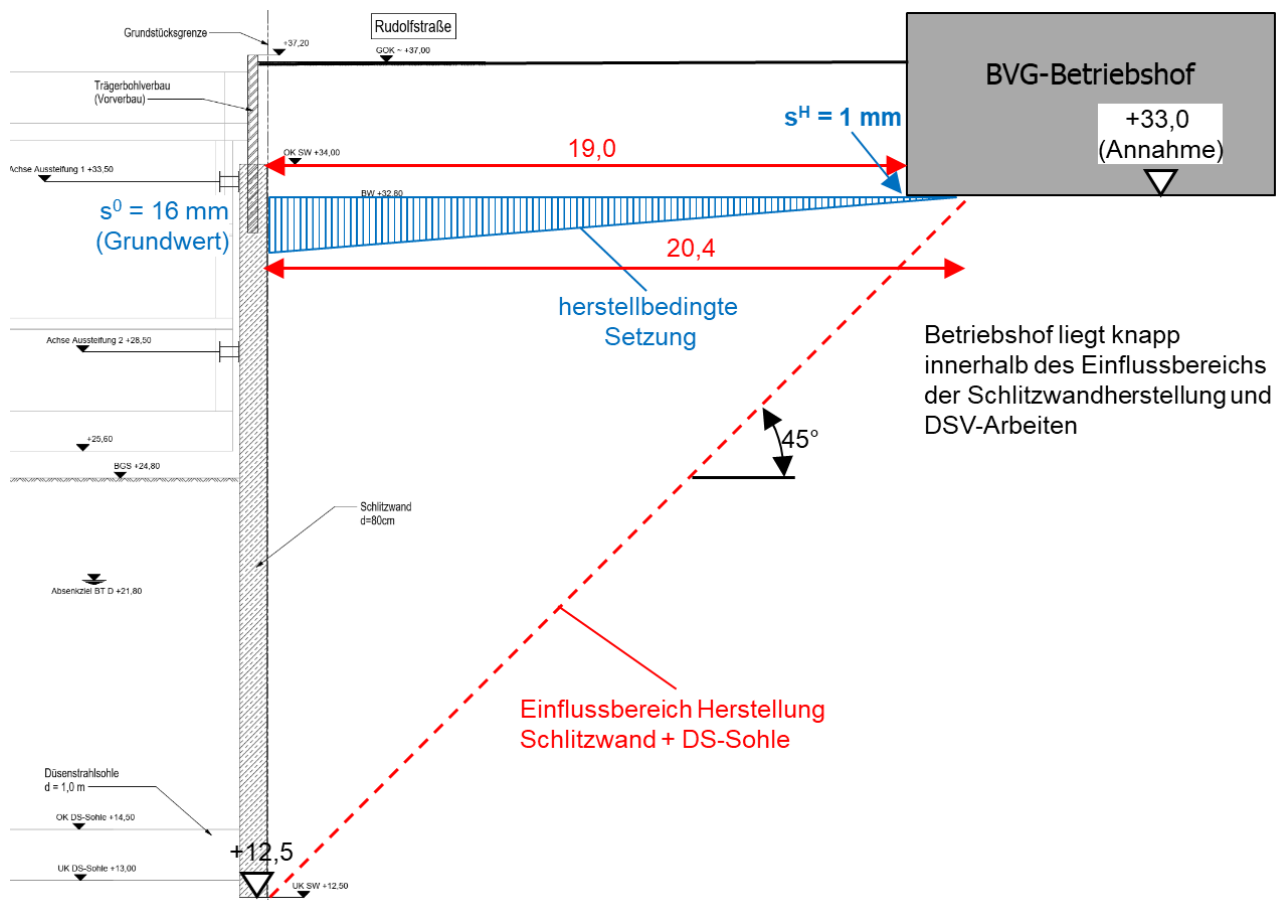
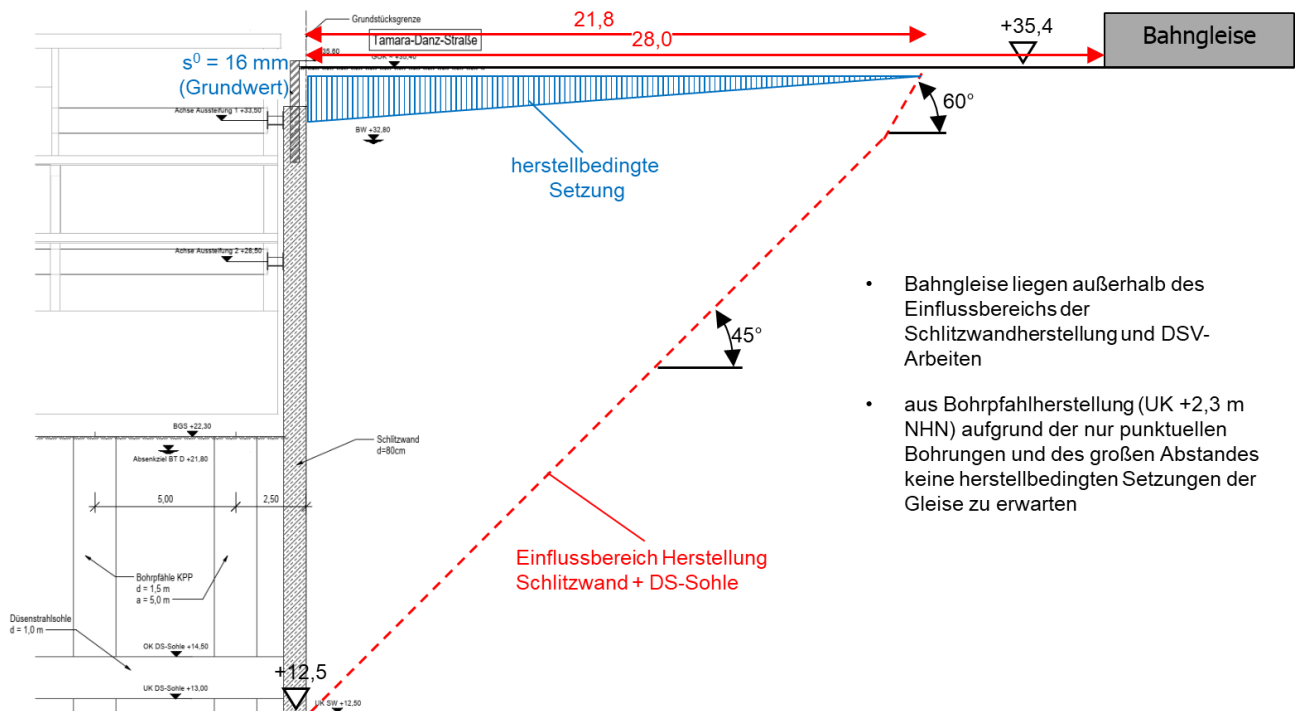
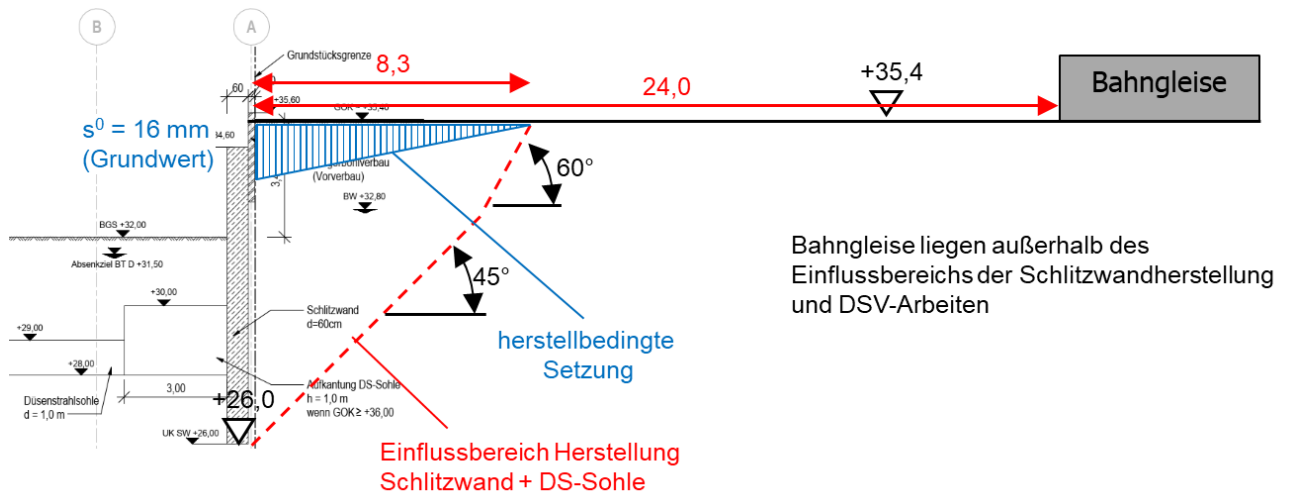


Bild 6-3 Baugrube BT B, Schnitt S2 nach [U 6]: Einflussbereich der herstellbedingten Verformungen und angenommene Gründung des BVG-Betriebshofs ergänzt



- Bahngleise liegen außerhalb des Einflussbereichs der Schlitzwandherstellung und DSV-Arbeiten
- aus Bohrfahlerstellung (UK +2,3 m NHN) aufgrund der nur punktuellen Bohrungen und des großen Abstandes keine herstellbedingten Setzungen der Gleise zu erwarten

Bild 6-4 Baugrube BT C, Seite Bahngleise – Schnitt 6 nach [U 7]: Einflussbereich der herstellbedingten Verformungen nach [R 2] in rot ergänzt



Bahngleise liegen außerhalb des Einflussbereichs der Schlitzwandherstellung und DSV-Arbeiten

Bild 6-5 Baugrube BT D, Seite Bahngleise – Schnitt 8 nach [U 7]: Einflussbereich der herstellbedingten Verformungen nach [R 2] in rot ergänzt

7 ZUSAMMENSTELLUNG DER VERFORMUNGEN

Die rechnerisch ermittelten Verformungen in Kap. 5.4 stellen systembedingte, charakteristische (wahrscheinliche) Werte nach DIN 1054:2010 Kap. 6.6.2 A(20) [L 3] dar. Die Steifigkeit des anstehenden Bodens wurde dem Baugrundgutachten [U 1] entnommen und mit Hilfe von erfahrungsbasierten Korrelation in die Steifigkeitsparameter des verwendeten Materialmodells überführt. Unter Beachtung der Unsicherheiten in Bezug auf die tatsächlichen Bodeneigenschaften ist eine Bandbreite bis zum ca. 1,2-fachen der rechnerisch ermittelten Verformungen möglich.

Die herstellbedingten Verformungen in Kap. 6 stellen aus Erfahrung abgeschätzte, mögliche Werte bei Ausführung der Arbeiten nach dem Stand der Technik dar. Die charakteristischen (wahrscheinlichen) herstellbedingten Verformungen werden als 80% der möglichen Werte abgeschätzt.

In Tabelle 7-1 bis Tabelle 7-3 sind die wahrscheinlichen und die möglichen vertikalen und horizontalen Gesamtverformungen der maßgebenden Punkte der Bahngleise, der Stützwand Rudolfstraße und des BVG-Betriebshofs für alle Berechnungsphasen zusammengestellt. Die Entwicklung der möglichen Verformungen über die Berechnungsphasen ist in Bild 7-1 bis Bild 7-4 dargestellt. Zur Lage der Auswertepunkte siehe Bild 5-19, Bild 5-22 und Bild 5-23.

In Bild 7-5 und Bild 7-6 sind die möglichen Setzungen (ohne herstellbedingte Anteile) im Umfeld des Baufelds in Form von Isolinien dargestellt. Die möglichen Setzungen am S-Bahnhof Warschauer Str. sind ≤ 2 mm, an der Warschauer Brücke sowie dem U-Bahnhof Warschauer Str. sind sie < 1 mm.

Tabelle 7-1 Gleis 1 und 2: mögliche Gesamtverformungen, vertikal (-) ... Setzung, horizontal (-) ... in Richtung Baugrube

Gleis 1	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	-0.6	-0.6	-0.8	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	-0.6	-0.8	-0.7
3 - BTB+C: Aushub +33.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2
4 - BTB+C: Pumpversuch	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.0	-0.2	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.2
6 - BTB+C: GW-Absenkung	-0.2	0.1	-0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	-0.2	0.2
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	-0.2	0.1	-0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	-0.2	0.2
8 - BTB+C: Aushub +28.0	0.9	0.9	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	1.1	1.1
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	0.9	0.9	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	1.1	1.1
10 - BTB+C: Endaushub	2.1	1.6	2.5	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.6	2.5	1.9
11 - BTB+C: Bodenplatte	1.2	0.9	1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.9	1.5	1.1
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	1.2	0.9	1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.9	1.5	1.1
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	1.2	0.9	1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.9	1.5	1.1
14 - BTB+C: 150 kPa Last	0.4	0.3	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.5	0.3
15 - BTB+C: Rückstellung GW	0.7	0.3	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.9	0.3
16 - BTB+C: 100% Lasten	-5.5	-5.6	-6.5	-6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.5	-5.6	-6.5	-6.8
17 - BTB+D: SW+DSV	-5.6	-5.8	-6.7	-6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.6	-5.8	-6.7	-6.9
18 - BTB+D: GW-Absenkung	-5.6	-5.8	-6.7	-6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.6	-5.8	-6.7	-6.9
19 - BTB+D: Endaushub	-5.2	-5.3	-6.3	-6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.2	-5.3	-6.3	-6.4
20 - BTB+D: Bodenplatte	-5.4	-5.5	-6.5	-6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.4	-5.5	-6.5	-6.6
21 - BTB+D: 100% Lasten	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
22 - BTB+D: Rückstellung GW	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
23 - BTA: SW, DSV	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
24 - BTA: Aushub +33.6	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
25 - BTA: GW-Absenkung	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
26 - BTA: Einbau Steifen	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
27 - BTA: Endaushub	-6.0	-6.2	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.2	-7.2	-7.5
28 - BTA: BP + UG01	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
29 - BTA: Rückbau Steifen	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
30 - BTA: Rückstellung GW	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5
31 - BTA: 100% Lasten	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.3	-7.2	-7.5

Gleis 2	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5
3 - BTB+C: Aushub +33.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
4 - BTB+C: Pumpversuch	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.0	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.2
6 - BTB+C: GW-Absenkung	-0.1	0.1	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.2
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	-0.1	0.1	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.2
8 - BTB+C: Aushub +28.0	0.9	0.7	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	1.0	0.8
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	0.9	0.7	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	1.0	0.8
10 - BTB+C: Endaushub	1.8	1.2	2.2	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.2	2.2	1.4
11 - BTB+C: Bodenplatte	1.1	0.6	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	1.3	0.8
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	1.1	0.6	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	1.3	0.8
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	1.1	0.6	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	1.3	0.8
14 - BTB+C: 150 kPa Last	0.4	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.5	0.2
15 - BTB+C: Rückstellung GW	0.7	0.2	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.8	0.2
16 - BTB+C: 100% Lasten	-4.6	-4.6	-5.5	-5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.6	-4.6	-5.5	-5.5
17 - BTB+D: SW+DSV	-4.7	-4.7	-5.7	-5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.7	-4.7	-5.7	-5.6
18 - BTB+D: GW-Absenkung	-4.7	-4.7	-5.7	-5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.7	-4.7	-5.7	-5.6
19 - BTB+D: Endaushub	-4.4	-4.3	-5.3	-5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.4	-4.3	-5.3	-5.2
20 - BTB+D: Bodenplatte	-4.5	-4.5	-5.4	-5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.5	-4.5	-5.4	-5.4
21 - BTB+D: 100% Lasten	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
22 - BTB+D: Rückstellung GW	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
23 - BTA: SW, DSV	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
24 - BTA: Aushub +33.6	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
25 - BTA: GW-Absenkung	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
26 - BTA: Einbau Steifen	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.0
27 - BTA: Endaushub	-5.0	-5.0	-6.0	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0	-5.0	-6.0	-6.0
28 - BTA: BP + UG01	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0
29 - BTA: Rückbau Steifen	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0
30 - BTA: Rückstellung GW	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0	-5.0	-6.1	-6.0
31 - BTA: 100% Lasten	-5.1	-5.0	-6.1	-6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	-5.0	-6.1	-6.1

Tabelle 7-2 Gleis 3 und 4: mögliche Gesamtverformungen, vertikal (-) ... Setzung, horizontal (-) ... in Richtung Baugrube

Gleis 3	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	-0.4	-0.3	-0.5	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.3	-0.5	-0.4
3 - BTB+C: Aushub +33.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1
4 - BTB+C: Pumpversuch	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1
6 - BTB+C: GW-Absenkung	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1
8 - BTB+C: Aushub +28.0	0.7	0.5	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.9	0.6
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	0.7	0.5	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.9	0.6
10 - BTB+C: Endaushub	1.5	0.8	1.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	1.8	0.9
11 - BTB+C: Bodenplatte	0.9	0.4	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.4	1.1	0.5
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	0.9	0.4	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.4	1.1	0.5
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	0.9	0.4	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.4	1.1	0.5
14 - BTB+C: 150 kPa Last	0.3	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.4	0.1
15 - BTB+C: Rückstellung GW	0.5	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7	0.0
16 - BTB+C: 100% Lasten	-3.7	-3.5	-4.4	-4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.7	-3.5	-4.4	-4.2
17 - BTB+D: SW+DSV	-3.8	-3.6	-4.6	-4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	-3.6	-4.6	-4.4
18 - BTB+D: GW-Absenkung	-3.8	-3.6	-4.6	-4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.8	-3.6	-4.6	-4.3
19 - BTB+D: Endaushub	-3.5	-3.4	-4.2	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.5	-3.4	-4.2	-4.0
20 - BTB+D: Bodenplatte	-3.6	-3.5	-4.3	-4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.5	-4.3	-4.2
21 - BTB+D: 100% Lasten	-4.1	-3.9	-5.0	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-5.0	-4.7
22 - BTB+D: Rückstellung GW	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
23 - BTA: SW, DSV	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
24 - BTA: Aushub +33.6	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
25 - BTA: GW-Absenkung	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
26 - BTA: Einbau Steifen	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
27 - BTA: Endaushub	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
28 - BTA: BP + UG01	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
29 - BTA: Rückbau Steifen	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
30 - BTA: Rückstellung GW	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-3.9	-4.9	-4.7
31 - BTA: 100% Lasten	-4.1	-4.0	-5.0	-4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.1	-4.0	-5.0	-4.7

Gleis 4	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3
3 - BTB+C: Aushub +33.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1
4 - BTB+C: Pumpversuch	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1
6 - BTB+C: GW-Absenkung	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1
8 - BTB+C: Aushub +28.0	0.6	0.4	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.7	0.5
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	0.6	0.4	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.7	0.5
10 - BTB+C: Endaushub	1.3	0.6	1.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.6	1.5	0.7
11 - BTB+C: Bodenplatte	0.7	0.3	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.9	0.4
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	0.7	0.3	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.9	0.4
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	0.7	0.3	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.9	0.4
14 - BTB+C: 150 kPa Last	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
15 - BTB+C: Rückstellung GW	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0
16 - BTB+C: 100% Lasten	-3.3	-3.0	-3.9	-3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.3	-3.0	-3.9	-3.5
17 - BTB+D: SW+DSV	-3.4	-3.0	-4.1	-3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.4	-3.0	-4.1	-3.7
18 - BTB+D: GW-Absenkung	-3.4	-3.0	-4.0	-3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.4	-3.0	-4.0	-3.6
19 - BTB+D: Endaushub	-3.1	-2.8	-3.7	-3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.1	-2.8	-3.7	-3.4
20 - BTB+D: Bodenplatte	-3.2	-2.9	-3.9	-3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2	-2.9	-3.9	-3.5
21 - BTB+D: 100% Lasten	-3.7	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.7	-3.3	-4.4	-4.0
22 - BTB+D: Rückstellung GW	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0
23 - BTA: SW, DSV	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0
24 - BTA: Aushub +33.6	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0
25 - BTA: GW-Absenkung	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0
26 - BTA: Einbau Steifen	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0
27 - BTA: Endaushub	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0
28 - BTA: BP + UG01	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0
29 - BTA: Rückbau Steifen	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0
30 - BTA: Rückstellung GW	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.3	-4.0
31 - BTA: 100% Lasten	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-3.3	-4.4	-4.0

Tabelle 7-3 Stützwand Rudolfstraße und BVG-Betriebshof: mögliche Gesamtverformungen, vertikal (-) ... Setzung, horizontal (+) ... in Richtung Baugrube

Stützwand Rampe	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	0.6	-1.3	0.7	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-1.3	0.7	-1.5
3 - BTB+C: Aushub +33.0	0.3	-1.4	0.3	-1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-1.4	0.3	-1.7
4 - BTB+C: Pumpversuch	0.3	-1.4	0.4	-1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-1.4	0.4	-1.7
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.2	-1.5	0.3	-1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-1.5	0.3	-1.8
6 - BTB+C: GW-Absenkung	0.4	-1.4	0.5	-1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	-1.4	0.5	-1.6
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	0.4	-1.4	0.5	-1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	-1.4	0.5	-1.6
8 - BTB+C: Aushub +28.0	-0.3	-0.9	-0.4	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.9	-0.4	-1.0
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	-0.3	-0.9	-0.4	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.9	-0.4	-1.0
10 - BTB+C: Endaushub	-0.8	-0.6	-0.9	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	-0.6	-0.9	-0.7
11 - BTB+C: Bodenplatte	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.8	-0.6	-1.0
14 - BTB+C: 150 kPa Last	0.1	-1.3	0.1	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-1.3	0.1	-1.5
15 - BTB+C: Rückstellung GW	-0.1	-1.3	-0.1	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-1.3	-0.1	-1.5
16 - BTB+C: 100% Lasten	0.7	-2.0	0.9	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.4
17 - BTB+D: SW+DSV	0.7	-2.0	0.9	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.4
18 - BTB+D: GW-Absenkung	0.7	-2.0	0.9	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.4
19 - BTB+D: Endaushub	0.7	-2.0	0.9	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.4
20 - BTB+D: Bodenplatte	0.7	-2.0	0.9	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.4
21 - BTB+D: 100% Lasten	0.7	-2.0	0.9	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.3
22 - BTB+D: Rückstellung GW	0.7	-2.0	0.9	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.0	0.9	-2.3
23 - BTA: SW, DSV	2.6	-5.5	3.1	-6.6	12.8	-12.8	16.0	-16.0	15.4	-18.3	19.1	-22.6
24 - BTA: Aushub +33.6	8.6	-10.6	10.3	-12.7	12.8	-12.8	16.0	-16.0	21.4	-23.4	26.3	-28.7
25 - BTA: GW-Absenkung	10.8	-12.8	12.9	-15.3	12.8	-12.8	16.0	-16.0	23.6	-25.6	28.9	-31.3
26 - BTA: Einbau Steifen	10.8	-12.8	13.0	-15.4	12.8	-12.8	16.0	-16.0	23.6	-25.6	29.0	-31.4
27 - BTA: Endaushub	18.3	-21.5	22.0	-25.8	12.8	-12.8	16.0	-16.0	31.1	-34.3	38.0	-41.8
28 - BTA: BP + UG01	18.7	-23.2	22.4	-27.9	12.8	-12.8	16.0	-16.0	31.5	-36.0	38.4	-43.9
29 - BTA: Rückbau Steifen	19.8	-23.8	23.8	-28.5	12.8	-12.8	16.0	-16.0	32.6	-36.6	39.8	-44.5
30 - BTA: Rückstellung GW	19.9	-24.1	23.9	-28.9	12.8	-12.8	16.0	-16.0	32.7	-36.9	39.9	-44.9
31 - BTA: 100% Lasten	20.7	-28.0	24.9	-33.7	12.8	-12.8	16.0	-16.0	33.5	-40.8	40.9	-49.7

BVG-Betriebshof	Faktor: 1.2				Faktor: 0.8				Gesamtverformung		Gesamtverformung	
	systembedingt charakteristisch		systembedingt möglich		herstellungsbedingt charakteristisch		herstellungsbedingt möglich		charakteristisch		möglich	
	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]	horizontal [mm]	vertikal [mm]
2 - BTB+C: SW, DSV, Pfähle	0.9	-1.3	1.1	-1.5	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.7	-2.1	2.1	-2.5
3 - BTB+C: Aushub +33.0	0.2	-0.3	0.2	-0.4	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.0	-1.1	1.2	-1.4
4 - BTB+C: Pumpversuch	0.7	-0.5	0.9	-0.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.5	-1.3	1.9	-1.6
5 - BTB+C: GW-Wiederanstieg	0.1	-0.7	0.1	-0.8	0.8	-0.8	1.0	-1.0	0.9	-1.5	1.1	-1.8
6 - BTB+C: GW-Absenkung	1.8	-0.9	2.1	-1.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	2.6	-1.7	3.1	-2.1
7 - BTB+C: 1. Steifenlage	1.8	-1.0	2.1	-1.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	2.6	-1.8	3.1	-2.1
8 - BTB+C: Aushub +28.0	0.7	0.5	0.8	0.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.5	-0.3	1.8	-0.4
9 - BTB+C: 2. Steifenlage	0.7	0.5	0.8	0.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.5	-0.3	1.8	-0.4
10 - BTB+C: Endaushub	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	-0.8	1.0	-1.0	1.3	-0.2	1.6	-0.3
11 - BTB+C: Bodenplatte	1.2	-0.3	1.4	-0.4	0.8	-0.8	1.0	-1.0	2.0	-1.1	2.4	-1.4
12 - BTB+C: Rückbau 2. SL	1.5	-0.5	1.8	-0.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	2.3	-1.3	2.8	-1.6
13 - BTB+C: Rückbau 1. SL	1.6	-0.5	1.9	-0.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	2.4	-1.3	2.9	-1.6
14 - BTB+C: 150 kPa Last	2.7	-2.0	3.2	-2.5	0.8	-0.8	1.0	-1.0	3.5	-2.8	4.2	-3.5
15 - BTB+C: Rückstellung GW	2.3	-2.0	2.7	-2.3	0.8	-0.8	1.0	-1.0	3.1	-2.8	3.7	-3.3
16 - BTB+C: 100% Lasten	5.4	-5.5	6.5	-6.6	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.2	-6.3	7.5	-7.6
17 - BTB+D: SW+DSV	5.5	-5.6	6.6	-6.8	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.3	-6.4	7.6	-7.8
18 - BTB+D: GW-Absenkung	5.5	-5.6	6.6	-6.7	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.3	-6.4	7.6	-7.7
19 - BTB+D: Endaushub	5.3	-5.0	6.3	-6.0	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.1	-5.8	7.3	-7.0
20 - BTB+D: Bodenplatte	5.4	-5.2	6.4	-6.3	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.2	-6.0	7.4	-7.3
21 - BTB+D: 100% Lasten	5.7	-6.0	6.8	-7.2	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.2
22 - BTB+D: Rückstellung GW	5.7	-6.0	6.8	-7.2	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.2
23 - BTA: SW, DSV	5.7	-6.0	6.8	-7.2	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.2
24 - BTA: Aushub +33.6	5.7	-6.0	6.8	-7.2	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.2
25 - BTA: GW-Absenkung	5.7	-6.0	6.8	-7.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.1
26 - BTA: Einbau Steifen	5.7	-6.0	6.8	-7.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.8	7.8	-8.1
27 - BTA: Endaushub	5.6	-5.9	6.7	-7.0	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.4	-6.7	7.7	-8.0
28 - BTA: BP + UG01	5.6	-5.9	6.7	-7.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.4	-6.7	7.7	-8.1
29 - BTA: Rückbau Steifen	5.6	-5.9	6.7	-7.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.4	-6.7	7.7	-8.1
30 - BTA: Rückstellung GW	5.6	-5.9	6.7	-7.1	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.4	-6.7	7.7	-8.1
31 - BTA: 100% Lasten	5.7	-6.1	6.9	-7.3	0.8	-0.8	1.0	-1.0	6.5	-6.9	7.9	-8.3

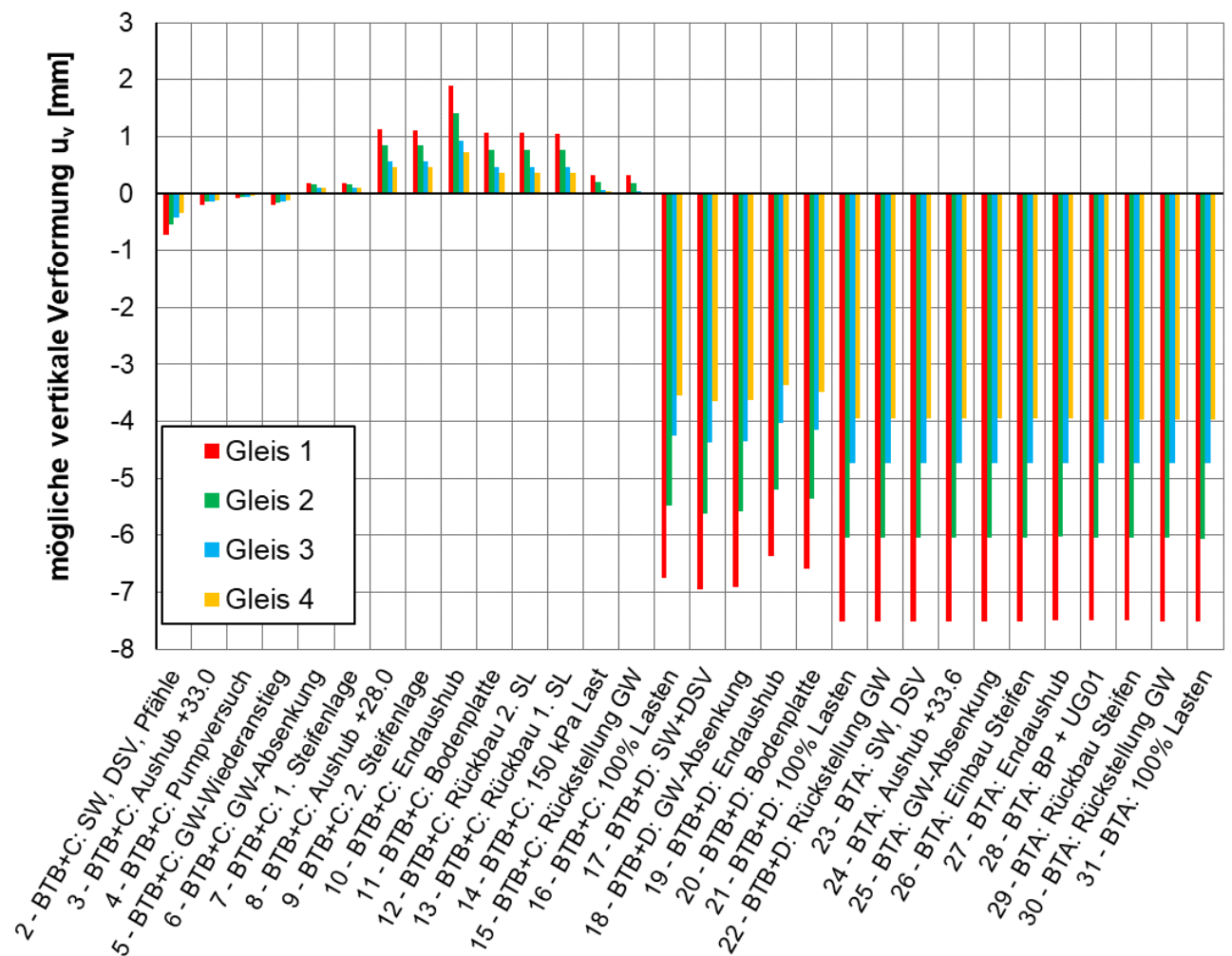


Bild 7-1 Bahngleise: Entwicklung der möglichen vertikalen Gesamtverformungen über alle Bauphasen (negative Werte ... Setzung)

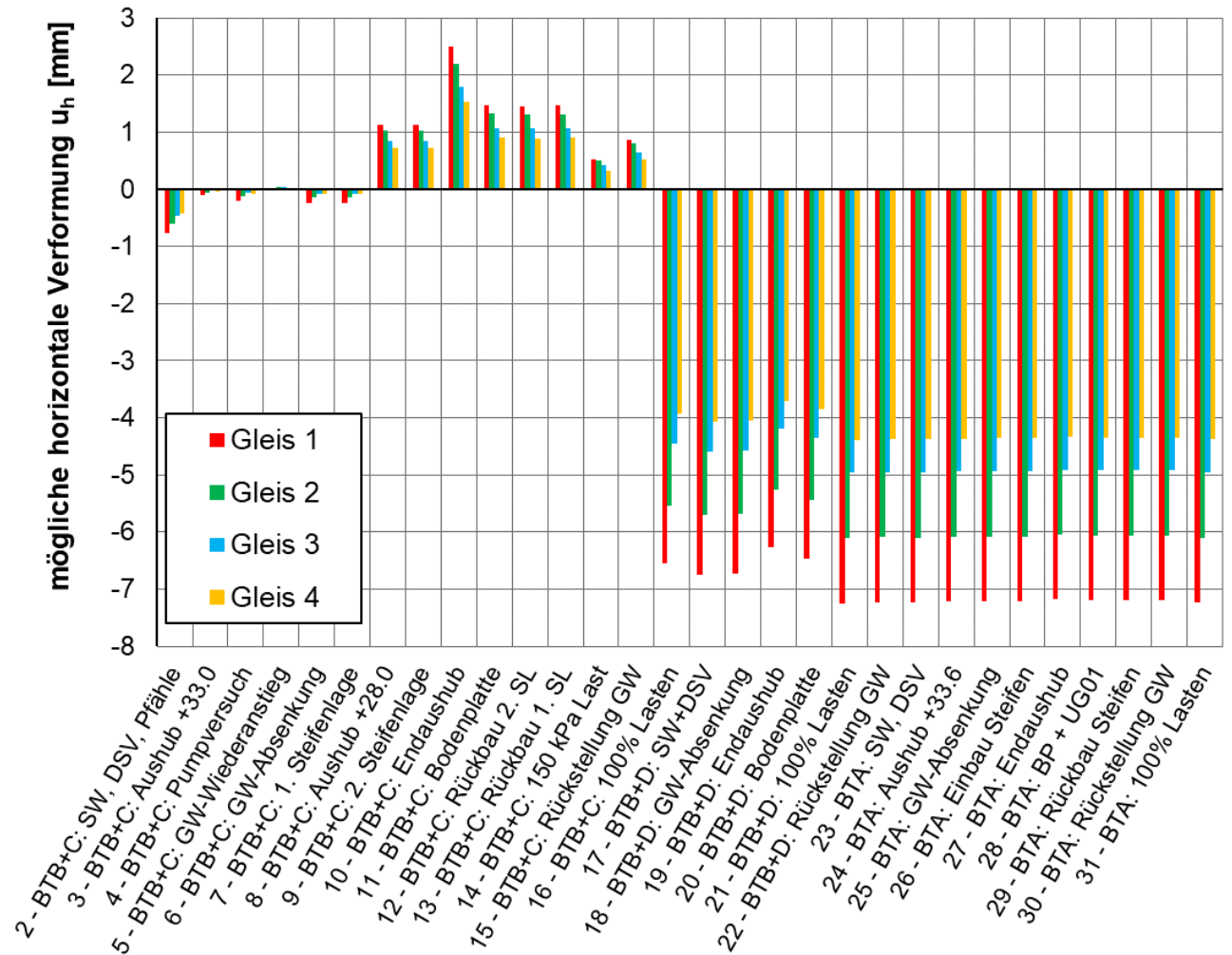


Bild 7-2 Bahngleise: Entwicklung der möglichen horizontalen Gesamtverformungen über alle Bauphasen (negative Werte ... in Richtung Baugrube)

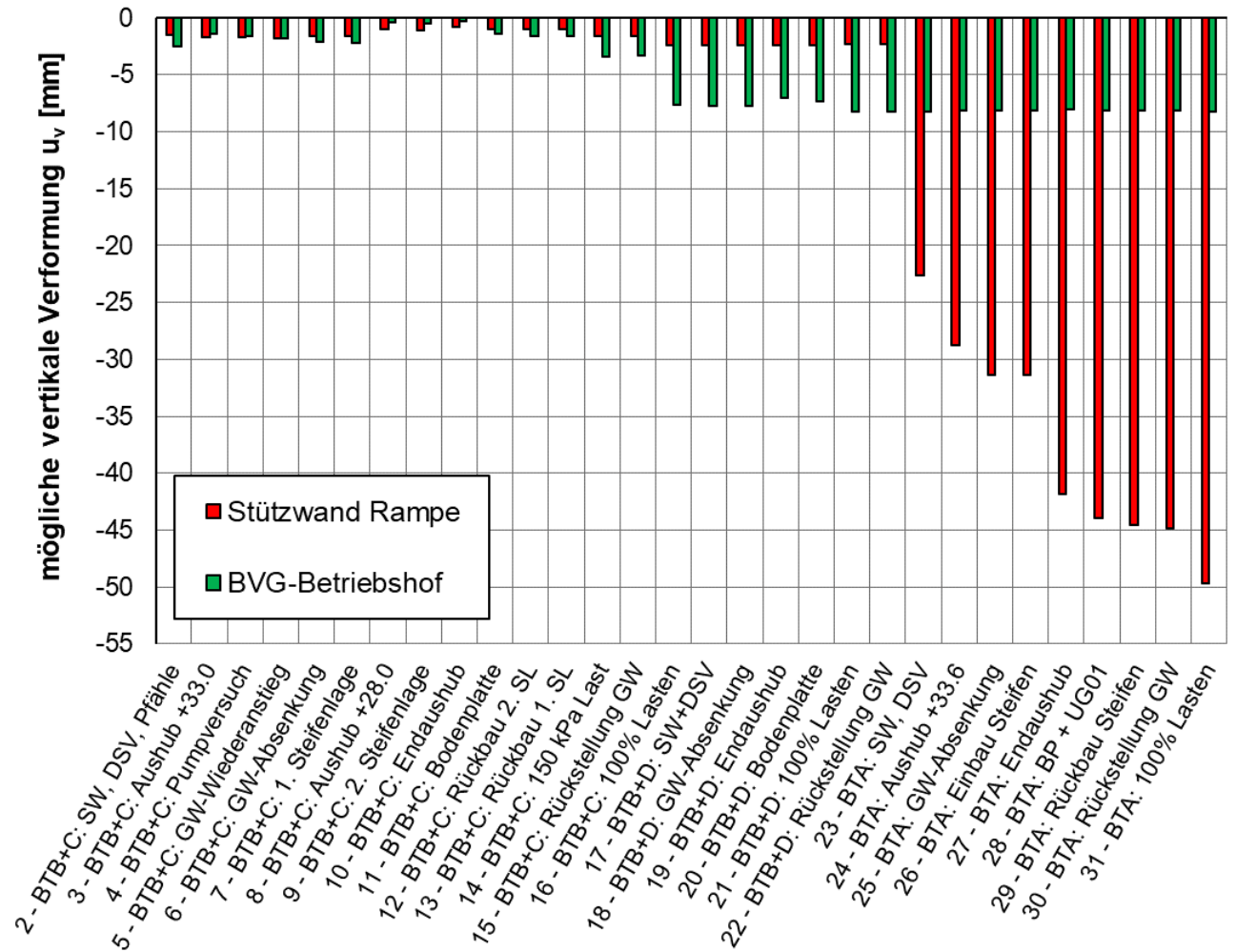


Bild 7-3 Stützwand Rampe Rudolfstraße und BVG-Betriebshof: Entwicklung der möglichen vertikalen Gesamtverformungen über alle Bauphasen (negative Werte ... Setzung)

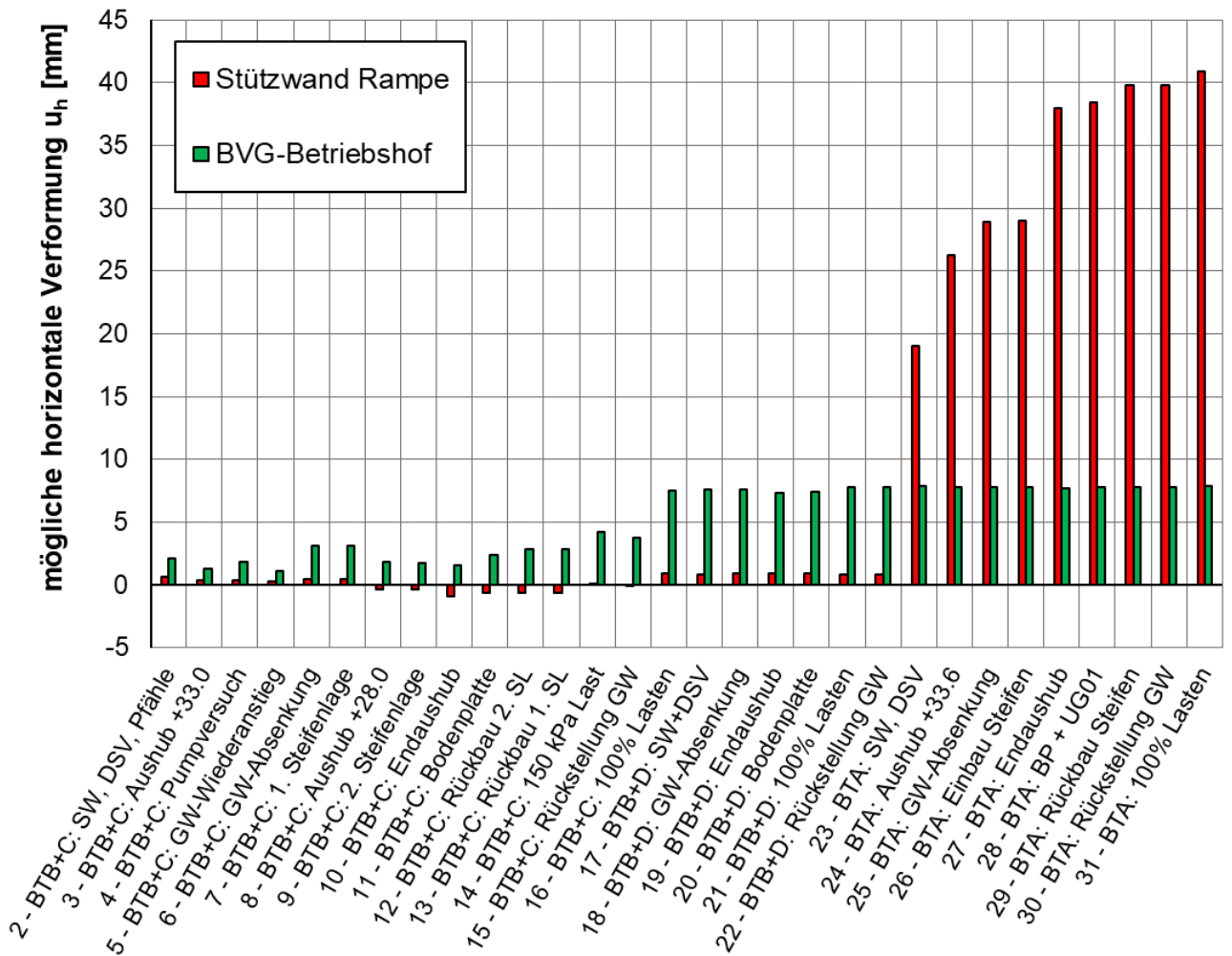


Bild 7-4 Stützwand Rampe Rudolfstraße und BVG-Betriebshof: Entwicklung der möglichen horizontalen Gesamtverformungen über alle Bauphasen (positive Werte ... in Richtung Baugrube)

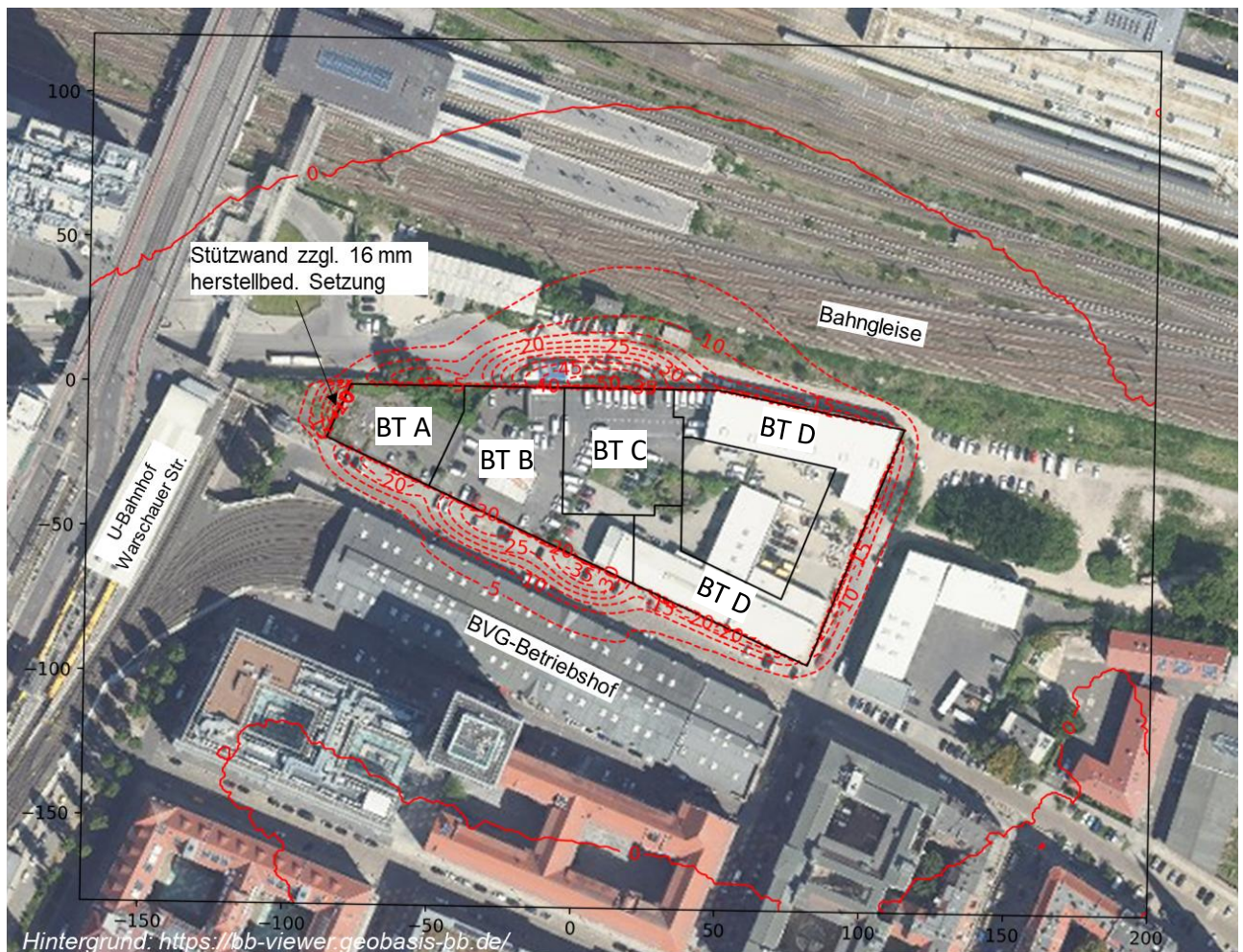


Bild 7-5 Isolinien der möglichen vertikalen Verformungen im Endzustand (ohne herstellbedingte Verformungen), Wertebereich von 0 bis -50 mm (Setzungen), Schrittweite 5 mm

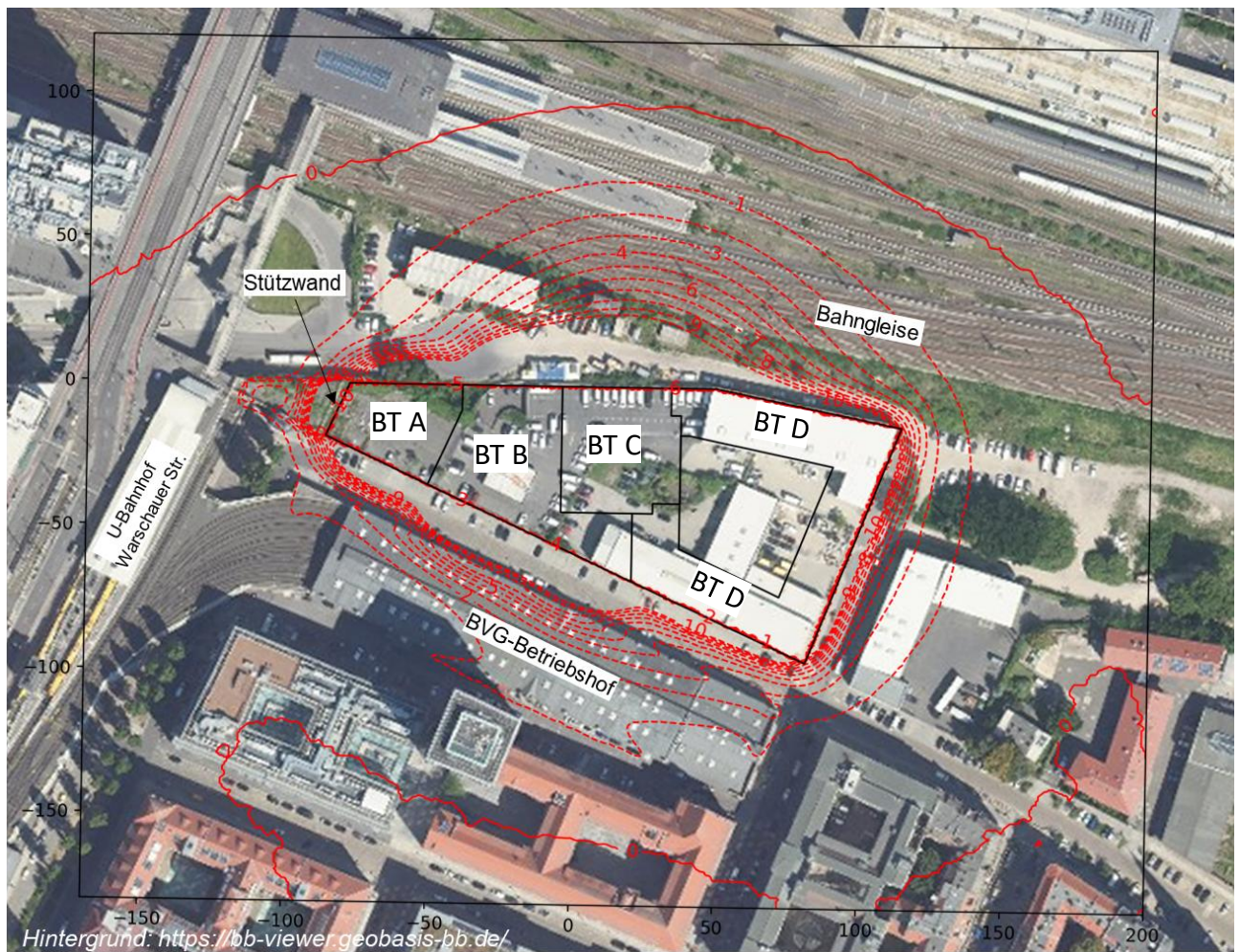


Bild 7-6 Isolinien der möglichen vertikalen Verformungen im Endzustand (ohne herstellbedingte Verformungen), Wertebereich von 0 bis -10 mm (Setzungen), Schrittweite 1 mm

8 BEWERTUNG DER GLEISSETZUNGEN NACH RIL 836.3001

8.1 Vorgehensweise

Die Bewertung der prognostizierten Gleissetzungen für den Bahnverkehr erfolgt nach den Vorgaben der RiL 836.3001 [L 4] für ein Gleis im Schotterbett. Die Bezugslänge ΔL wird aus der Verformungslinie der Gleise in der FE-Berechnung entnommen.

Die Streckenhöchstgeschwindigkeiten betragen nach Bild 8-1:

- Strecke 6004 (S-Bahngleise): 80 km/h
- Strecke 6153 (Fernbahn- und Gütergleise): 120 km/h
- Südliche Gütergleise (keine Streckennr.): 60 / 80 km/h

Für die Bewertung wird auf der sicheren Seite liegend die max. Streckengeschwindigkeit von 120 km/h auch für das zur Baugrube nächstgelegene Gleis angesetzt.

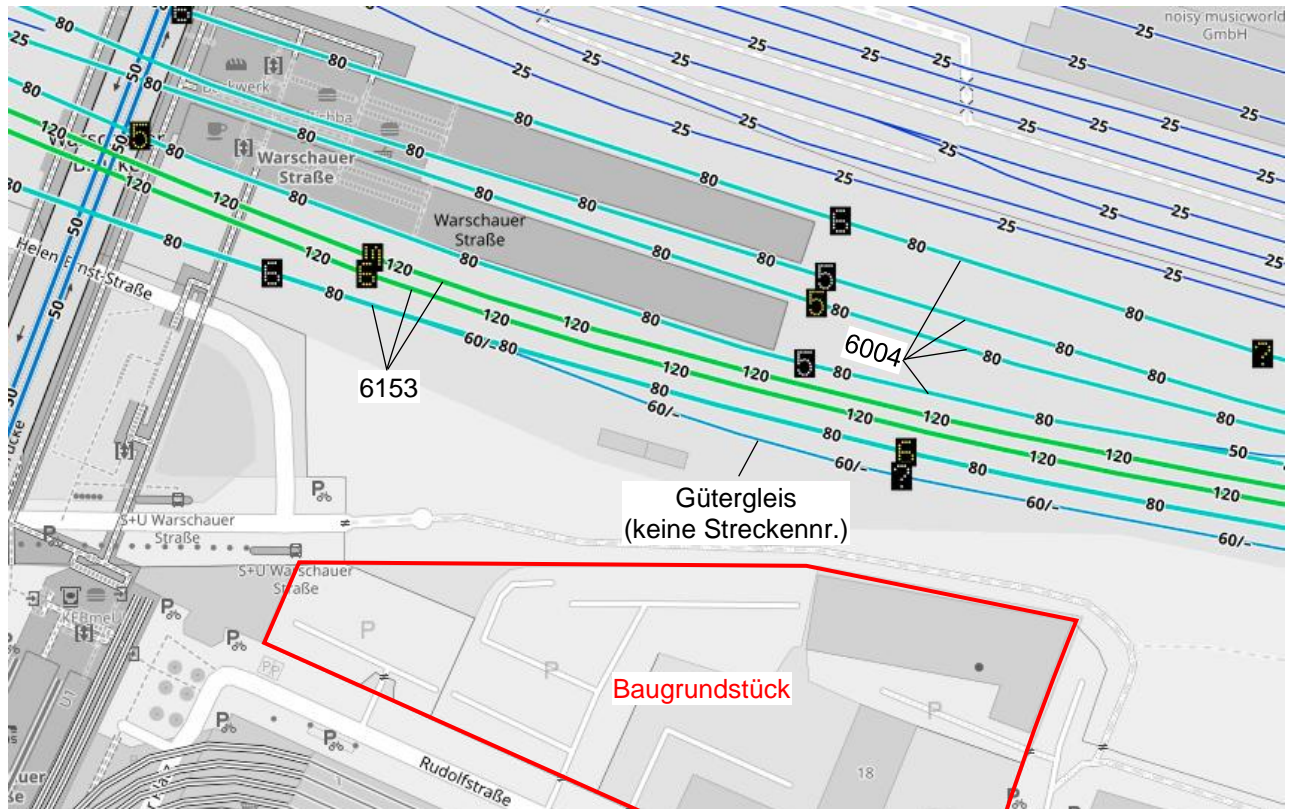


Bild 8-1 Streckenhöchstgeschwindigkeiten nach <https://www.openrailwaymap.org/>

8.2 Ermittlung der zulässigen Gleissetzung

Mögliche prognostizierte Setzung Gleis 1: $s = 8 \text{ mm}$ (Kap. 7, Punkt „Gleis 1“)

Bezugslänge: $\Delta L = 40 \text{ m}$ (siehe Bild 8-2)

Zulässige Höchstgeschwindigkeit: 120 km/h (sichere Seite)

Hinnehbare Setzungsdifferenz innerhalb des Instandsetzungsintervalls nach RiL 836.3001, Kap. 4, Absatz (4), Bild 1: $\Delta s = \text{ca. } 62 \text{ mm}$ (Bild 8-3) $> s_{\text{Gleis1}} = 8 \text{ mm}$

Die prognostizierten möglichen Gleissetzungen der Bahngleise liegen unter der hinnehmbaren Setzungsdifferenz innerhalb des Instandhaltungsintervalls.

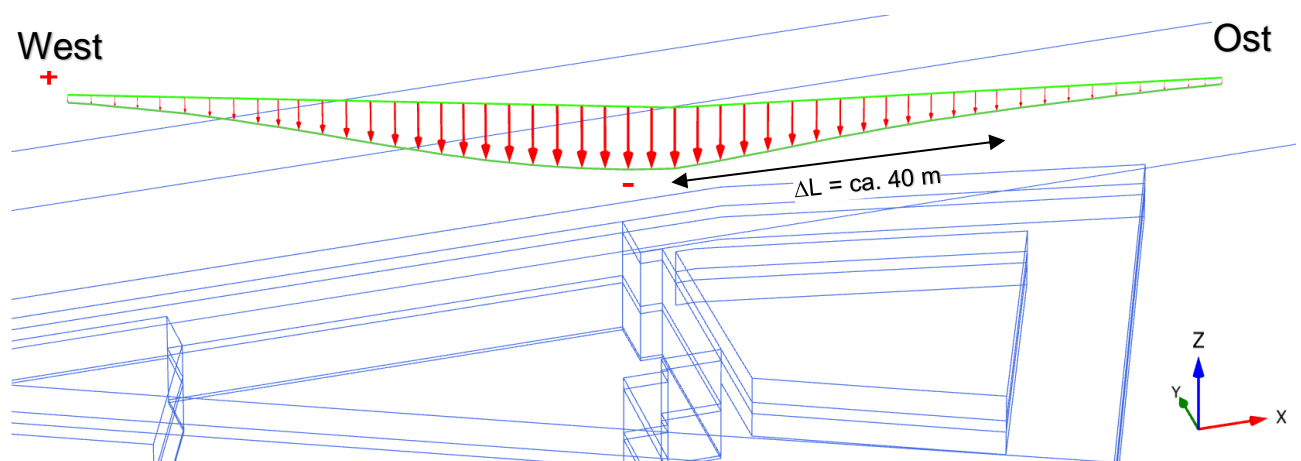


Bild 8-2 Gleis 1 - vertikales Verformungsbild zu (überhöht), Phase 31 – Endzustand

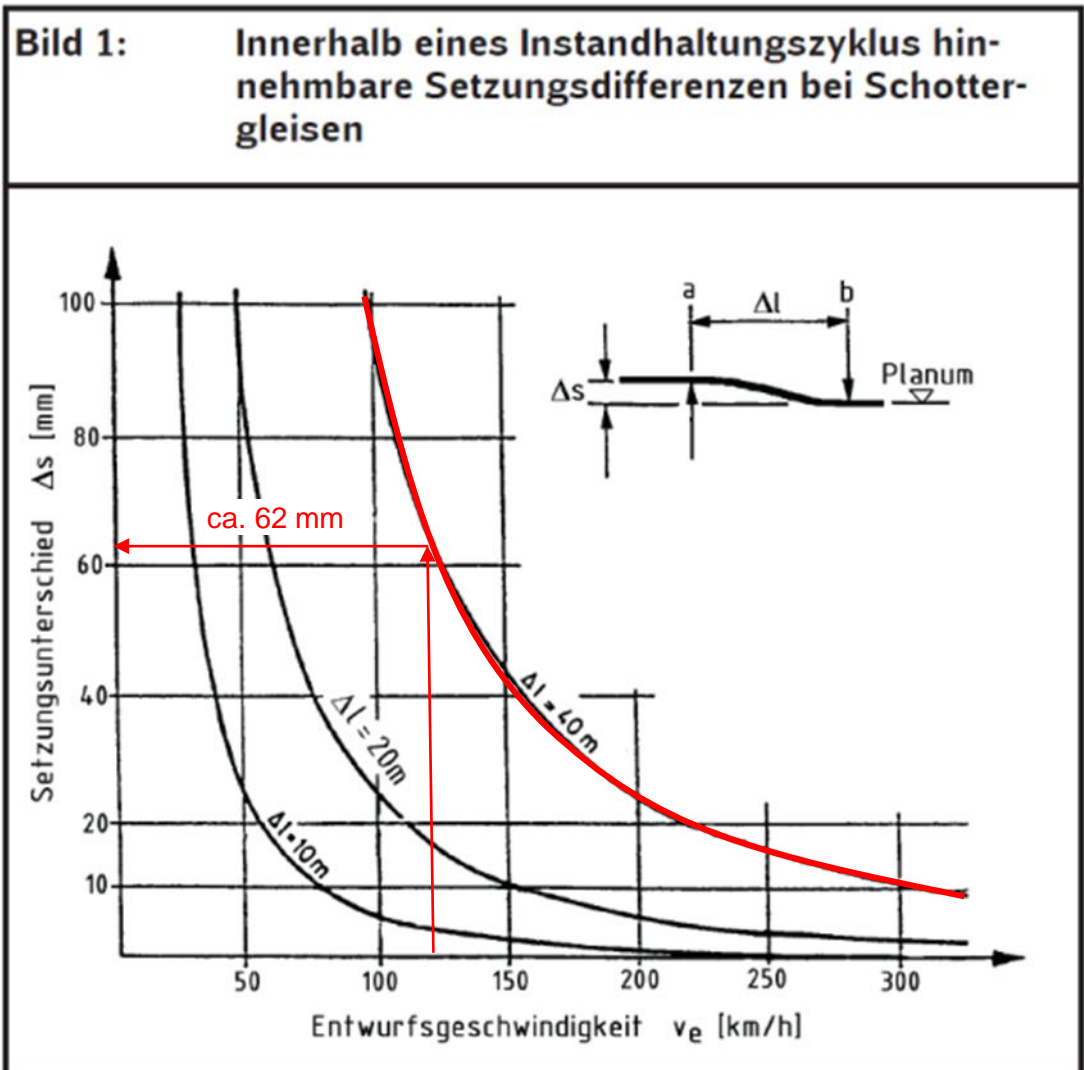


Bild 8-3 Zulässige Gleissetzungsdifferenzen nach RiL 836.3001

B. Schädlich

ppa. Dr. techn. B. Schädlich

G. Hirschberg

Dr. rer. nat. Götz Hirschberg

ANLAGENVERZEICHNIS

	Seiten- anzahl
Anlage 1 Ableitung der HS-Steifigkeitsparameter	2
Anlage 2 Dokumentation 3D-FE-Berechnung	50

Anlage 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: 32.8 m ü. NHN

Hinweise: t ist die Tiefe ab GOK

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

Bodenschicht	Geotechnischer Bericht						Angesetzte HS-Materialparameter für $p^{ref}=100 \text{ kPa}$	
	Steifigkeiten E_s/vt [MN/m ²]	Scherfestigkeit c [kN/m ²]	φ [°]	Wichte γ [kN/m ²]	Vorbelastung?	OK Schicht [m ü. NHN]	E_{oed}^{ref} [MN/m ²]	m [-]
Auffüllung	10	0	30.0	17.0	nein	35.3	15	0.5
Sand S1	18	0	32.5	20.0	nein	32.0	30	0.5
Sand S2	30	0	35	20.5	nein	30.0	56	0.5
Sand S3	112.5	0	37.5	20.5	ja	21.0	135	0.5
qhol*	150	30	27.5	20.5	ja	-13.0	20	0.7
Sand S4	120	0	37.5	20.5	ja	-24.0	145	0.5

* $E_s = \text{konst.}$

Abminderungsfaktor auf E_s -Werte des

Geotechnischen Berichtes: 0.667 für nicht vorbelastete Böden
1.000 für vorbelastete Böden

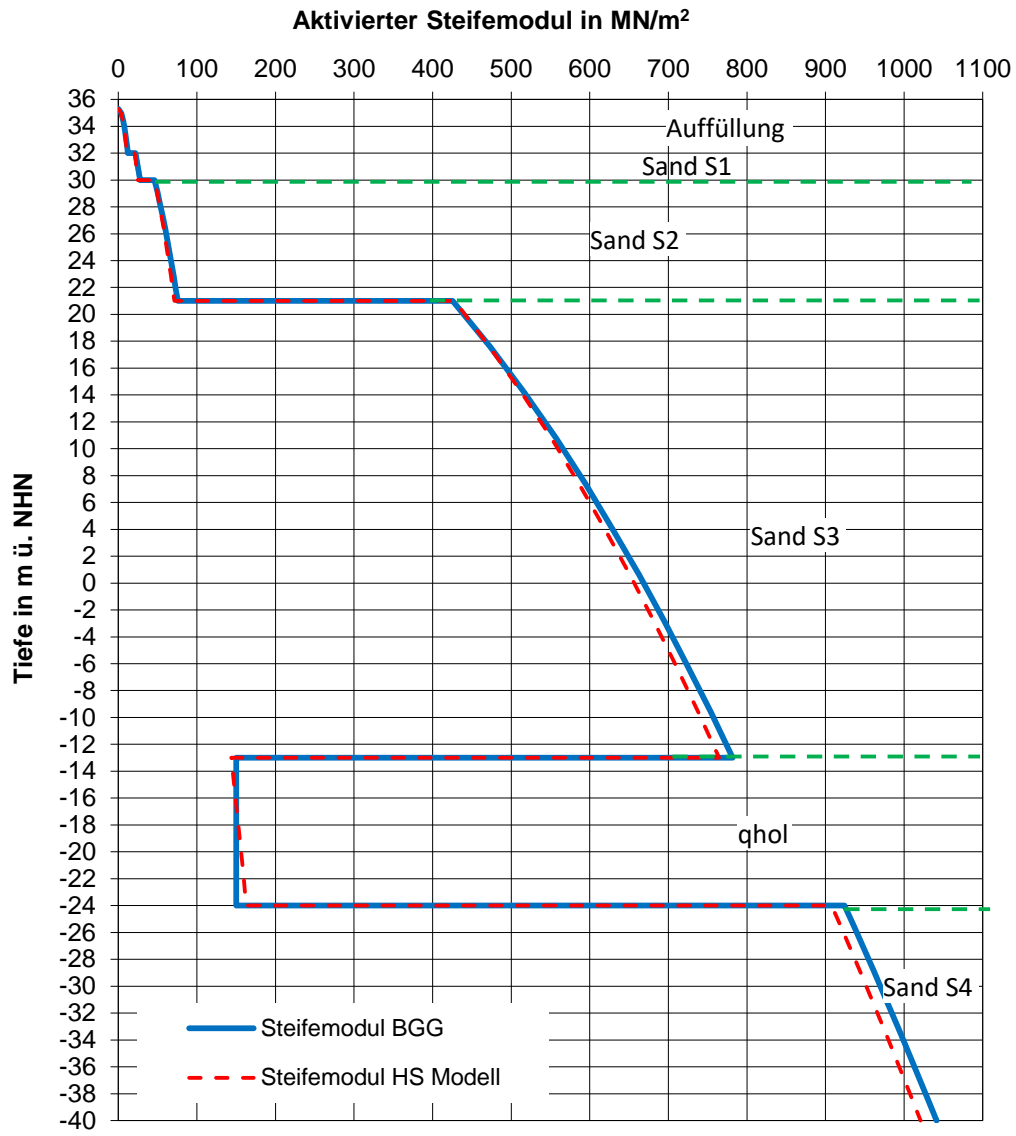
Die E_s -Werte des Baugrundgutachtens basieren auf Rückrechnungen von Setzungsmessungen an ausgeführten Bauwerken (siehe Mittag et al. 2020: Herausforderungen von Hochhausgründungen in Gebieten mit glazial geprägten Böden). In diesen Rückrechnungen wurde die Zunahme der Bodensteifigkeit durch die Gebäudeauflast 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 eiszeitlich 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 eiszeitlich 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 2

Abbildungsverzeichnis Anlage 4 – Dokumentation FE-Berechnung

Abbildung	Seite
Ansicht Gesamtmodell Phase 0 – Initialzustand	4
Ansicht Gesamtmodell Phase 1 – Bestand.....	4
Ansicht Gesamtmodell Phase 2 – BT B+C - Schlitzwand, DSV, Pfähle	5
Ansicht Gesamtmodell Phase 3 – BT B+C - Aushub +33,0 m NHN.....	5
Ansicht Gesamtmodell Phase 4 – BT B+C - Pumpversuch +29,8 m NHN	6
Ansicht Gesamtmodell Phase 5 – BT B+C - GW-Wiederanstieg	6
Ansicht Gesamtmodell Phase 6 – BT B+C - GW-Absenkung +21,8 m NHN.....	7
Ansicht Phase 7 – BT B+C - 1. Steifenlage	7
Ansicht Phase 8 – BT B+C - Aushub +28,0 m NHN	8
Ansicht Phase 9 – BT B+C - 2. Steifenlage	8
Ansicht Phase 10 – BT B+C - Endaushub +22,3 m NHN.....	9
Ansicht Phase 11 – BT B+C - Bodenplatte und Decke ü. 3. UG	9
Ansicht Phase 12 – BT B+C - Rückbau 2. Steifenlage (Flächenlasten ausgeblendet)	10
Ansicht Phase 13 – BT B+C - Decke ü. 2. UG und Rückbau 1. Steifenlage (Flächenlasten ausgeblendet)	10
Ansicht Phase 14 – BT B+C - Flächenlast 150kN/m ² zur Auftriebssicherheit.....	11
Ansicht Phase 15 – BT B+C - Zurückstellen Grundwasser	11
Ansicht Phase 16 – BT B+C – 100% Gebäudelasten (Decke ü. 3. und 2. UG ausgeblendet).....	12
Ansicht Phase 17 – BT D – Schlitzwände und DS-Sohle.....	12
Ansicht Phase 18 – BT D – GW-Absenkung +31,5 m NHN	13
Ansicht Phase 19 – BT D – Endaushub +32,0 m NHN	13
Ansicht Phase 20 – BT D – Bodenplatte.....	14
Ansicht Phase 21 – BT D – 100% Gebäudelasten.....	14
Ansicht Phase 22 – BT D – Zurückstellen Grundwasser.....	15
Ansicht Phase 23 – BT A – Schlitzwände, DS-Sohle	15
Ansicht Phase 24 – BT A – Aushub +33,6 m NHN	16
Ansicht Phase 25 – BT A – GW-Absenkung +27,0 m NHN	16
Ansicht Phase 26 – BT A – Einbau Aussteifung	17
Ansicht Phase 27 – BT A – Endaushub.....	17
Ansicht Phase 28 – BT A – Bodenplatte und Decke ü. 2. UG	18
Ansicht Phase 29 – BT A – Rückbau Aussteifung	18
Ansicht Phase 30 – BT A – Zurückstellen Grundwasser.....	19
Ansicht Phase 31 – BT A – 100% Gebäudelasten (Decke ü. 2 UG ausgeblendet)	19

Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 1	20
Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 2	21
Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 3	22
Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 4	23
Materialkennwerte Linear-elastisch	24
Materialkennwerte Mohr-Coulomb.....	25
Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente - 1.....	26
Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – 2.....	27
Materialkennwerte Struktur – Embedded-Beam-Elemente	28
Materialkennwerte Balkenelemente - beams	29
Materialkennwerte Baugrubensteifen und Stützen EÜ – anchors Teil 1.....	29
Materialkennwerte Baugrubensteifen und Stützen EÜ – anchors Teil 2.....	29
Phase 0 – Initialzustand – effektive Vertikalspannung im Schnitt Ost-West.....	30
Phase 0 – Initialzustand – effektive Horizontalspannung in X im Schnitt Ost-West.....	30
Phase 0 – Initialzustand – effektive Horizontalspannung in Y im Schnitt Ost-West.....	31
Phase 0 – Initialzustand – Porenwasserdruck im Schnitt Ost-West	31
Phase 2 – Bestand – effektive Vertikalspannung im Schnitt Ost-West.....	32
Phase 2 – Bestand – effektive Horizontalspannung in X im Schnitt Ost-West	32
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West	33
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung Bahngleise.....	33
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung Bahngleise.....	34
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	34
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	35
Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	35
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West.....	36
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung Bahngleise.....	36
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung Bahngleise.....	37
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	37
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	38
Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	38

Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West	39
Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung Bahngleise	39
Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung Bahngleise	40
Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße...40	40
Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	41
Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	41
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West	42
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung Bahngleise	42
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung Bahngleise	43
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	43
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	44
Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	44
Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West.....	45
Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung Bahngleise	45
Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung Bahngleise	46
Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße ...46	46
Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	47
Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	47
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West.....	48
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung Bahngleise	48
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung Bahngleise	49
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße.....	49
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	50
Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße	50

1 BERECHNUNGSMODELL

1.1 Geometrie und FE-Netz

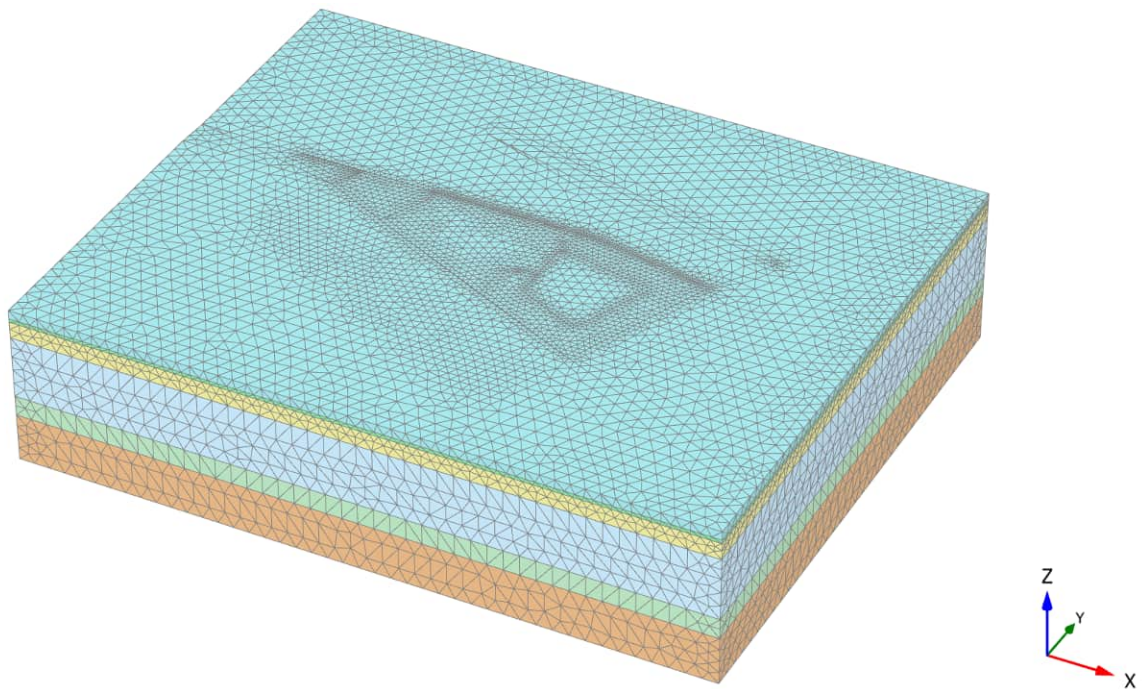


Abbildung A2 - 1: Ansicht Gesamtmodell Phase 0 – Initialzustand

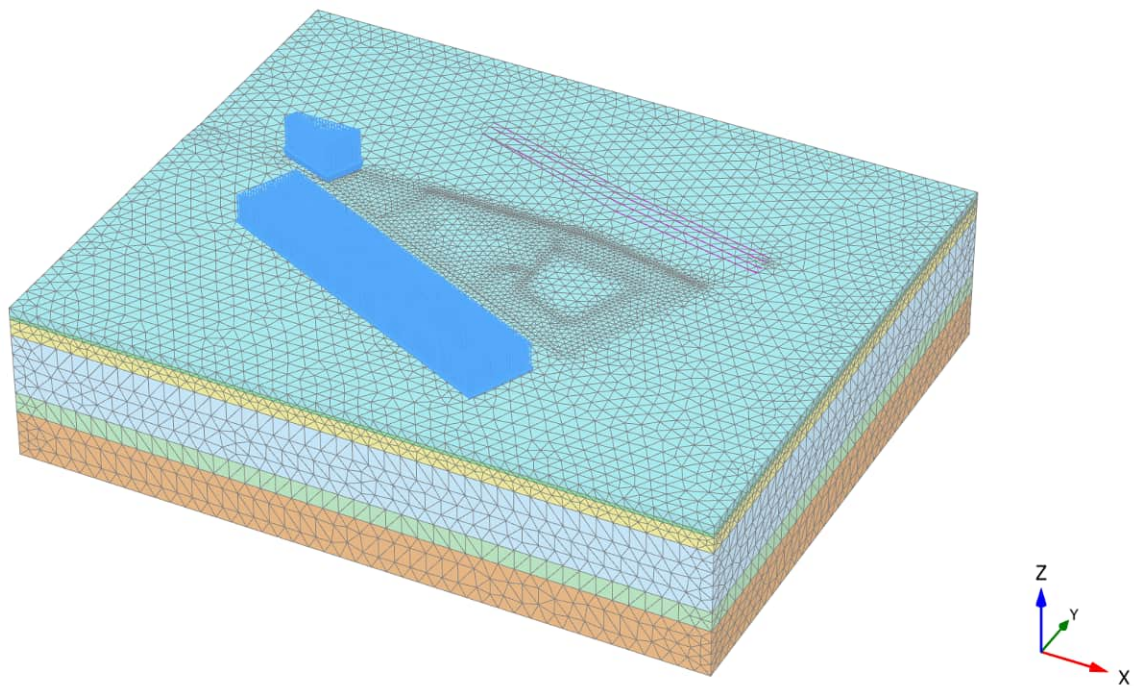


Abbildung A2 - 2: Ansicht Gesamtmodell Phase 1 – Bestand

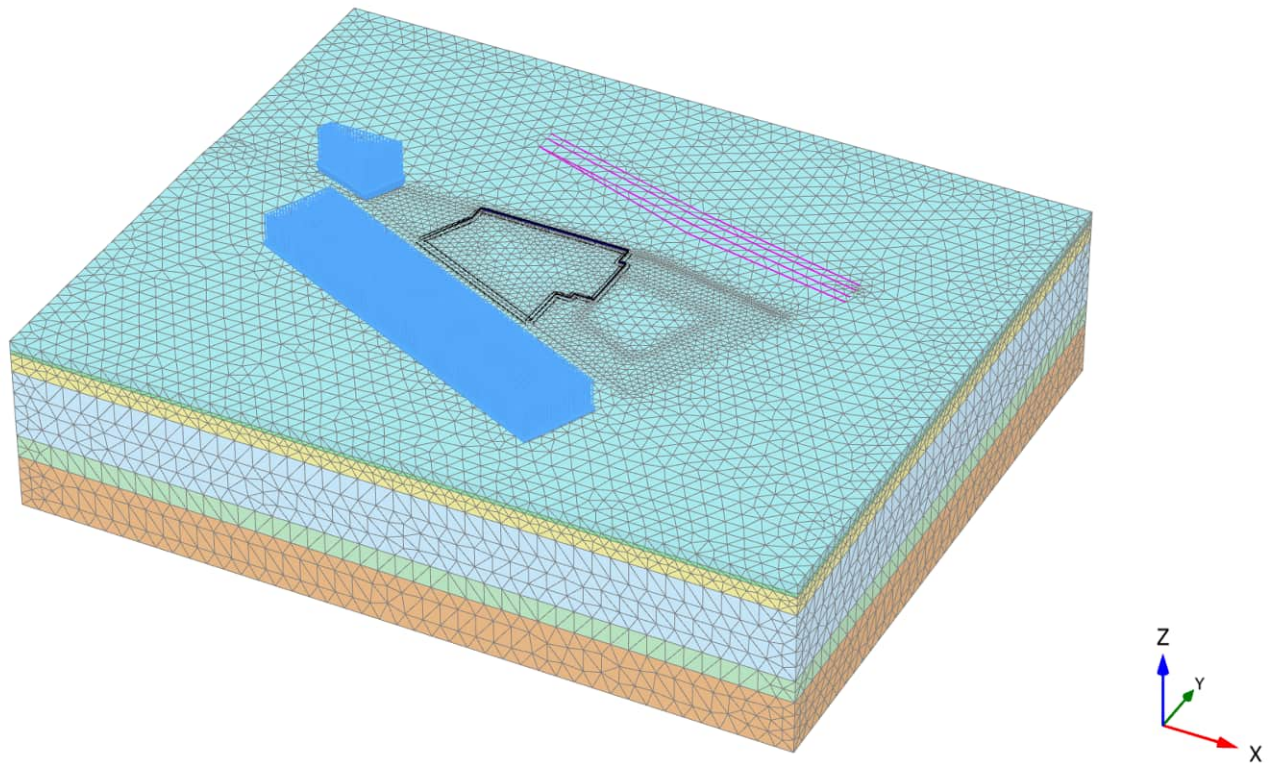


Abbildung A2 - 3: Ansicht Gesamtmodell Phase 2 – BT B+C - Schlitzwand, DSV, Pfähle

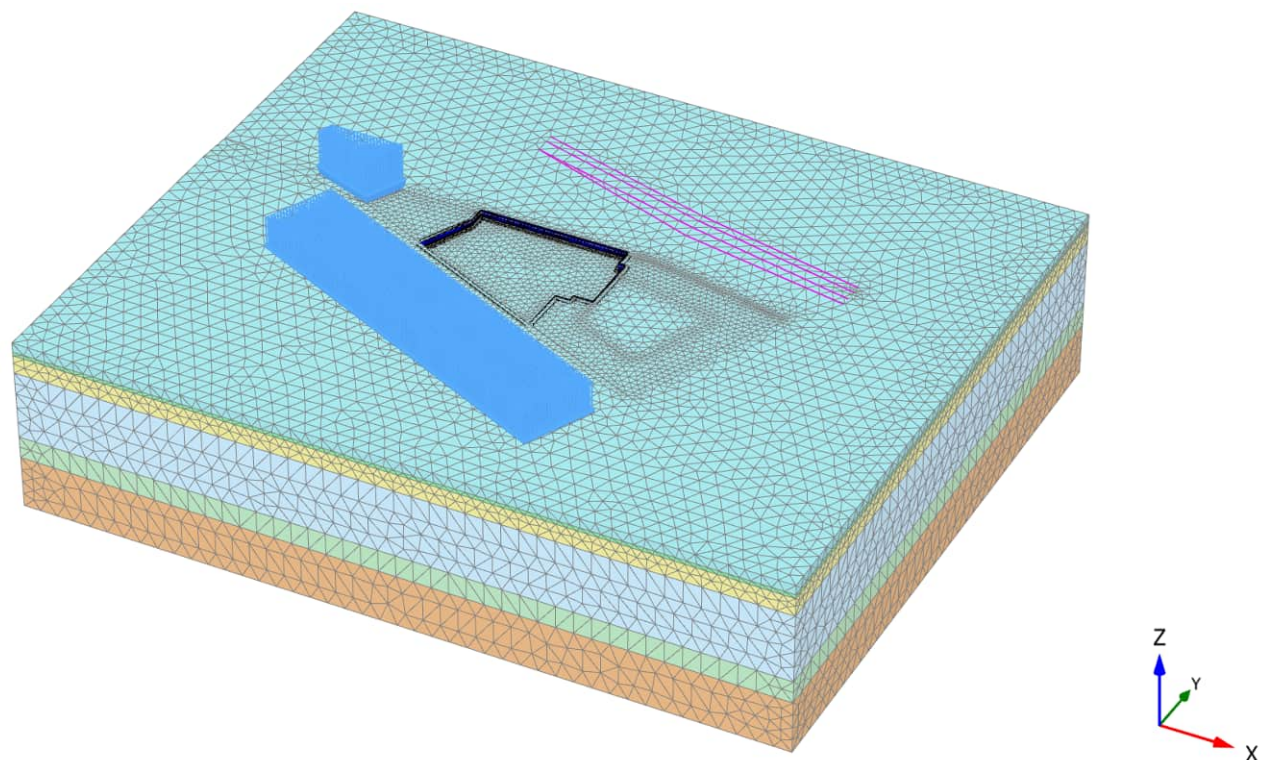


Abbildung A2 - 4: Ansicht Gesamtmodell Phase 3 – BT B+C - Aushub +33,0 m NHN

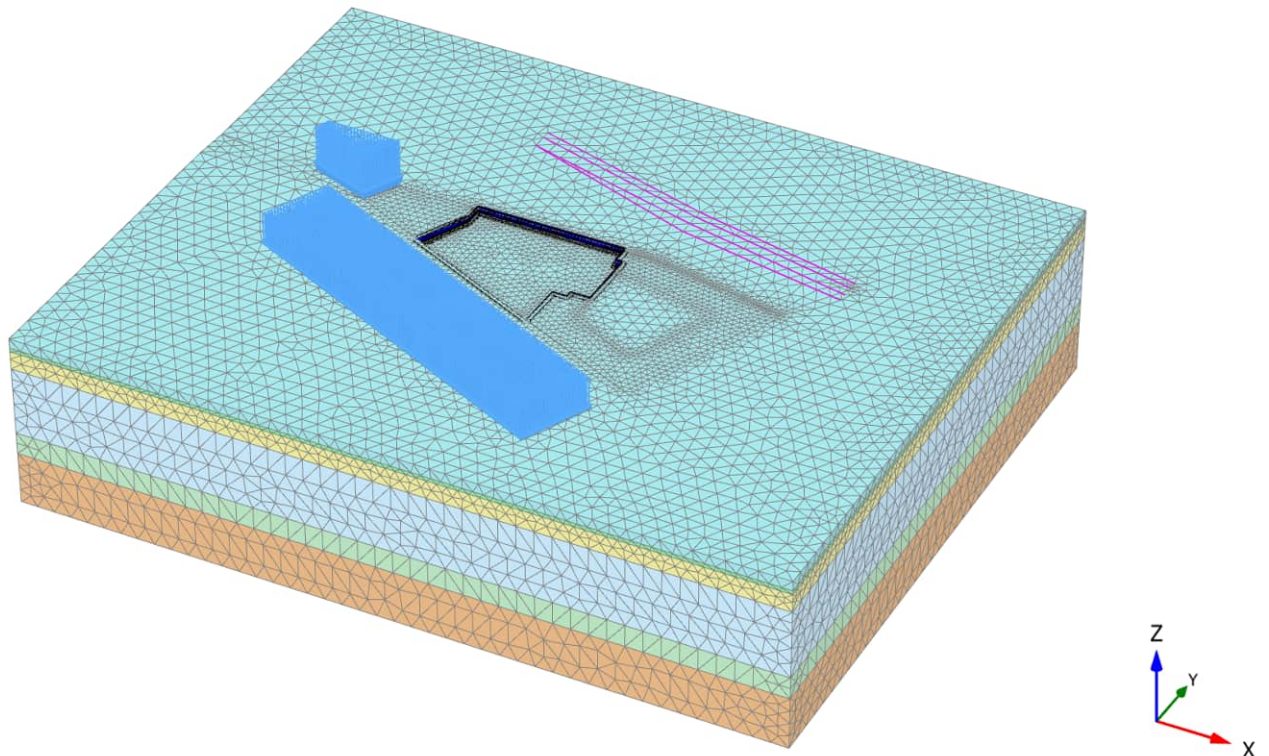


Abbildung A2 - 5: Ansicht Gesamtmodell Phase 4 – BT B+C - Pumpversuch +29,8 m NHN

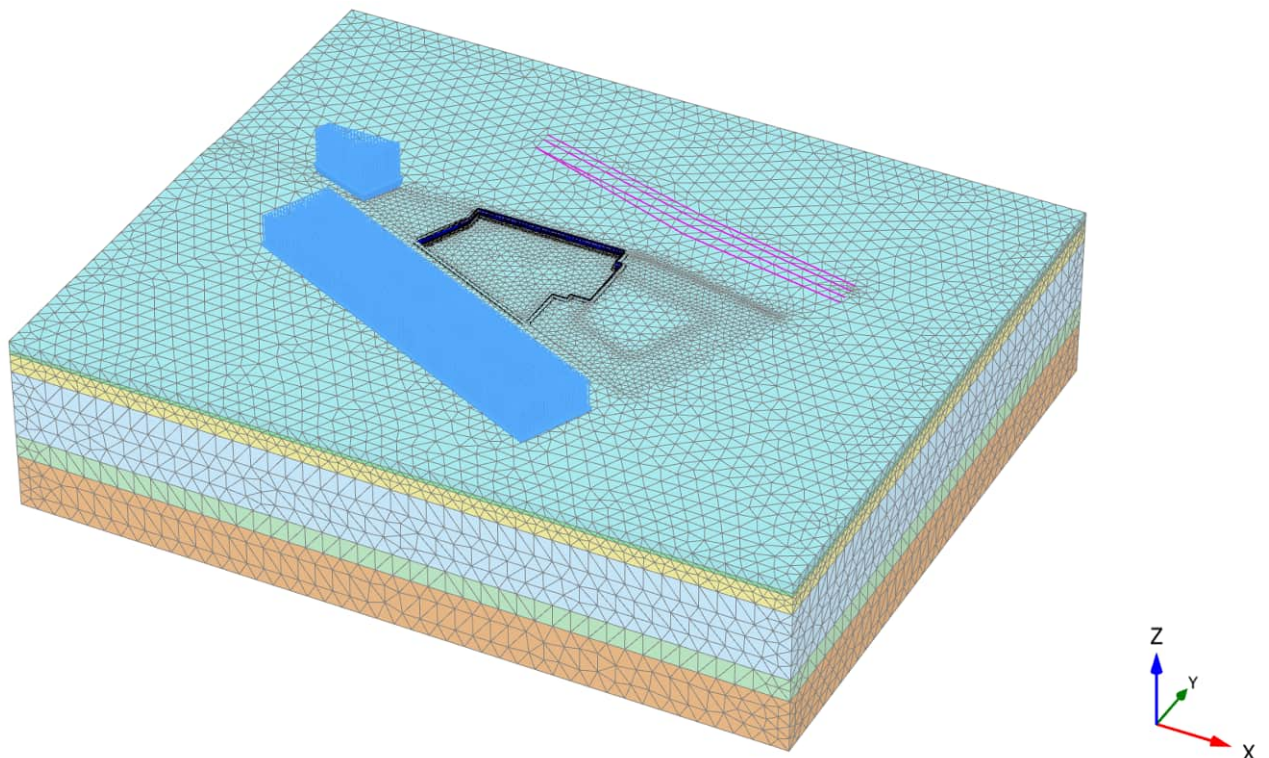


Abbildung A2 - 6: Ansicht Gesamtmodell Phase 5 – BT B+C - GW-Wiederanstieg

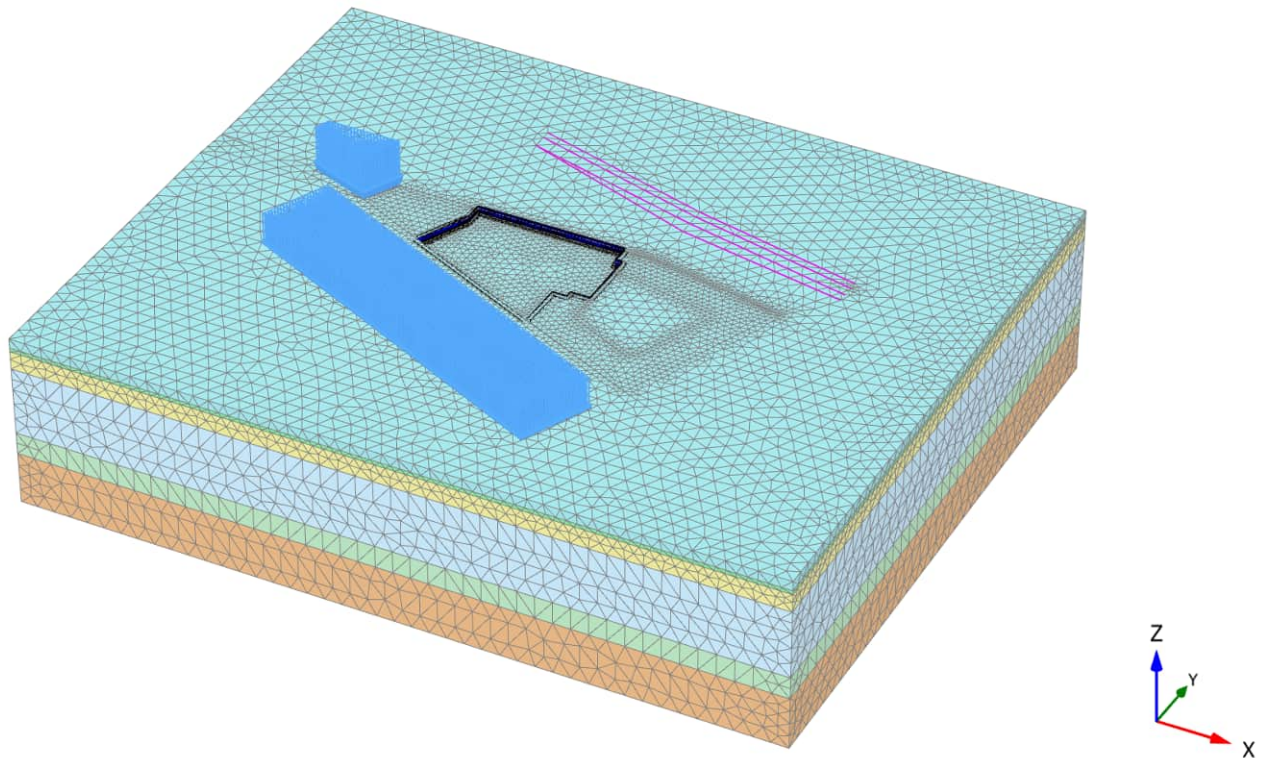


Abbildung A2 - 7: Ansicht Gesamtmodell Phase 6 – BT B+C - GW-Absenkung +21,8 m NHN

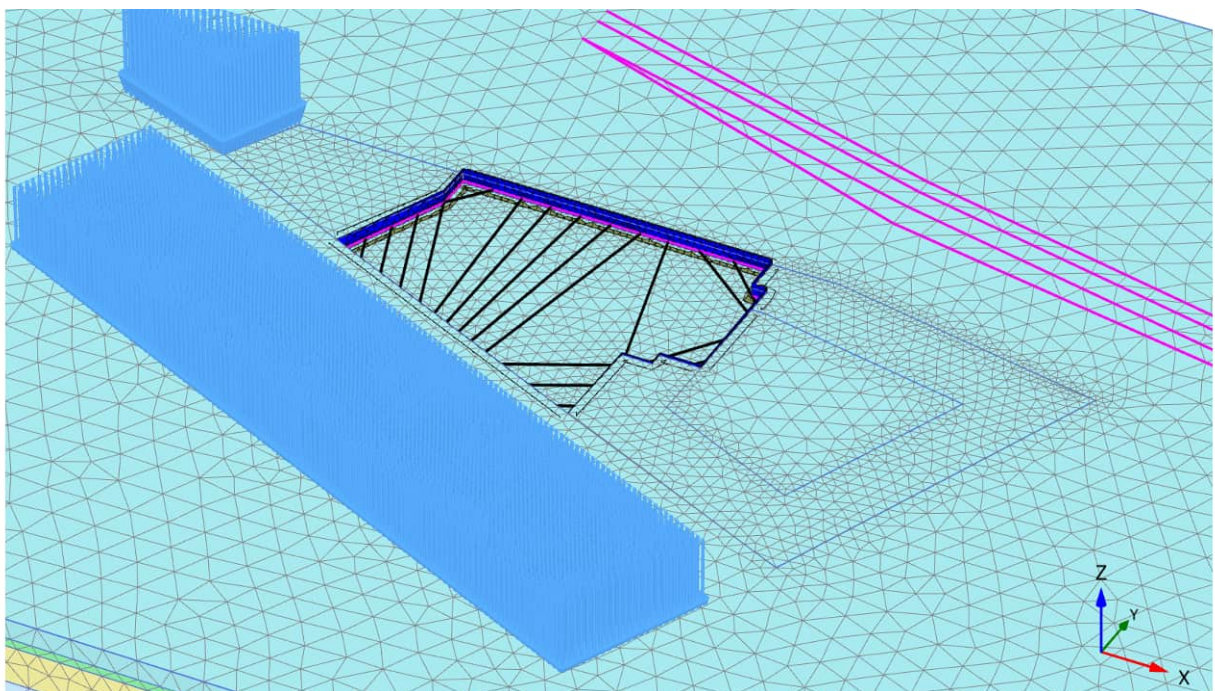


Abbildung A2 - 8: Ansicht Phase 7 – BT B+C - 1. Steifenlage

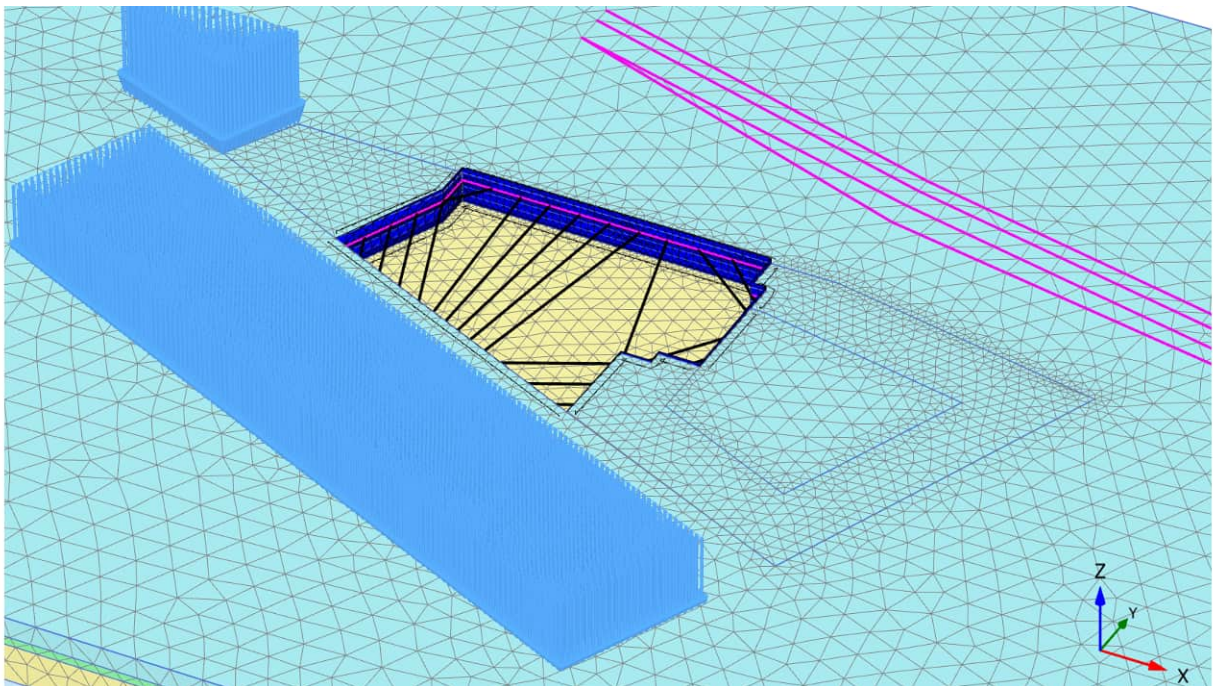


Abbildung A2 - 9: Ansicht Phase 8 – BT B+C - Aushub +28,0 m NHN



Abbildung A2 - 10: Ansicht Phase 9 – BT B+C - 2. Steifenlage

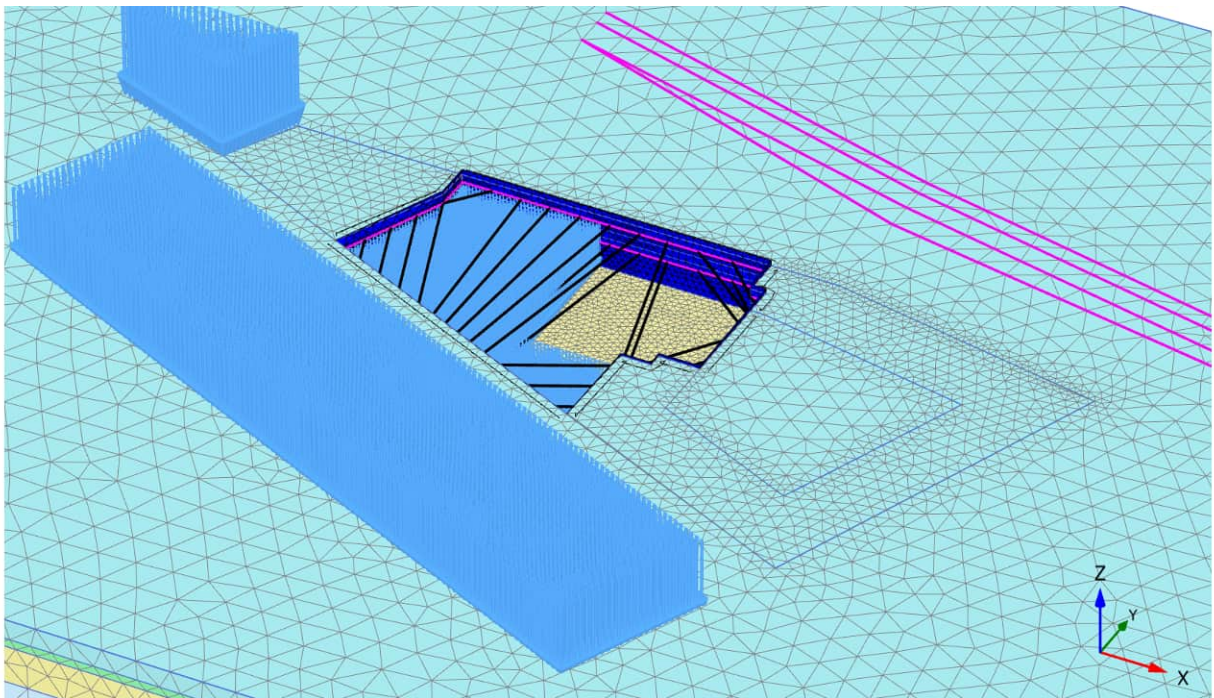


Abbildung A2 - 11: Ansicht Phase 10 – BT B+C - Endaushub +22,3 m NHN

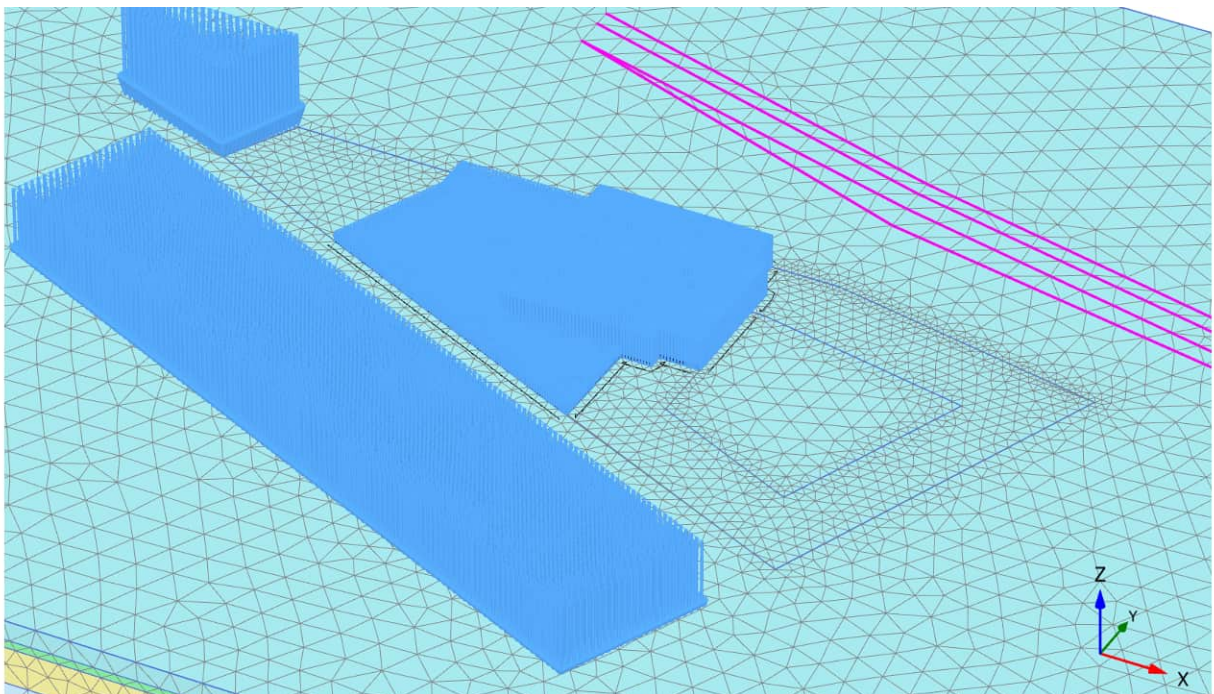


Abbildung A2 - 12: Ansicht Phase 11 – BT B+C - Bodenplatte und Decke ü. 3. UG

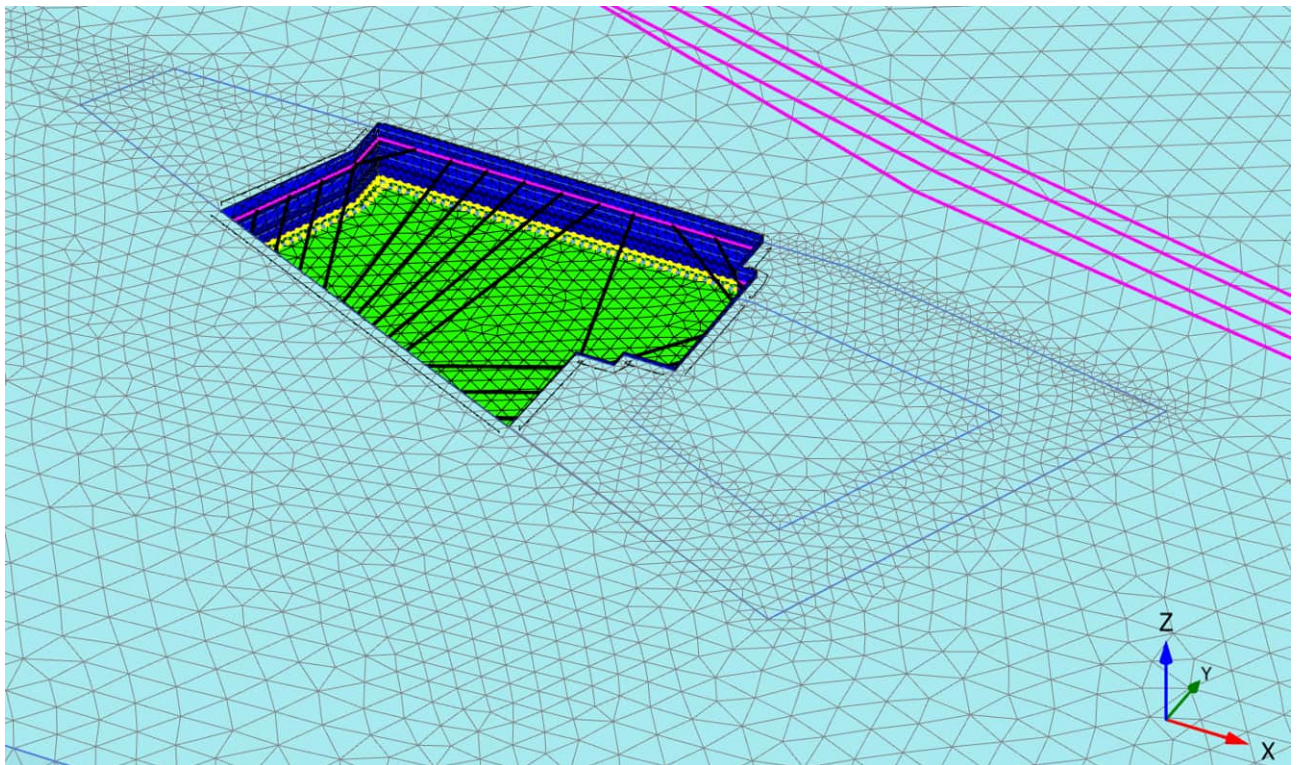


Abbildung A2 - 13: Ansicht Phase 12 – BT B+C - Rückbau 2. Steifenlage (Flächenlasten ausgeblendet)

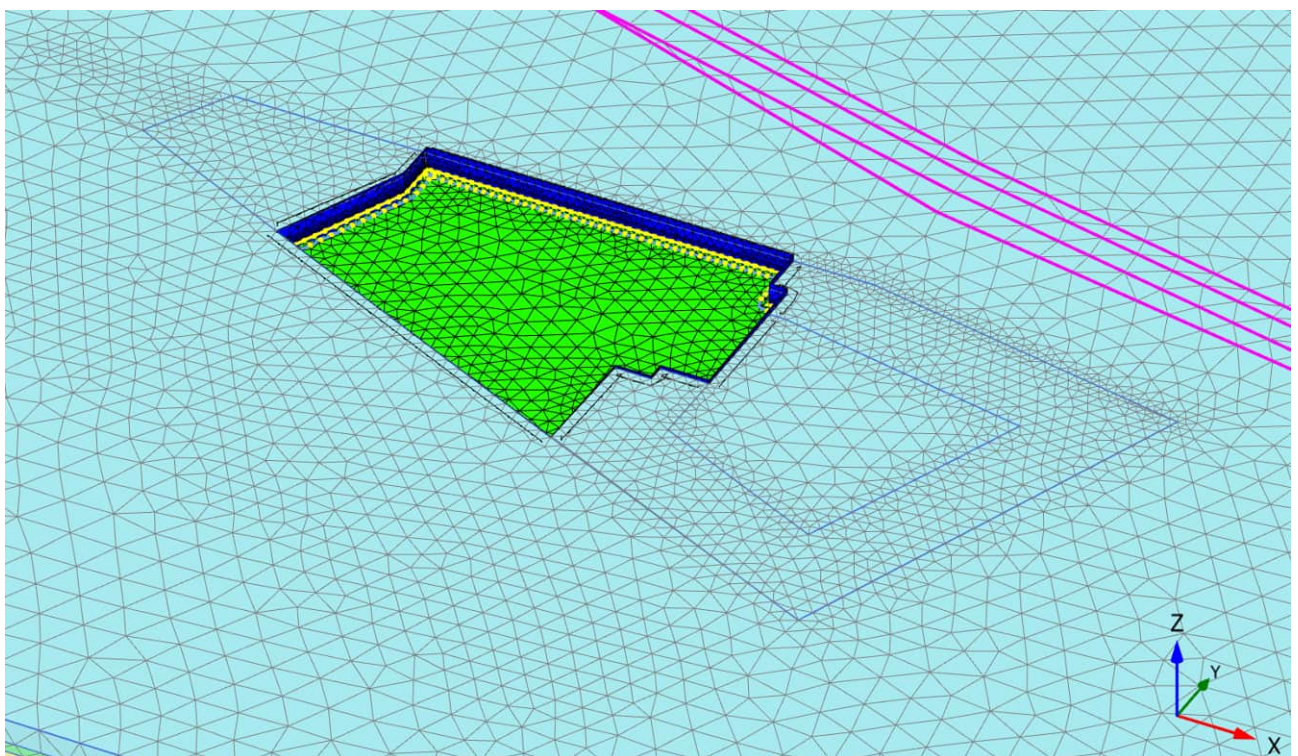


Abbildung A2 - 14: Ansicht Phase 13 – BT B+C - Decke ü. 2. UG und Rückbau 1. Steifenlage (Flächenlasten ausgeblendet)

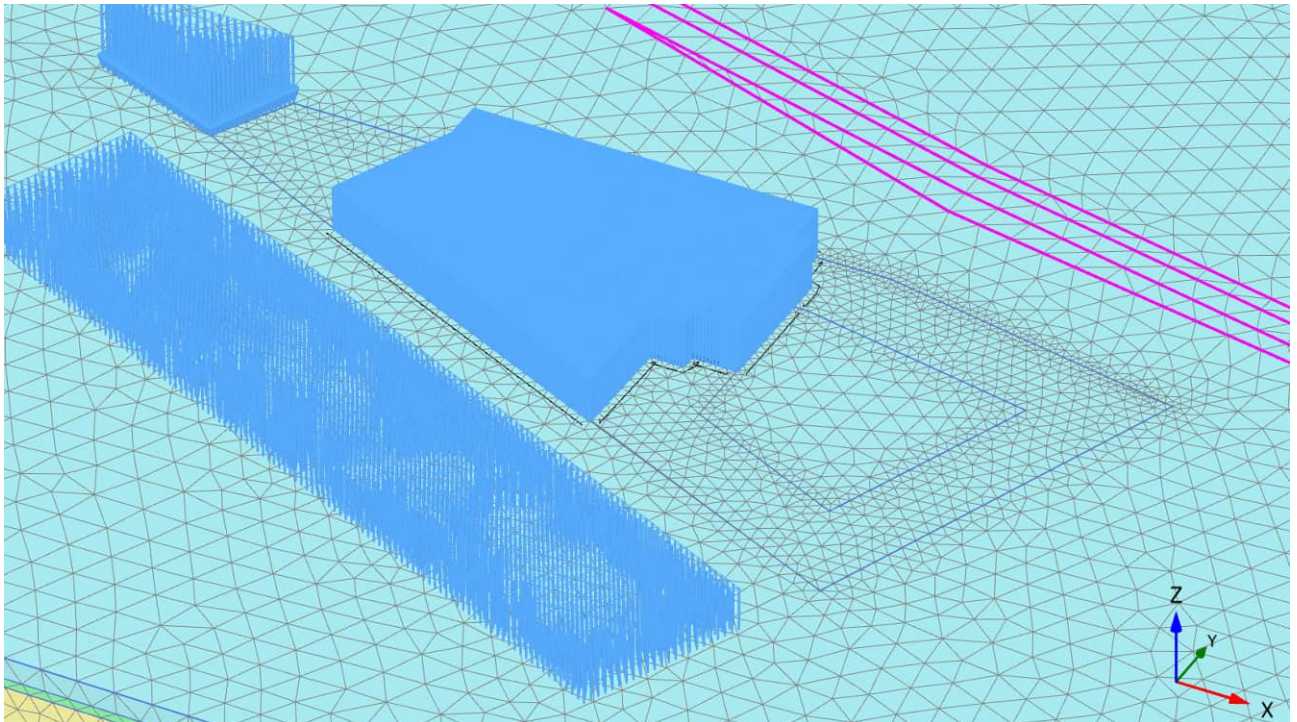


Abbildung A2 - 15: Ansicht Phase 14 – BT B+C - Flächenlast 150kN/m^2 zur Auftriebssicherheit

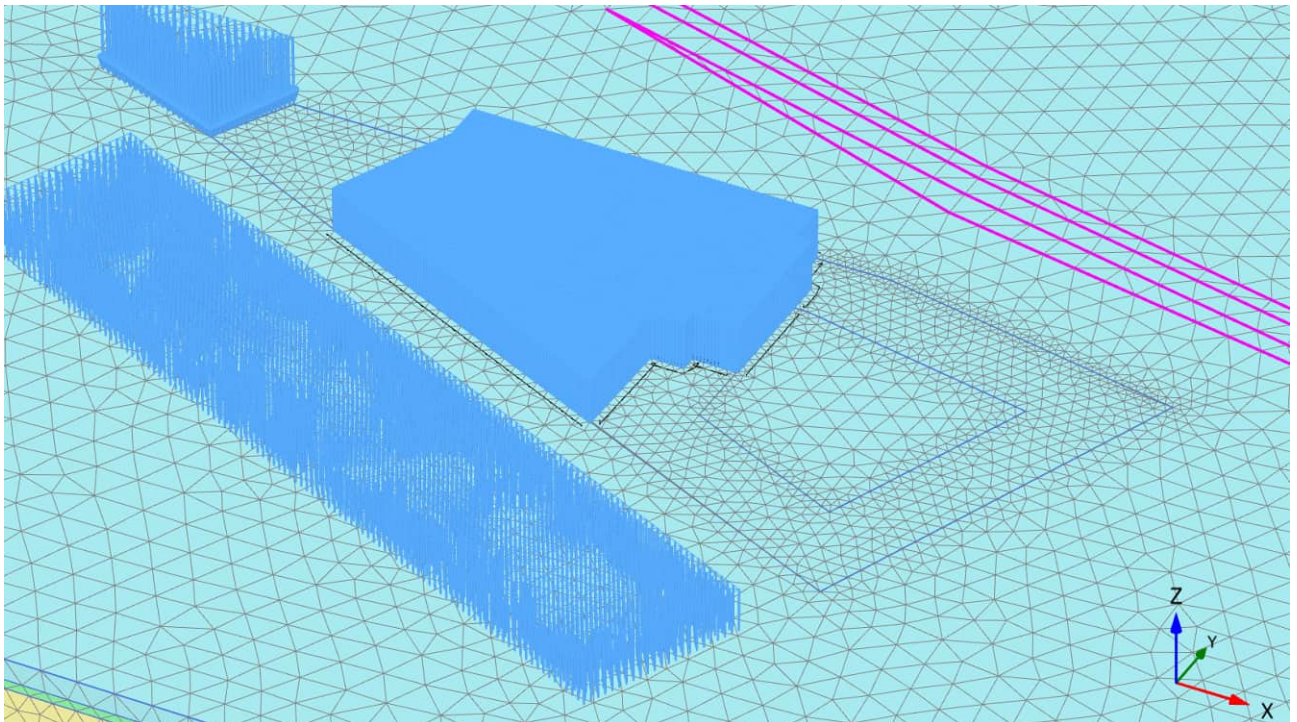


Abbildung A2 - 16: Ansicht Phase 15 – BT B+C - Zurückstellen Grundwasser

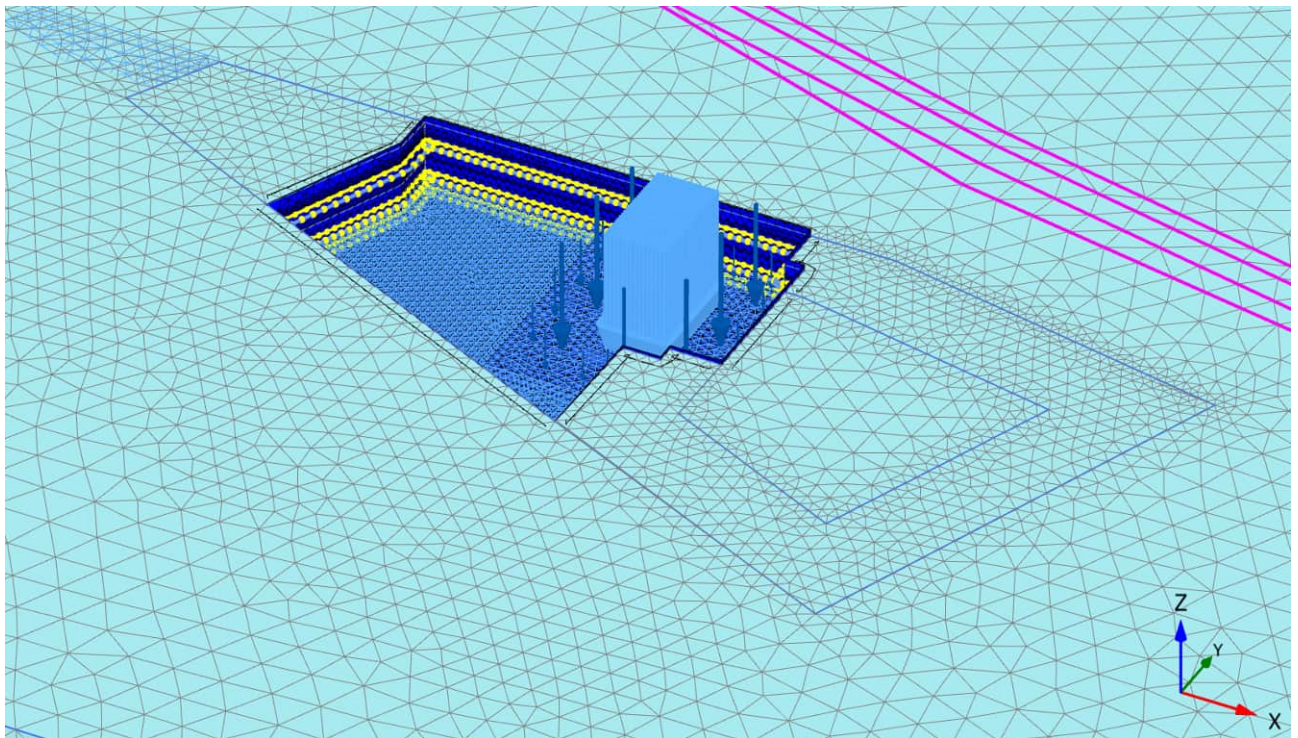


Abbildung A2 - 17: Ansicht Phase 16 – BT B+C – 100% Gebäudelasten (Decke ü. 3. und 2. UG ausgeblendet)

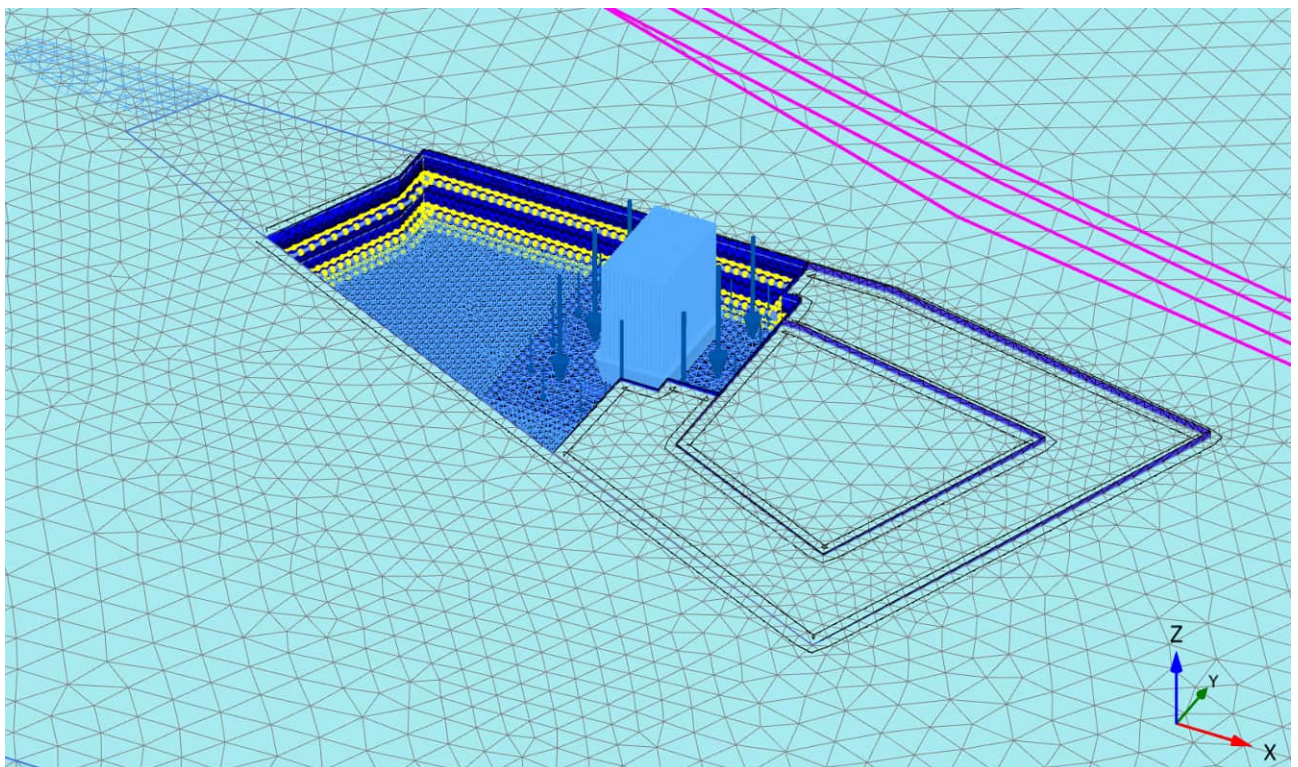


Abbildung A2 - 18: Ansicht Phase 17 – BT D – Schlitzwände und DS-Sohle

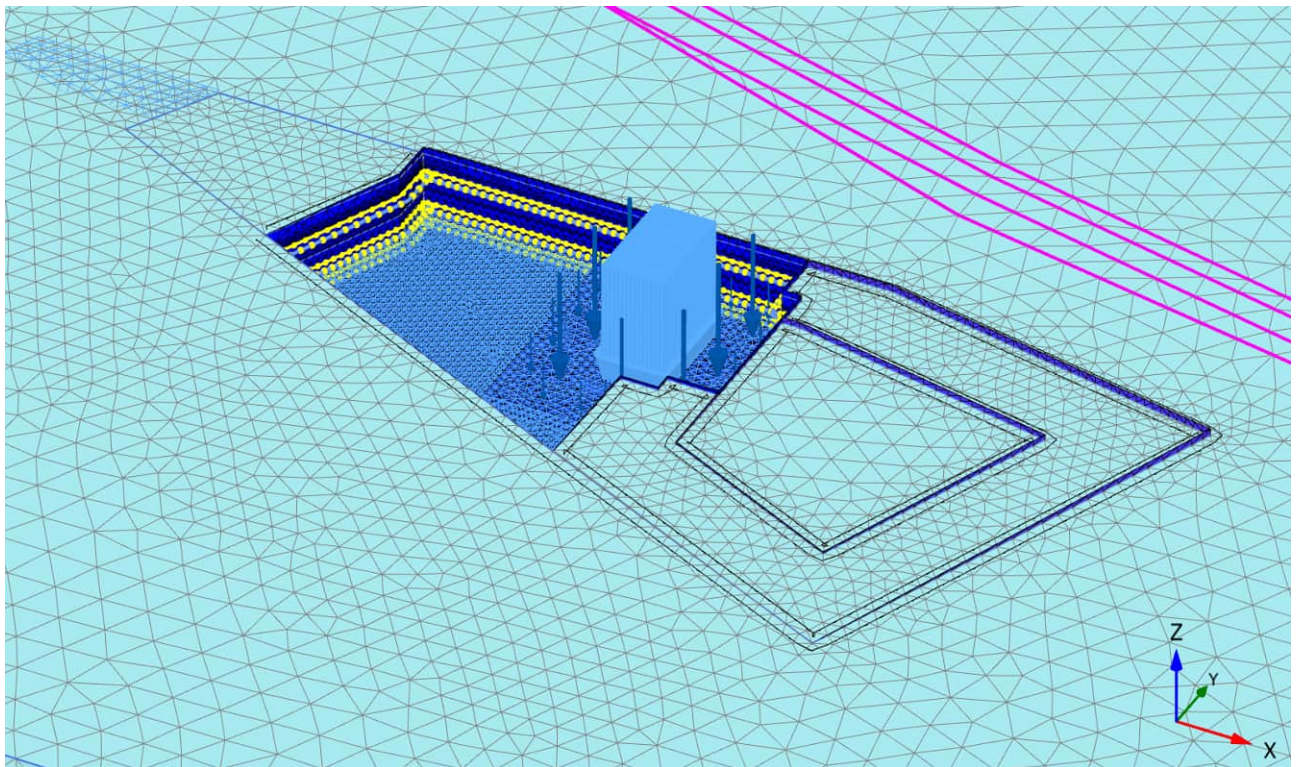


Abbildung A2 - 19: Ansicht Phase 18 – BT D – GW-Absenkung +31,5 m NHN

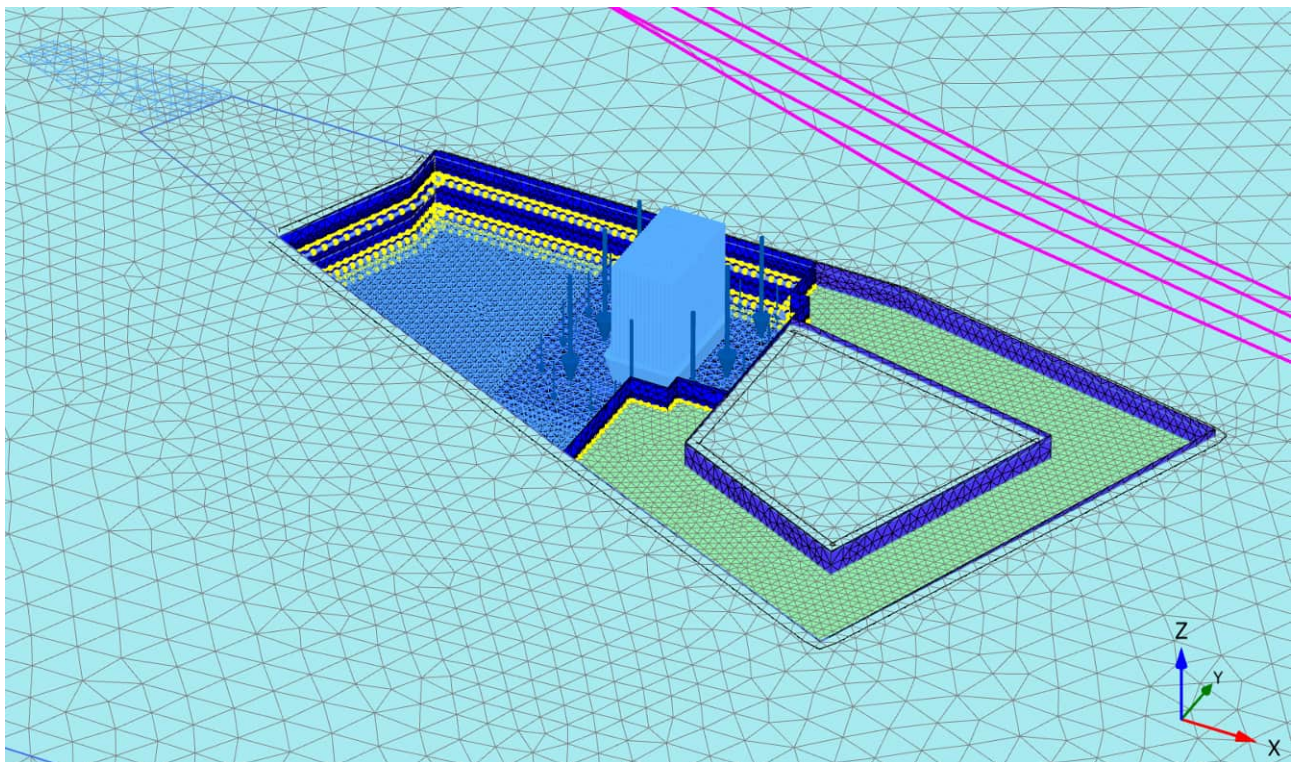


Abbildung A2 - 20: Ansicht Phase 19 – BT D – Endaushub +32,0 m NHN

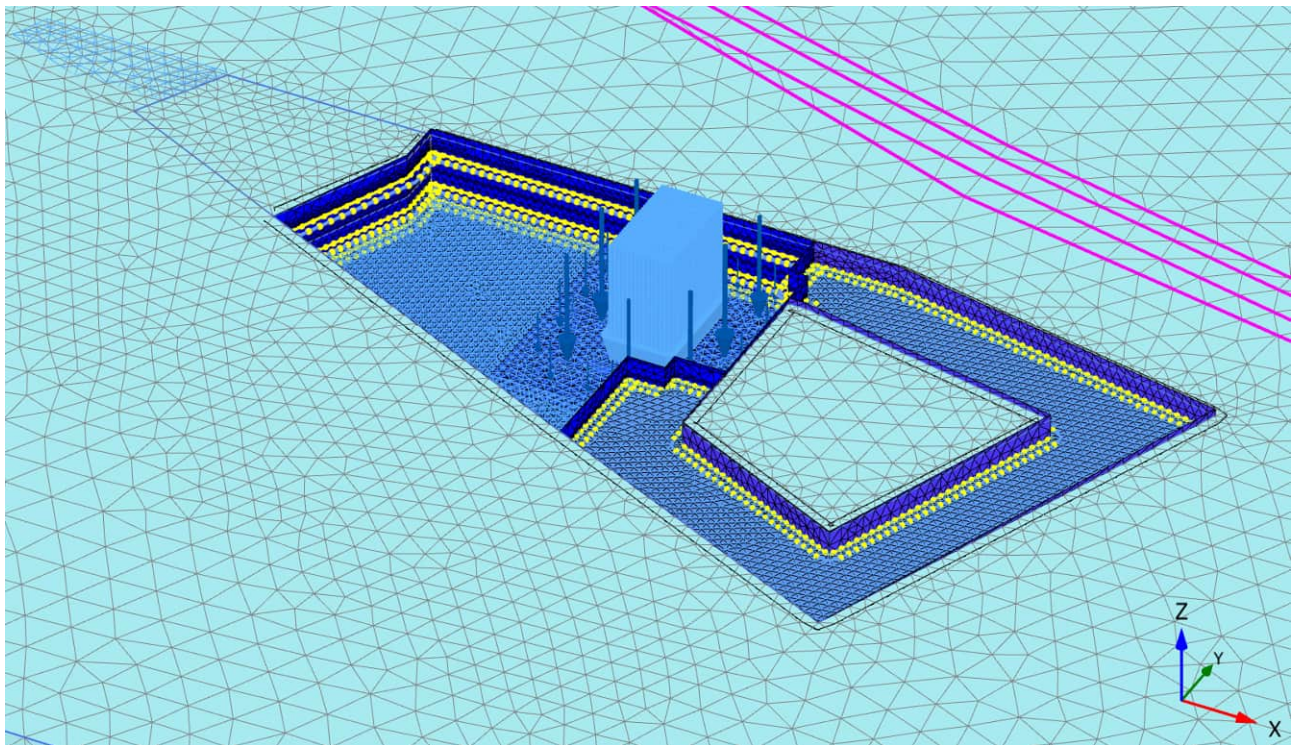


Abbildung A2 - 21: Ansicht Phase 20 – BT D – Bodenplatte

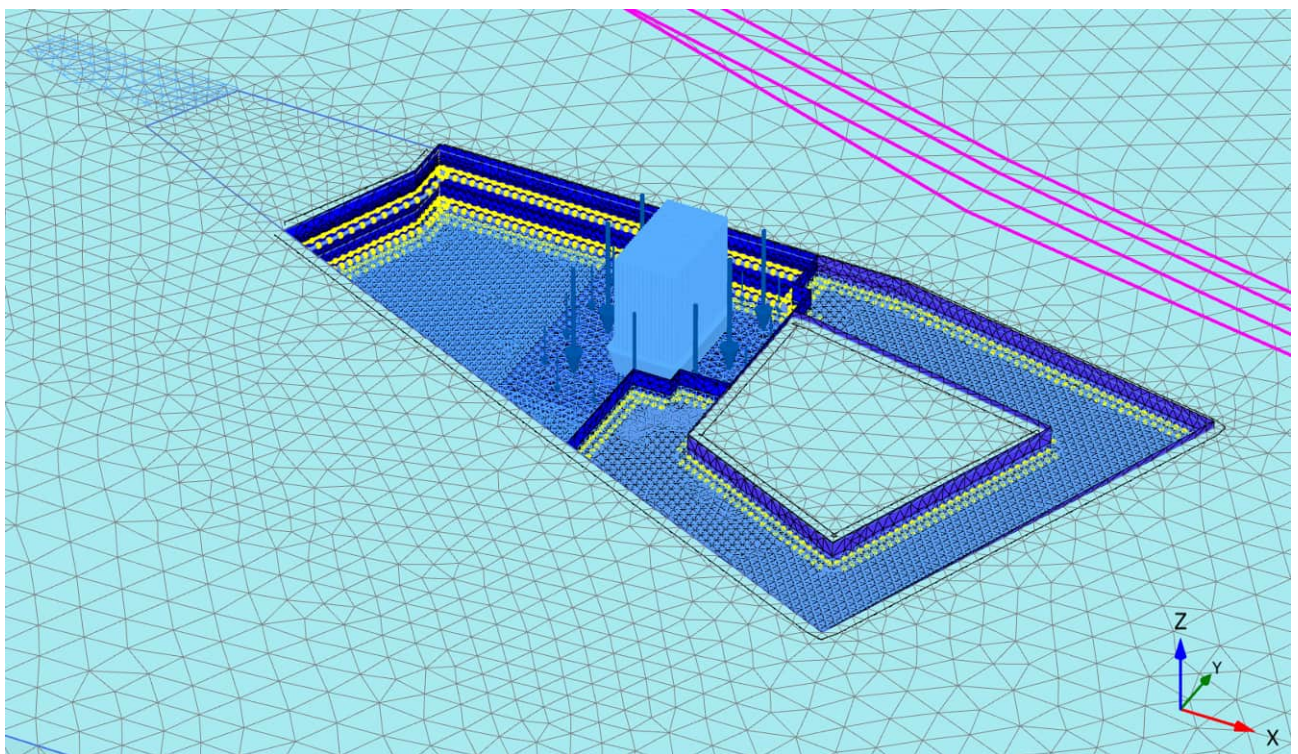


Abbildung A2 - 22: Ansicht Phase 21 – BT D – 100% Gebäudelasten

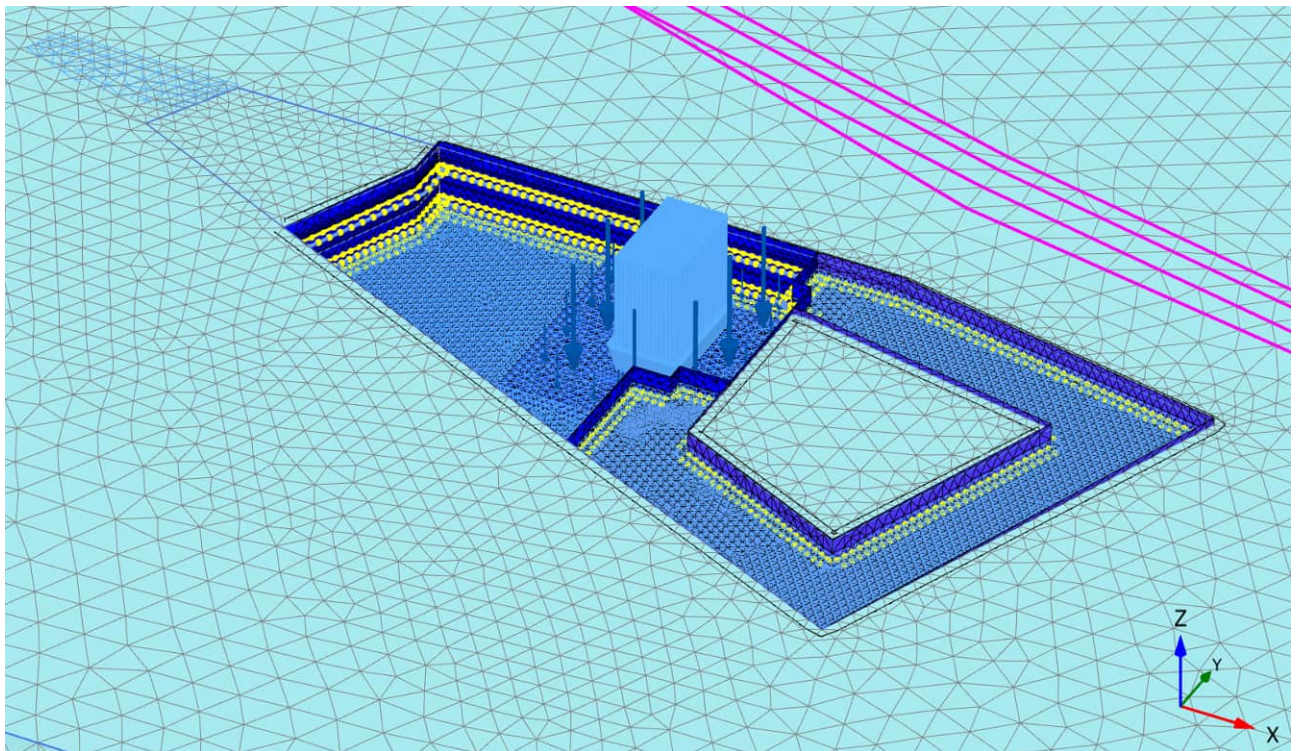


Abbildung A2 - 23: Ansicht Phase 22 – BT D – Zurückstellen Grundwasser

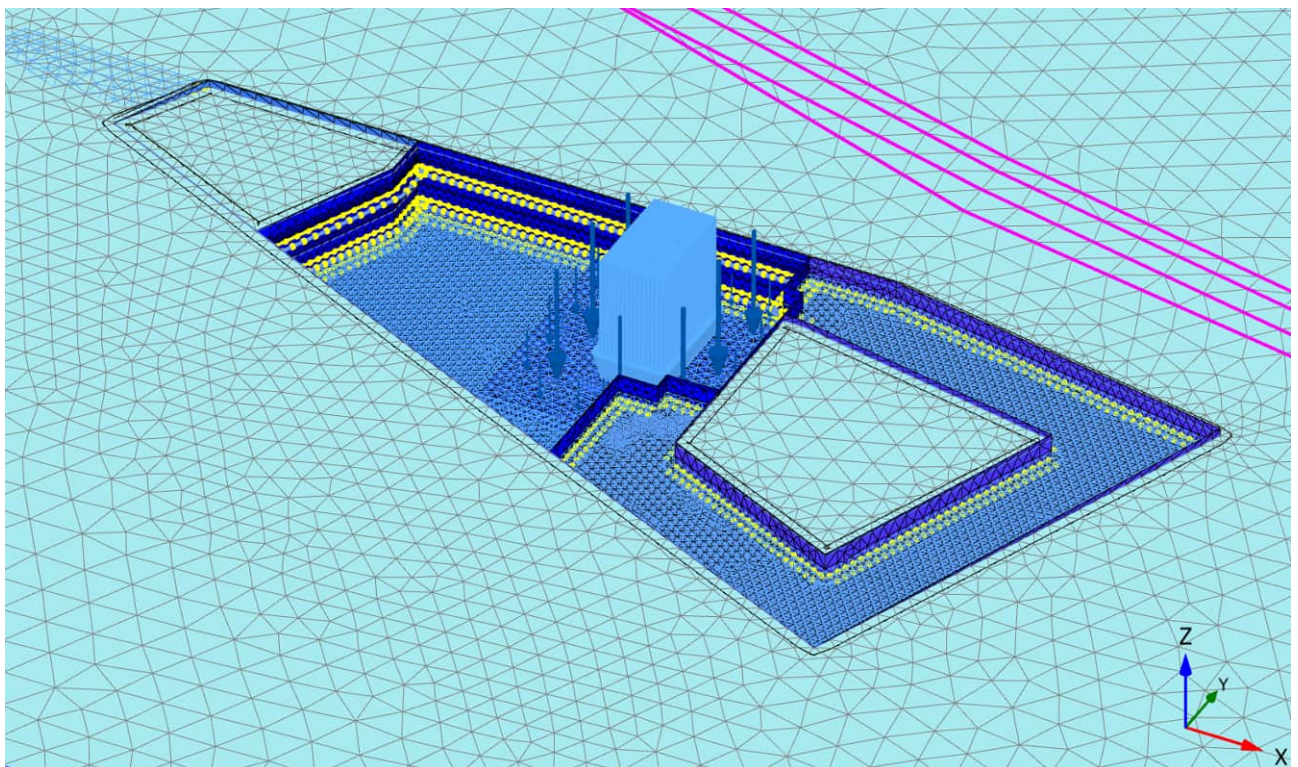


Abbildung A2 - 24: Ansicht Phase 23 – BT A – Schlitzwände, DS-Sohle

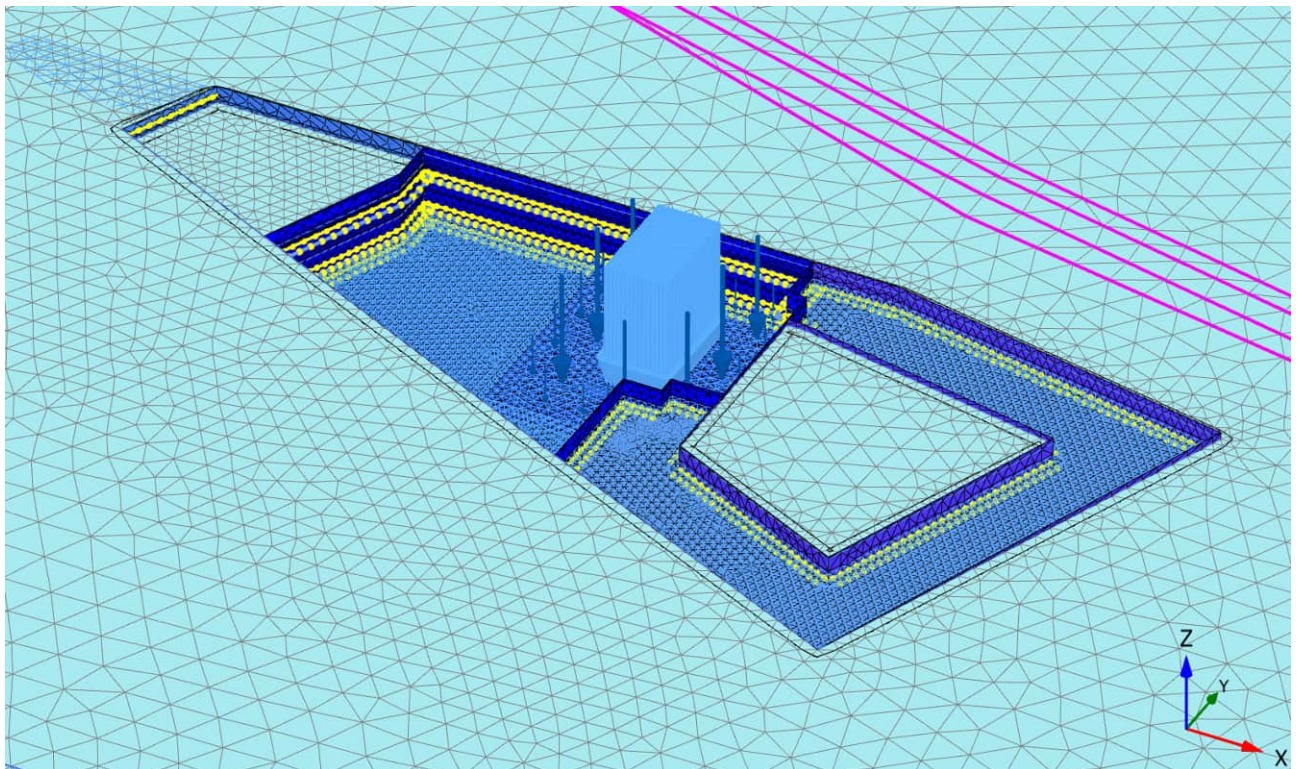


Abbildung A2 - 25: Ansicht Phase 24 – BT A – Aushub +33,6 m NHN

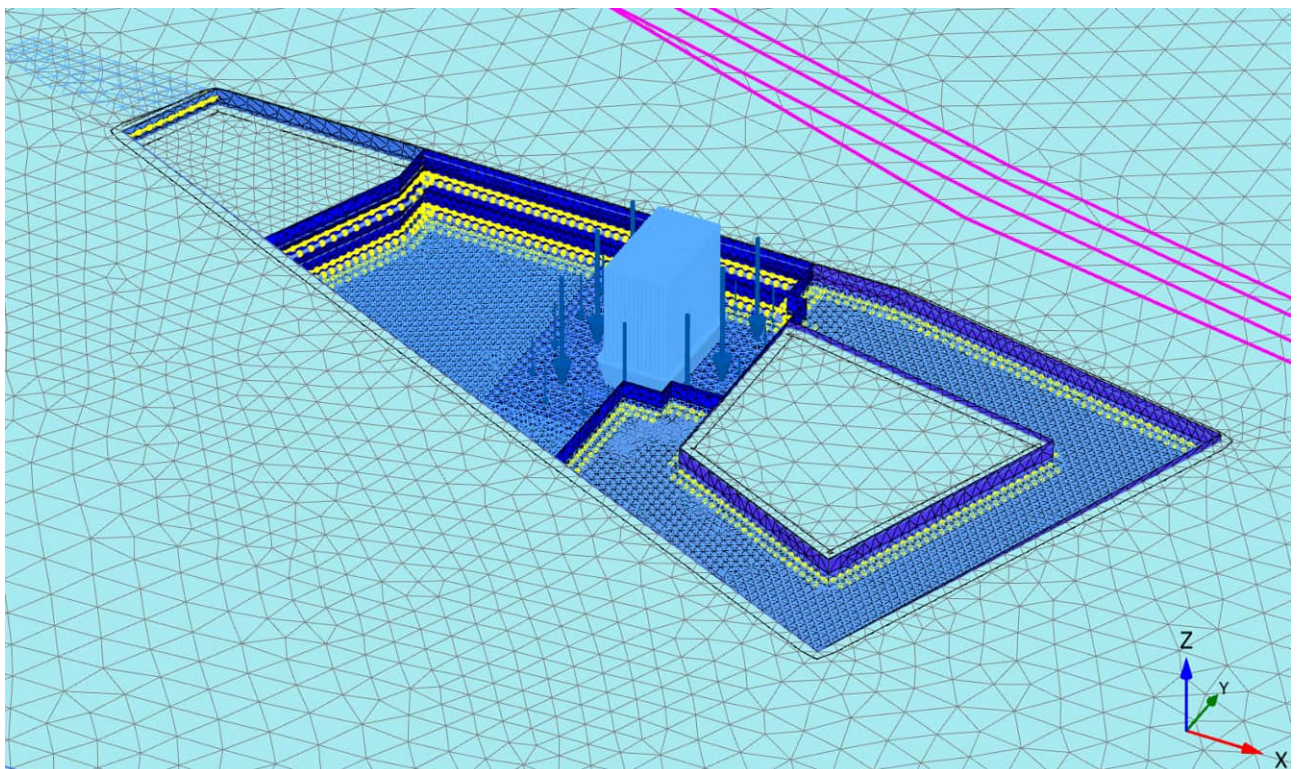


Abbildung A2 - 26: Ansicht Phase 25 – BT A – GW-Absenkung +27,0 m NHN

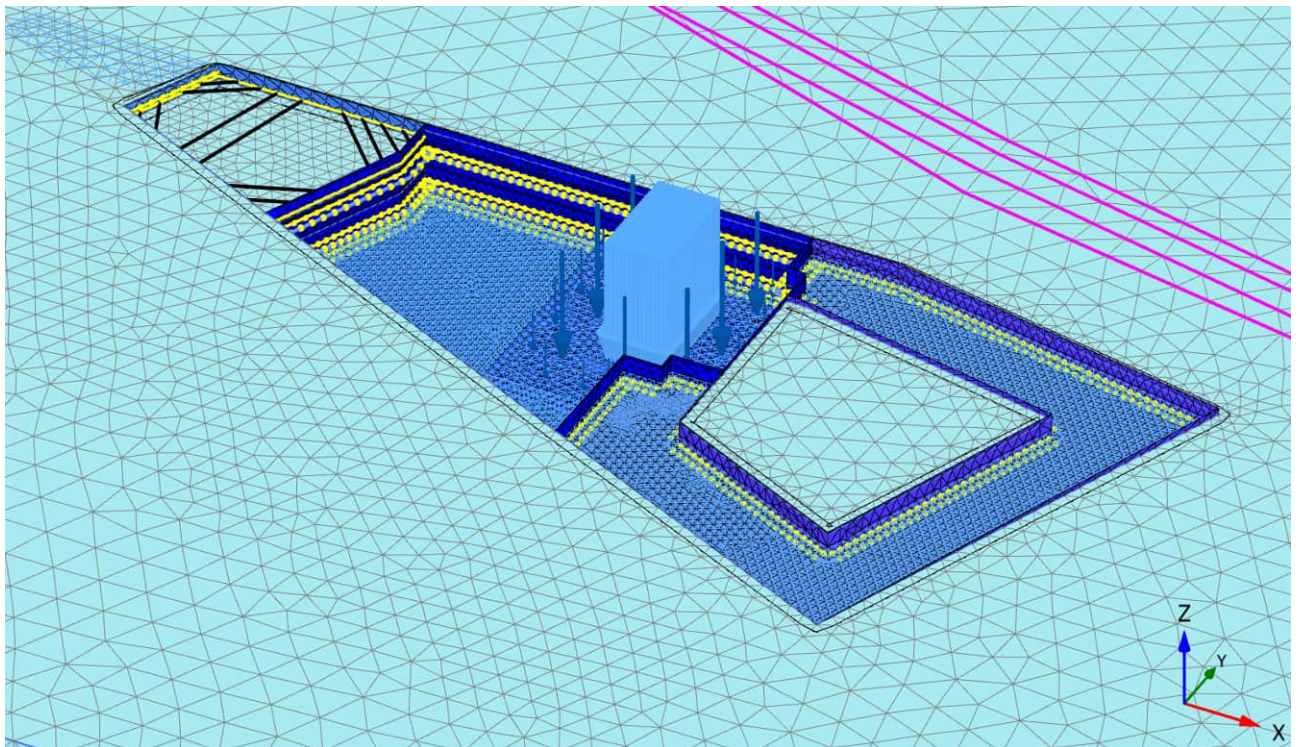


Abbildung A2 - 27: Ansicht Phase 26 – BT A – Einbau Aussteifung

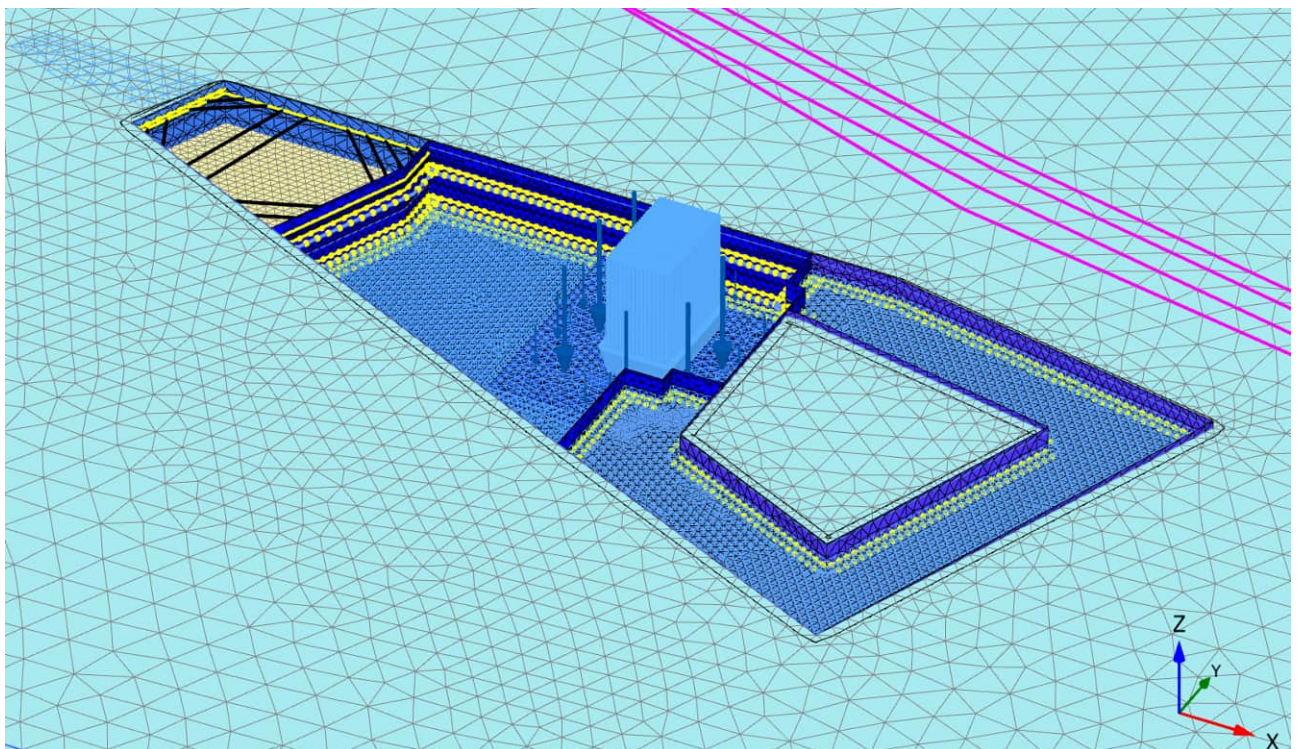


Abbildung A2 - 28: Ansicht Phase 27 – BT A – Endaushub

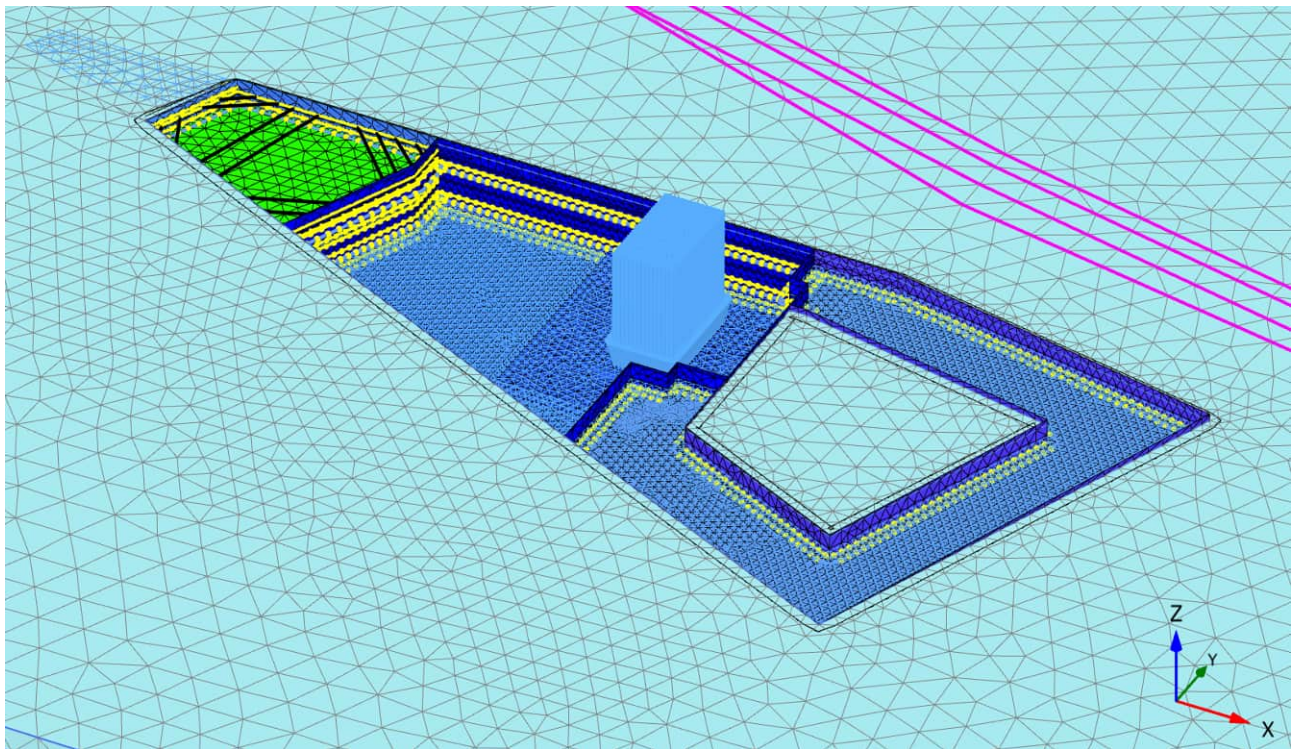


Abbildung A2 - 29: Ansicht Phase 28 – BT A – Bodenplatte und Decke ü. 2. UG

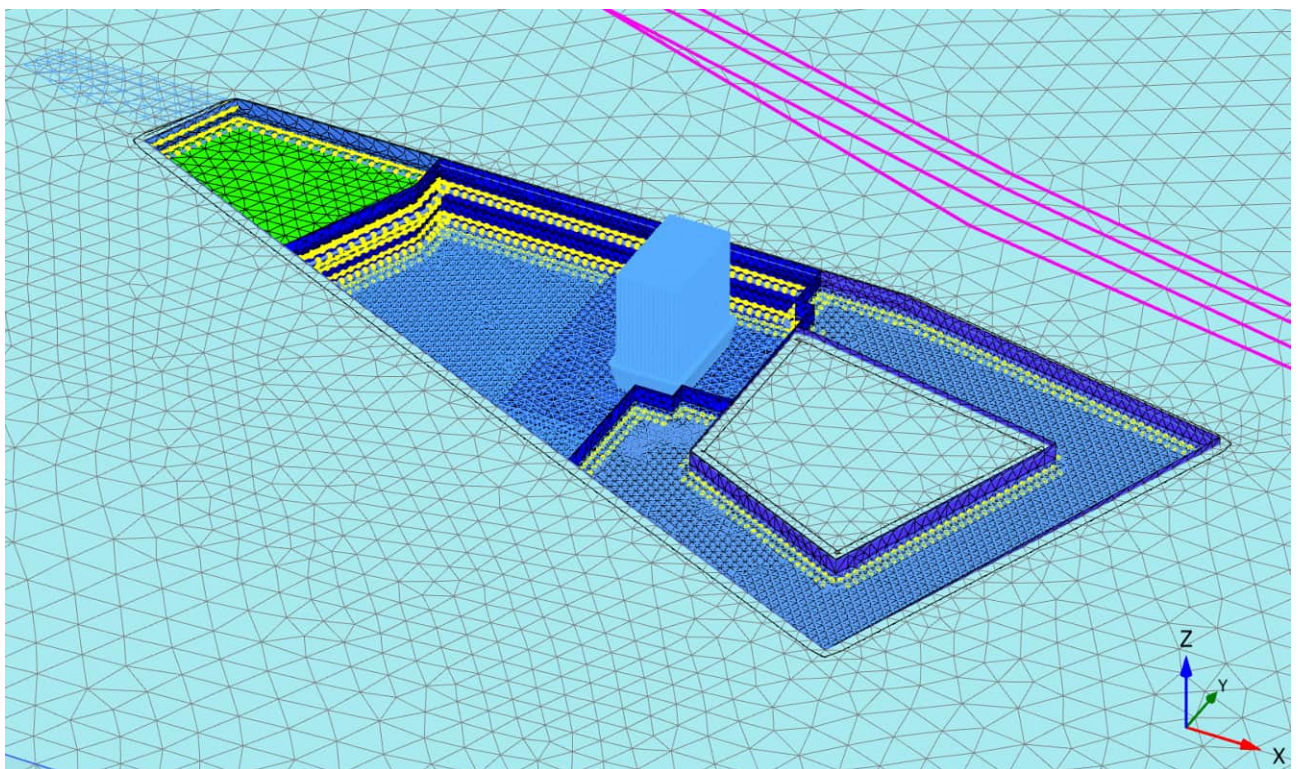


Abbildung A2 - 30: Ansicht Phase 29 – BT A – Rückbau Aussteifung

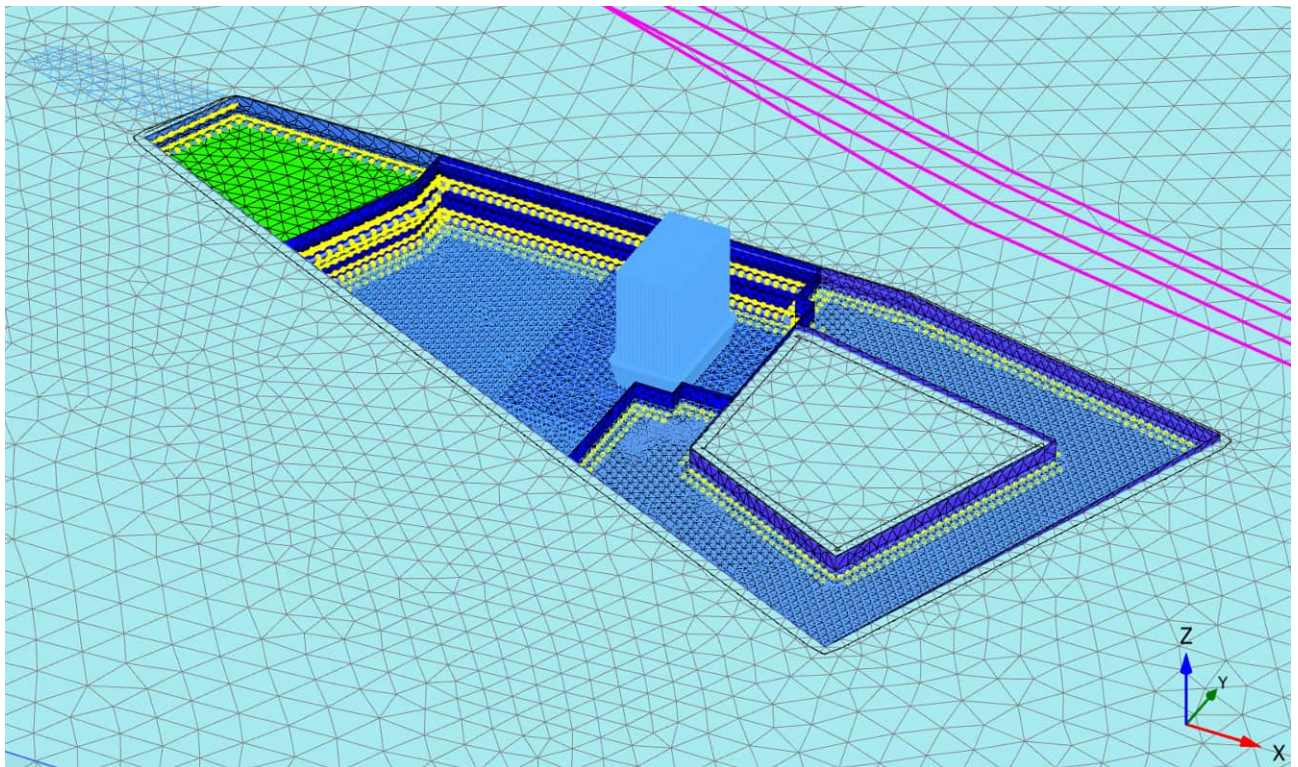


Abbildung A2 - 31: Ansicht Phase 30 – BT A – Zurückstellen Grundwasser

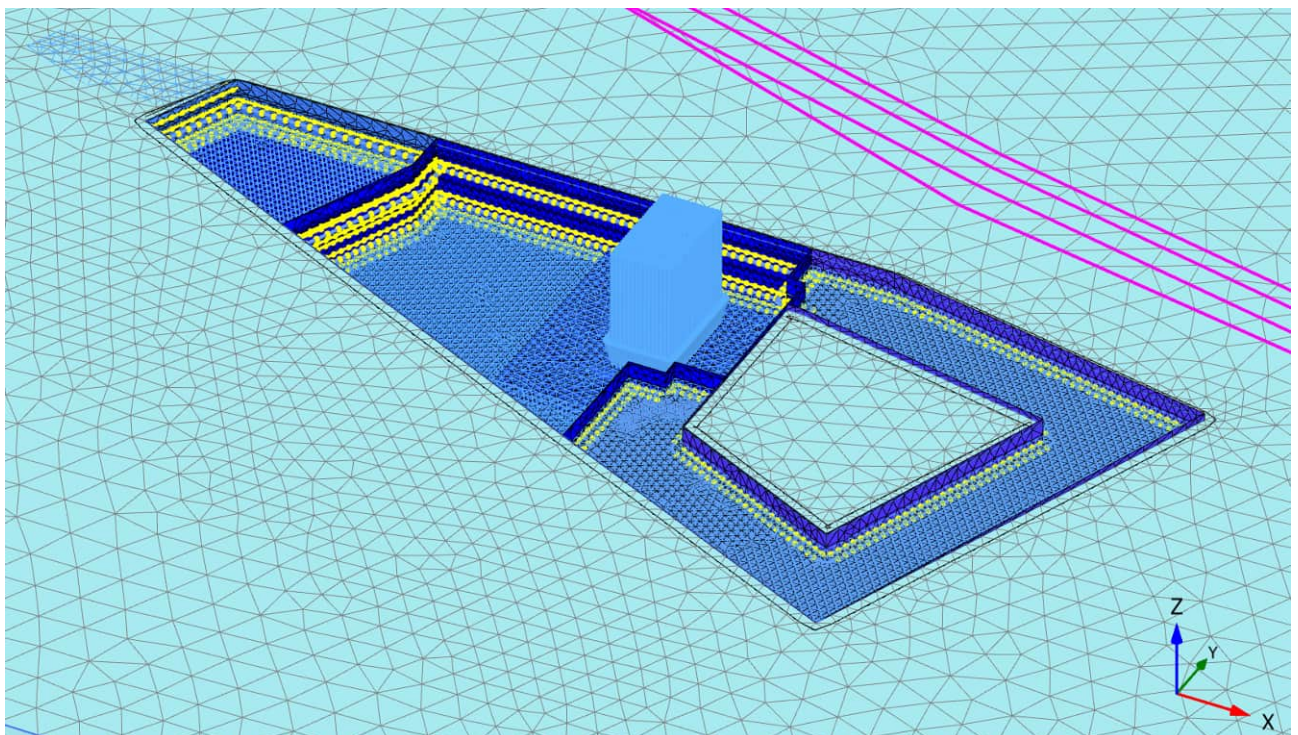


Abbildung A2 - 32: Ansicht Phase 31 – BT A – 100% Gebäudelasten (Decke ü. 2 UG ausgeblendet)

1.2 Materialkennwerte Boden und Strukturelemente






Identification number		1	2	3	4	5
Identification		Auffüllung	Sand S1	Sand S2	Sand S3	qhol
Soil model		Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	17.00	17.50	18.00	18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	20.00	20.00	20.50	20.00	20.50
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
n_{init}		0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_1	%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_2	%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
f_1	Hz	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
f_2	Hz	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
E_{50}^{ref}	kN/m ²	15.00E3	30.00E3	56.00E3	135.0E3	20.00E3
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	15.00E3	30.00E3	56.00E3	135.0E3	20.00E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	45.00E3	120.0E3	168.0E3	337.5E3	60.00E3
ν_{ur}		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
Use alternatives		False	False	False	False	False
C_c		0.02303	0.01151	6.168E-3	2.558E-3	0.01727
C_s		0.01382	5.598E-3	4.339E-3	2.354E-3	9.625E-3
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
power (m)		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.7000
p_{ref}	kN/m ²	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
c'_{ref}	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	30.00
φ' (phi)	°	30.00	32.50	35.00	37.50	27.50
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
z_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dilatancy cut-off		False	False	False	False	False
e_{min}		1.000E-9	1.000E-9	1.000E-9	1.000E-9	1.000E-9
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Tension cut-off		True	True	True	True	True
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Use defaults		True	True	True	True	True
K_0^{nc}		0.5000	0.4627	0.4264	0.3912	0.5383
R_f		0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
Determination		v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition
ν_u definition method		Direct	Direct	Direct	Direct	Direct
$\nu_{u,\text{equivalent}}$ (nu)		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
Skempton B		0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
$K_w^{\text{ref/n}}$	kN/m ²	1.844E6	4.917E6	6.883E6	13.83E6	2.458E6
Classification type		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Soil class (Standard)		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse

Abbildung A2 - 33: Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 1

Identification number		1	2	3	4	5
< 2 µm	%	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		False	False	False	False	False
k _x	m/day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
k _y	m/day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
k _z	m/day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Void ratio dependency		False	False	False	False	False
c _k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
n _{init}		0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
Stiffness determination		Derived	Derived	Derived	Derived	Derived
Strength determination		Manual	Manual	Rigid	Manual	Rigid
R _{inter}		0.5000	0.5000	1.000	0.5000	1.000
Consider gap closure		True	True	True	True	True
δ _{inter}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity_1, dk	m ² /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity_2, dk	m ² /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Manual	Manual
K _{0,x}		0.5000	0.4627	0.4264	0.8000	0.8000
K _{0,y}		0.5000	0.4627	0.4264	0.8000	0.8000
K _{0,x} = K _{0,y}		True	True	True	True	True
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	500.0	500.0
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Abbildung A2 - 34: Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 2


Identification number		6
Identification		Sand S4
Soil model		Hardening Soil
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	20.50
e_{init}		0.5000
n_{init}		0.3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
ξ_1	%	0.000
ξ_2	%	0.000
f_1	Hz	0.1000
f_2	Hz	1.000
E_{50}^{ref}	kN/m ²	145.0E3
$E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	145.0E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	362.5E3
v_{ur}		0.2000
Use alternatives		False
C_c		2.382E-3
C_s		2.192E-3
e_{init}		0.5000
power (m)		0.5000
p_{ref}	kN/m ²	100.0
c'_{ref}	kN/m ²	0.000
φ' (phi)	°	37.50
ψ (psi)	°	0.000
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
Dilatancy cut-off		False
e_{min}		1.000E-9
e_{max}		999.0

Abbildung A2 - 35: Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 3

Identification number		6
Tension cut-off		True
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Use defaults		True
K_0^{nc}		0.3912
R_f		0.9000
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
$v_{u,equivalent}$ (nu)		0.4950
Skempton B		0.9866
$K_{w,ref/n}$	kN/m ²	14.85E6
Classification type		Standard
Soil class (Standard)		Coarse
< 2 μ m	%	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00
Use defaults		False
k_x	m/day	0.000
k_y	m/day	0.000
k_z	m/day	0.000
Void ratio dependency		False
c_k		1000E12
n_{init}		0.3333
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Rigid
R_{inter}		1.000
Consider gap closure		True
δ_{inter}	m	0.000
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /day/m	0.000
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /day/m	0.000
K_0 determination		Manual
$K_{0,x}$		0.8000
$K_{0,y}$		0.8000
$K_{0,x} = K_{0,y}$		True
POP	kN/m ²	500.0
OCR		1.000

Abbildung A2 - 36: Materialkennwerte Boden HS Modell – Teil 4


Identification number	7	
Identification	IF Bodenplatte	
Soil model	Linear Elastic	
Drainage type	Drained	
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	0.000
γ_{sat}	kN/m ³	0.000
e_{init}	0.5000	
n_{init}	0.3333	
Input method	SDOF equivalent	
Rayleigh α	0.000	
Rayleigh β	0.000	
ξ_1	%	0.000
ξ_2	%	0.000
f_1	Hz	0.1000
f_2	Hz	1.000
E'_{ref}	kN/m ²	500.0E3
ν (nu)	0.000	
G_{ref}	kN/m ²	250.0E3
E_{oed}	kN/m ²	500.0E3
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
V_s	m/s	0.000
V_p	m/s	0.000
Determination	v-undrained definition	
v_u definition method	Direct	
$v_{u,\text{equivalent}}$ (nu)	0.4950	
Skempton B	0.9933	
$K_{w,\text{ref}/n}$	kN/m ²	24.75E6
Classification type	Standard	
Soil class (Standard)	Coarse	
< 2 μm	%	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00
Use defaults	False	

Abbildung A2 - 37: Materialkennwerte Linear-elastisch


Identification number		8
Identification		DSV
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	22.00
γ_{sat}	kN/m ³	22.00
e_{init}		0.5000
n_{init}		0.3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
ξ_1	%	0.000
ξ_2	%	0.000
f_1	Hz	0.1000
f_2	Hz	1.000
E'_{ref}	kN/m ²	2.000E6
ν (nu)		0.2000
G_{ref}	kN/m ²	833.3E3
E_{oed}	kN/m ²	2.222E6
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
V_s	m/s	609.6
V_p	m/s	995.4
c'_{ref}	kN/m ²	823.0
φ' (phi)	°	32.50
ψ (psi)	°	0.000
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
z_{ref}	m	0.000
Tension cut-off		True
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
$v_{u,\text{equivalent}}$ (nu)		0.4950
Skempton B		0.9866

Abbildung A2 - 38: Materialkennwerte Mohr-Coulomb






Identification number		1	2	3	4	5
Identification		Baugrubenwände BT B+C	Bodenplatte BT_B	Bodenplatte_BT_C	Bodenplatte_BT_D	Baugrubenwände BT D
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour						
Comments						SPW AZ 14-700
γ	kN/m ³	25.00	0.000	0.000	0.000	25.00
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_1	%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_2	%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
f_1	Hz	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
f_2	Hz	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Prevent punching		False	False	False	False	False
Isotropic		True	True	True	True	True
E_1	kN/m ²	20.00E6	30.00E6	30.00E6	30.00E6	20.00E6
E_2	kN/m ²	20.00E6	30.00E6	30.00E6	30.00E6	20.00E6
ν_{12}		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
d	m	0.8000	1.000	3.500	1.000	0.6000
G_{12}	kN/m ²	8.333E6	12.50E6	12.50E6	12.50E6	8.333E6
G_{13}	kN/m ²	8.333E6	12.50E6	12.50E6	12.50E6	8.333E6
G_{23}	kN/m ²	8.333E6	12.50E6	12.50E6	12.50E6	8.333E6

Abbildung A2 - 39: Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente - 1





Identification number		6	7	8	9
Identification		Stützung_SW	Bodenplatte BT_A	Baugrubenwände BTA	soft_plate
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour					
Comments					
Y	kN/m ³	0.000	0.000	25.00	0.000
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_1	%	0.000	0.000	0.000	0.000
ξ_2	%	0.000	0.000	0.000	0.000
f_1	Hz	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
f_2	Hz	1.000	1.000	1.000	1.000
Prevent punching		False	False	False	False
Isotropic		True	True	True	True
E_1	kN/m ²	30.00E6	30.00E6	20.00E6	1000
E_2	kN/m ²	30.00E6	30.00E6	20.00E6	1000
v_12		0.2000	0.2000	0.2000	0.000
d	m	0.5000	1.200	0.6000	0.2000
G_12	kN/m ²	12.50E6	12.50E6	8.333E6	500.0
G_13	kN/m ²	12.50E6	12.50E6	8.333E6	500.0
G_23	kN/m ²	12.50E6	12.50E6	8.333E6	500.0

Abbildung A2 - 40: Materialkennwerte Struktur – Plate-Elemente – 2



Identification number		1	2
Identification		BP 1.5m	BP 1.5m Auftrieb
Material type		Elastic	Elastic
Colour			
Comments			
Y	kN/m ³	5.000	5.000
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
ξ_1	%	0.000	0.000
ξ_2	%	0.000	0.000
f_1	Hz	0.1000	0.1000
f_2	Hz	1.000	1.000
Cross section type		Predefined	Predefined
Predefined cross section type		Solid circular beam	Solid circular beam
Diameter	m	1.500	1.500
A	m ²	1.767	1.767
I_2	m ⁴	0.2485	0.2485
I_3	m ⁴	0.2485	0.2485
E	kN/m ²	30.00E6	30.00E6
Axial skin resistance		Multi-linear	Multi-linear
Multi-linear axial skin resistance		4 rows	8 rows
F_max	kN	6190	6190

Abbildung A2 - 41: Materialkennwerte Struktur – Embedded-Beam-Elemente




Identification number		1	2	3
Identification		Gleise	Gurtung BT B+C	Gurtung BT A
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
Colour				
Comments			2x HEA600	2x HEB500
Y	kN/m ³	0.000	78.50	78.50
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
ξ_1	%	0.000	0.000	0.000
ξ_2	%	0.000	0.000	0.000
f_1	Hz	0.1000	0.1000	0.1000
f_2	Hz	1.000	1.000	1.000
Cross section type		Predefined	User-defined	User-defined
Predefined cross section type		Solid circular beam	Solid circular beam	Solid circular beam
Diameter	m	0.1000	0.000	0.000
A	m ²	7.854E-3	0.04520	0.04770
I_2	m ⁴	4.909E-6	0.2254E-3	0.2525E-3
I_3	m ⁴	4.909E-6	2.824E-3	2.144E-3
E	kN/m ²	500.0	210.0E6	210.0E6

Abbildung A2 - 42: Materialkennwerte Balkenelemente - beams






Identification number		1	2	3	4	5
Identification		Steifen_BT_B+C	BTA S01	BTA S02	BTA S03	BTA S04+06+07+12
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour						
Comments		Ro 900x25				
EA	kN	14.43E6	4.117E6	6.439E6	3.248E6	6.270E6

Abbildung A2 - 43: Materialkennwerte Baugrubensteifen und Stützen EÜ – anchors Teil 1






Identification number		6	7	8	9	10
Identification		BTA S05+08	BTA S09	BTA S10	BTA S11	BTA S13
Material type		Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Colour						
Comments						
EA	kN	4.927E6	3.177E6	2.949E6	7.336E6	4.086E6

Abbildung A2 - 44: Materialkennwerte Baugrubensteifen und Stützen EÜ – anchors Teil 2

2 BERECHNUNGSERGEBNISSE

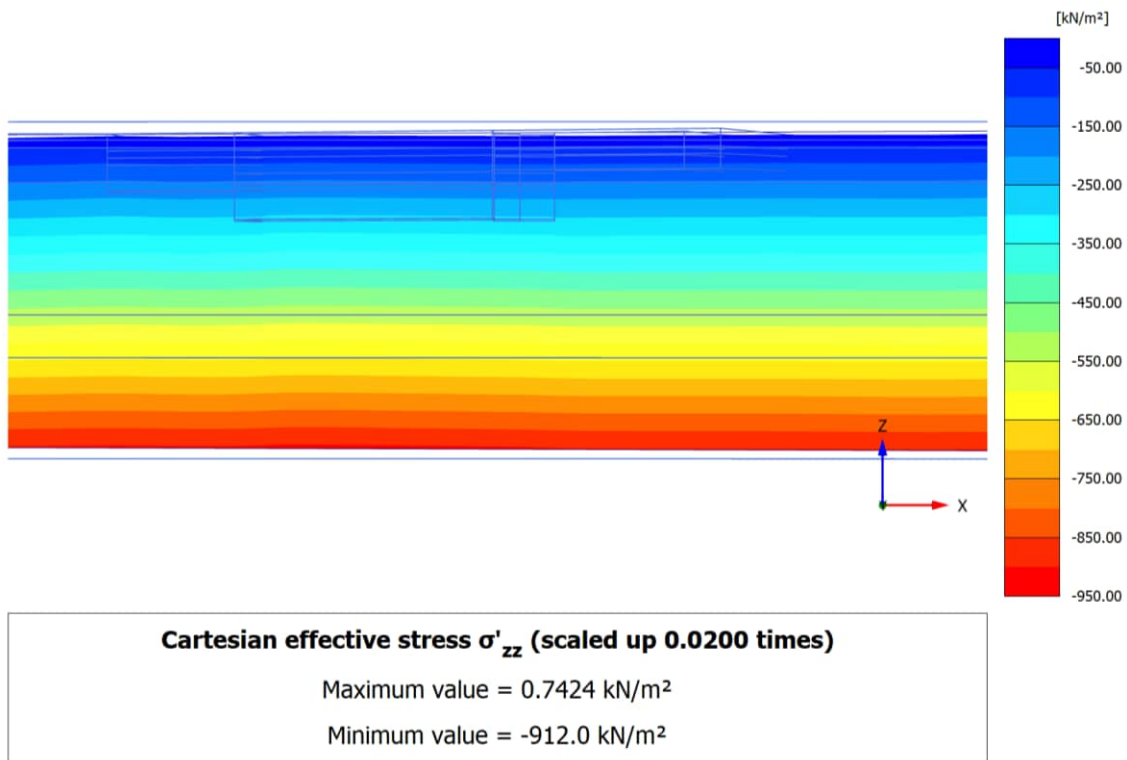


Abbildung A2 - 45: Phase 0 – Initialzustand – effektive Vertikalspannung im Schnitt Ost-West

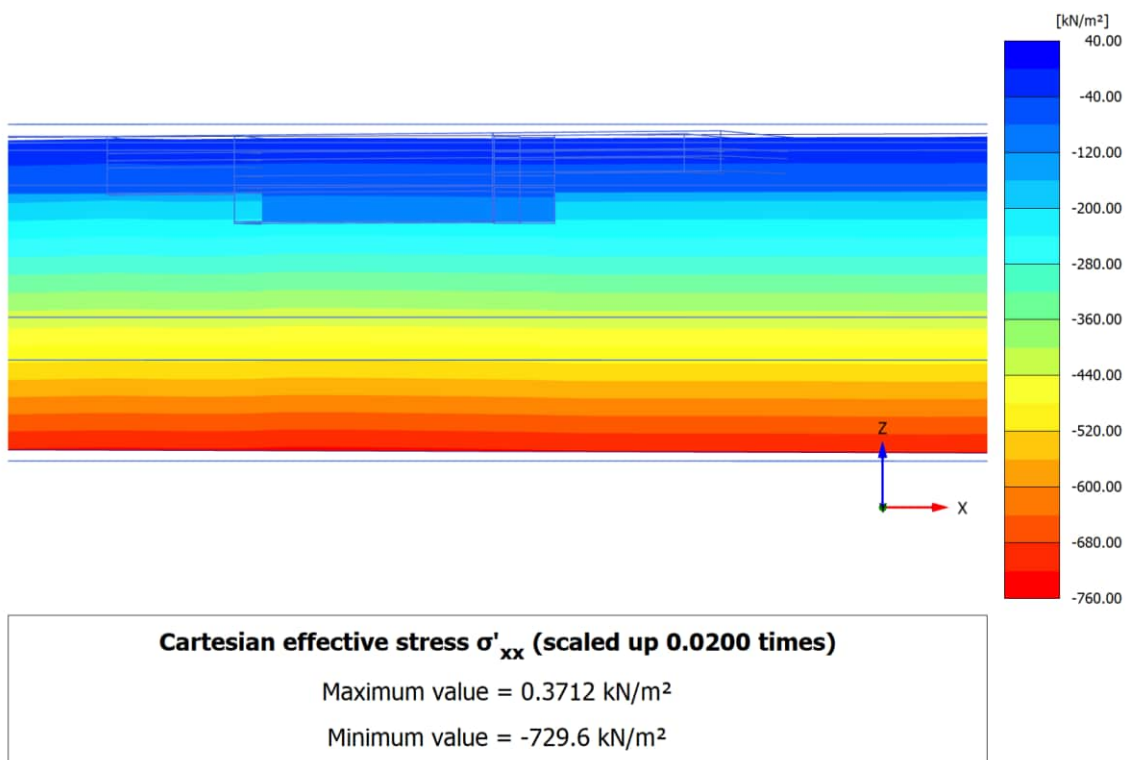


Abbildung A2 - 46: Phase 0 – Initialzustand – effektive Horizontalspannung in X im Schnitt Ost-West

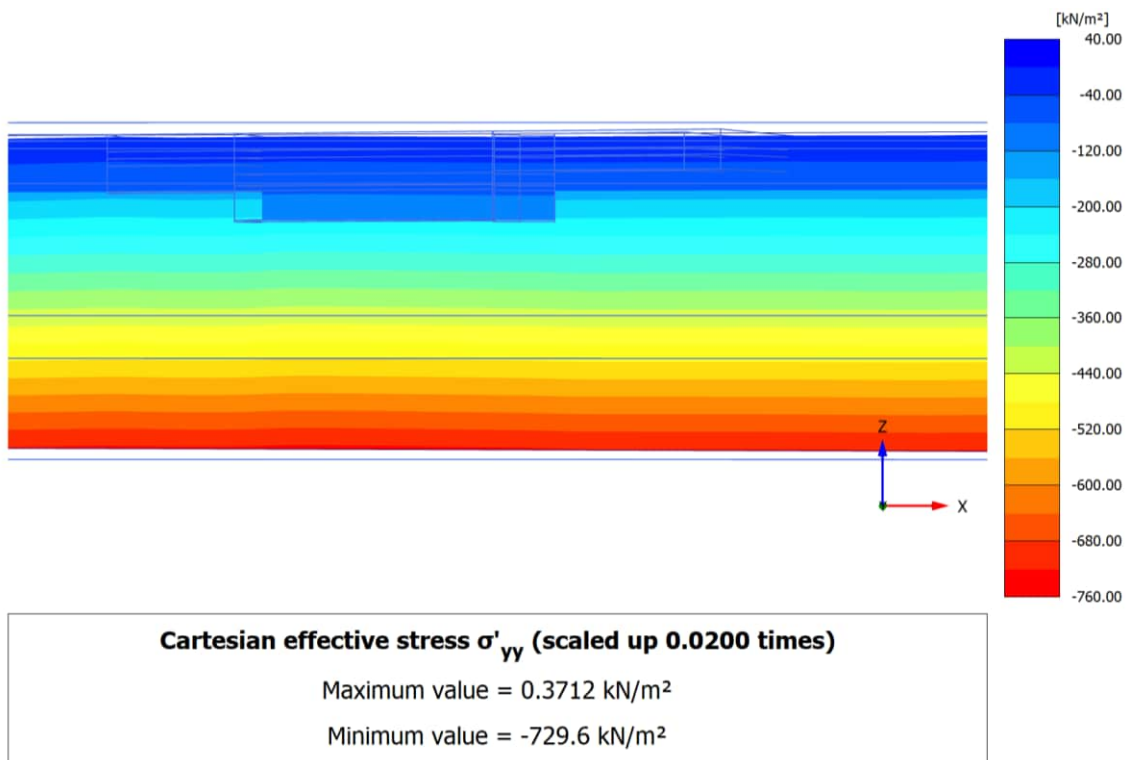


Abbildung A2 - 47: Phase 0 – Initialzustand – effektive Horizontalspannung in Y im Schnitt Ost-West

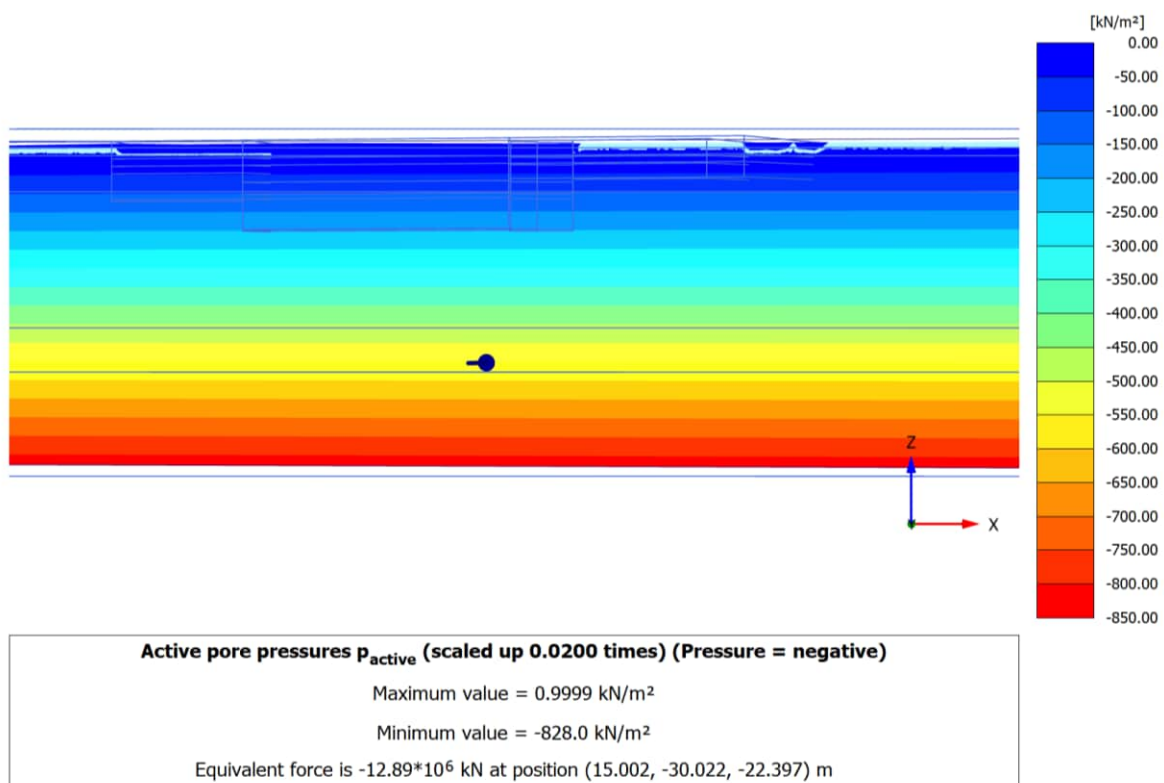


Abbildung A2 - 48: Phase 0 – Initialzustand – Porenwasserdruck im Schnitt Ost-West

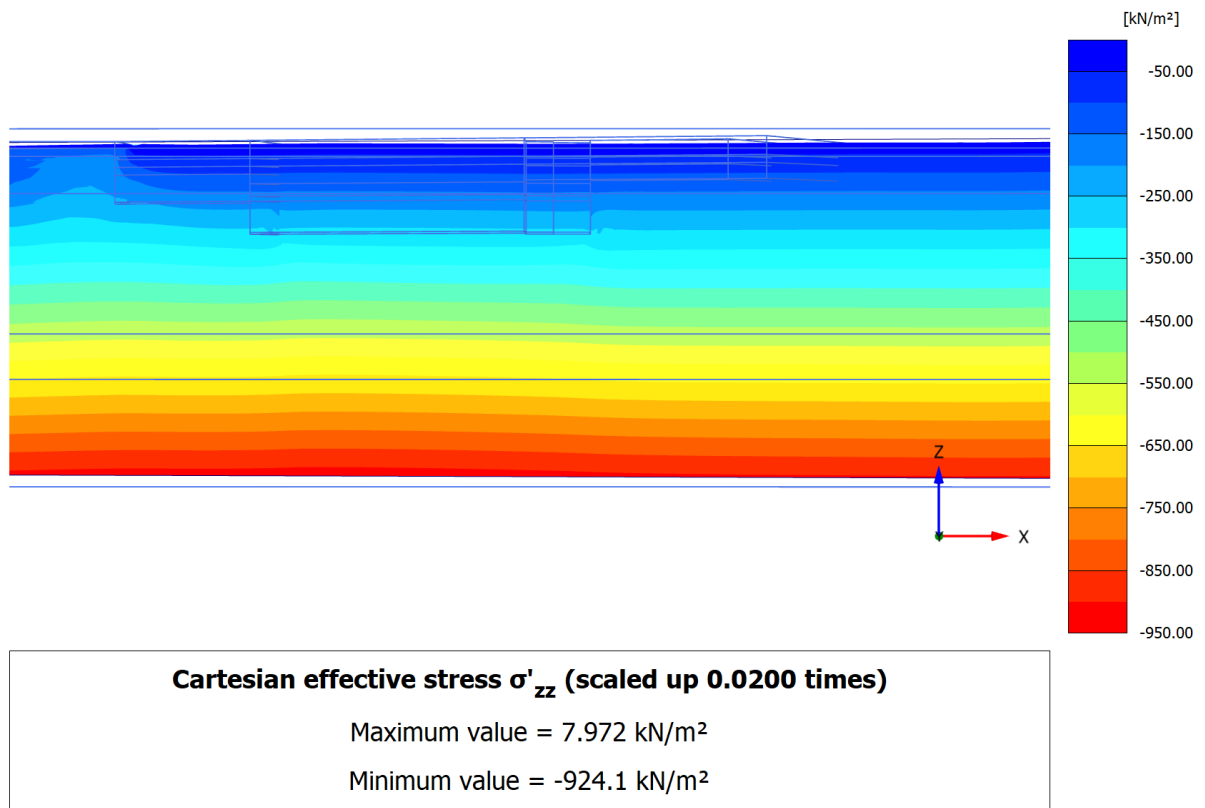


Abbildung A2 - 49: Phase 2 – Bestand – effektive Vertikalspannung im Schnitt Ost-West

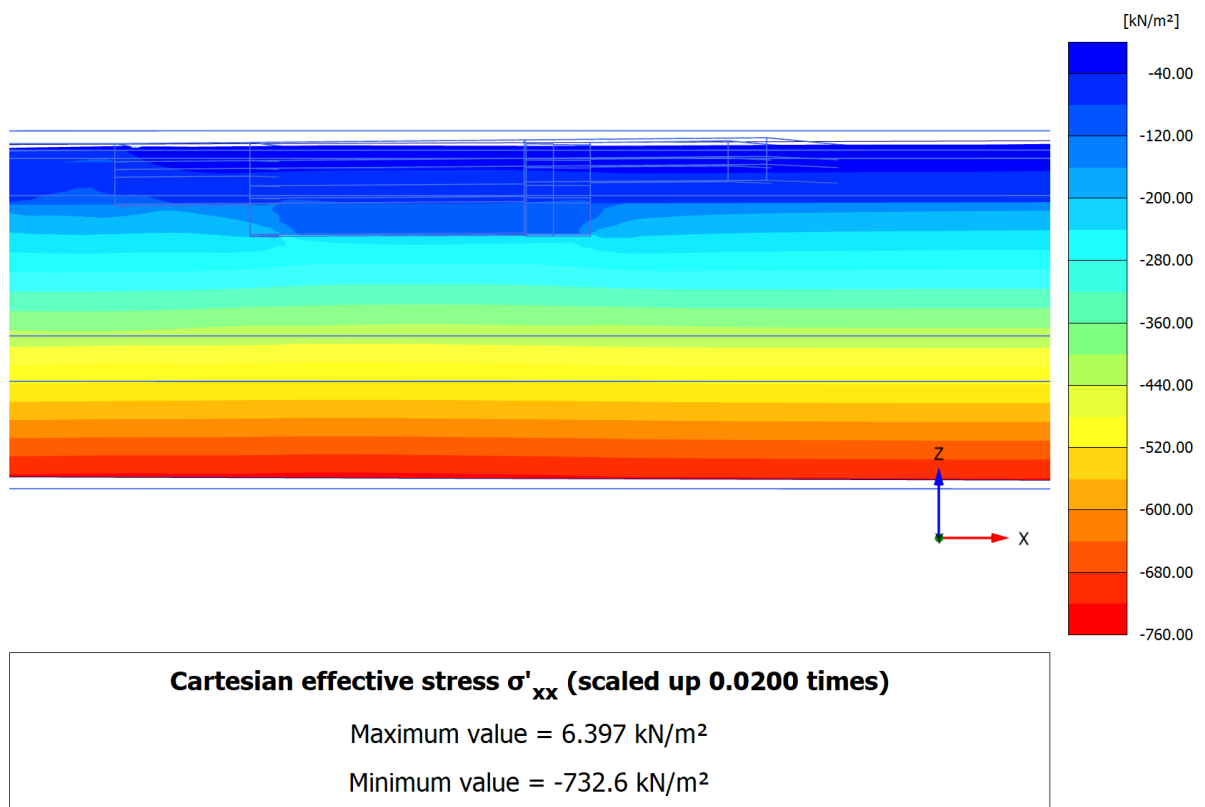


Abbildung A2 - 50: Phase 2 – Bestand – effektive Horizontalspannung in X im Schnitt Ost-West

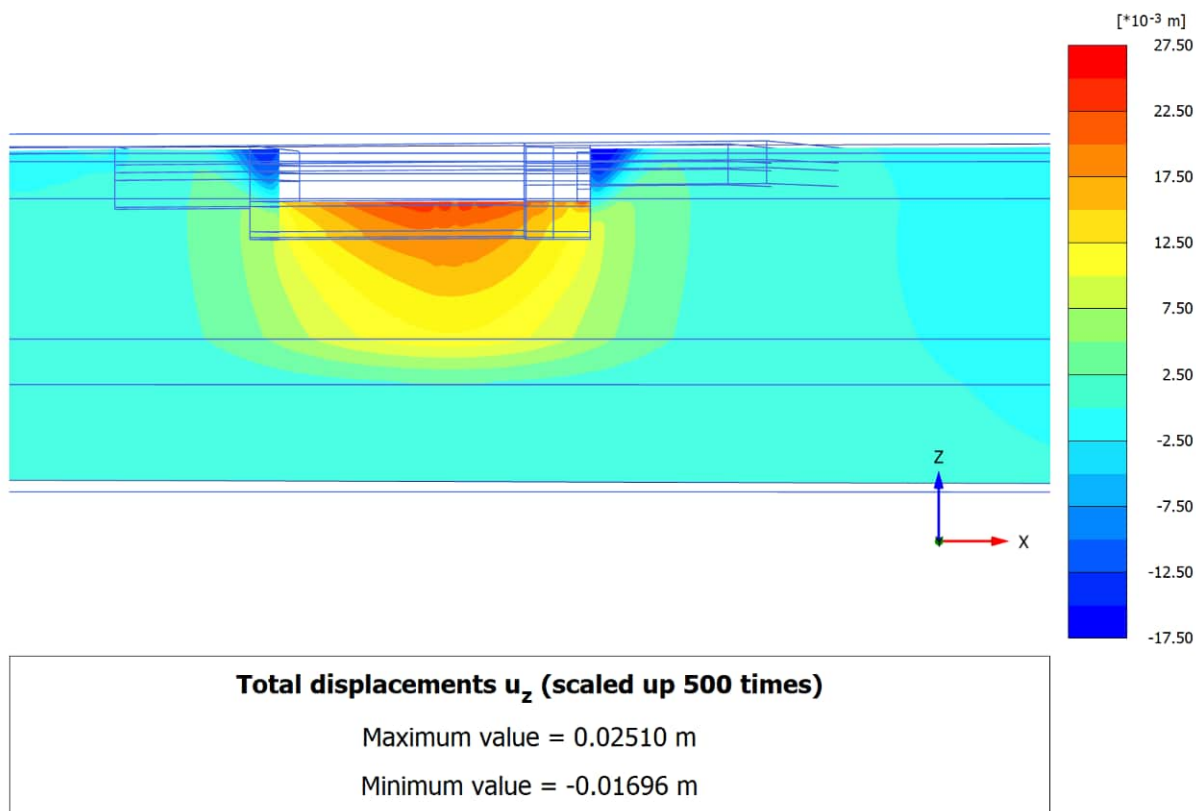


Abbildung A2 - 51: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

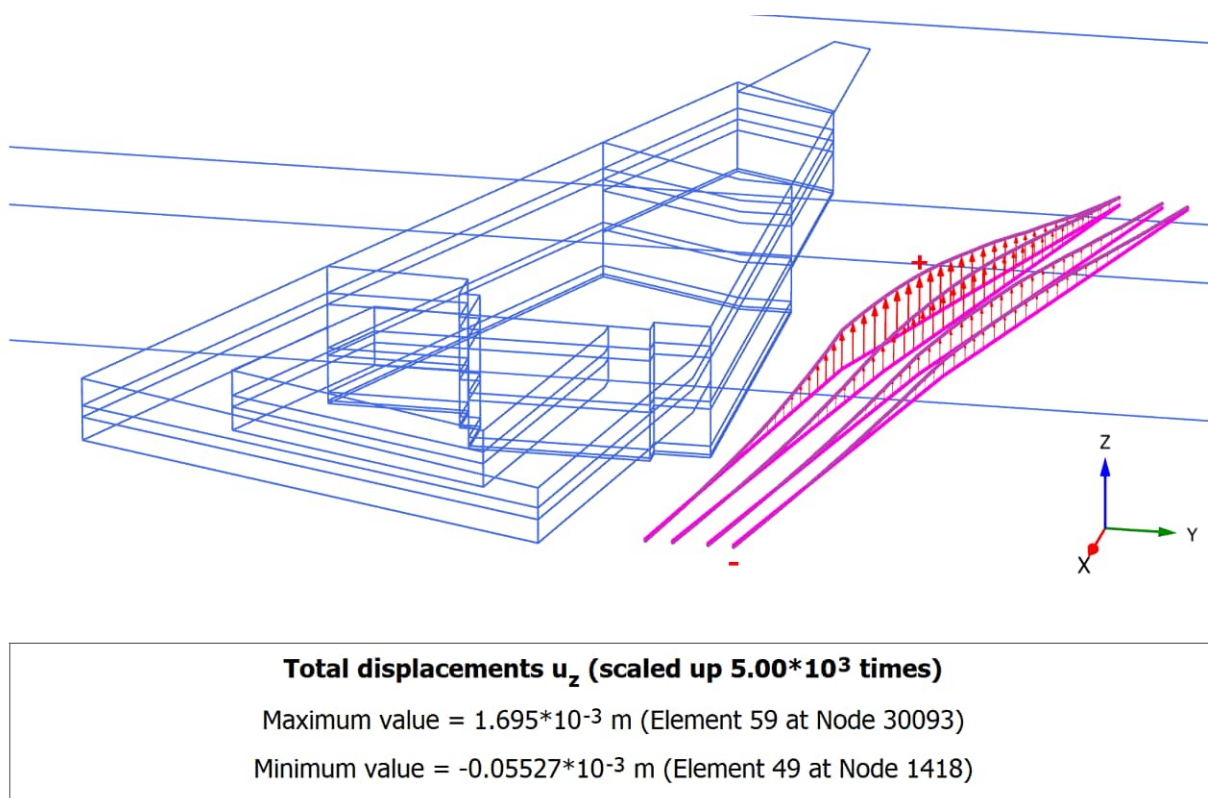
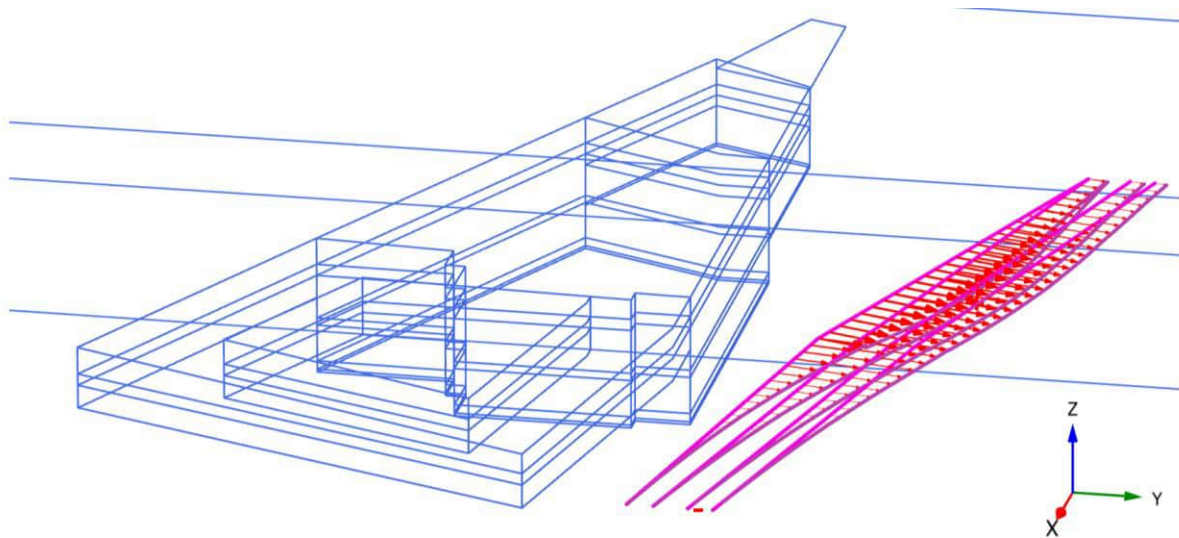


Abbildung A2 - 52: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung Bahngleise

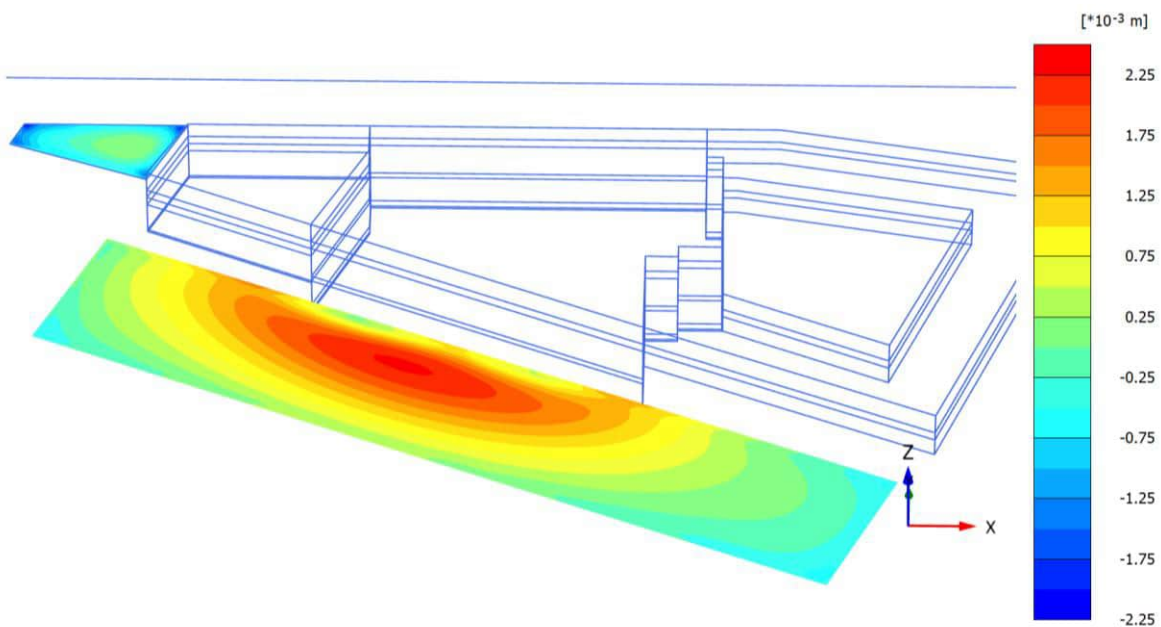


Local total displacements u_2 (scaled up $5.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $2.292 \cdot 10^{-3}$ m (Element 58 at Node 30080)

Minimum value = $-7.722 \cdot 10^{-6}$ m (Element 49 at Node 1418)

Abbildung A2 - 53: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung Bahngleise



Total displacements u_z (scaled up $5.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $2.288 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3475 at Node 148709)

Minimum value = $-2.103 \cdot 10^{-3}$ m (Element 605 at Node 1524)

Abbildung A2 - 54: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

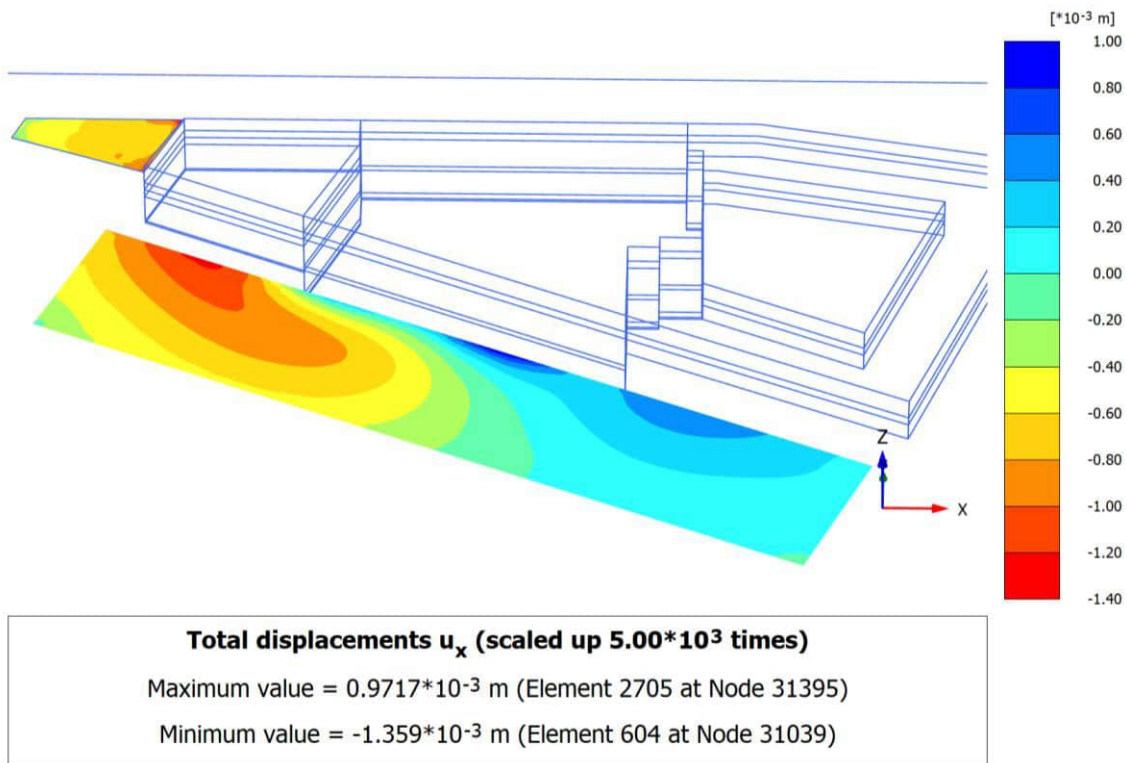


Abbildung A2 - 55: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

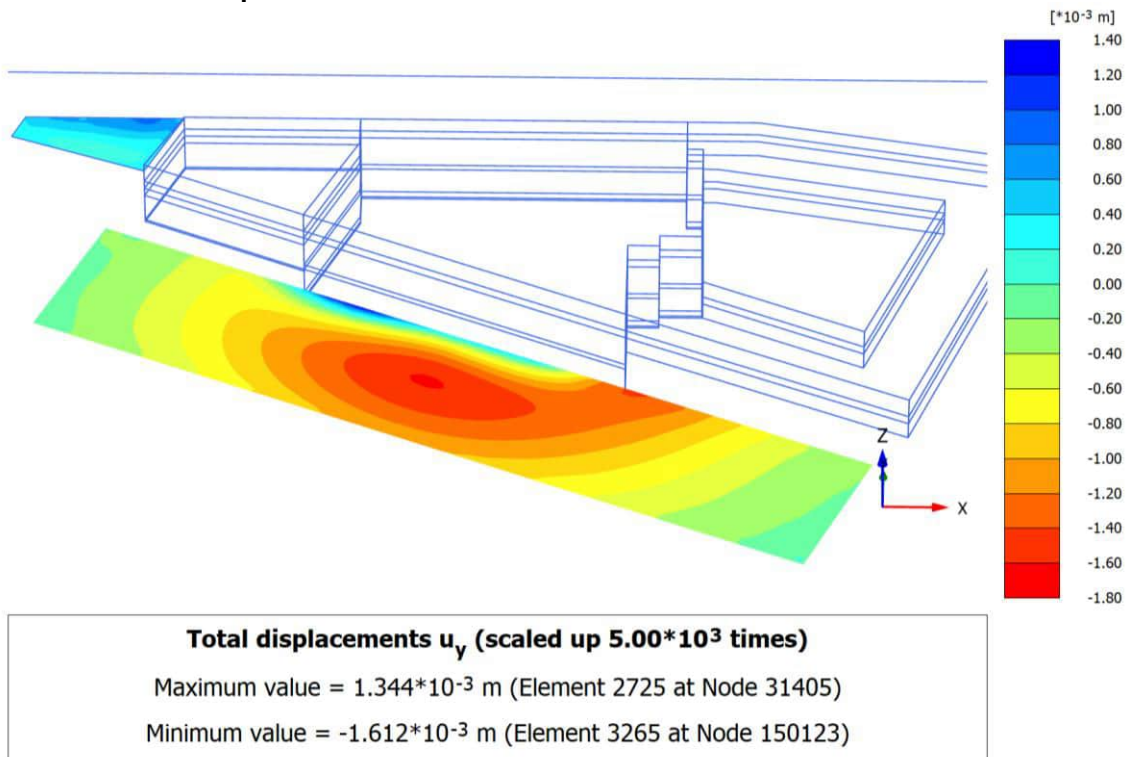
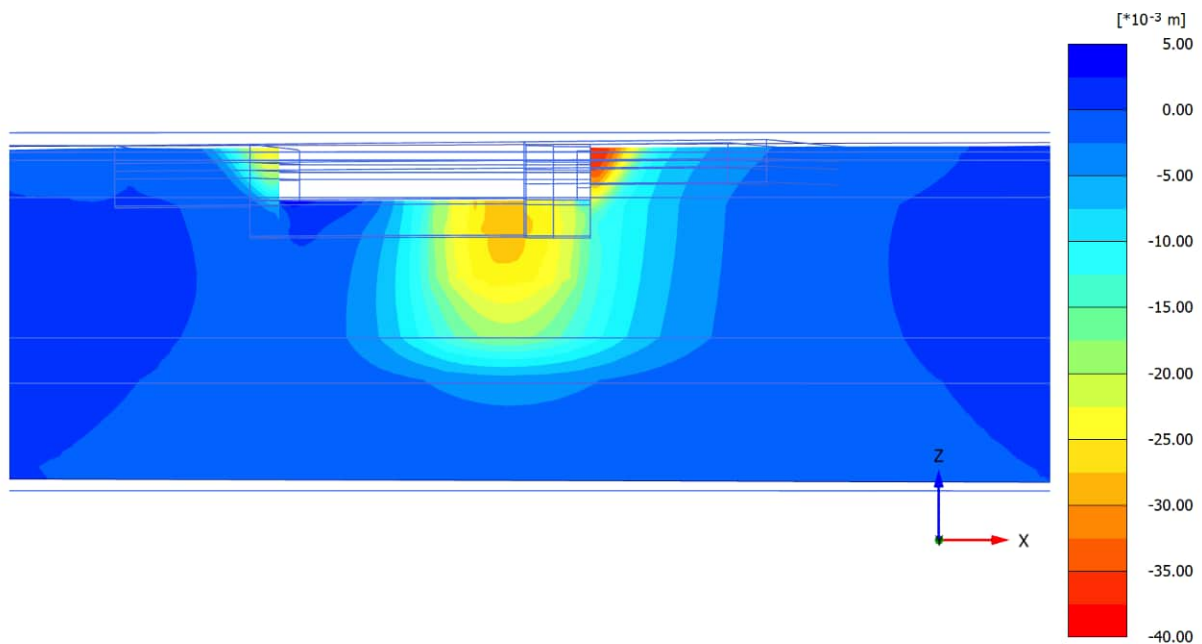


Abbildung A2 - 56: Phase 10 – Endaushub BT B+C – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

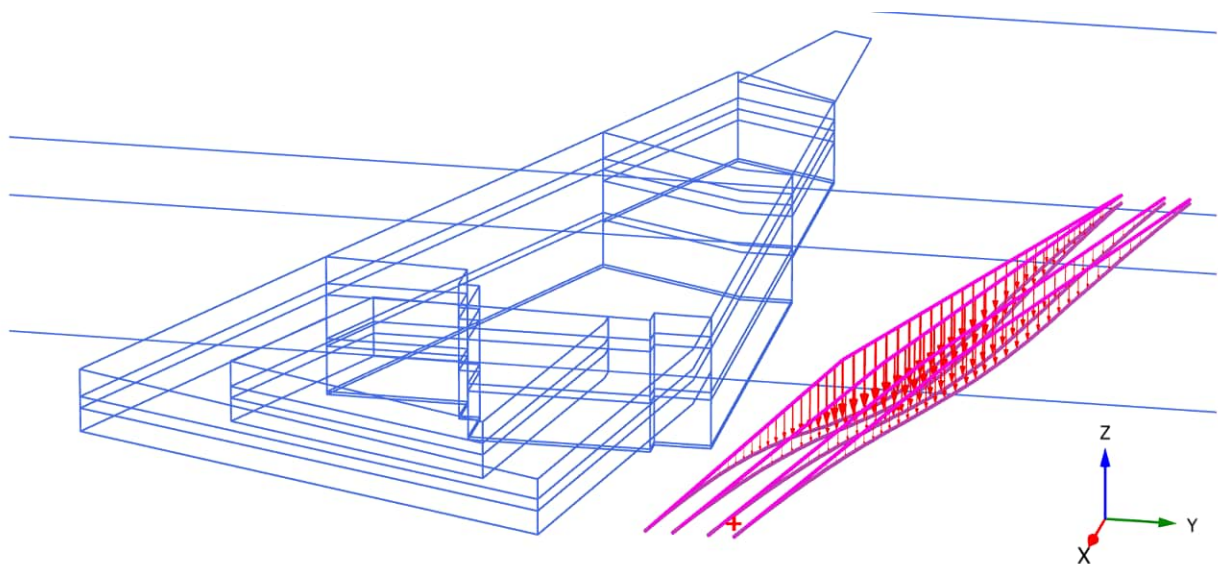


Total displacements u_z (scaled up 500 times)

Maximum value = $4.220 \cdot 10^{-3}$ m

Minimum value = -0.03764 m

Abbildung A2 - 57: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

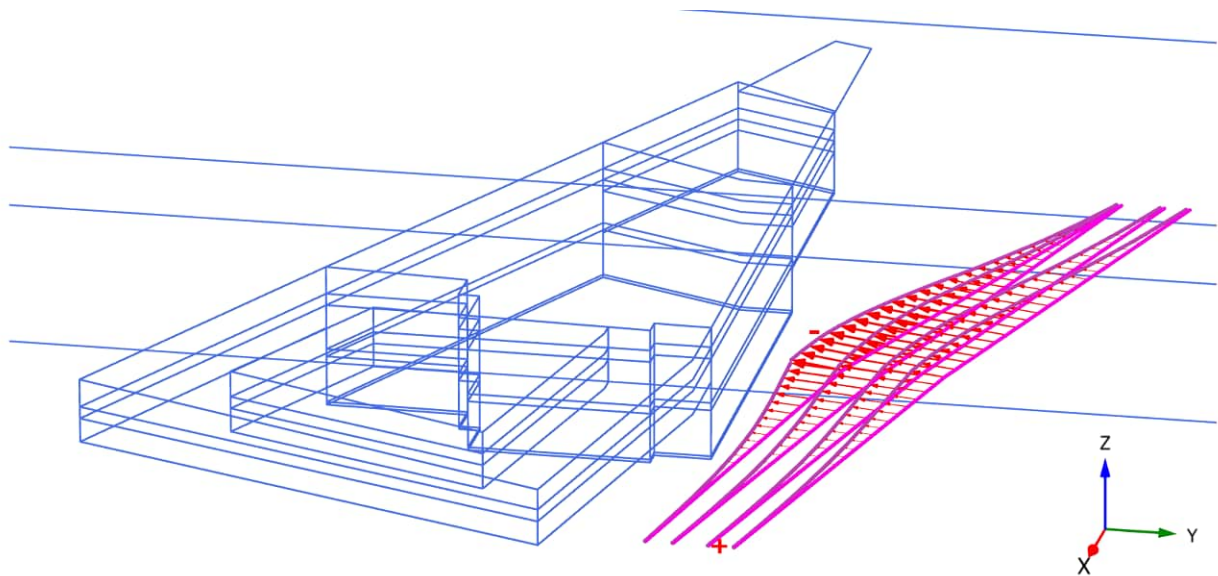


Total displacements u_z (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0.02566 \cdot 10^{-3}$ m (Element 49 at Node 1418)

Minimum value = $-5.696 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30094)

Abbildung A2 - 58: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung Bahngleise

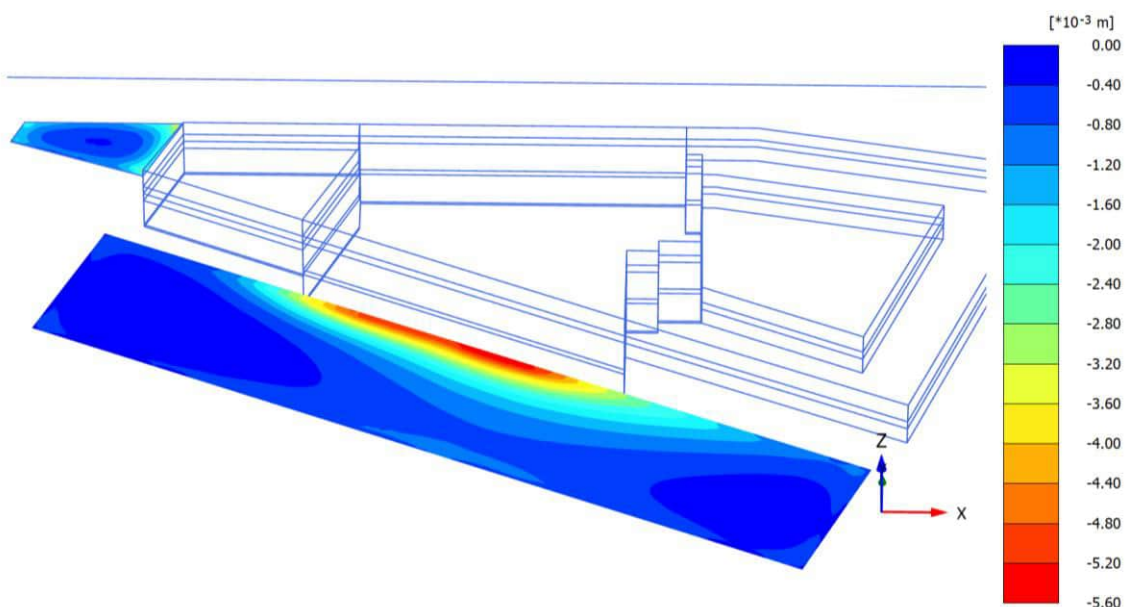


Local total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.06679 \cdot 10^{-3}$ m (Element 49 at Node 1418)

Minimum value = $-5.543 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30082)

Abbildung A2 - 59: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung Bahngleise

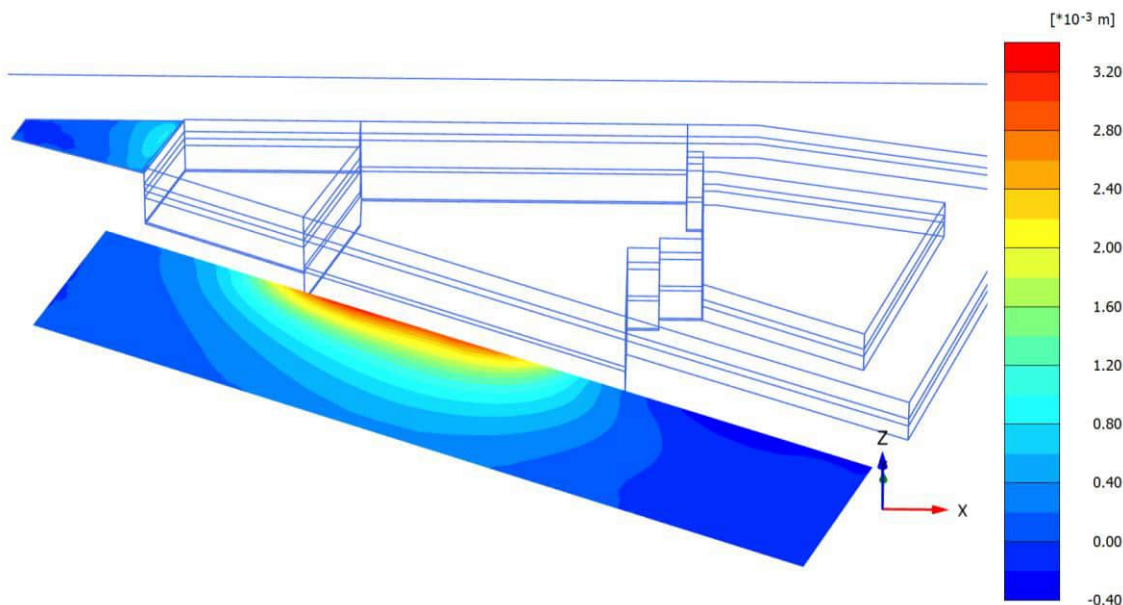


Total displacements u_z (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-6.033 \cdot 10^{-6}$ m (Element 3079 at Node 149824)

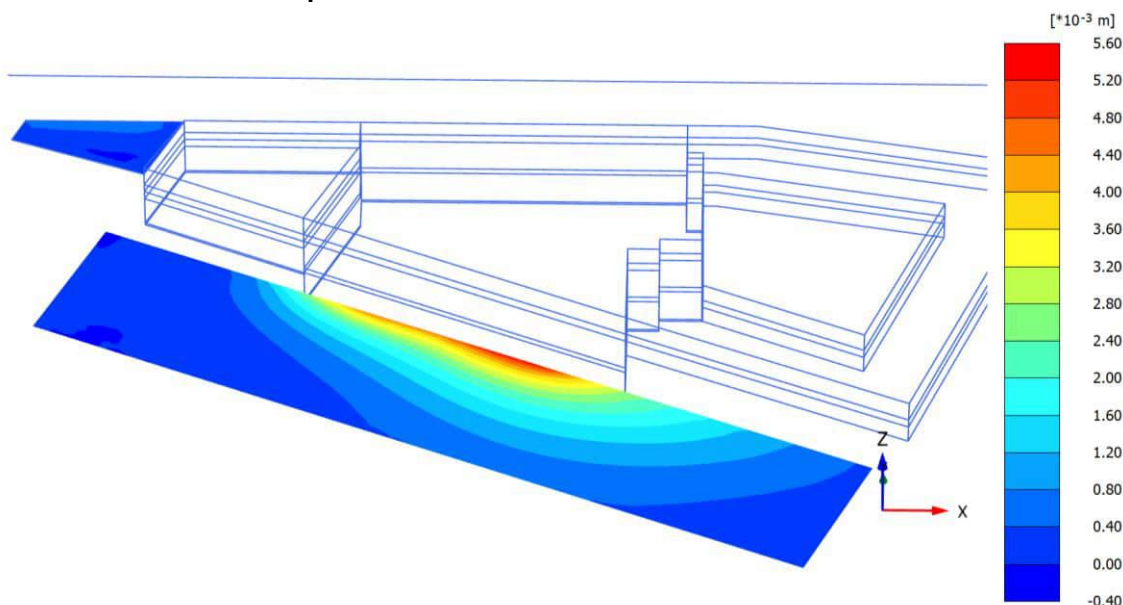
Minimum value = $-5.565 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2701 at Node 31339)

Abbildung A2 - 60: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



Total displacements u_x (scaled up $5.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $3.286 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2725 at Node 31405)
 Minimum value = $-0.3591 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2664 at Node 31375)

Abbildung A2 - 61: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



Total displacements u_y (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $5.458 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2699 at Node 31338)
 Minimum value = $-0.07459 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2627 at Node 149120)

Abbildung A2 - 62: Phase 16 – 100% Gebäudelasten BT B+C – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

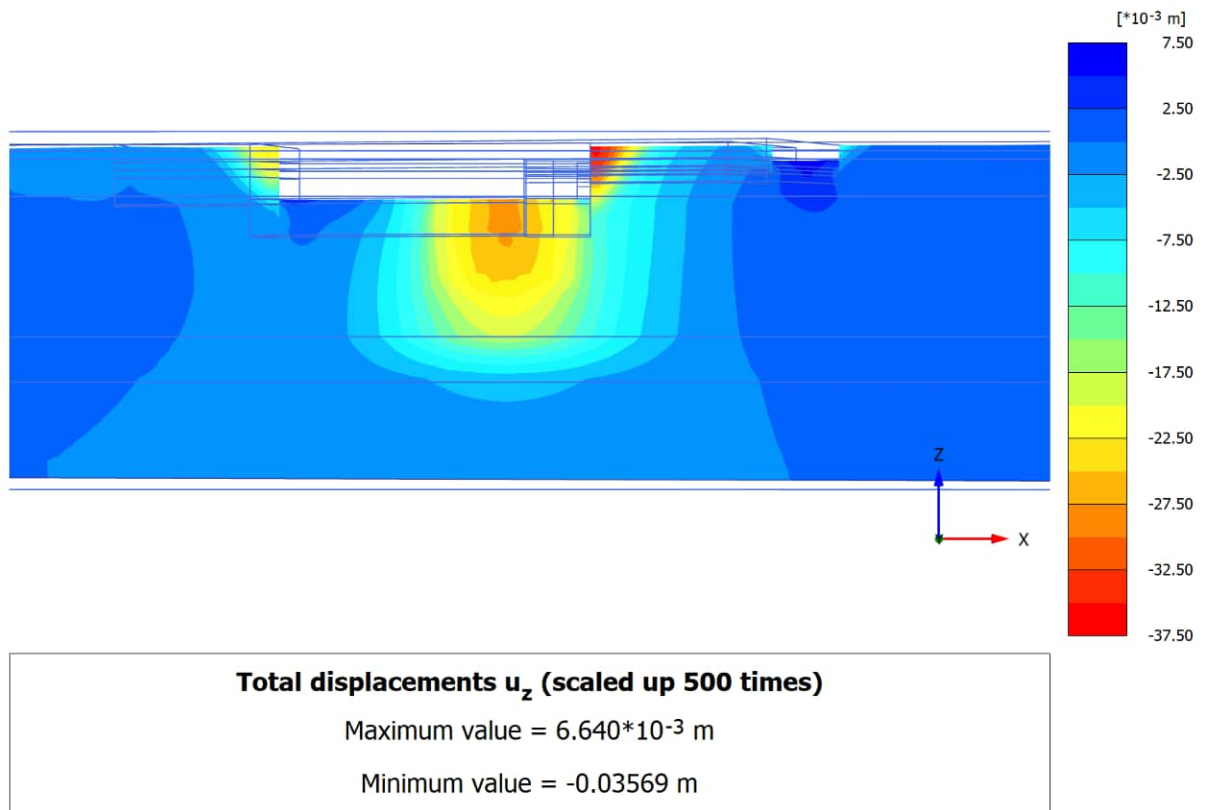


Abbildung A2 - 63: Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

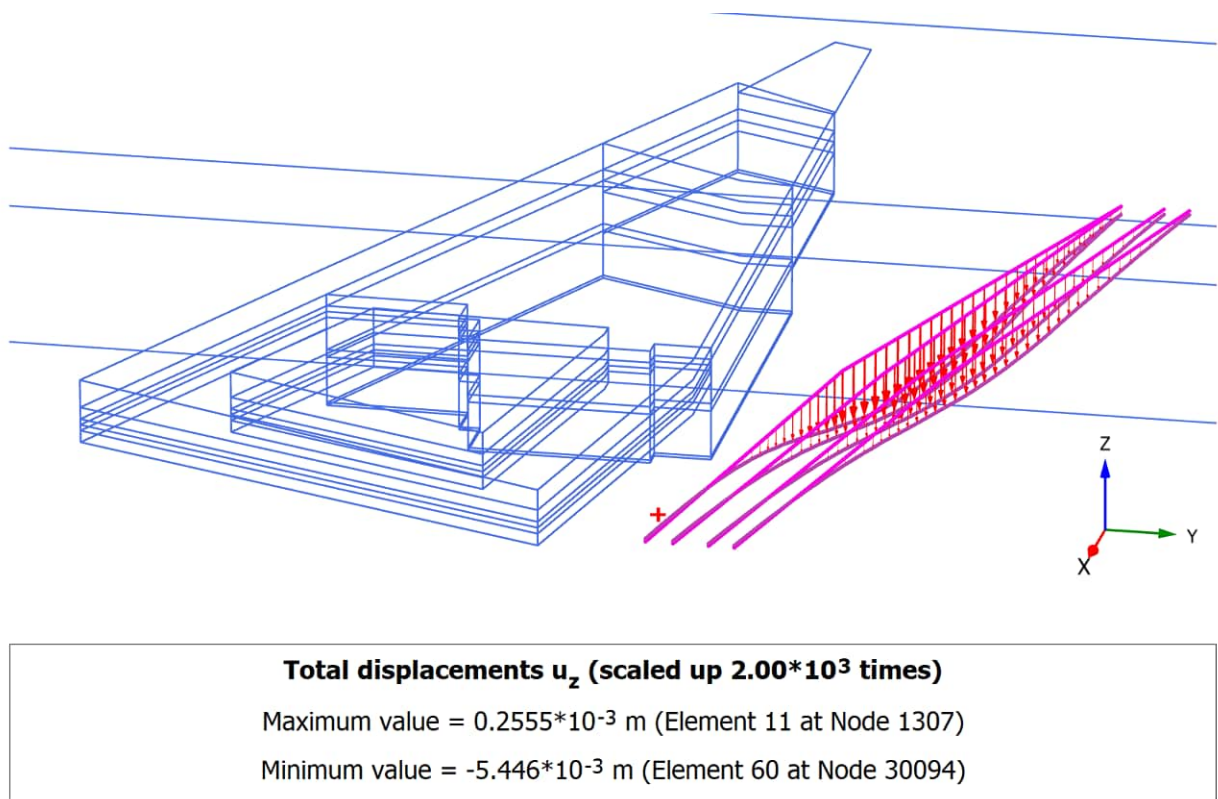
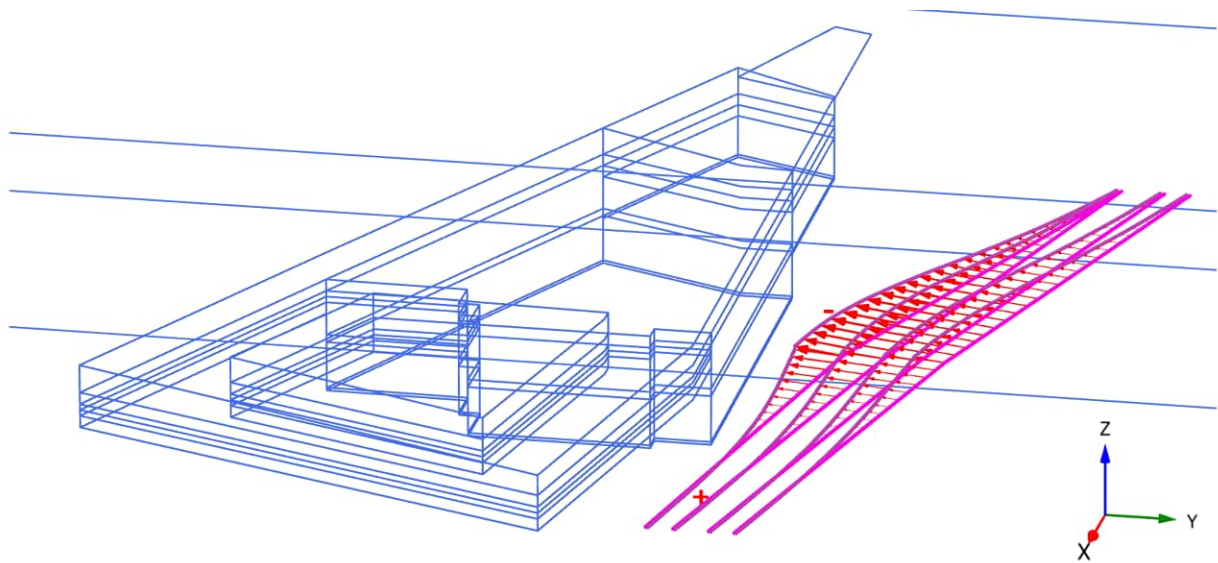
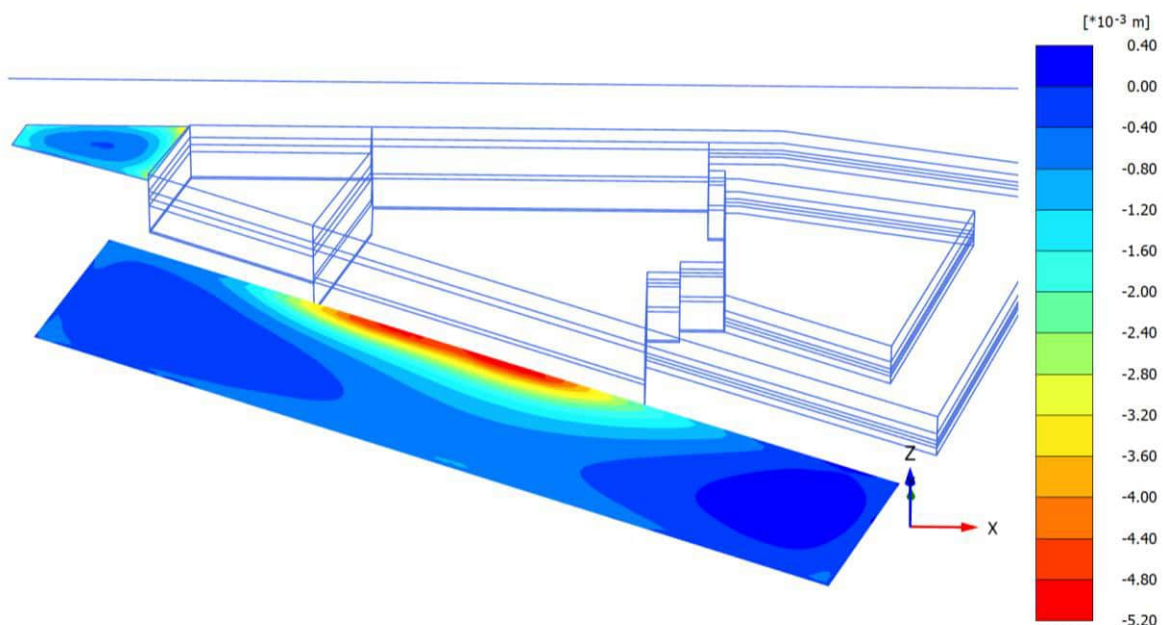


Abbildung A2 - 64: Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung Bahngleise



Local total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0.2050 \cdot 10^{-3}$ m (Element 10 at Node 30070)
 Minimum value = $-5.342 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30094)

Abbildung A2 - 65: Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung Bahngleise



Total displacements u_z (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0.2718 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3439 at Node 150414)
 Minimum value = $-5.077 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2701 at Node 31339)

Abbildung A2 - 66: Phase 19 – Endaushub BT D – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

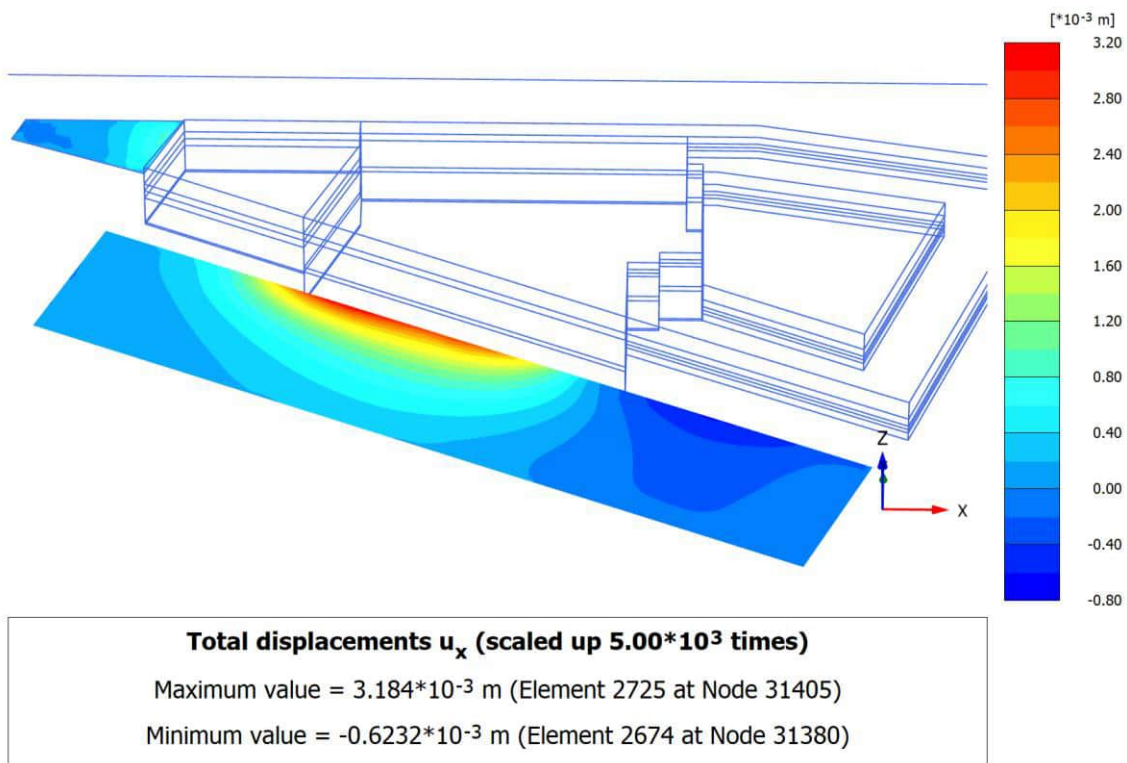


Abbildung A2 - 67: Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

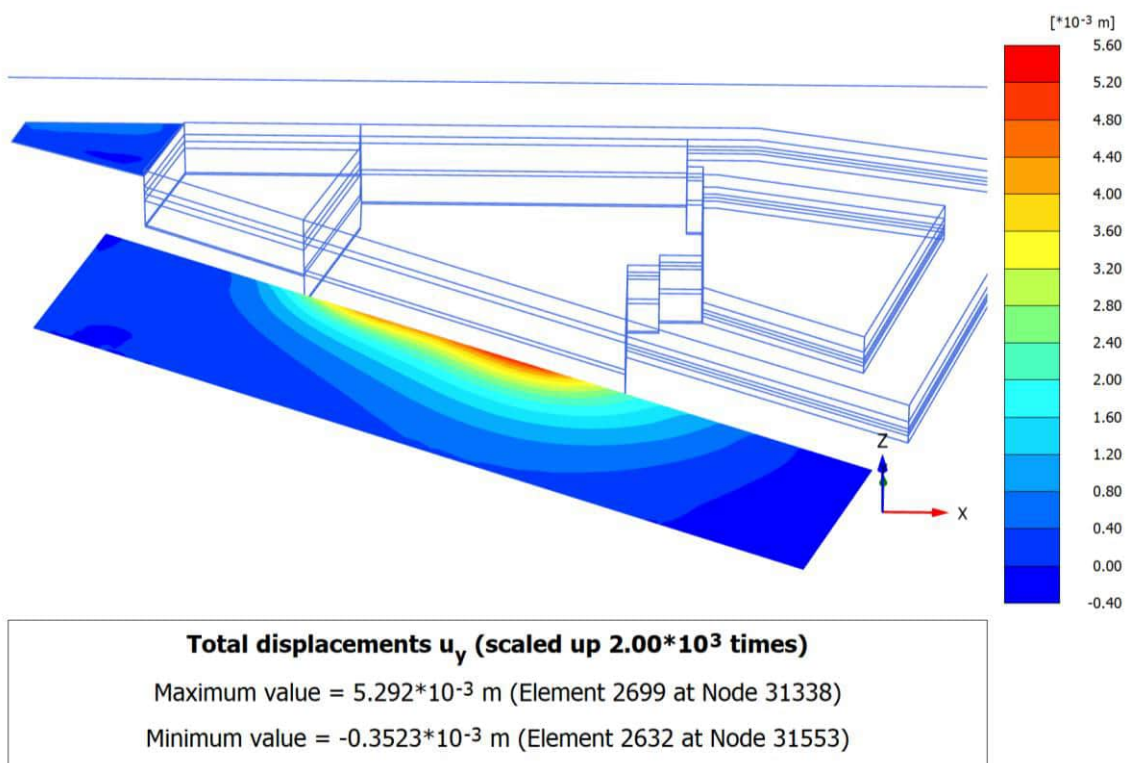


Abbildung A2 - 68: Phase 19 – Endaushub BT D – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

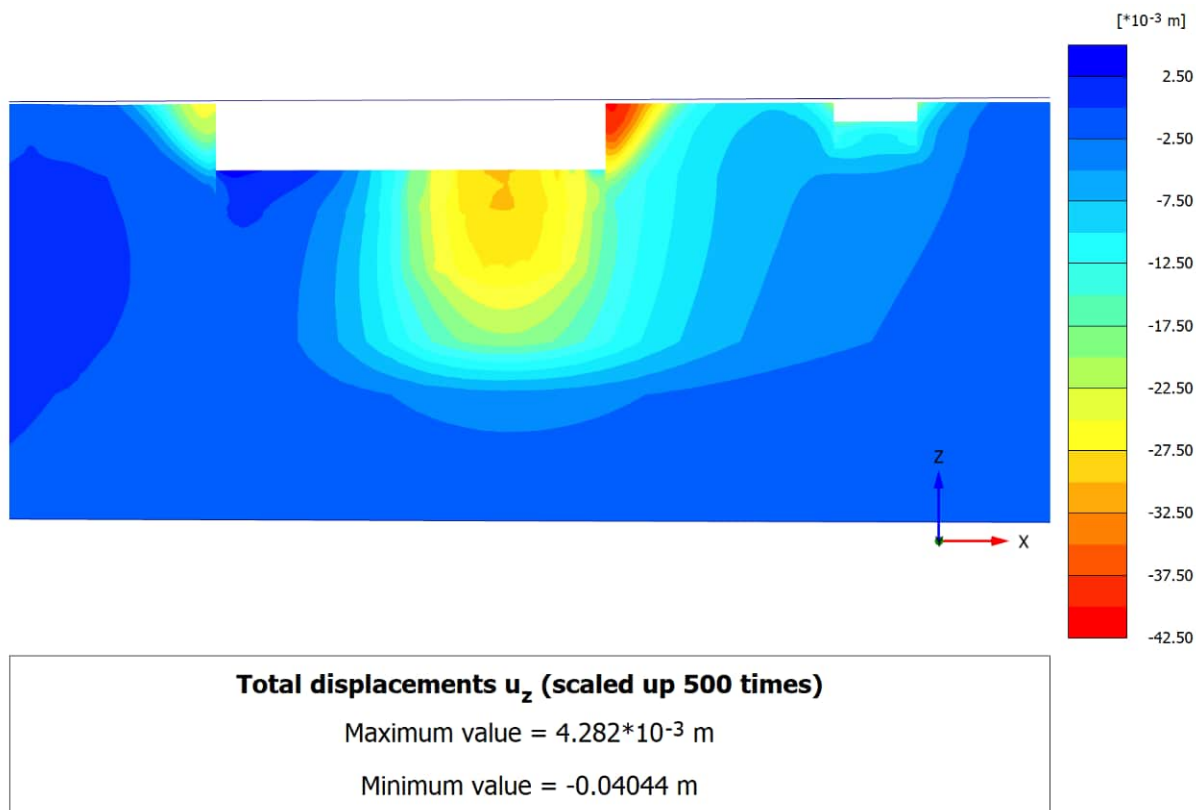


Abbildung A2 - 69: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

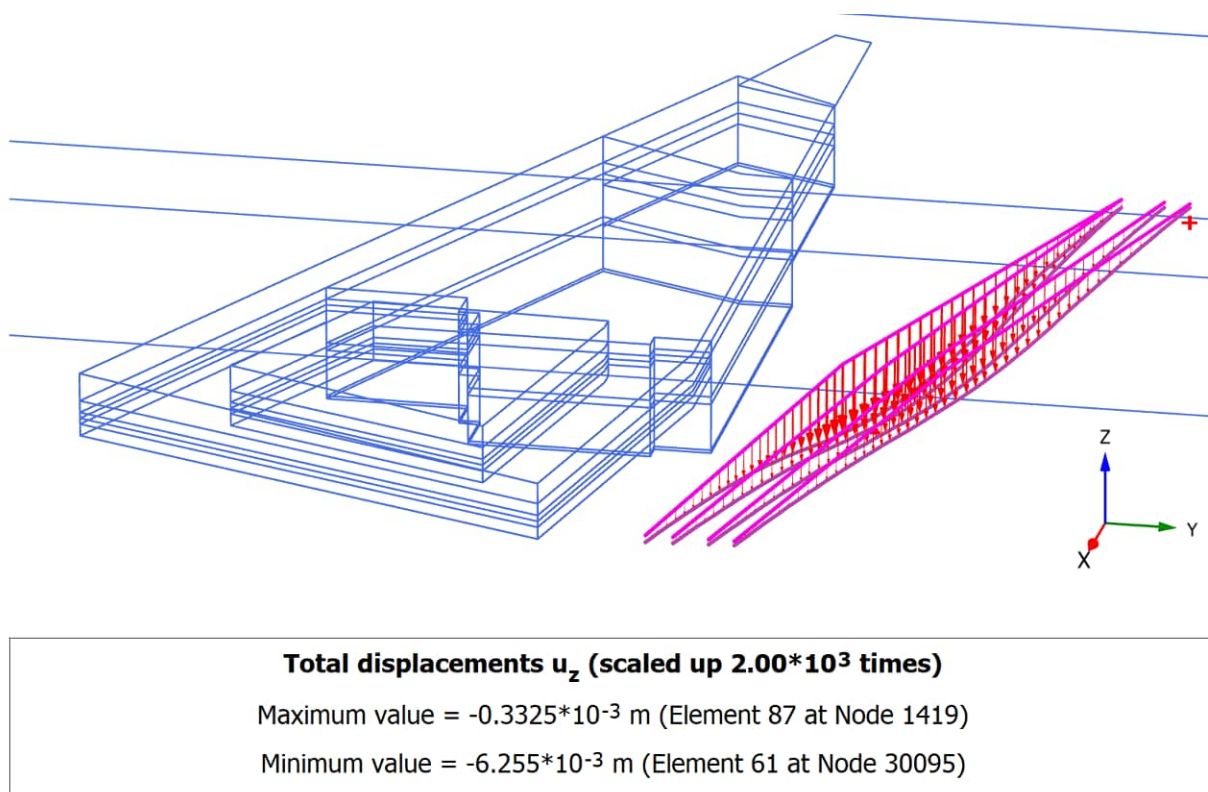
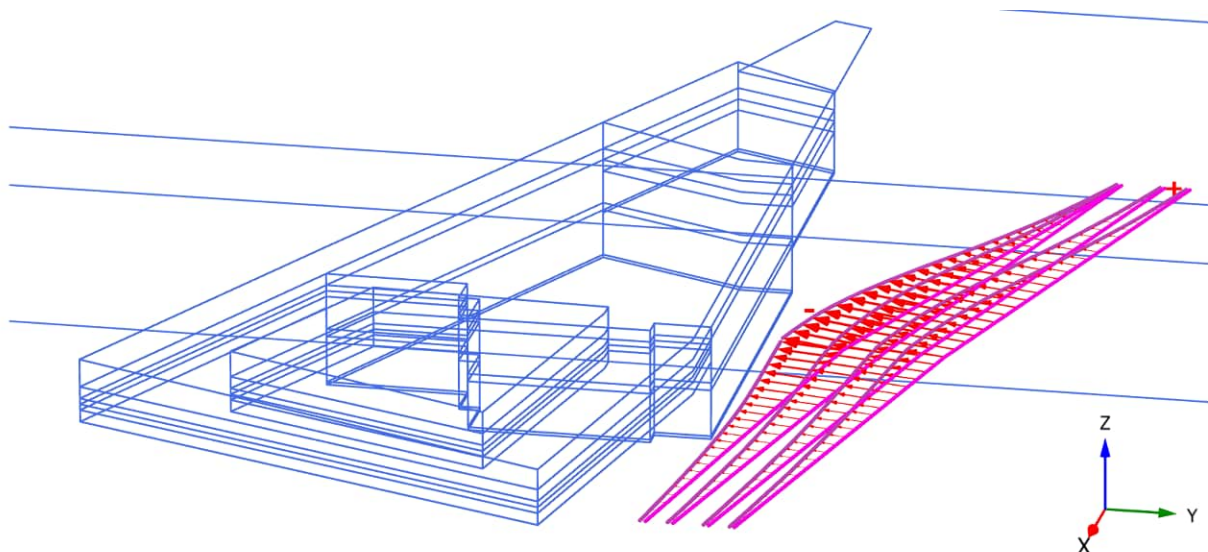


Abbildung A2 - 70: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung Bahnleise

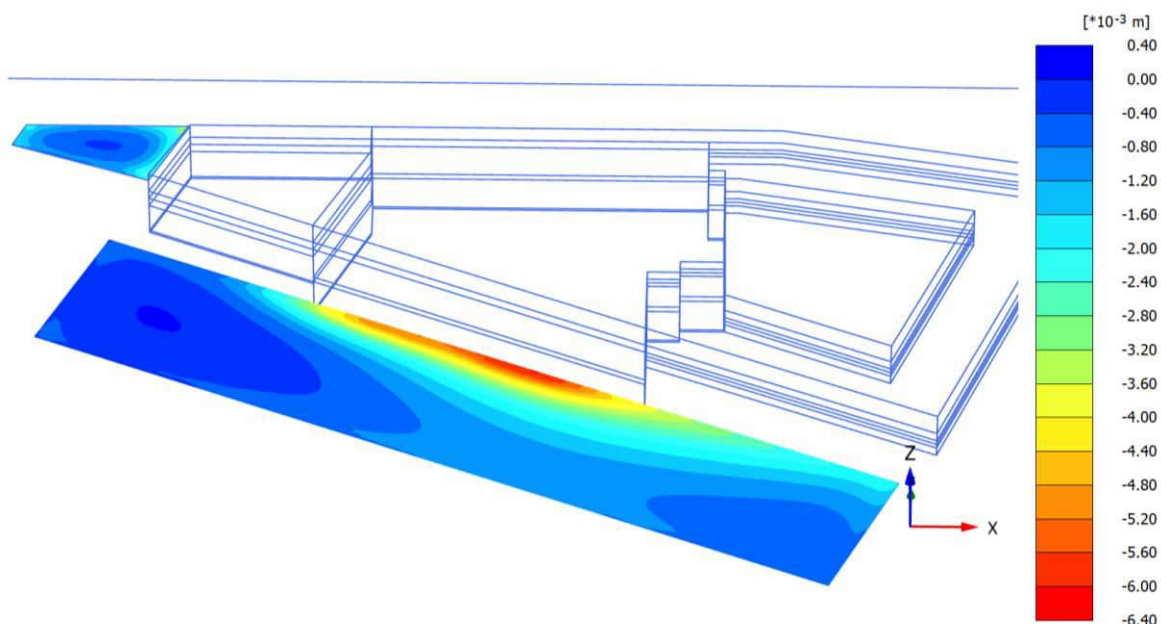


Local total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.3275 \cdot 10^{-3}$ m (Element 87 at Node 1419)

Minimum value = $-6.053 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30082)

Abbildung A2 - 71: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung Bahngleise

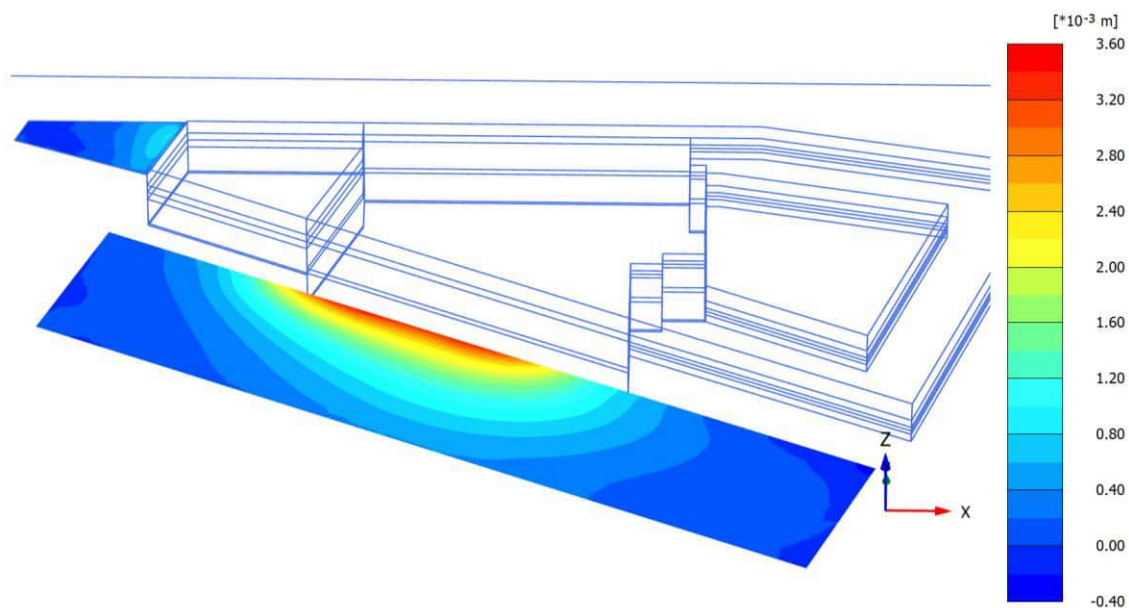


Total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0.01346 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3079 at Node 149824)

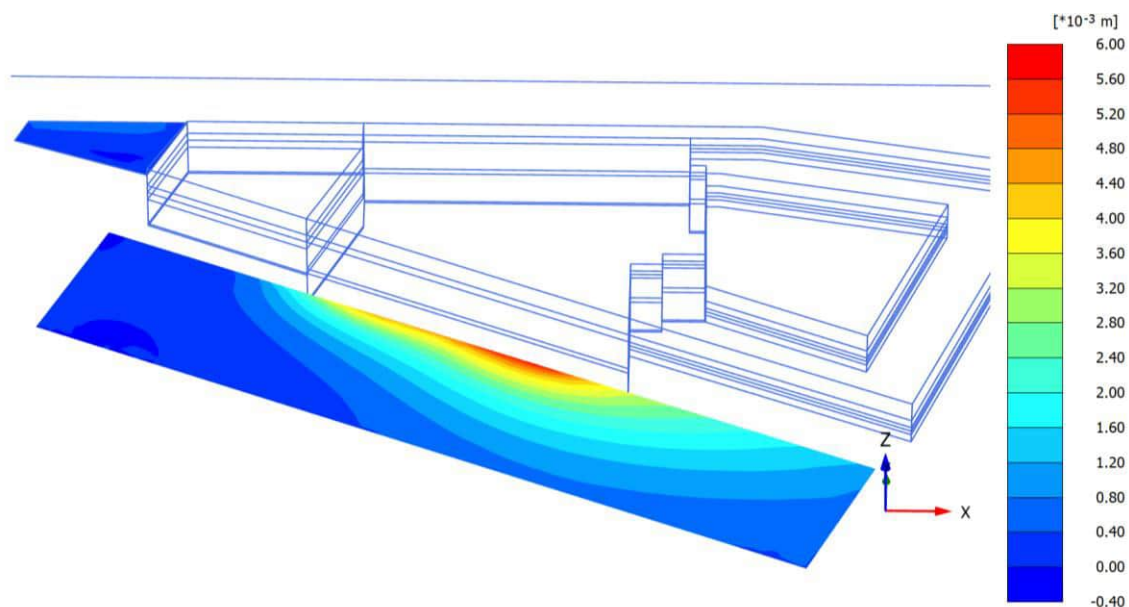
Minimum value = $-6.087 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2701 at Node 31339)

Abbildung A2 - 72: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



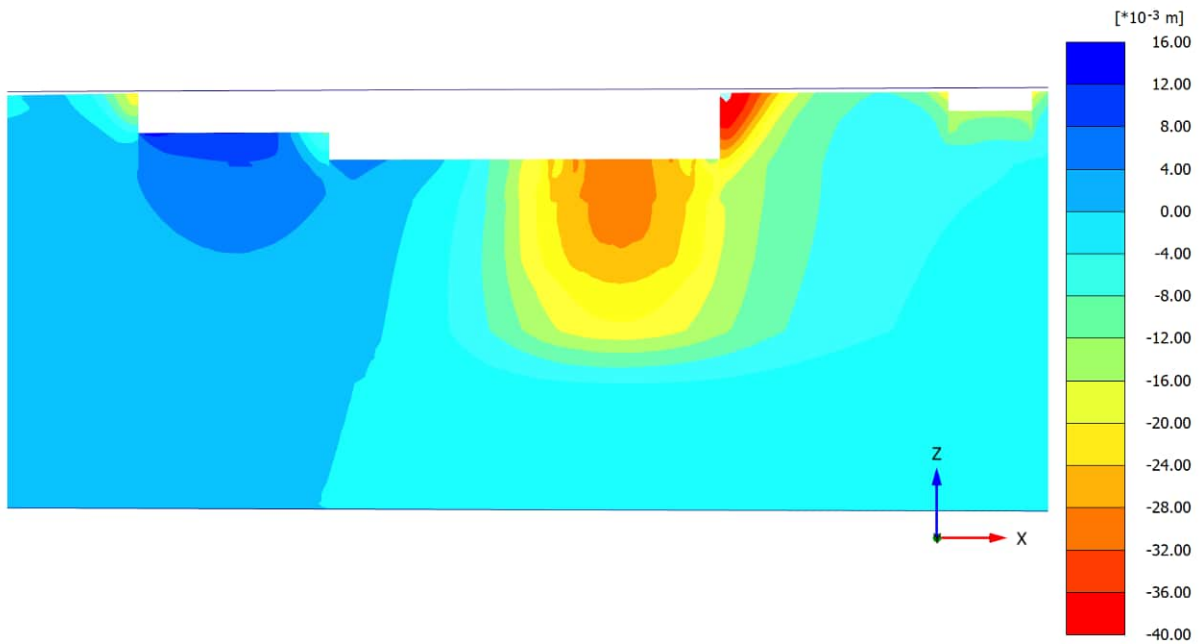
Total displacements u_x (scaled up $5.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $3.491 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2723 at Node 31350)
 Minimum value = $-0.2626 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2631 at Node 149126)

Abbildung A2 - 73: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



Total displacements u_y (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $5.794 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2699 at Node 31338)
 Minimum value = $-0.07977 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2627 at Node 149120)

Abbildung A2 - 74: Phase 21 – 100% Gebäudelasten BT D – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

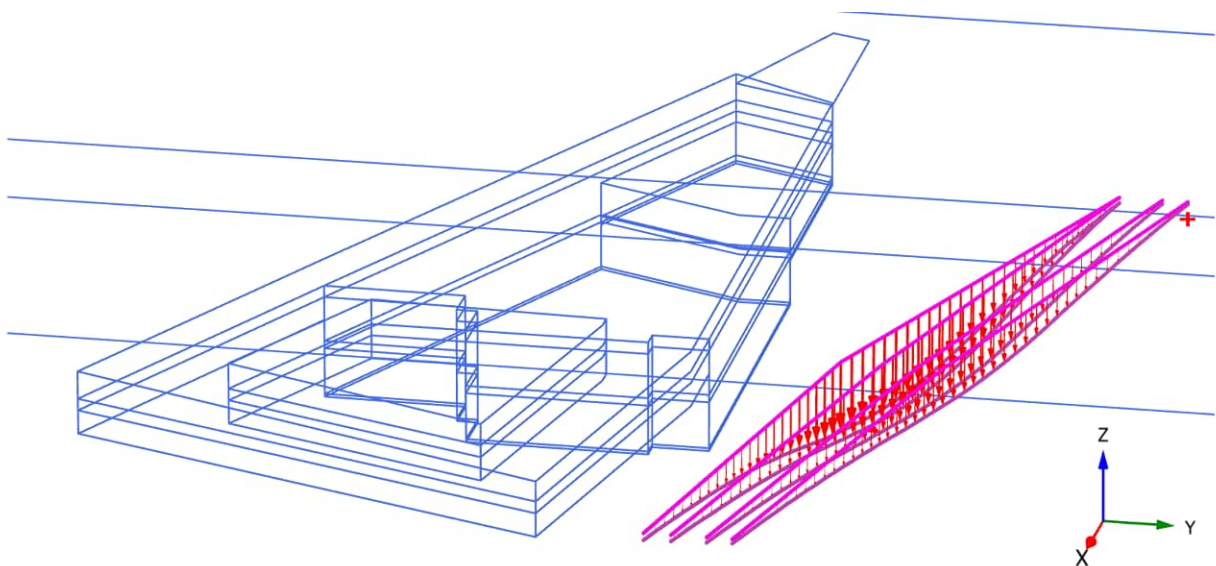


Total displacements u_z (scaled up 500 times)

Maximum value = 0.01393 m

Minimum value = -0.04045 m

Abbildung A2 - 75: Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

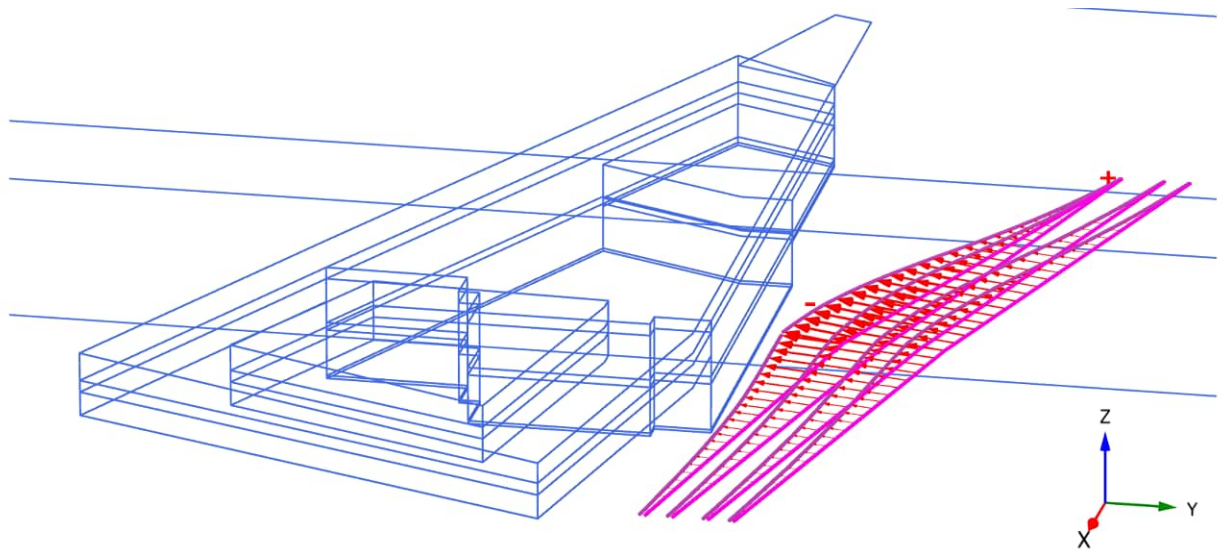


Total displacements u_z (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.2307 \cdot 10^{-3}$ m (Element 87 at Node 1419)

Minimum value = $-6.243 \cdot 10^{-3}$ m (Element 61 at Node 30095)

Abbildung A2 - 76: Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung Bahngleise

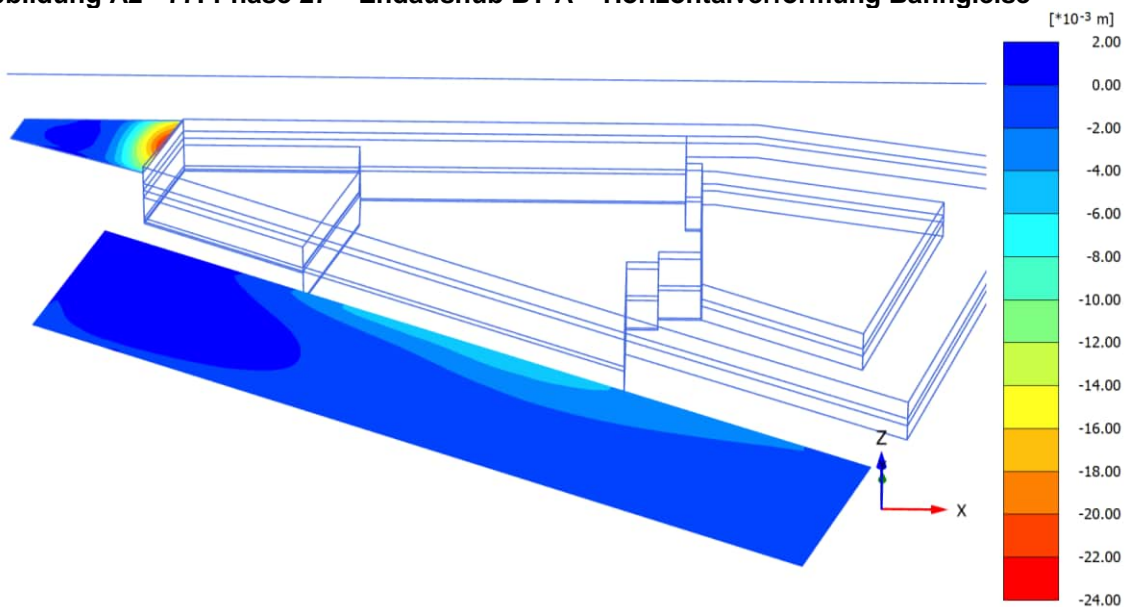


Local total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.08194 \cdot 10^{-3}$ m (Element 50 at Node 1412)

Minimum value = $-5.983 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30082)

Abbildung A2 - 77: Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung Bahngleise

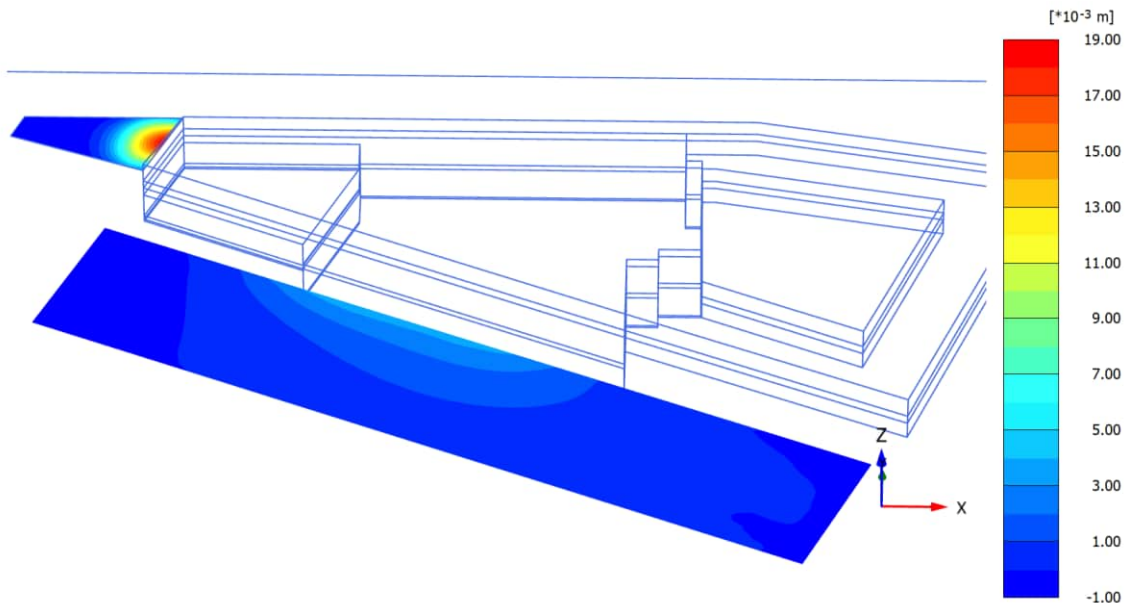


Total displacements u_z (scaled up 500 times)

Maximum value = $0.9698 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2627 at Node 1527)

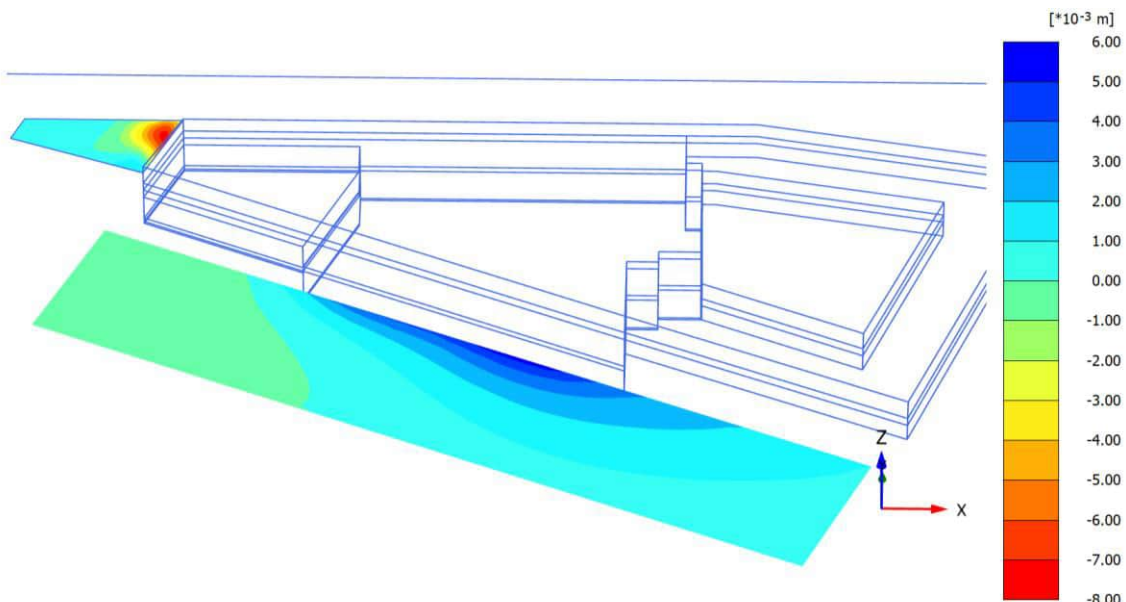
Minimum value = -0.02232 m (Element 615 at Node 30967)

Abbildung A2 - 78: Phase 27 – Endaushub BT A – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



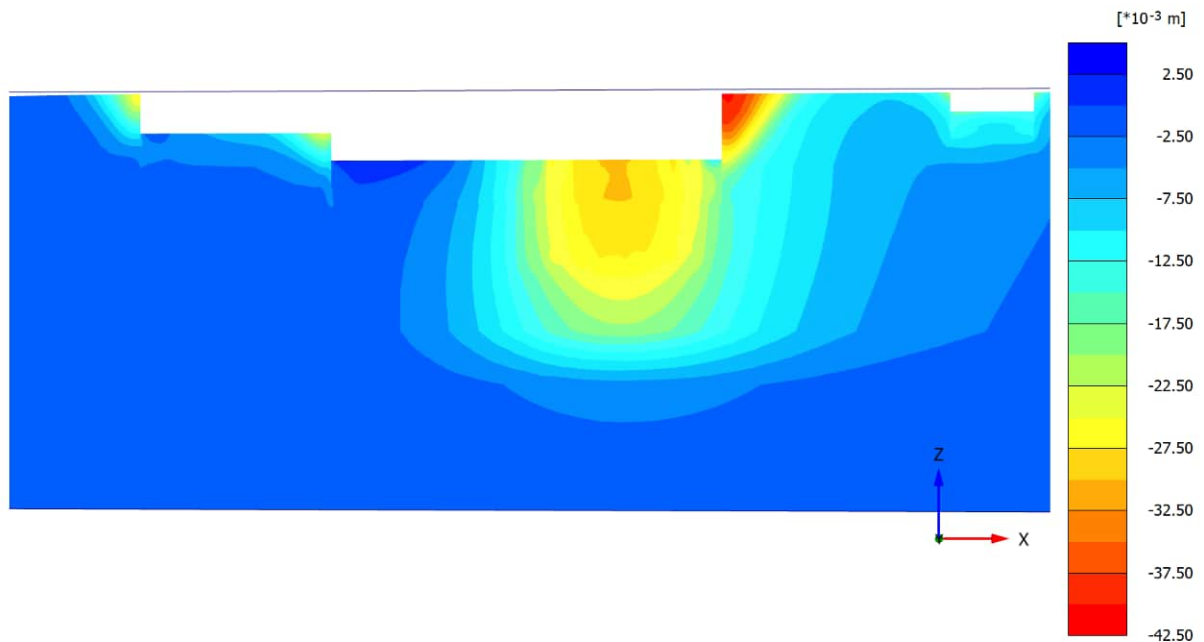
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
 Maximum value = 0.01898 m (Element 615 at Node 30967)
 Minimum value = $-0.8904 \cdot 10^{-3}$ m (Element 605 at Node 31205)

Abbildung A2 - 79: Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



Total displacements u_y (scaled up $1.00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $5.697 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2699 at Node 31338)
 Minimum value = $-7.342 \cdot 10^{-3}$ m (Element 617 at Node 148031)

Abbildung A2 - 80: Phase 27 – Endaushub BT A – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

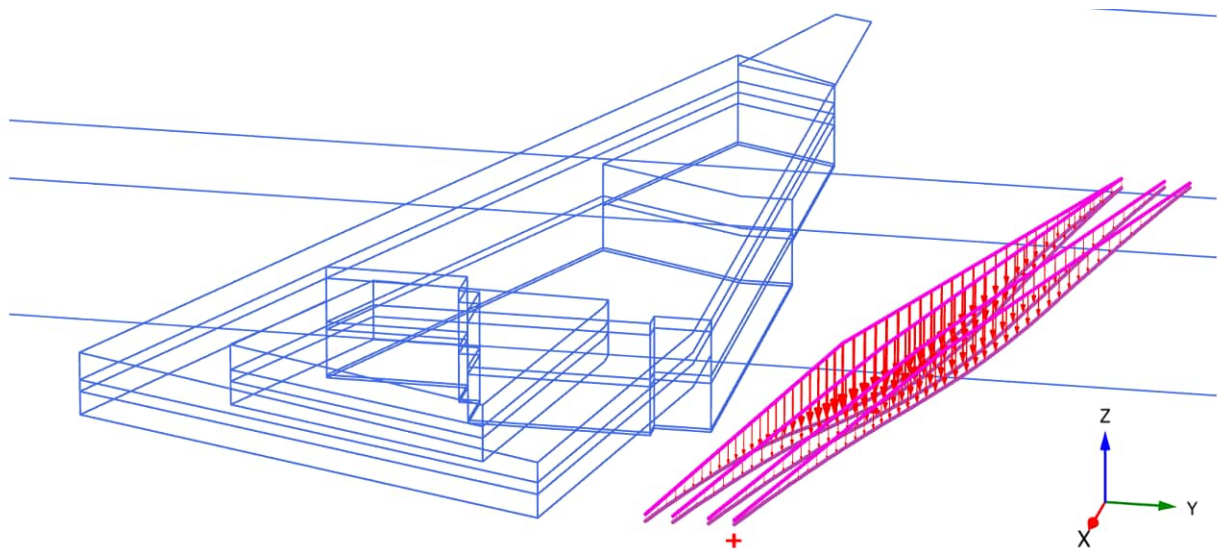


Total displacements u_z (scaled up 500 times)

Maximum value = $2.893 \cdot 10^{-3}$ m

Minimum value = -0.04049 m

Abbildung A2 - 81: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung im Schnitt Ost-West

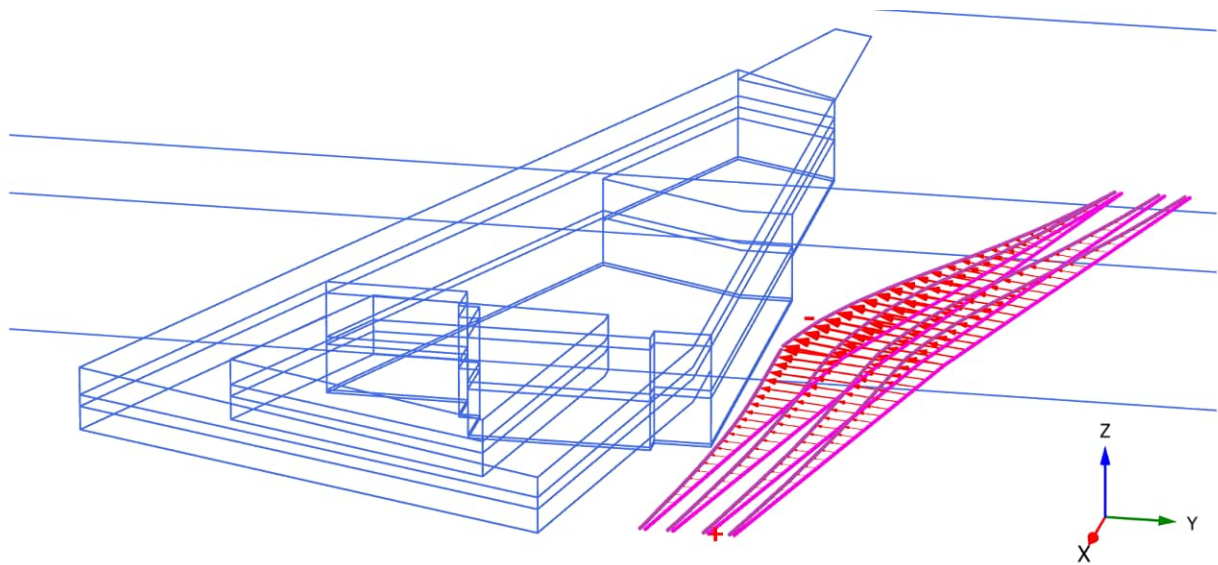


Total displacements u_z (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.3487 \cdot 10^{-3}$ m (Element 49 at Node 1418)

Minimum value = $-6.268 \cdot 10^{-3}$ m (Element 61 at Node 30095)

Abbildung A2 - 82: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung Bahngleise

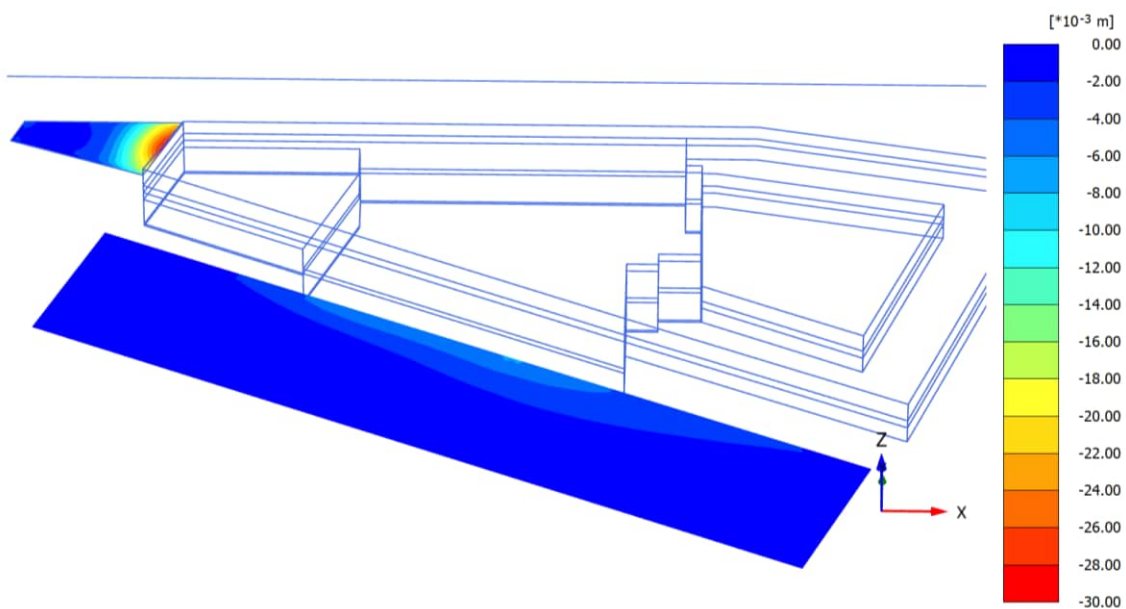


Local total displacements u_2 (scaled up $2.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $-0.3933 \cdot 10^{-3}$ m (Element 49 at Node 1418)

Minimum value = $-6.050 \cdot 10^{-3}$ m (Element 60 at Node 30082)

Abbildung A2 - 83: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung Bahngleise

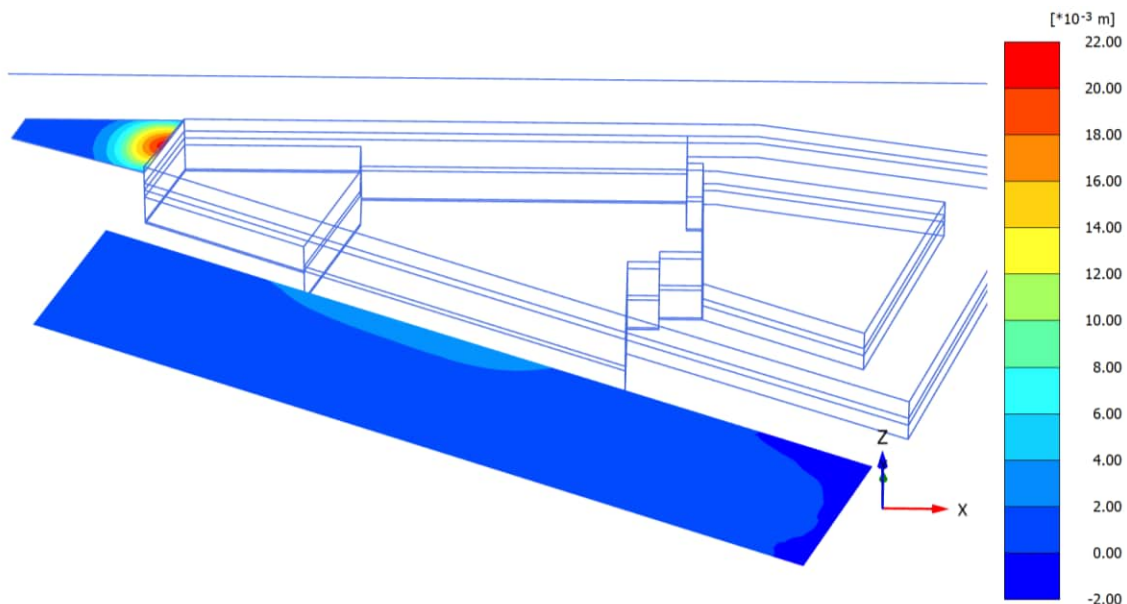


Total displacements u_z (scaled up 500 times)

Maximum value = $-0.2346 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3071 at Node 149811)

Minimum value = -0.02948 m (Element 615 at Node 30967)

Abbildung A2 - 84: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Vertikalverformung BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße

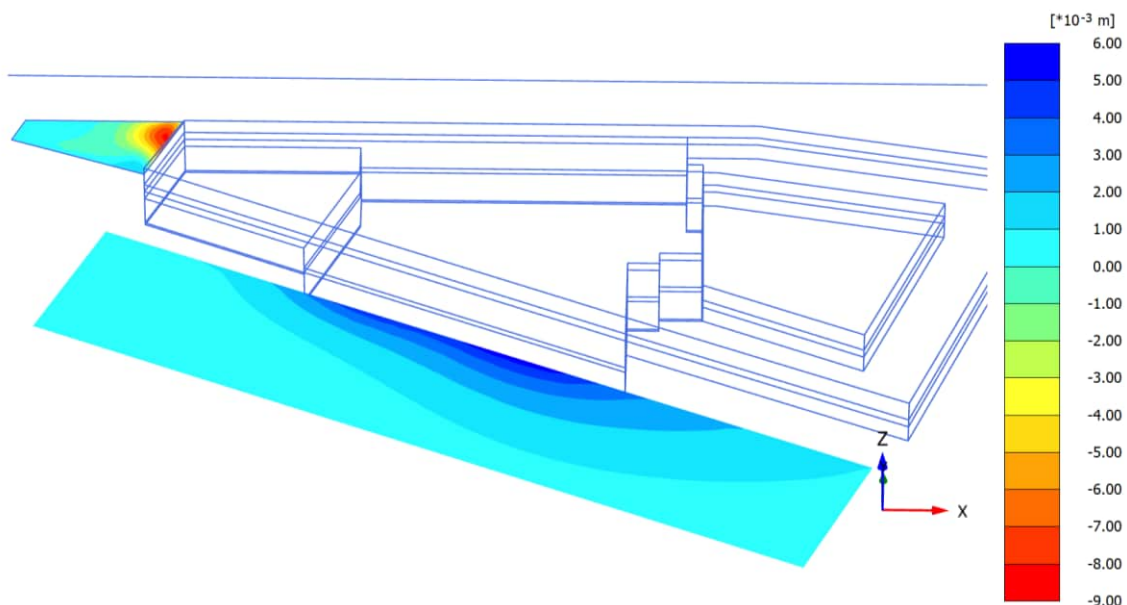


Total displacements u_x (scaled up 500 times)

Maximum value = 0.02134 m (Element 615 at Node 30967)

Minimum value = $-0.2695 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2631 at Node 149126)

Abbildung A2 - 85: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung in X-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße



Total displacements u_y (scaled up $1.00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $5.835 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2699 at Node 31338)

Minimum value = $-8.172 \cdot 10^{-3}$ m (Element 620 at Node 148046)

Abbildung A2 - 86: Phase 31 – 100% Gebäudelasten BT A – Horizontalverformung in Y-Richtung, BVG-Betriebshof und Rampe Rudolfstraße