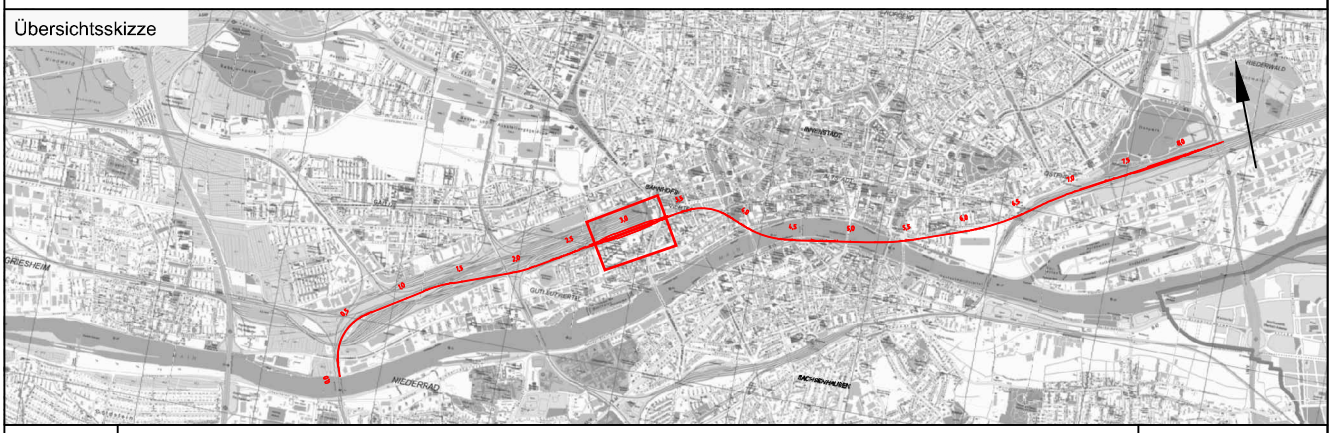
Unterlage 07.02
Blatt

Übersichtsskizze



Index	Änderungen bzw. Ergänzungen	Planungsstand

Machbarkeitsstudie

Vorhabenträger:

DB Netz AG
Zentrale
Theodor-Heuss-Allee 7
60486 Frankfurt am Main

Vertreter des Vorhabenträgers:

DB Netz AG
I.NG-Mi-L
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main,
den ..... Unterschrift

Planzeichen:	07.02	
Projekt-Nr.:	10551	
	Datum	Name
gez.	-	-
bearb.	11/2020	W. Summerer
gepr.	26.11.20	A.Spiegl

Auftragnehmer:

Ingenieurgemeinschaft
Fernbahntunnel
Frankfurt am Main

c/o Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Lindleystraße 11
60314 Frankfurt am Main
Telefon 069/96 88 57-0
Telefax 069/96 88 57-99

Planverfasser:

Ingenieurgemeinschaft
Fernbahntunnel
Frankfurt am Main

c/o Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Lindleystraße 11
60314 Frankfurt am Main
Telefon 069/96 88 57-0
Telefax 069/96 88 57-99

Höhensystem:	DHHN 92
Koordinatensystem:	DB Ref
Ursprungsplan:	-
Blattgröße:	-
Maßstab:	-

Vorhaben:

Knoten Frankfurt

Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main

Planart: Statische Untersuchungen

Planinhalt:

Machbarkeitsstudie Fernbahntunnel Frankfurt
Vorstatik Station Typ I

DB Netz AG
Regionalbereich Mitte
Großprojekte
(I.NG-MI-L)
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Vorstatik Station Typ I
Machbarkeitsstudie

Knoten Frankfurt; Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf. Frankfurt/Main

Ersteller(in):	DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main
Verantwortliche(r):	Rainer Lehmann
	Großprojekte RB Mitte (I.NG-MI-L), DB Netz AG
Version:	0.1, 30.11.2020

Revisionsdokumentation

Version	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
0.1	30.11.2020	W. Summerer	Erste Ausgabe

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 6
1.1 Allgemeines 6
1.2 Gegenstand des vorliegenden Berichts 6

2 Literaturverzeichnis 8

2.1 Normen und Berichte 8

2.2 Weitere Literatur und Software 8

2.3 Zugehörige Pläne 9

3 Typischer Querschnitt 10

4 Bauablauf 11

5 Geologie und Hydrogeologie 12
5.1 Allgemeines 12
5.2 Baugrundmodell 12
5.2.1 Schichtaufbau 12
5.2.2 Grund- und Schichtwasser 13
5.3 Geotechnische Kennwerte 13
5.3.1 Frankfurter Tone 13
5.3.2 Frankfurter Kalke 15

6 Material / Baustoffe 16

6.1 Rohrvortrieb (Rohr + Füllung) 16

6.2 Tübbing 16

6.3 Mittelpfeiler und Innenschale 16

7 Numerische Berechnung 17

7.1 Einführung 17

7.2 Modellierungshinweise 17
7.2.1 Modellierung Baugrund 17
7.2.2 Modellierung Rohrvortrieb 17
7.2.3 Modellierung TBM Vortrieb 19
7.2.4 Modellierung Mittelpfeiler 20
7.2.5 Modellierung Innenschale 20

8 Nachweis Station im Bauzustand 21

8.1 Allgemeines 21

8.2 Berechnungsschritte Station Bauzustand 22

8.3 Vorbemessung Tübbingring 23

8.4 Vorbemessung Vortriebsrohre auf Vortriebskraft 25

8.5 Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe bei Ausbruch 26

8.6 Vorbemessung Mittelpfeiler bei Ausbruch 28

8.7 Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe und Vorbemessung Mittelpfeiler unter Innendruck – Notfallmaßnahme 30

8.8 Verschiebungen im Bauzustand 34

8.9 Auftriebsnachweis 35

9 Nachweis Station im Endzustand 37

9.1 Allgemeines 37

9.2 Berechnungsschritte 38

9.3 Vorbemessung Innenschale bei verrottetem Rohrgewölbe 39
9.3.1 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=100 MPa 39
9.3.2 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=75 MPa 41
9.3.3 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=250 MPa 42
9.3.4 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe zu Frankfurter Ton ... 44
9.3.5 Zusammenfassung Bewehrungsmengen Innenschale 47

9.4 Vorbemessung Mittelpfeiler bei verrottetem Rohrgewölbe 47

9.5 Verschiebungen im Endzustand 48

9.6 Grenzbetrachtung Einwirkung auf Innenschale und Mittelpfeiler und Vorbemessung dieser Bauteile 53

10 Zusammenfassung 56

Anlagen

Anlage 1: Ergebnisse numerische Berechnung – Bauzustand Rohrgewölbe

Anlage 2: Ergebnisse numerische Berechnung – Notfallmaßnahmen Bauzustand

Anlage 3: Bemessung Vortriebsrohr auf Vortriebskraft

Anlage 4: Ergebnisse numerische Berechnung – Endzustand Innenschale

Anlage 5: Ergebnisse numerische Berechnung – Grenzbetrachtung Innenschale

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typischer Querschnitt Station 10
Abbildung 2: Ableitung E_{oed}^{ref} und E_{ur}^{ref} aus Angaben in [1] 14
Abbildung 3: Querschnitt Rohrvortrieb 18
Abbildung 4: Numerisches Modell Rohrvortrieb 18
Abbildung 5: Modellierung Fugen zwischen Primär- und Sekundärpfahl 19
Abbildung 6: Numerisches Modell Tübbingring 20
Abbildung 7: Modellierung Fugen zwischen Tübbing und Rohrvortrieb 20
Abbildung 8: Vorbemessung Tübbing GZT 25
Abbildung 9: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.4 (Legende 0 – 1) 26
Abbildung 10: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.4 (Legende 0,8 – 1) 27
Abbildung 11: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.5 (Legende 0 – 1) 27
Abbildung 12: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.5 (Legende 0,8 – 1) 28
Abbildung 13: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B.4 29
Abbildung 14: Vorbemessung Mittelpfeiler GZT Berechnungsschritt B.4 29
Abbildung 15: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.1 (Legende 0 – 1) 30
Abbildung 16: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.1 (Legende 0,8 – 1) 31
Abbildung 17: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.2 (Legende 0 – 1) 31
Abbildung 18: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.2 (Legende 0,8 – 1) 32
Abbildung 19: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B_N.1 33
Abbildung 20: Vorbemessung Mittelpfeiler GZT – Notfallmaßnahme B_N.1 33
Abbildung 21: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.5 34
Abbildung 22: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.5 35
Abbildung 23: Maßgebende Querschnittsfläche für den Auftriebsnachweis 36
Abbildung 24: Überlagerungshöhen für Auftriebsnachweis 36
Abbildung 25: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B.6 – Berechnung Steifigkeit Verrottung E=100 MPa 48
Abbildung 26: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=75 MPa 49
Abbildung 27: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=75 MPa 49
Abbildung 28: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=100 MPa 50
Abbildung 29: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=100 MPa 50
Abbildung 30: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=250 MPa 51
Abbildung 31: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=250 MPa 51
Abbildung 32: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – Verrottetes Material = Frankfurter Ton 52
Abbildung 33: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – Verrottetes Material = Frankfurter Ton 52
Abbildung 34: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B_G.2 55

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Im Zuge der Erstellung der Machbarkeitsstudie für den Fernbahntunnel Frankfurt mit einer unterirdischen Station unterhalb des bestehenden Hauptbahnhofes Frankfurt wurde eine Bauweise für eine bergmännisch zu errichtende Station mit zwei je 420 m langen Kavernen entwickelt (Station Typ I). Zwischen den beiden Kavernen, welche jeweils einen Mittelbahnsteig mit den zugehörigen Gleisen aufnehmen, ist zentrisch der TBM-Tunnel, welcher als Pfeilerstollen genutzt wird situiert. Aufgrund der außergewöhnlichen Abmessungen und Art der Konstruktion sowie der ungünstigen Untergrundverhältnisse wurde festgelegt, eine vorstatische Untersuchung für die Außen- und Innenschale des Stationsregelquerschnittes durchzuführen.

1.2 Gegenstand des vorliegenden Berichts

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie Knoten Frankfurt, Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf. Frankfurt/Main, werden in der vorliegenden Vorstatik wesentliche Nachweise zur Machbarkeit der Station Typ I geführt.

Die Vorstatik enthält insbesondere nachfolgende Nachweise:

- Nachweise Station im <u>Bauzustand</u>:
  - Vorbemessung Tübbingring - TBM Vortrieb
  - Vorbemessung Vortriebsrohre auf Vortriebskraft
  - Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe bei Ausbruch
  - Vorbemessung Mittelpfeiler bei Ausbruch
  - Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe und Vorbemessung Mittelpfeiler unter Innendruck – Notfallmaßnahme
  - Verschiebungen im Bauzustand
  - Auftriebsnachweis

- Nachweise Station im <u>Endzustand</u>:
  - Vorbemessung Innenschale bei verrottetem Rohrgewölbe
  - Vorbemessung Mittelpfeiler bei verrottetem Rohrgewölbe
  - Verschiebungen im Endzustand
  - Grenzbetrachtung Einwirkung auf Innenschale und Mittelpfeiler und Vorbemessung dieser Bauteile

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie werden bei der Vorbemessung maßgebende Schnitte durch die Bauteile betrachtet und für diese Schnitte eine Vordimensionierung durchgeführt.

Abkürzungsverzeichnis

B	
Bau	Bauzustand
E	
End	Endzustand
G	
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
H	
HS	Hardening Soil
R	
Ril	Richtlinie
T	
TBM	Tunnelbohrmaschine

2 Literaturverzeichnis

2.1 Normen und Berichte

[1] IK Katzenbach Ingenieure, 08. Juni 2020, Grundlagenermittlung: Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse für den geplanten Fernbahntunnel, Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt / Main, Bericht Nr. IK2024/01
[2] DIN EN 1997-1: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln
[3] DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln
[4] DIN 1054 – Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
[5] DIN 1054/A1 – Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2010; Änderung A1
[6] DIN 1054 /A2 – Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Änderung A2
[7] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
[8] DIN EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
[9] DIN EN 1992-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 3: Stütz- und Behälterbauwerke aus Beton
[10] DIN EN 1916: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton
[11] DIN EN 1916 Berichtigung 1
[12] DIN EN 1916 Berichtigung 2
[13] Richtlinie 853, 9. Aktualisierung, Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, DB Netz

2.2 Weitere Literatur und Software

[14] Marcher Th. 2003, Nichtlokale Modellierung der Entfestigung dichter Sande und steifer Tone, Universität Stuttgart, Dissertation
[15] Zehentner F. 2010, Numerische Untersuchungen zur Einflusstiefe von Gründungen, Universität Graz, Masterarbeit
[16] Ochsenkühn R. 2001, Rechnerische Untersuchungen zum Einfluss von Ankerneigung und Ankerlänge auf die Nachbarbebauung, Fachhochschule Regensburg, Diplomarbeit (Kurzfassung)

[17] PLAXIS 2D Software, Version 20.03.00.30, www.plaxis.com
[18] ConDim Betonbemessung, V8.0.2
[19] Wood M. 1975, The circular tunnel in elastic ground
[20] Fillibeck J. 2012, Oberflächensetzungen beim Tunnelvortrieb im Lockergestein – Prognose, Messung und Beeinflussung
[21] Marcher Th. 2004, Zur Wechselwirkung der Spritzbetonaußenschale mit der später eingebauten Tunnelinnenschale unter Berücksichtigung relevanter Langzeiteffekte
[22] Hurt J. 2002, Primary ways to save, Tunnel & Tunneling International 34(1)

2.3 Zugehörige Pläne

Anlage 6.3.01 Blatt 1: Bauwerksplan Planungsstufe 3 - Trassenvariante S1-O-T1-1_SK_SM, Station Typ I, Verzweigungsbauwerk Ost u. West , Grundriss 1:1000

Anlage 6.3.01 Blatt 2: Bauwerksplan Planungsstufe 3 - Trassenvariante S1-O-T1-1_SK_SM, Station Typ I, Verzweigungsbauwerk Ost u. West , Längsschnitt 1:1000

Anlage 6.3.01 Blatt 3: Bauwerksplan Planungsstufe 3 - Trassenvariante S1-O-T1-1_SK_SM, Station Typ I, Verzweigungsbauwerk Ost u. West , Regelquerschnitt 1:100

Anlage 6.3.01 Blatt 4: Bauwerksplan Planungsstufe 3 - Trassenvariante S1-O-T1-1_SK_SM, Station Typ I, Verzweigungsbauwerk Ost u. West , Querschnitt 1 1:250

Anlage 6.3.01 Blatt 5: Bauwerksplan Planungsstufe 3 - Trassenvariante S1-O-T1-1_SK_SM, Station Typ I, Verzweigungsbauwerk Ost u. West , Querschnitt 2 1:250

3 Typischer Querschnitt

Auf Basis der Informationen in [1] und dem übermittelten geologischen Querschnitt durch die Station im Hauptbahnhof Frankfurt (Email vom 23.09.2020, Professor Katzenbach) wird von folgendem geologischem Aufbau ausgegangen. Im dargestellten Querschnitt sind auch die herzustellenden Tragelemente dargestellt.

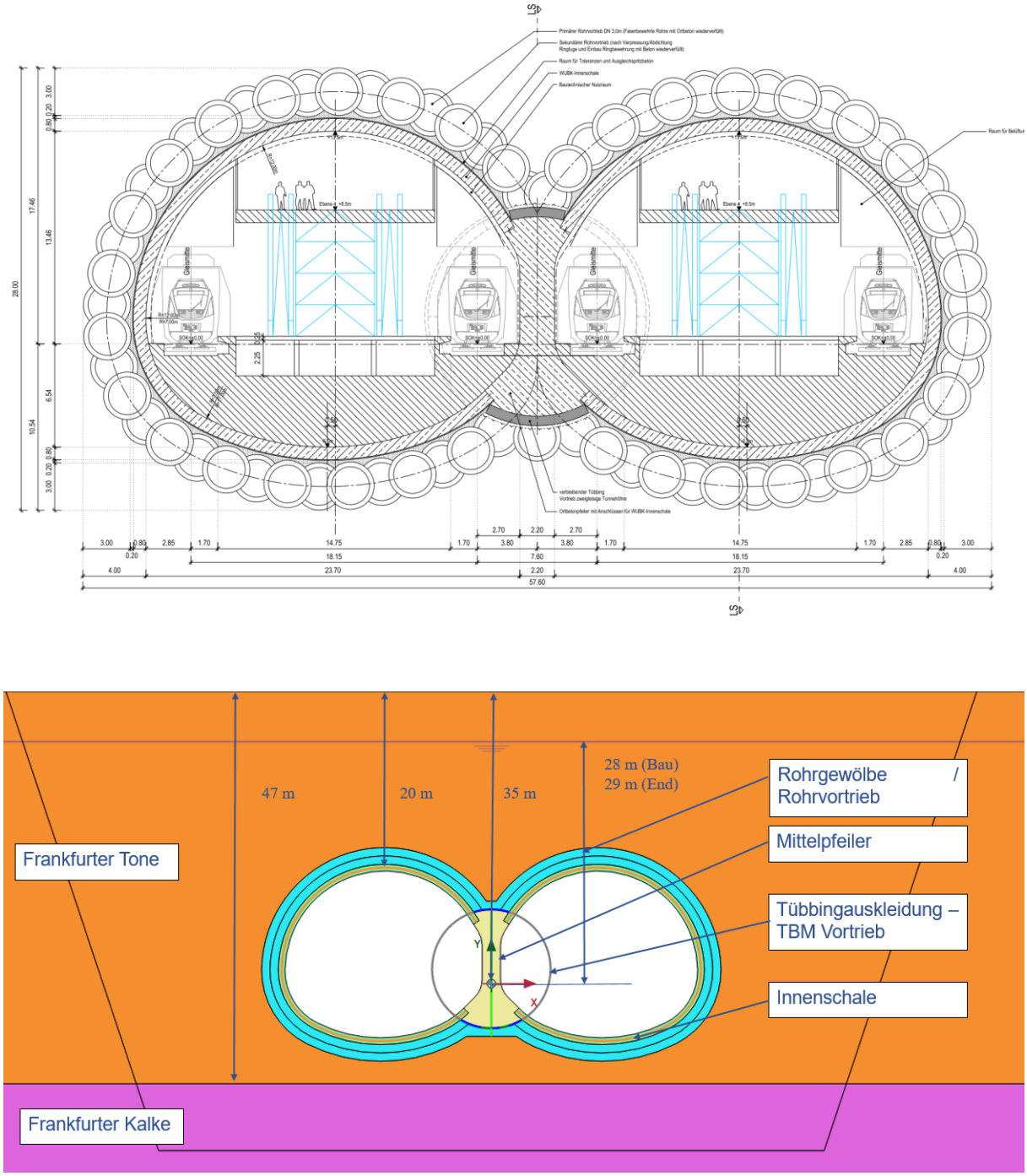


Abbildung 1: Typischer Querschnitt Station

4 Bauablauf

Bei der Herstellung der Station wird von nachfolgendem Bauablauf ausgegangen:

- Herstellung der Start- und Zielbaugruben
- Herstellung des überschnittenen Rohrvortriebes und Verfüllung des Ringspalts mit tragfähigem Mörtel (kraftschlüssiger Verbund Rohr / Rohr)
- TBM Vortrieb und Verfüllung des Ringspalts mit tragfähigem Mörtel (kraftschlüssiger Verbund Tübbing / Rohr)
- Herstellung Mittelpfeiler
- Ausbruch der Hauptröhren
- Herstellung der Innenschale

5 Geologie und Hydrogeologie

5.1 Allgemeines

Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen bildet der geotechnische Bericht [1]. In [1] erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse. In den nachfolgenden Abschnitten werden die für die Untersuchungen maßgebenden Grundlagen angeführt.

5.2 Baugrundmodell

5.2.1 Schichtaufbau

Auf der Grundlage der genannten Informationen [1] und dem übermittelnden Querschnitt durch die Station im Hauptbahnhof Frankfurt (Email vom 23.09.2020, Professor Katzenbach) wird folgendes Baugrundmodell abgeleitet.

Baugrundmodell	Unterkante Schicht [mNN]	Schichtmächtigkeit [m]
Quartär (künstliche Auffüllungen, Sand u. Kiese bzw. Lehme u. Schluffe)	91,0 mNN	~ 10,0 m
Frankfurter Tone (Tertiär, Hydrobenschichten)	54,0 mNN	~ 37,0 m
Frankfurter Kalke (Tertiär, Inflaten und Cerithien)	-[1]	-[1]

Tabelle 1: Zusammenfassung Eckdaten Baugrundmodell

[1] Unterkante Frankfurter Kalke und Schichtmächtigkeit nicht detailliert festgellt. Diese Information ist für die Modellbildung von untergeordneter Bedeutung.

Im numerischen Modell werden horizontale Schichtungen berücksichtigt. Das Quartär (rd. 10 m Mächtigkeit) wird aufgrund mangelnder geotechnischer Kennwerte nicht berücksichtigt. Der Frankfurter Ton wird somit im Modell bis zur Geländeoberkannte modelliert.

5.2.2 Grund- und Schichtwasser

In [1] wird der Bemessungswasserspiegel wie folgt spezifiziert:

Bemessungswasserstand Baurube (bauzeitlich): GW_{Bau} = 94,0 mNN

Bemessungswasserstand Bauwerk (Betrieb Bauwerk): GW_{End} = 95,0 mNN

Für die Untersuchungen der temporären Bemessungssituationen wird somit eine Wasserspiegel auf Höhe 94,0 mNN, für die dauerhaften Bemessungssituationen ein Wasserspiegel auf Höhe 95,0 mNN berücksichtigt.

In [1] wird angeführt, dass die mittlere Gebirgsdurchlässigkeit des Frankfurter Tons mit etwa k_f = 1x10^{-4} m/s bis 2x10^{-4} m/s angenommen werden kann. Die Berechnungen werden somit unter Berücksichtigung drainierter Bodenverhältnisse durchgeführt.

5.3 Geotechnische Kennwerte

Der Querschnitt der Station liegt gemäß Prognose (siehe Tabelle 1) vollständig im Frankfurter Ton. Unter dem Querschnitt werden die Frankfurter Kalke prognostiziert. Nachfolgend werden die für die numerische Untersuchung erforderlichen Kennwerten aus [1] angeführt bzw. die zusätzlich erforderlichen Kennwerten (Steifigkeiten Hardening Soil Model) aus den Angaben in [1] abgeleitet. Zusätzlich werden die abgeleiteten Kennwerte einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, d. h. mit Literaturwerten verglichen.

Des Weiteren wird in den Bodenschichten der Seitendruck mit K_0 = 1-sin(ϕ) abgeleitet. Die Primärspannungen werden in der Software Plaxis [17] mit dem Berechnungsverfahren „K_0 procedure“ ermittelt.

5.3.1 Frankfurter Tone

Wie in Abschnitt 0 beschrieben, werden aufgrund der relativ hohen mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten drainierte Anlaysen durchgeführt.

Die drainierte Scherfestigkeit gemäß [1] ist in nachfolgender Tabelle zusammenfassend aufgelistet:

Reibungswinkel:	20°
Kohäsion:	20 kPa
Wichte des feuchten Bodens:	[1,2]18 - 19 kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	[2]8 - 9 kN/m³

Tabelle 2: Drainierte Scherfestigkeit und Wichte Frankfurter Ton [1]

[1] In der numerischen Untersuchung wird eine Feuchtwichte des Bodens von 19 kN/m³ berücksichtigt.

[2] Beim Auftriebsnachweis werden eine Wichte unter Auftrieb von 8 kN/m³ und eine Feuchtwichte von 18 kN/m³ berücksichtigt.

In [1] gibt es zusätzlich Angaben zum Steifemodul bei Erst- und Wiederbelastung. Die für das Materialmodell Hardening Soil (HS) zusätzlich erforderlichen Steifigkeiten (E_{oed}^{ref}, E_{ur}^{ref}) werden aus diesen Angaben mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate abgeleitet (siehe Abbildung 2). Es wird angenommen, dass die Sekanten Steifigkeit E_{50}^{ref} gleich groß wie der Steifemodul E_{oed}^{ref} ist. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Vorgangsweise werden die in Tabelle 3 (Zeile 2) angeführten Materialkennwerte bestimmt. Diese Kennwerte werden den numerischen Untersuchungen zugrunde gelegt.

Zusätzlich sind in Tabelle 3 (Zeile 3 bis 5) Literaturwerte als Plausibilitätskontrolle angeführt. Es ist ersichtlich, das die abgeleiteten Kennwerte im unteren Bereich der gemäß Literatur vorhandenen Bandbreite liegen.

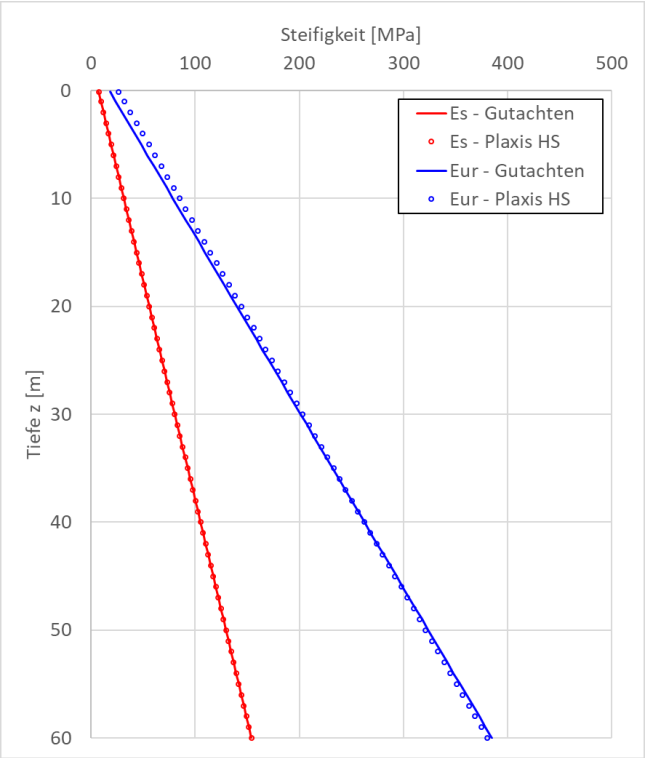


Abbildung 2: Ableitung E_{oed}^{ref} und E_{ur}^{ref} aus Angaben in [1]

Quelle	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	m [-]
Steifigkeiten wurden aus Angaben in [1] abgeleitet.	**20** (Annahme: $E_{50}^{ref} = E_{oed}^{ref}$)	**20**	**73**	**1,0**
[14]	15	15	75	0,9
[15]	50	50	150	0
[16]	35	k.A.	105	1,0

Tabelle 3: Ableitung Steifigkeiten HS Model und Vergleich mit Literaturwerten

5.3.2 Frankfurter Kalke

Die Frankfurter Kalke liegen gemäß Prognose [1] unterhalb des Ausbruchquerschnittes. Da die Frankfurter Kalke durch den Vortrieb hauptsächlich entlastet werden, wird diese Schicht mit dem Materialmodel Mohr-Coulomb unter Berücksichtigung der Steifigkeit für Wiederbelastung modelliert.

Für die Modellierung werden die mittleren Gebirgskennwerte der Frankfurter Kalke gemäß [1] berücksichtigt. Die Scherfestigkeit und der aus der Widerbelastung abgeleitete E-Modul sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Reibungswinkel:	32,5°
Kohäsion:	15 kPa
Wichte des feuchten Bodens:	[2]20 - 22 kN/m³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	10 - 12 kN/m³
E-Modul (Widerbelastung)	350 MPa[1]

Tabelle 4: Scherfestigkeit Frankfurter Kalke [1]

[1] In [1] wird ein Steifemodul für Erstbelastung $E_{s,E}$ von 250 MPa bis 350 MPa angeführt. Unter Berücksichtigung einer Querdehnzahl von $\nu = 0{,}25$ und $E_{s,W} = 1{,}5 \times E_{s,E}$ (gemäß [1]) errechnet sich eine E-Modul von 375 MPa. In den Untersuchungen wird der E-Modul mit 350 MPa berücksichtigt.

[2] In der numerischen Untersuchung wird eine Feuchtwichte des Bodens von 22 kN/m³ be rücksichtigt.

6 Material / Baustoffe

6.1 Rohrvortrieb (Rohr + Füllung)

Gemäß DIN EN 1916 [10] darf die Betondruckfestigkeit von Vortriebsrohren den Wert 40 MPa nicht unterschreiten. Die Betongüte der faserbewehrten Vortriebsrohre wird somit mit C40/50 festgelegt. Die Primär- und Sekundärrohre müssen mit Beton verfüllt werden, hierfür wird eine Betongüte C20/25 angesetzt.

Rohr C40/50:

f_{ck} = 40,0 MPa
E_{cm} = 35 GPa

Füllbeton C20/25:

f_{ck} = 20,0 MPa
E_{cm} = 30 GPa

6.2 Tübbing

Die Tübbinge werden mit einer Betonfestigkeitsklasse C50/60 hergestellt.

Tübbinge C50/60:

f_{ck} = 50,0 MPa
E_{cm} = 37 GPa

6.3 Mittelpfeiler und Innenschale

Der Mittelpfeiler und die Innenschale werden mit der Betonfestigkeitsklasse C35/45 in den Berechnungen berücksichtigt. Als Bewehrung kommt Betonstahl B500 mit einer Stahlstreckgrenze f_{yk} = 500 N/mm² zur Anwendung.

Mittelpfeiler und Innenschale C35/45:

f_{ck} = 35,0 MPa
E_{cm} = 34 GPa

Bewehrung B500:

f_{yk} = 500 MPa

7 Numerische Berechnung

7.1 Einführung

Zur Ermittlung des Systemverhaltens und zur Vorbemessung der einzelnen Bauteile werden numerische Berechnungen mit der Methode der finiten Elemente durchgeführt. Die Berechnungen werden mit der Software Plaxis 2D [17] durchgeführt. Damit ist es möglich, nichtlineare Stoffgesetzte und die Baufortschritte im Modell zu berücksichtigen.

Es werden zweidimensionale Modelle im ebenen Verformungszustand mit 15-knotigen Dreieckselementen für die Berechnung verwendet.

7.2 Modellierungshinweise

7.2.1 Modellierung Baugrund

Für die stoffliche Modellierung der Frankfurter Tone wird ein Hardening Soil Modell verwendet, welches spannungsabhängige Steifigkeiten unterschiedlich für Belastung einerseits sowie Entlastung / Wiederbelastung andererseits abbilden kann. Zudem kann eine isotrope und deviatorische Verfestigung berücksichtigt werden. Die wesentlichen Eingabeparameter sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammenfassend aufgelistet.

Die Frankfurter Kalke liegen gemäß Prognose [1] unterhalb des Ausbruchquerschnittes. Da die Frankfurter Kalke durch den Vortrieb hauptsächlich entlastet werden, wird diese Schicht mit dem Materialmodel Mohr-Coulomb unter Berücksichtigung der Steifigkeit für Wiederbelastung modelliert. Die wesentlichen Eingabeparameter sind in Tabelle 4 zusammenfassend aufgelistet.

Am Übergang von Baugrund zum Rohrvortrieb werden sog. Interface Elemente vorgesehen. Diese erlauben unterschiedliche Bewegungen der Knoten zwischen Baugrund und Rohr. Die Scherfestigkeit (übertragbare Schubspannung) wird über die Parameter c und φ gesteuert, für welche jene des angrenzenden Baugrundes gewählt werden. Parameterstudien haben gezeigt, dass die Wahl dieser Parameter im vorliegenden Fall nicht von großem Einfluss ist.

7.2.2 Modellierung Rohrvortrieb

Der Rohrvortrieb besteht aus Primär- und Sekundärrohren. Der Ringspalt ist während des Vortriebes mit Bentonit gefüllt und wird anschließend mit tragfähigem Mörtel verfüllt. Der Außendurchmesser der Vortriebsrohre beträgt 3,0 m, die Wandstärke 0,3 m (siehe Abbildung 3).

Der Bereich des Rohrgewölbes (Bereich Primär- und Sekundärrohre) wird mit einer 2,0 m starken Ersatzbreite modelliert (siehe Abbildung 4). Der Beton wird mit linear elastischem / ideal plastischem Materialverhalten (Mohr-Coulomb) mit Zugausschaltung modelliert. Hierbei wird eine Betongüte von C20/25 angesetzt. Unter Berücksichtigung einer einaxialen Druckfestigkeit von 20 MPa und unter Annahme eines Reibungswinkels von 40° errechnet sich eine Kohäsion von rd. 4660 kPa.

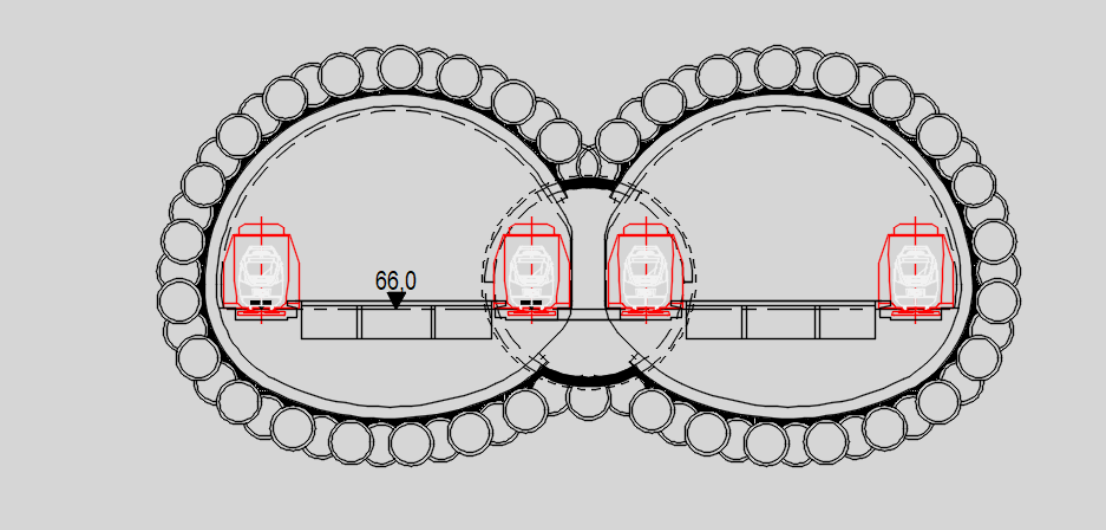


Abbildung 3: Querschnitt Rohrvortrieb

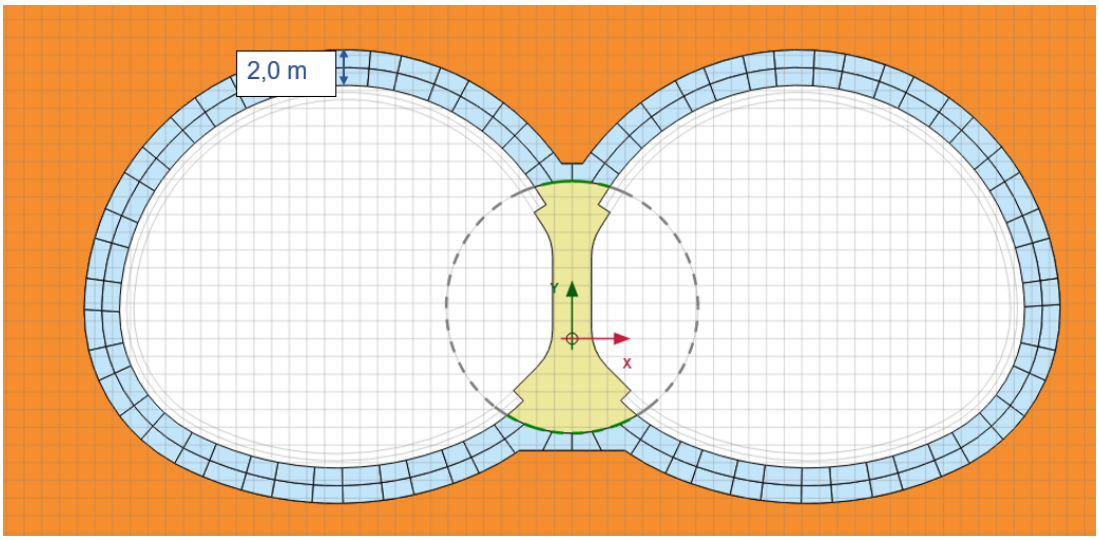


Abbildung 4: Numerisches Modell Rohrvortrieb

Obwohl der Ringspalt zwischen Primär- und Sekundärrohr mit tragfähigem Mörtel verfüllt wird, wird im Fugenbereich von einer Schwächung des Querschnittes ausgegangen. Im Modell wird dies mit einem radial verlaufenden Interface (siehe Abbildung 5 rechts) berücksichtigt. Dem Interface werden die Scherfestigkeiten einer glatten Fuge gemäß DIN EN 1992-1-1 [7] zugewiesen. Die Scherfestigkeiten werden somit mit ϕ = 30° und c = 140 kPa angesetzt.

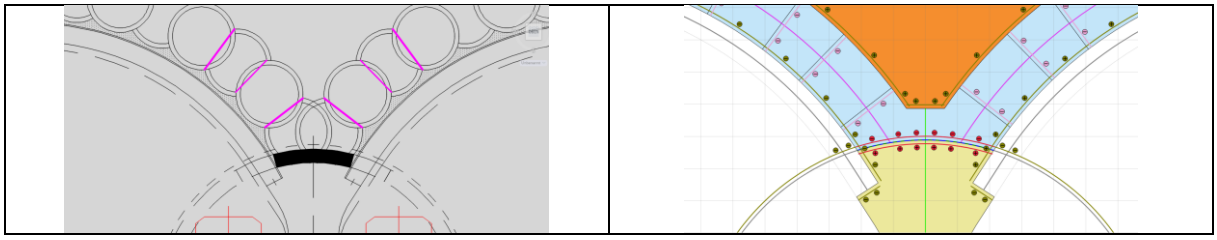


Abbildung 5: Modellierung Fugen zwischen Primär- und Sekundärpfahl

Beim Nachweis der Station im Bauzustand, wo die Tragfähigkeit des Rohrgewölbes maßgebend ist, werden die genannten Scherfestigkeiten für das idealisierte Rohrmaterial und der glatten Fuge zusätzlich durch Teilsicherheiten reduziert. In nachfolgender Tabelle sind die berücksichtigen Scherfestigkeiten zusammenfassend aufgelistet.

	Charakteristischer Wert:		Teilsicherheit:	Bemessungswert:	
	ϕ_k [°]	c_k [kPa]	[-]	ϕ_d [°]	c_d [kPa]
Idealisiertes Rohrmaterial	40	4660	2,38[1]	40	1950
Fuge	30	140	1,35[2]	20	100

Tabelle 5: Scherfestigkeiten idealisiertes Rohrmaterial und Fuge

[1] Beim idealisierten Rohrmaterial müssen die Teilsicherheiten von Einwirkungs- und Widerstandsseite berücksichtigt werden (2,38 = 1,35 x 1,5 / 0,85)

[2] Bei den Fugenkennwerten gemäß DIN EN 1992-1-1 muss zusätzlich nur die Teilsicherheit der Einwirkungen berücksichtigt werden.

7.2.3 Modellierung TBM Vortrieb

Der Tübbingring besteht aus Tübbingen mit einer Stärke von 0,6 m. Die Modellierung des Rings erfolgt mit Balkenelementen (siehe Abbildung 6). Zur Berücksichtigung der Längsfugen wird eine um 50% reduzierte Biegesteifigkeit in Anlehnung an [19] berücksichtigt.

Die Vorentlastung beim TBM Vortrieb wird mit der Volume Loss Methode berücksichtigt. Die Ermittlung des Volume Loss (VL_s) erfolgt gemäß [20] für Erddruck- Hydro oder Druckluftschildvortriebe. Der ermittelte Wert beträgt VL_s = 0,37% (Vertrauensbereich 99%).

Obwohl der Ringspalt zwischen Tübbing und Rohrvortrieb (siehe Abbildung 7 links) mit tragfähigem Mörtel verfüllt wird, tritt in diesem Bereich eine Schwächung (Fuge) des Querschnittes auf. Im numerischen Modell wird dies mit einem Interface (siehe Abbildung 7 rechts) berücksichtigt. Dem Interface werden die in Tabelle 5 aufgelisteten Kennwerte für eine glatte Fuge gemäß DIN EN 1992-1-1 [7] zugewiesen.

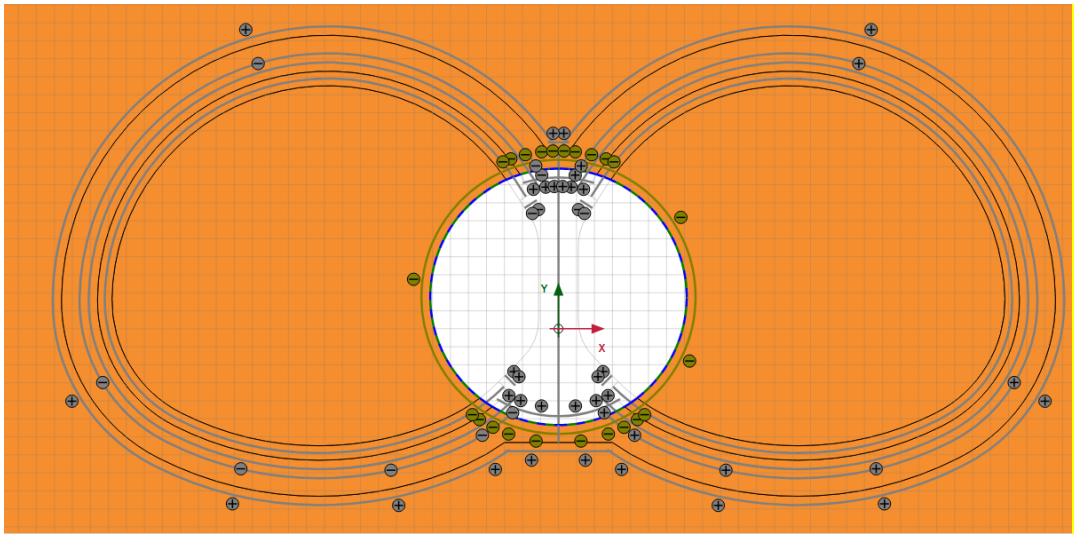


Abbildung 6: Numerisches Modell Tübbingring

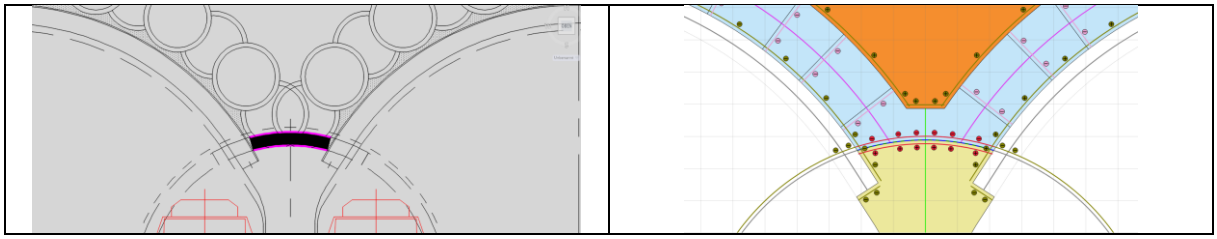


Abbildung 7: Modellierung Fugen zwischen Tübbing und Rohrvortrieb

7.2.4 Modellierung Mittelpfeiler

Der Mittelpfeiler wird mit Beton der Betongüte C35/45 hergestellt. Die Pfeilerstärke beträgt minimal 2,2 m. Der Pfeiler wird mit linear elastischem Materialverhalten modelliert.

7.2.5 Modellierung Innenschale

Die Innenschalenstärke beträgt 0,8 m, die Herstellung erfolgt mit einer Betongüte C35/45. Die Modellierung erfolgt linear elastisch.

Im numerischen Modell wird zwischen Innenschale und Rohrvortrieb ein Interface mit den Scherfestigkeiten einer glatten Fuge (siehe Tabelle 5) angeordnet.

Bei der Ermittlung der Belastung auf die Innenschale wird eine Verrottung des Rohrgewölbes angenommen. Dem verrotteten Material werden gemäß [21] die nachfolgend aufgelisteten Materialkennwerte für ein linear elastisches – ideal plastisches Material zugewiesen:

E-Modul [MPa]	100
c [kPa]	40
ϕ [°]	40

Tabelle 6: Materialkennwerte – verrottetes Rohrgewölbe

Für die Festlegung der Steifigkeit des verrotteten Rohrgewölbes wird eine Parameterstudie durchgeführt. Hierbei werden nachfolgende Steifigkeiten für das verrottete Rohrgewölbe untersucht (Scherfestigkeiten bleiben konstant gemäß Tabelle 6):

- E-Modul = 75 MPa
- E-Modul = 250 MPa

Des Weiteren wird eine Berechnung durchgeführt, in welcher dem verrottetem Material die Materialeigenschaften des Frankfurter Ton (Hardening Soil Model) zugewiesen werden.

Zusätzlich wird eine Grenzbetrachtung untersucht. Dabei wird die Innenschale bei Vollausbruch ohne Vorentlastung und ohne Rohrgewölbe modelliert. Die daraus ermittelten Schnittgrößen in der Innenschale dienen zur Plausibilitätskontrolle.

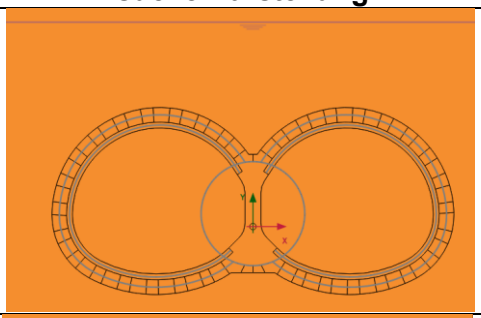
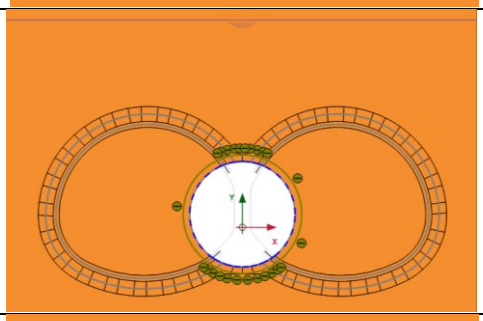
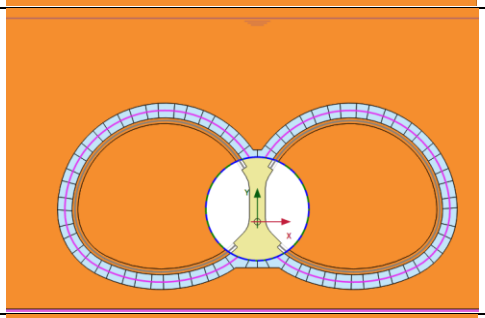
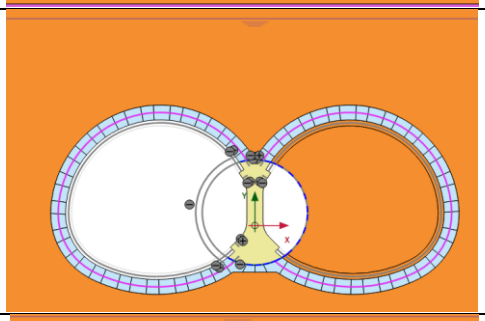
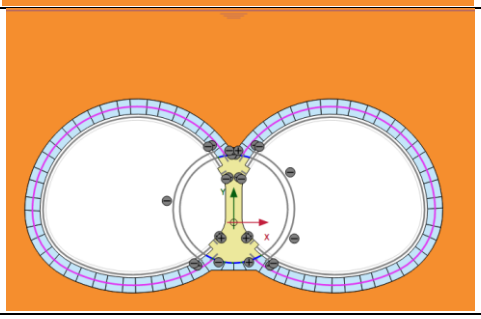
8 Nachweis Station im Bauzustand

8.1 Allgemeines

Beim Nachweis der Station im Bauzustand ist das Rohrgewölbe für die Standsicherheit maßgebend. Bei dieser Untersuchung werden die Scherfestigkeiten der idealisierten Fugen und des idealisierten Rohrmaterials auf Bemessungsniveau gemäß Tabelle 5 berücksichtigt. Somit werden die Teilsicherheiten auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite im Modell berücksichtigt.

Neben der Ausbruchssequenz wird zusätzlich eine Notfallmaßnahme untersucht. Dabei soll im Notfall gegen das eindringende Grundwasser ein Gegendruck (Luftdruck) im Ausbruchquerschnitt aufgebracht werden. Der Innendruck wird mit 355 kPa festgelegt. Dieser Druck entspricht dem Wasserdruck an der tiefsten Stelle im Sohlbereich des Querschnittes.

8.2 Berechnungsschritte Station Bauzustand

Schritt	Beschreibung:	Visuelle Darstellung:	Anhang:
B.1	Primärspannungszustand: • Seitendruckbeiwertes von k_0 = 1 – sin(φ) „K_0-procedure“. • Verschiebungen werden nach diesem Berechnungsschritt zu Null gesetzt.		**1**
B.2	TBM Vortrieb und Vorentlastung (Volume Loss VL_S = 0,37%)		**1**
B.3	Herstellung Mittelpfeiler und Rohrvortrieb (Herstellung Rohrgewölbe)		Wird im Anhang nicht dokumentiert.
B.4	Unsymmetrischer Vollausbruch linke Seite ohne Vorentlastung (Grenzbetrachtung Mittelpfeiler)		**1**
B.5	Vollausbruch der beiden Röhren ohne Vorentlastung		**1**

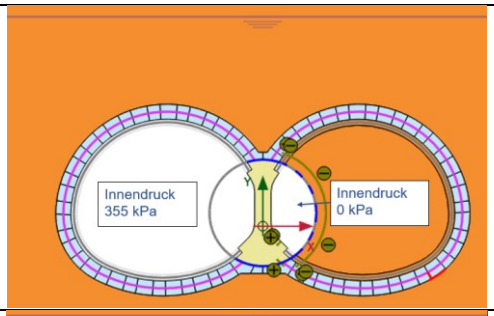
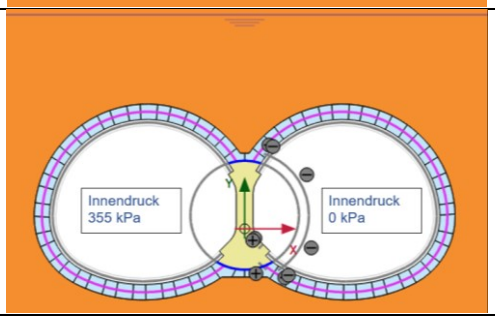
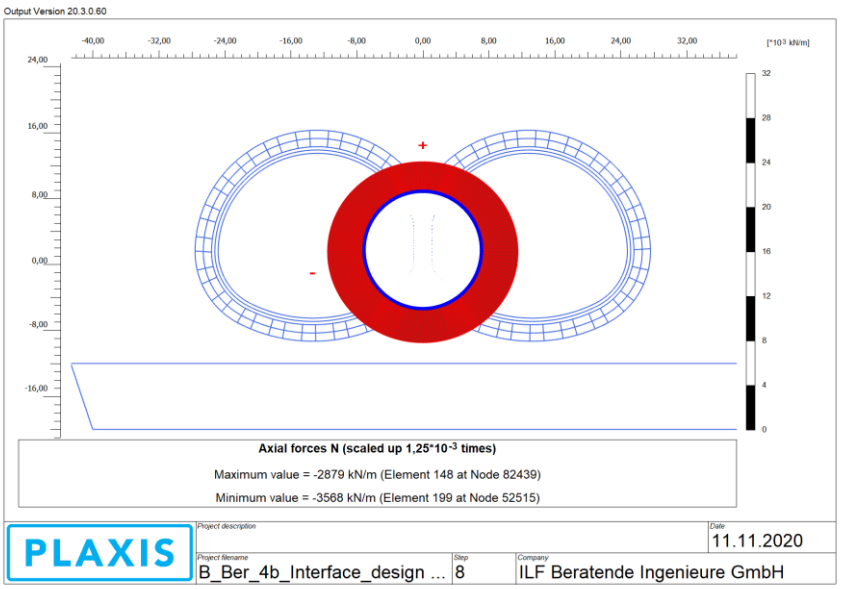
B_N.1	Notfallmaßnahme Innendruck – Situation 1		**2**
B_N.2	Notfallmaßnahme Innendruck – Situation 2		**2**

Tabelle 7: Berechnungsschritte Station Bauzustand und Notfallmaßnahmen

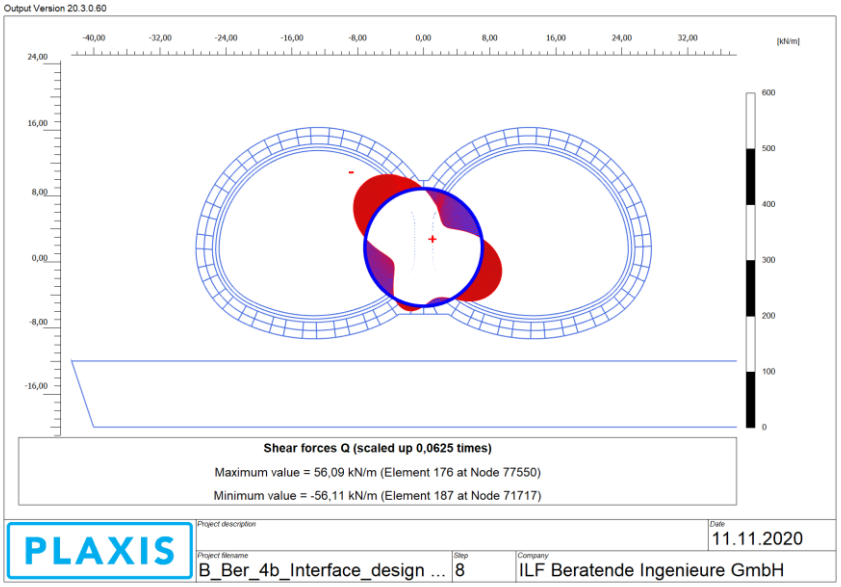
8.3 Vorbemessung Tübbingring

Zur Vorbemessung der Tübbinge werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B.2 herangezogen, diese sind nachfolgend dargestellt:

Normalkraft [kN/m]



Querkraft [kN/m]



Moment [kNm/m]

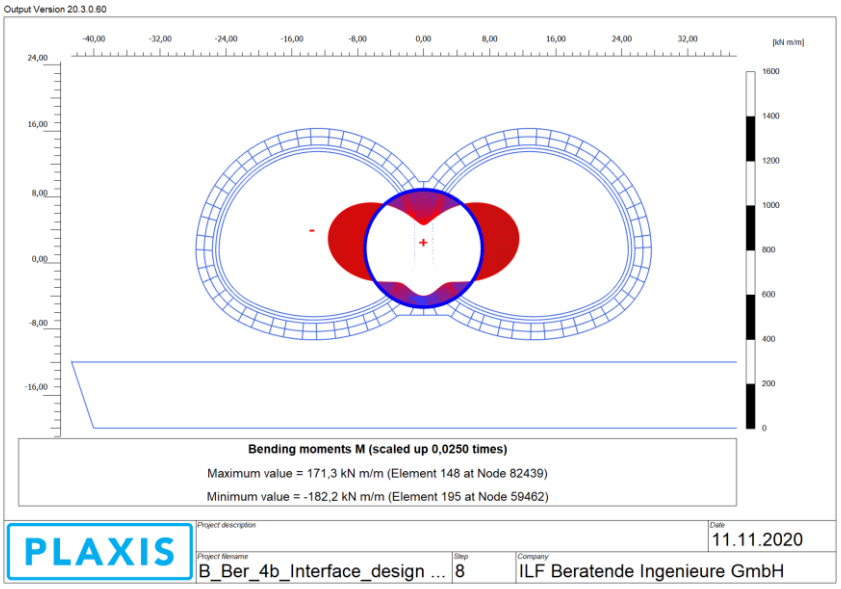


Tabelle 8: Charakteristische Schnittgrößen Tübbingring

Die Vorbemessung des Tübbings erfolgt mit der Software ConDim [18] (siehe Abbildung 8). Die ermittelte Bewehrung liegt im Bereich der Mindestbewehrung.

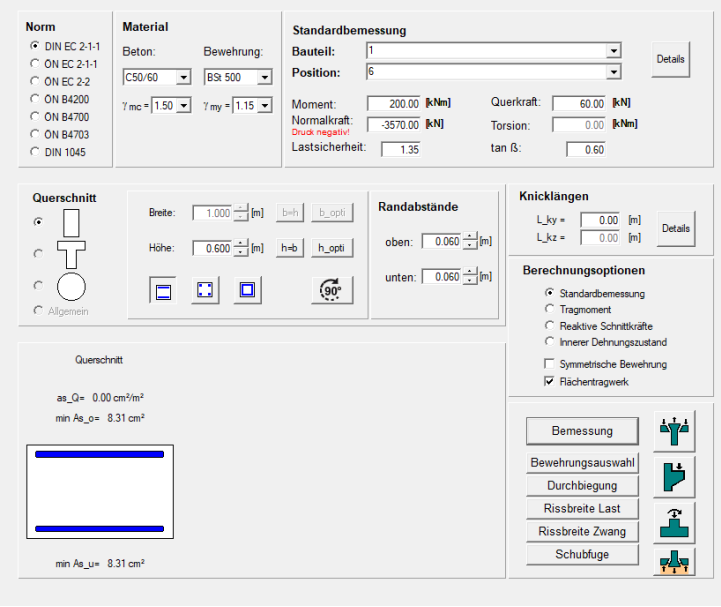


Abbildung 8: Vorbemessung Tübbing GZT

8.4 Vorbemessung Vortriebsrohre auf Vortriebskraft

In Abstimmung mit Herrenknecht lieget die spezifische Mantelreibungen beim Rohrvortrieb im Bereich von 0,5 bis 1,0 kPa. Diese Werte werden auf Baustellen unter Einsatz des volumenkontrollierten Bentonitschmiersystems von Herrenknecht erreicht. Zusätzliche Sicherheit wird über Zwischenpressstationen erreicht. Der übliche Abstand zwischen den Zwischenpressstationen beträgt 90,0 m. Als Rückfallebene wird zur Sicherheit mit wesentlich höheren spezifischen Mantelreibungen bis 15 kPa gerechnet. Bei fachgerechtem Einsatz des Verfahrens kann der gesamte Rohrvortrieb von der Hauptpressstation geschoben werden und der Einsatz der Zwischenpressstationen entfallen.

Die Pressenkräfte werden für den „Normalfall“ mit einer Mantelreibung von 1,0 kPa und 480 m Vortrieblänge und für den „worst case“ mit eine Mantelreibung von 15,0 kPa und einem Abstand zwischen den Zwischenpressstationen von 90,0 m ermittelt.

Die größte aufnehmbare Pressenkraft wird für die Zustände „geschlossene Fuge“ und „klaffende Fuge“ gemäß DIN EN 1916 [10] Anhang B ermittelt. Die detaillierte Vorbemessung kann Anhang 3 entnommen werden. Die zu erwartenden Pressenkräfte können von den Vortriebsrohren aufgenommen werden.

8.5 Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe bei Ausbruch

Im Berechnungsschritt B.4 und B.5 erfolgt der Ausbruch im Schutze des Rohrgewölbes, welches die Lasten über Druckgewölbe abträgt.

In Abbildung 9 ist der Ausnutzungsgrad (Legende 0 – 1) des Rohrgewölbes für den Berechnungsschritt B.4 dargestellt. Abbildung 10 zeigt jene Bereiche des Rohrgewölbes für Berechnungsschritt B.4, welche eine Ausnutzung größer als 80% erreichen.

In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind analog die Ausnutzungsgrade für den Berechnungsschritt B.5 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die Bereiche mit Ausnutzungsgrad größer 80% für die Berechnungsschritte B.4 und B.5 nur lokal auftreten und die Standsicherheit des Rohrgewölbes somit gewährleistet ist.

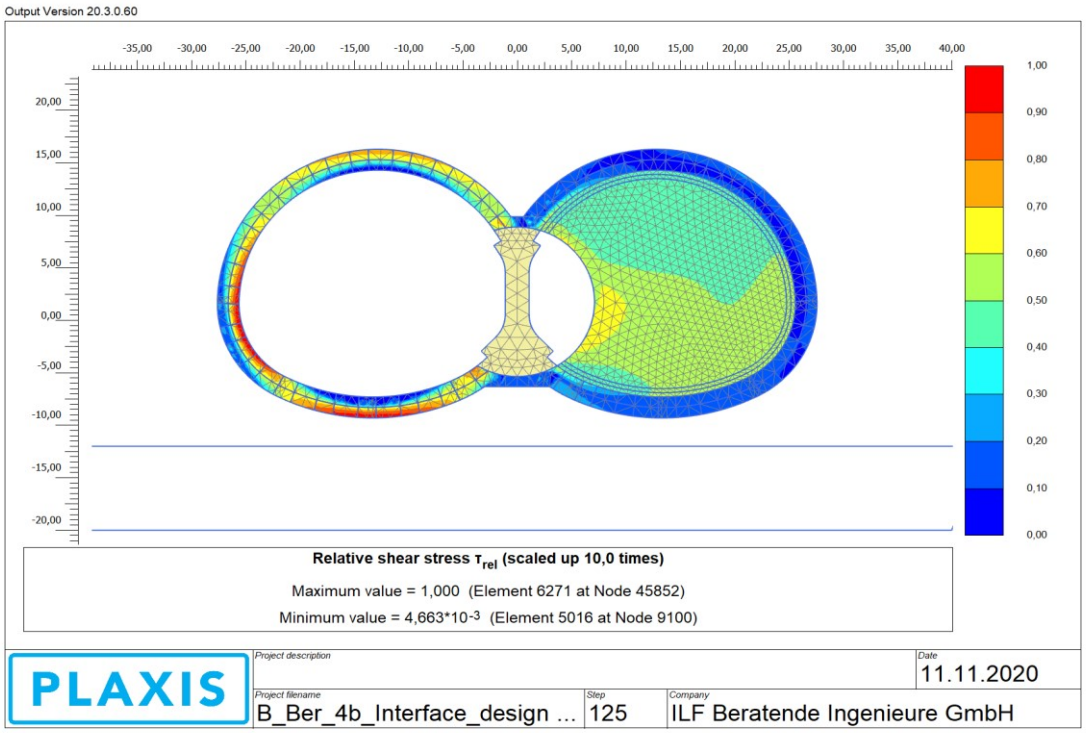


Abbildung 9: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.4 (Legende 0 – 1)

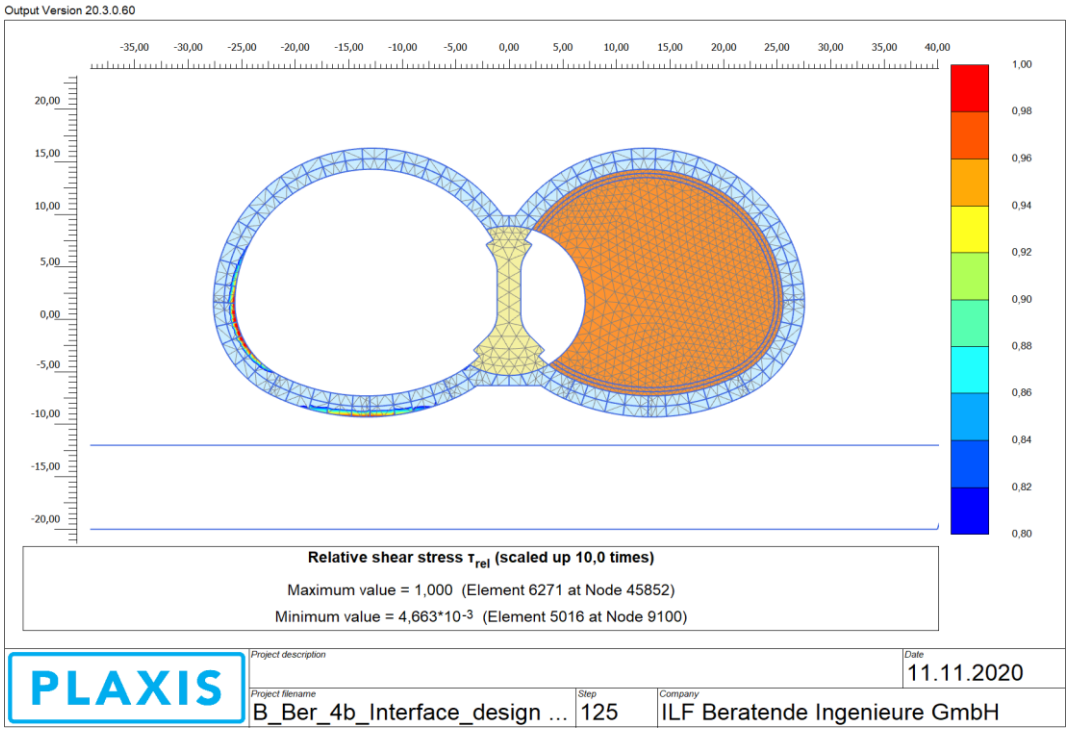


Abbildung 10: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.4 (Legende 0,8 – 1)

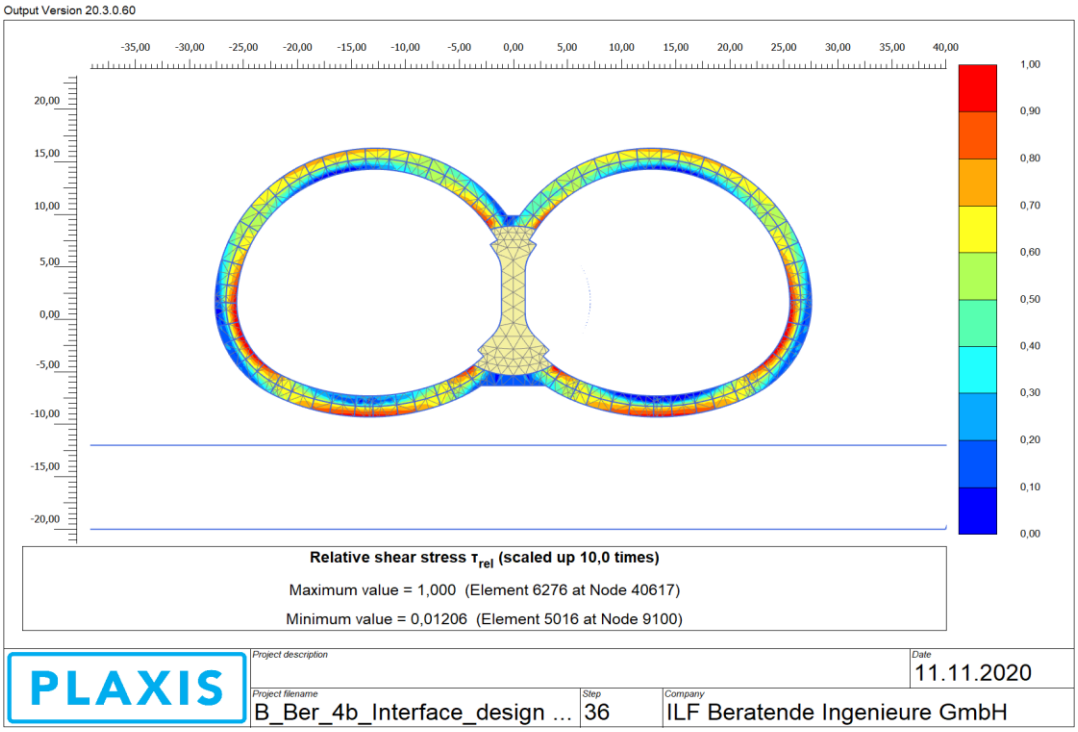


Abbildung 11: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.5 (Legende 0 – 1)

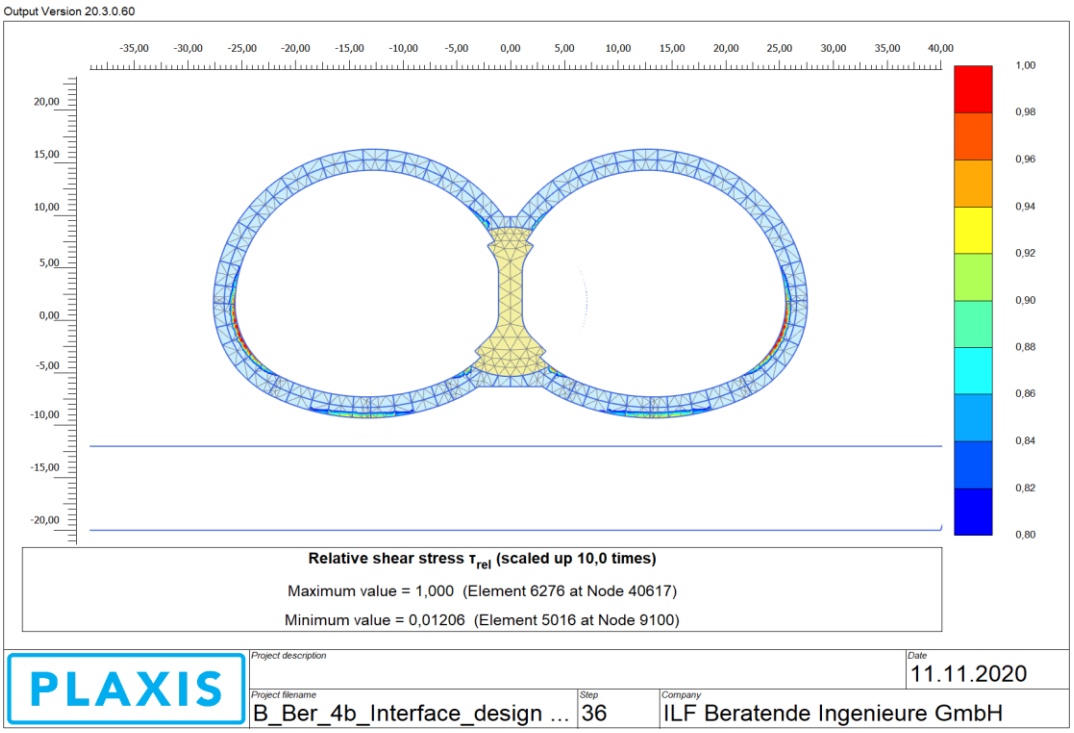


Abbildung 12: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B.5 (Legende 0,8 – 1)

Bei Betrachtung der Versagensbereiche (plastic points, siehe Anhang 1) im Rohrgewölbe wird ersichtlich, dass jene Bereiche mit Zugversagen maximal die Hälfte der idealisierten Querschnittshöhe betragen. Das bedeutet, dass rd. die Hälfte des Querschnittes (rd. 1,0 m) überdrückt wird (Druckspannungen). In Anlehnung an DIN EN 1992-3 [9] wird angenommen, dass die verbleibende Druckzonenhöhe zur Gewährleistung der Dichtigkeit des Rohrgewölbes ausreichend ist. In [9] wird eine minimale Druckzonenhöhe von 0,2 x h = 0,2 x 2,0 m = 0,4 m gefordert.

8.6 Vorbemessung Mittelpfeiler bei Ausbruch

In Berechnungsschritt B.4 wird der Mittelpfeiler in einer Grenzbetrachtung sehr stark unsymmetrisch belastet. Die Normspannungsverteilung im Querschnitt ist in Abbildung 13 dargestellt. Durch Integration der Spannung werden die Schnittgrößen ermittelt:

Nk = -4950 kN/m

Qk = 800 kN/m

Mk = -12785 kNm/m

Die Betonbemessung des Pfeilers erfolgt mit der Software ConDim [18]. Die erforderliche Bewehrung für diese Grenzbetrachtung beträgt im GZT rd. 160 cm²/m.

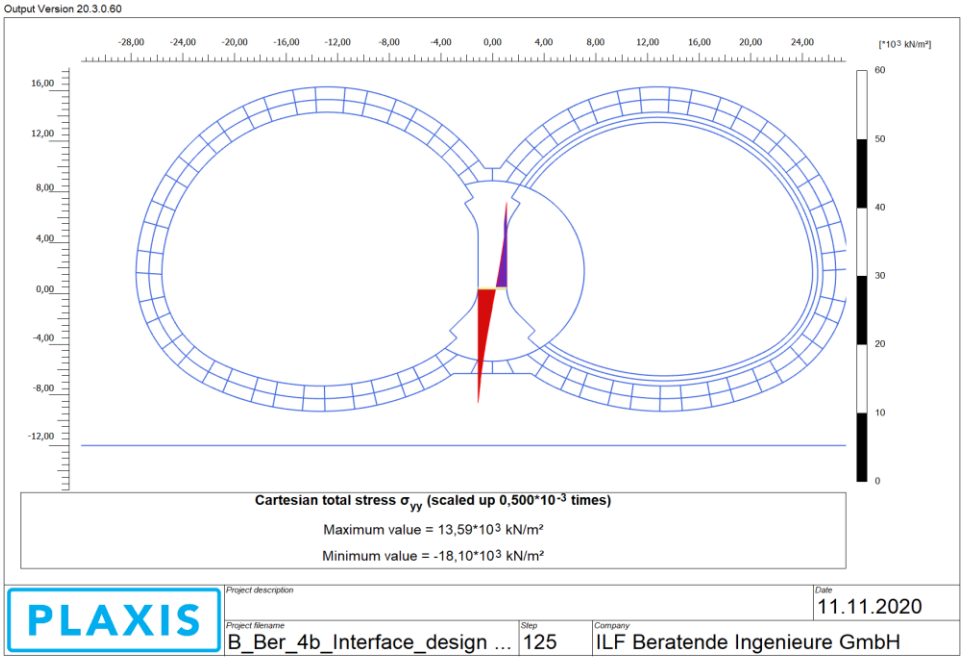


Abbildung 13: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B.4

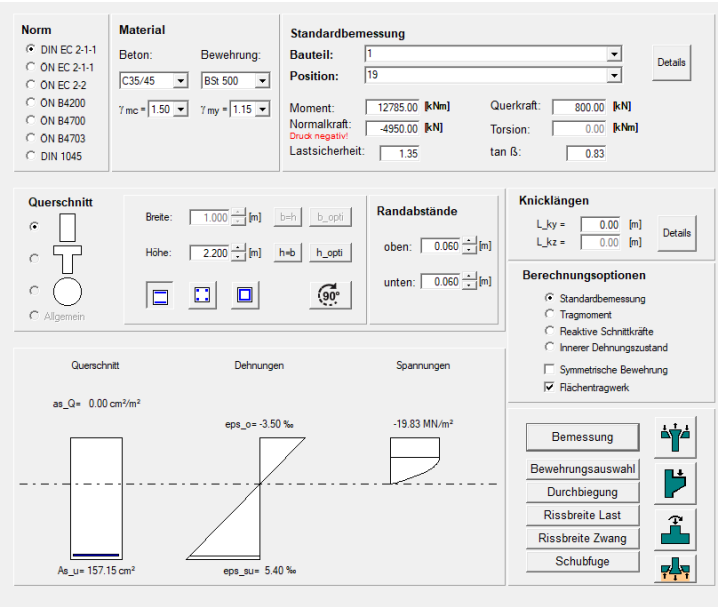


Abbildung 14: Vorbemessung Mittelpfeiler GZT Berechnungsschritt B.4

8.7 Vorbemessung Standsicherheit Rohrgewölbe und Vorbemessung Mittelpfeiler unter Innendruck – Notfallmaßnahme

Wie in Abschnitt 8.1 beschrieben, wird auch die Notfallmaßnahme „Innendruck von 355 kPa“ untersucht. Hierbei werden die beiden Situationen gemäß Tabelle 7 (B_N.1, B_N.2) berücksichtigt

In Abbildung 15 ist der Ausnutzungsgrad (Legende 0 – 1) des Rohrgewölbes für den Berechnungsschritt B_N.1 dargestellt. Abbildung 16 zeigt jene Bereiche des Rohrgewölbes für Berechnungsschritt B_N.1, welche eine Ausnutzung größer als 80% erreichen.

In Abbildung 17 und Abbildung 18Abbildung 12 sind analog die Ausnutzungsgrade für den Berechnungsschritt B_N.2 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die Bereiche mit Ausnutzungsgrad größer 80% für die Berechnungsschritte B_N.1 und B_N.2 nur lokal auftreten und die Standsicherheit des Rohrgewölbes somit gewährleistet ist.

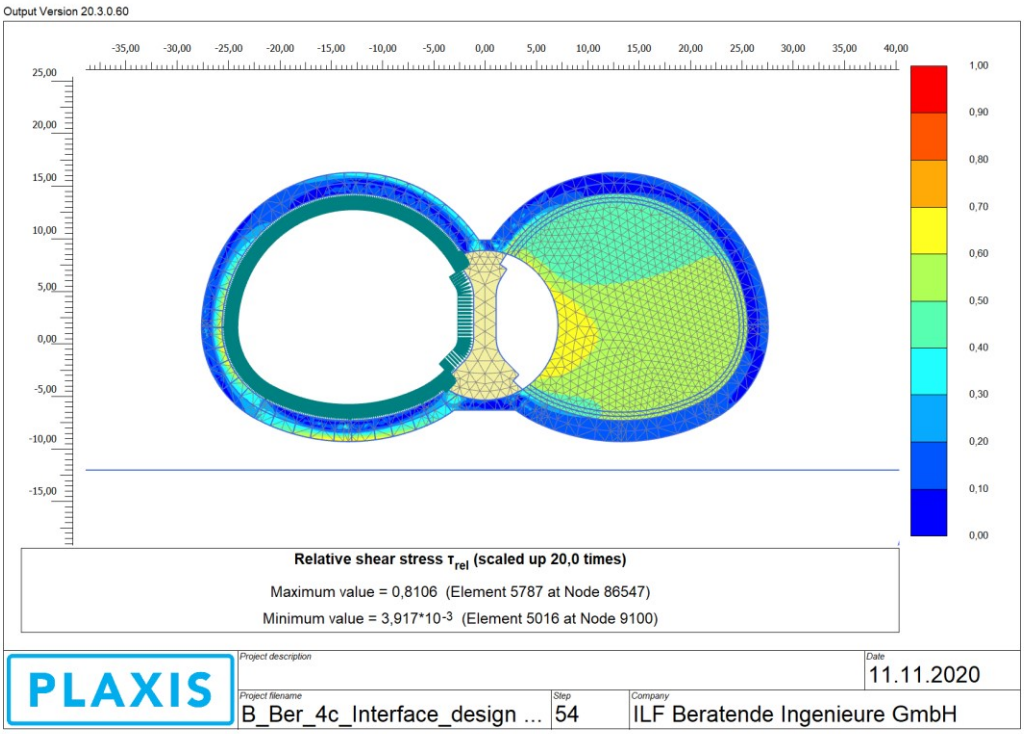


Abbildung 15: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.1 (Legende 0 – 1)

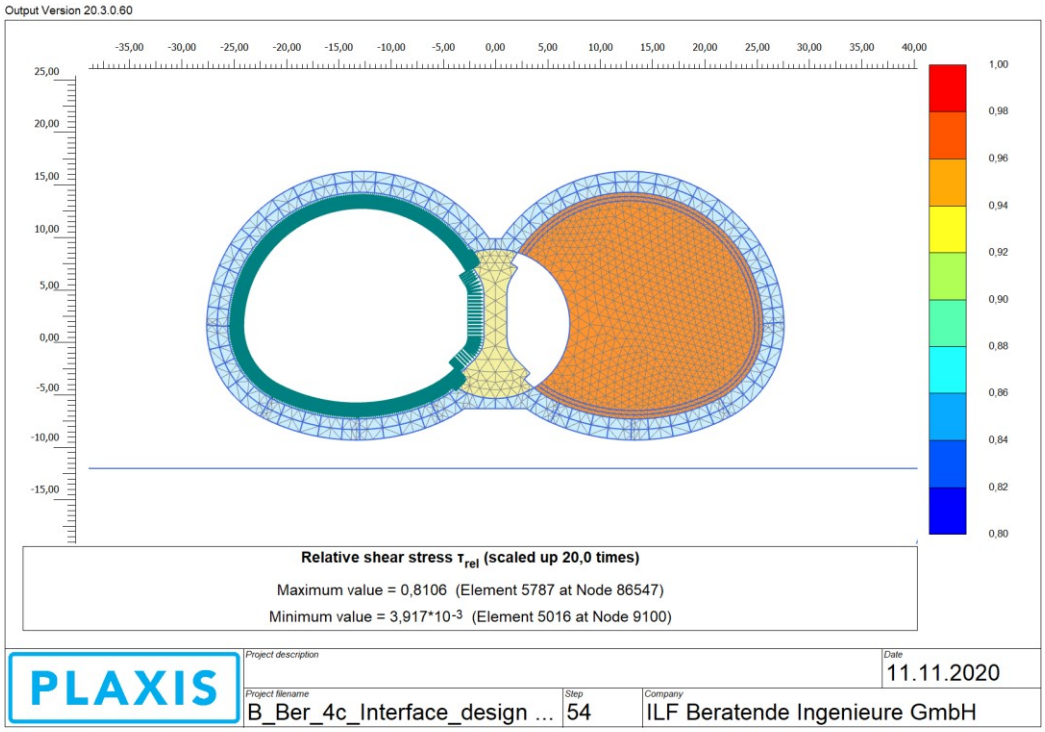


Abbildung 16: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.1 (Legende 0,8 – 1)

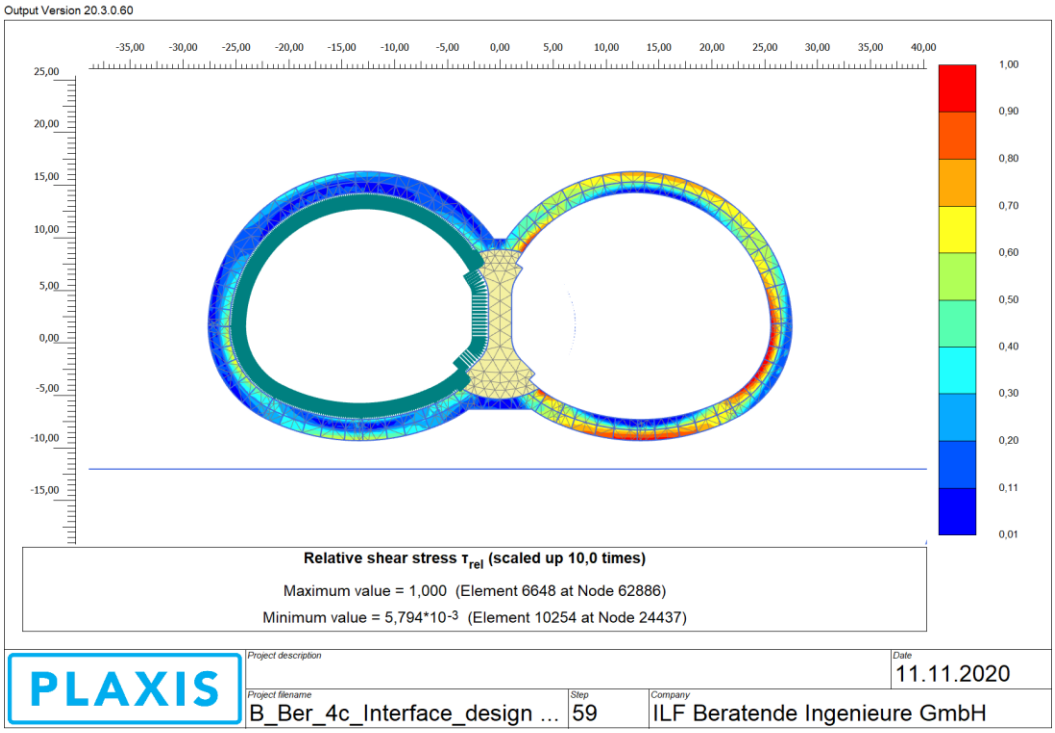


Abbildung 17: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.2 (Legende 0 – 1)

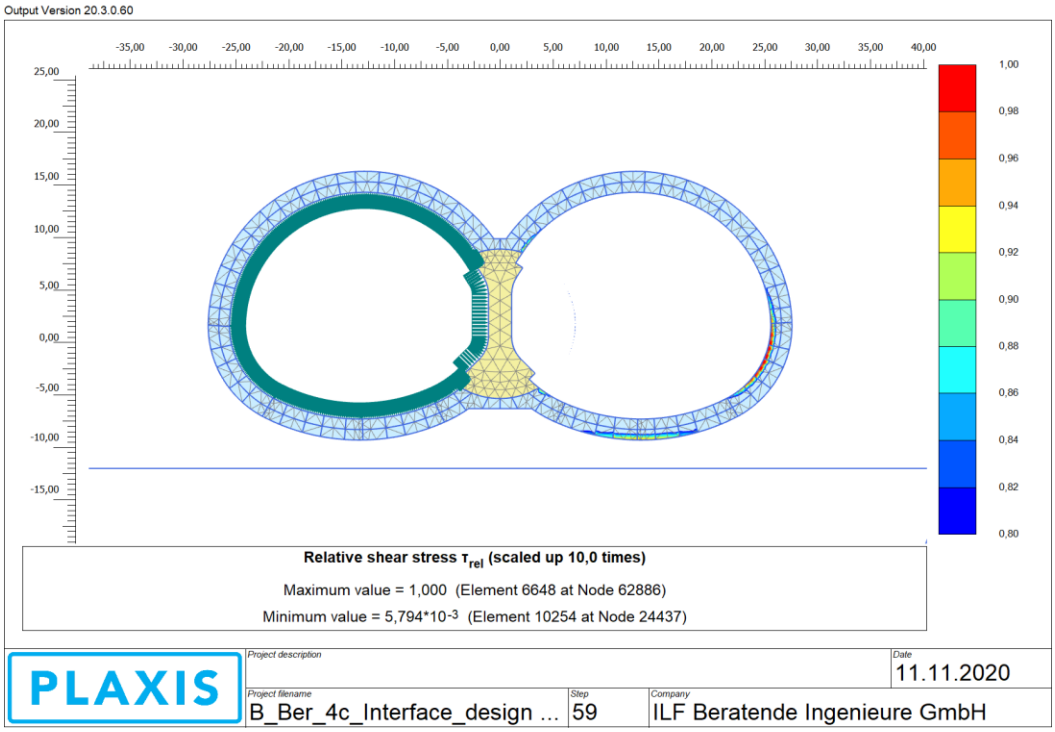


Abbildung 18: Ausnutzung Rohrgewölbe im Berechnungsschritt B_N.2 (Legende 0,8 – 1)

In Berechnungsschritt B_N.1 wird der Mittelpfeiler in einer Grenzbetrachtung sehr stark unsymmetrisch belastet. Die Normspannungsverteilung im Querschnitt ist in Abbildung 19 dargestellt. Durch Integration der Spannung werden die charakteristischen Schnittgrößen ermittelt:

N_k = -2780 kN/m

Q_k = 400 kN/m

M_k = -10250 kNm/m

Die Betonbemessung des Pfeilers erfolgt mit der Software ConDim [18]. Die erforderliche Bewehrung für diese Grenzbetrachtung beträgt im GZT rd. 130 cm²/m.

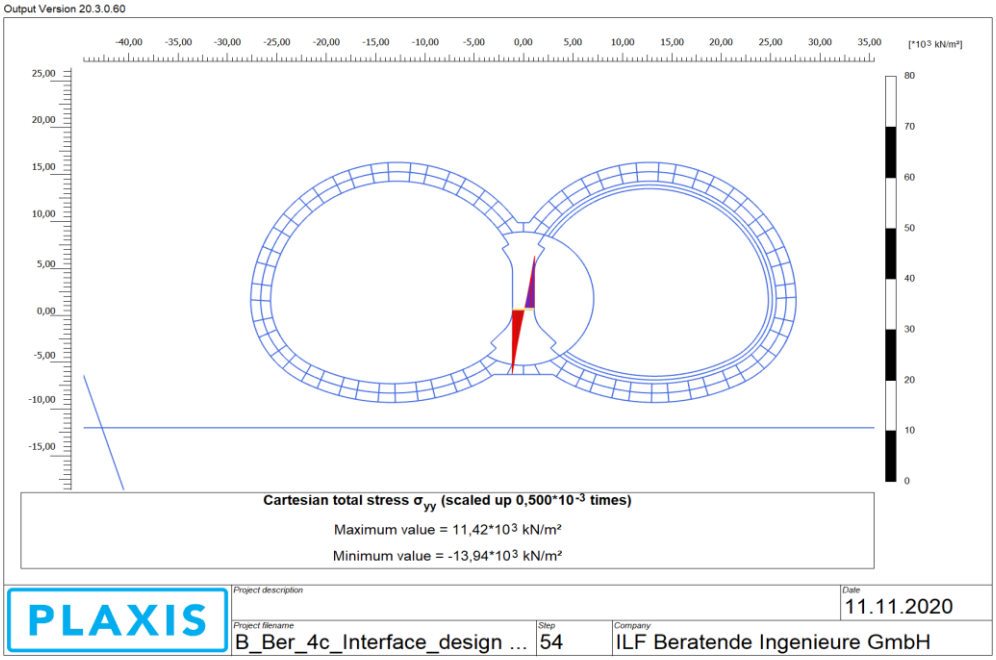


Abbildung 19: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B_N.1

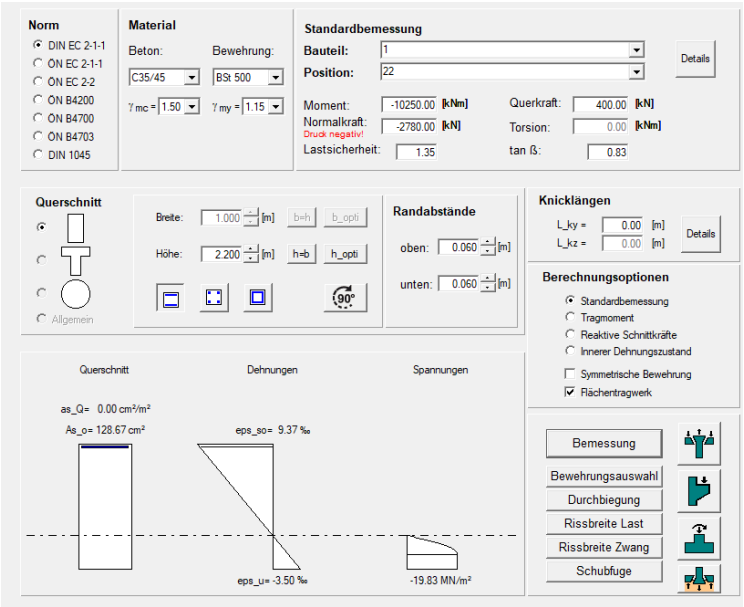


Abbildung 20: Vorbemessung Mittelpfeiler GZT – Notfallmaßnahme B_N.1

8.8 Verschiebungen im Bauzustand

In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die totalen Vertikal- und Horizontalverschiebungen für Berechnungsschritt B.5 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die berechneten Verschiebungen (u_x, u_y) für B.5 an der Geländeoberkante kleiner als 15 mm sind.

Auch die berechneten Verschiebungen (u_x, u_y) an der Geländeroberkante bei den untersuchten Notfallmaßnahmen, Berechnungsschritte B_N.1 und B_N.2, liegen in der genannten Größenordnung von rd. 15 mm.

Im Sohlbereich werden Hebungen (u_y) von rd. 45 mm ermittelt.

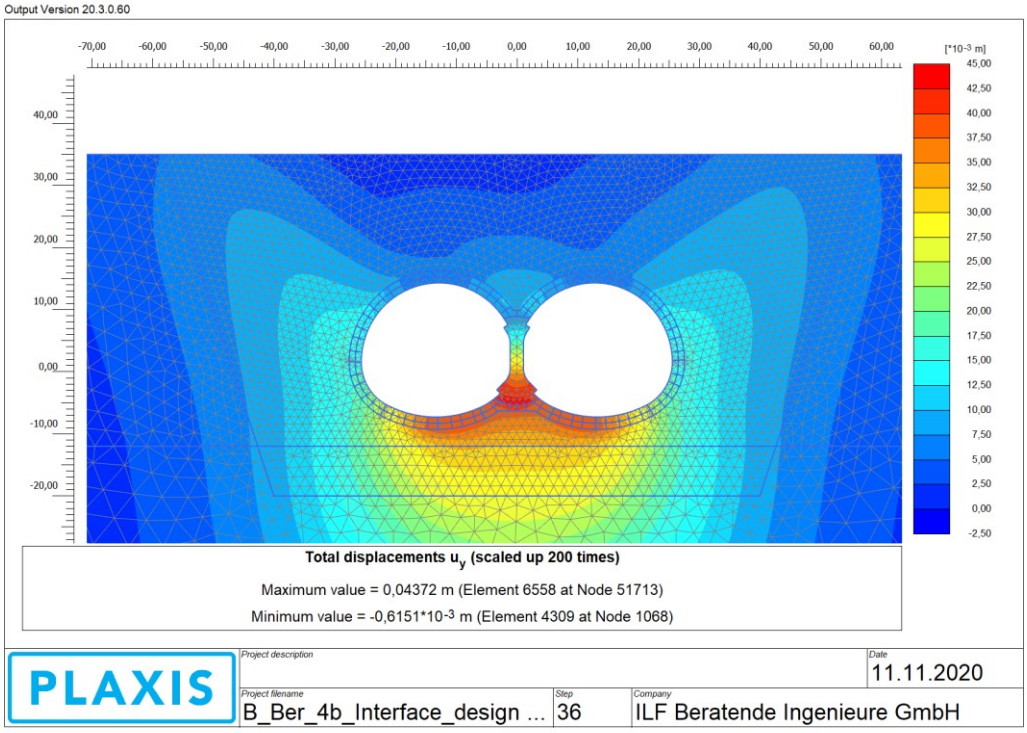


Abbildung 21: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.5

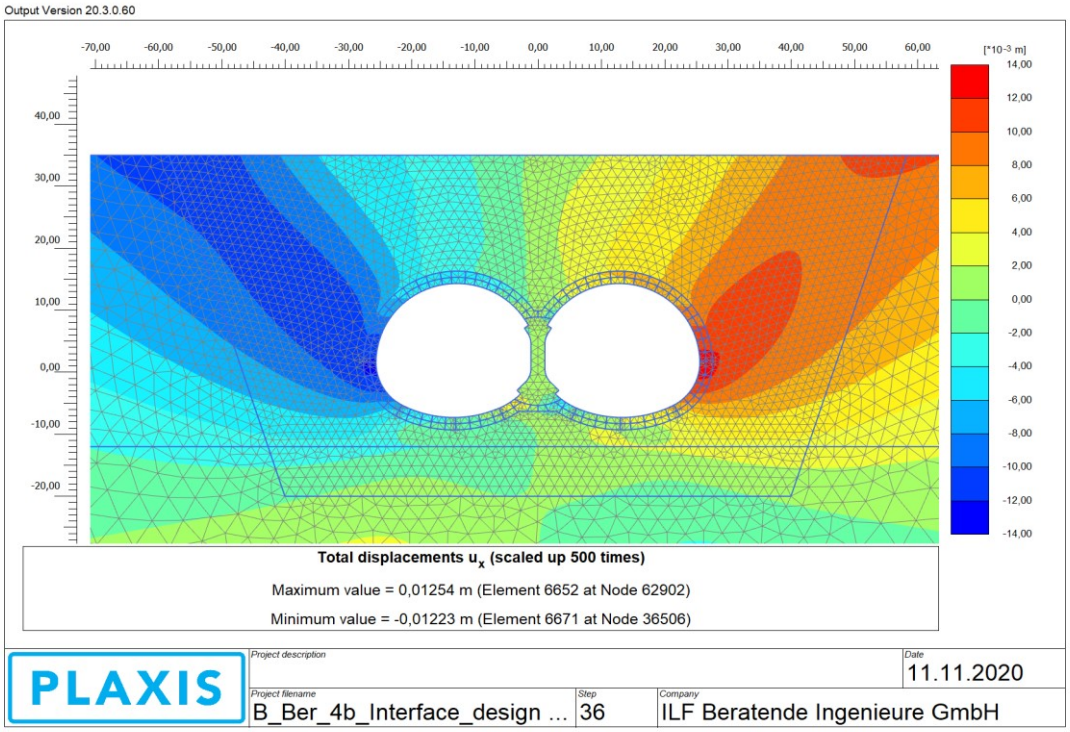


Abbildung 22: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.5

8.9 Auftriebsnachweis

Der Auftriebsnachweis muss sowohl im Bauzustand als auch im Endzustand geführt werden. Da im Bauzustand die Innenschale und die Sohlauffüllung noch nicht hergestellt sind, stellt dies den maßgebenden Bemessungsfall dar.

Beim Auftriebsnachweis gemäß DIN 1054 [4] muss nachfolgende Ungleichung erfüllt werden:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Das heißt, die destabilisierenden ständigen Einwirkungen müssen kleiner als die stabilisierenden ständigen Einwirkungen sein. Dabei werden die Teilsicherheiten für die permanente Bemessungssituation BS-P berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der erforderlichen Querschnittsflächen gemäß Abbildung 23 und der Überlagerungshöhen gemäß Abbildung 24 lautet die Bemessungsgleichung wie folgt:

1340 m² x 10 kN/m³ x 1,05 ≤ 290 m² x 23 kN/m³ x 0,95 + 10,5 m x 57,5 m x 8 kN/m³ x 0,95 + 5,7 m x 57,5 m x 18 kN/m³ x 0,95

14070 kN/m ≤ 16530 kN/m

Der Nachweis ist normgemäß erfüllt.

Bei der Nachweisführung wurden nachfolgenden Punkte berücksichtigt:

- Bemessungswasserstand Bauwerk Endzustand: GW_{END} = 95,0 mNN
- Scherkräfte im Boden werden nicht berücksichtigt (bei bindigen Böden gemäß DIN 1054 [4] nicht erlaubt).
- Bodenzwickel oberhalb Rohrgewölbe werden nicht angesetzt.
- Eigengewicht Pfeiler wird nicht berücksichtigt.
- Die Wichte des unbewehrten Betons wird gemäß DIN 1054 [4] mit 23,0 kN/m³ berücksichtigt.
- Die Ausbruchsfläche wird mit Außenkante Rohrgewölbe definiert (siehe Abbildung 23). Die Stärke des Rohrgewölbes wird jedoch nur mit 2,0 m berücksichtigt.

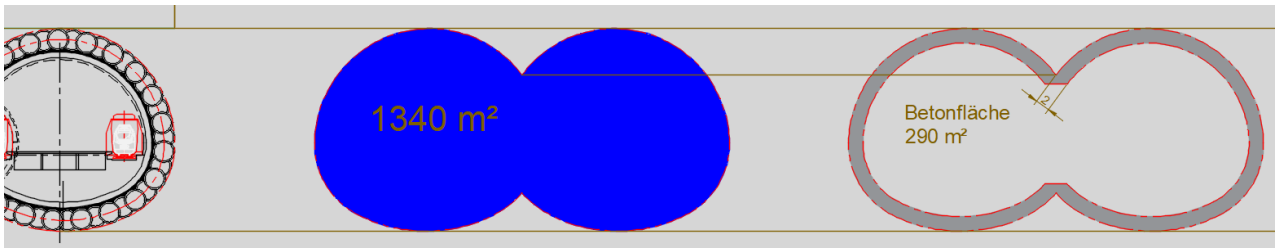


Abbildung 23: Maßgebende Querschnittsfläche für den Auftriebsnachweis

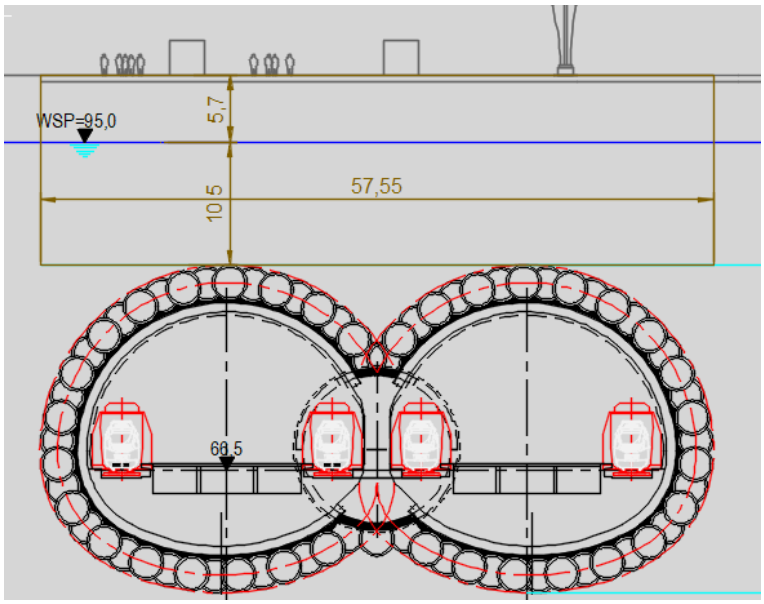


Abbildung 24: Überlagerungshöhen für Auftriebsnachweis

9 Nachweis Station im Endzustand

9.1 Allgemeines

Beim Nachweis der Station im Endzustand ist die Standsicherheit der Innenschale maßgebend.

Gemäß Ril 853 Modul 2001 [13] darf die Außenschale (im vorliegenden Fall das Rohrgewölbe) bei der Bemessung des endgültigen Ausbaus nur berücksichtigt werden, wenn ihre Dauerhaftigkeit gewährleistet ist.

Gemäß [1] ist das Grundwasser im Innenstadtbereich von Frankfurt erfahrungsgemäß aufgrund seines erhöhten Sulfatgehaltes als schwach bis stark betonangreifend einzustufen. Die Betonagressivität ist in der Regel durch entsprechende Betonrezeptur beherrschbar und führt zu keinen außergewöhnlichen Aufwendungen [1].

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie der Stadion wird, wie bereits in Kapitel 7.2.5 beschrieben, auf der sicheren Seite liegend eine Verrottung des Rohrgewölbes angenommen.

Um numerische Schwierigkeiten bei der Verrottung des Rohrmaterials zu vermeiden, werden bei diesen Untersuchungen die radialen Fugen zwischen den Rohren nicht berücksichtigt. Für das idealisierte Rohrmaterial werden die charakteristischen Scherfestigkeiten gemäß Tabelle 5 berücksichtigt.

Die ermittelten charakteristischen Schnittgrößen in der Innenschale und im Mittelpfeiler werden bei der Betonbemessung mit den Teilsicherheiten der Einwirkungen (BS-P) multipliziert.

9.2 Berechnungsschritte

Zur Ermittlung der Einwirkungen auf die Innenschale werden die in Tabelle 9 dargestellten Berechnungsschritte untersucht.

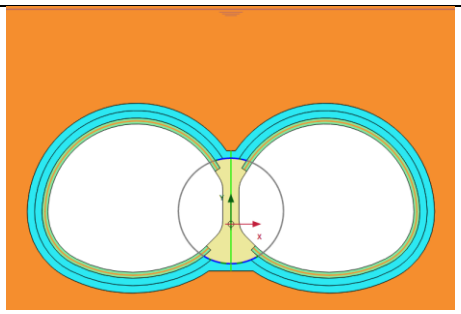
Schritt	Beschreibung:	Visuelle Darstellung:	Anhang:
B.1 bis B.5	Berechnungsschritte B.1 bis B.5 analog Tabelle 7	(siehe Tabelle 7)	In Anhang 4 wird der Primärzustand und Berechnungsschritt B.5 dokumentiert.
B.6	Einbau Innenschale und Verrottung des Rohrgewölbes • Auswirkung der unterschiedlichen Steifigkeiten des verrotteten Rohrmaterials wird in einer Parameterstudie untersucht (siehe Abschnitt 7.2.5) • Als Grenzwertbetrachtung wird kein Füllbeton berücksichtigt.		**4**

Tabelle 9: Berechnungsschritte Station Endzustand

Zusätzlich wird, wie in Abschnitt 7.2.5 beschrieben, eine Grenzbetrachtung als Plausibilitätskontrolle vorgenommen. Dabei wird die Innenschale bei Vollausbruch ohne Vorentlastung und ohne Rohrgewölbe modelliert. Die daraus ermittelten Schnittgrößen in der Innenschale stellen obere Grenzwerte der Einwirkungen dar. Die einzelnen Berechnungsschritte sind in Tabelle 10 dargestellt.

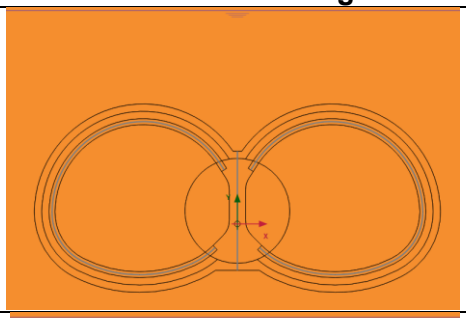
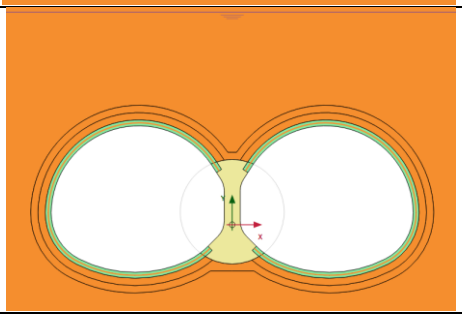
Schritt	Beschreibung:	Visuelle Darstellung:	Anhang:
B_G.1	Primärspannungszustand: • Seitendruckbeiwertes von k_0 = 1 – sin(φ) „K0-procedure“		**5**
B_G.2	Vollausbruch ohne Vorentlastung (Rohrgewölbe wird vernachlässigt)		**5**

Tabelle 10: Berechnungsschritte Station – Grenzbetrachtung Innenschale

9.3 Vorbemessung Innenschale bei verrottetem Rohrgewölbe

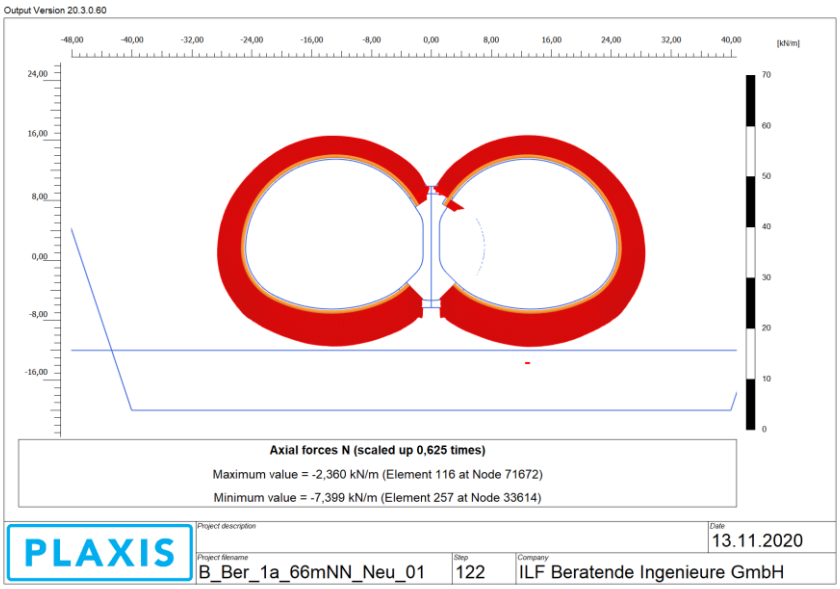
9.3.1 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=100 MPa

E-Modul [MPa]	100
c [kPa]	40
ϕ [°]	40

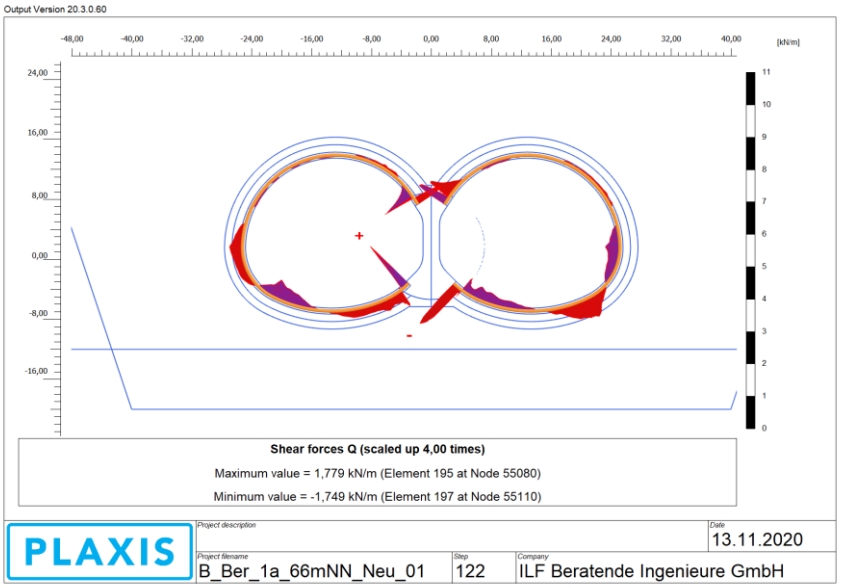
Tabelle 11: Materialkennwerte – Verrottetes Rohrgewölbe

Zur Vorbemessung der Innenschale werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B.6 unter Berücksichtigung der Materialkennwerte für das verrottete Rohrgewölbe gemäß Tabelle 11 herangezogen, diese sind nachfolgend dargestellt:

Normalkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Querkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Moment [kNm/m] – Anzeigewert x 1000

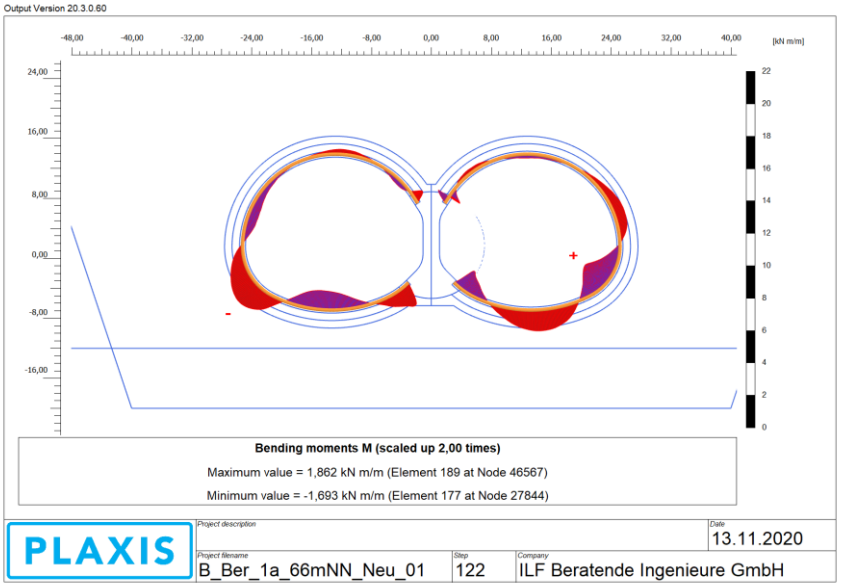


Tabelle 12: Charakteristische Schnittgrößen Innenschale – Verrottung E=100 MPa

Die Vorbemessung der Innenschale erfolgt mit der Software ConDim [18] für ausgewählte Schnittgrößenpaare. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammenfassend aufgelistet.

N	Q	M	A_s	$A_{s,Riss}$[1]	$A_{s,Quer.}$
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm²/m]	[cm²/m]	[cm²/m²]
-6000	300	**1862**	37	**37**	0
-4300	**1780**	1470	31	35	**69**
-7400	100	1420	22	0	0

Tabelle 13: Charakteristische Schnittgrößen und Vorbemessung – Verrottung E=100 MPa

[1] es wird eine maximale Rissbreite von 0,15 mm berücksichtigt

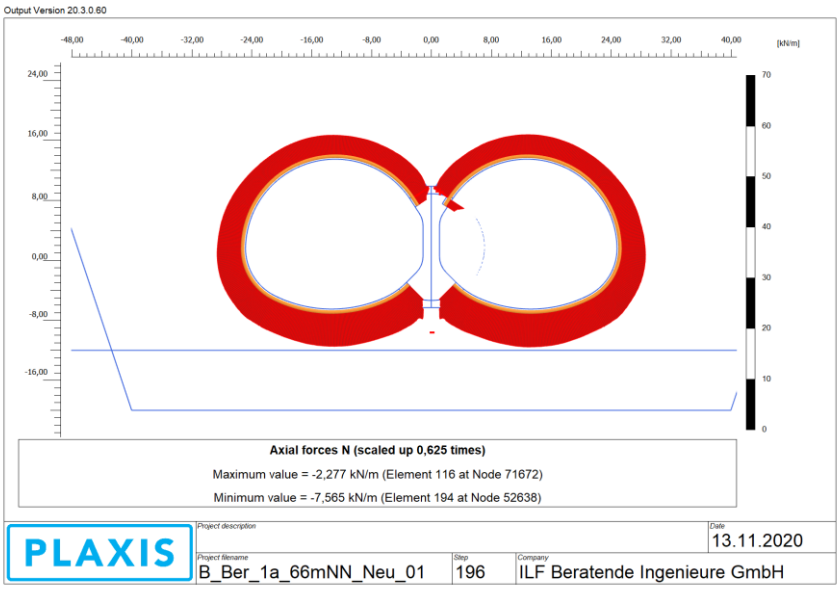
9.3.2 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=75 MPa

E-Modul [MPa]	75
c [kPa]	40
ϕ [°]	40

Tabelle 14: Materialkennwerte – Verrottetes Rohrgewölbe

Zur Vorbemessung der Innenschale werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B.6 unter Berücksichtigung der Materialkennwerte für das verrottete Rohrgewölbe gemäß Tabelle 14 herangezogen, diese sind nachfolgend dargestellt:

Normalkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Querkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000

Moment [kNm/m] – Anzeigewert x 1000

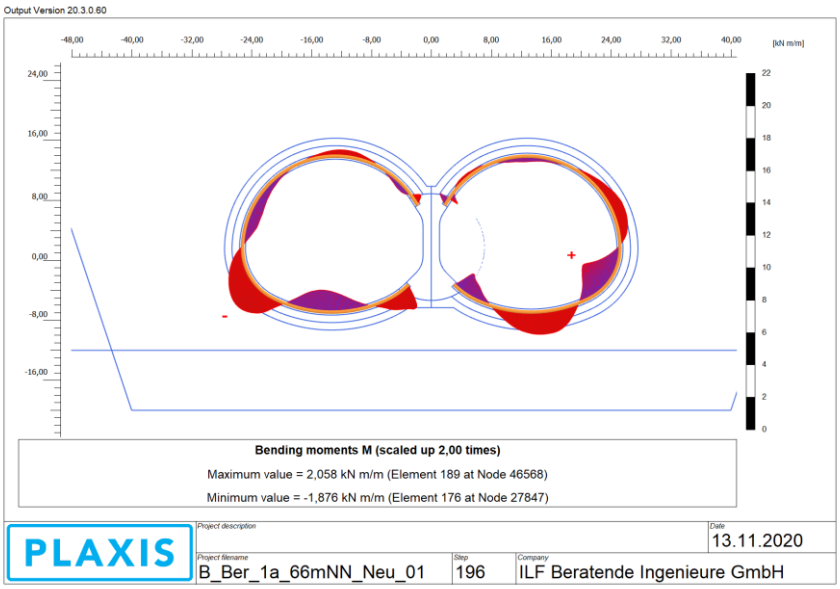


Tabelle 15: Charakteristische Schnittgrößen Innenschale – Verrottung E=75 MPa

Die Vorbemessung der Innenschale erfolgt mit der Software ConDim [18] für ausgewählte Schnittgrößenpaare. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zusammenfassend aufgelistet.

N	Q	M	A_s	$A_{s,Riss}$[1]	$A_{s,Quer.}$
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm²/m]	[cm²/m]	[cm²/m²]
-6450	350	**2060**	50	**50**	0
-5000	**1835**	1410	15	25	**71**
-7565	300	1520	30	5	0

Tabelle 16: Charakteristische Schnittgrößen und Vorbemessung – Verrottung E=75 MPa

[1] es wird eine maximale Rissbreite von 0,15 mm berücksichtigt

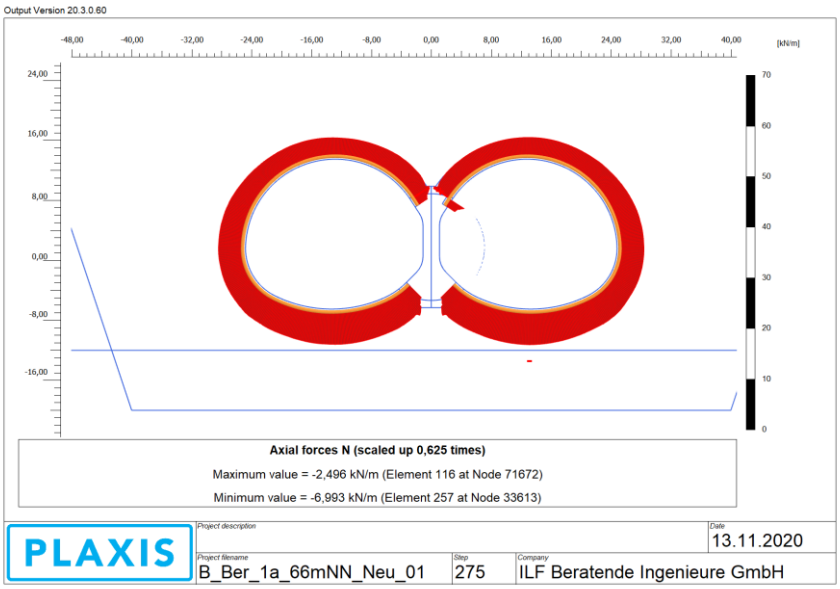
9.3.3 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe E=250 MPa

E-Modul [MPa]	250
c [kPa]	40
ϕ [°]	40

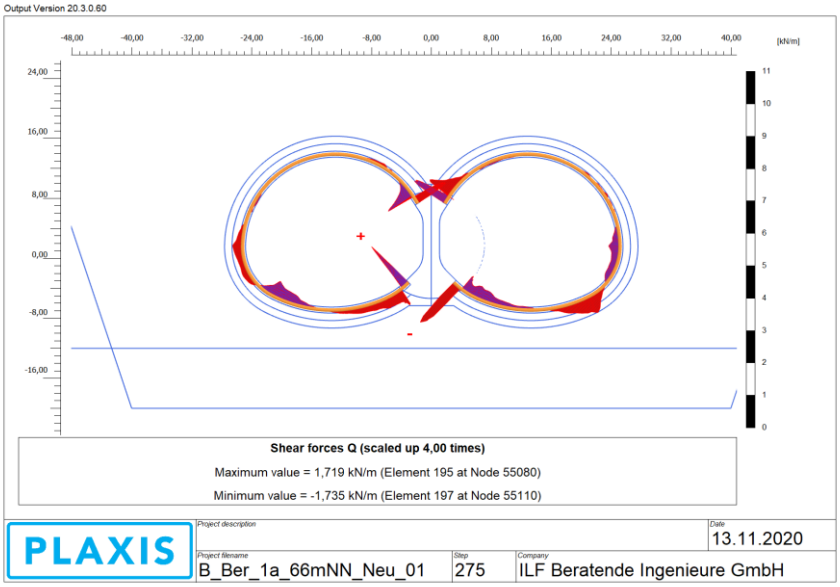
Tabelle 17: Materialkennwerte – Verrottetes Rohrgewölbe

Zur Vorbemessung der Innenschale werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B.6 unter Berücksichtigung der Materialkennwerte für das verrottete Rohrgewölbe gemäß Tabelle 17 herangezogen, diese sind nachfolgend dargestellt:

Normalkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Querkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Moment [kNm/m] – Anzeigewert x 1000

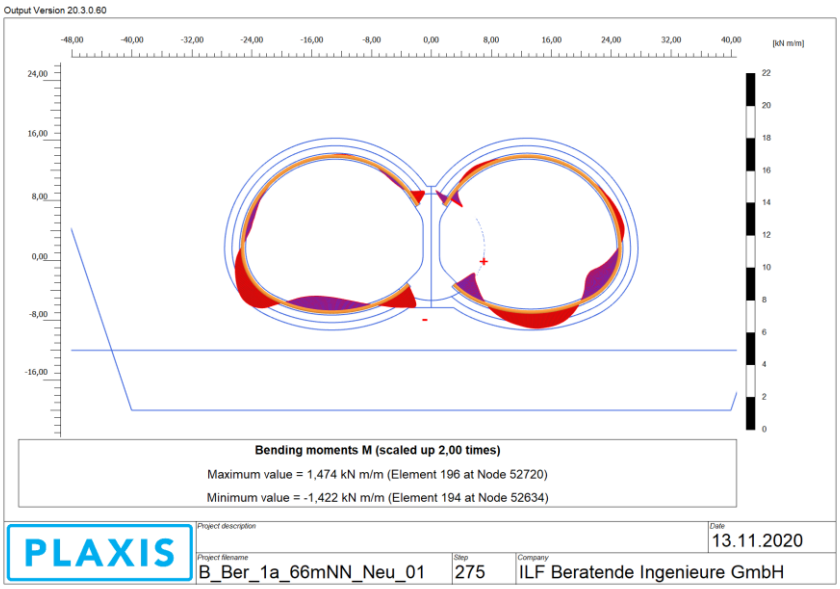


Tabelle 18: Charakteristische Schnittgrößen Innenschale – Verrottung E=250 MPa

Die Vorbemessung der Innenschale erfolgt mit der Software ConDim [18] für ausgewählte Schnittgrößenpaare. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammenfassend aufgelistet.

N	Q	M	A_s	$A_{s,Riss}$[1]	$A_{s,Quer.}$
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm²/m]	[cm²/m]	[cm²/m²]
-5950	350	1400	15	15	0
-4000	**1735**	**1475**	35	**40**	**67**
-6995	250	1100	20	5	0

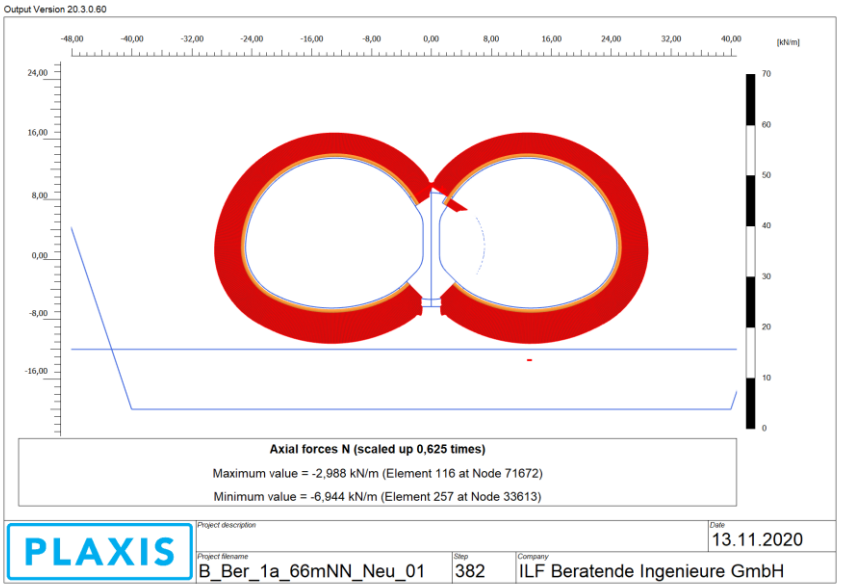
Tabelle 19: Charakteristische Schnittgrößen und Vorbemessung – Verrottung E=250 MPa

[1] es wird eine maximale Rissbreite von 0,15 mm berücksichtigt

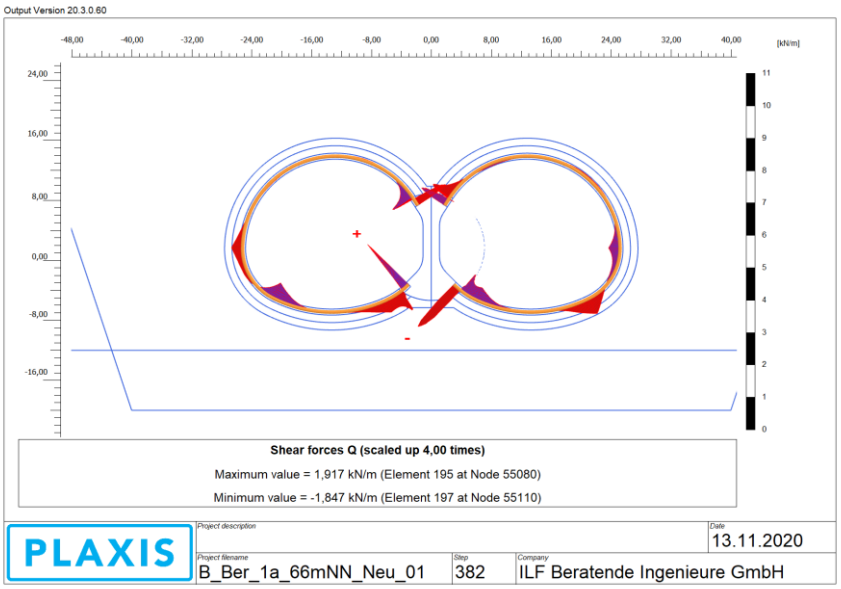
9.3.4 Berechnungsergebnisse Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe zu Frankfurter Ton

Zur Vorbemessung der Innenschale werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B.6 herangezogen. Dem verrotteten Rohrgewölbe werden die Materialkennwerte des Frankfurter Ton (Hardening Soil Model) zugewiesen.

Normalkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Querkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Moment [kNm/m] – Anzeigewert x 1000

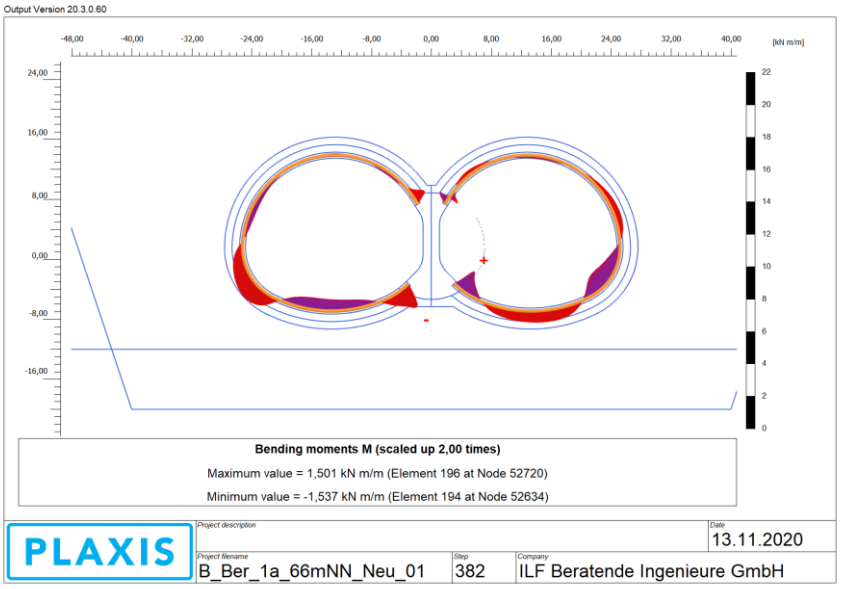


Tabelle 20: Charakteristische Schnittgrößen Innenschale – Verrottung zu Frankfurter Ton

Die Vorbemessung der Innenschale erfolgt mit der Software ConDim [18] für ausgewählte Schnittgrößenpaare. Die Ergebnisse sind in Tabelle 21 zusammenfassend aufgelistet.

N	Q	M	A_s	$A_{s,Riss}$[1]	$A_{s,Quer.}$
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm²/m]	[cm²/m]	[cm²/m²]
-6300	350	1200	15	5	0
-4200	**1920**	**1540**	40	**45**	**74**
-6945	100	800	20	5	0

Tabelle 21: Charakteristische Schnittgrößen und Vorbemessung – Verrottung zu Frankfurter Ton

[1] es wird eine maximale Rissbreite von 0,15 mm berücksichtigt

9.3.5 Zusammenfassung Bewehrungsmengen Innenschale

Nachfolgend werden die im Rahmen der Vorbemessung ermittelten Bewehrungsmengen zusammenfassend aufgelistet:

Steifigkeit verrottetes Rohrgewölbe:	**$A_{s,max}$ = max(A_s, $A_{s,Riss}$) [cm²/m]**	**$A_{s,Quer.max}$ [cm²/m²]**
E= 100 MPa	37	69
E= 75 MPa	**50**	71
E= 250 MPa	40	67
Material verrottetes Rohrgewölbe = Frankfurter Ton	45	**74**

Tabelle 22: Zusammenfassung Bewehrungsmengen Innenschale - Vorbemessung

Die maximale **Ringbewehrung** der Innenschale liegt bei **rd. 50 cm²/m**. Die **Querkraftbewehrung im Anschlussbereich** zum Mittelpfeiler beträgt **rd. 74 cm²/m²**. Aufgrund der **sehr hohen erforderlichen Querkraftbewehrung sollte in diesem Anschlussbereich** in einer späteren Projektphase eine **aufgeweitete Innenschale (Voute auf rd. 1,2 m Querschnittshöhe)** vorgesehen werden. **Außerhalb der Anschlussbereiche sind max. Querkraftzulagen** von rd. **30 cm²/m²** erforderlich.

9.4 Vorbemessung Mittelpfeiler bei verrottetem Rohrgewölbe

Nachfolgend werden für Berechnungsschritt B.6 die charakteristischen Schrittgrößen (Normalkraft, Moment) in einem maßgebenden Schnitt (siehe Abbildung 25) für die Berechnungen der Parameterstudie der Verrottung aufgelistet und die erforderliche Bewehrung (siehe Tabelle 23) im Rahmen der Vorbemessung ermittelt. Die Querkräfte sind in diesem Schnitt sehr gering und werden daher nicht betrachetet.

Steifigkeit Verrottung:	N_k [kN/m]	M_k [kNm/m]	A_s [cm²/m]
E=100 MPa	12780	925	**30**
E=75 MPa	12850	960	
E=250MPa	12690	860	
Verrottetes Material = Frankfurter Ton	12430	430	

Tabelle 23: Zusammenfassung Bewehrungsmengen Mittelpfeiler B.6 - Vorbemessung

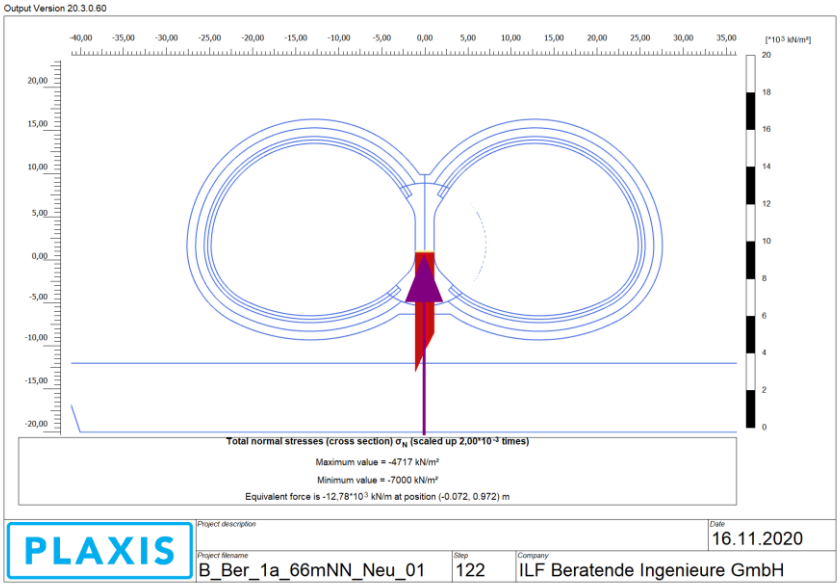


Abbildung 25: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B.6 – Berechnung Steifigkeit Verrottung E=100 MPa

9.5 Verschiebungen im Endzustand

Im Rahmen der Vorbemessung der Innenschale und des Mittelpfeilers wurde eine Parameterstudie für die Steifigkeit des verrotteten Materials durchgeführt. Zur Abschätzung der Verschiebungen an der Geländeoberfläche im Rahmen der Vorbemessung werden die Ergebnisse für die Berechnungen mit einer Steifigkeit des verrotteten Materials von E= 75 MPa, E=100 MPa, E=250 MPa und die Berechnung mit „verrottetes Material = Frankfurter Ton“ betrachtet. Die Verschiebungsplots der Berechnungen können Anhang 4 entnommen werden.

Zur Auswertung wird ein horizontaler Schnitt (siehe Abbildung 26 bis Abbildung 33) an der Geländeoberkannte betrachtet. Nachfolgend sind die Maximalwerte der Verschiebungen zusammenfassend aufgelistet.

Steifigkeit Verrottung:	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{x,max}$ [mm]
E=75 MPa	64	50
E=100 MPa	44	39
E=250MPa	**13**	**20**
Verrottetes Material = Frankfurter Ton	**13**	**18**

Tabelle 24: Zusammenfassung Maximalwerte der Verschiebung B.6 – Vorbemessung

Die sehr geringen Steifigkeiten (E=75 MPa, E=100 MPa) für das verrottete Material stellen eine Grenzwertbetrachtung für die Einwirkung auf die Innenschale im Rahmen der Parameterstudie dar. Gemäß Literatur „grey rock theory“ [22] wird von einer deutlich höheren Reststeifigkeit des verrotteten Material von E = 10 GPa ausgegangen. Aufgrund dessen werden die Ergebnisse für die Steifigkeit E=75 MPa und E=100 MPa als unrealistisch eingeschätzt. In

den ermittelten Verschiebungswerten gemäß Tabelle 24 sind **keine herstellungsbedingten Verschiebungen** infolge des Rohrvortriebes enthalten.

Im Rahmen der **Vorbemessung werden somit maximale Verschiebungswerte (u_y,u_x) (ohne herstellungsbedingten Verschiebungen des Rohrvortriebs) von rd. 20 mm** ermittelt.

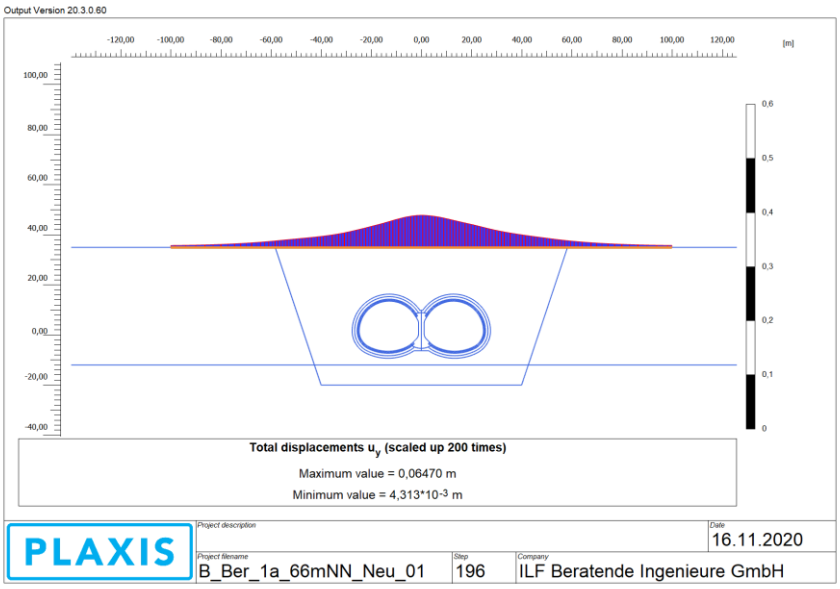


Abbildung 26: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=75 MPa

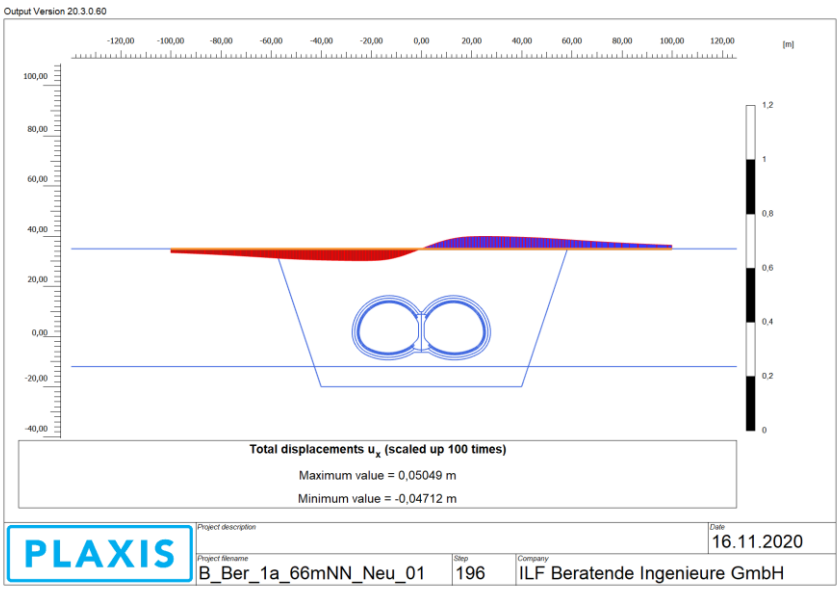


Abbildung 27: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=75 MPa

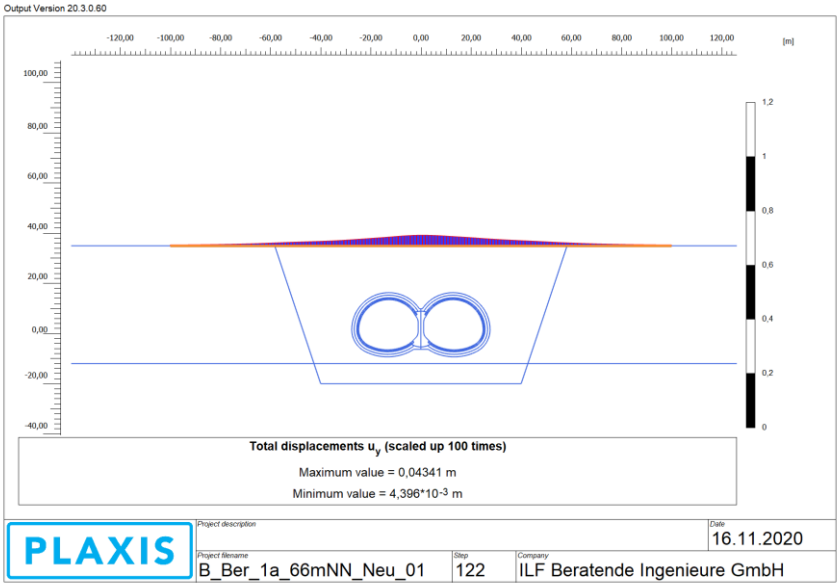


Abbildung 28: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=100 MPa

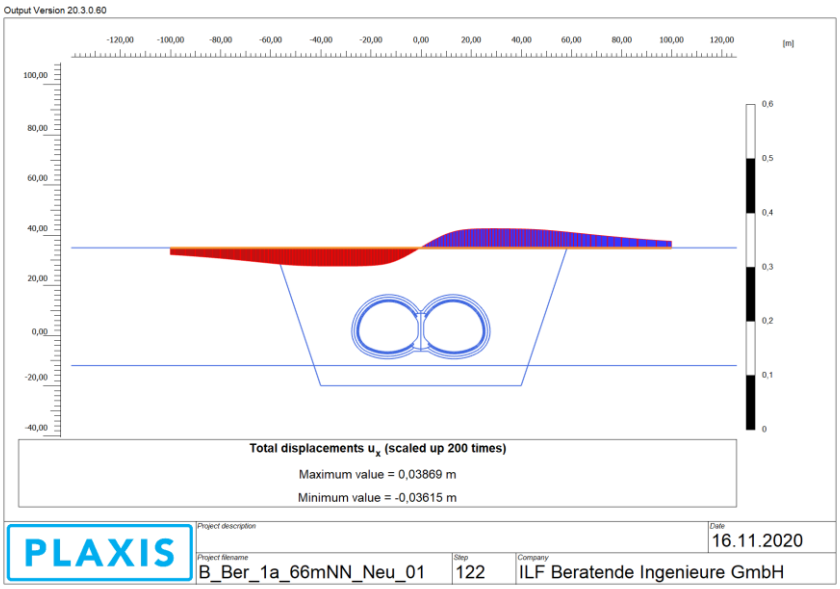


Abbildung 29: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=100 MPa

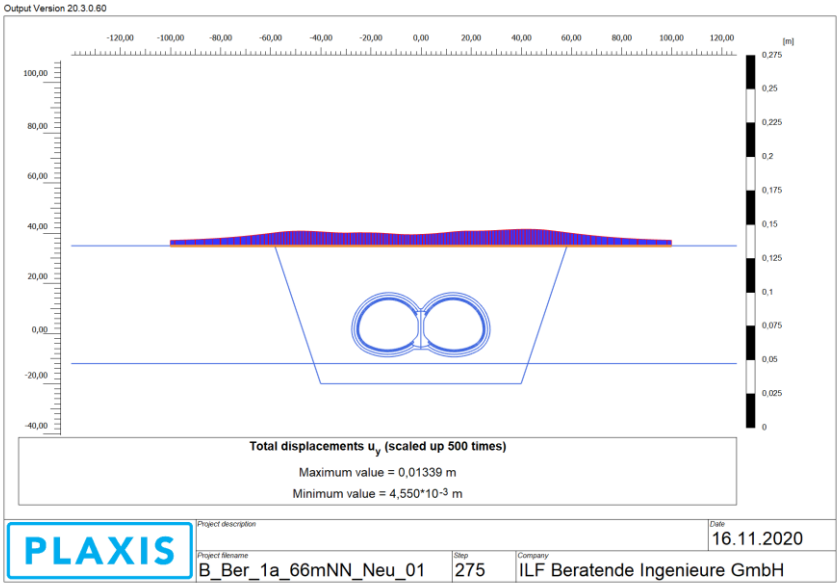


Abbildung 30: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – E=250 MPa

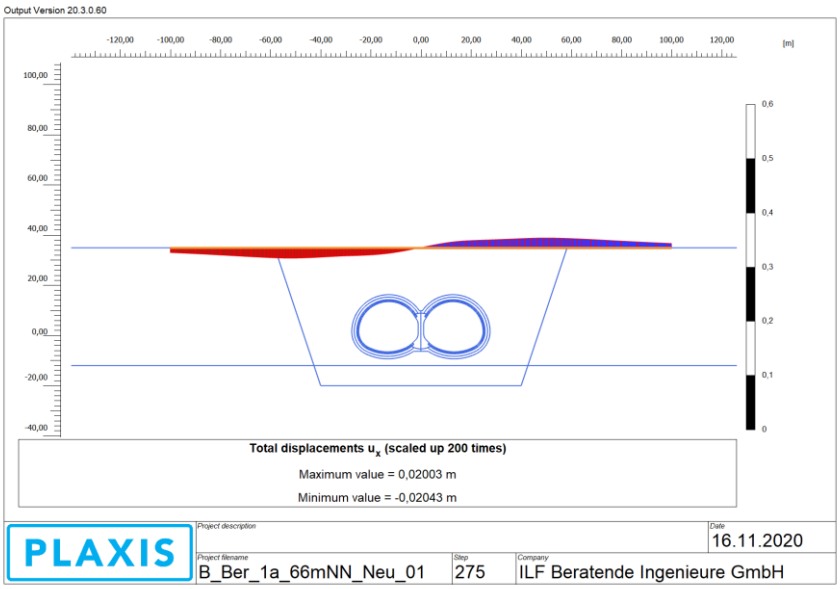


Abbildung 31: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – E=250 MPa

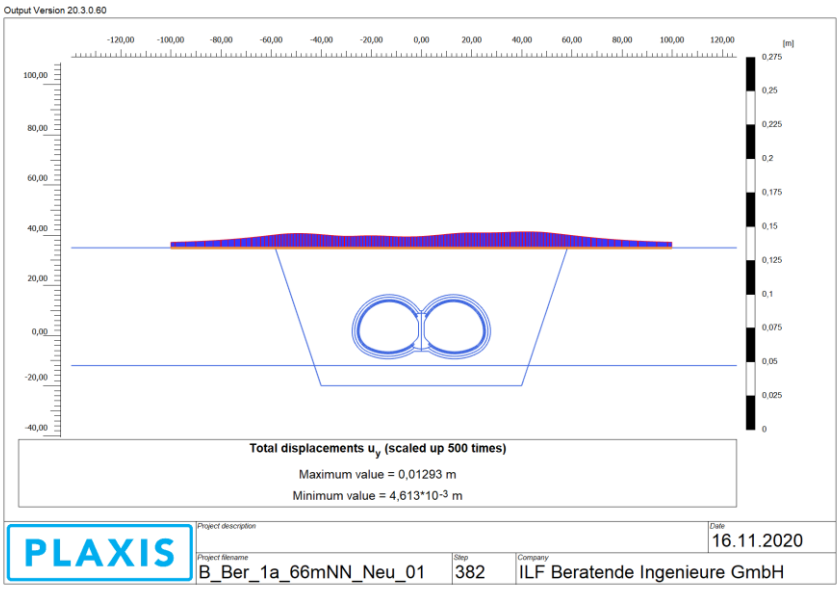


Abbildung 32: Vertikalverschiebung u_y - Berechnungsschritt B.6 – Verrottetes Material = Frankfurter Ton

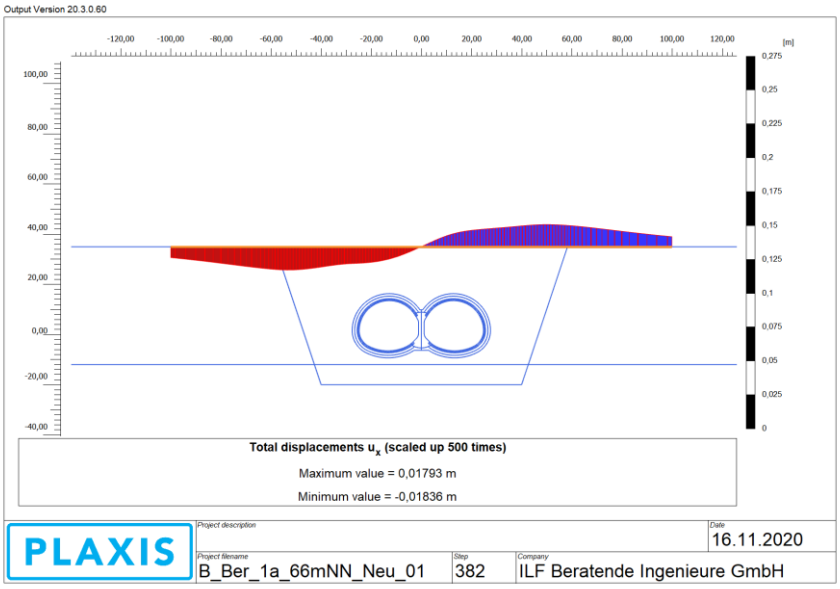
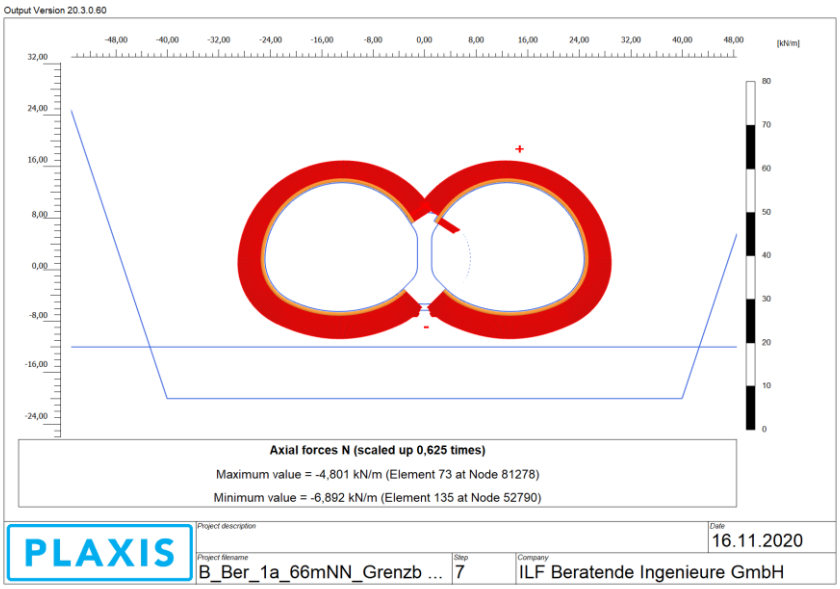


Abbildung 33: Horizontalverschiebungen u_x - Berechnungsschritt B.6 – Verrottetes Material = Frankfurter Ton

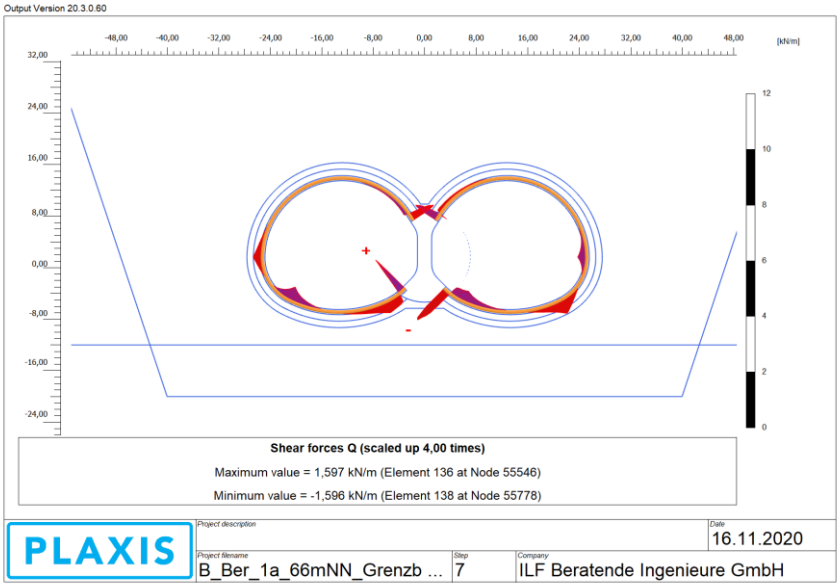
9.6 Grenzbetrachtung Einwirkung auf Innenschale und Mittelpfeiler und Vorbemessung dieser Bauteile

Zur Vorbemessung der Innenschale und des Mittelpfeilers in dieser Grenzbetrachtung werden die Schnittgrößen für den Berechnungsschritt B_G.2 (siehe Tabelle 10) herangezogen. In diesem Berechnungsschritt erfolgt der Vollausbruch ohne Vorentlastung.

Normalkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Querkraft [kN/m] – Anzeigewert x 1000



Moment [kNm/m] – Anzeigewert x 1000

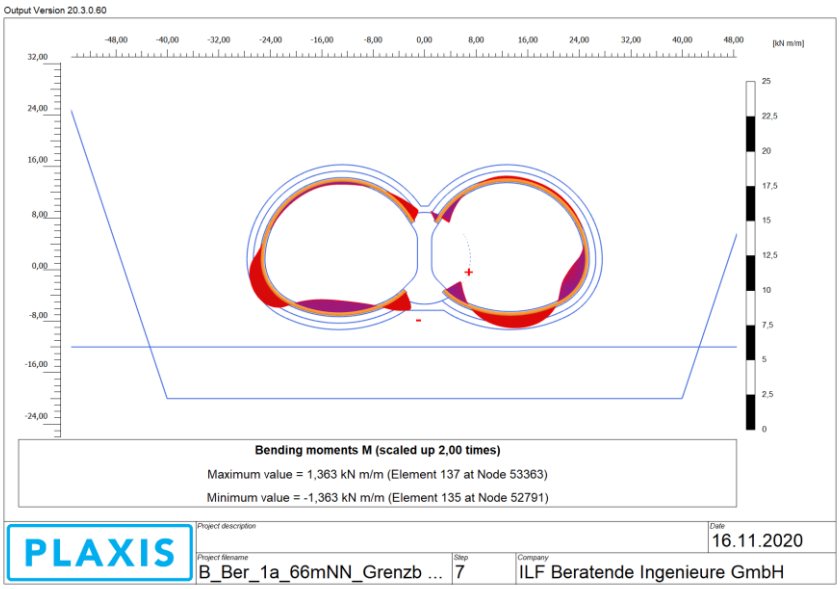


Tabelle 25: Charakteristische Schnittgrößen Innenschale – Grenzbetrachtung B_G.2

Die Vorbemessung der Innenschale erfolgt mit der Software ConDim [18] für ausgewählte Schnittgrößenpaare. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 zusammenfassend aufgelistet.

N	Q	M	A_s	$A_{s,Riss}$[1]	$A_{s,Quer.}$
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[cm²/m]	[cm²/m]	[cm²/m²]
-6250	350	1300	15	5	0
-6500	**1600**	**1363**	20	**25**	**62**
-6100	100	1100	15	5	0

Tabelle 26: Charakteristische Schnittgrößen und Vorbemessung – Grenzzustand B_G2. ohne Vorentlastung

[1] es wird eine maximale Rissbreite von 0,15 mm berücksichtigt

Die ermittelten Schnittgrößen dieser Grenzbetrachtung liegen in derselben Größenordnung als jene in Abschnitt 9.3 bei Berücksichtigung der Verrottung des Rohrgewölbes. Dies deutet darauf hin, dass es aufgrund der geringen Überlagerung zu keiner nennenswerten Gewölbewirkung im Boden kommt und die volle Überlagerung auf den Querschnitt wirkt.

Nachfolgend werden für Berechnungsschritt B_G.2 die charakteristischen Schrittgrößen (Normalkraft, Moment) in einem maßgebenden Schnitt (siehe Abbildung 34) ermittelt. Die Querkräfte sind in diesem Schnitt sehr gering und werden daher nicht betrachtet.

N_k [kN/m]	M_k [kNm/m]	A_s [cm²/m]
12980	200	**30**

Tabelle 27: Zusammenfassung Bewehrungsmengen Mittelpfeiler B_G.2 - Vorbemessung

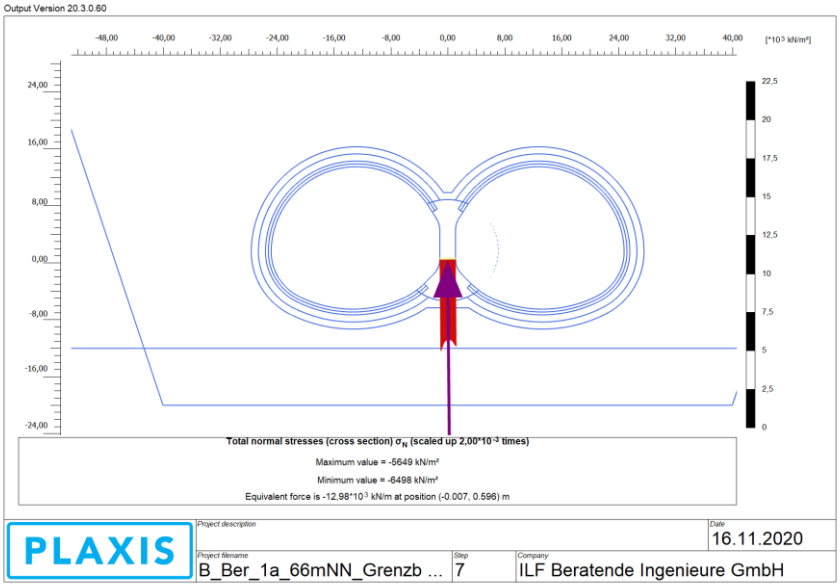


Abbildung 34: Normalspannungsverteilung Mittelpfeiler Berechnungsschritt B_G.2

10 Zusammenfassung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie Knoten Frankfurt, Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf. Frankfurt/Main, werden in der vorliegenden Vorstatik wesentliche Nachweise zur Machbarkeit der Station Typ I geführt.

Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen bildet der geotechnische Bericht [1]. Aufgrund der relativ hohen Gebirgsdurchlässigkeit werden drainierte Analysen durchgeführt.

Die Untersuchung wird an zweidimensionalen Modellen im ebenen Verformungszustand mit der Software Plaxis 2D [17] durchgeführt.

Es werden Nachweise der Station im **Bauzustand** geführt, wo die Standsicherheit des Rohrgewölbes maßgebend ist. Zusätzlich werden Notfallmaßnahmen untersucht, wobei gegen eindringendes Grundwasser ein Gegendruck (Luftdruck) im Ausbruchquerschnitt berücksichtigt wird.

Im **Endzustand** werden die Einwirkungen auf die Innenschale unter Berücksichtigung eines verrotteten Rohrgewölbes betrachtet. Für die Steifigkeit des verrotteten Materials wird eine Parameterstudie durchgeführt. Als Grenzbetrachtung und Plausibilitätskontrolle wird ein Vollausbruch ohne Vorentlastung und ohne Berücksichtigung des Rohrgewölbes untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die maximale Ringbewehrung der Innenschale bei rd. 50 cm²/m liegt. Die Querkraftbewehrung im Anschlussbereich zum Mittelpfeiler beträgt rd. 74 cm²/m². Aufgrund der sehr hohen erforderlichen Querkraftbewehrung sollte in diesem Anschlussbereich in einer späteren Projektphase eine aufgeweitete Innenschale (Voute auf rd. 1,2 m Querschnittshöhe) vorgesehen werden. Außerhalb der Anschlussbereiche sind max. Querkraftzulagen von rd. 30 cm²/m² erforderlich.

Die Bewehrungsmengen im Mittelpfeiler liegen bei rd. 30 cm²/m. In einer durchgeführten Grenzbetrachtung (unsymmetrische Ausbruchsituation) wurden max. 160 cm²/m vertikale Bewehrung ermittelt.

Die Bewehrungsgehalte wurden an maßgebenden Schnitten an der Innenschale und am Mittelpfeiler ermittelt. Im Rahmen der Vorbemessung wurde keine vollständige Bemessung durchgeführt. Desweiteren wurde auch keine Brandeinwirkung untersucht.

Im Rahmen der Vorbemessung wurden maximale Verschiebungswerte (u_y,u_x), ohne herstellungsbedingte Verschiebungen des Rohrvortriebs, an der Geländeoberkante von rd. 20 mm ermittelt.

Anlage 1: Ergebnisse numerische Berechnung – Bauzustand Rohrgewölbe

Hardening Soil:

Material set	
Identification number	1
Identification	Frankfurter Ton
Material model	Hardening soil
Drainage type	Drained
Colour	RGB 245, 142, 46
Comments	

General properties		
γ_{unsat}	kN/m³	19,00
γ_{sat}	kN/m³	19,00

Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{oed}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{ur}^{ref}	kN/m²	73,20E3
power (m)		1,000

Strength		
c_{ref}	kN/m²	20,00
φ (phi)	°	20,00
ψ (psi)	°	0,000

Mohr Coulomb:

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton Rohr non porous	Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Fuge_Rohr_Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 195, 229, 249	RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 232, 161, 209
Comments					
General properties					
γ_{unsat}	kN/m³	24,00	22,00	0,000	0,000
γ_{sat}	kN/m³	24,00	22,00	0,000	0,000

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton Rohr non porous	Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Fuge_Rohr_Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 195, 229, 249	RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 232, 161, 209
Stiffness					
E	kN/m²	30,00E6	350,0E3	31,00E6	31,00E6
ν (nu)		0,1500	0,2000	0,1500	0,1500
Alternatives					
G	kN/m²	13,04E6	145,8E3	13,48E6	13,48E6
E_{oed}	kN/m²	31,68E6	388,9E3	32,73E6	32,73E6
Strength					
c_{ref}	kN/m²	1950	15,00	100,0	100,0
φ (phi)	°	40,00	32,50	20,00	20,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000
Velocities					
V_s	m/s	2309	255,0	0,000	0,000
V_p	m/s	3598	416,4	0,000	0,000
Advanced					
Set to default values		☑	☑	☑	☑
Stiffness					
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength					
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		☑	☑	☑	☑
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000	0,000

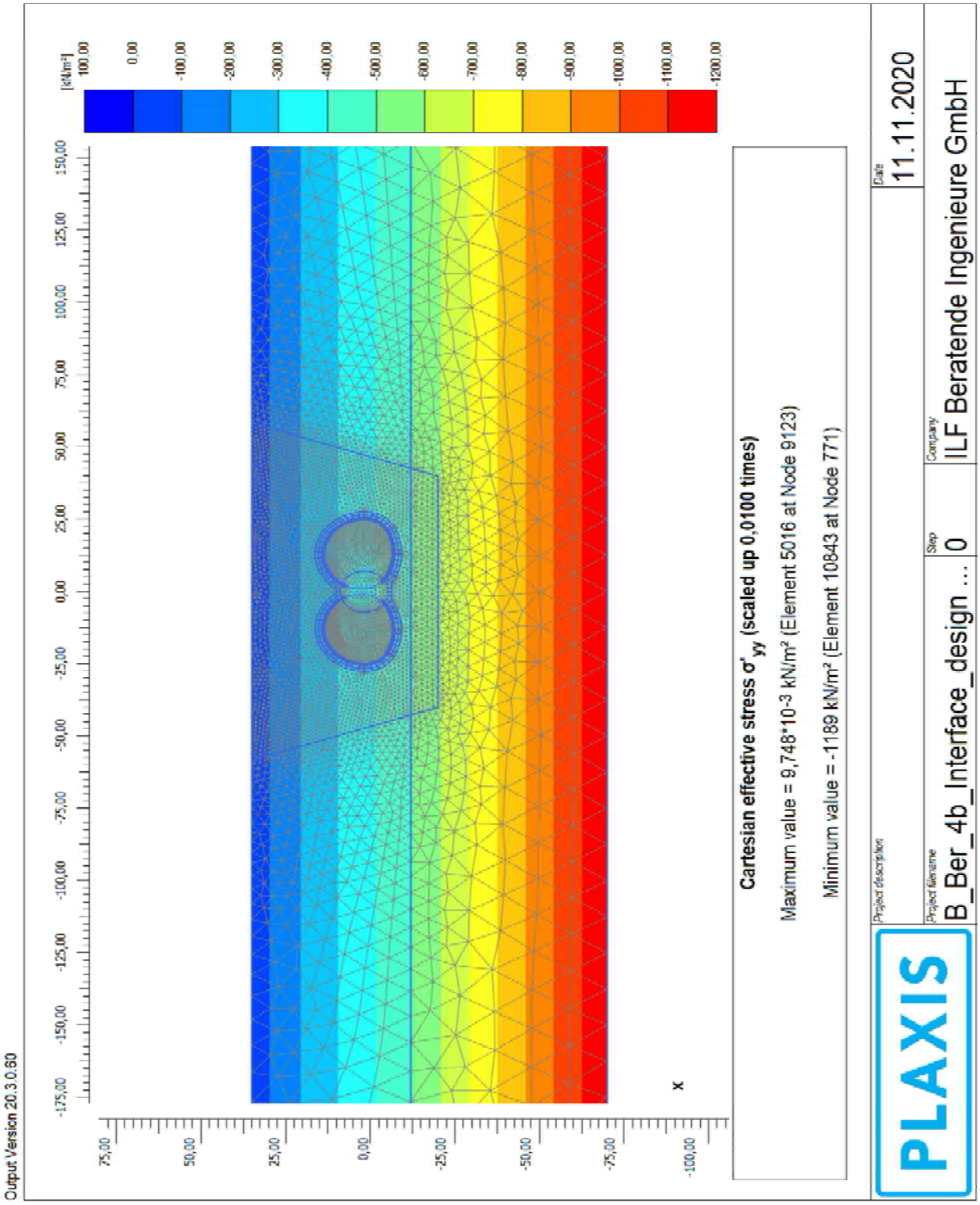
Linear elastisch:

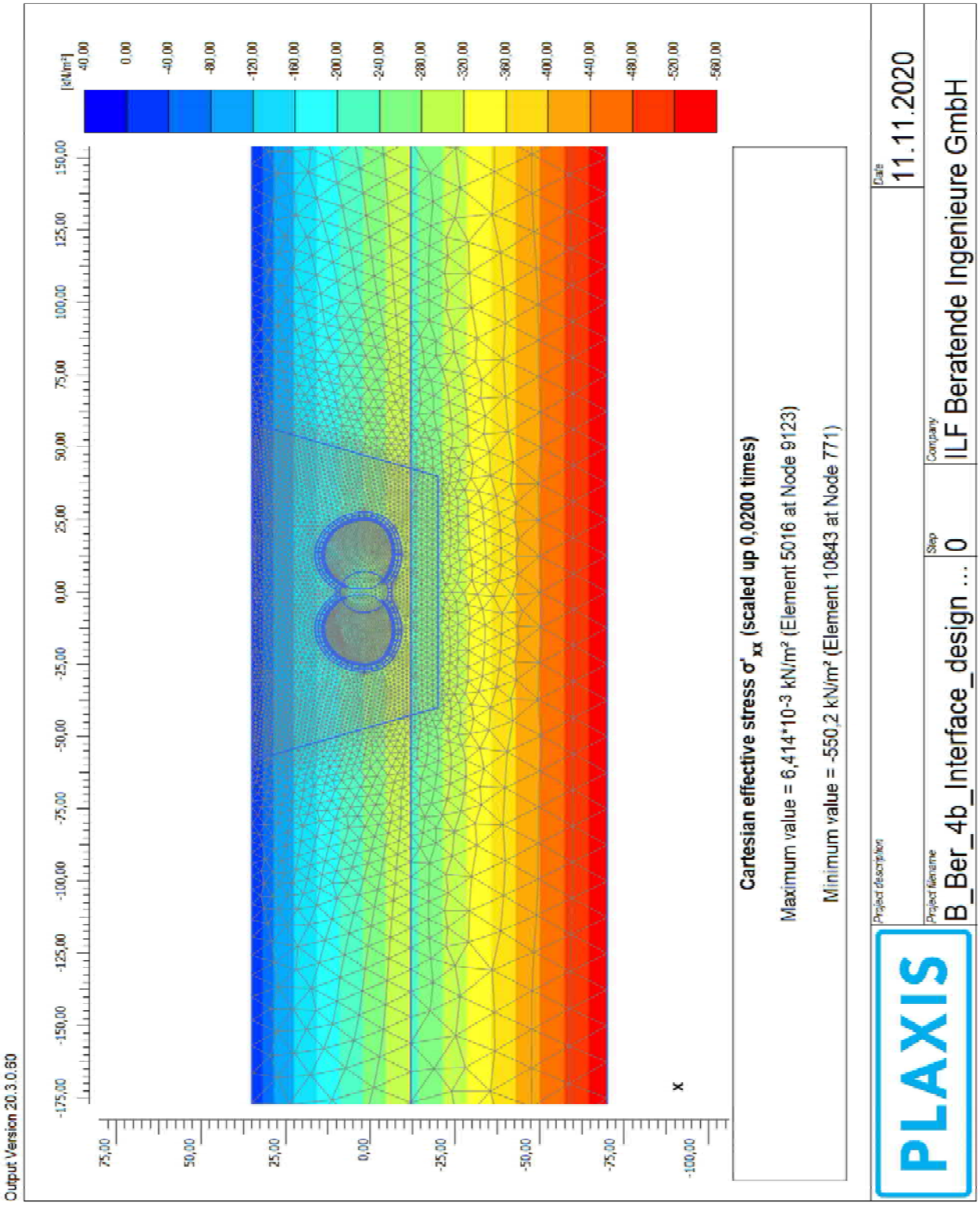
Material set			
Identification number		2	3
Identification		Beton IS	Beton Pfeiler
Material model		Linear elastic	Linear elastic
Drainage type		Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156
Comments			
General properties			
γ_{unsat}	kN/m³	25,00	25,00
γ_{sat}	kN/m³	25,00	25,00

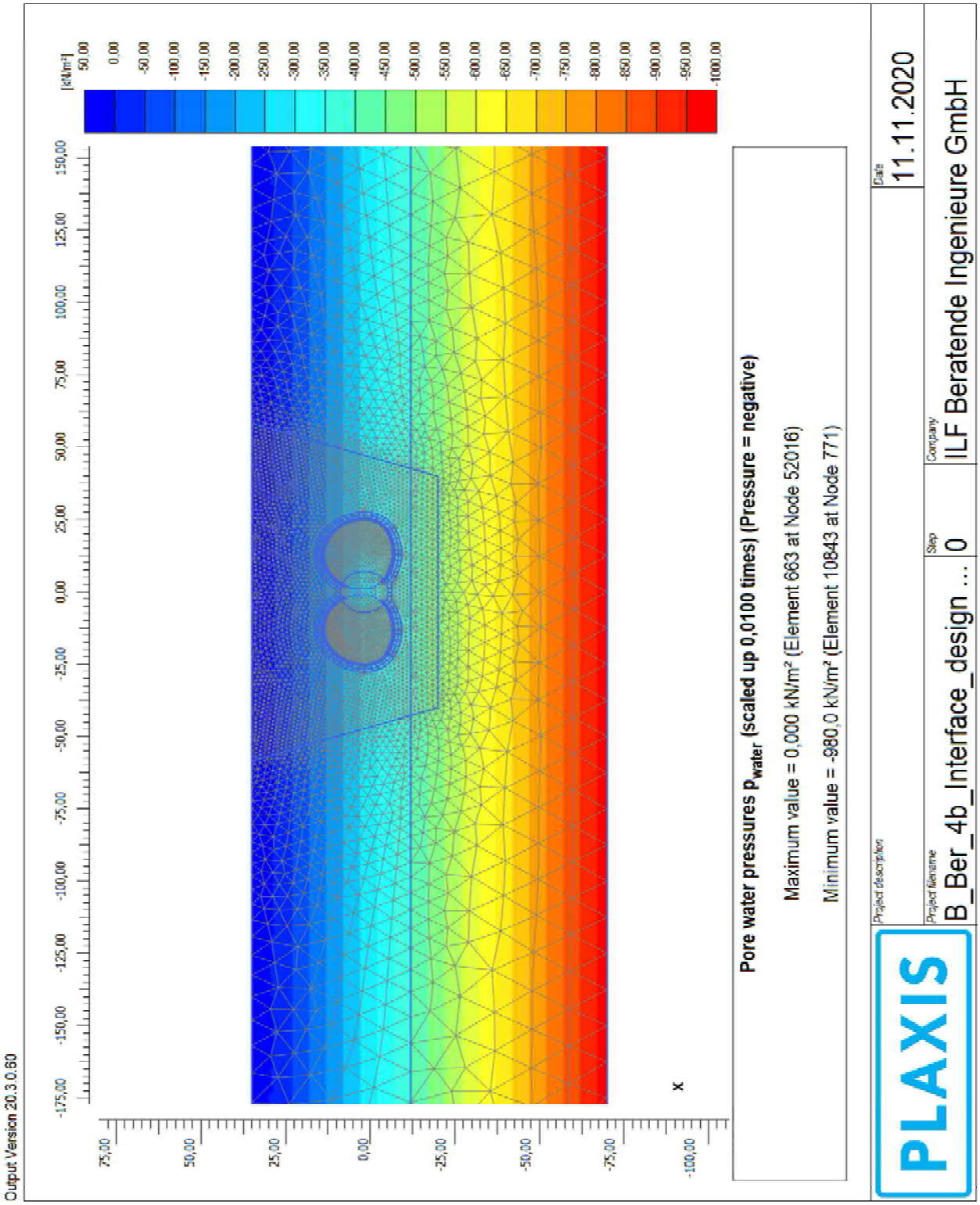
Material set			
Identification number		2	3
Identification		Beton IS	Beton Pfeiler
Material model		Linear elastic	Linear elastic
Drainage type		Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156
Stiffness			
E	kN/m²	34,00E6	34,00E6
v (nu)		0,1500	0,1500

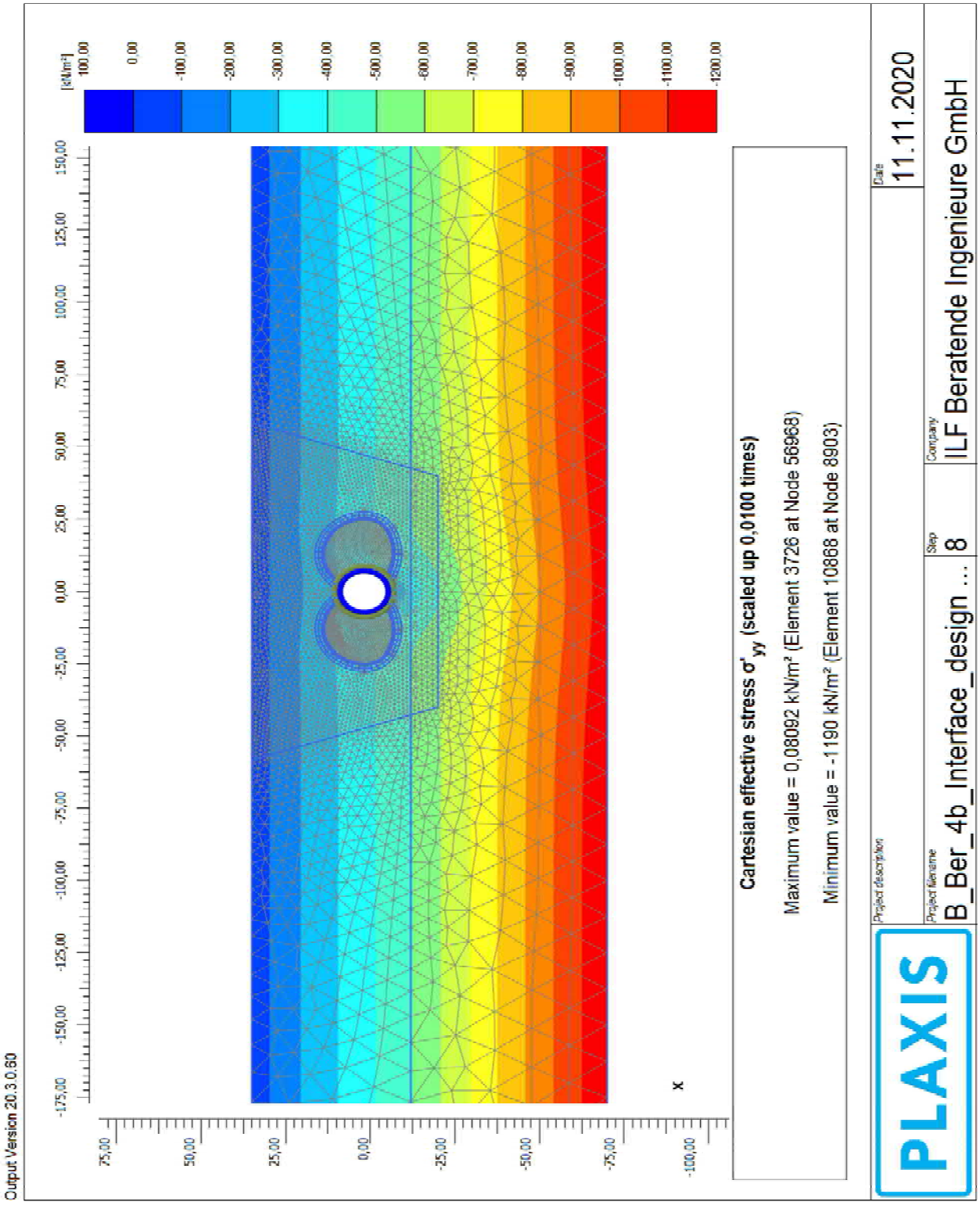
Balkenelemente:

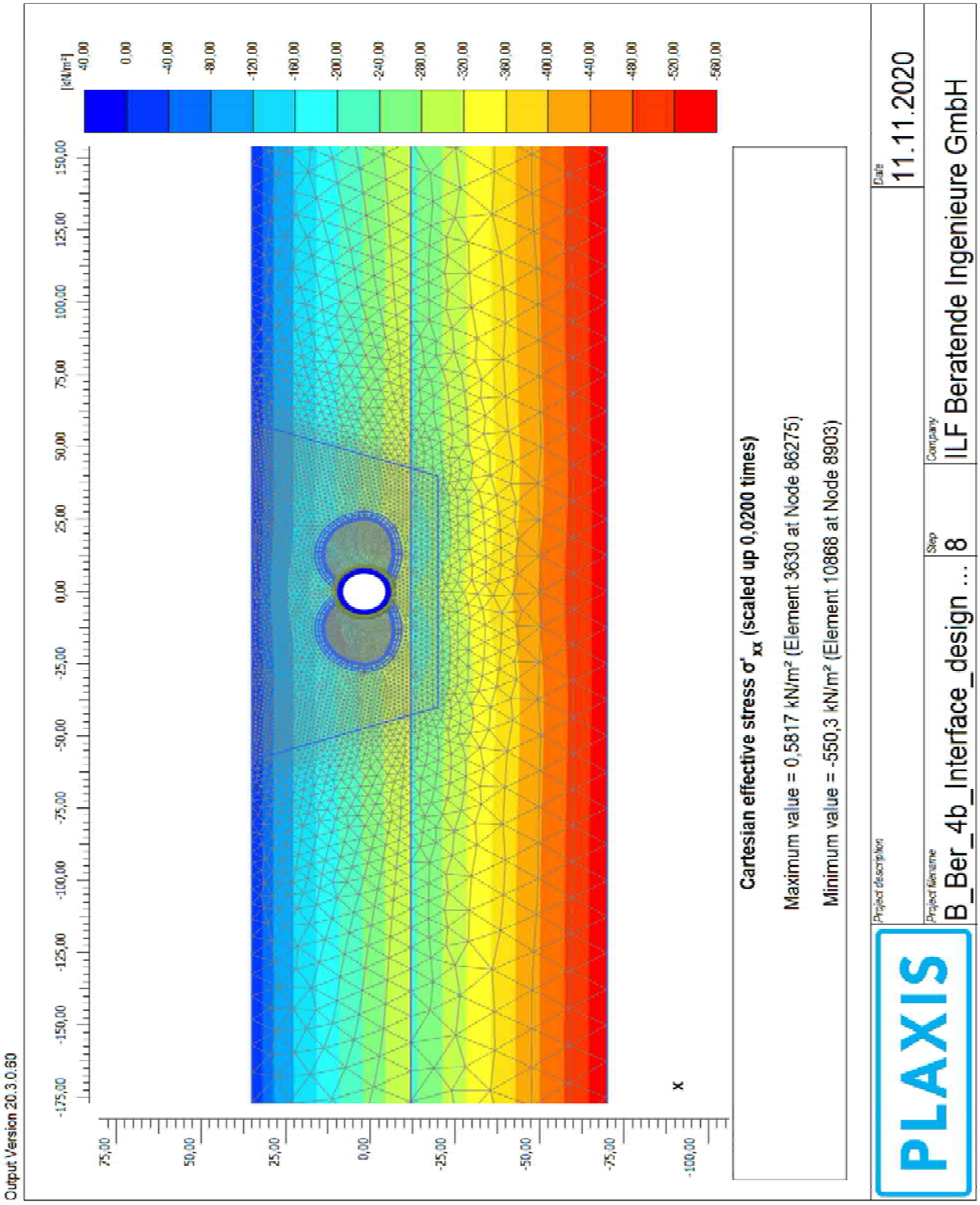
Material set		
Identification number	1	
Identification	TBM	
Comments		
Colour	RGB 0, 0, 255	
Material type	Elastic	
Properties		
Isotropic		☑
EA_1	kN/m	22,20E6
EA_2	kN/m	22,20E6
EI	kN m²/m	333,0E3
d	m	0,4243
w	kN/m/m	9,300
ν (nu)		0,1500
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Prevent punching		☑

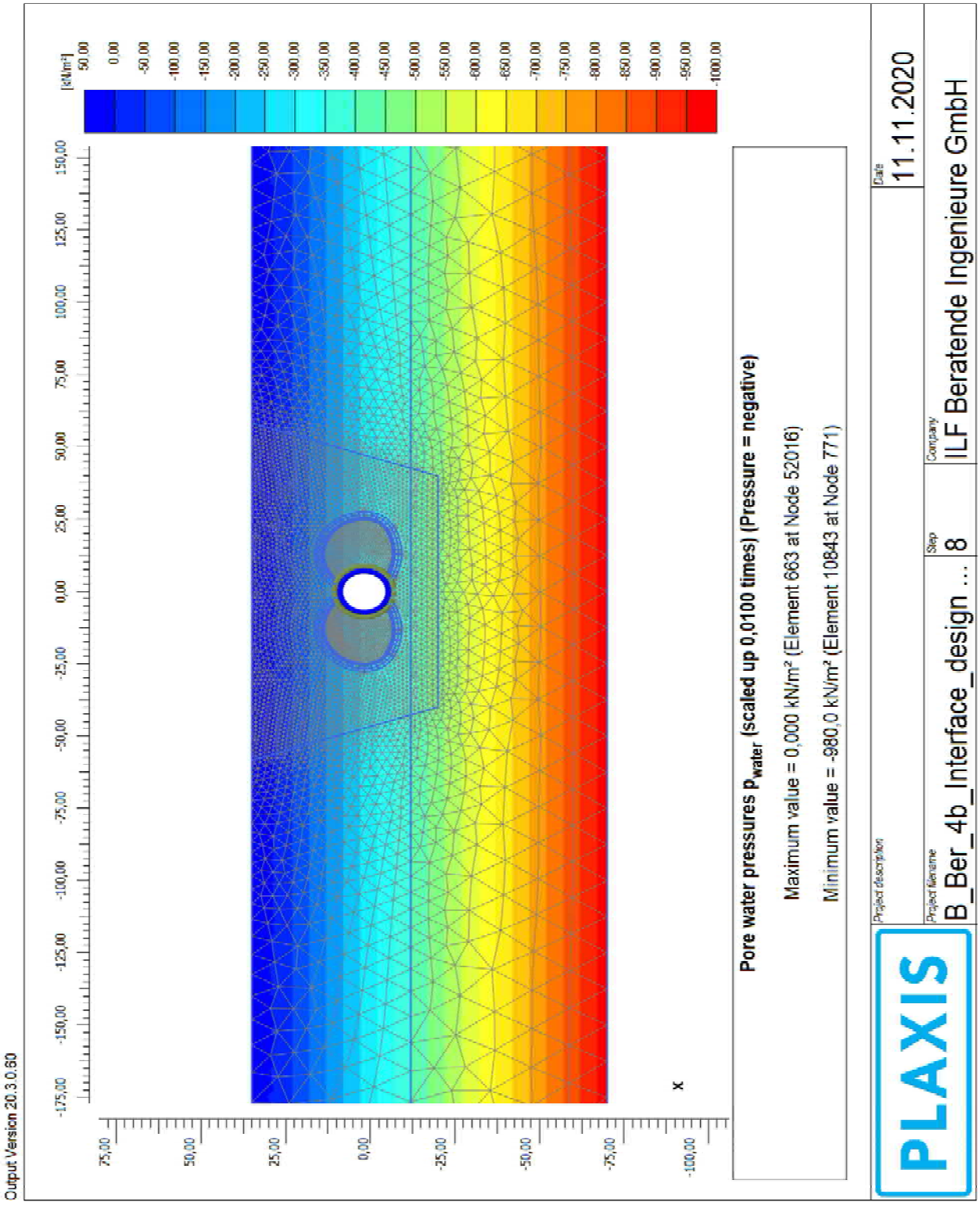

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
100,00
0,00
-100,00
-200,00
-300,00
-400,00
-500,00
-600,00
-700,00
-800,00
-900,00
-1000,00
-1100,00
-1200,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,0100 times)
Maximum value = 9,748*10-3 kN/m² (Element 5016 at Node 9123)
Minimum value = -1189 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

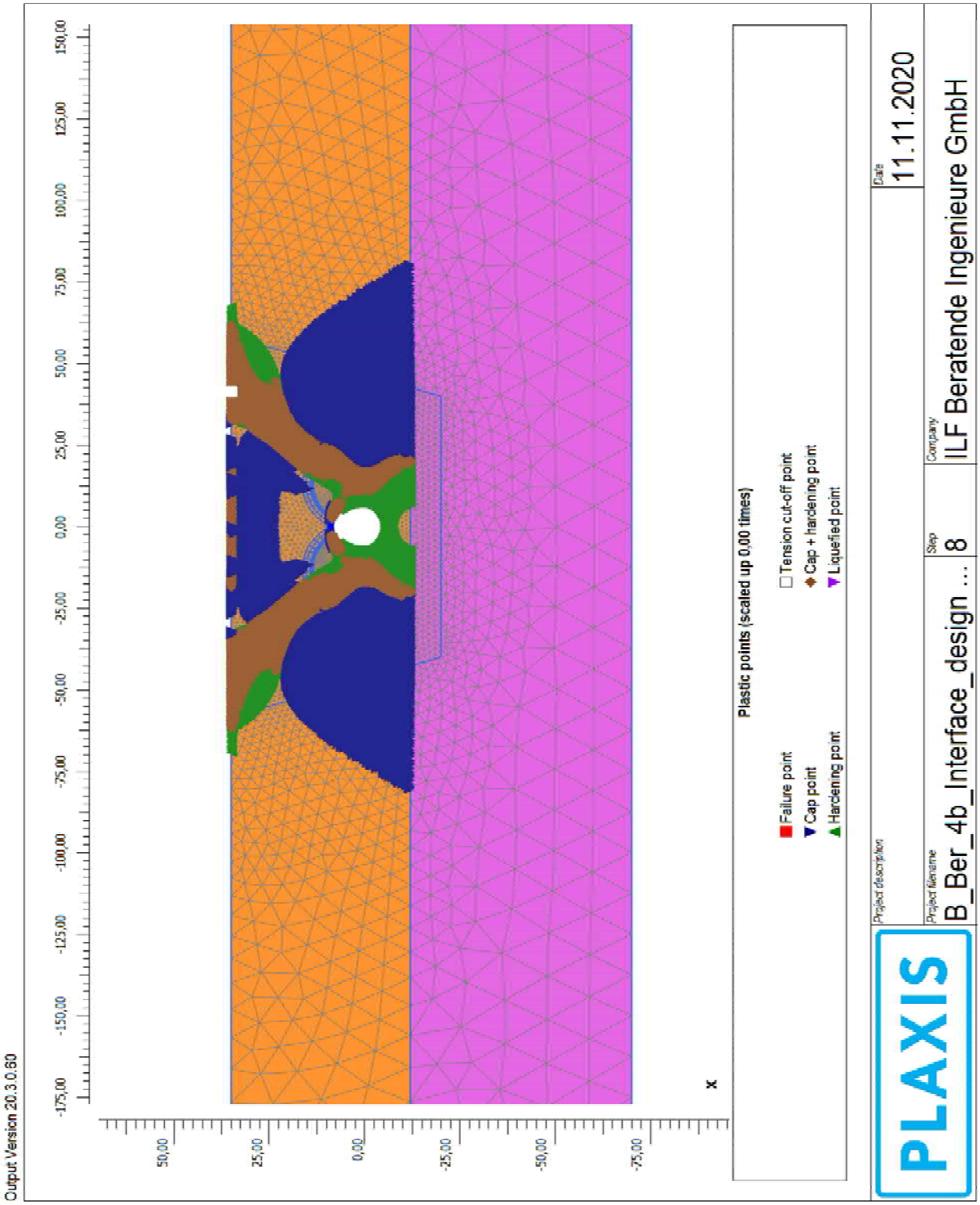

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
40,00
0,00
-40,00
-80,00
-120,00
-160,00
-200,00
-240,00
-280,00
-320,00
-360,00
-400,00
-440,00
-480,00
-520,00
-560,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 6,414*10-3 kN/m² (Element 5016 at Node 9123)
Minimum value = -550,2 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

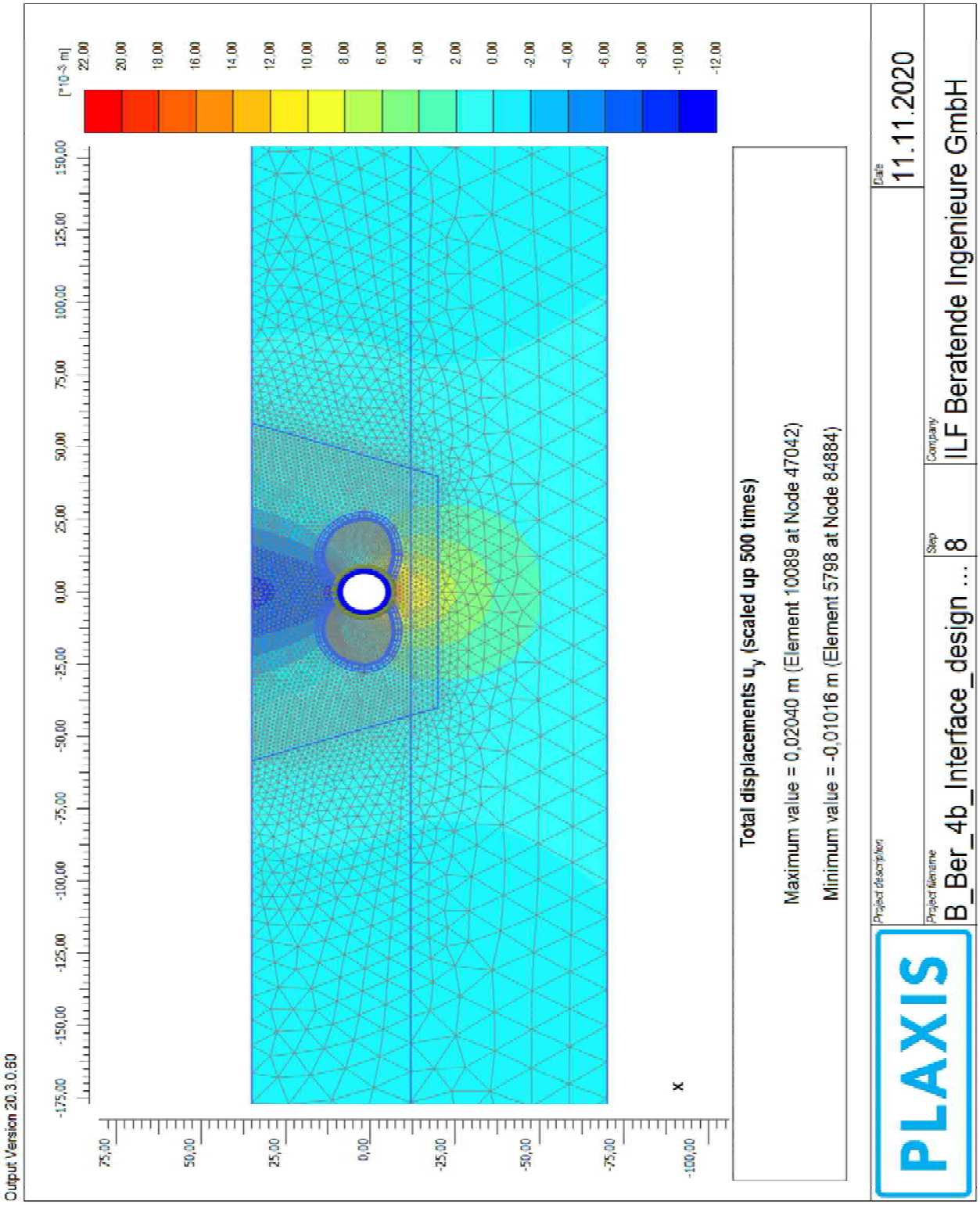

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

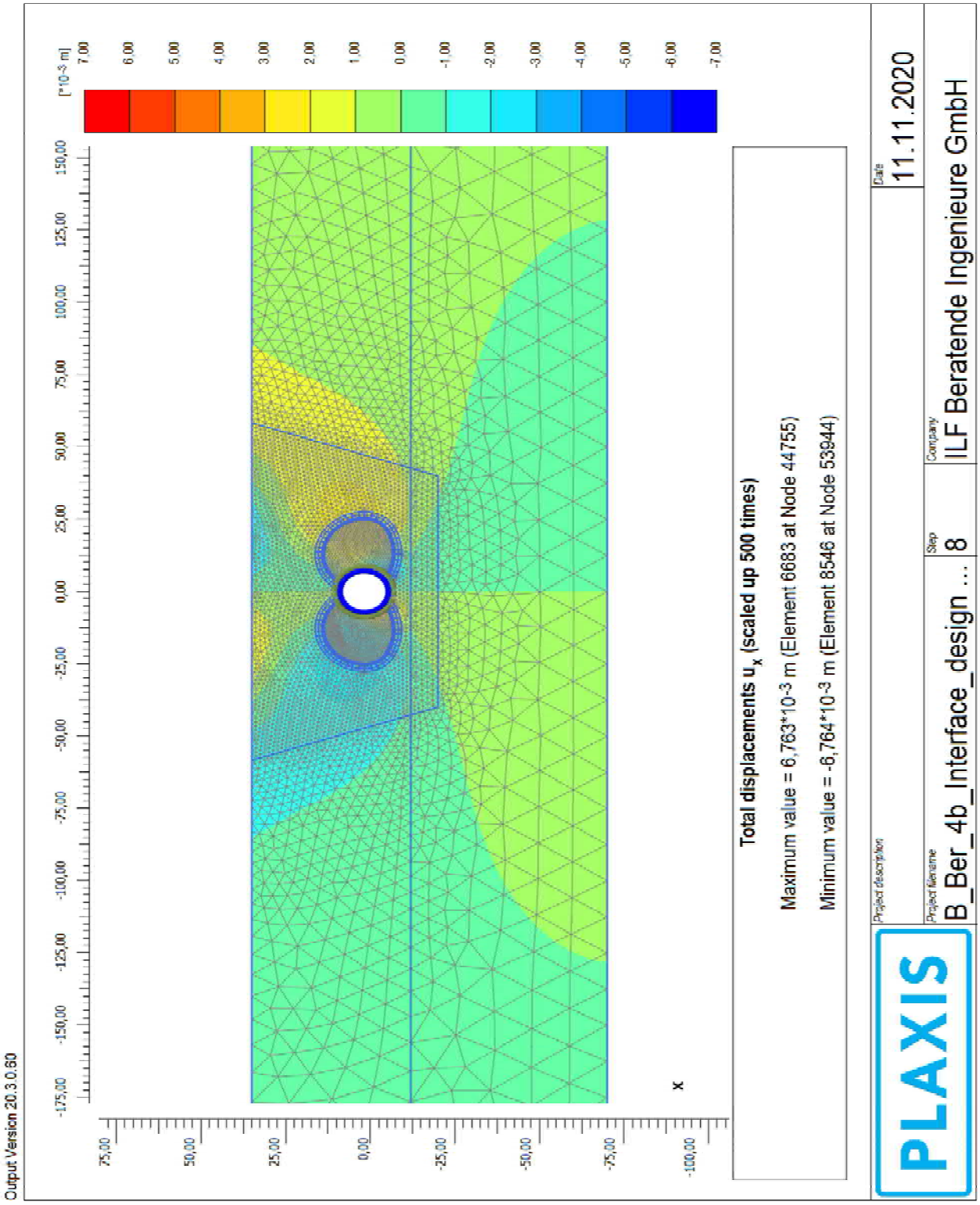

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
100,00
0,00
-100,00
-200,00
-300,00
-400,00
-500,00
-600,00
-700,00
-800,00
-900,00
-1000,00
-1100,00
-1200,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,0100 times)
Maximum value = 0,08092 kN/m² (Element 3726 at Node 56968)
Minimum value = -1190 kN/m² (Element 10868 at Node 8903)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
8
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

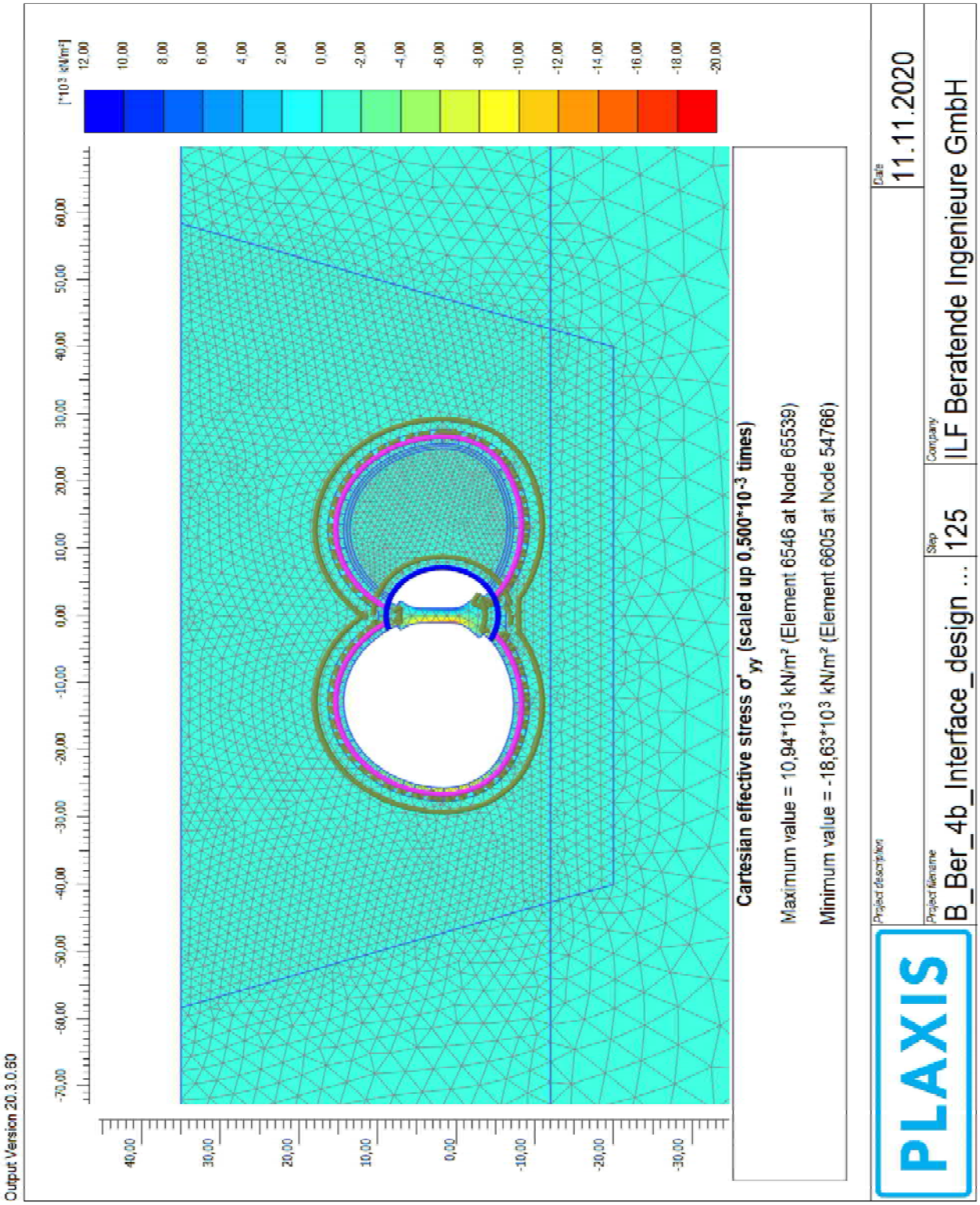

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
40,00
0,00
-40,00
-80,00
-120,00
-160,00
-200,00
-240,00
-280,00
-320,00
-360,00
-400,00
-440,00
-480,00
-520,00
-560,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 0,5817 kN/m² (Element 3630 at Node 86275)
Minimum value = -550,3 kN/m² (Element 10868 at Node 8903)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
8
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

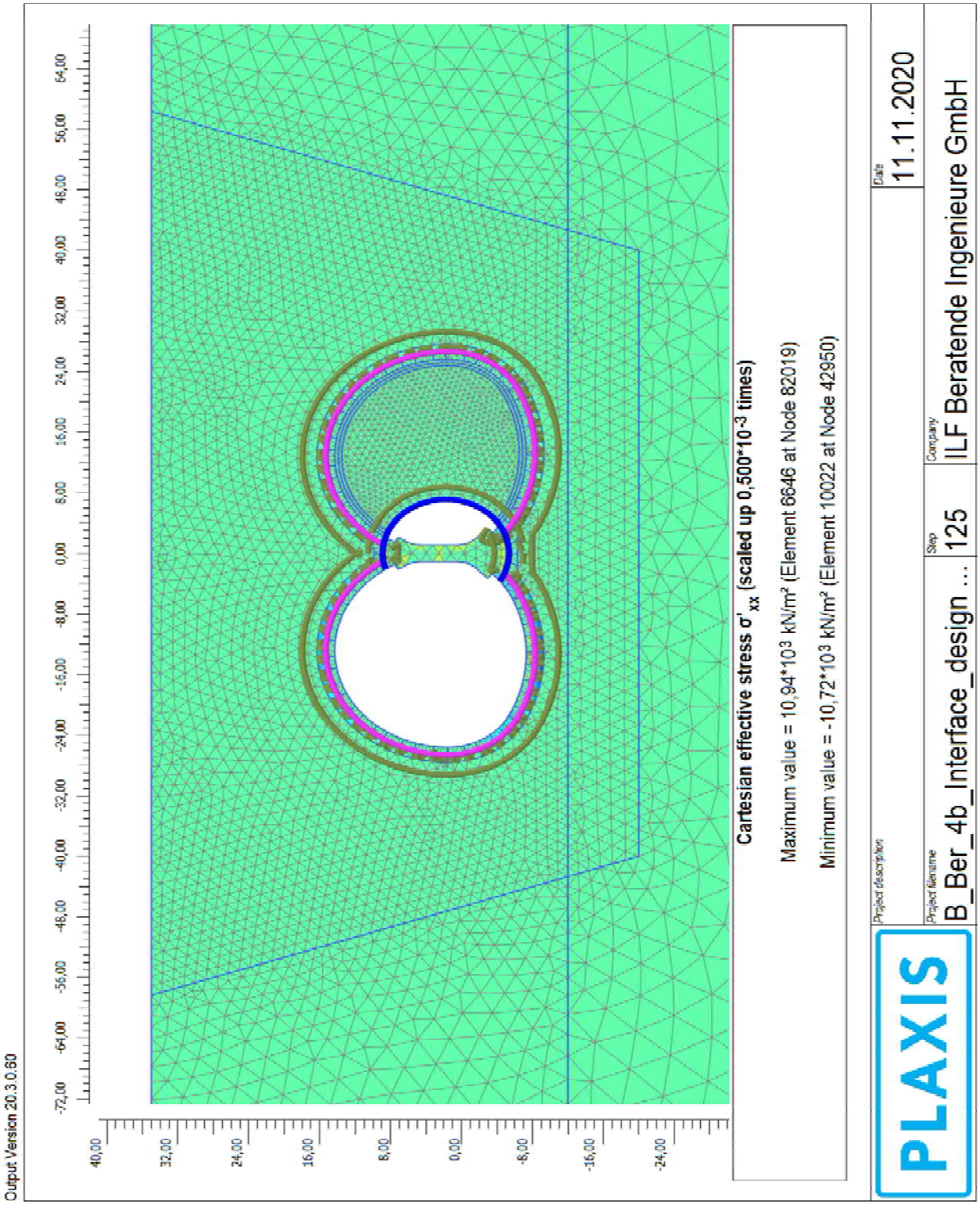

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
8
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

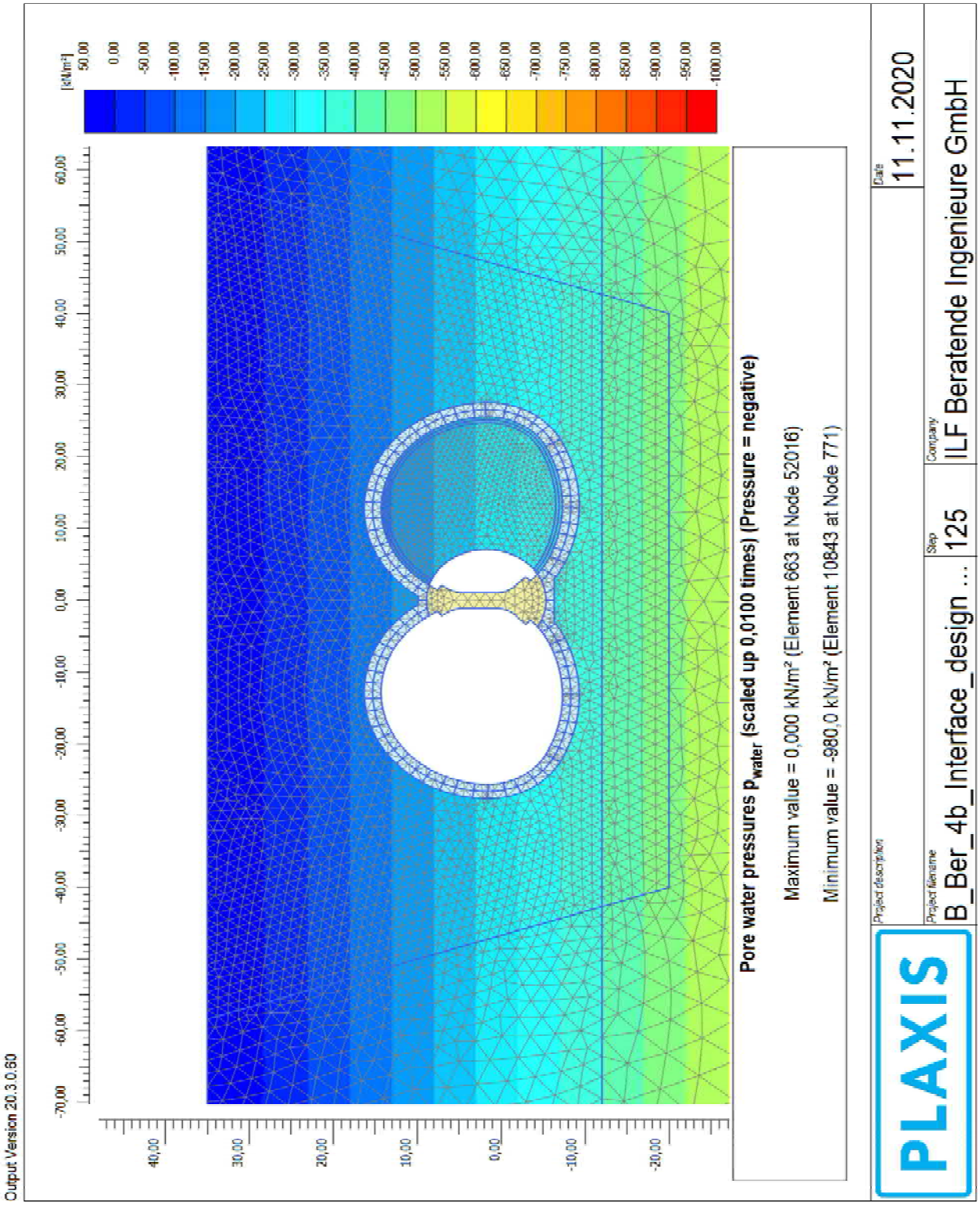

Output Version 20.3.0.60
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
x
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
8
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

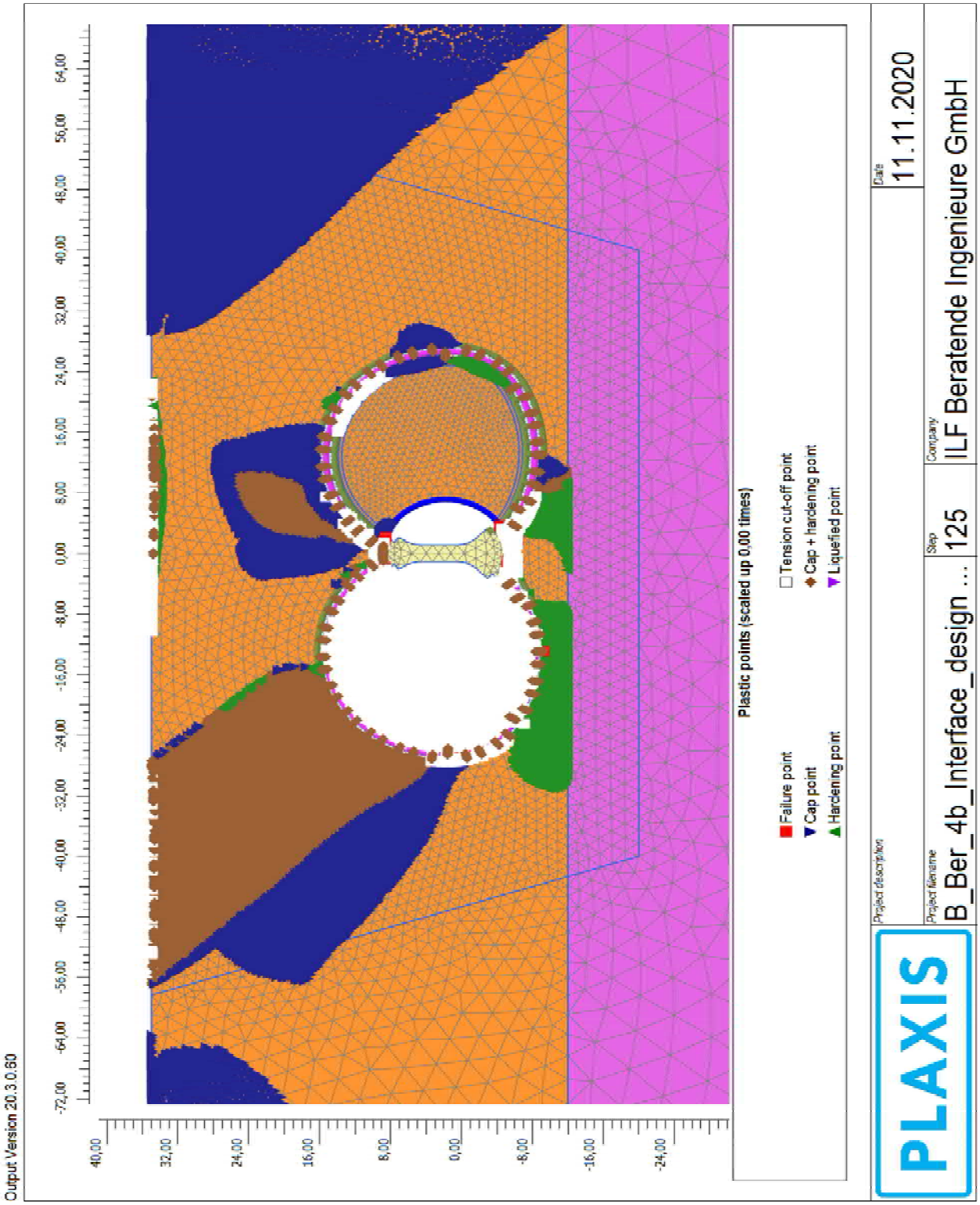

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
22,00
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Total displacements u_y (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,02040 m (Element 10089 at Node 47042)
Minimum value = -0,01016 m (Element 5798 at Node 84884)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
8
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

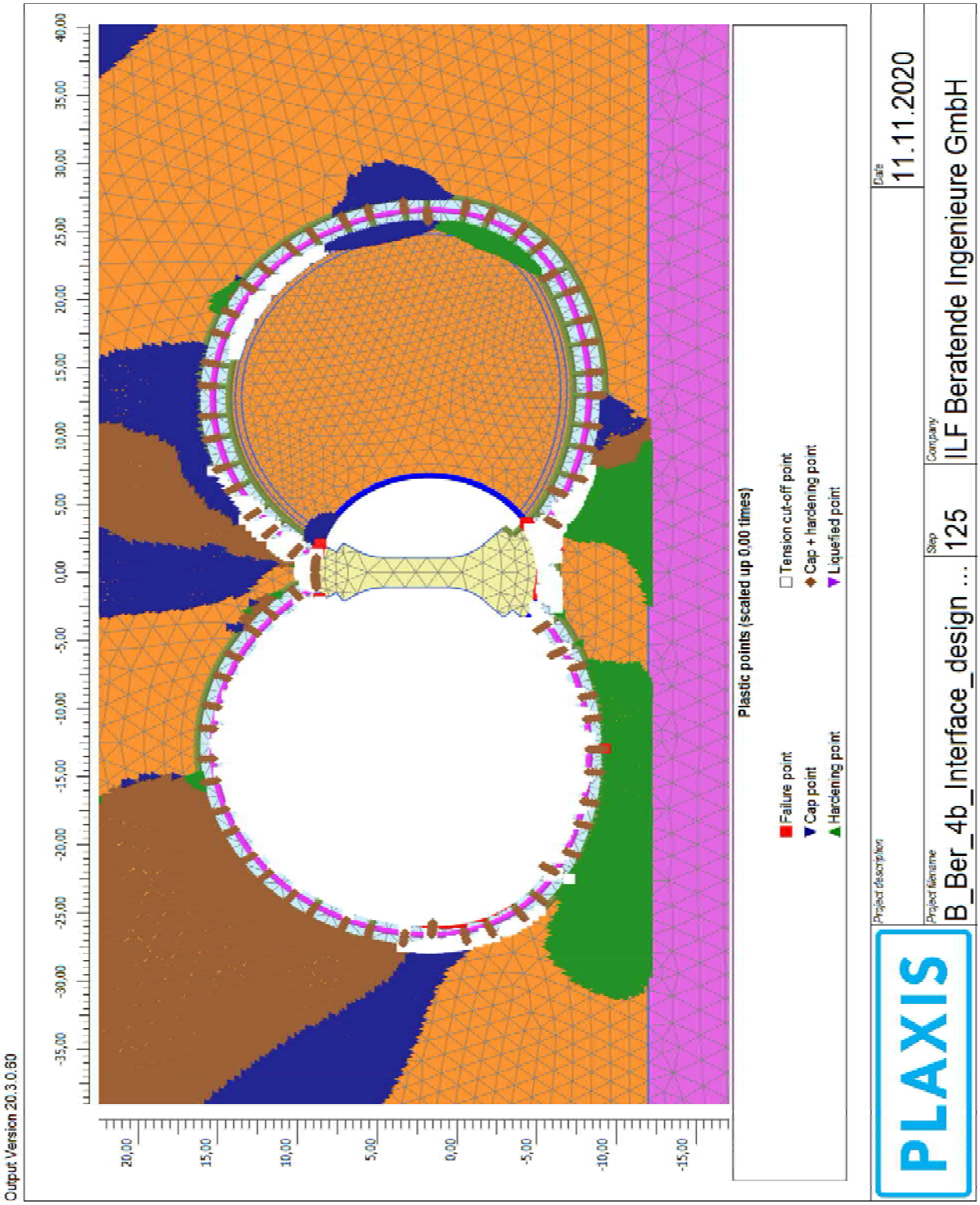

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-175,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
150,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
-100,00
x
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 6,763*10^-3 m (Element 6683 at Node 44755)
Minimum value = -6,764*10^-3 m (Element 8546 at Node 53944)
Date
11.11.2020
Project description
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Step
8
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
PLAXIS

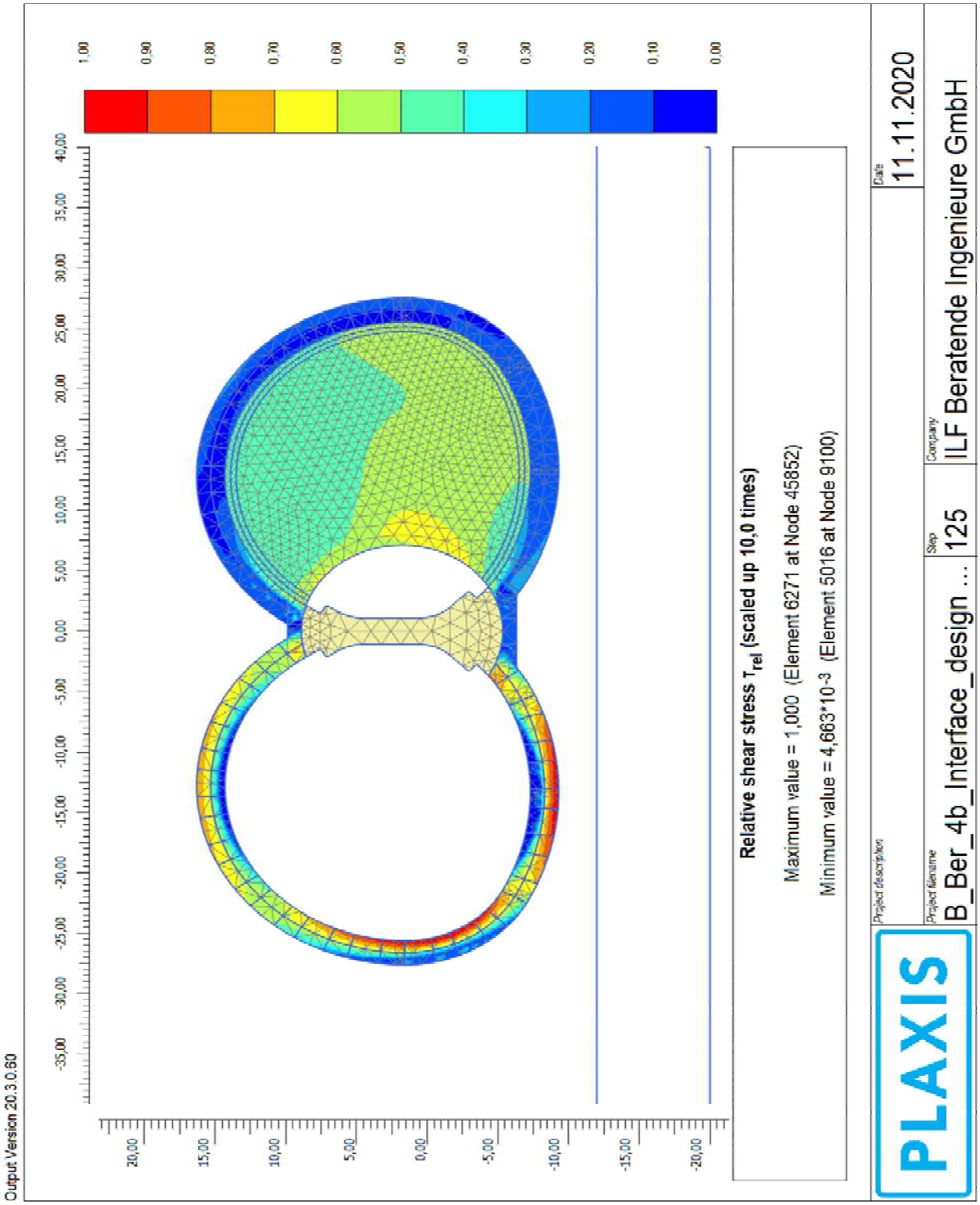

Output Version 20.3.0.60
[*10³ kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10⁻³ times)
Maximum value = 10,94*10³ kN/m² (Element 6546 at Node 65539)
Minimum value = -18,63*10³ kN/m² (Element 6605 at Node 54766)
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

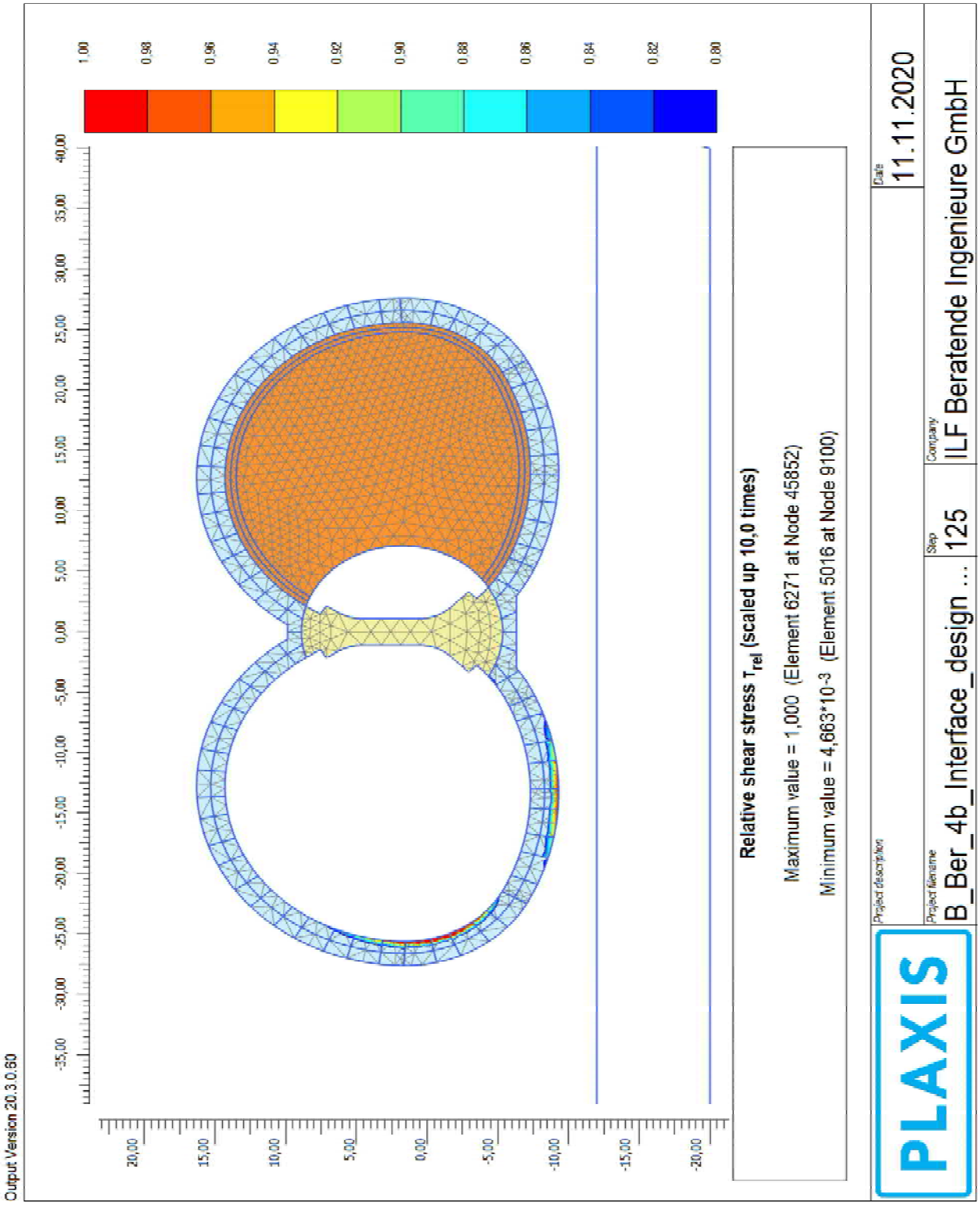

Output Version 20.3.0.60
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10-3 times)
Maximum value = 10,94*10³ kN/m² (Element 6646 at Node 82019)
Minimum value = -10,72*10³ kN/m² (Element 10022 at Node 42950)
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS

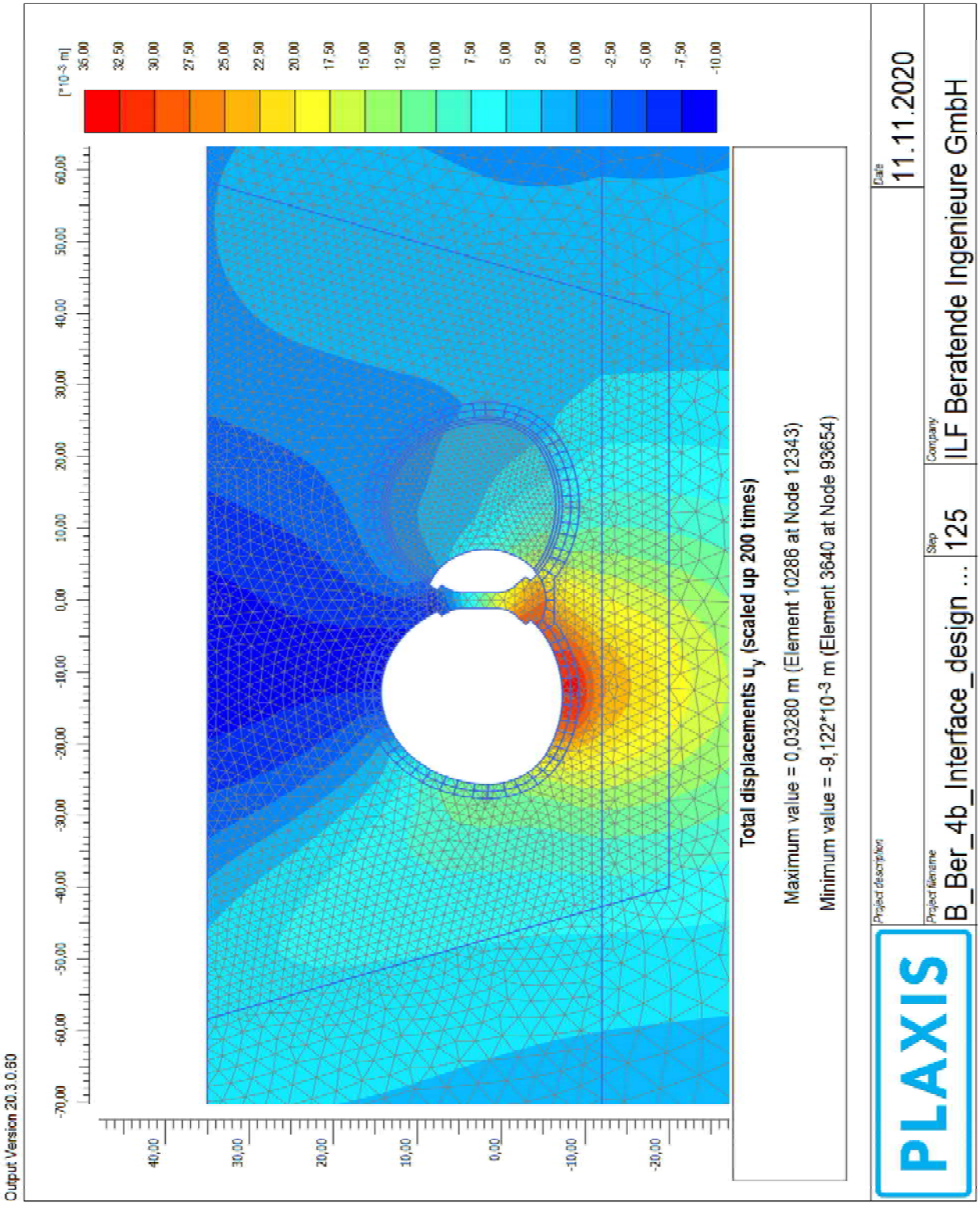

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-70,00
-60,00
-50,00
-40,00
-30,00
-20,00
-10,00
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
50,00
60,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

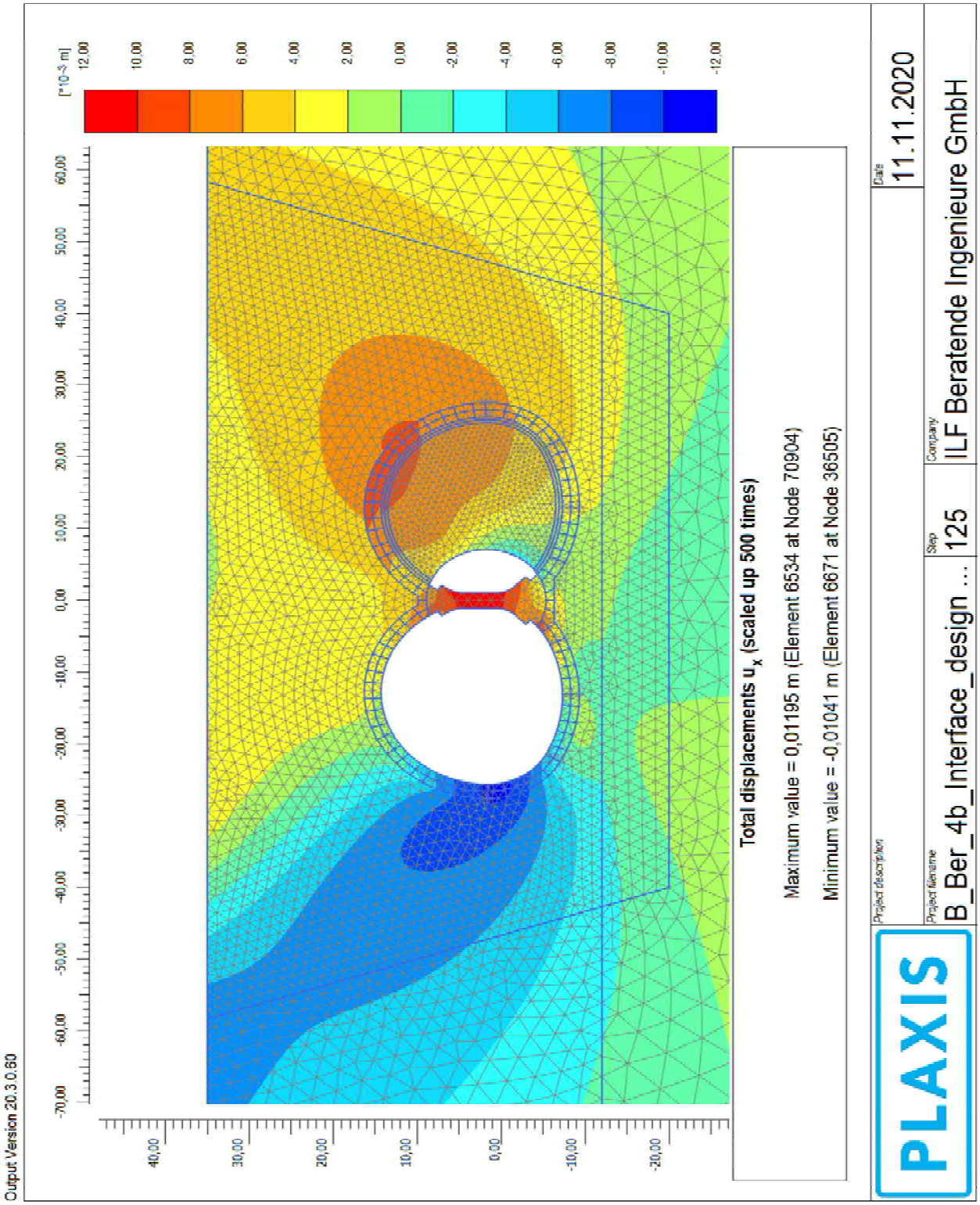

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020

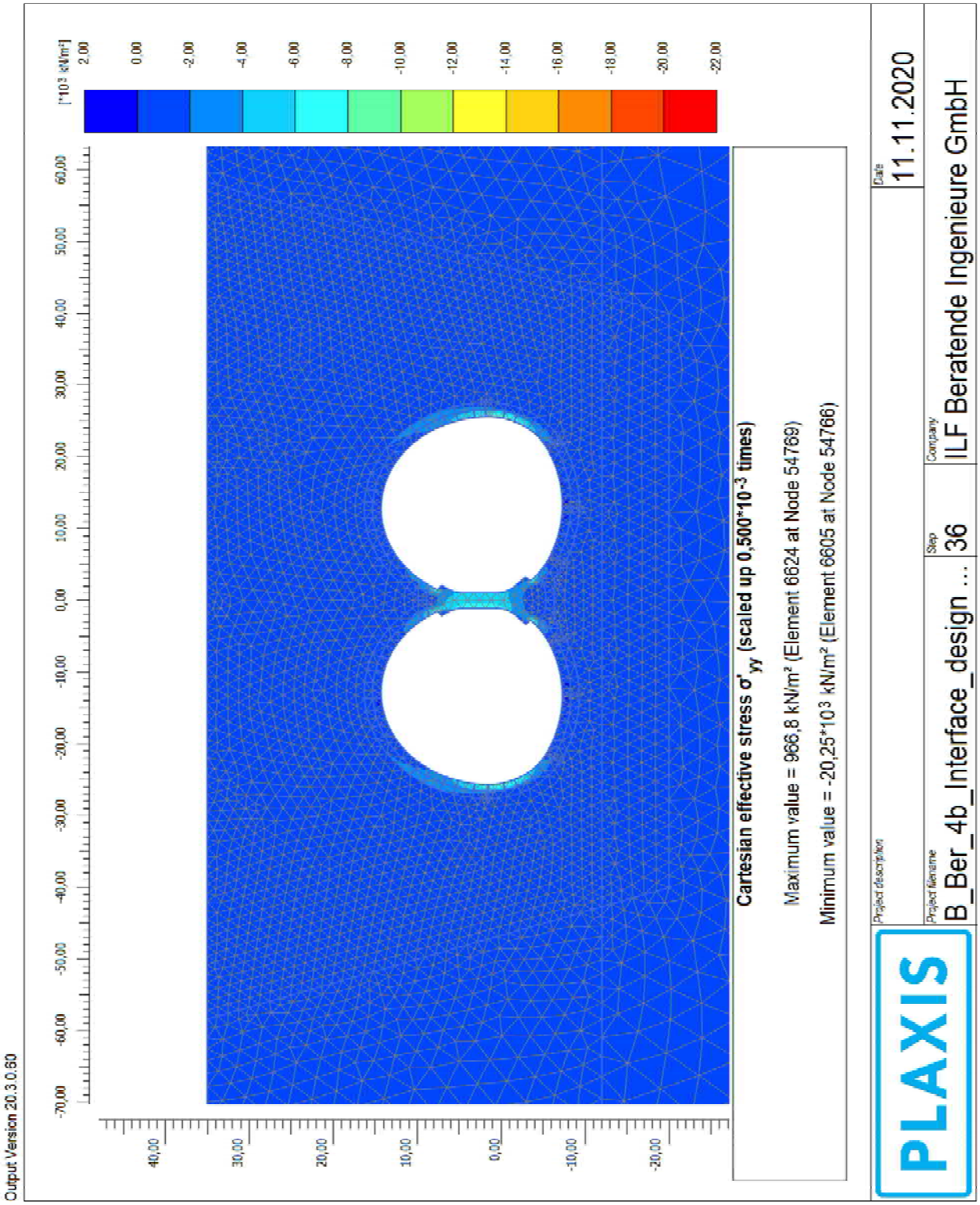

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS

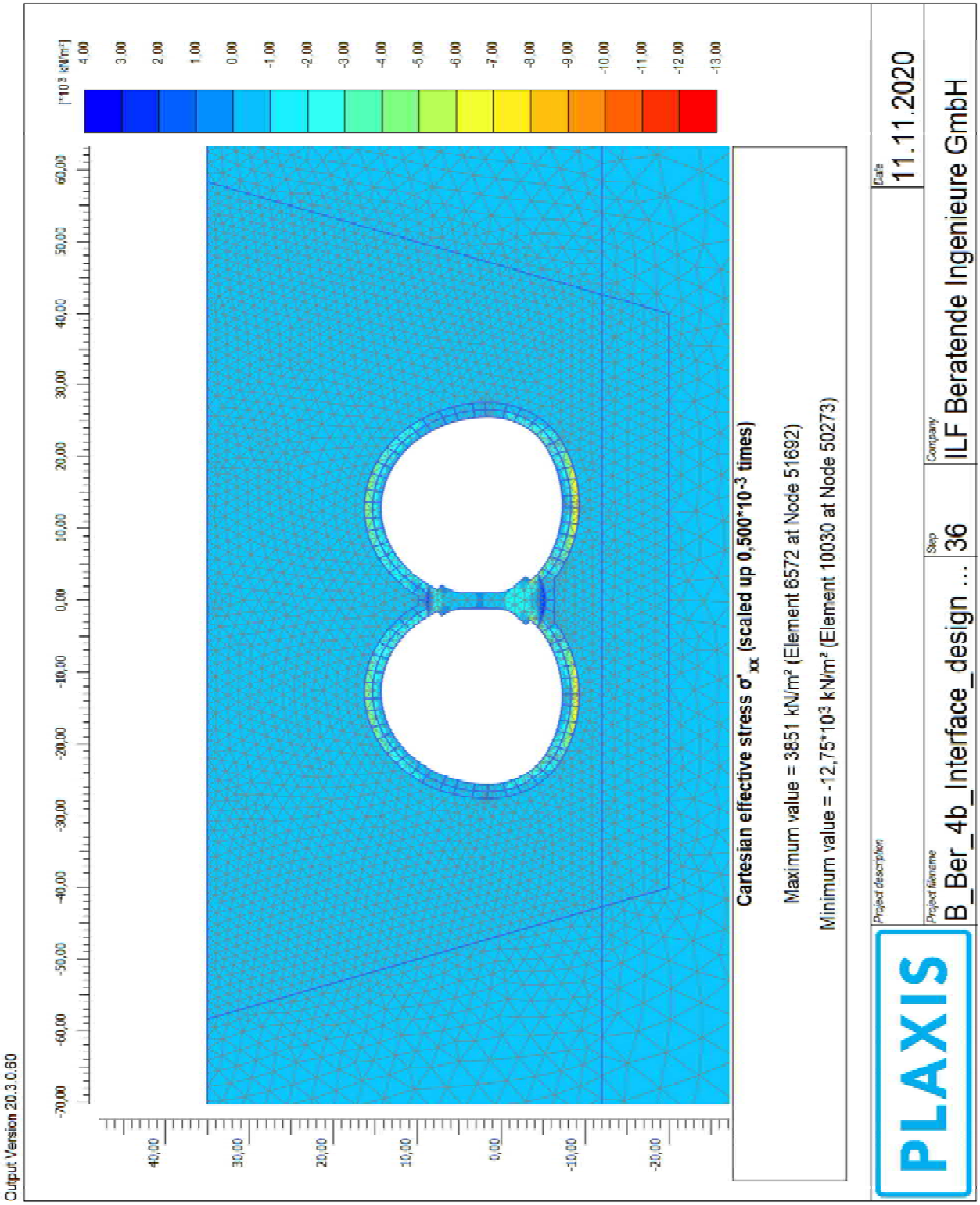

Output Version 20.3.0.60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6271 at Node 45852)
Minimum value = 4,663*10-3 (Element 5016 at Node 9100)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

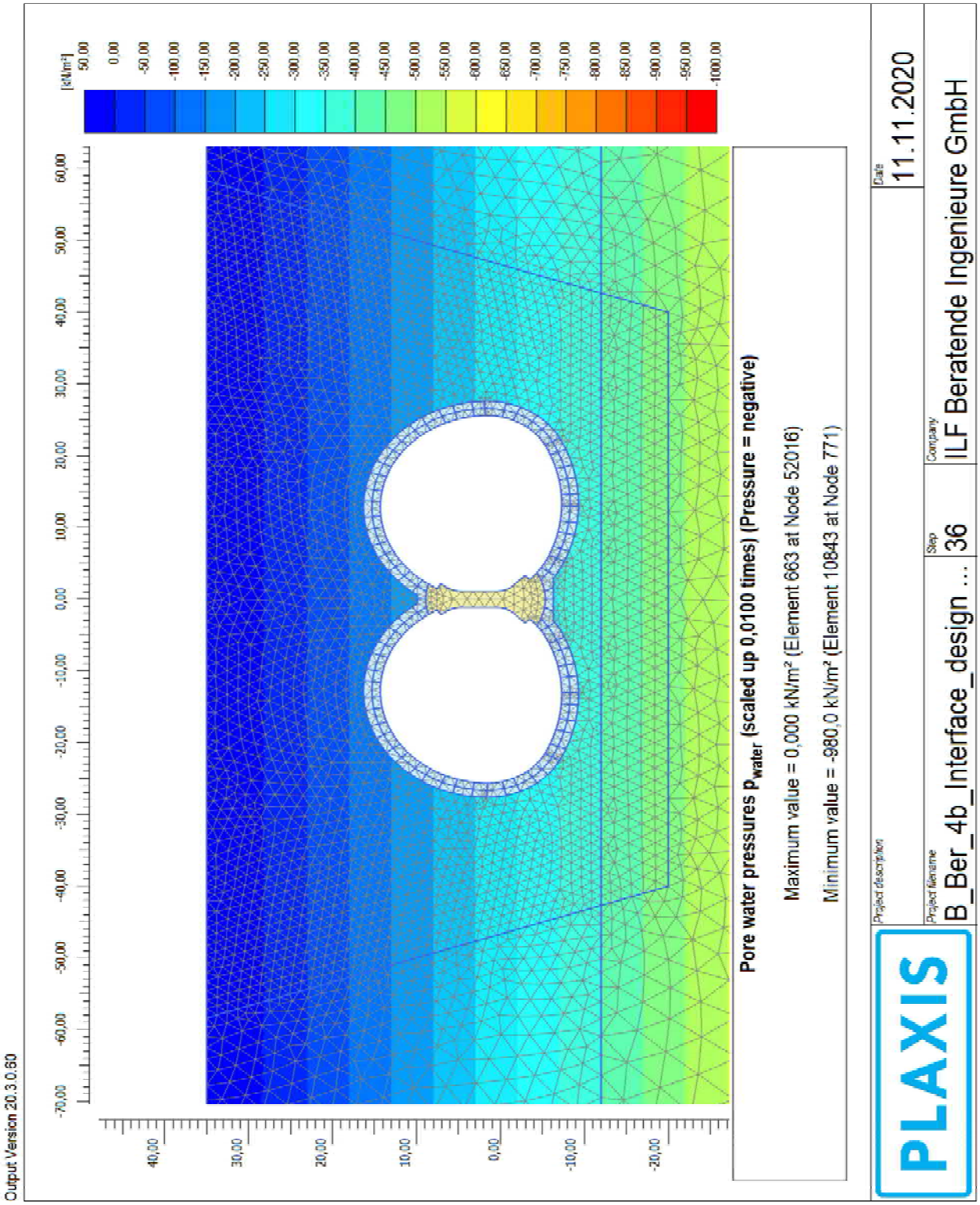

Output Version 20.3.0.60
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6271 at Node 45852)
Minimum value = 4,663*10-3 (Element 5016 at Node 9100)
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS

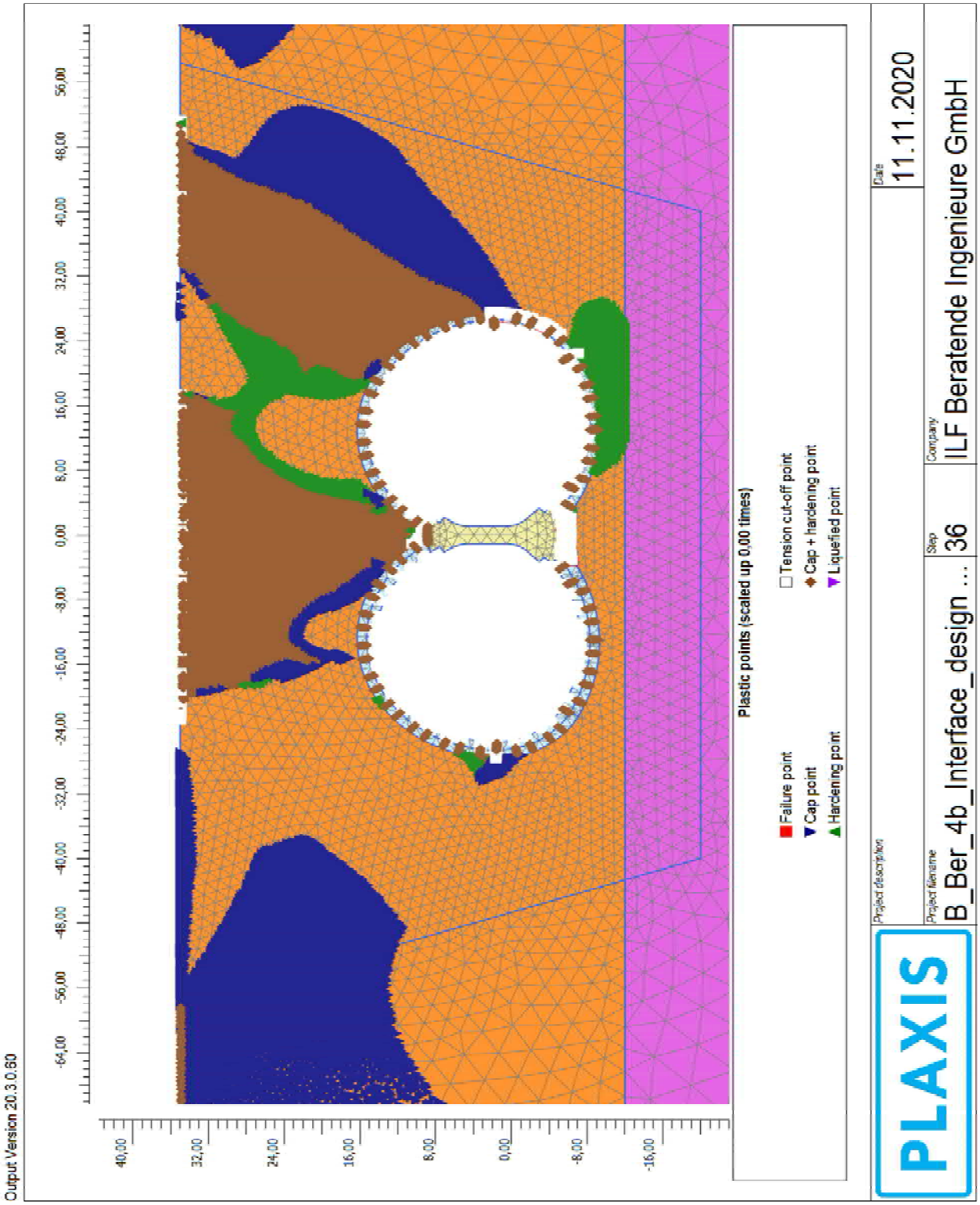

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
35,00
32,50
30,00
27,50
25,00
22,50
20,00
17,50
15,00
12,50
10,00
7,50
5,00
2,50
0,00
-2,50
-5,00
-7,50
-10,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,03280 m (Element 10286 at Node 12343)
Minimum value = -9,122*10^-3 m (Element 3640 at Node 93654)
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
PLAXIS

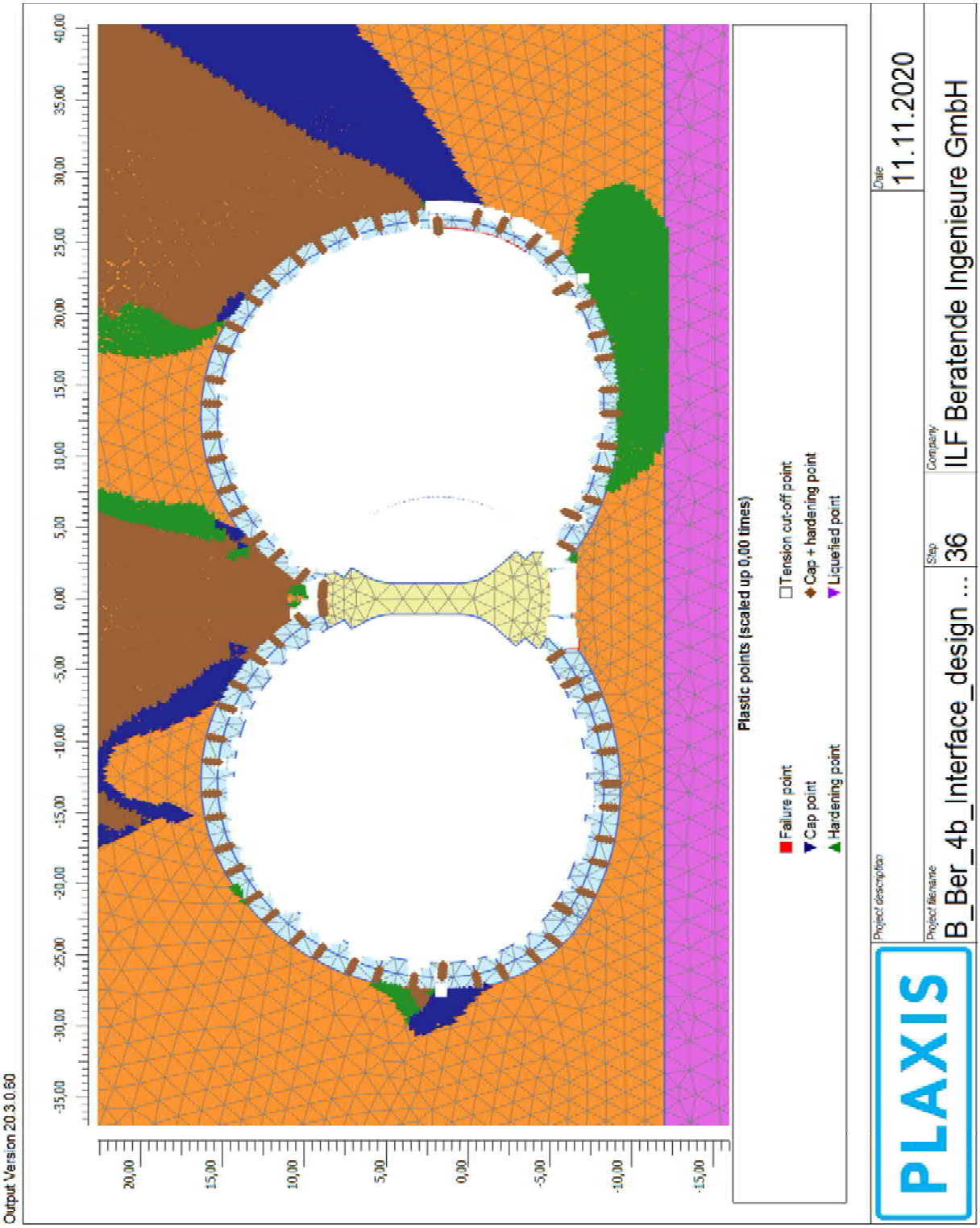

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01195 m (Element 6534 at Node 70904)
Minimum value = -0,01041 m (Element 6671 at Node 36505)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
125
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

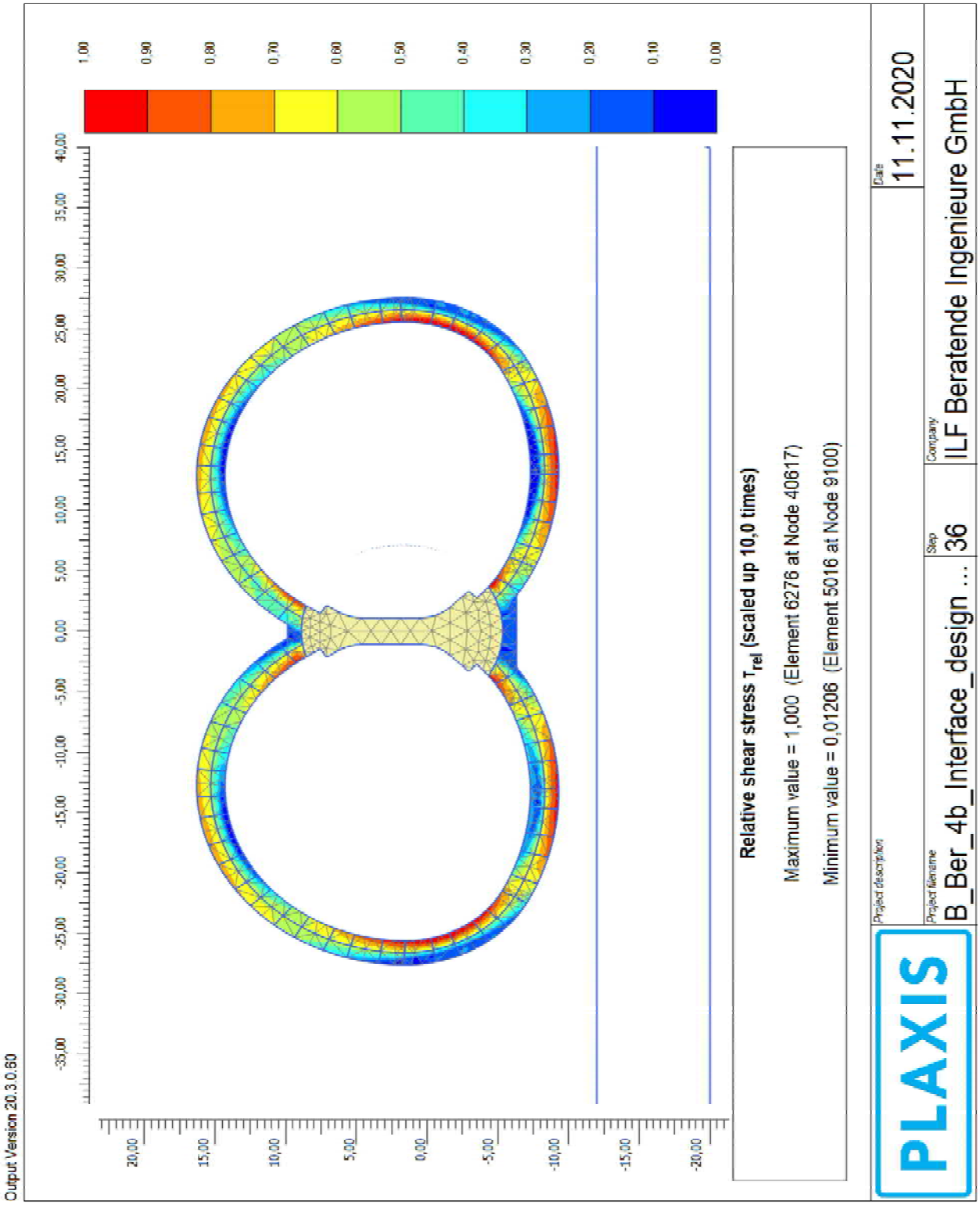

Output Version 20.3.0.60
[*10³ kN/m²]
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
-22,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10⁻³ times)
Maximum value = 966,8 kN/m² (Element 6624 at Node 54769)
Minimum value = -20,25*10³ kN/m² (Element 6605 at Node 54766)
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

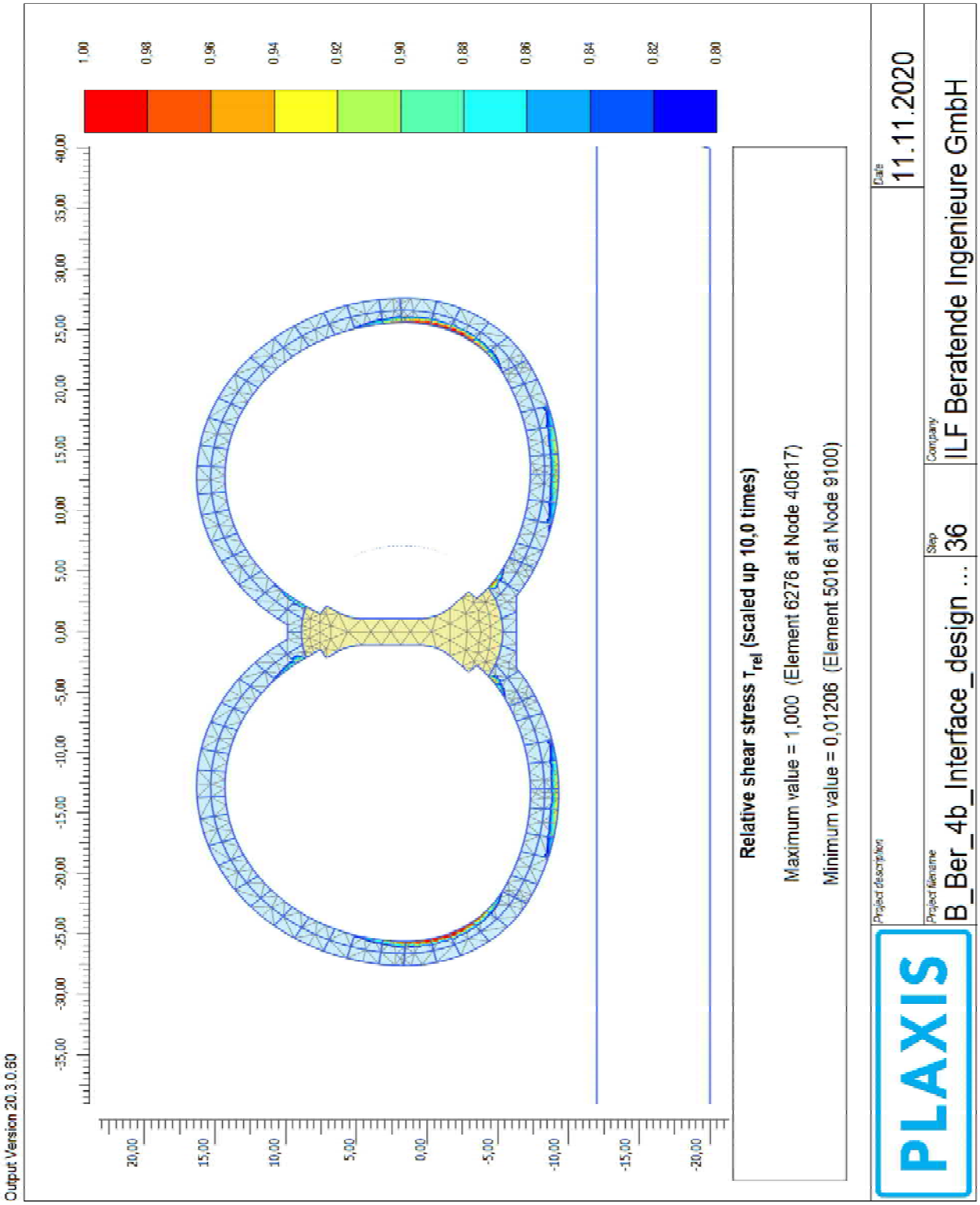

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-8,00
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
-13,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 3851 kN/m² (Element 6572 at Node 51692)
Minimum value = -12,75*10^3 kN/m² (Element 10030 at Node 50273)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

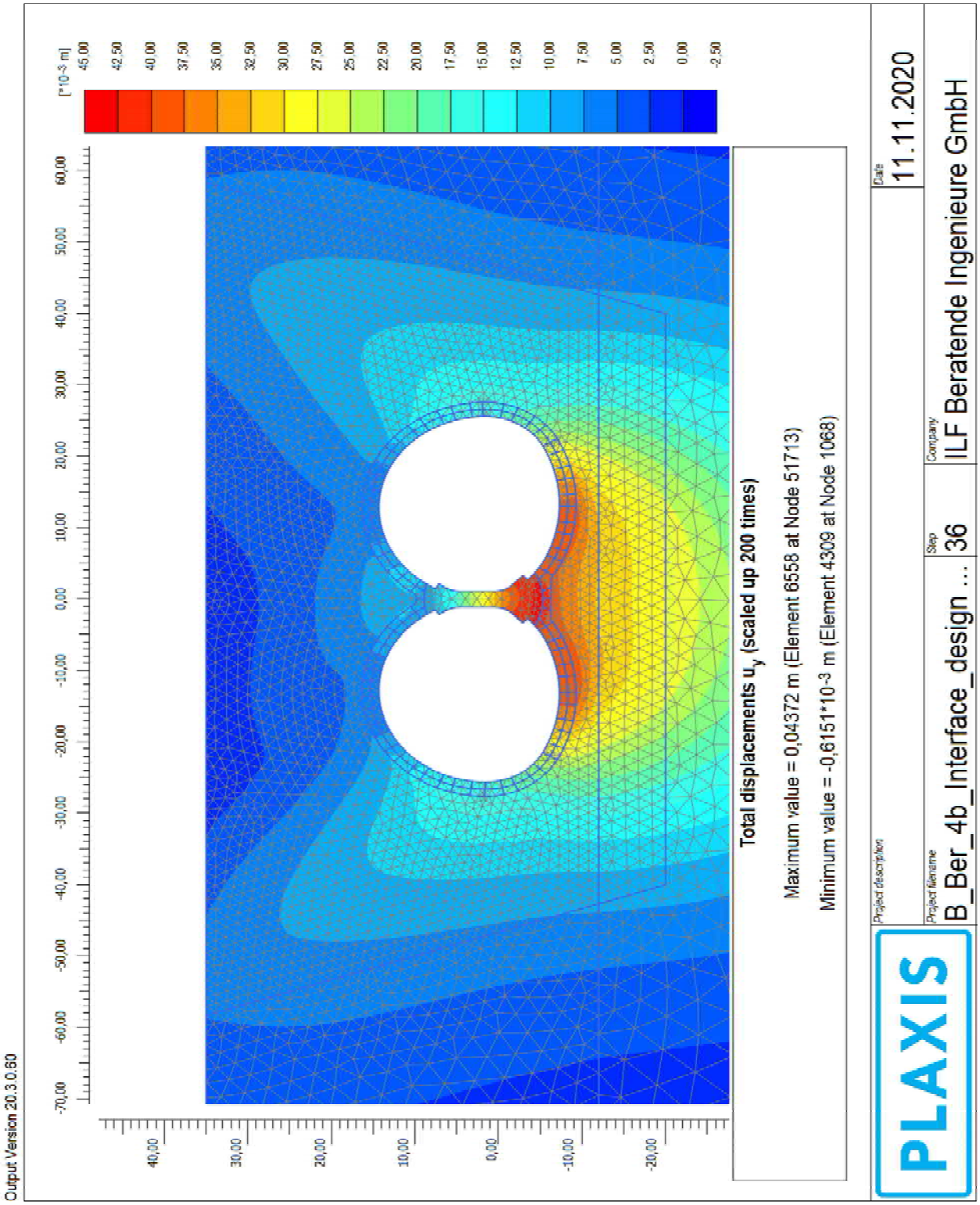

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

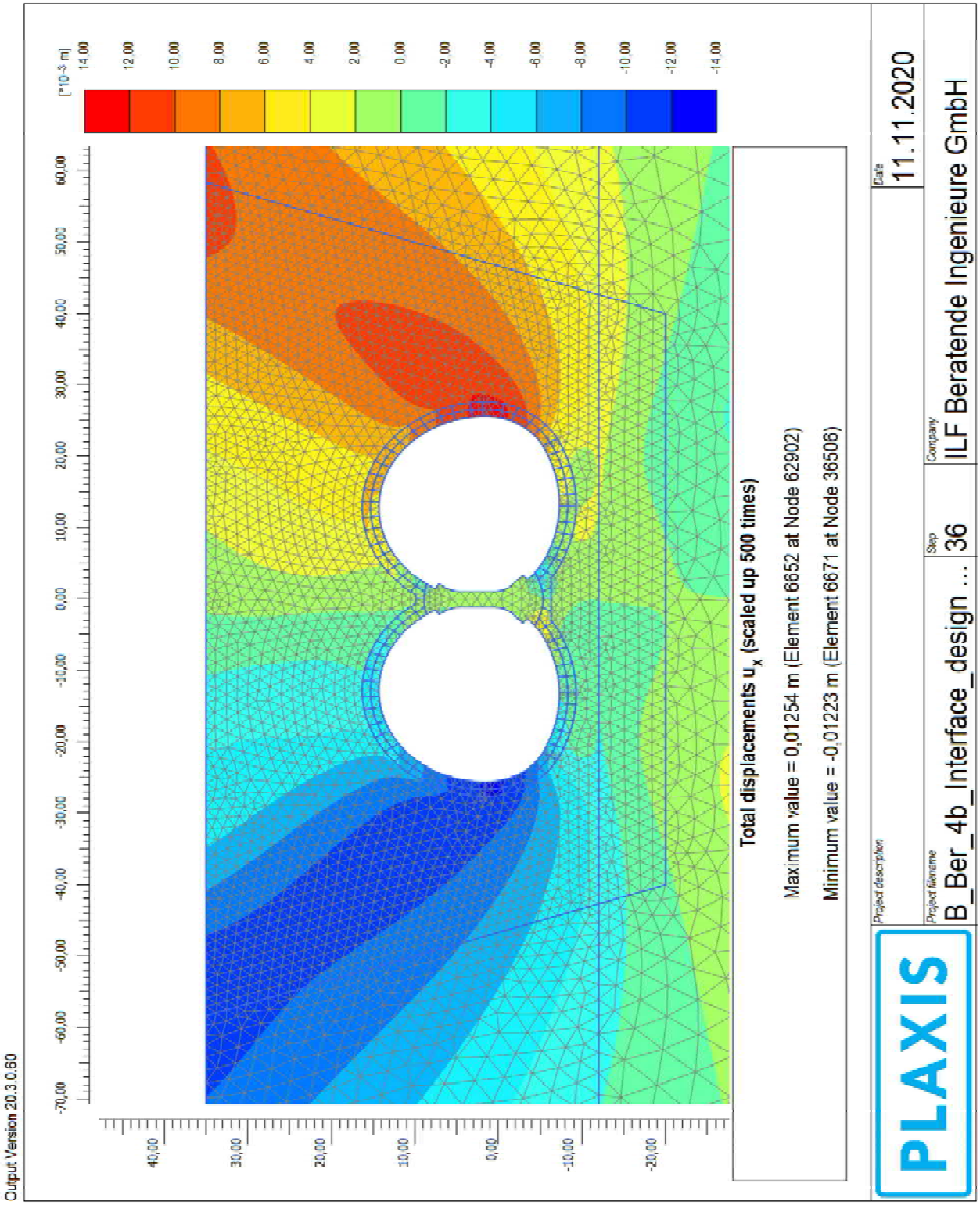

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
-35,00
-30,00
-25,00
-20,00
-15,00
-10,00
-5,00
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6276 at Node 40617)
Minimum value = 0,01206 (Element 5016 at Node 9100)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6276 at Node 40617)
Minimum value = 0,01206 (Element 5016 at Node 9100)
Project description
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10-3 m]
45,00
42,50
40,00
37,50
35,00
32,50
30,00
27,50
25,00
22,50
20,00
17,50
15,00
12,50
10,00
7,50
5,00
2,50
0,00
-2,50
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,04372 m (Element 6558 at Node 51713)
Minimum value = -0,6151*10-3 m (Element 4309 at Node 1068)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-70,00
-60,00
-50,00
-40,00
-30,00
-20,00
-10,00
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
50,00
60,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01254 m (Element 6652 at Node 62902)
Minimum value = -0,01223 m (Element 6671 at Node 36506)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4b_Interface_design ...
Step
36
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

Anlage 2: Ergebnisse numerische Berechnung – Notfallmaßnahmen Bauzustand

Hardening Soil:

Material set	
Identification number	1
Identification	Frankfurter Ton
Material model	Hardening soil
Drainage type	Drained
Colour	RGB 245, 142, 46
Comments	

General properties		
γ_{unsat}	kN/m³	19,00
γ_{sat}	kN/m³	19,00

Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{oed}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{ur}^{ref}	kN/m²	73,20E3
power (m)		1,000

Strength		
c_{ref}	kN/m²	20,00
φ (phi)	°	20,00
ψ (psi)	°	0,000

Mohr Coulomb:

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton Rohr non porous	Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Fuge_Rohr_Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 195, 229, 249	RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 232, 161, 209
Comments					
General properties					
γ_{unsat}	kN/m³	24,00	22,00	0,000	0,000
γ_{sat}	kN/m³	24,00	22,00	0,000	0,000

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton Rohr non porous	Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Fuge_Rohr_Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous	Non-porous
Colour		RGB 195, 229, 249	RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 232, 161, 209
Stiffness					
E	kN/m²	30,00E6	350,0E3	31,00E6	31,00E6
ν (nu)		0,1500	0,2000	0,1500	0,1500
Alternatives					
G	kN/m²	13,04E6	145,8E3	13,48E6	13,48E6
E_{oed}	kN/m²	31,68E6	388,9E3	32,73E6	32,73E6
Strength					
c_{ref}	kN/m²	1950	15,00	100,0	100,0
φ (phi)	°	40,00	32,50	20,00	20,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000
Velocities					
V_s	m/s	2309	255,0	0,000	0,000
V_p	m/s	3598	416,4	0,000	0,000
Advanced					
Set to default values		☑	☑	☑	☑
Stiffness					
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength					
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		☑	☑	☑	☑
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000	0,000

Linear elastisch:

Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156
Comments		

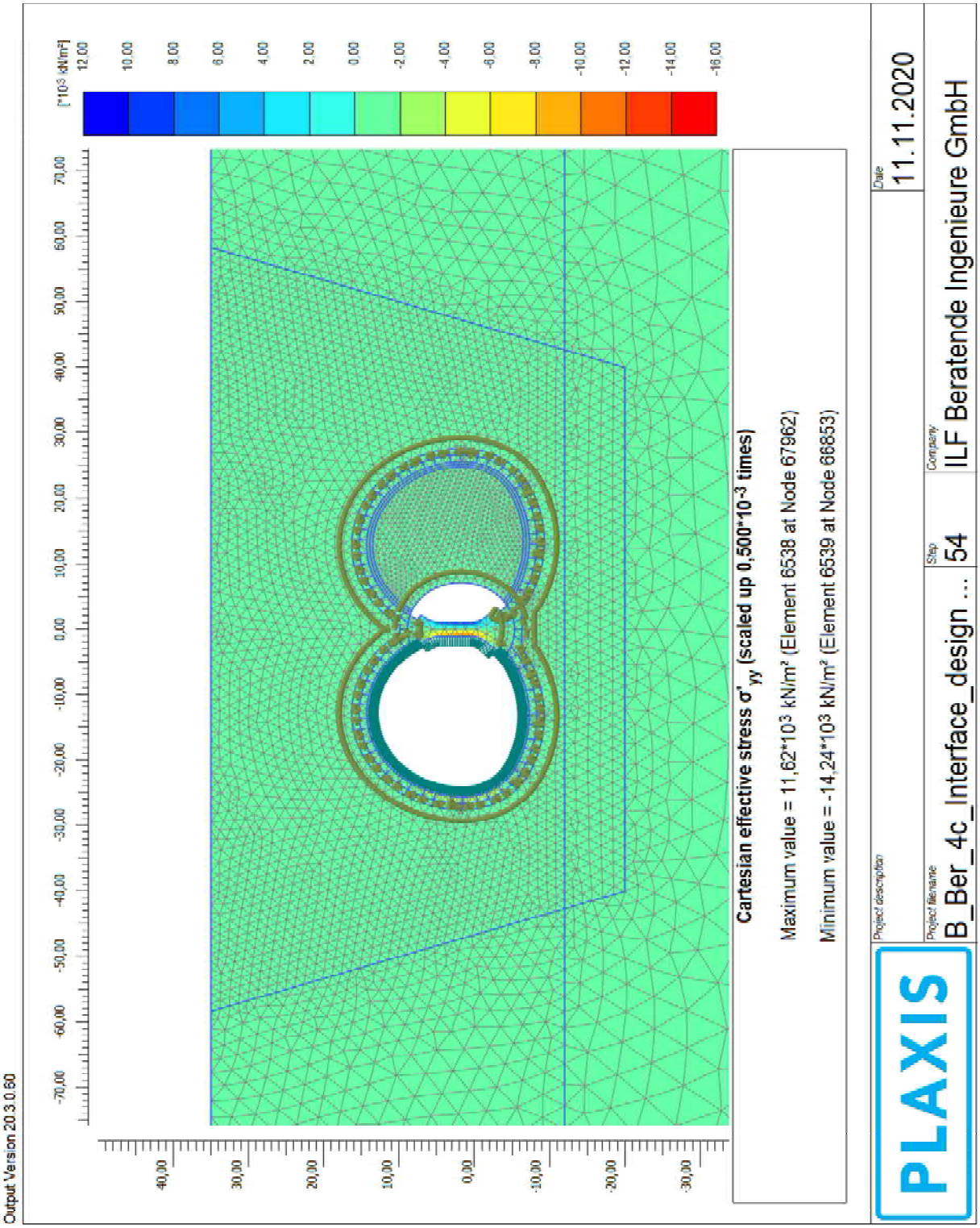
General properties			
γ_{unsat}	kN/m³	25,00	25,00
γ_{sat}	kN/m³	25,00	25,00

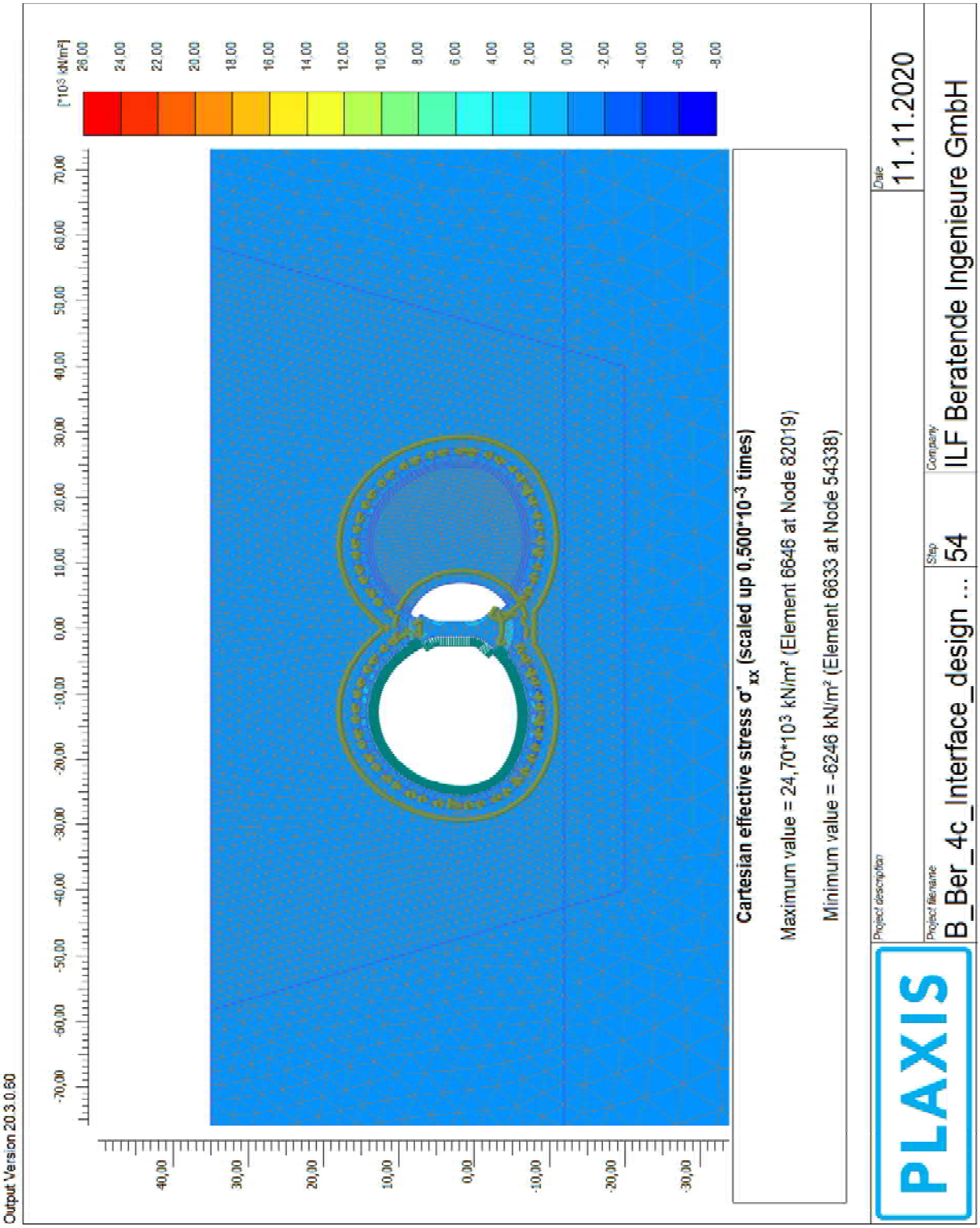
Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156

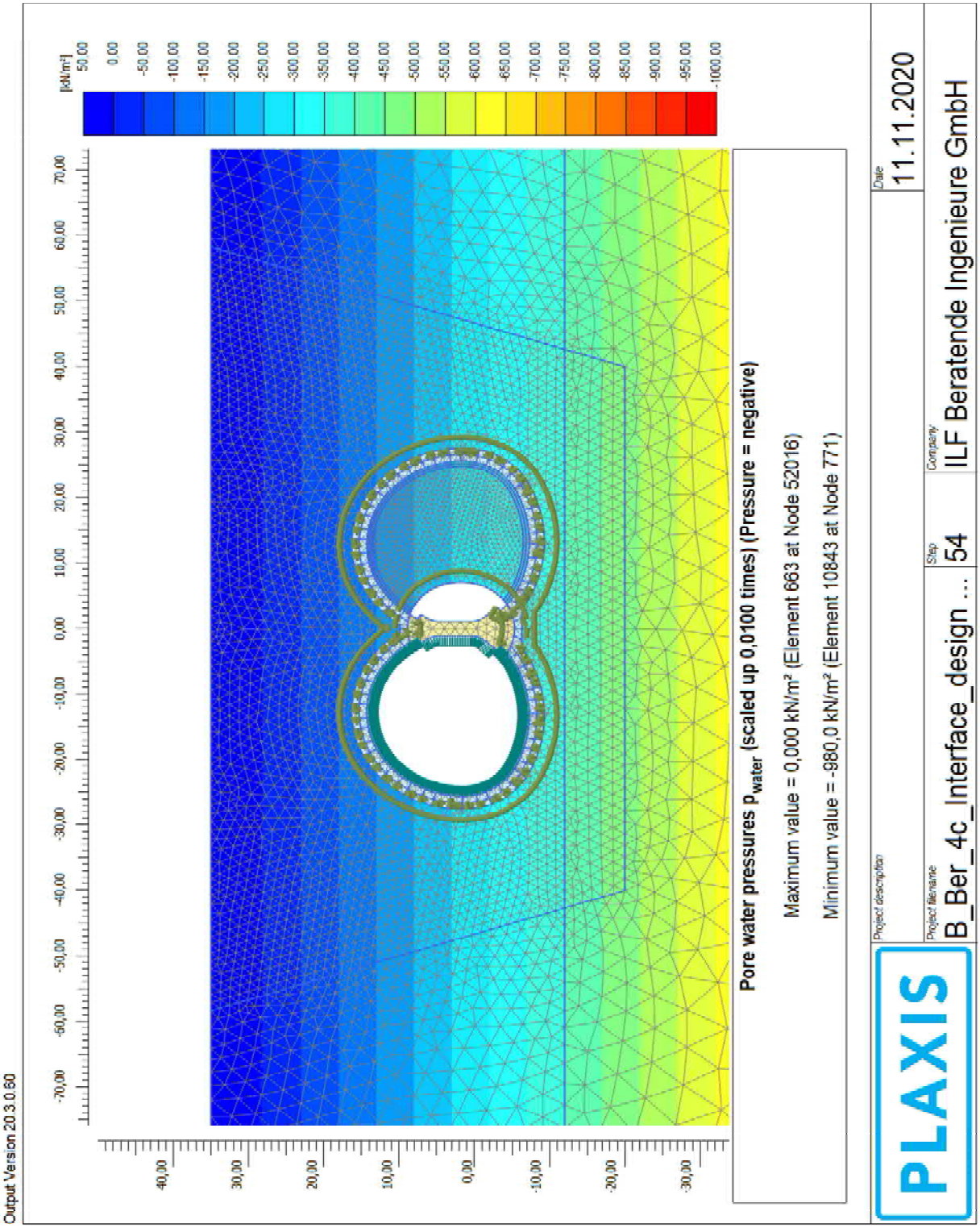
Stiffness			
E	kN/m²	34,00E6	34,00E6
v (nu)		0,1500	0,1500

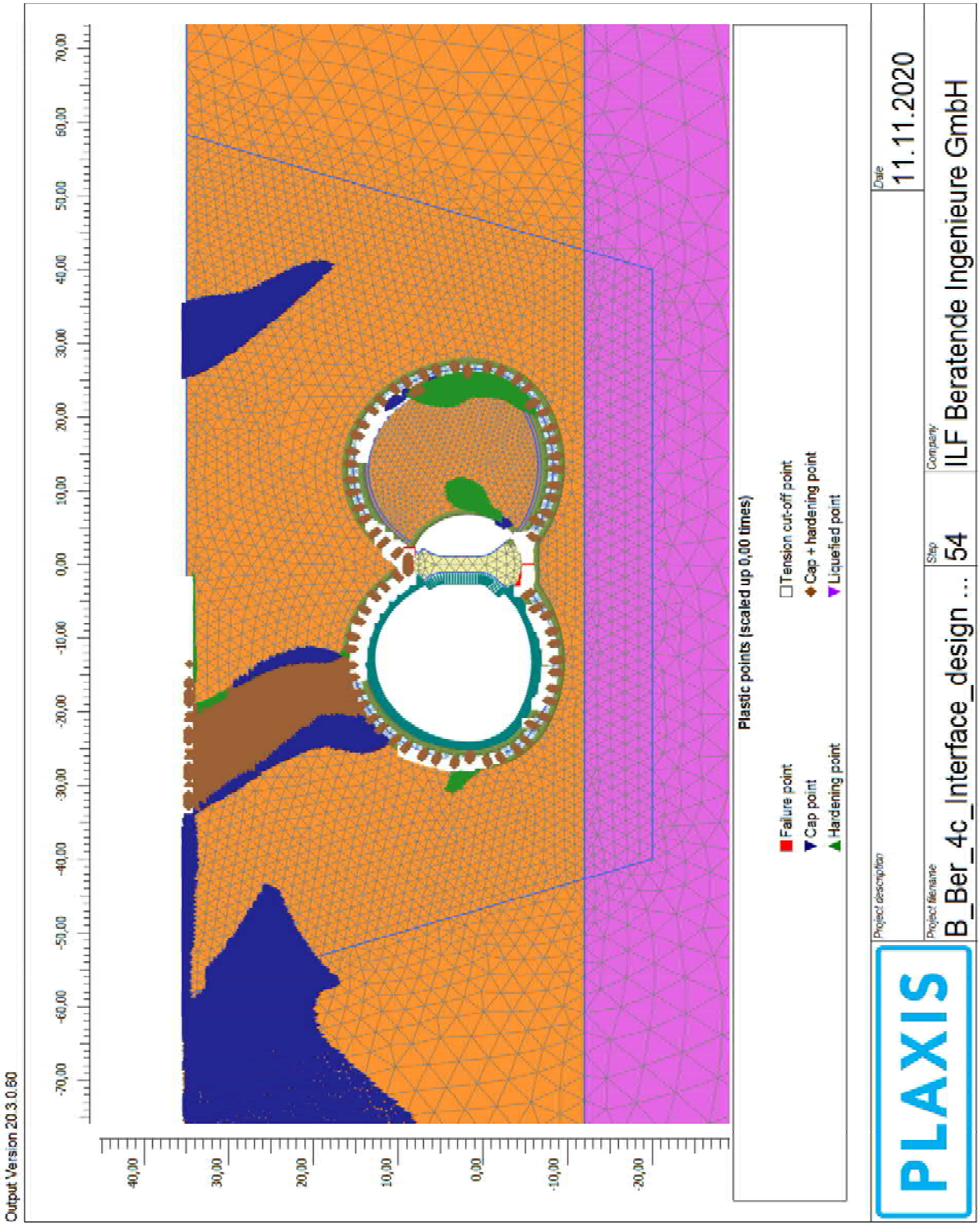
Balkenelemente:

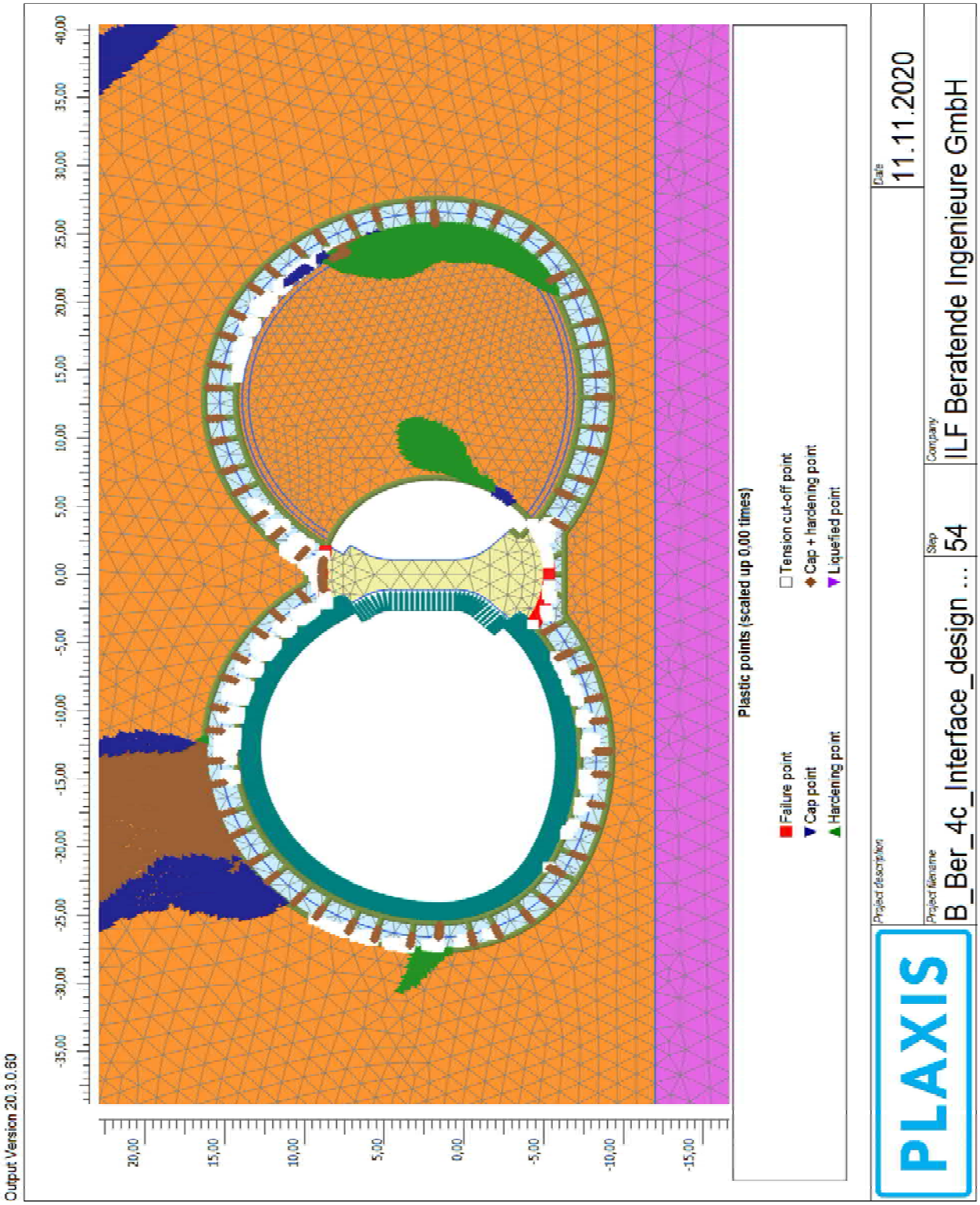
Material set		
Identification number		1
Identification		TBM
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		☑
EA_1	kN/m	22,20E6
EA_2	kN/m	22,20E6
EI	kN m²/m	333,0E3
d	m	0,4243
w	kN/m/m	9,300
v (nu)		0,1500
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Prevent punching		☑

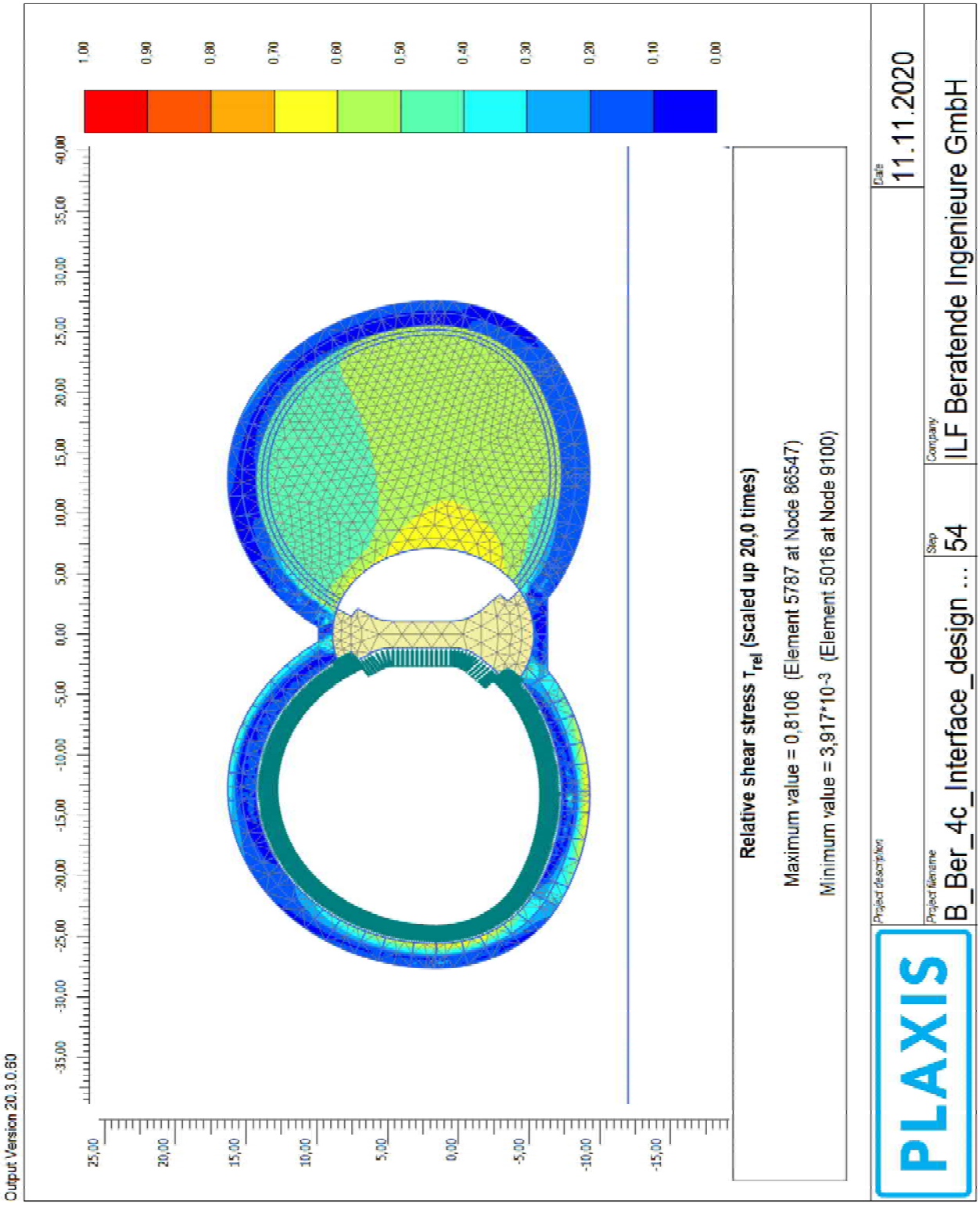

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 11,62*10^3 kN/m² (Element 6538 at Node 67962)
Minimum value = -14,24*10^3 kN/m² (Element 6539 at Node 66853)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

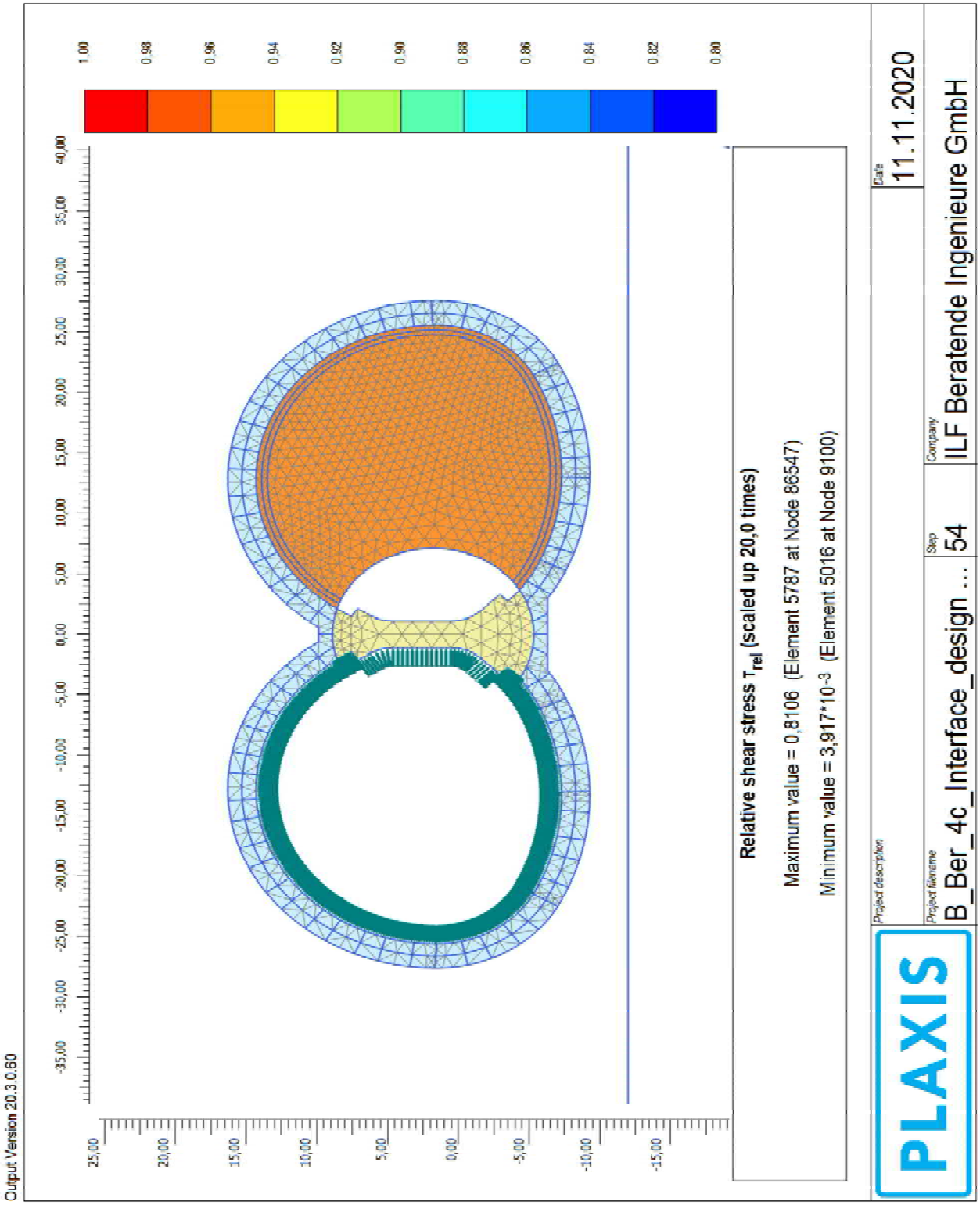

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
26,00
24,00
22,00
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 24,70*10^3 kN/m² (Element 6846 at Node 82019)
Minimum value = -6246 kN/m² (Element 6833 at Node 54338)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

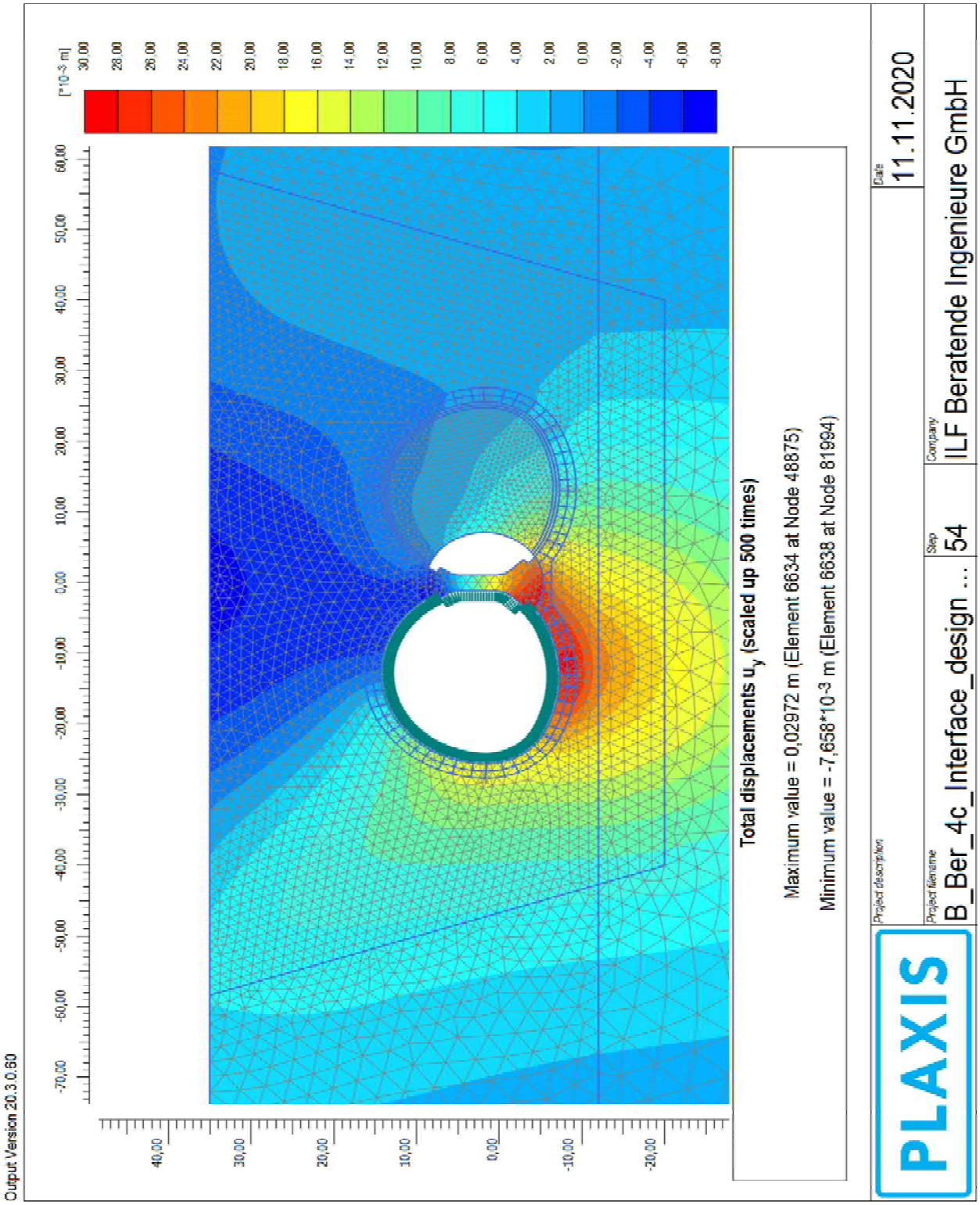

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

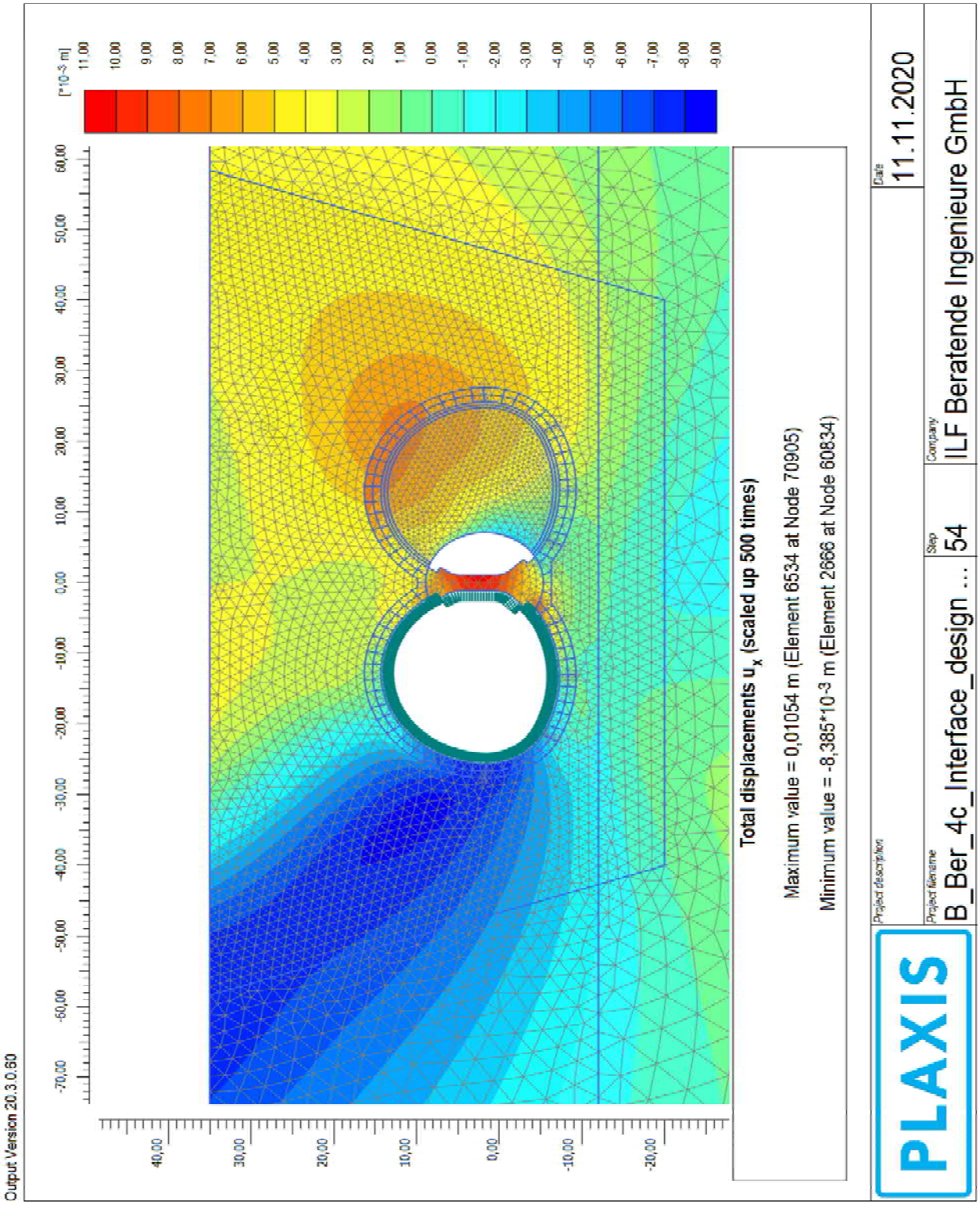

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

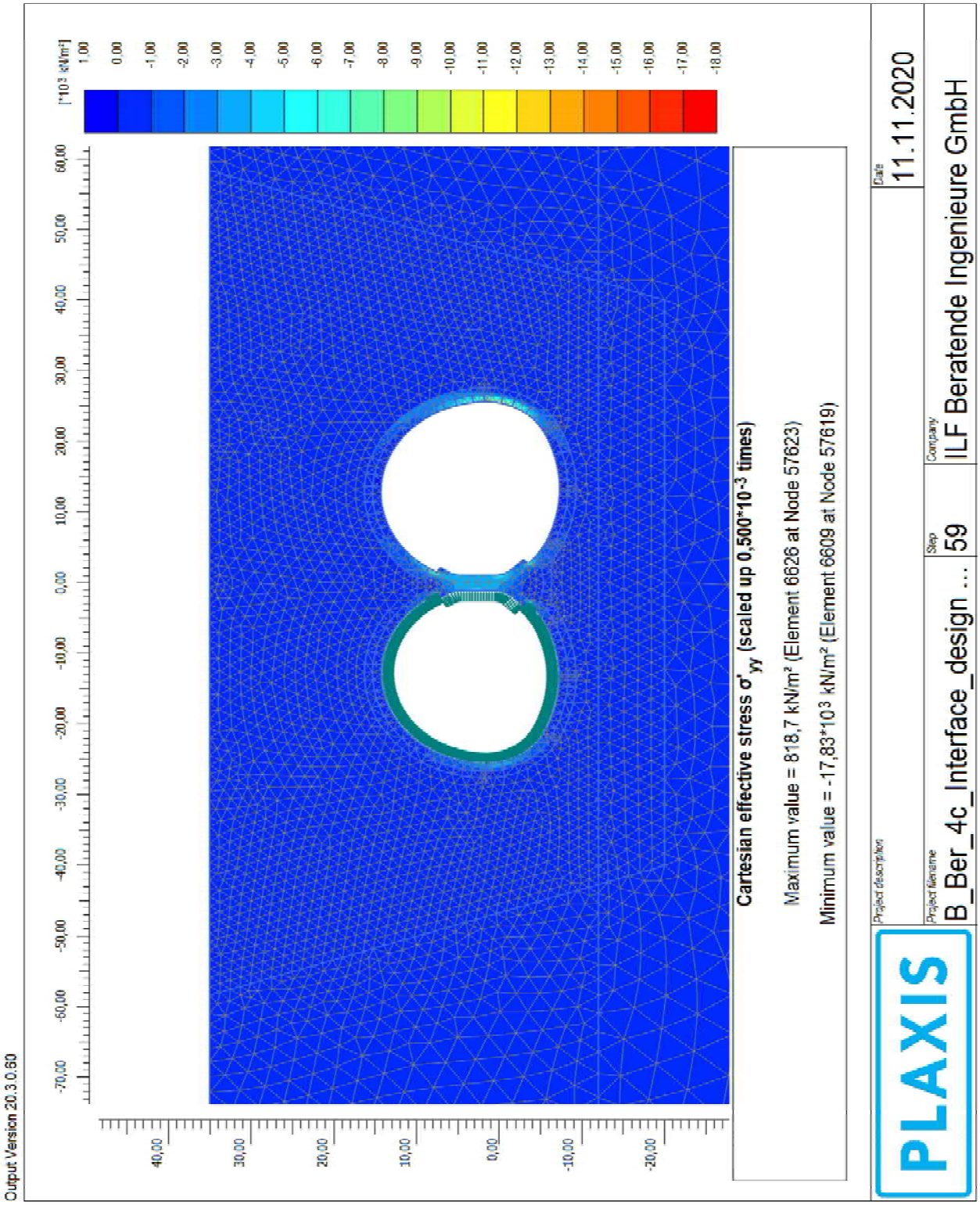

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020
PLAXIS

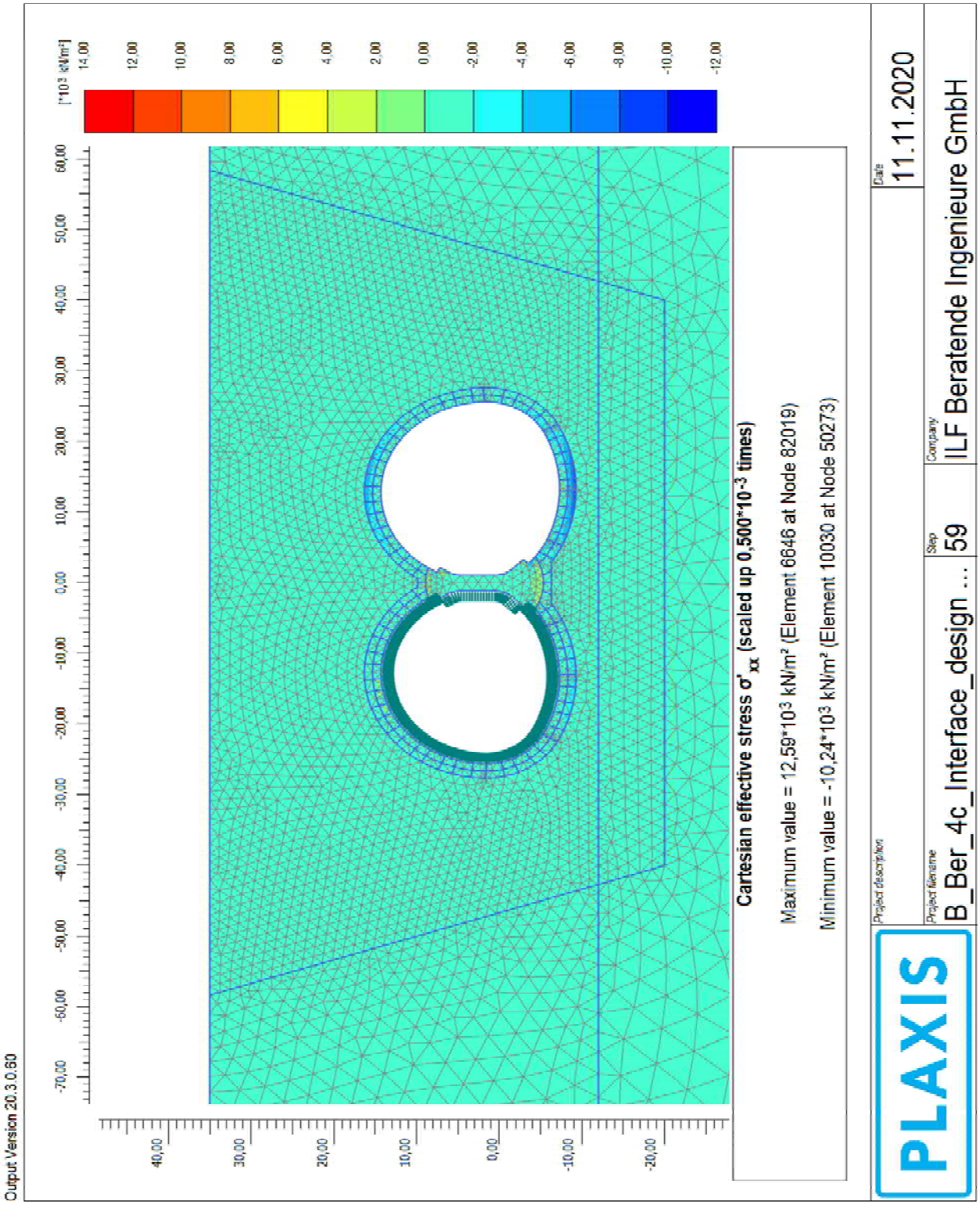

Output Version 20.3.0.60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 20,0 times)
Maximum value = 0,8106 (Element 5787 at Node 86547)
Minimum value = 3,917*10-3 (Element 5016 at Node 9100)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

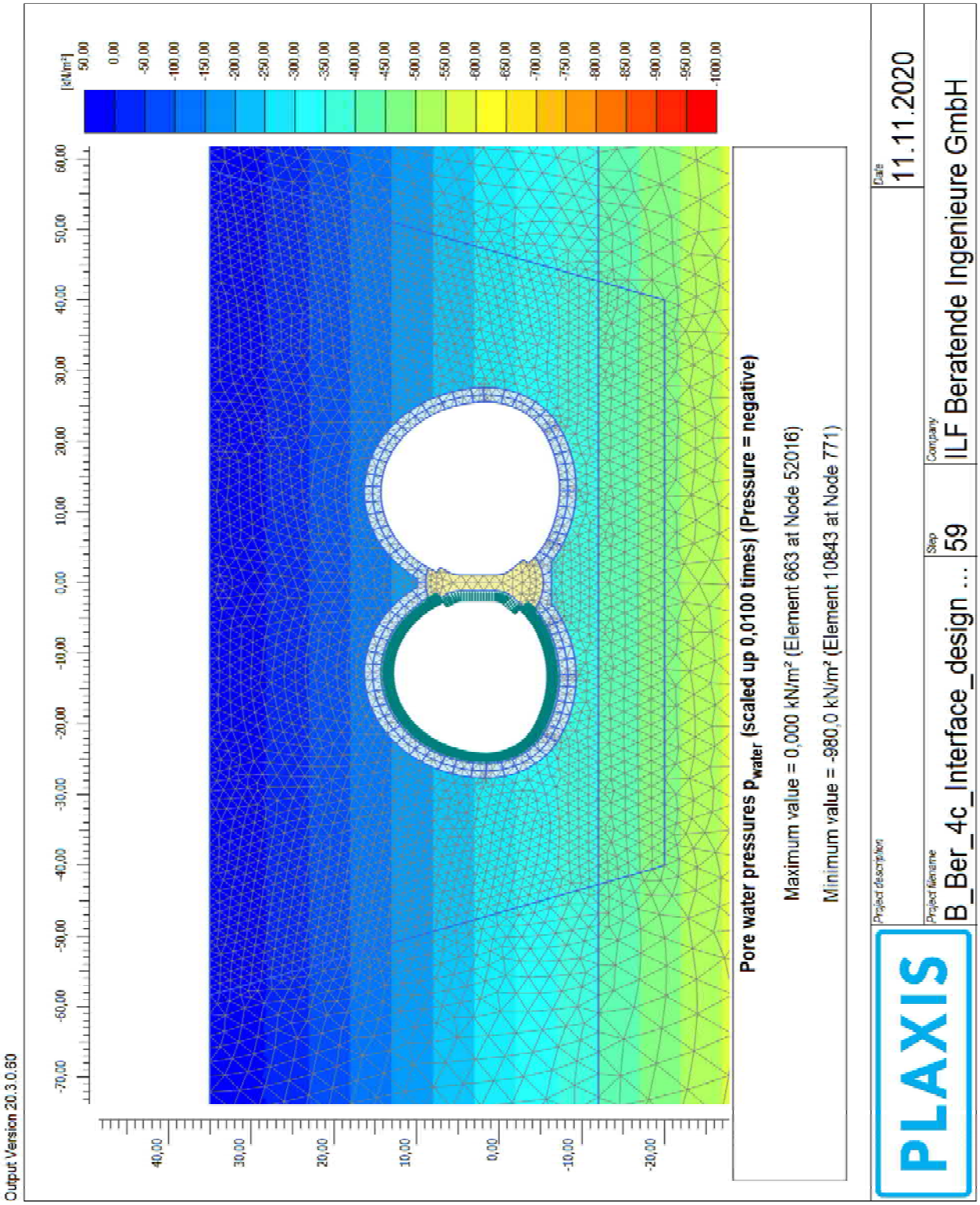

Output Version 20.3.0.60
1,00
0,98
0,96
0,94
0,92
0,90
0,88
0,86
0,84
0,82
0,80
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 20,0 times)
Maximum value = 0,8106 (Element 5787 at Node 86547)
Minimum value = 3,917*10-3 (Element 5016 at Node 9100)
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Step
54
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
PLAXIS

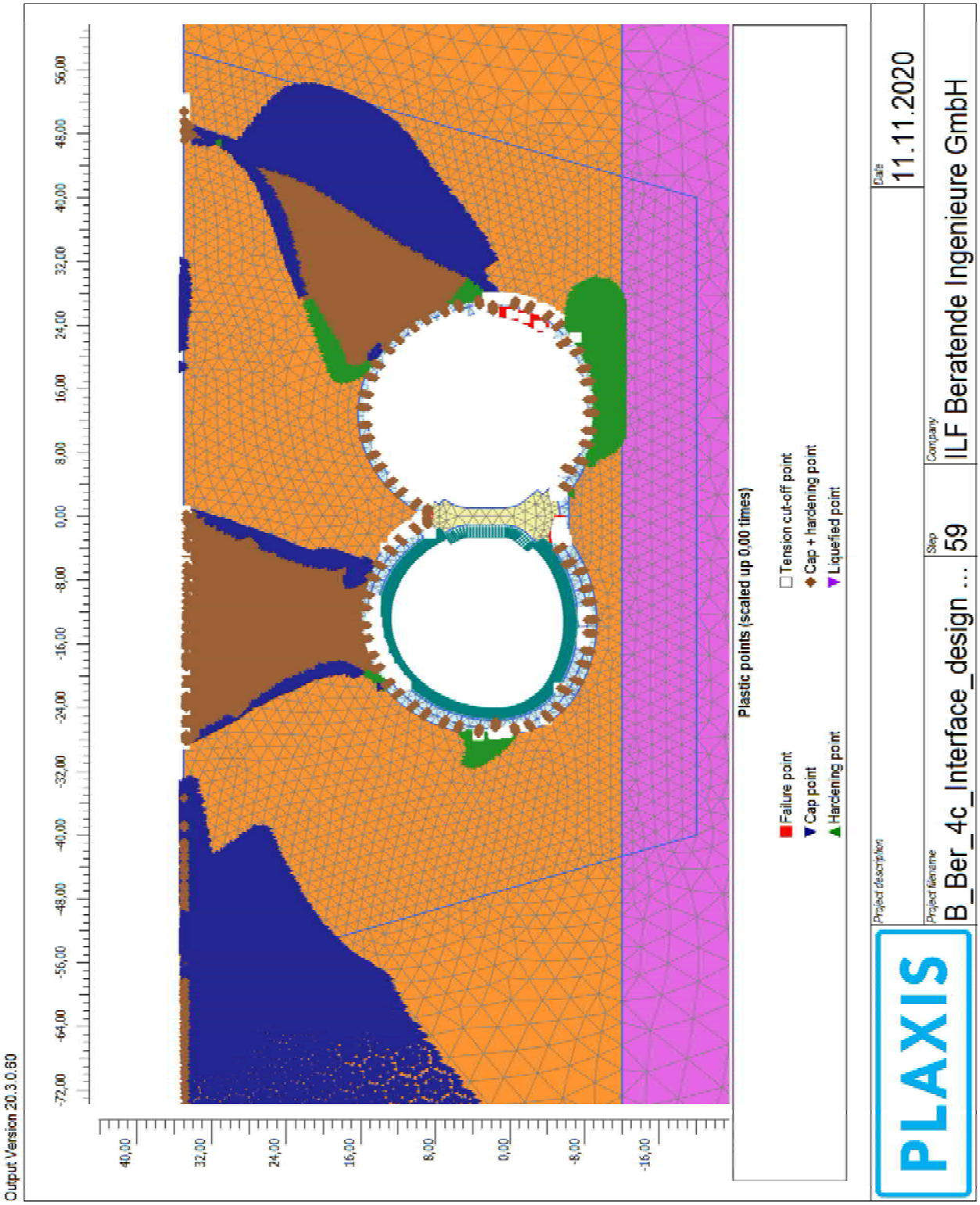

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
30,00
28,00
26,00
24,00
22,00
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-70,00
-60,00
-50,00
-40,00
-30,00
-20,00
-10,00
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
50,00
60,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
Total displacements u_y (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,02972 m (Element 6634 at Node 48875)
Minimum value = -7,658*10^-3 m (Element 6638 at Node 81984)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

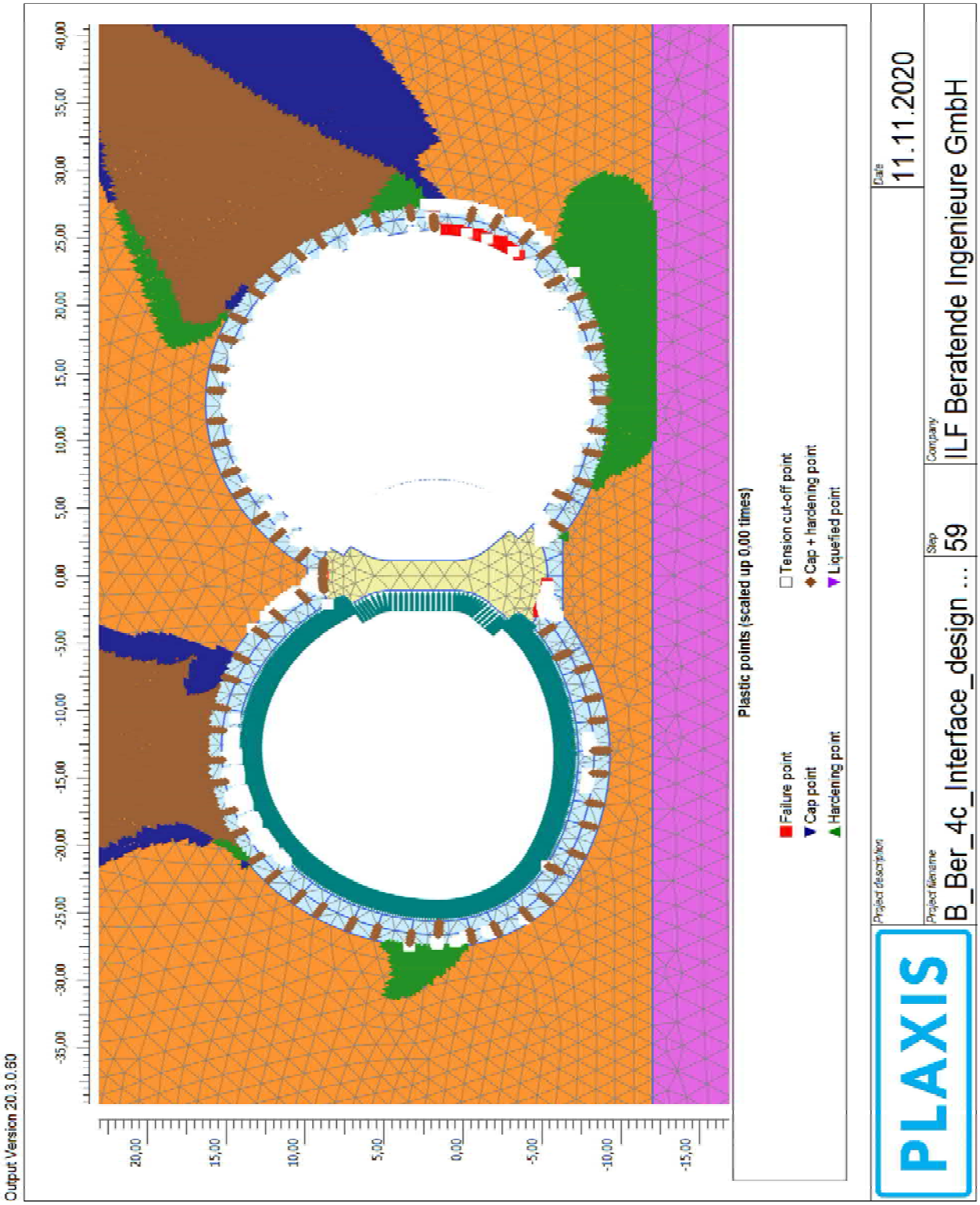

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
11,00
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-8,00
-9,00
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01054 m (Element 6534 at Node 70905)
Minimum value = -8,385*10^-3 m (Element 2666 at Node 60834)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

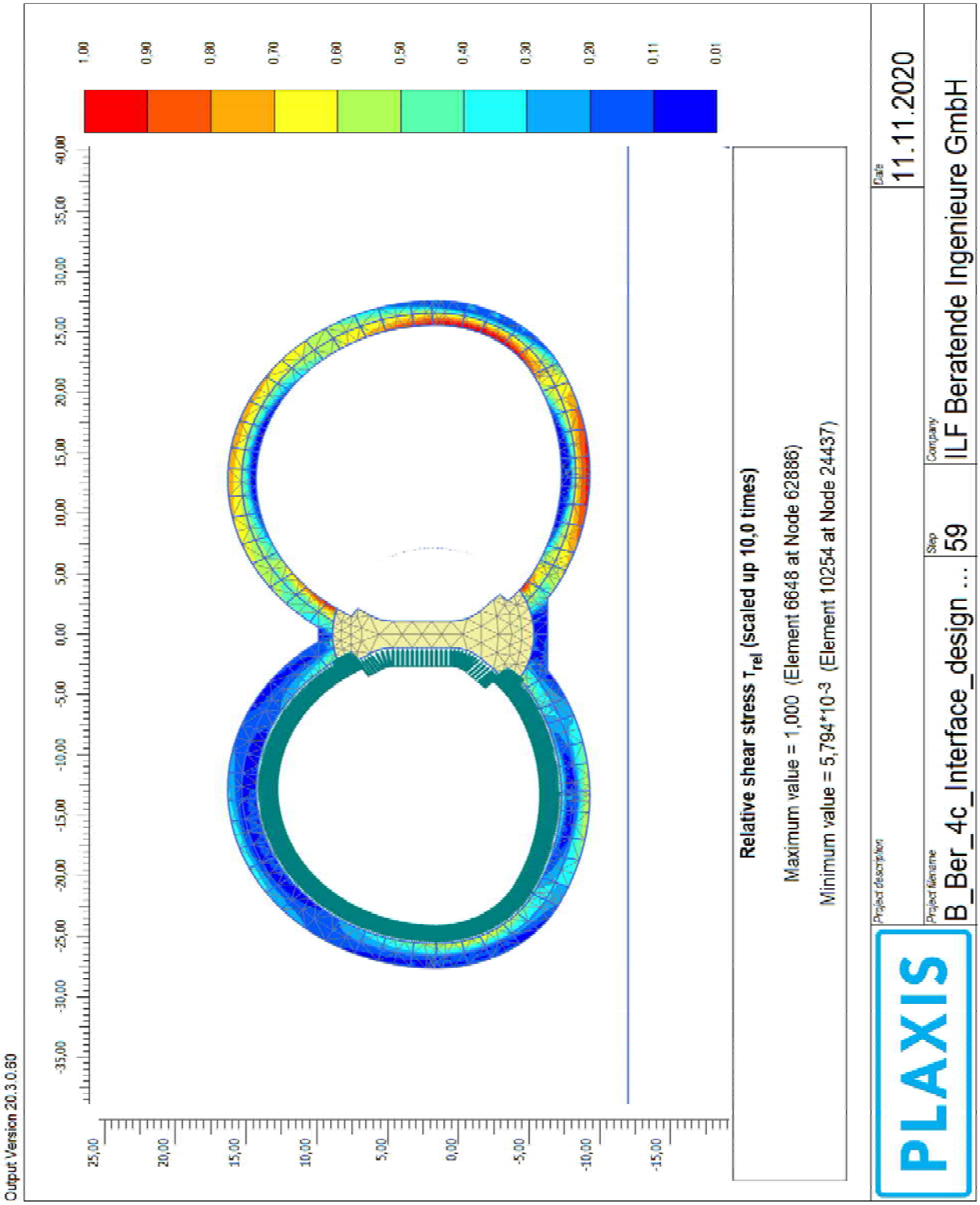

Output Version 20.3.0.60
[*10³ kN/m²]
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-8,00
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
-13,00
-14,00
-15,00
-16,00
-17,00
-18,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10⁻³ times)
Maximum value = 818,7 kN/m² (Element 6626 at Node 57623)
Minimum value = -17,83*10³ kN/m² (Element 6609 at Node 57619)
Project description
Date
11.11.2020
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

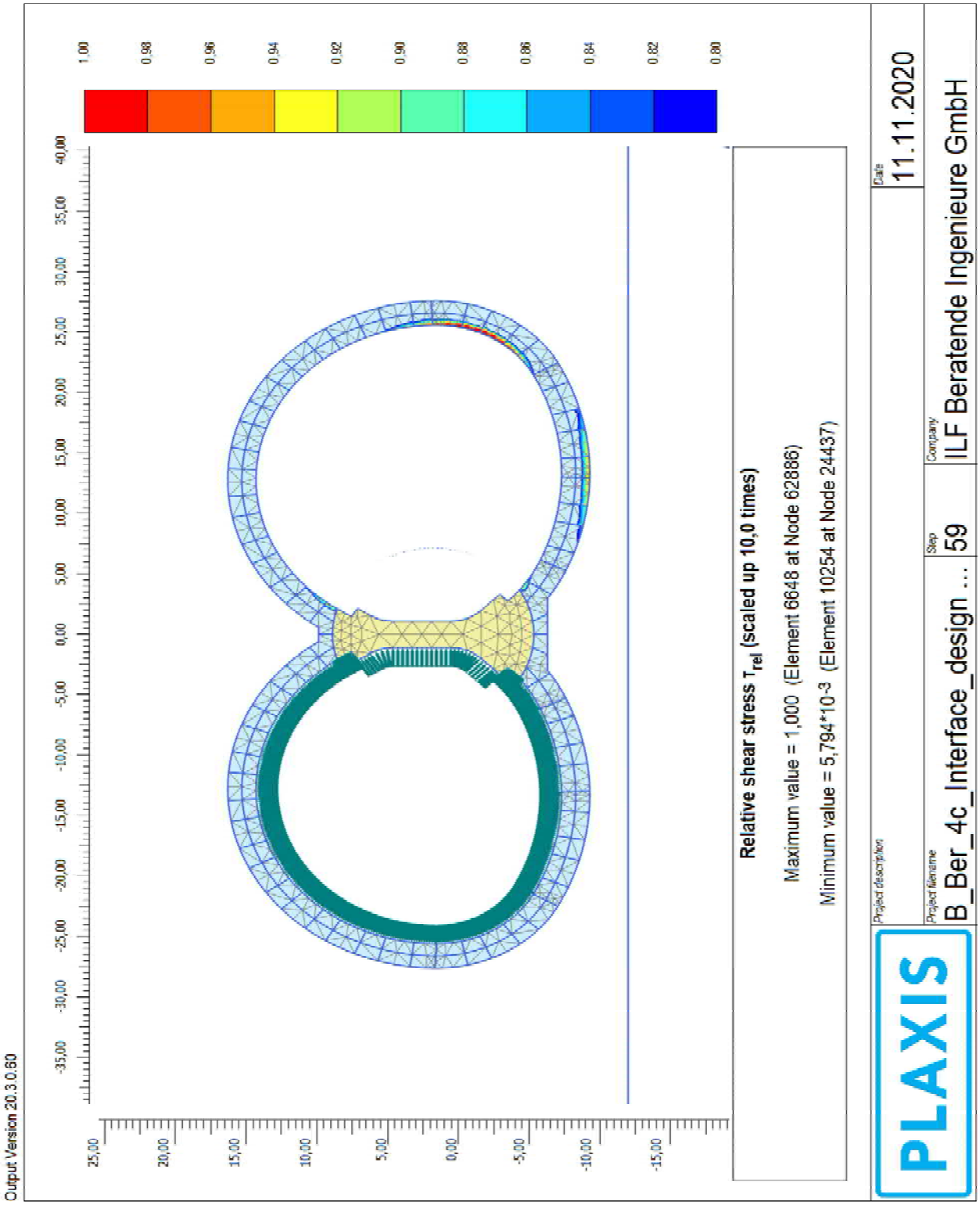

Output Version 20.3.0.60
[*10³ kN/m²]
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10⁻³ times)
Maximum value = 12,59*10³ kN/m² (Element 6646 at Node 82019)
Minimum value = -10,24*10³ kN/m² (Element 10030 at Node 50273)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

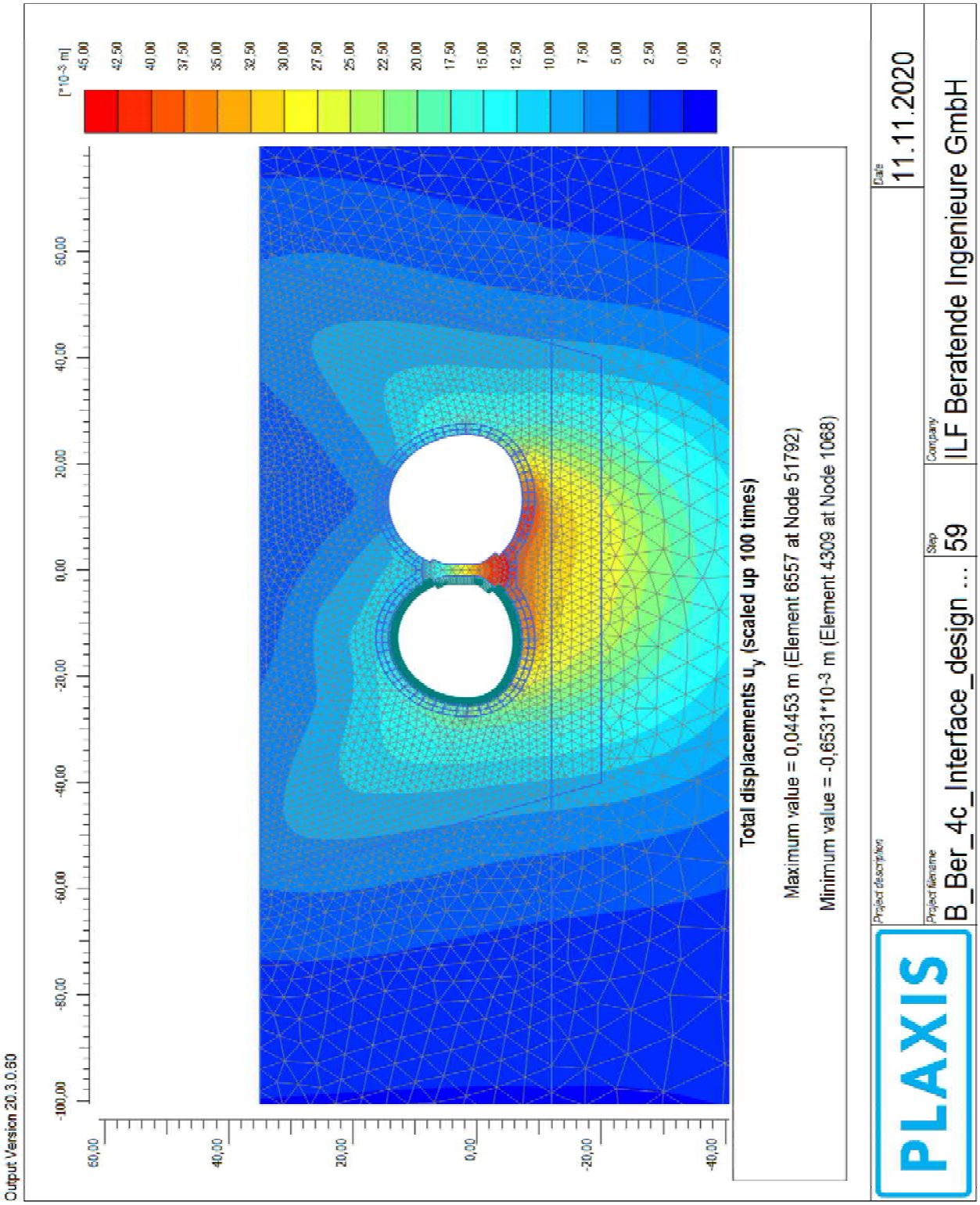

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 663 at Node 52016)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10843 at Node 771)
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

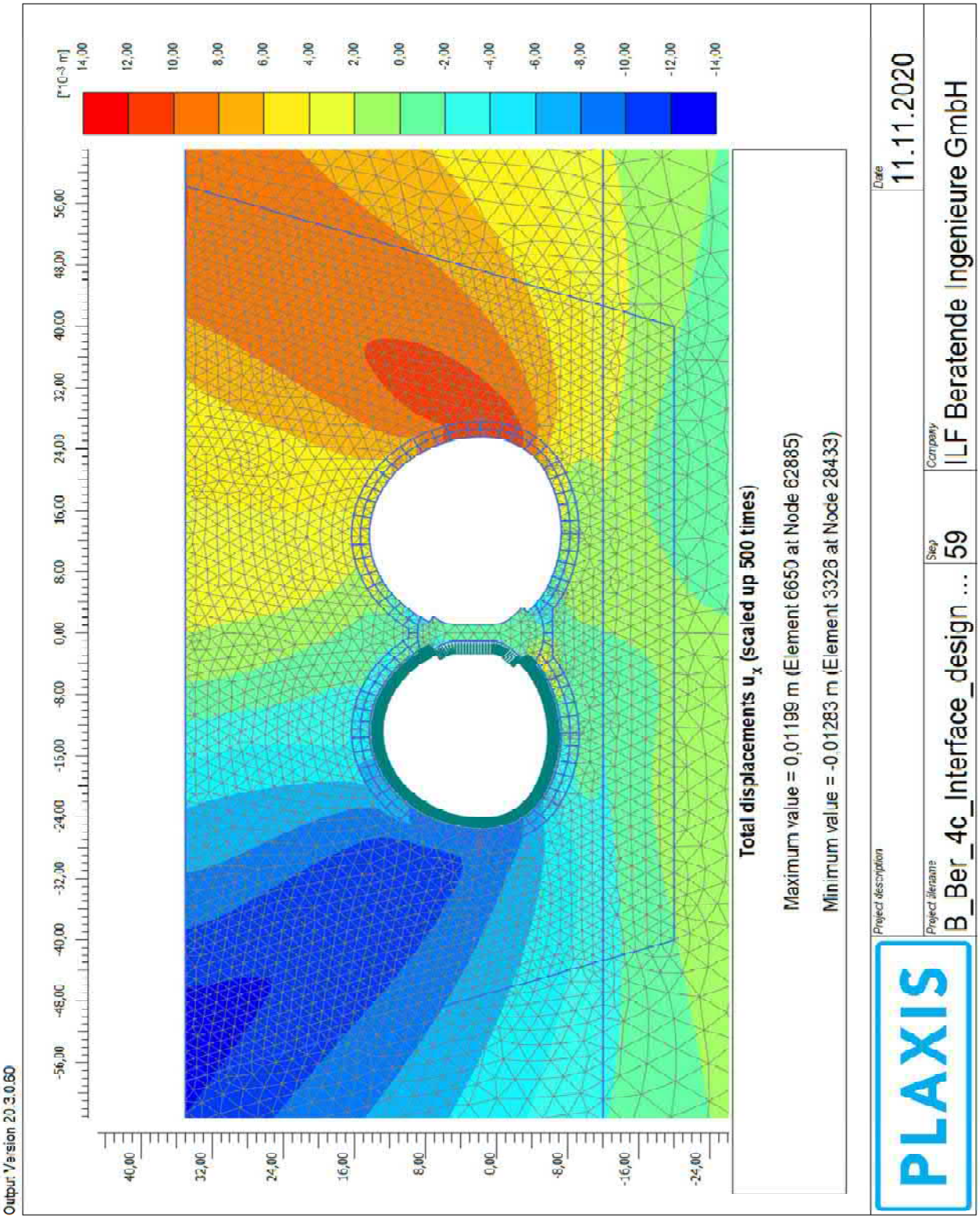

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020


Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0.00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
11.11.2020


Output Version 20.3.0.60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,11
0,01
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6648 at Node 62886)
Minimum value = 5,794*10^-3 (Element 10254 at Node 24437)
Date
11.11.2020
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 10,0 times)
Maximum value = 1,000 (Element 6648 at Node 62886)
Minimum value = 5,794*10^-3 (Element 10254 at Node 24437)
Date
11.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Step
59
Project description
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10-3 m]
45,00
42,50
40,00
37,50
35,00
32,50
30,00
27,50
25,00
22,50
20,00
17,50
15,00
12,50
10,00
7,50
5,00
2,50
0,00
-2,50
-100,00
-80,00
-60,00
-40,00
-20,00
0,00
20,00
40,00
60,00
Total displacements u_y (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,04453 m (Element 6557 at Node 51792)
Minimum value = -0,6531*10-3 m (Element 4309 at Node 1068)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
-24,00
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01199 m (Element 6650 at Node 62885)
Minimum value = -0,01283 m (Element 3326 at Node 28433)
Project description
Date
11.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_4c_Interface_design ...
Step
59
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

Anlage 3: Bemessung Vortriebsrohr auf Vortriebskraft

ILF CONSULTING ENGINEERS	Projekt:	**Stuttgart 21, PFA 1.5 Los 4 Süd**	Datum: Nov. 2020
	Objekt:	**Löschwasserleitung Ber. 1.a**	Erstellt: Summerer
	Titel:	**Spannungsnachweis Rohrleitung**	Geprüft: Höser

1 Materialeigenschaft Vortriebsrohr

fck=	40,0	[MPa]	Mindestdruckfestigkeit gemäß EN 1916

1 Ermittlung Pressenkräfte

2.1 Pressenkräfte Normalfall

D_a=	3,000	[m]	Außendurchmesser
D_i=	2,400	[m]	Innendurchmesser
d=	0,300	[m]	Wandstärke
D_i/D_a	0,800	[-]	
L =	480,0	[m]	Vortriebslänge
τ=	1,0	[kN/m²]	Spezifische Mantelreibung - Normalfall
F_{Presse}=	4,5	[MN]	Pressenkraft "Normalfall"

2.2 Pressenkräfte Worst Case

L =	90,0	[m]	Abstand zwischen den Zwischenpressstationen
τ=	15,0	[kN/m²]	Spezifische Mantelreibung - worst case
F_{Presse}=	12,72	[MN]	Pressenkraft "worst case"

3.1 Bemessung Vortriebskraft gemäß EN 1916

Δd=	0,04	[m]	Reduktion Wanddicke der Druck beanspruchten Stirnfläche
Ac=	2,393	[m²]	Stirnfläche
$F_{j\ max}$=	57,42	[MN]	maximaler theoretischer Rechenwert der Vortriebskraft

3.2 Zustand "geschlossene Fuge"

F_{cj}=	28,71	[MN]	größte Vortriebskraft im Zustand "geschlossene Fuge"

3.3 Zustand "offene Fuge"

z=	1,80	[m]	Maß des durchmesserbezogenen Druckbereichs, Annahme z = 0,6xda
z/d_a=	0,60	[-]	
η=	0,20	[-]	
ξ=	0,80	[-]	
λ=	0,80	[-]	
e`=	0,45	[-]	
e=	0,658	[-]	Lastminderungsfaktor
F_{oj}=	18,89	[MN]	größte Vortriebskraft im Zustand "offene Fuge", Randspannung < 0,6x fck

3.4 Zusammenfassung

F_{Presse}=	4,52	[MN]	Pressenkraft "Normalfall"
F_{Presse}=	12,72	[MN]	Pressenkraft "worst case"
$F_{presse,max}$=	12,72	[MN]	maximale Pressenkraft
	<		
F_{cj}=	28,71	[MN]	größte Vortriebskraft im Zustand "geschlossene Fuge"
F_{oj}=	18,89	[MN]	größte Vortriebskraft im Zustand "offene Fuge", Randspannung < 0,6x fck

Nachweis erbracht!

Anlage 4: Ergebnisse numerische Berechnung – Endzustand Innenschale

Hardening Soil:

Material set	
Identification number	1
Identification	Frankfurter Ton
Material model	Hardening soil
Drainage type	Drained
Colour	RGB 245, 142, 46
Comments	

General properties		
γ_{unsat}	kN/m³	19,00
γ_{sat}	kN/m³	19,00

Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{oed}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{ur}^{ref}	kN/m²	73,20E3
power (m)		1,000

Strength		
c_{ref}	kN/m²	20,00
φ (phi)	°	20,00
ψ (psi)	°	0,000

Mohr Coulomb:

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton E=100MPa verrottet drained	Frankfurter Kalke	Beton Rohr drained	Interface Tübbing Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Non-porous
Colour		RGB 226, 182, 208	RGB 221, 100, 221	RGB 44, 232, 242	RGB 230, 30, 53
Comments					
General properties					
γ_{unsat}	kN/m³	24,00	22,00	24,00	0,000
γ_{sat}	kN/m³	24,00	22,00	24,00	0,000

Material set					
Identification number		4	5	6	7
Identification		Beton E=100MPa verrottet dra	Frankfurter Kalke	Beton Rohr drained	Interface Tübbing Rohr
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Non-porous
Colour		RGB 226, 182, 208	RGB 221, 100, 221	RGB 44, 232, 242	RGB 230, 30, 53
Stiffness					
E	kN/m²	100,0E3	350,0E3	30,00E6	30,00E6
ν (nu)		0,1500	0,2000	0,1500	0,1500
Alternatives					
G	kN/m²	43,48E3	145,8E3	13,04E6	13,04E6
E_{oed}	kN/m²	105,6E3	388,9E3	31,68E6	31,68E6
Strength					
c_{ref}	kN/m²	40,00	15,00	4663	140,0
φ (phi)	°	40,00	32,50	40,00	30,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000
Velocities					
V_s	m/s	133,3	255,0	2309	0,000
V_p	m/s	207,7	416,4	3598	0,000
Advanced					
Set to default values		☑	☑	☑	☑
Stiffness					
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength					
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		☑	☑	☑	☑
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000	0,000

Mohr Coulomb:

9	10
Interface IS / Rohr WD/ Verrottung	Verrottung Beton E=250 MPa
Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drained	Drained
RGB 37, 67, 212	RGB 232, 161, 174
0,000	24,00
0,000	24,00

12
Verrottung Beton E=75 Mpa
Mohr-Coulomb
Drained
RGB 146, 89, 212
24,00
24,00

9	10
Interface IS / Rohr / Verrottung	Verrottung Beton E=250 MPa
Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drained	Drained
RGB 37, 67, 212	RGB 232, 161, 174
3,000E6	250,0E3
0,1500	0,1500
1,304E6	108,7E3
3,168E6	264,0E3
140,0	40,00
30,00	40,00
0,000	0,000
0,000	210,8
0,000	328,5
☑	☑
0,000	0,000
0,000	0,000
0,000	0,000
0,000	0,000
☑	☑
0,000	0,000

12
/errottung Beton E=75 Mpa
Mohr-Coulomb
Drained
RGB 146, 89, 212
75,00E3
0,1500
32,61E3
79,19E3
40,00
40,00
0,000
115,5
179,9
☑
0,000
0,000
0,000
0,000
☑
0,000

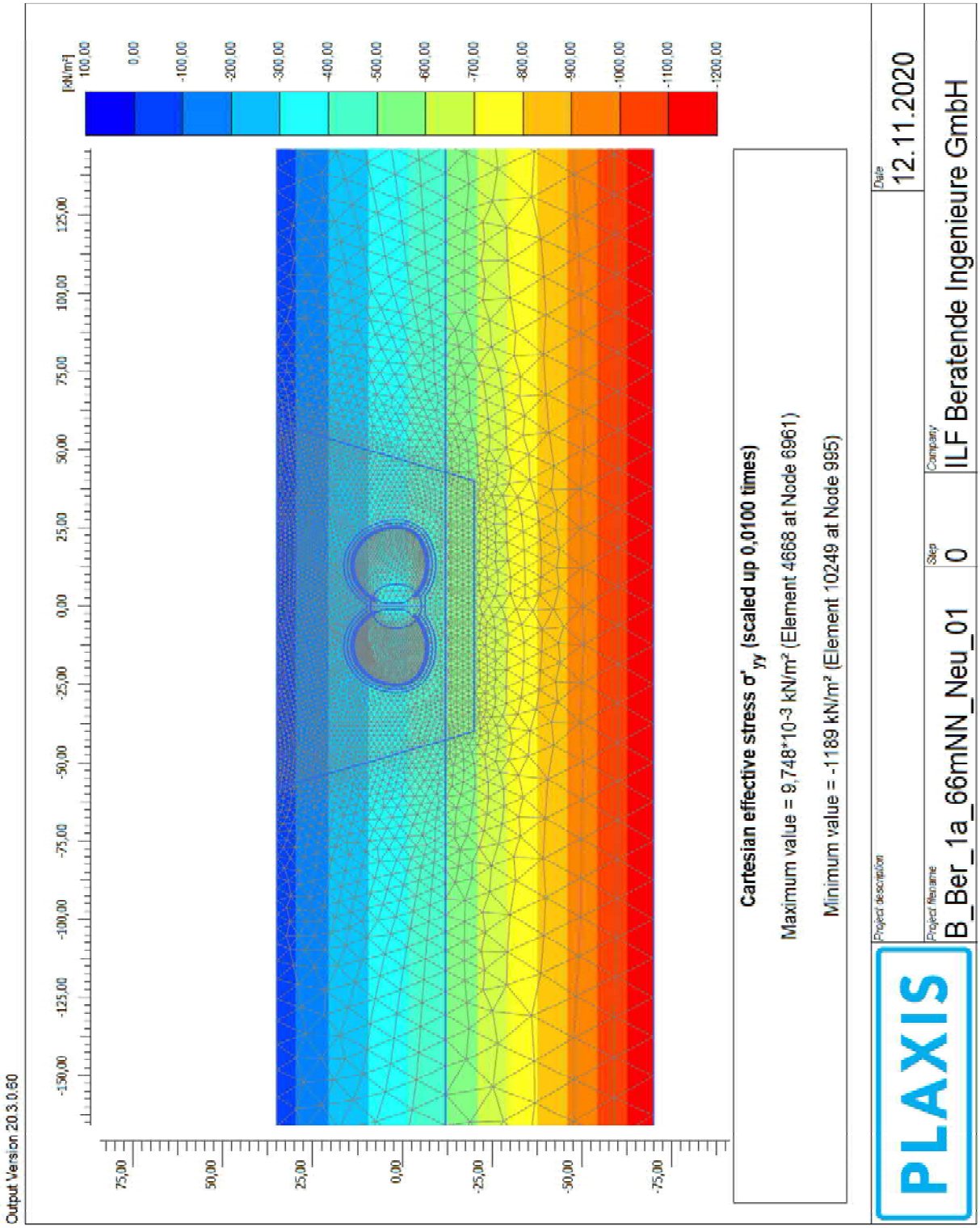
Linear elastisch:

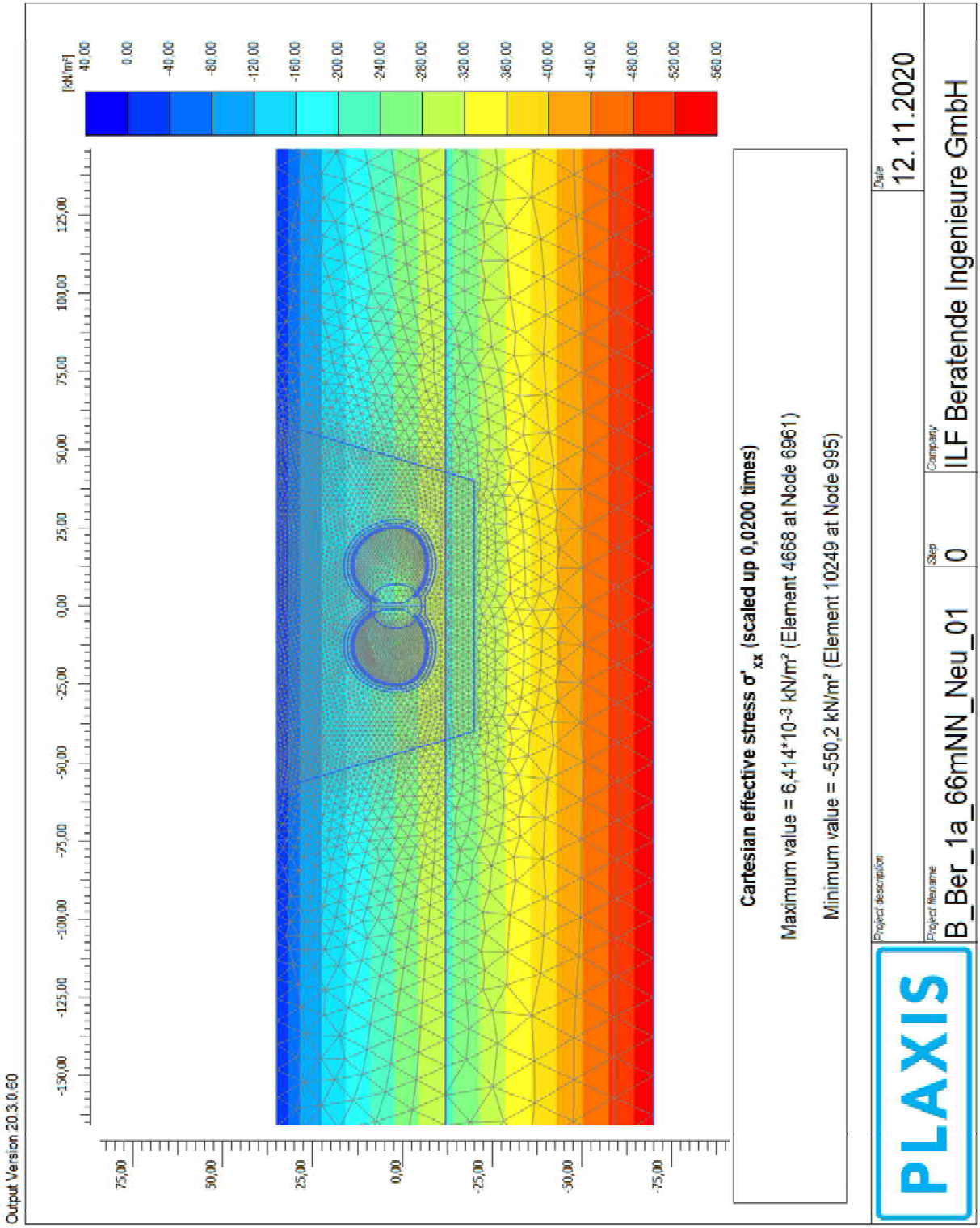
Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156
Comments		

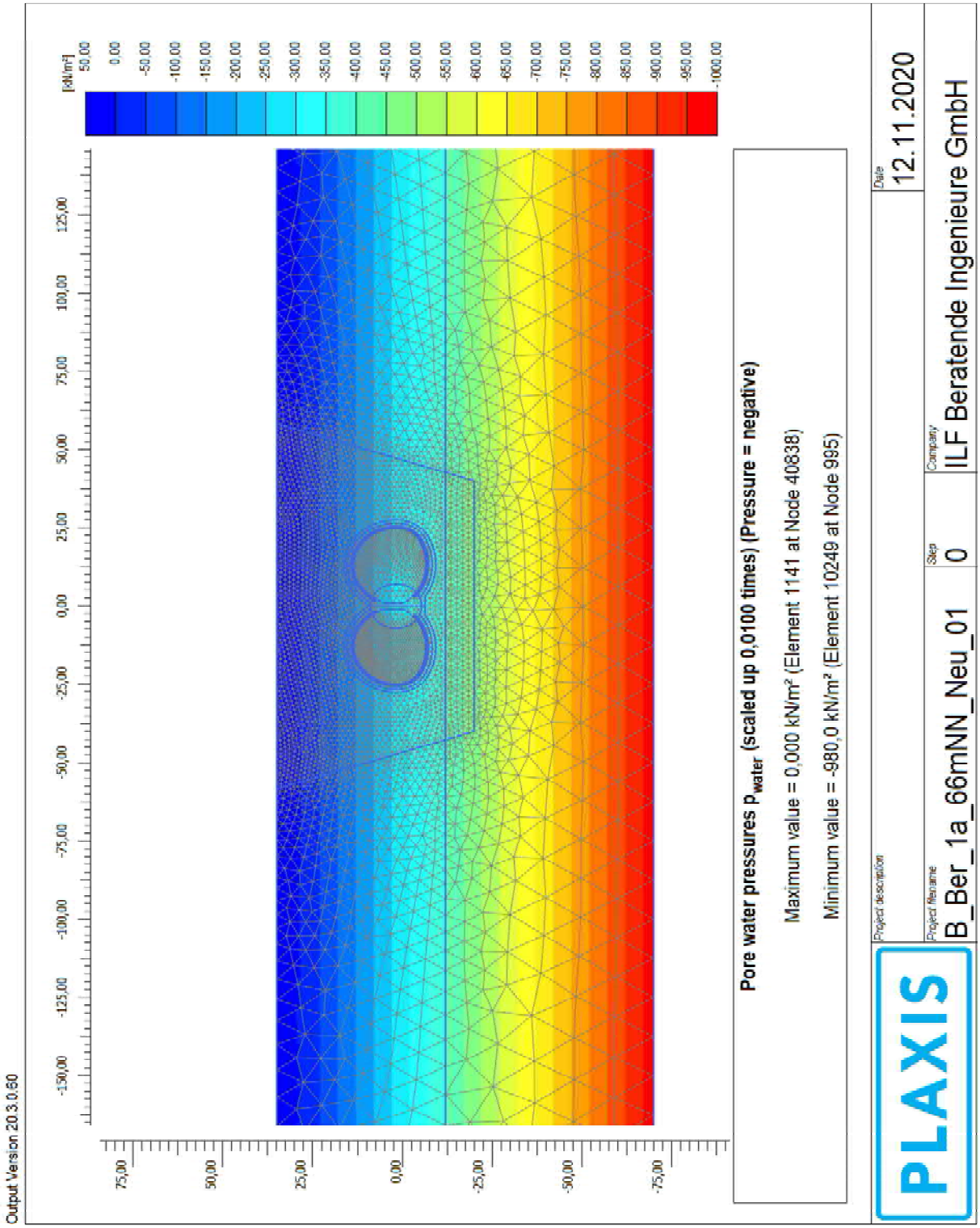
General properties			
γ_{unsat}	kN/m³	25,00	25,00
γ_{sat}	kN/m³	25,00	25,00

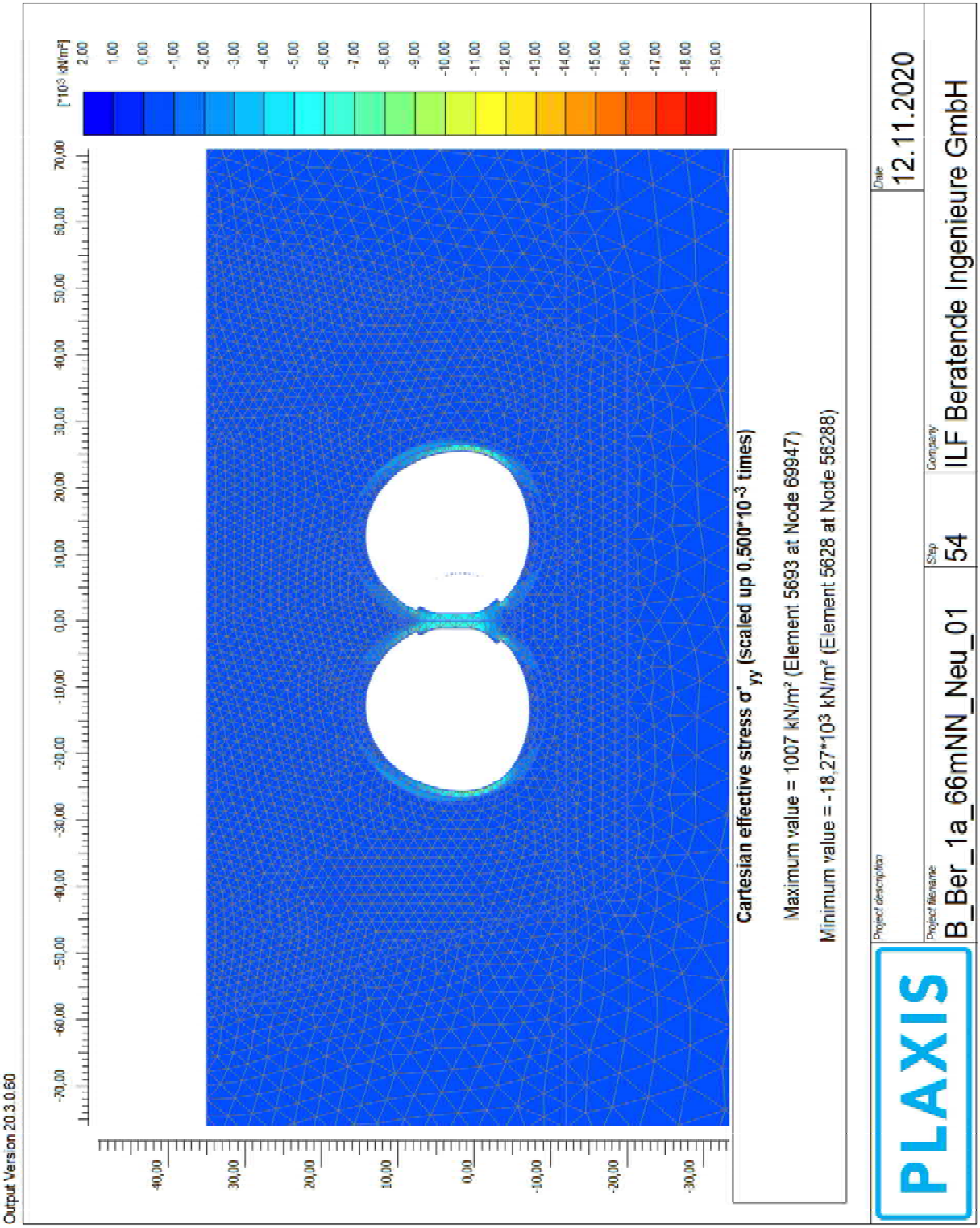
Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156

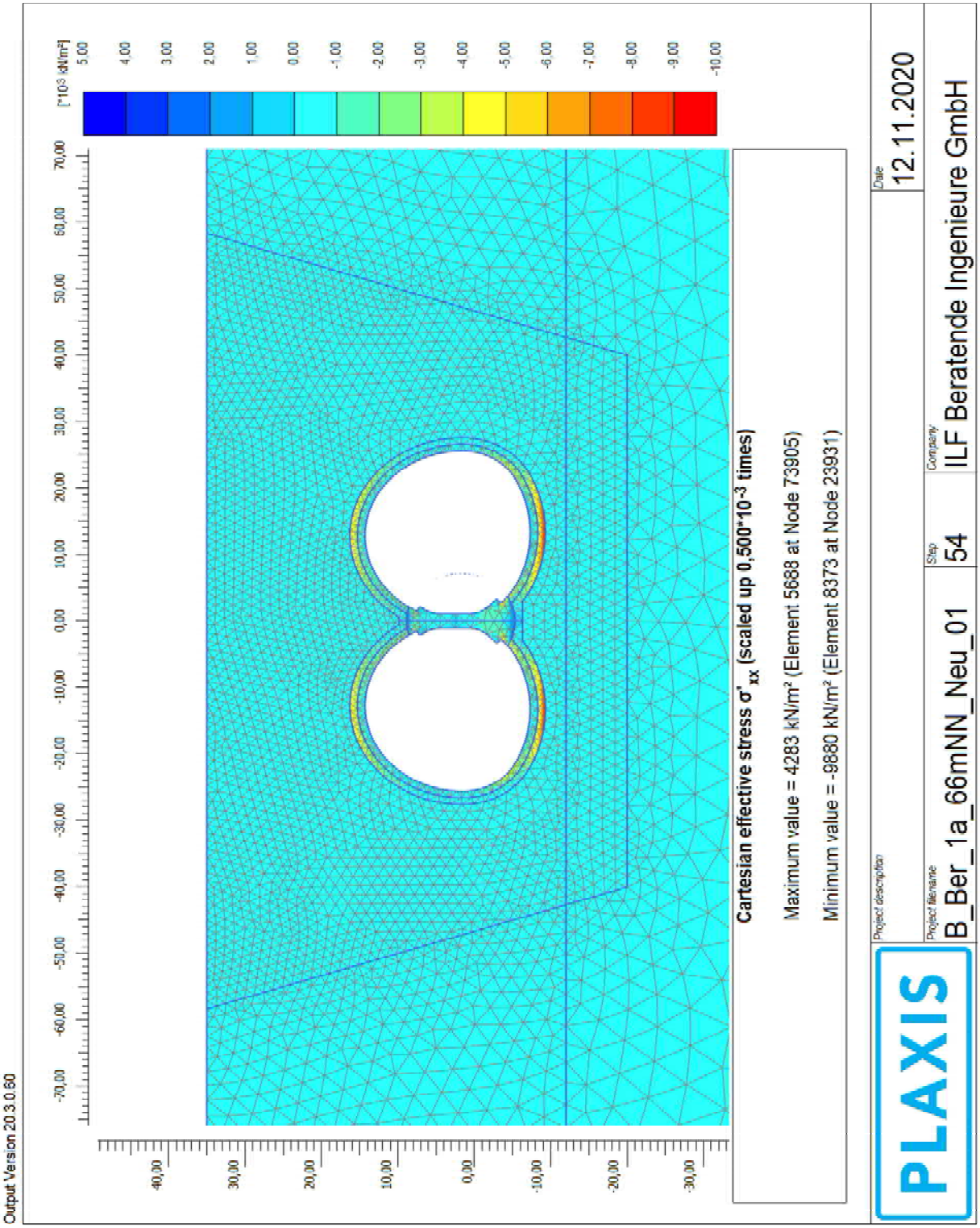
Stiffness			
E	kN/m²	34,00E6	34,00E6
v (nu)		0,1500	0,1500

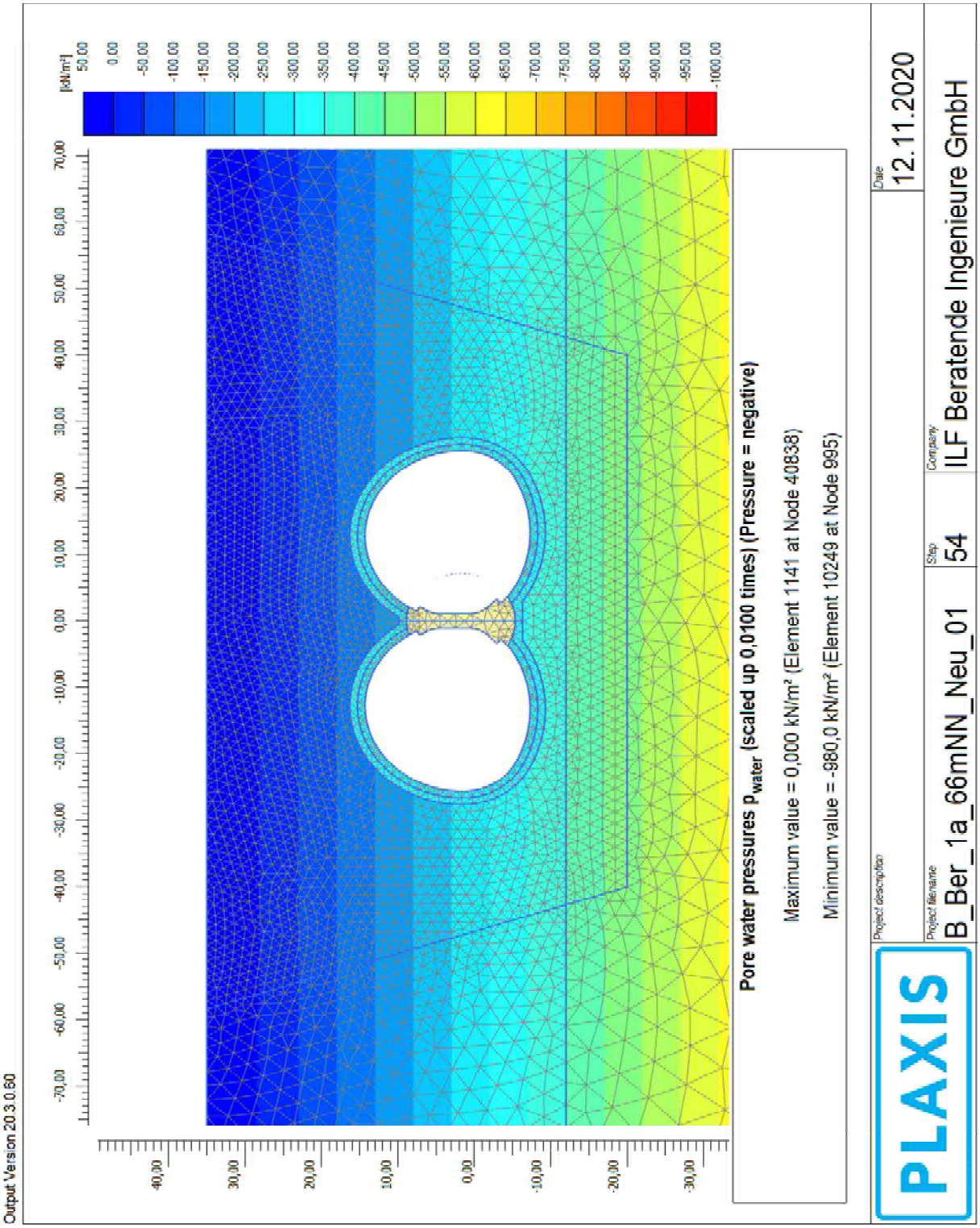

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
100,00
0,00
-100,00
-200,00
-300,00
-400,00
-500,00
-600,00
-700,00
-800,00
-900,00
-1000,00
-1100,00
-1200,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,0100 times)
Maximum value = 9,748*10-3 kN/m² (Element 4668 at Node 6961)
Minimum value = -1189 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
Date
12.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
0
PLAXIS

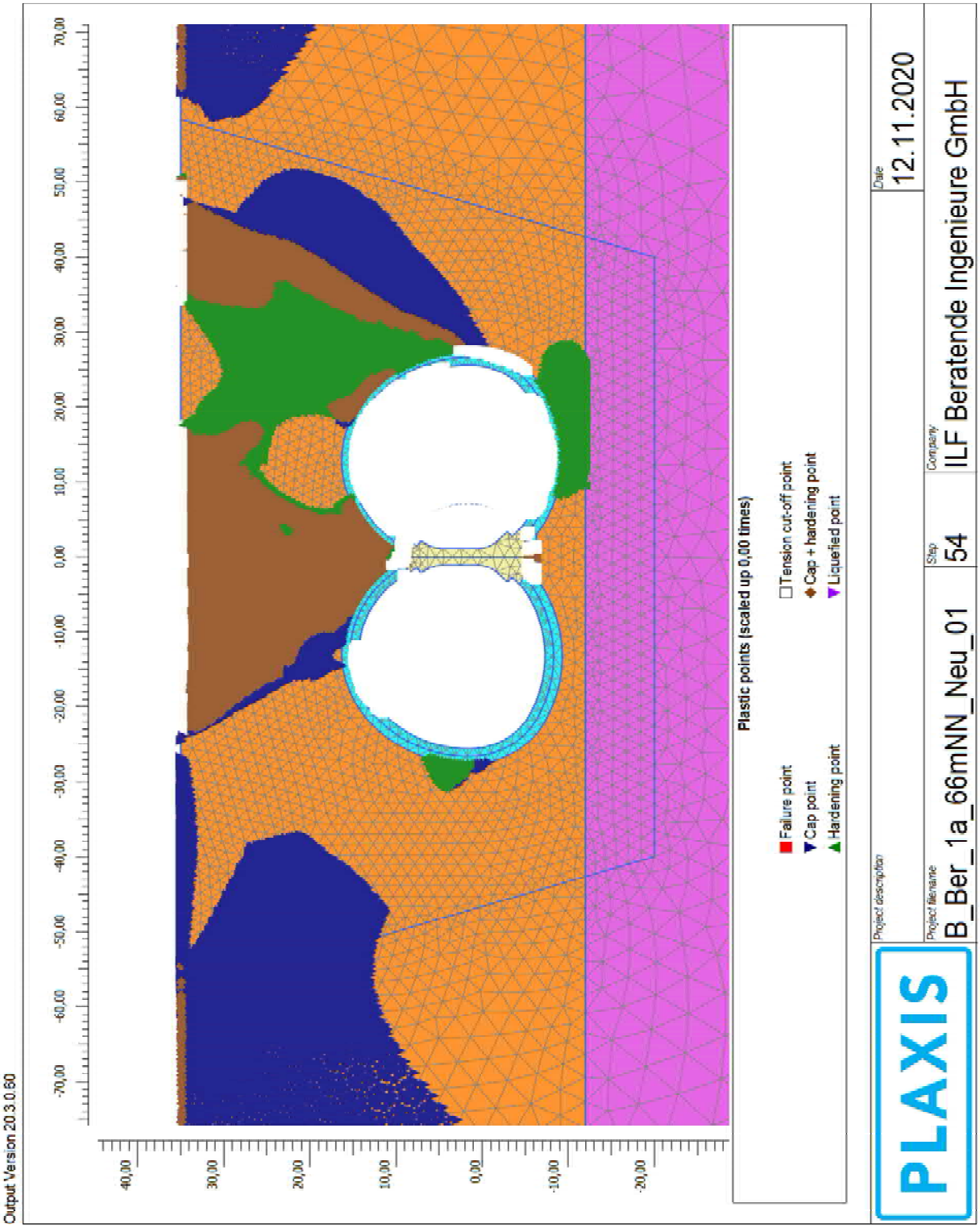

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
40,00
0,00
-40,00
-80,00
-120,00
-160,00
-200,00
-240,00
-280,00
-320,00
-360,00
-400,00
-440,00
-480,00
-520,00
-560,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 6,414*10-3 kN/m² (Element 4668 at Node 6961)
Minimum value = -550,2 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020

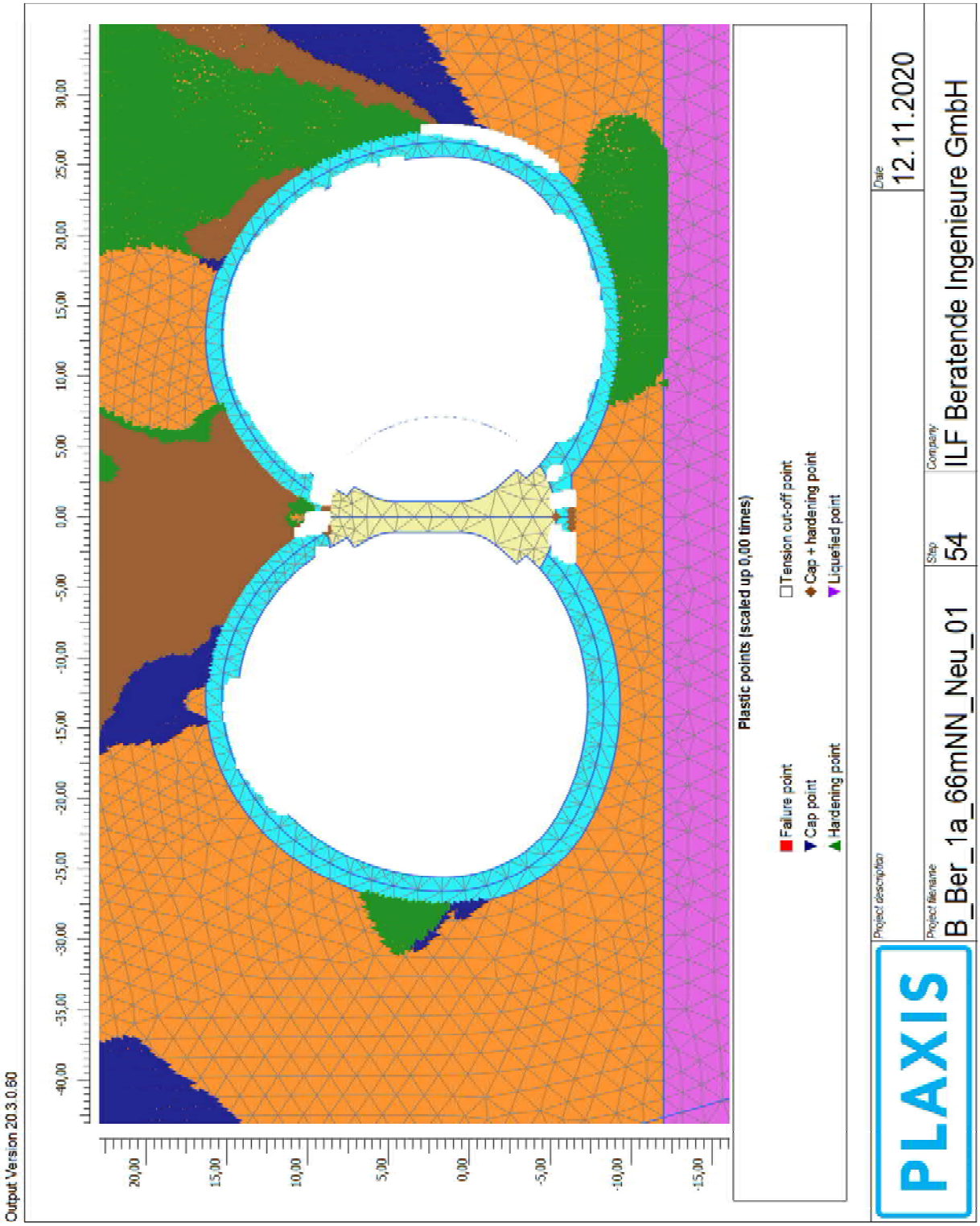

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-150,00
-125,00
-100,00
-75,00
-50,00
-25,00
0,00
25,00
50,00
75,00
100,00
125,00
75,00
50,00
25,00
0,00
-25,00
-50,00
-75,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1141 at Node 40838)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
Project description
Date
12.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

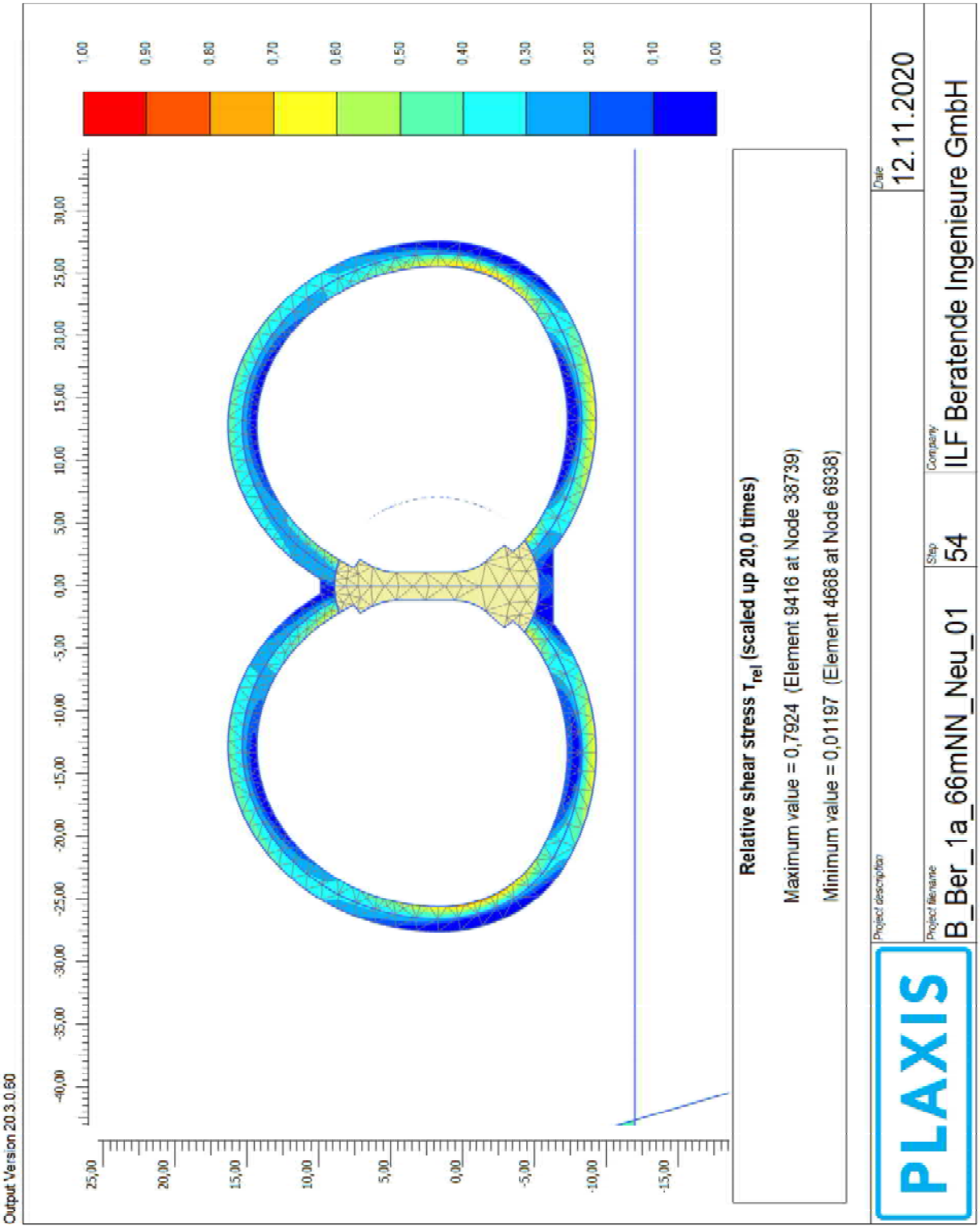

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
2,00
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-8,00
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
-13,00
-14,00
-15,00
-16,00
-17,00
-18,00
-19,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 1007 kN/m² (Element 5693 at Node 69947)
Minimum value = -18,27*10^3 kN/m² (Element 5628 at Node 56288)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020

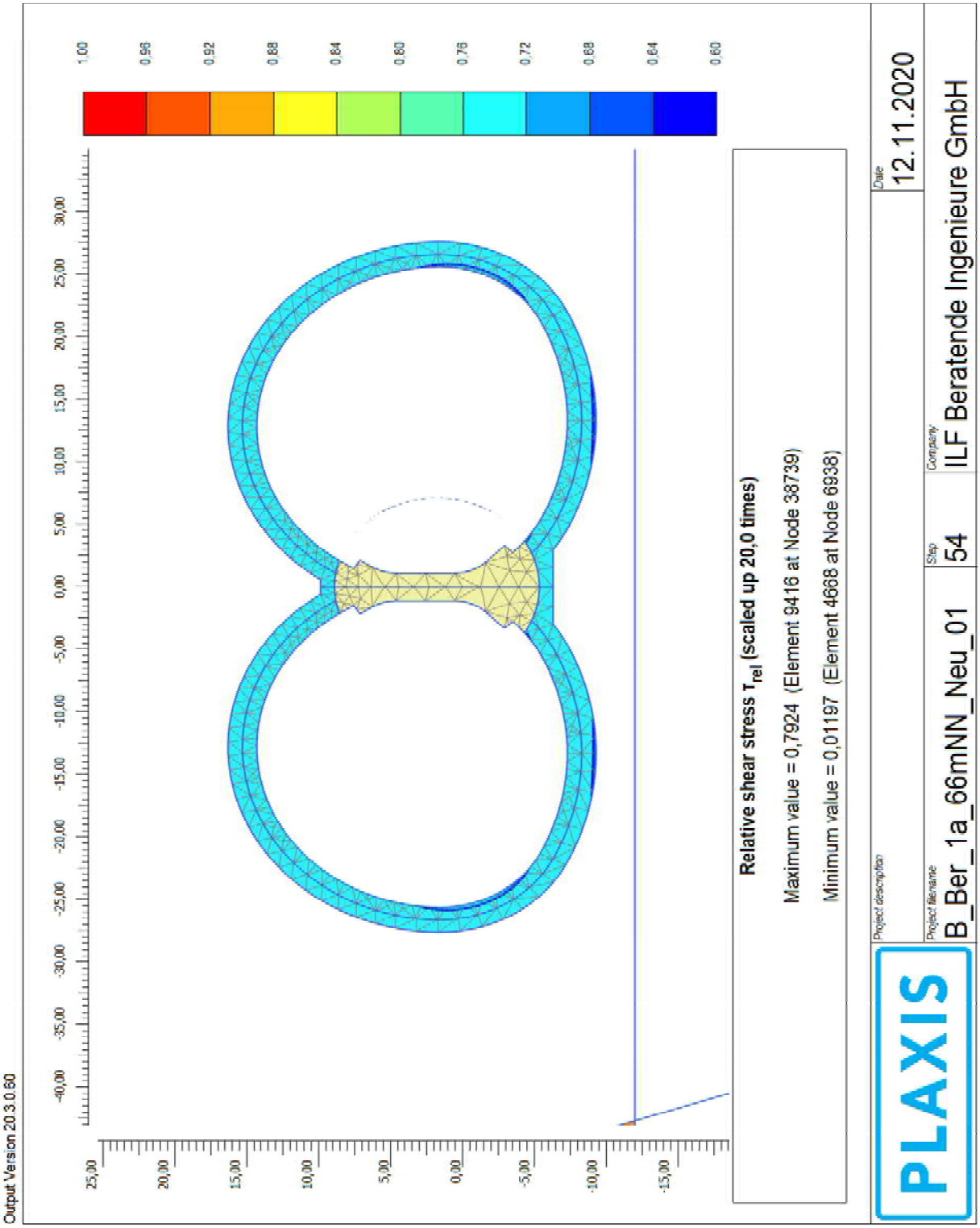

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 kN/m²]
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
-1,00
-2,00
-3,00
-4,00
-5,00
-6,00
-7,00
-8,00
-9,00
-10,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 4283 kN/m² (Element: 5688 at Node 73905)
Minimum value = -9880 kN/m² (Element 8373 at Node 23931)
Project description
Date
12.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

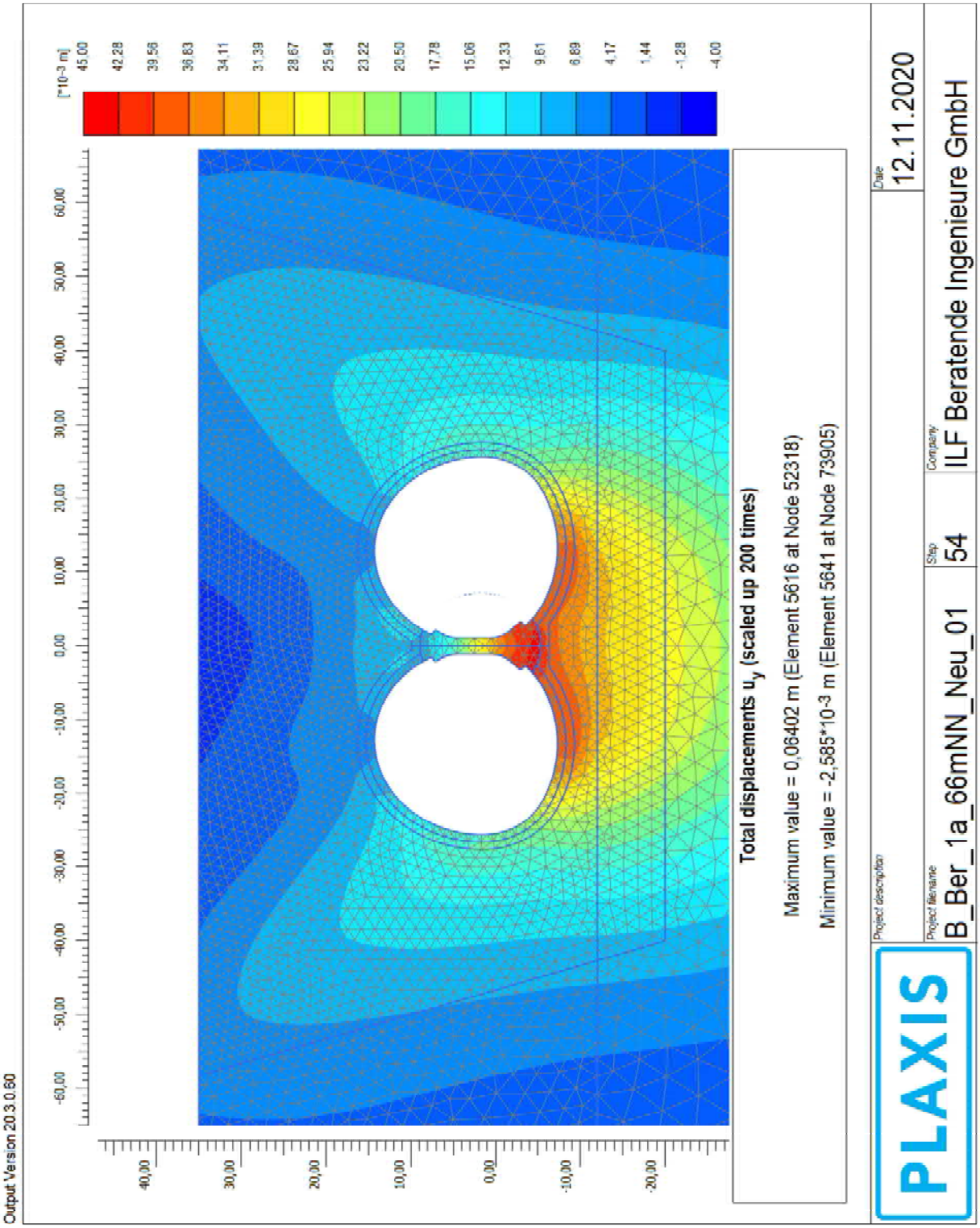

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1141 at Node 40838)
Minimum value = -980,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020
PLAXIS

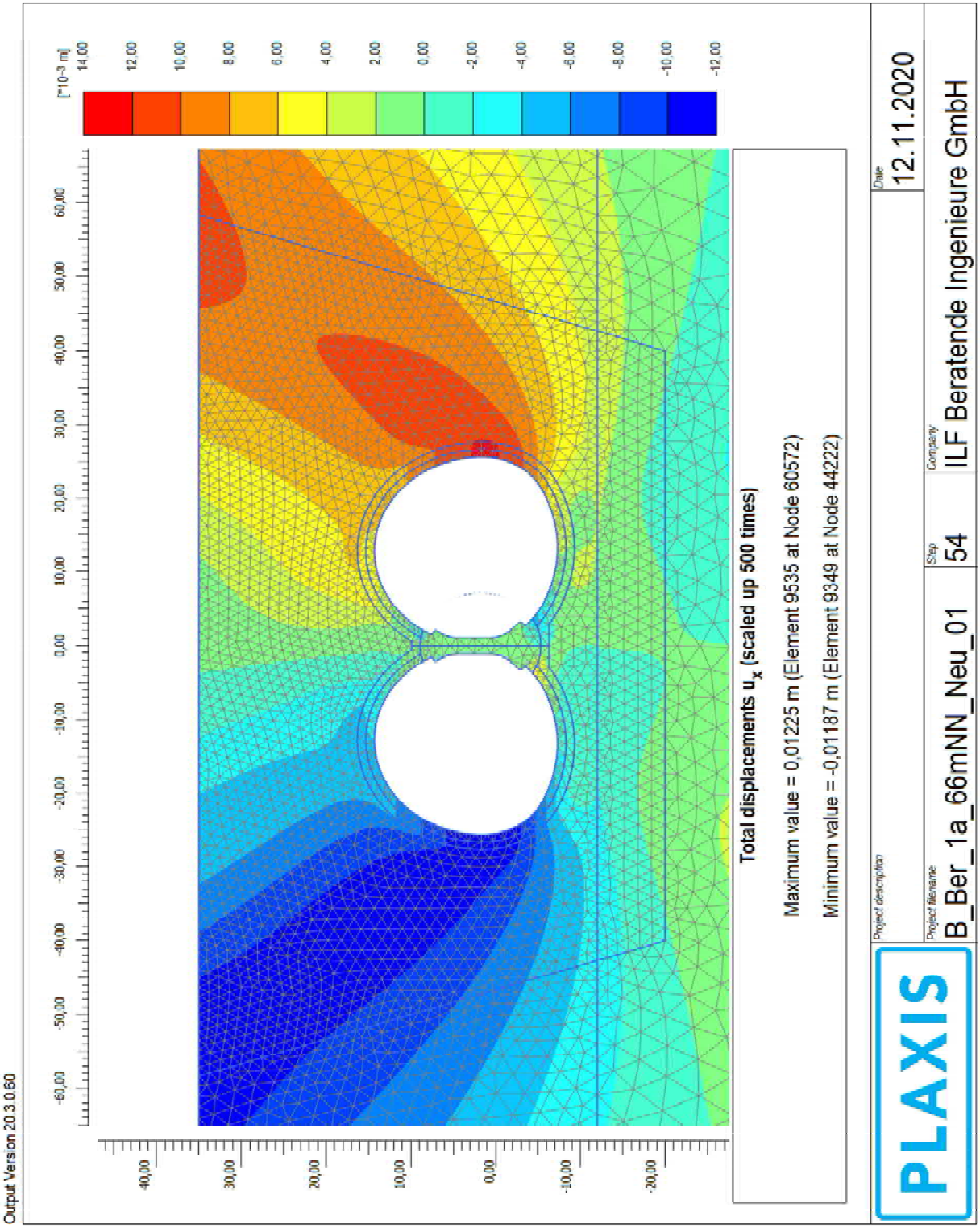

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Date
12.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

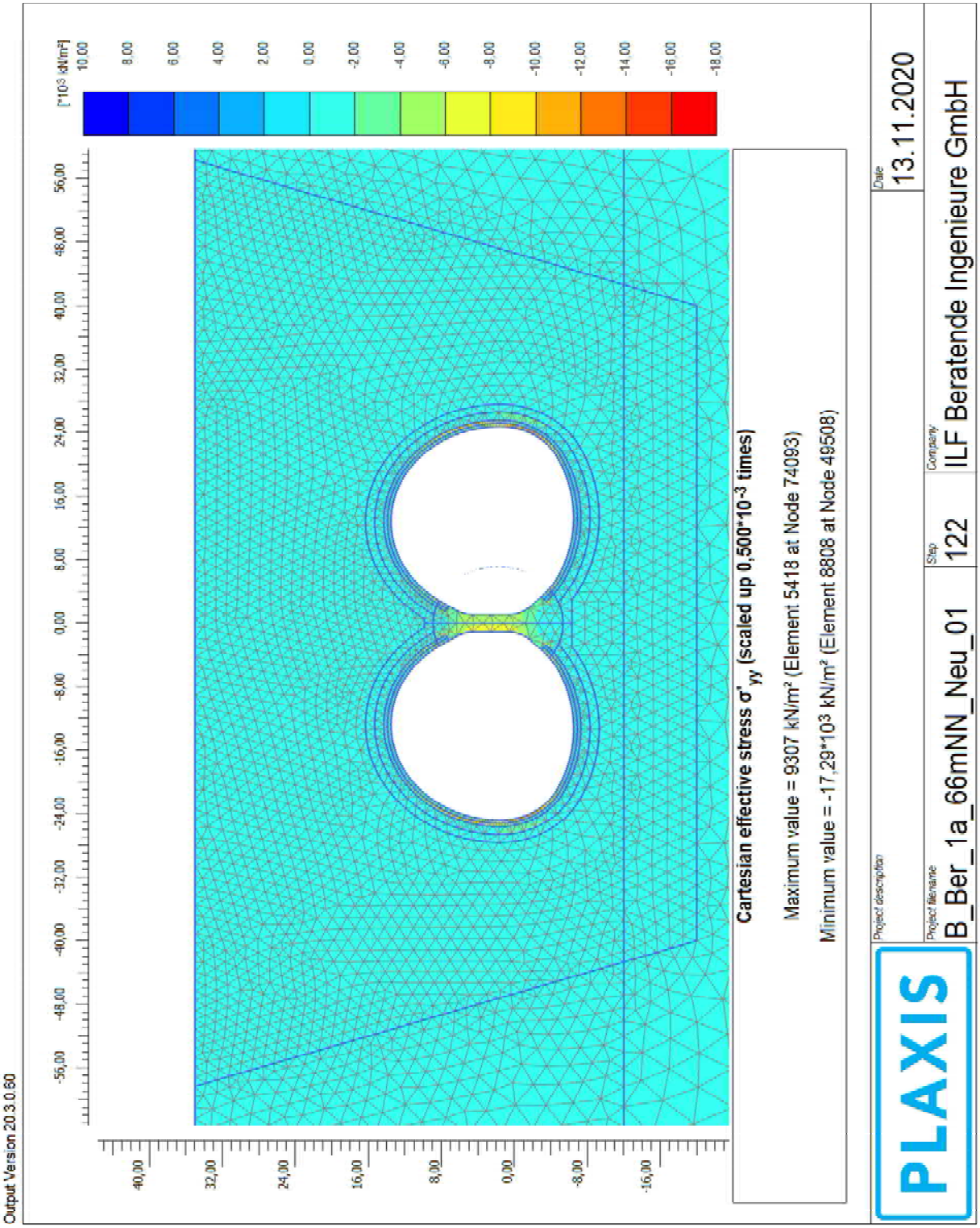

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Date
12.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

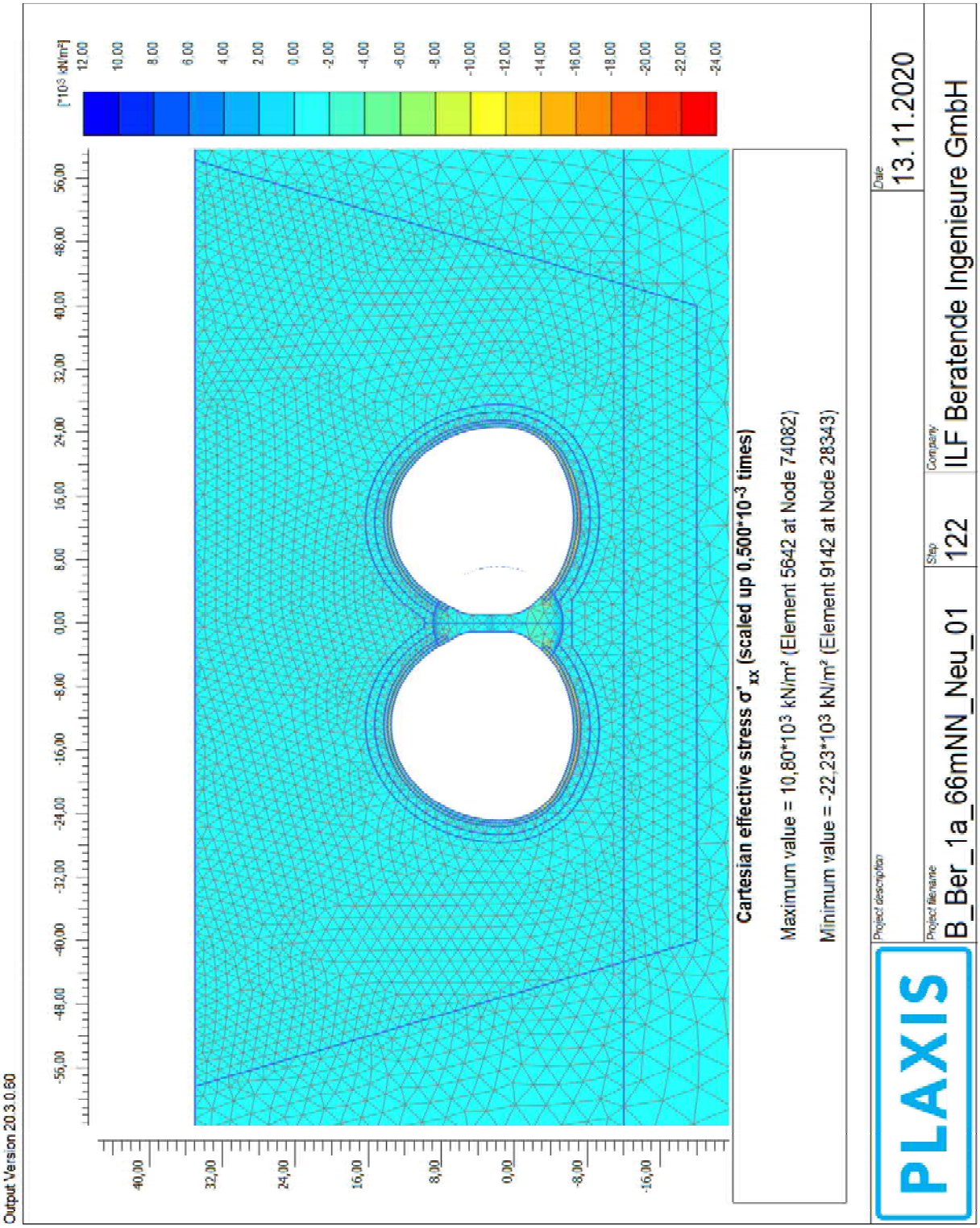

Output Version 20.3.0.60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 20,0 times)
Maximum value = 0,7924 (Element 9416 at Node 38739)
Minimum value = 0,01197 (Element 4668 at Node 6938)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020
PLAXIS

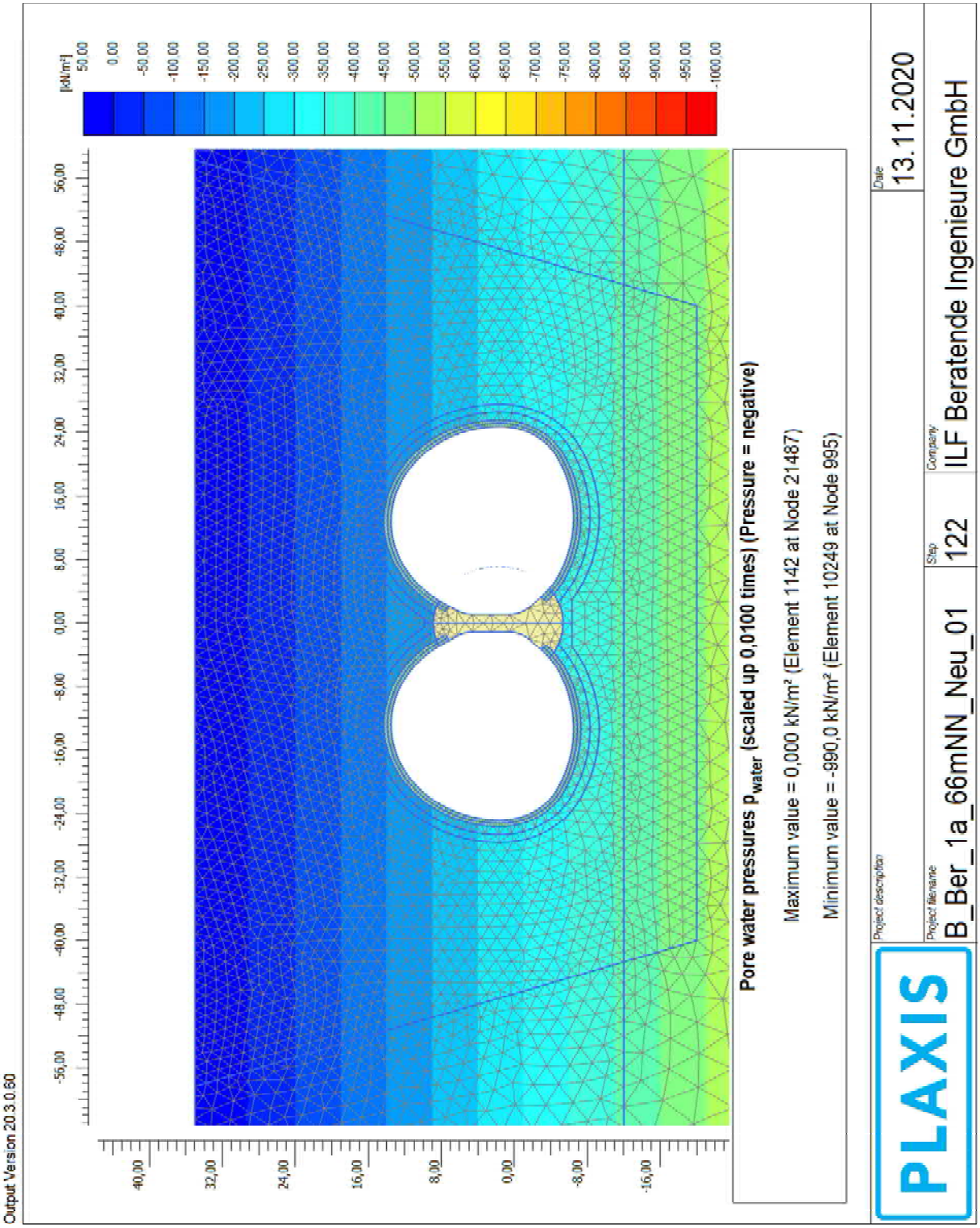

Output Version 20.3.0.60
Relative shear stress τ_{rel} (scaled up 20,0 times)
Maximum value = 0,7924 (Element 9416 at Node 38739)
Minimum value = 0,01197 (Element 4668 at Node 6938)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020

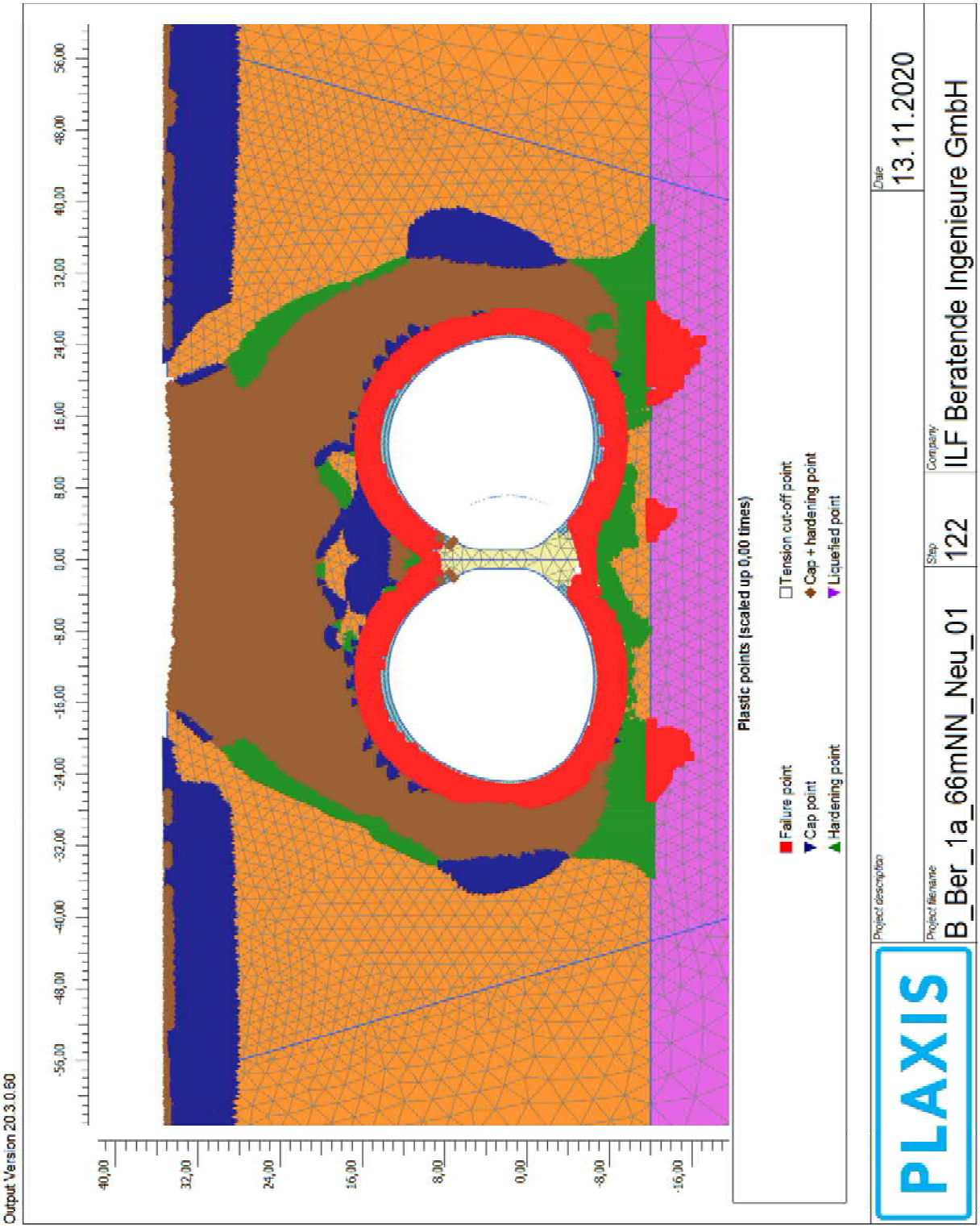

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
45,00
42,28
39,56
36,83
34,11
31,39
28,67
25,94
23,22
20,50
17,78
15,06
12,33
9,61
6,89
4,17
1,44
-1,28
-4,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,06402 m (Element 5616 at Node 52318)
Minimum value = -2,585*10^-3 m (Element 5641 at Node 73905)
Project description
Date
12.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

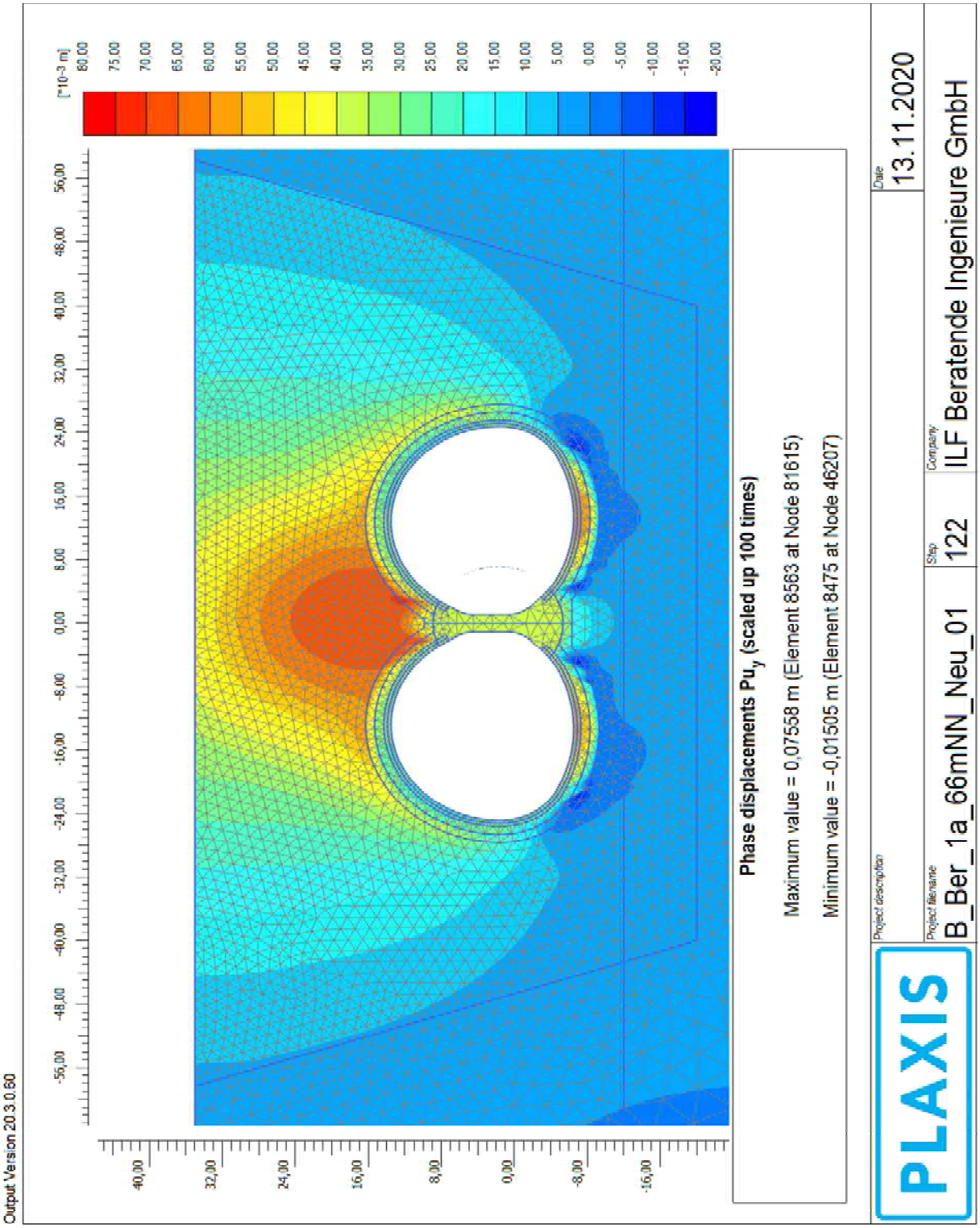

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
Total displacements u_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01225 m (Element 9535 at Node 60572)
Minimum value = -0,01187 m (Element 9349 at Node 44222)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
54
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
12.11.2020
PLAXIS

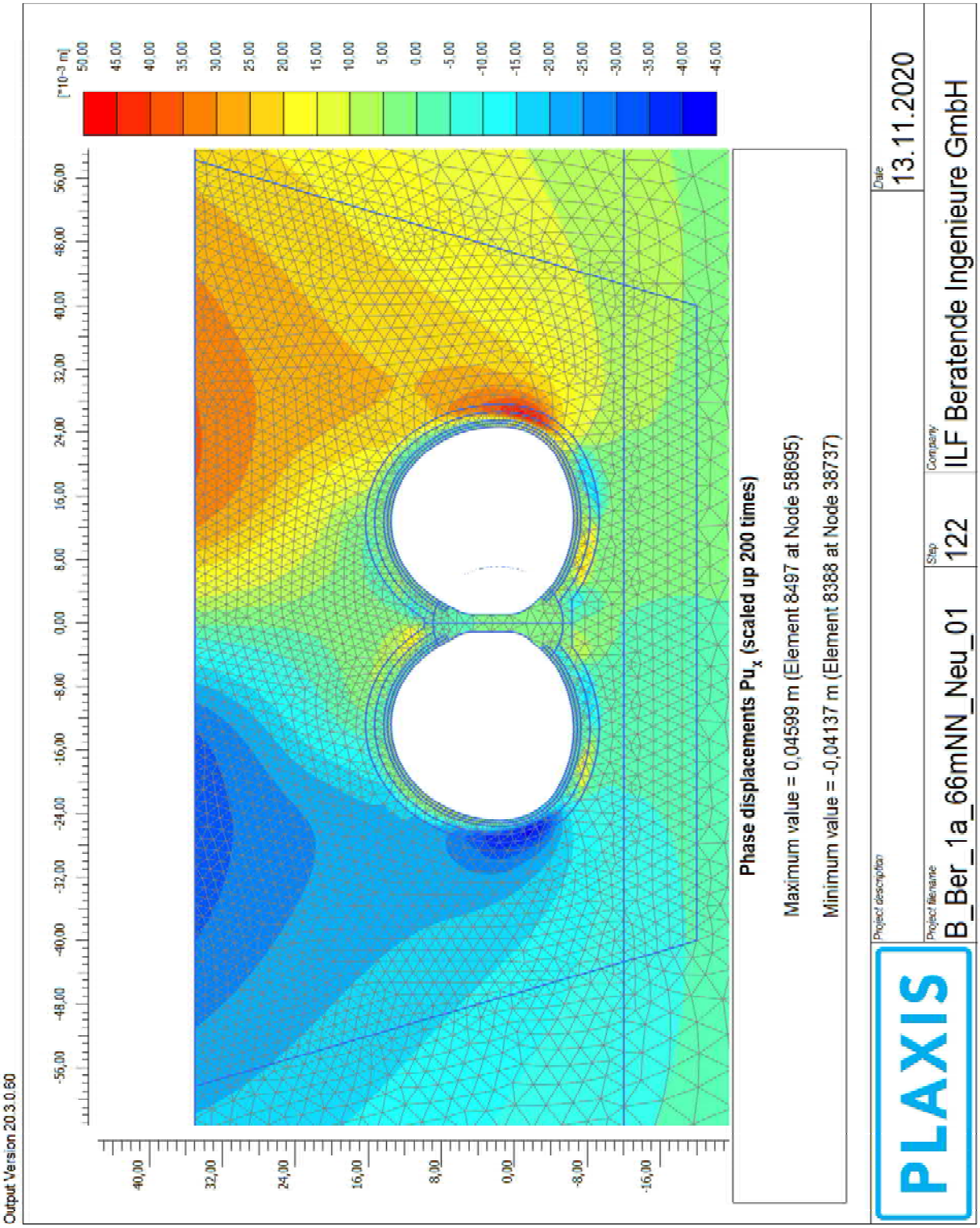

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 9307 kN/m² (Element 5418 at Node 74093)
Minimum value = -17,29*10^3 kN/m² (Element 8808 at Node 49508)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

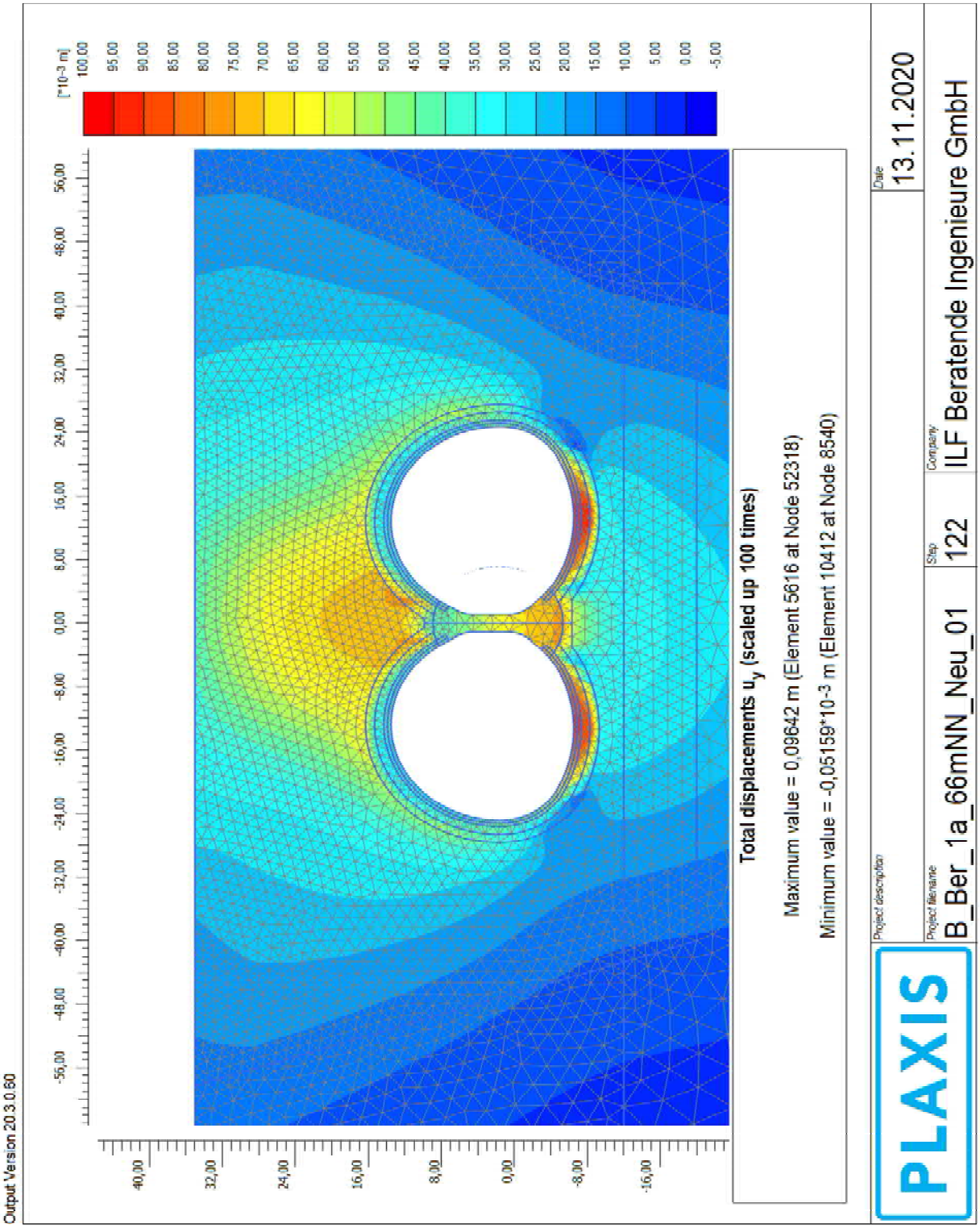

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
-22,00
-24,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 10,80*10^3 kN/m² (Element 5642 at Node 74082)
Minimum value = -22,23*10^3 kN/m² (Element 9142 at Node 28343)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

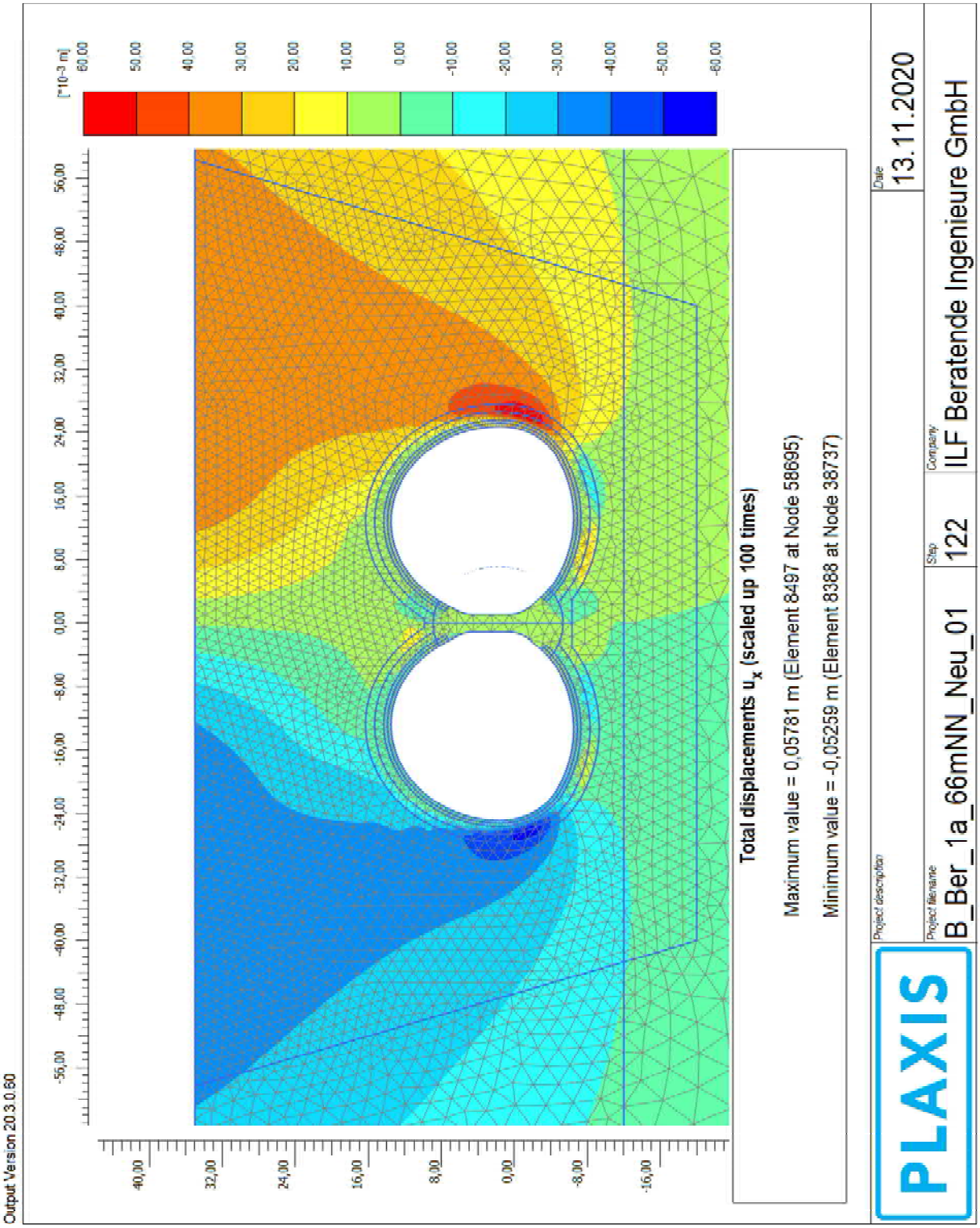

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21487)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

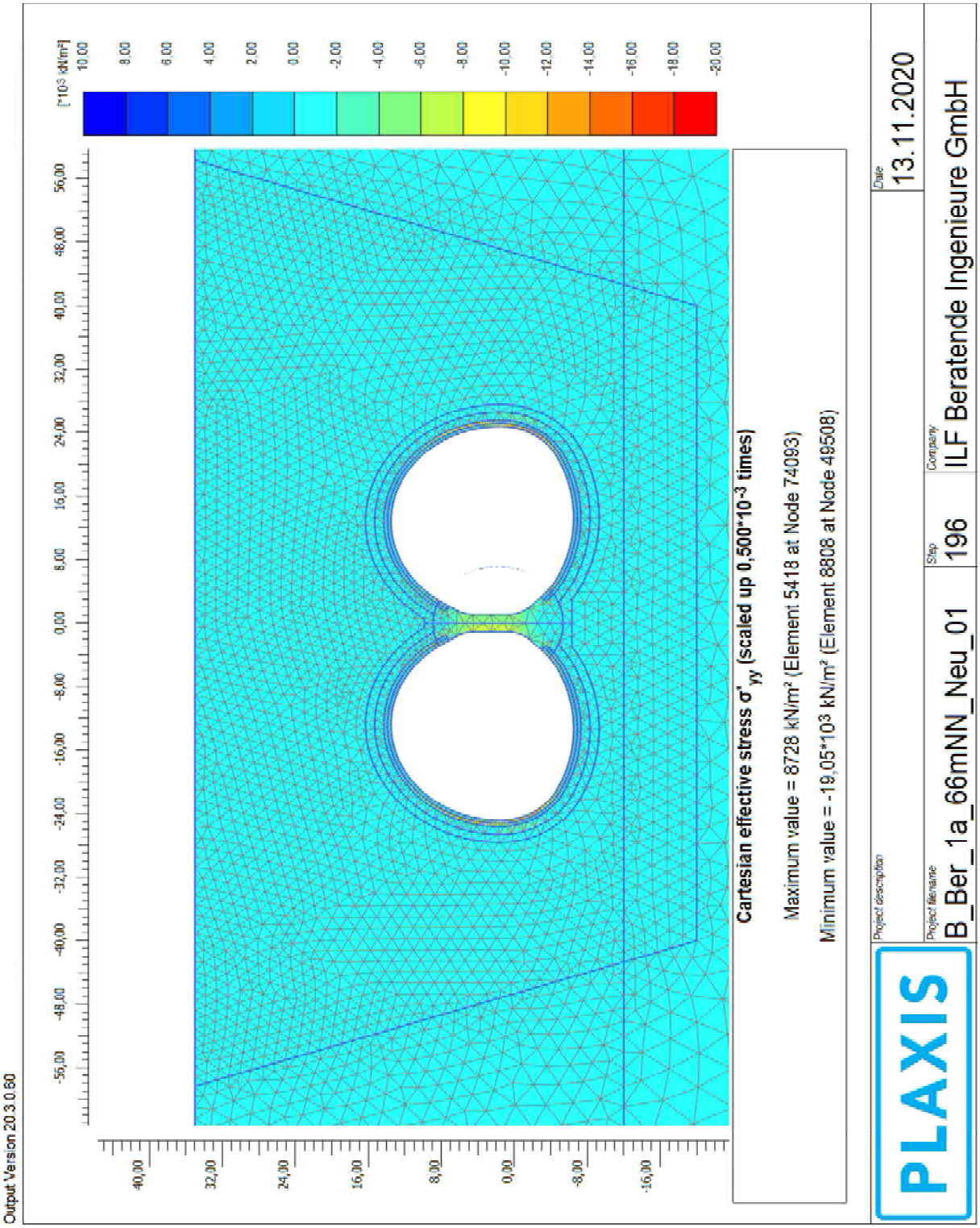

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

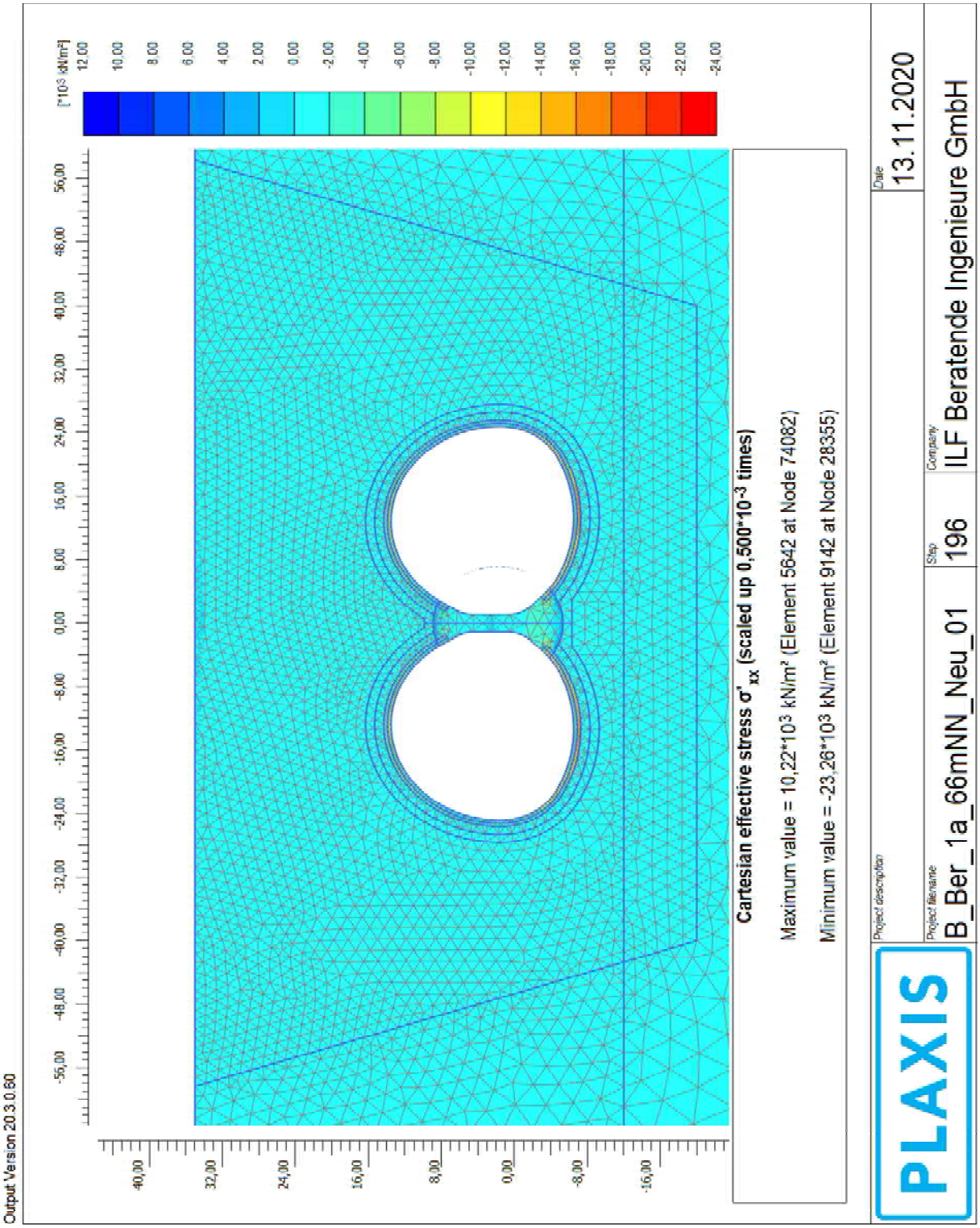

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
80,00
75,00
70,00
65,00
60,00
55,00
50,00
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_y (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,07558 m (Element 8563 at Node 81615)
Minimum value = -0,01505 m (Element 8475 at Node 46207)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

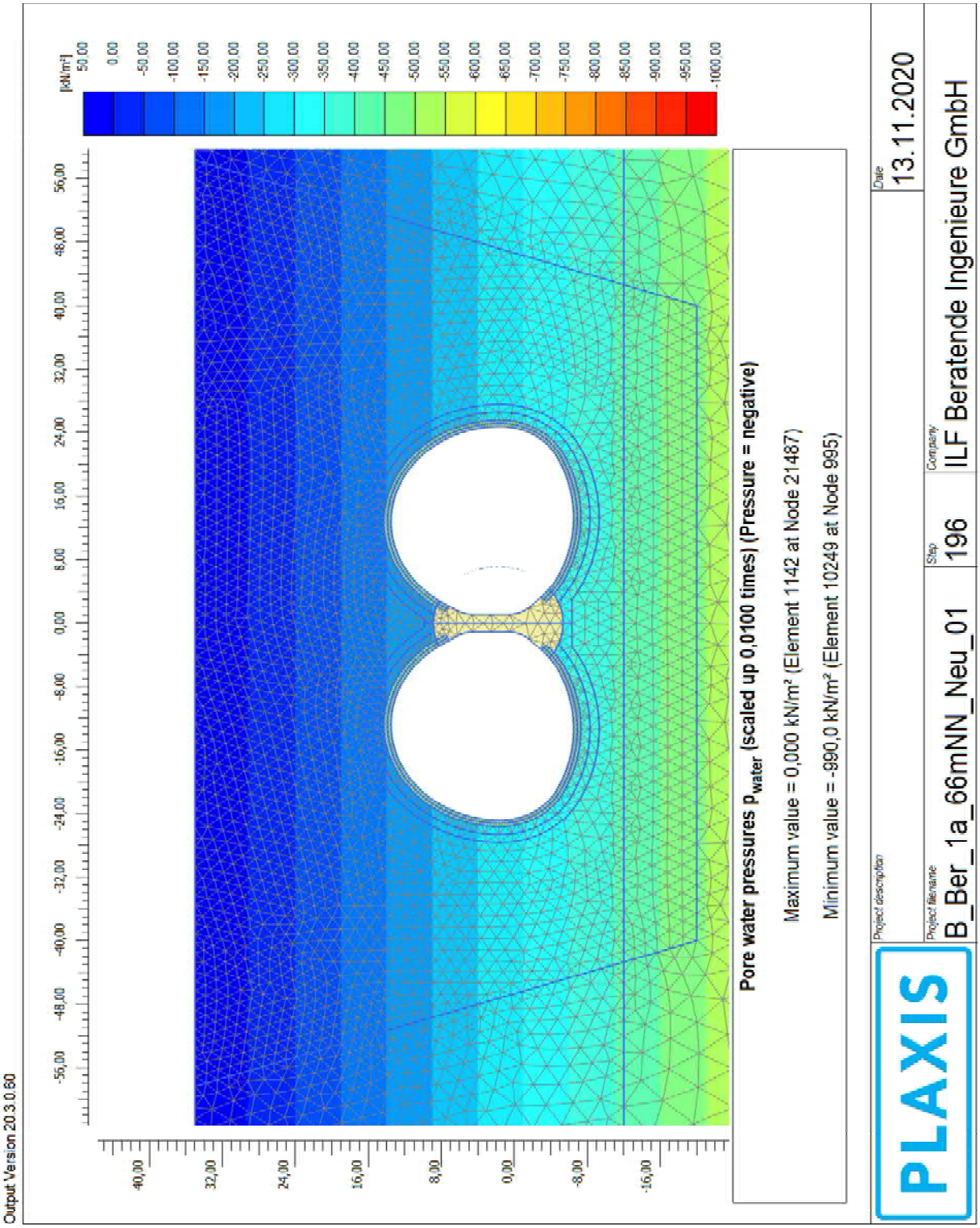

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
50,00
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
-20,00
-25,00
-30,00
-35,00
-40,00
-45,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_x (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,04599 m (Element 8497 at Node 58695)
Minimum value = -0,04137 m (Element 8388 at Node 38737)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

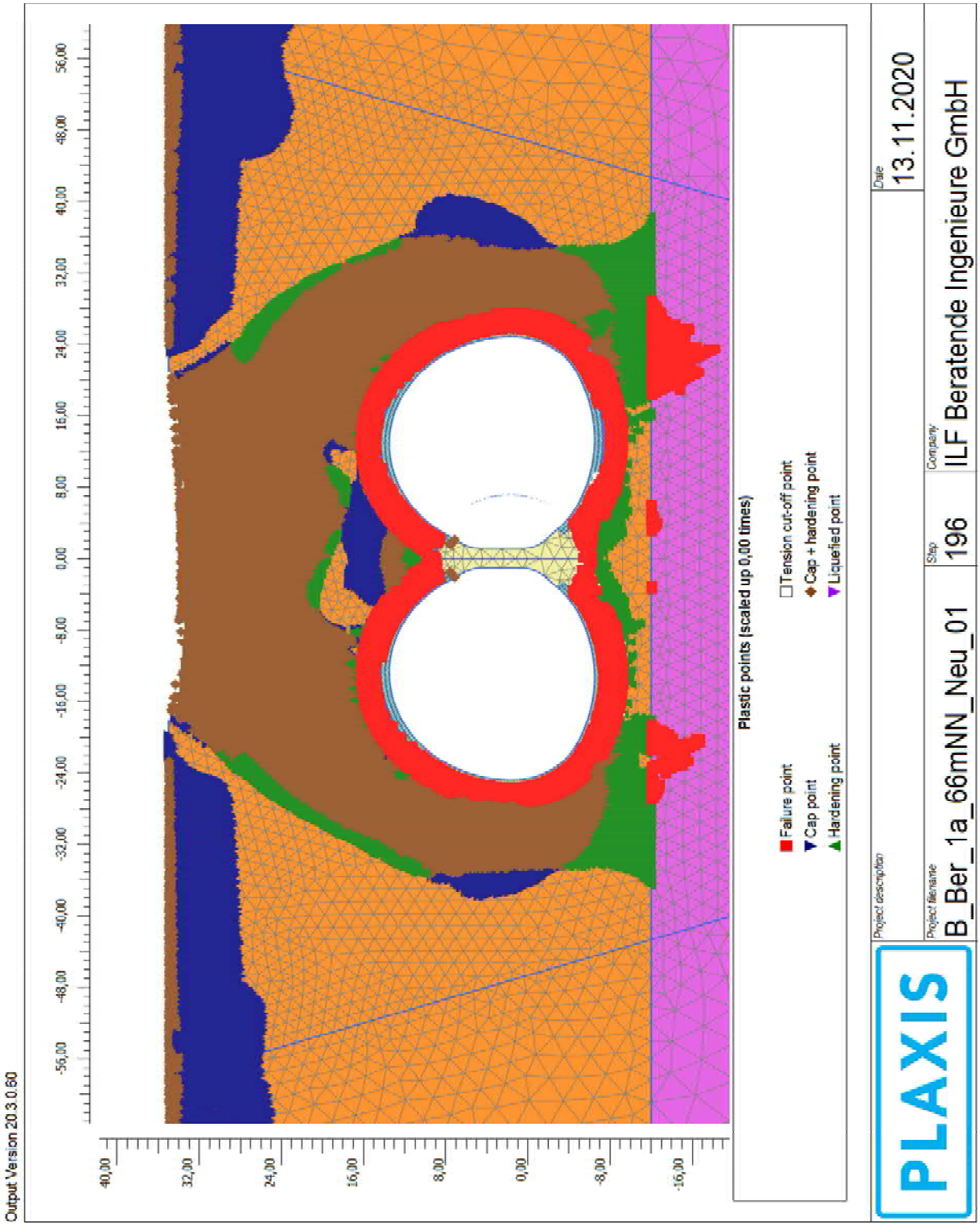

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
100,00
95,00
90,00
85,00
80,00
75,00
70,00
65,00
60,00
55,00
50,00
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Total displacements u_y (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,09642 m (Element 5616 at Node 52318)
Minimum value = -0,05159*10^-3 m (Element 10412 at Node 8540)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

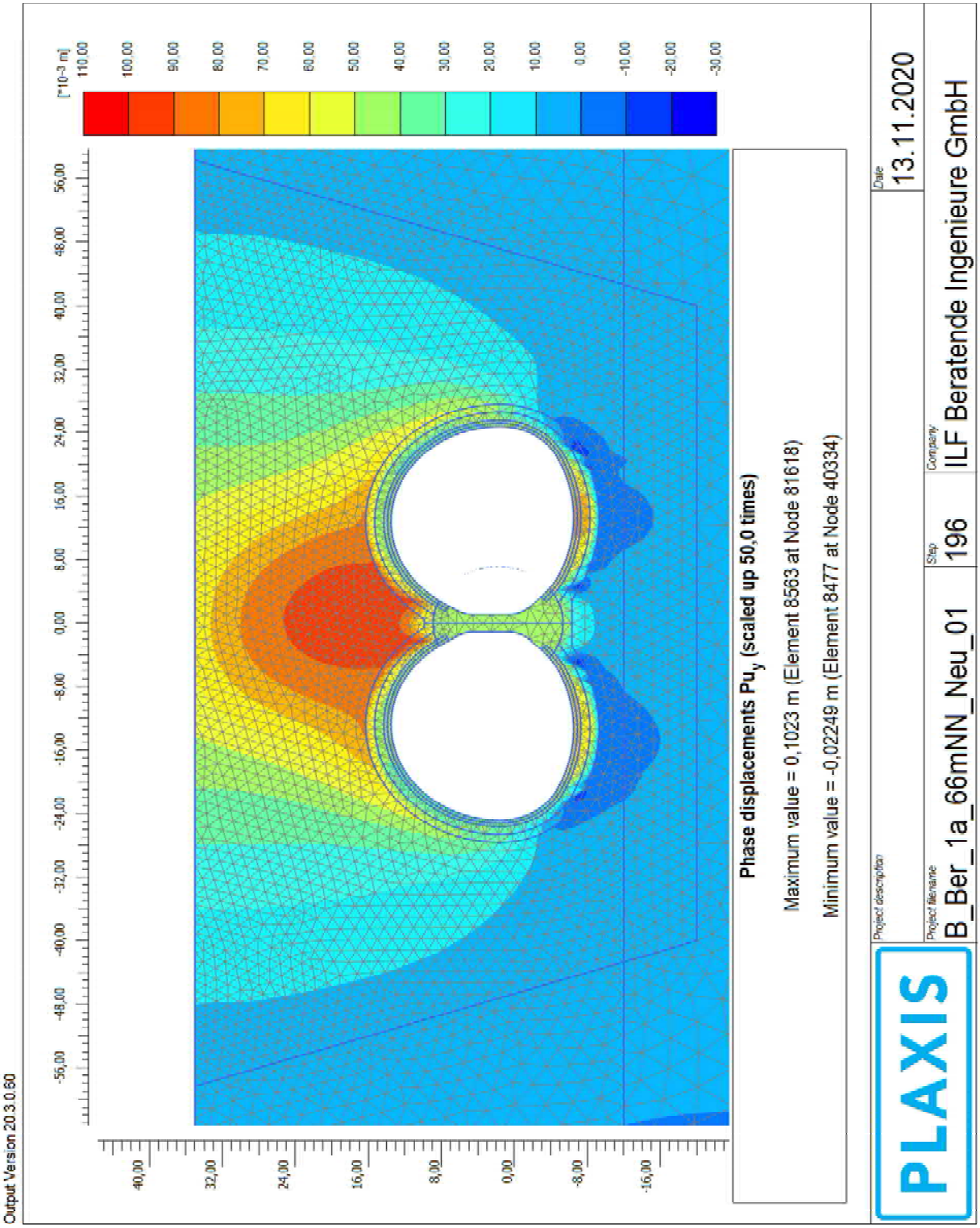

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
-30,00
-40,00
-50,00
-60,00
Total displacements u_x (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,05781 m (Element 8497 at Node 58695)
Minimum value = -0,05259 m (Element 8388 at Node 38737)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
122
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

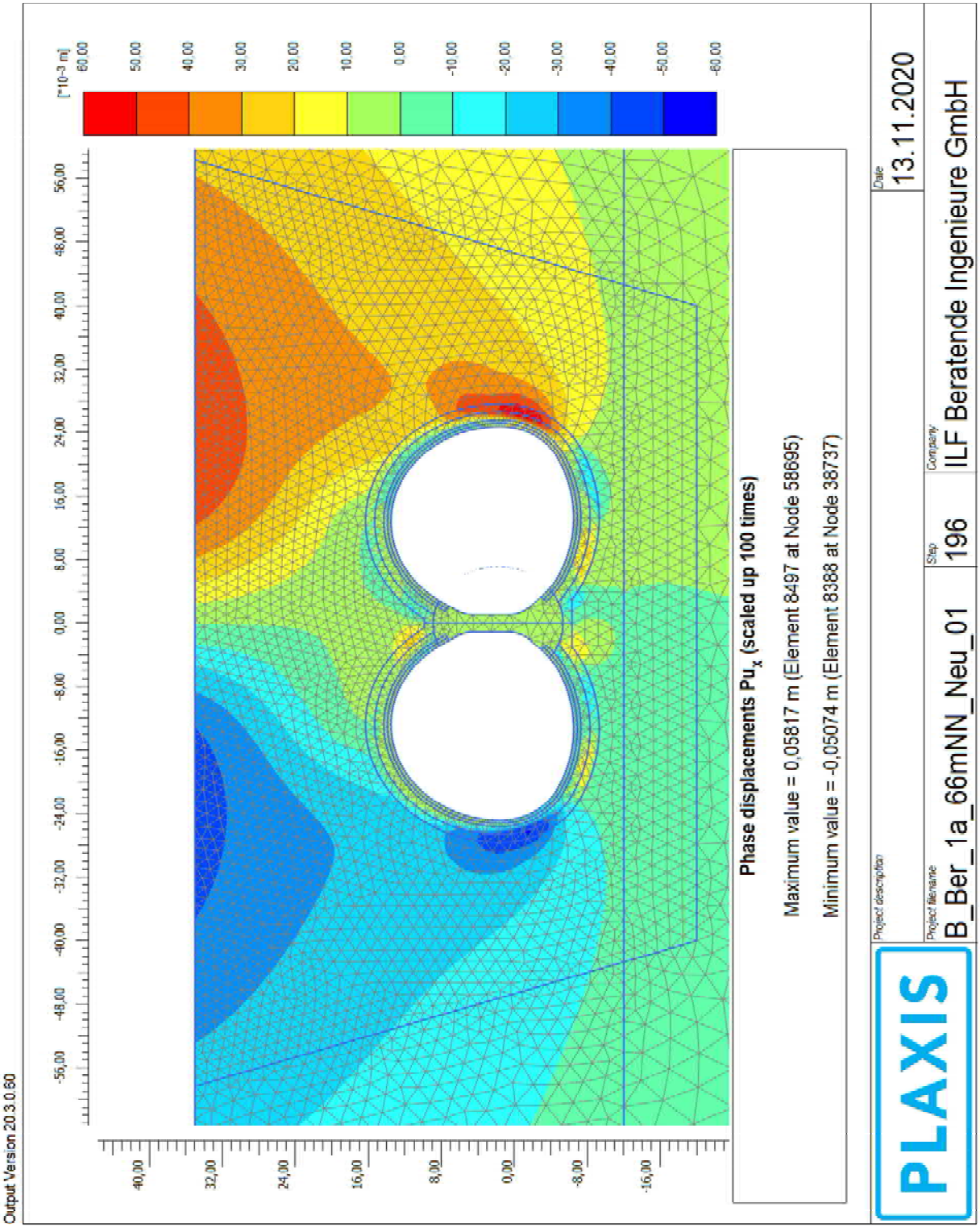

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 8728 kN/m² (Element 5418 at Node 74093)
Minimum value = -19,05*10^3 kN/m² (Element 8808 at Node 49508)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

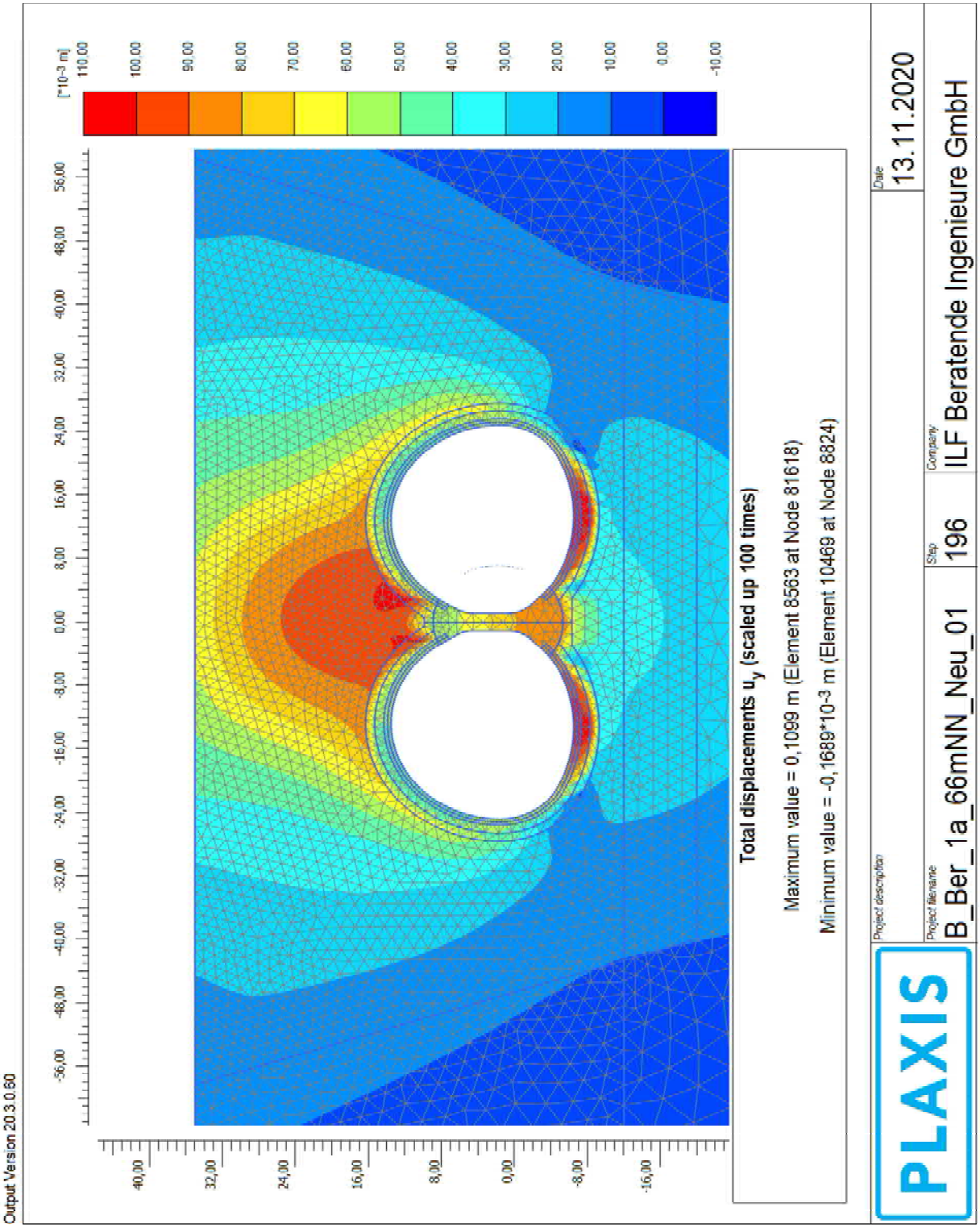

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
-22,00
-24,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 10,22*10^3 kN/m² (Element 5642 at Node 74082)
Minimum value = -23,28*10^3 kN/m² (Element 9142 at Node 28355)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

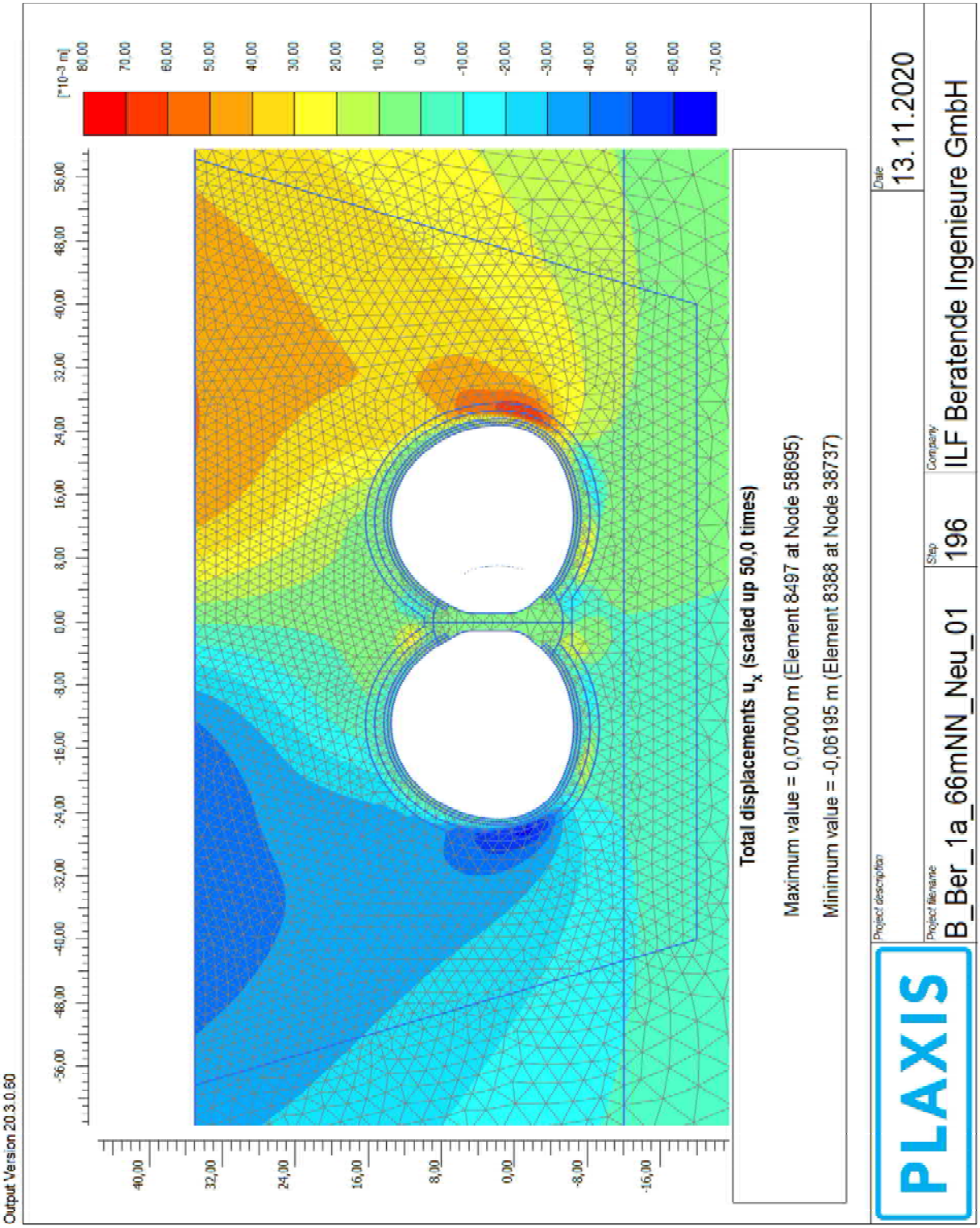

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21487)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

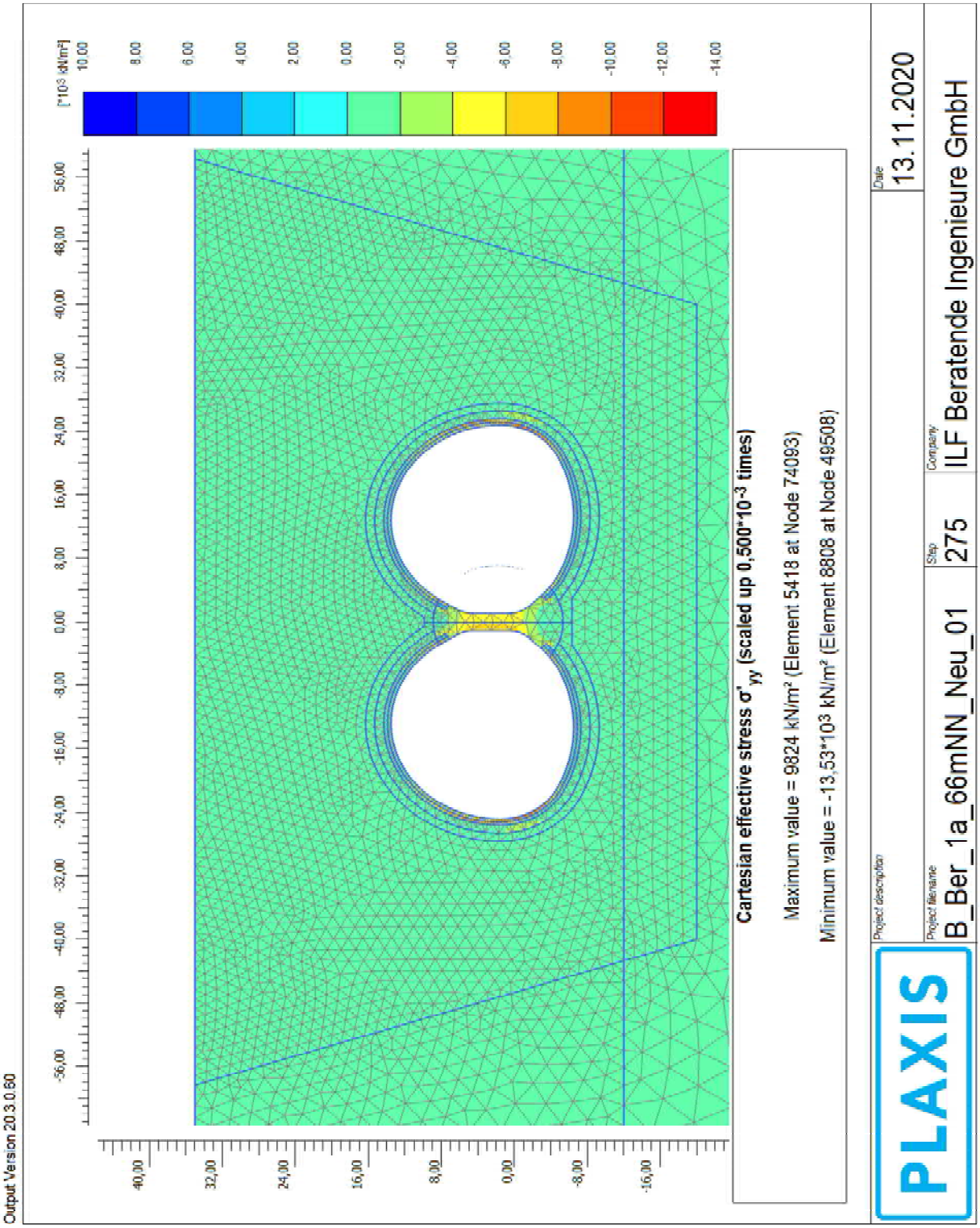

Output Version 20.3.0.60
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

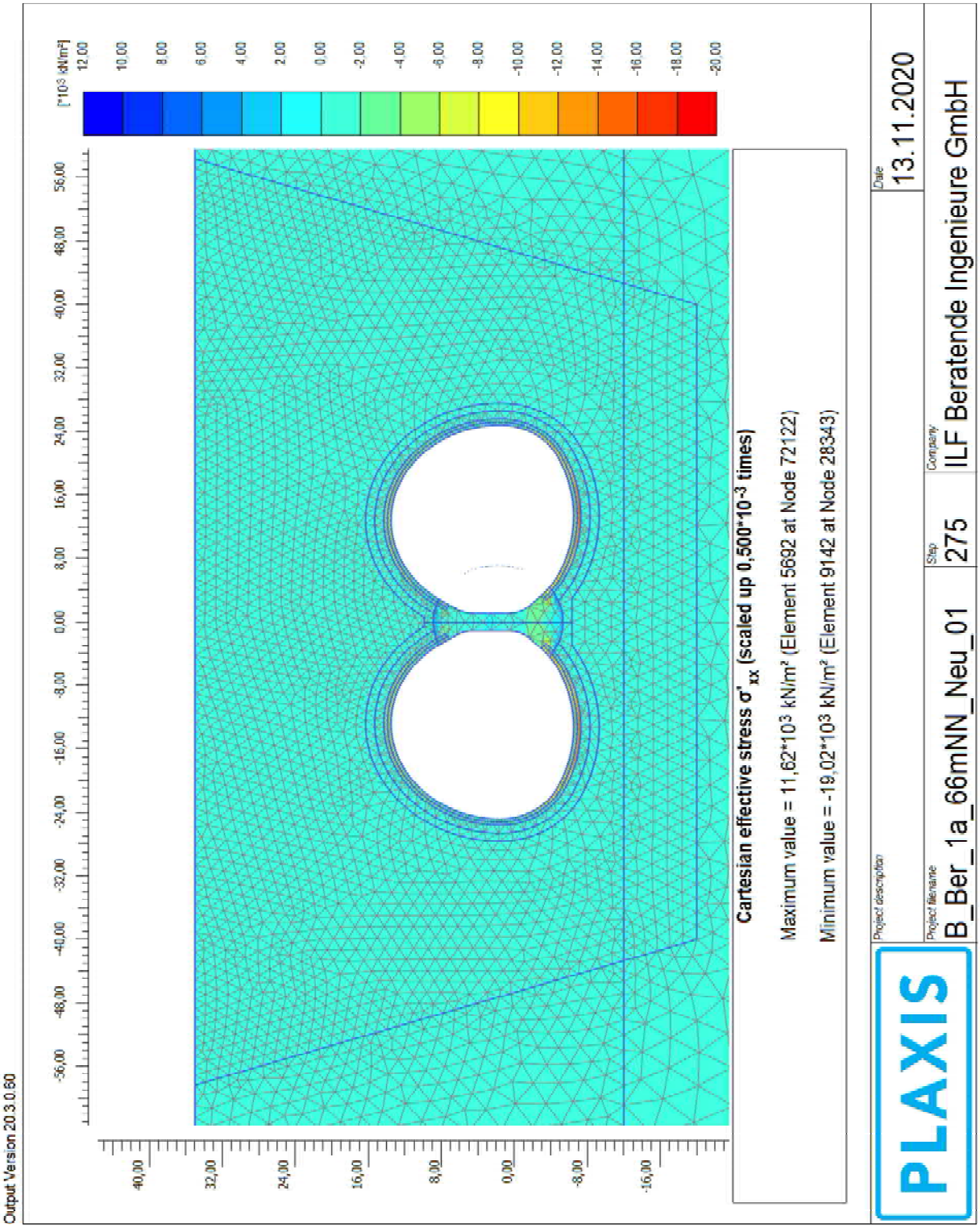

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
110,00
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
-30,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_y (scaled up 50,0 times)
Maximum value = 0,1023 m (Element 8563 at Node 81618)
Minimum value = -0,02249 m (Element 8477 at Node 40334)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

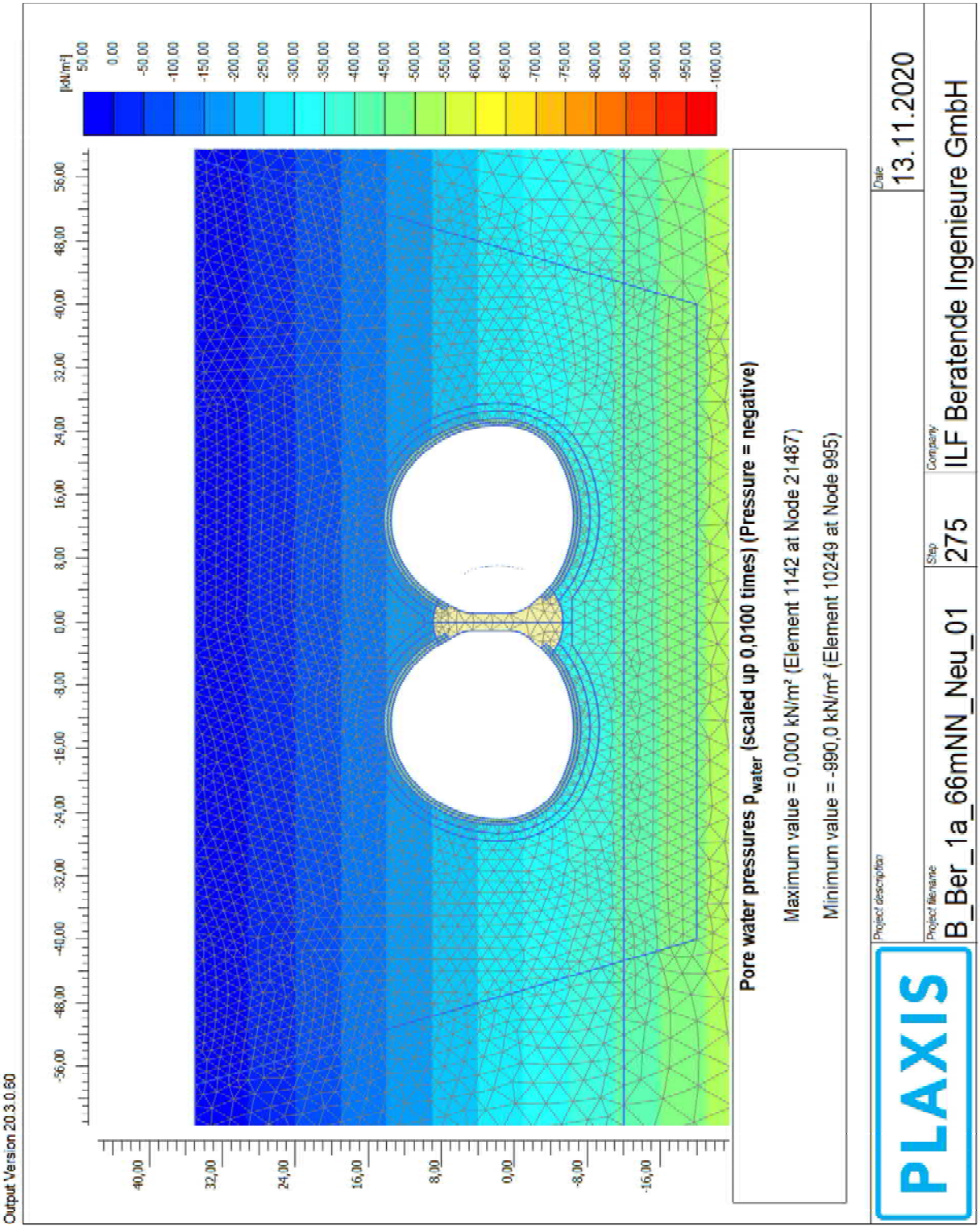

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
-30,00
-40,00
-50,00
-60,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_x (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,05817 m (Element 8497 at Node 58695)
Minimum value = -0,05074 m (Element 8388 at Node 38737)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

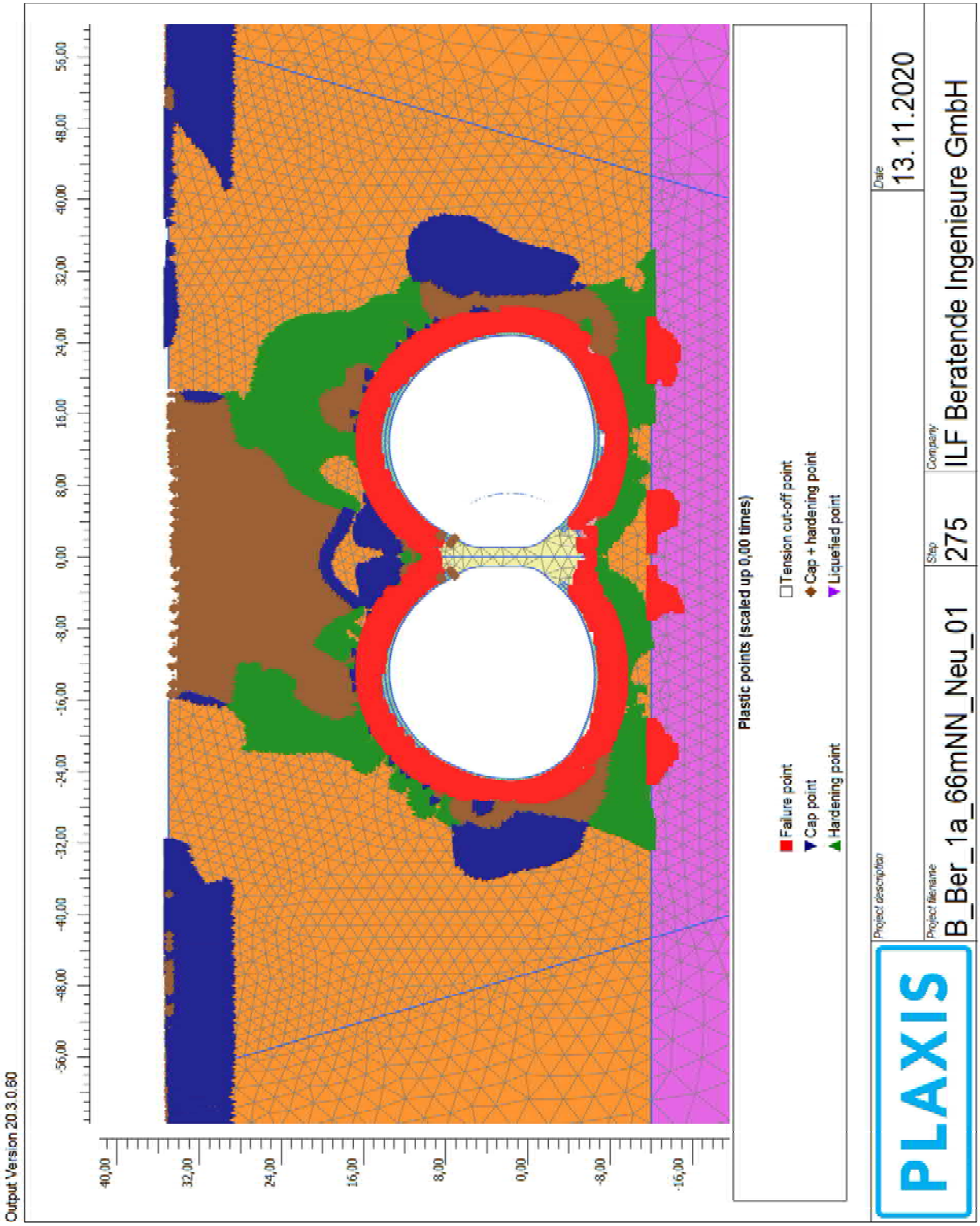

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
110,00
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
Total displacements u_y (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,1099 m (Element 8563 at Node 81618)
Minimum value = -0,1689*10^-3 m (Element 10469 at Node 8824)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

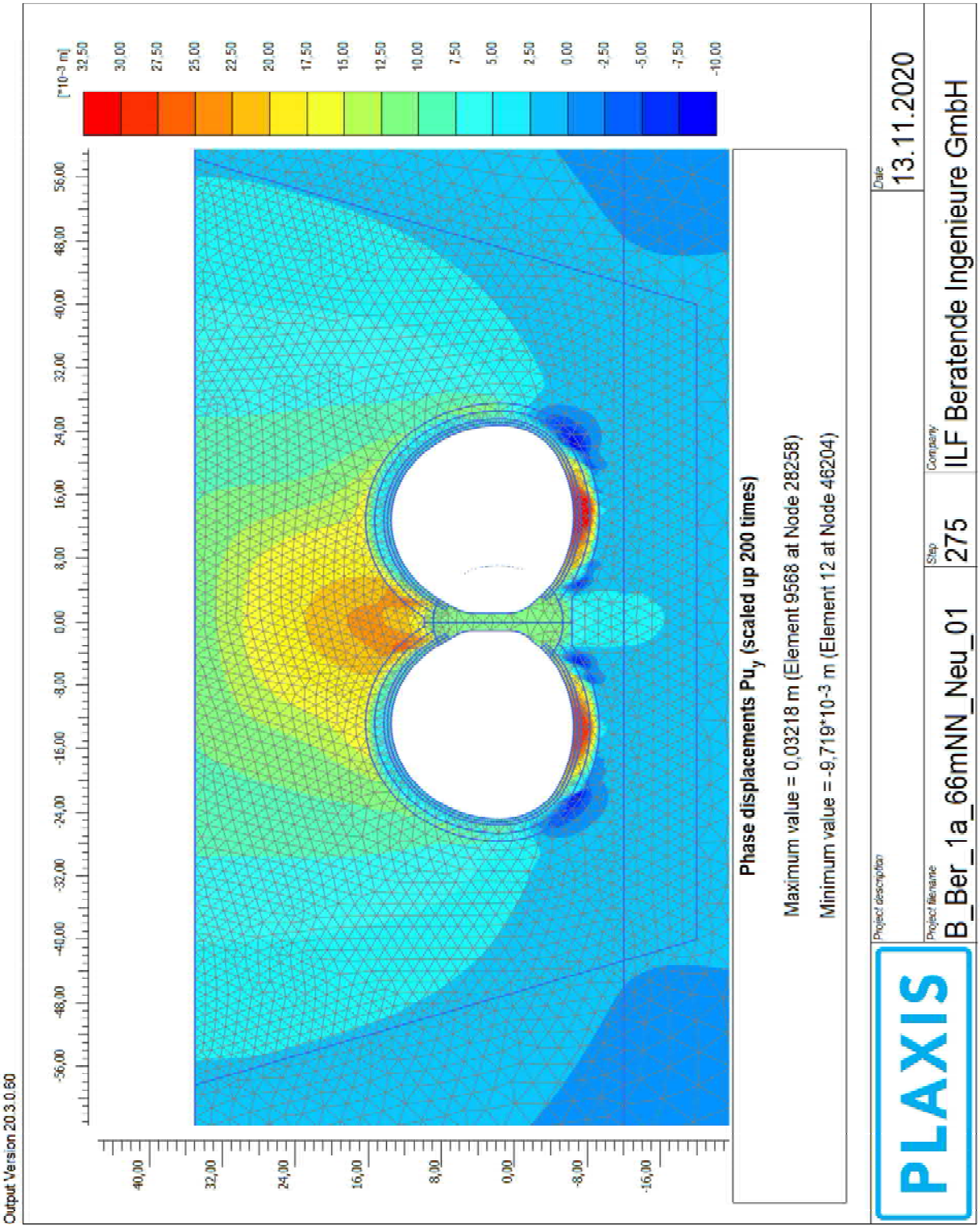

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-10,00
-20,00
-30,00
-40,00
-50,00
-60,00
-70,00
Total displacements u_x (scaled up 50,0 times)
Maximum value = 0,07000 m (Element 8497 at Node 58695)
Minimum value = -0,06195 m (Element 8388 at Node 38737)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
196
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

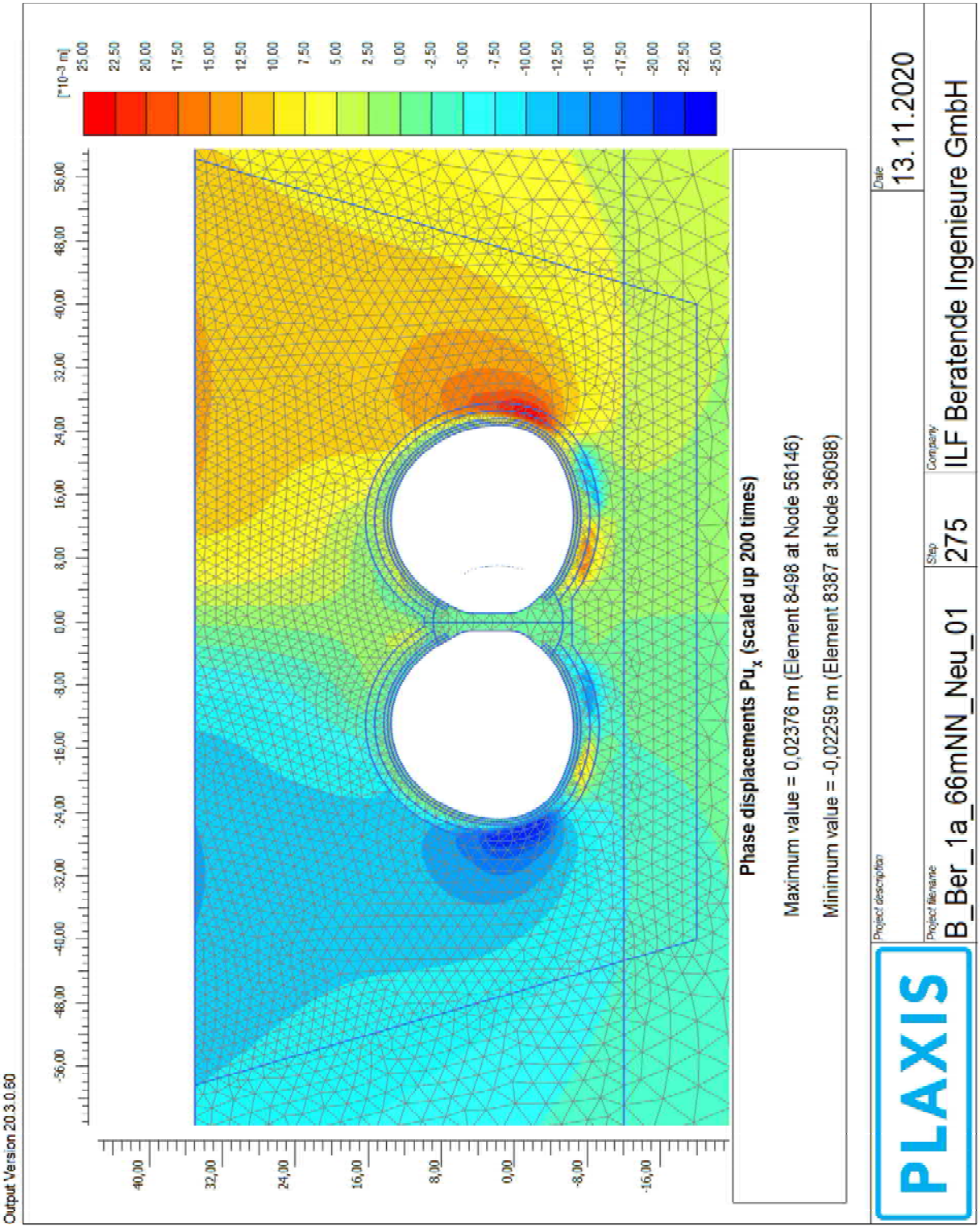

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 9824 kN/m² (Element 5418 at Node 74093)
Minimum value = -13,53*10^3 kN/m² (Element 8808 at Node 49508)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

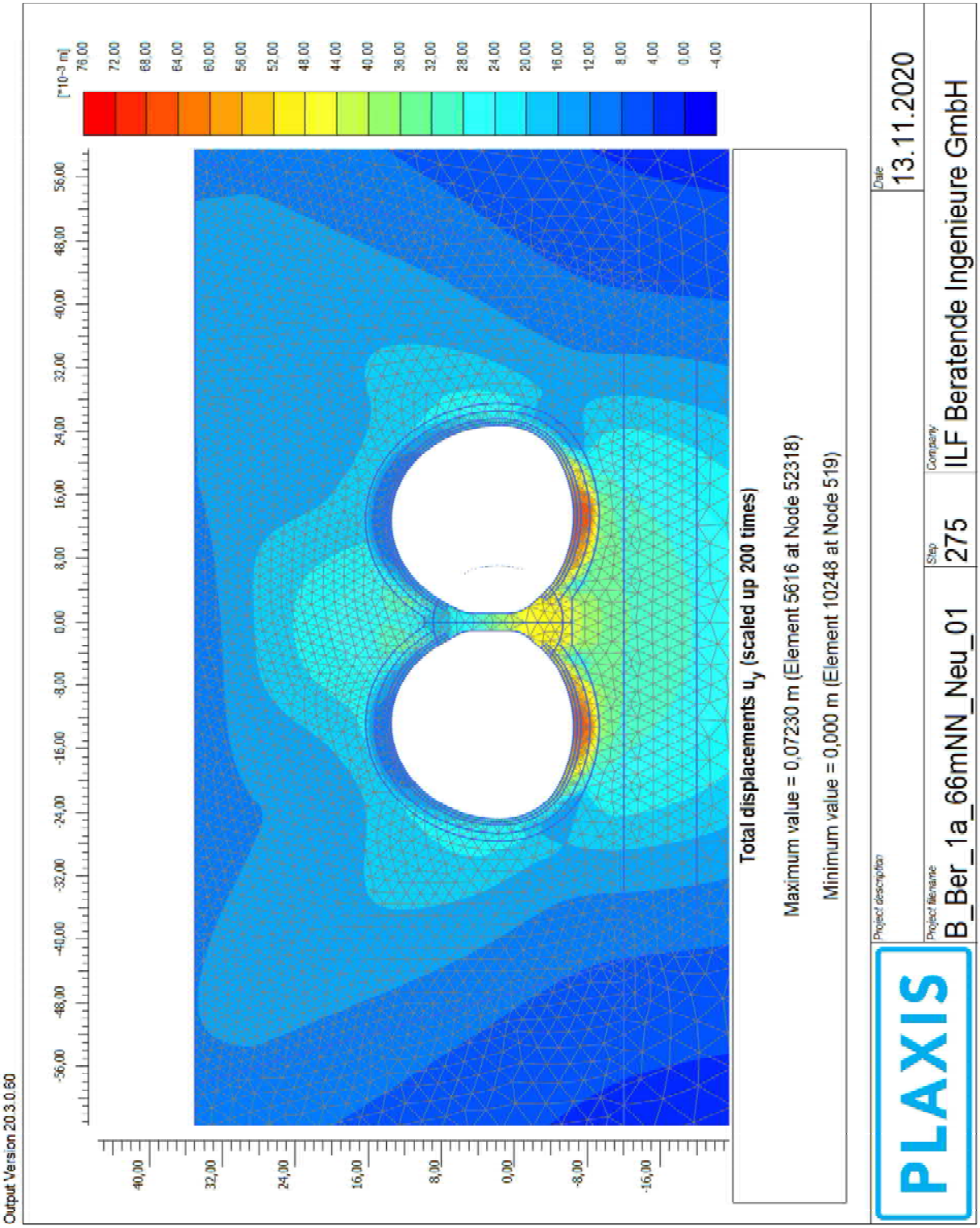

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
-20,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 11,62*10^3 kN/m² (Element 5692 at Node 72122)
Minimum value = -19,02*10^3 kN/m² (Element 9142 at Node 28343)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

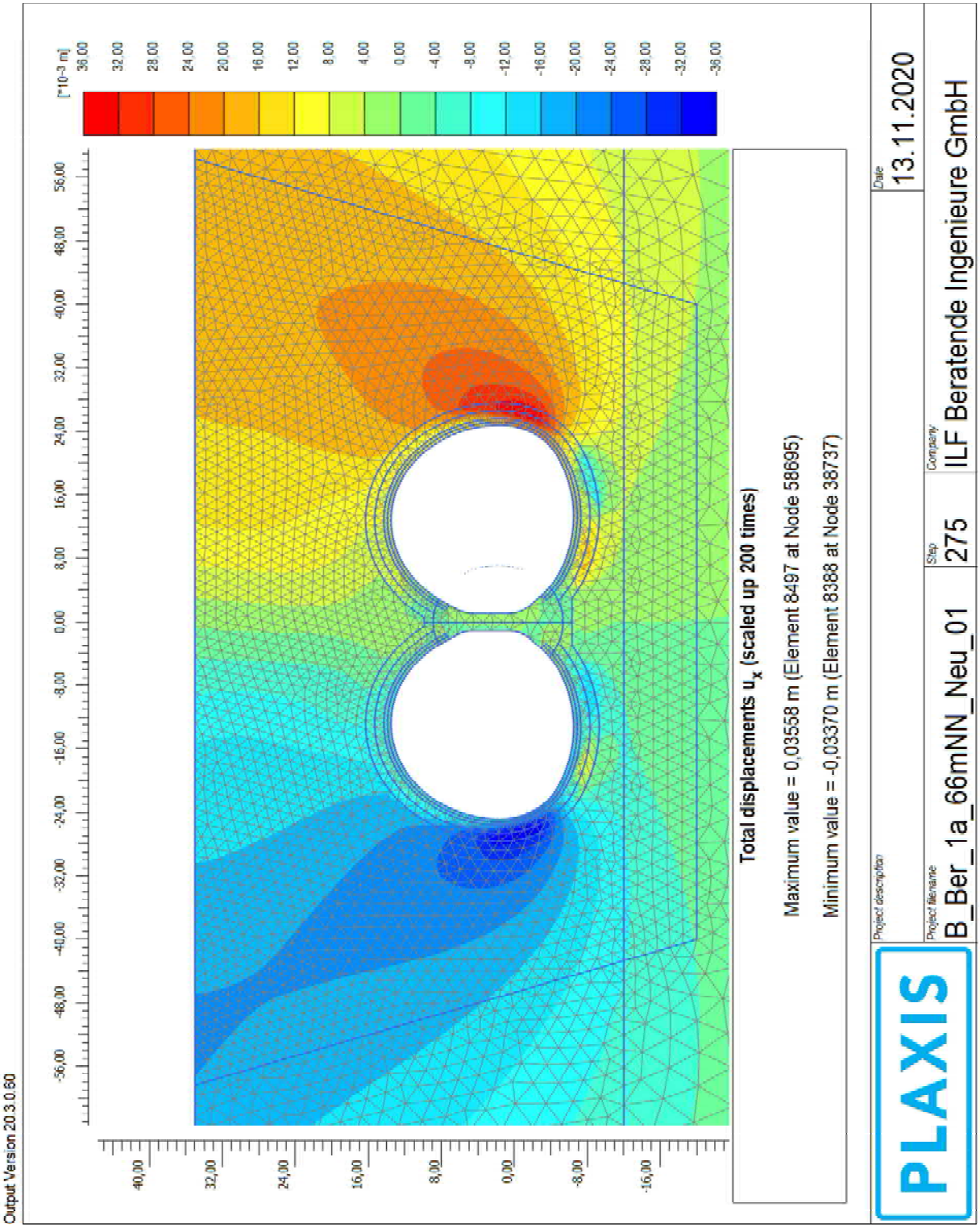

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21487)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020

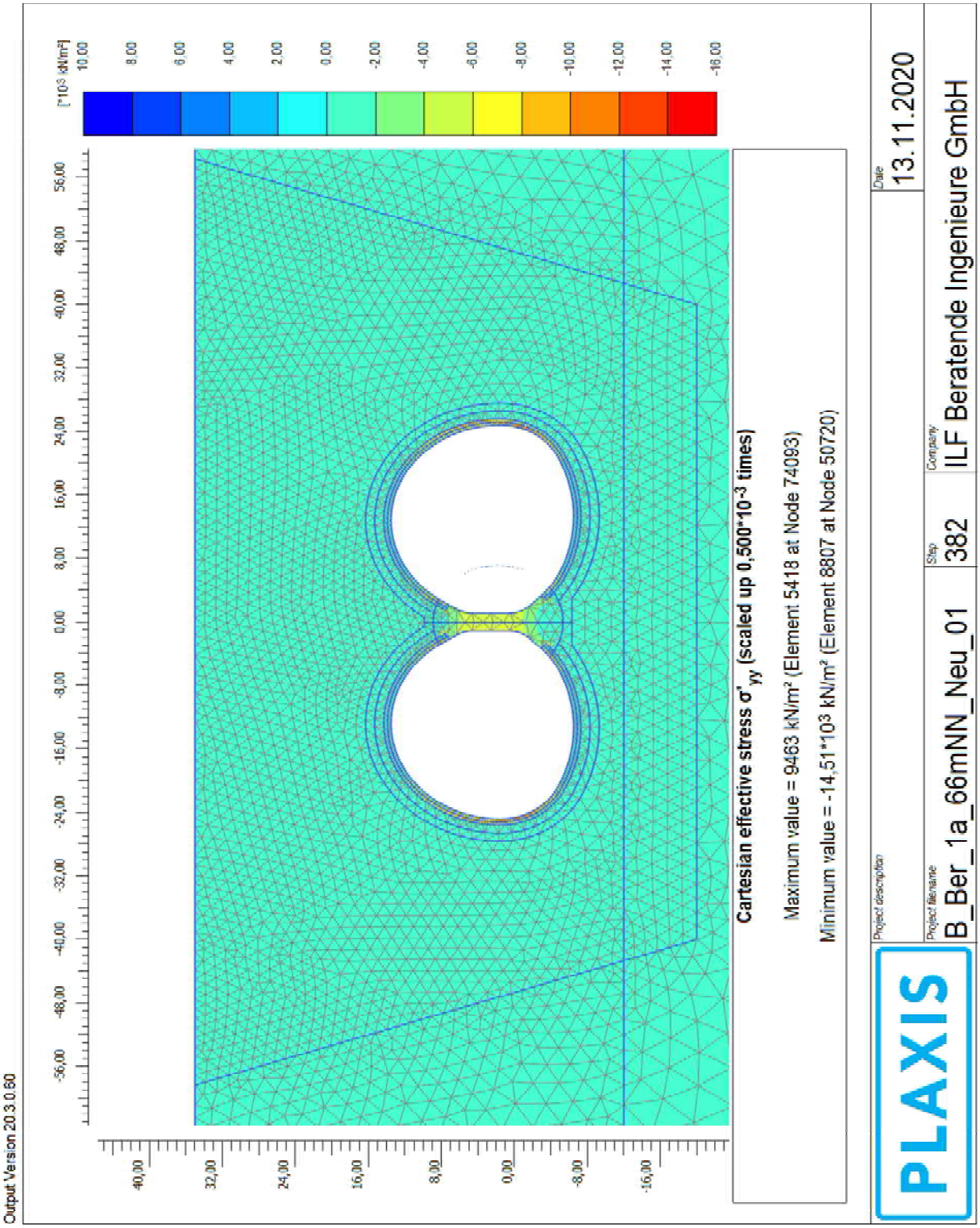

Output Version 20.3.0.60
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

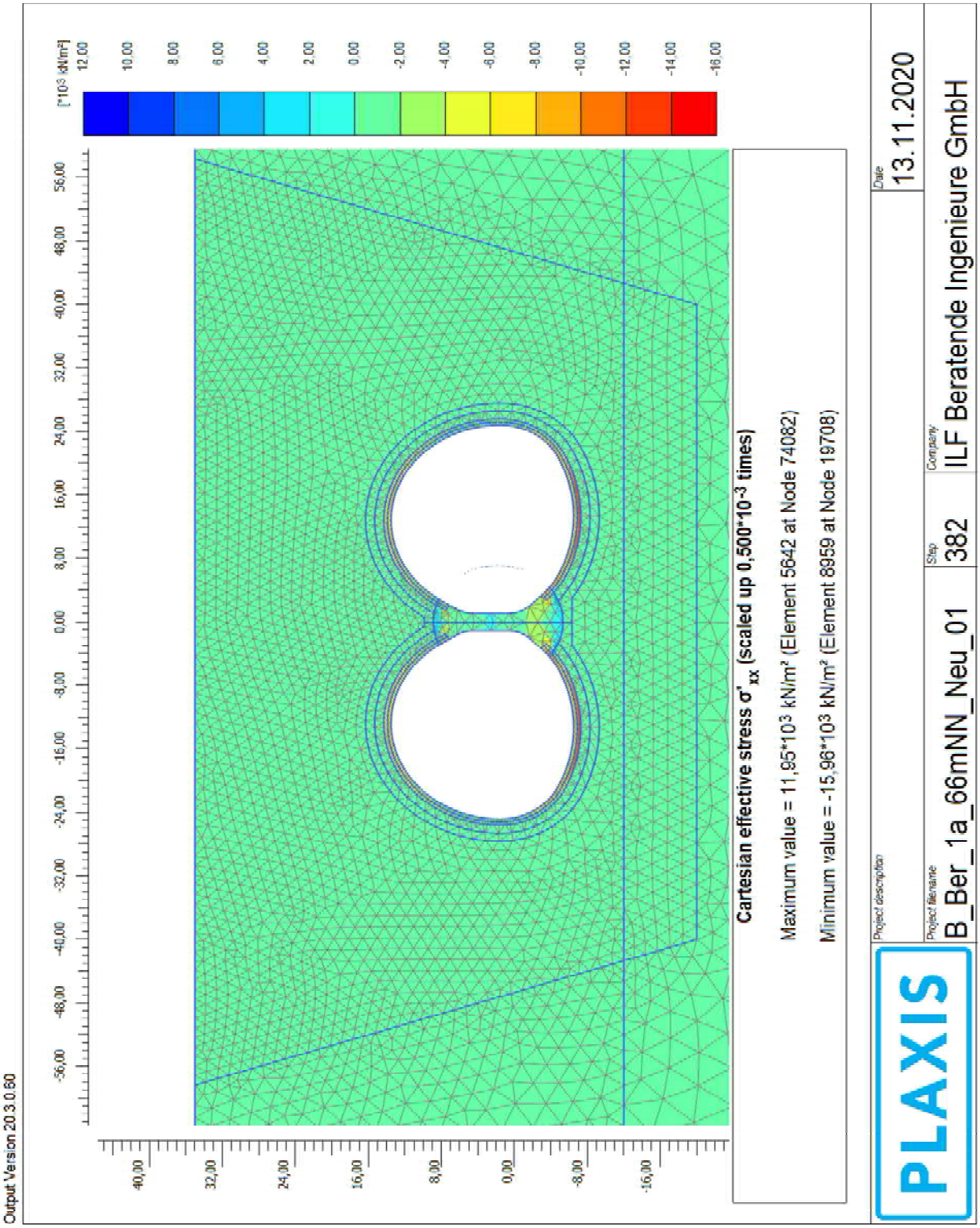

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
32,50
30,00
27,50
25,00
22,50
20,00
17,50
15,00
12,50
10,00
7,50
5,00
2,50
0,00
-2,50
-5,00
-7,50
-10,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,03218 m (Element 9568 at Node 28258)
Minimum value = -9,719*10^-3 m (Element 12 at Node 46204)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

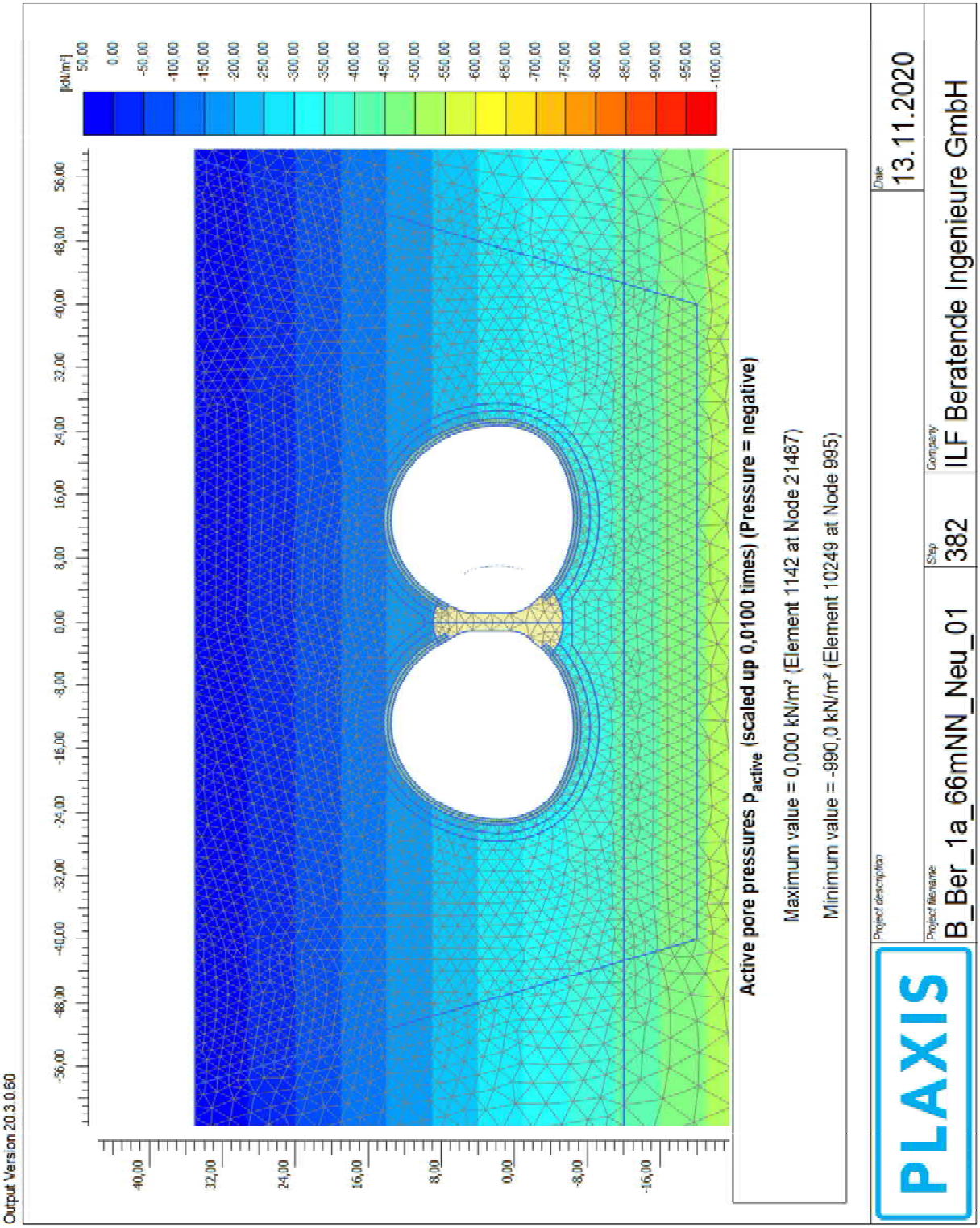

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
25,00
22,50
20,00
17,50
15,00
12,50
10,00
7,50
5,00
2,50
0,00
-2,50
-5,00
-7,50
-10,00
-12,50
-15,00
-17,50
-20,00
-22,50
-25,00
Phase displacements Pu_x (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,02376 m (Element 8498 at Node 56146)
Minimum value = -0,02259 m (Element 8387 at Node 36098)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

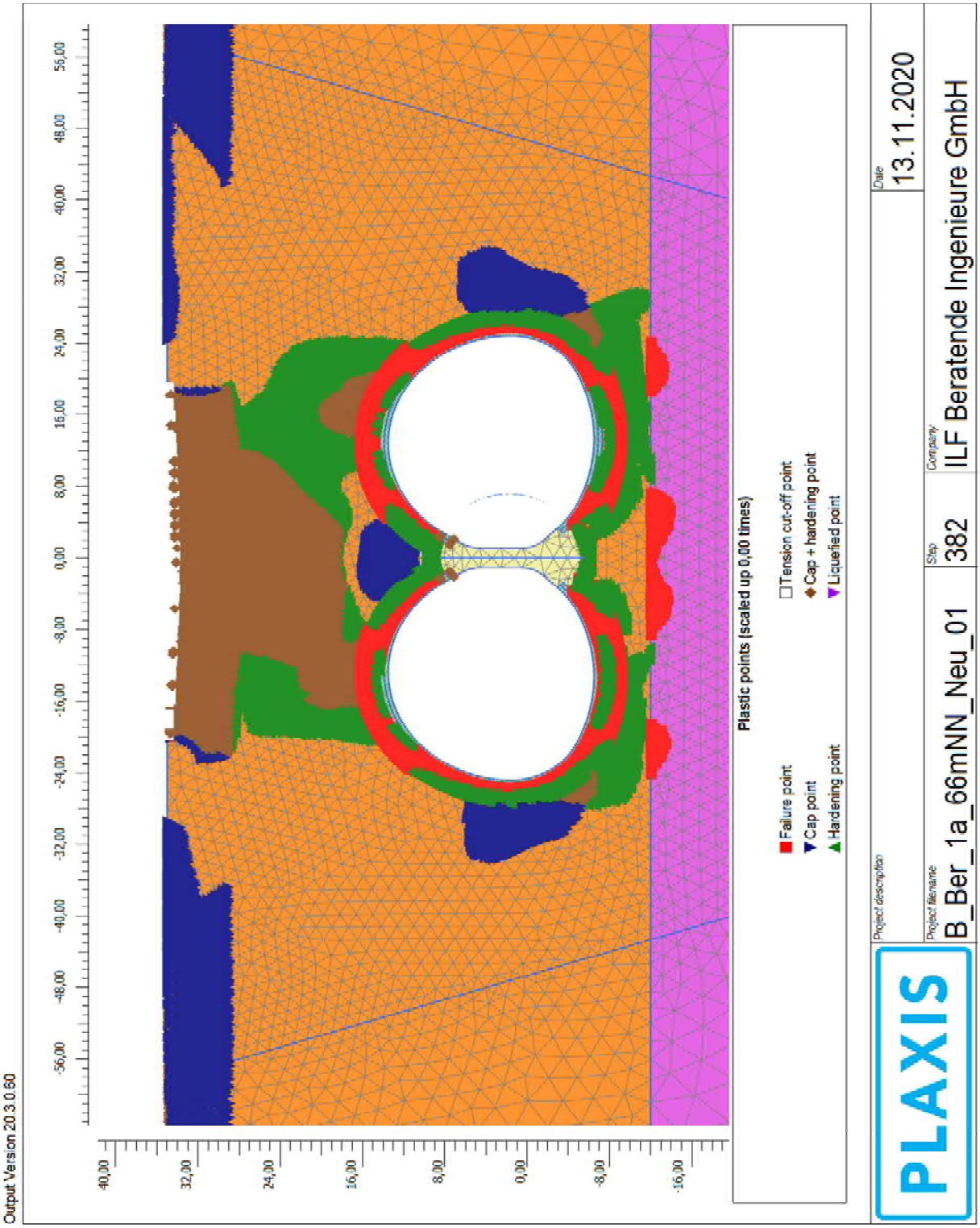

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
76,00
72,00
68,00
64,00
60,00
56,00
52,00
48,00
44,00
40,00
36,00
32,00
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,07230 m (Element 5616 at Node 52318)
Minimum value = 0,000 m (Element 10248 at Node 519)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS

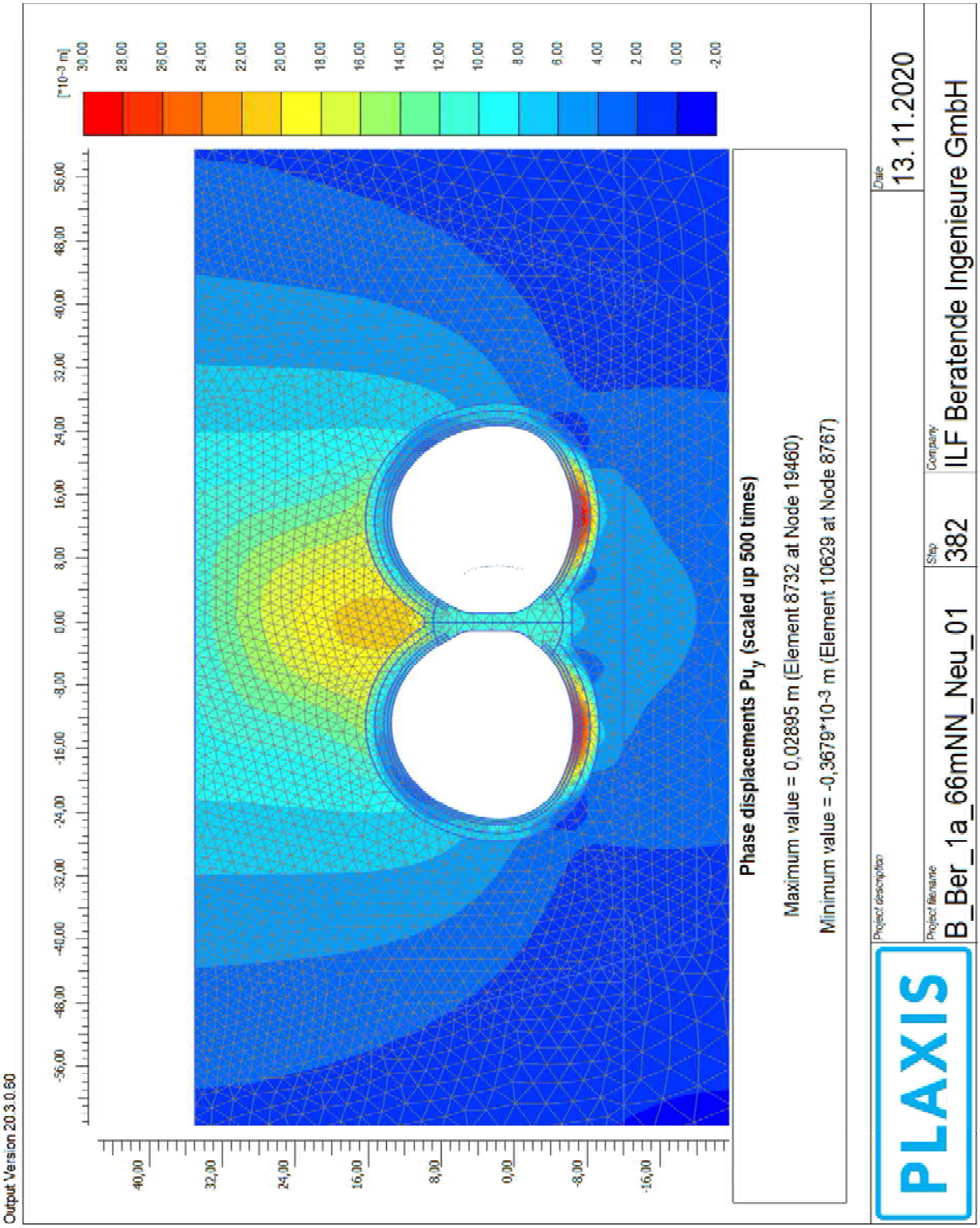

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
36,00
32,00
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
-8,00
-12,00
-16,00
-20,00
-24,00
-28,00
-32,00
-36,00
Total displacements u_x (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,03558 m (Element 8497 at Node 58695)
Minimum value = -0,03370 m (Element 8388 at Node 38737)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
275
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

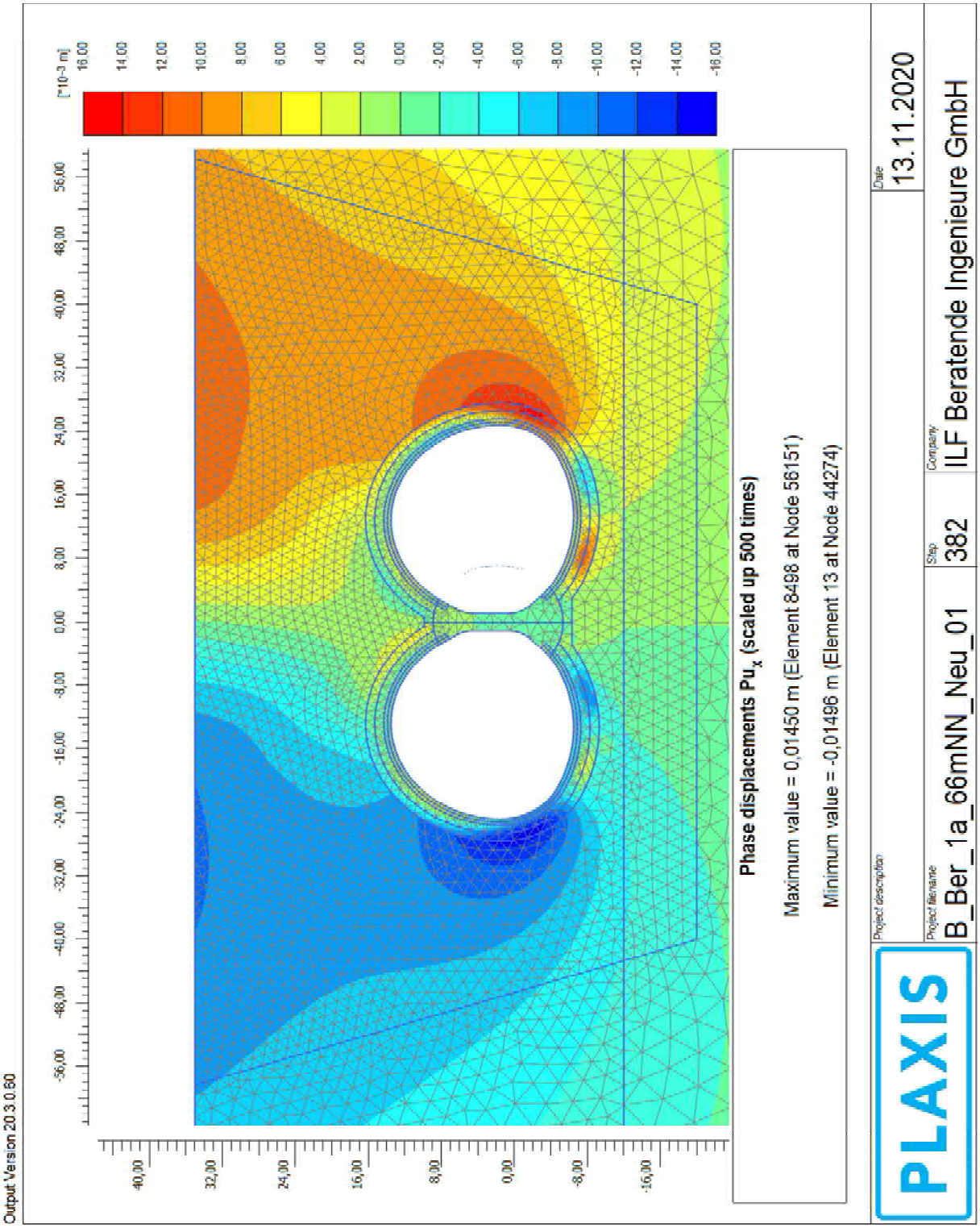

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 9463 kN/m² (Element 5418 at Node 74093)
Minimum value = -14,51*10^3 kN/m² (Element 8807 at Node 50720)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

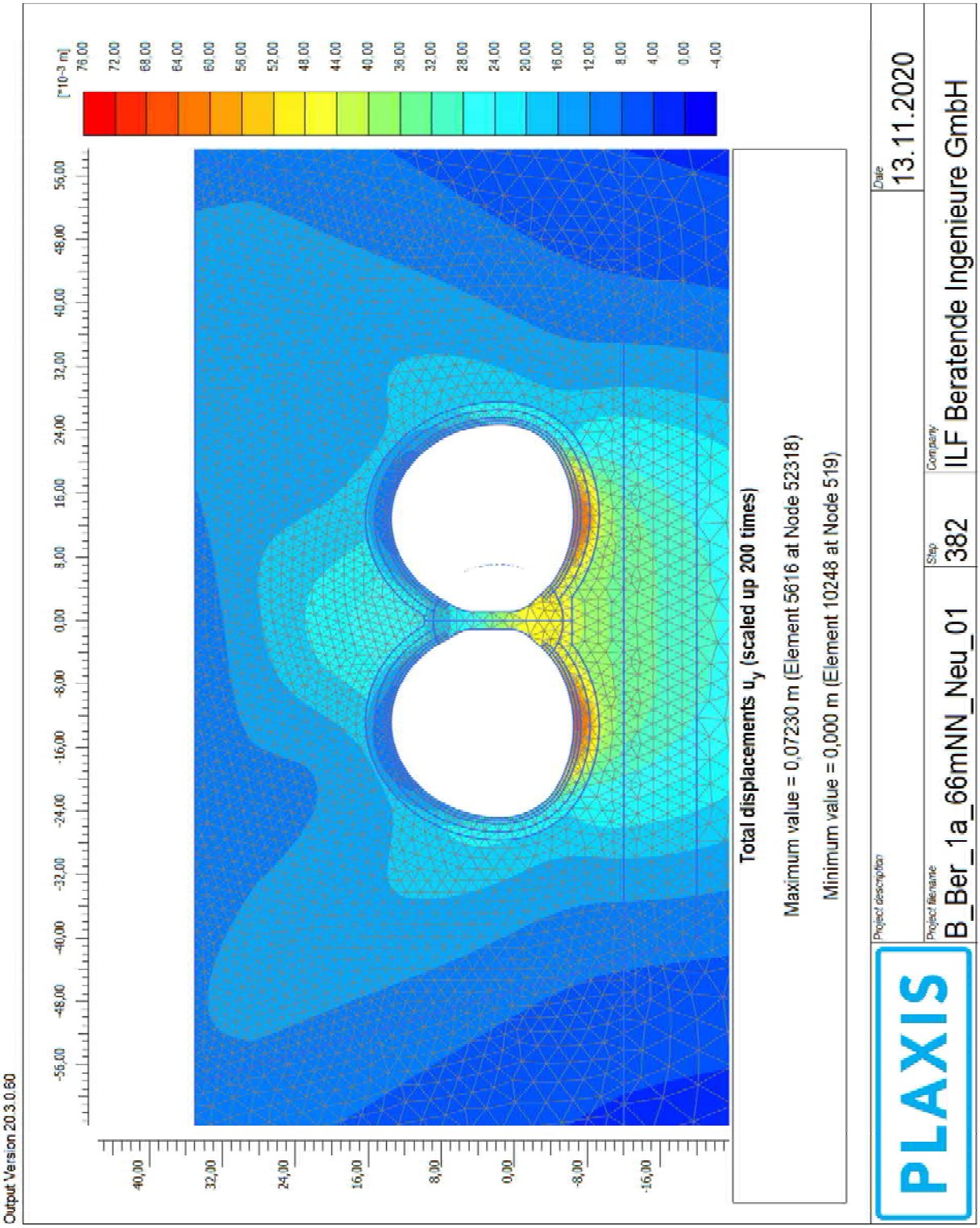

Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 11,95*10^3 kN/m² (Element 5842 at Node 74082)
Minimum value = -15,96*10^3 kN/m² (Element 8959 at Node 19708)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

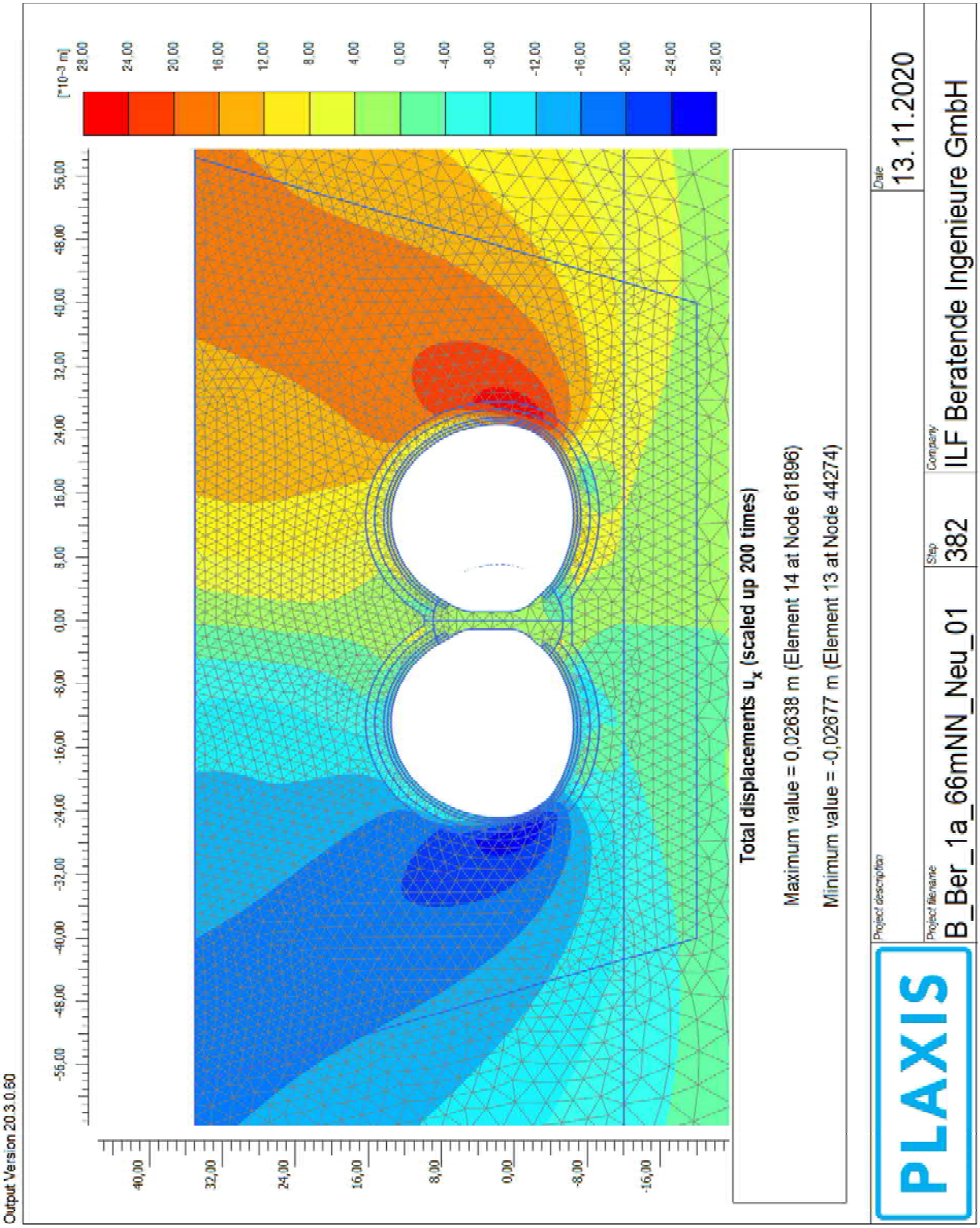

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21487)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10249 at Node 995)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
30,00
28,00
26,00
24,00
22,00
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
Phase displacements Pu_y (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,02895 m (Element 8732 at Node 19460)
Minimum value = -0,3679*10^-3 m (Element 10629 at Node 8767)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Phase displacements Pu_x (scaled up 500 times)
Maximum value = 0,01450 m (Element 8498 at Node 56151)
Minimum value = -0,01496 m (Element 13 at Node 44274)
Project description
Date
13.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
76,00
72,00
68,00
64,00
60,00
56,00
52,00
48,00
44,00
40,00
36,00
32,00
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,07230 m (Element 5616 at Node 52318)
Minimum value = 0,000 m (Element 10248 at Node 519)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
13.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
-8,00
-12,00
-16,00
-20,00
-24,00
-28,00
Total displacements u_x (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,02638 m (Element 14 at Node 61896)
Minimum value = -0,02677 m (Element 13 at Node 44274)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Neu_01
Step
382
Date
13.11.2020
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
PLAXIS

Anlage 5: Ergebnisse numerische Berechnung – Grenzbetrachtung Innenschale

Hardening Soil:

Material set	
Identification number	1
Identification	Frankfurter Ton
Material model	Hardening soil
Drainage type	Drained
Colour	RGB 245, 142, 46
Comments	

General properties		
γ_{unsat}	kN/m³	19,00
γ_{sat}	kN/m³	19,00

Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{oed}^{ref}	kN/m²	20,00E3
E_{ur}^{ref}	kN/m²	73,20E3
power (m)		1,000

Strength		
c_{ref}	kN/m²	20,00
φ (phi)	°	20,00
ψ (psi)	°	0,000

Mohr Coulomb:

Identification number		4	5	6
Identification		Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Interface IS / Rohr WD/ Verrot
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Non-porous	Drained
Colour		RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 37, 67, 212
Comments				
eneral properties				
γ_{unsat}	kN/m³	22,00	0,000	0,000
γ_{sat}	kN/m³	22,00	0,000	0,000

Identification number		4	5	6
Identification		Frankfurter Kalke	Interface Tübbing Rohr	Interface IS / Rohr WD/ Verrot
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Non-porous	Drained
Colour		RGB 221, 100, 221	RGB 230, 30, 53	RGB 37, 67, 212
Stiffness				
E	kN/m²	350,0E3	30,00E6	3,000E6
ν (nu)		0,2000	0,1500	0,1500
Alternatives				
G	kN/m²	145,8E3	13,04E6	1,304E6
E_{oed}	kN/m²	388,9E3	31,68E6	3,168E6
Strength				
c_{ref}	kN/m²	15,00	140,0	140,0
φ (phi)	°	32,50	30,00	30,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000
Velocities				
V_s	m/s	255,0	0,000	0,000
V_p	m/s	416,4	0,000	0,000
Advanced				
Set to default values		☑	☑	☑
Stiffness				
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Strength				
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		☑	☑	☑
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000

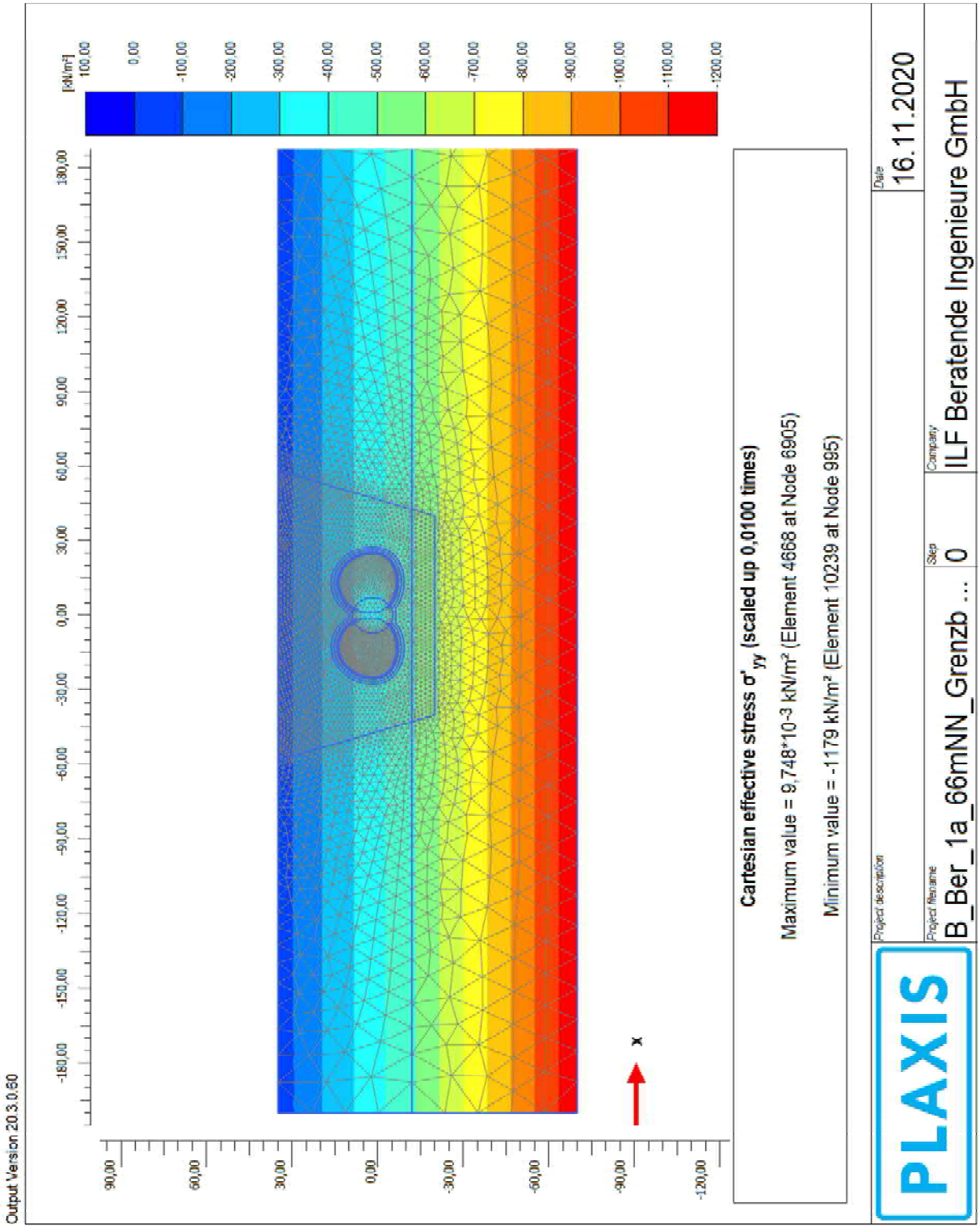
Linear elastisch:

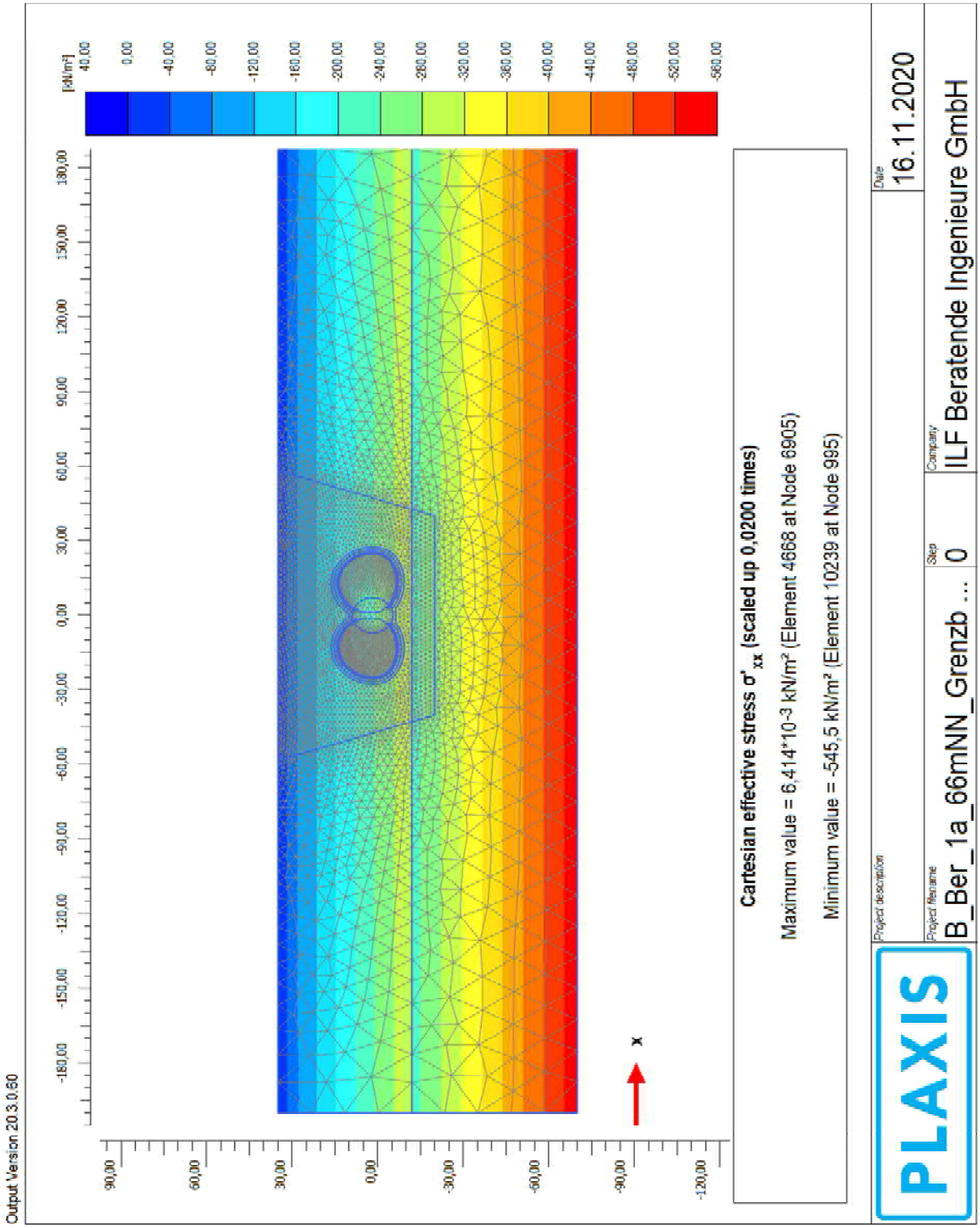
Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156
Comments		

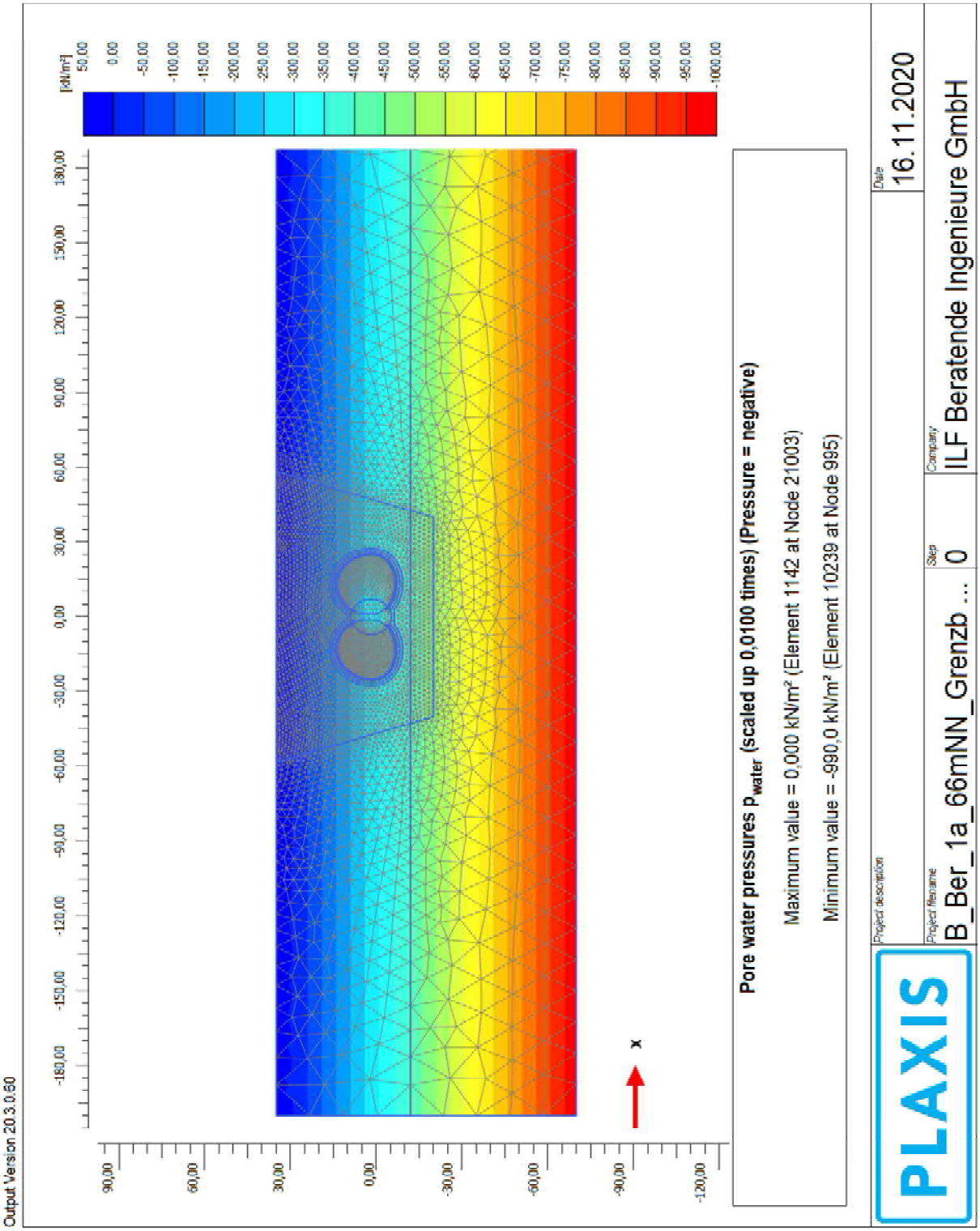
General properties			
γ_{unsat}	kN/m³	25,00	25,00
γ_{sat}	kN/m³	25,00	25,00

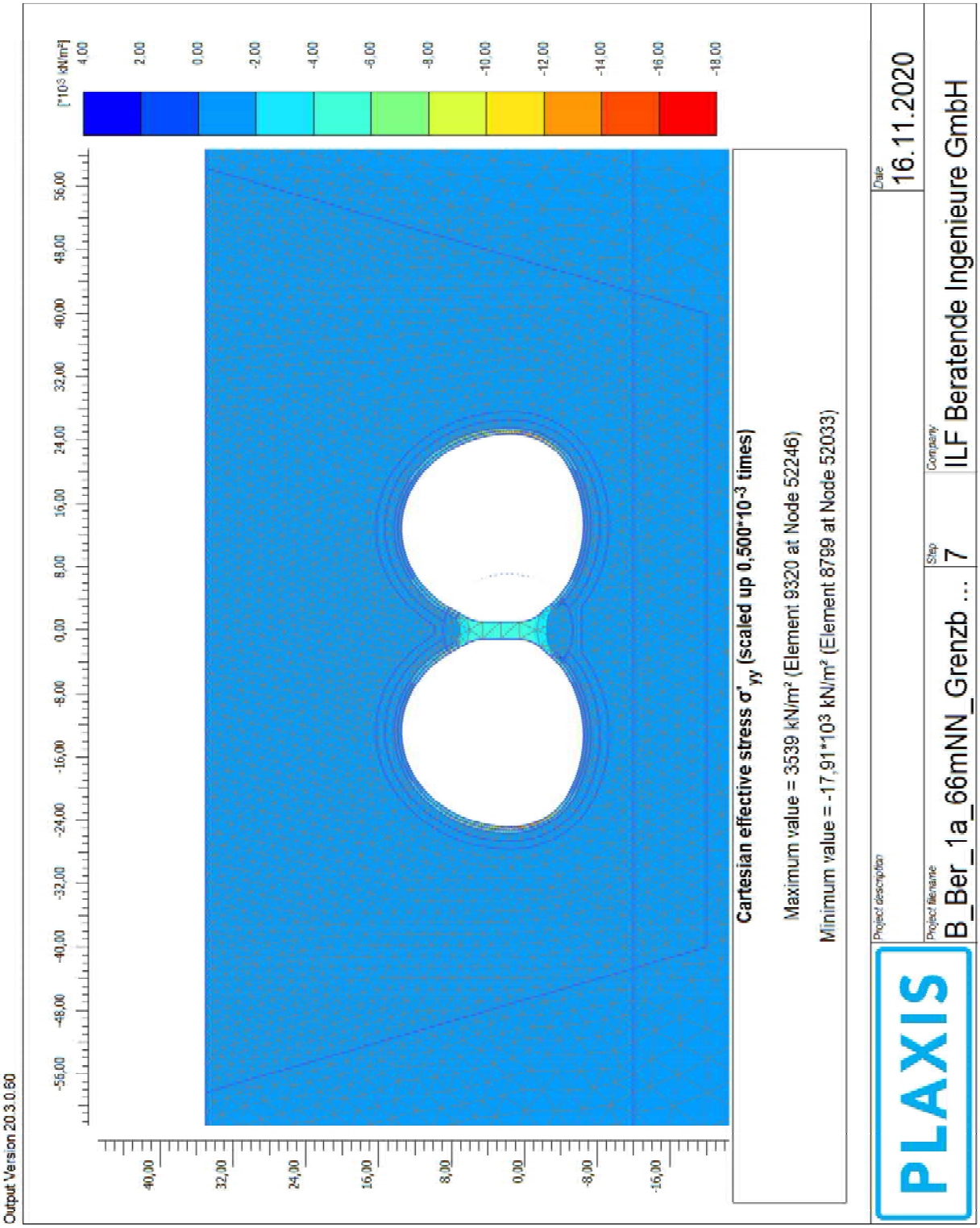
Material set		
Identification number	2	3
Identification	Beton IS	Beton Pfeiler
Material model	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type	Non-porous	Non-porous
Colour	RGB 134, 234, 162	RGB 236, 232, 156

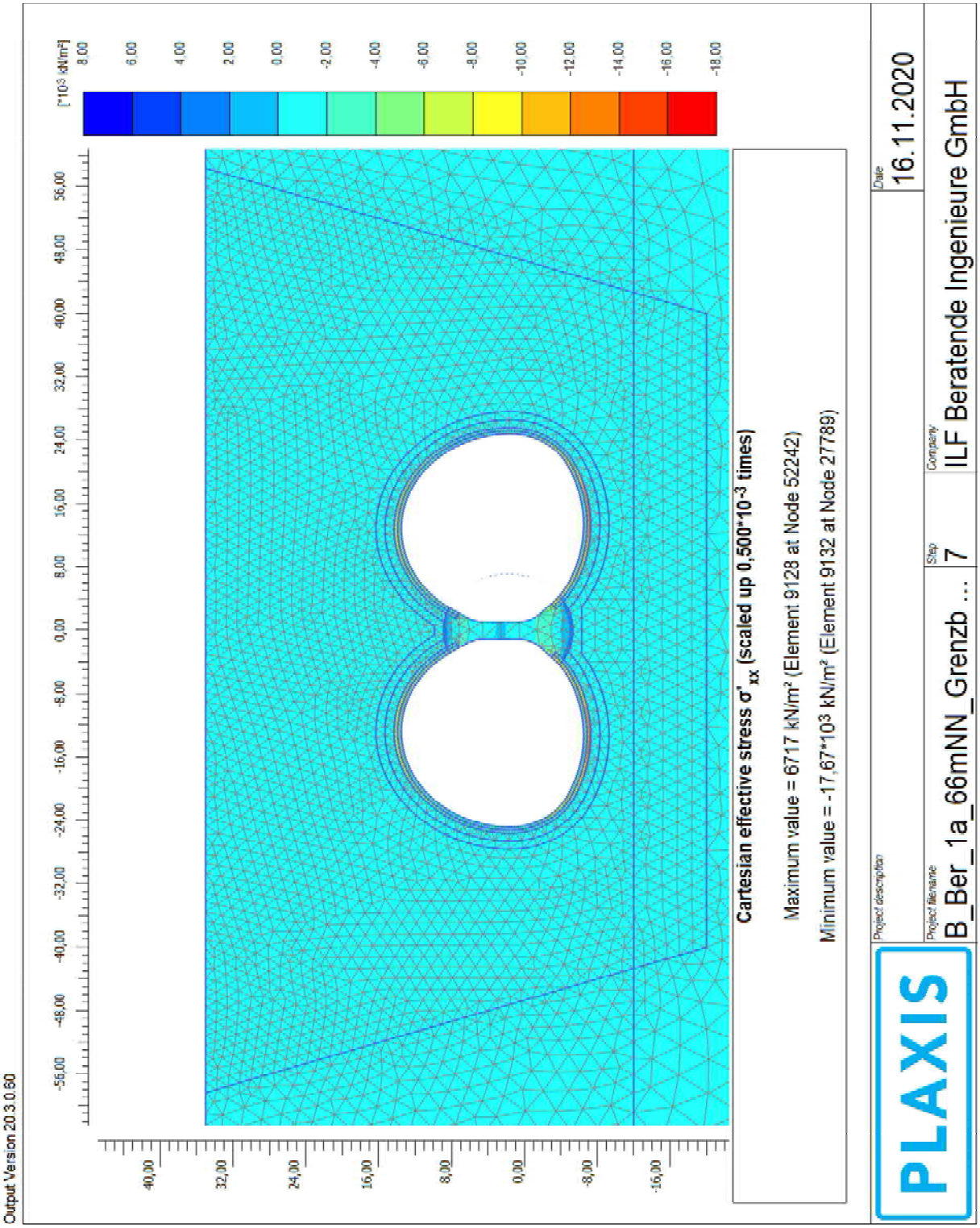
Stiffness			
E	kN/m²	34,00E6	34,00E6
v (nu)		0,1500	0,1500

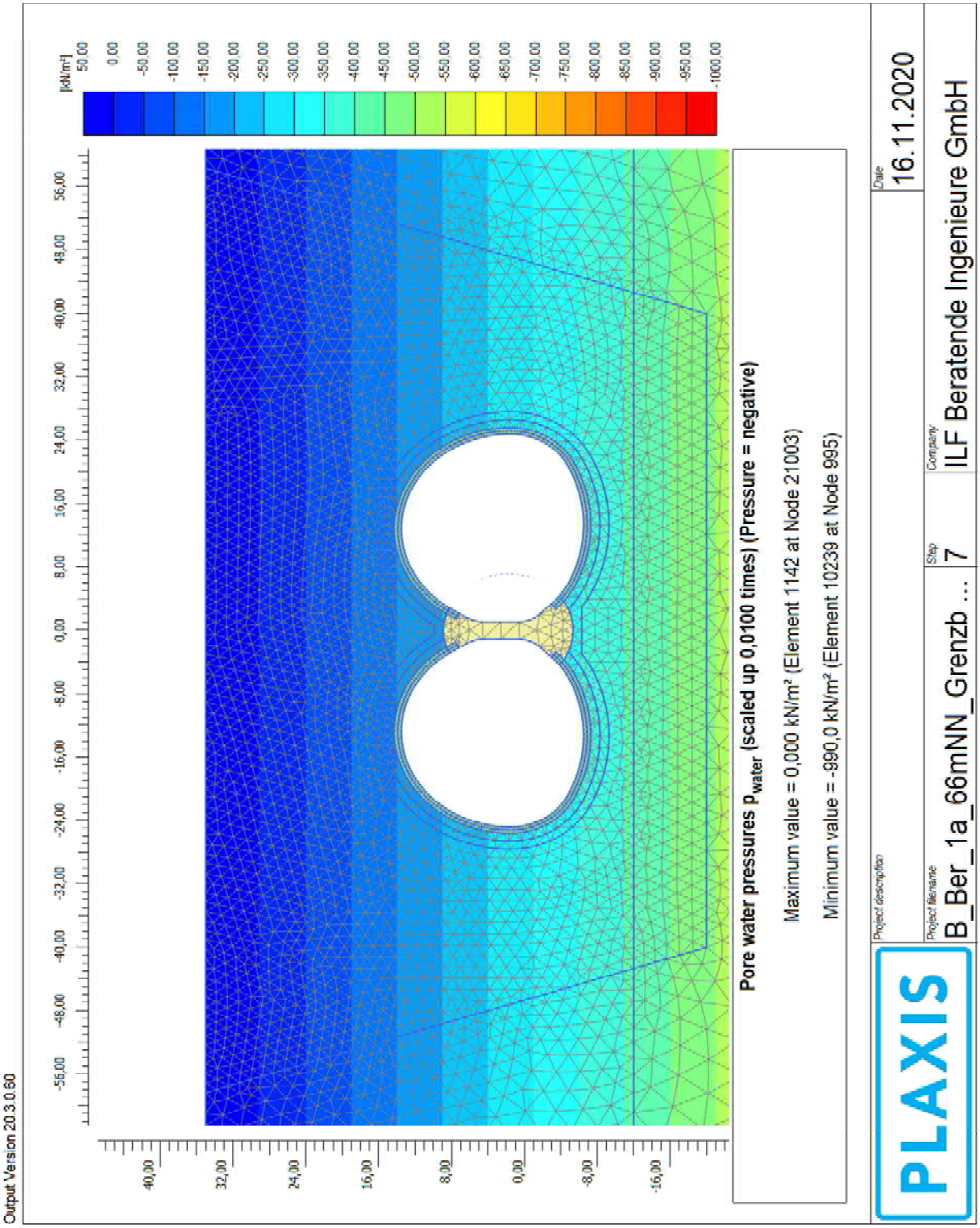

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
100,00
0,00
-100,00
-200,00
-300,00
-400,00
-500,00
-600,00
-700,00
-800,00
-900,00
-1000,00
-1100,00
-1200,00
-180,00
-150,00
-120,00
-90,00
-60,00
-30,00
0,00
30,00
60,00
90,00
120,00
150,00
180,00
90,00
60,00
30,00
0,00
-30,00
-60,00
-90,00
-120,00
x
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,0100 times)
Maximum value = 9,748*10-3 kN/m² (Element 4668 at Node 6905)
Minimum value = -1179 kN/m² (Element 10239 at Node 995)
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

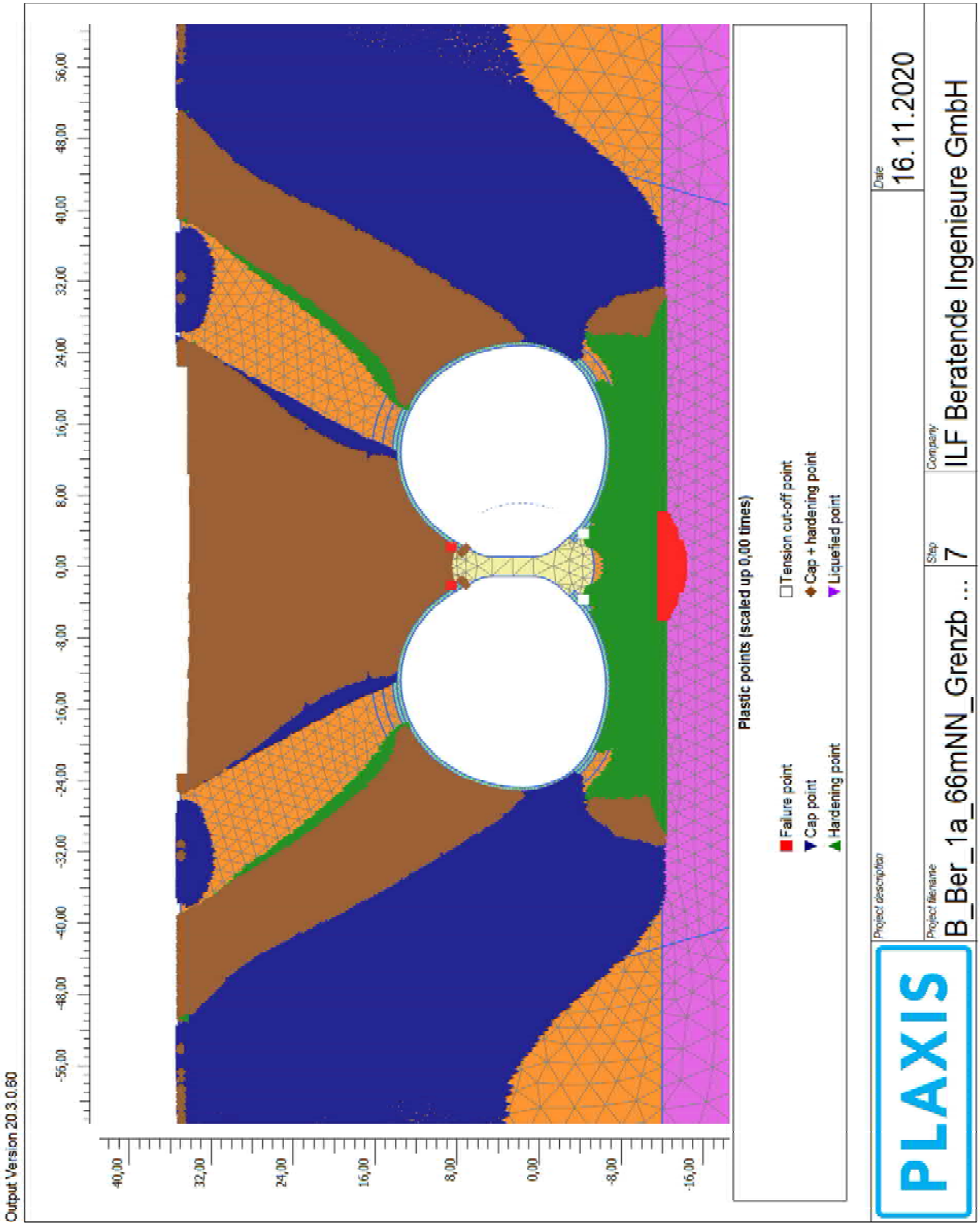

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
40,00
0,00
-40,00
-80,00
-120,00
-160,00
-200,00
-240,00
-280,00
-320,00
-360,00
-400,00
-440,00
-480,00
-520,00
-560,00
-180,00
-150,00
-120,00
-90,00
-60,00
-30,00
0,00
30,00
60,00
90,00
120,00
150,00
180,00
90,00
60,00
30,00
0,00
-30,00
-60,00
-90,00
-120,00
x
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,0200 times)
Maximum value = 6,414*10-3 kN/m² (Element 4668 at Node 6905)
Minimum value = -545,5 kN/m² (Element 10239 at Node 995)
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

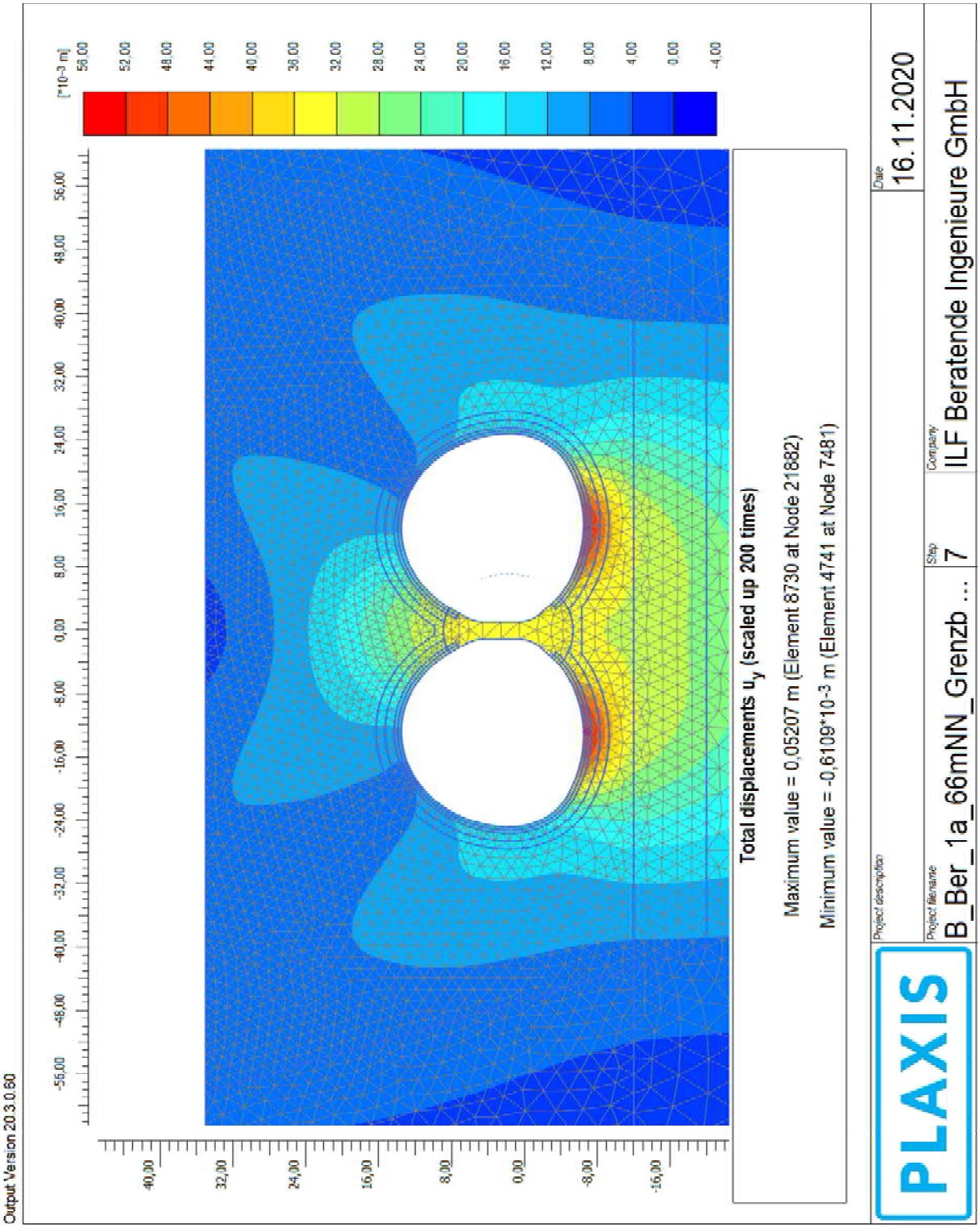

Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-180,00
-150,00
-120,00
-90,00
-60,00
-30,00
0,00
30,00
60,00
90,00
120,00
150,00
180,00
90,00
60,00
30,00
0,00
-30,00
-60,00
-90,00
-120,00
x
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21003)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10239 at Node 995)
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
0
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH

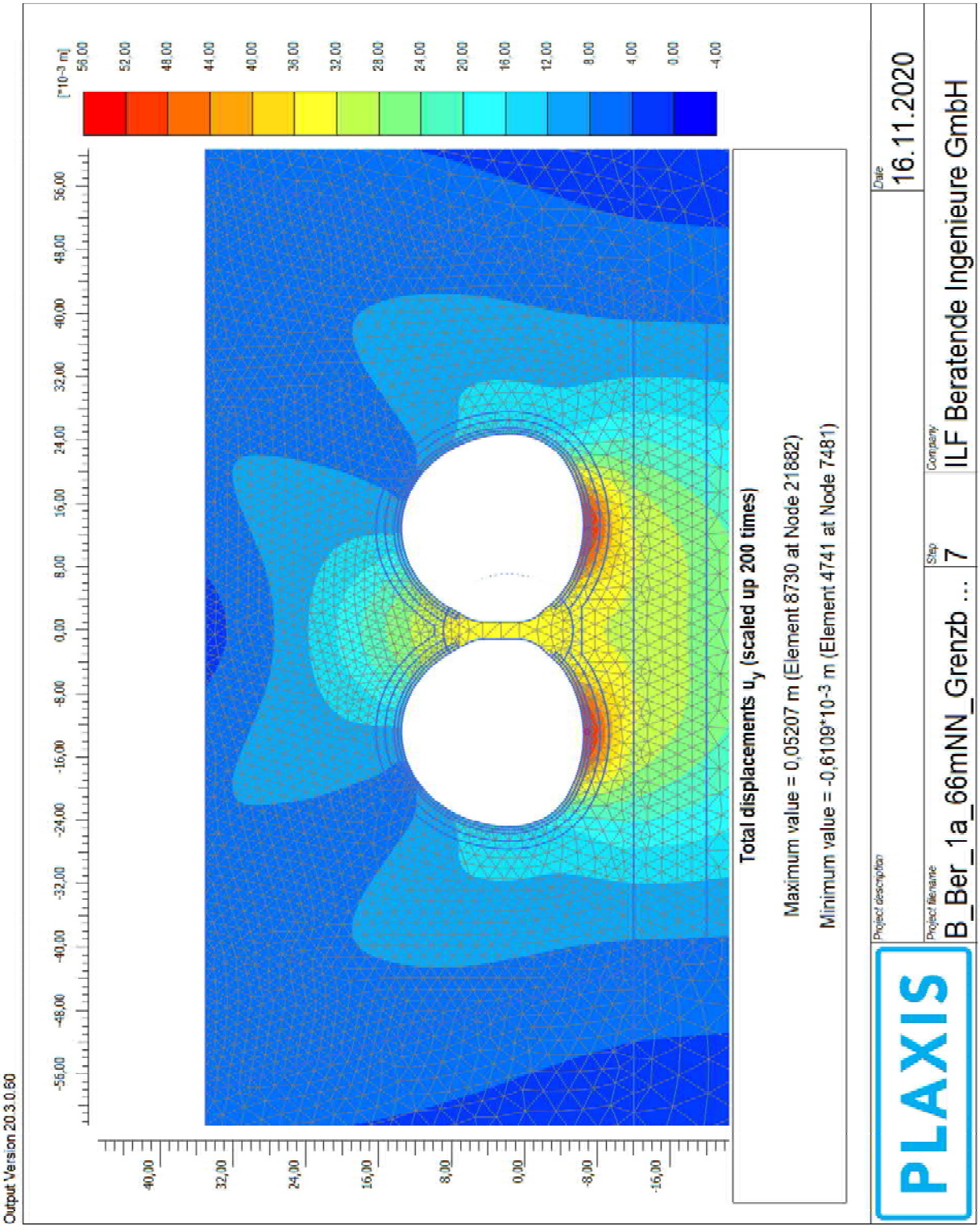

Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 kN/m²]
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
Cartesian effective stress σ'yy (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 3539 kN/m² (Element 9320 at Node 52246)
Minimum value = -17,91*10^3 kN/m² (Element 8799 at Node 52033)
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[*10^3 kN/m²]
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
-12,00
-14,00
-16,00
-18,00
Cartesian effective stress σ'xx (scaled up 0,500*10^-3 times)
Maximum value = 6717 kN/m² (Element 9128 at Node 52242)
Minimum value = -17,67*10^3 kN/m² (Element 9132 at Node 27789)
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[kN/m²]
50,00
0,00
-50,00
-100,00
-150,00
-200,00
-250,00
-300,00
-350,00
-400,00
-450,00
-500,00
-550,00
-600,00
-650,00
-700,00
-750,00
-800,00
-850,00
-900,00
-950,00
-1000,00
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Pore water pressures p_{water} (scaled up 0,0100 times) (Pressure = negative)
Maximum value = 0,000 kN/m² (Element 1142 at Node 21003)
Minimum value = -990,0 kN/m² (Element 10239 at Node 995)
PLAXIS
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
16.11.2020


Output Version 20.3.0.60
-56,00
-48,00
-40,00
-32,00
-24,00
-16,00
-8,00
0,00
8,00
16,00
24,00
32,00
40,00
48,00
56,00
40,00
32,00
24,00
16,00
8,00
0,00
-8,00
-16,00
Plastic points (scaled up 0,00 times)
Failure point
Cap point
Hardening point
Tension cut-off point
Cap + hardening point
Liquefied point
Project description
Date
16.11.2020
PLAXIS
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
56,00
52,00
48,00
44,00
40,00
36,00
32,00
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,05207 m (Element 8730 at Node 21882)
Minimum value = -0,6109*10^-3 m (Element 4741 at Node 7481)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
16.11.2020
PLAXIS


Output Version 20.3.0.60
[*10^-3 m]
56,00
52,00
48,00
44,00
40,00
36,00
32,00
28,00
24,00
20,00
16,00
12,00
8,00
4,00
0,00
-4,00
Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,05207 m (Element 8730 at Node 21882)
Minimum value = -0,6109*10^-3 m (Element 4741 at Node 7481)
Project description
Project filename
B_Ber_1a_66mNN_Grenzb ...
Step
7
Company
ILF Beratende Ingenieure GmbH
Date
16.11.2020
PLAXIS