

Standsicherheitseinschätzung
für die
Endböschungen des Erweiterungsfeldes NO
und für die
**Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen
Sicherheit an den südöstlichen Randböschungen**
im
Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW

Objekt: Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW
Lage: vgl. Anlage 1
Auftraggeber: Steine und Erden Lagerstättenwirtschaft GmbH
Berthold-Brecht-Allee 24
01309 Dresden
Projektnummer: P226021BB

Projektbearbeiter:


.....

Herr Dipl.-Ing. Tom Schillings
Telefon: +49 151 5383 4957
E-Mail: t.schillings@glu-freiberg.de

Sachverständiger:


.....
Herr Dipl.-Ing. Matthias Götz
Vom Sächsischen Oberbergamt
anerkannter Sachverständiger für Geotechnik
(SächsBergVO)



Geltungsbereich: Endböschungen der Erweiterungsfläche NO und Sanierung der vorhandenen Südost- und Ostrandböschung des Kiessandtagebaus Ponickau-Naundorf SW
Fertigstellungsdatum: 21.11.2022

Halsbrücker Straße 34, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 20782-50
Telefax: +49 3731 20782-69
E-Mail: kontakt@glu-freiberg.de



Geologische
Landesuntersuchung
GmbH Freiberg

Ein Unternehmen der
GICON[®]
Gruppe

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	3
Anlagenverzeichnis.....	3
Unterlagenverzeichnis	4
Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Symbole.....	6
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	7
2. Standortsituation.....	8
2.1 Geographische Lage	8
2.2 Geologische Verhältnisse	9
2.3 Hydrogeologische Verhältnisse	9
2.4 Geotechnische Verhältnisse	10
2.4.1 Auswertung vorhandener Unterlagen und Gutachten, Kennwertediskussion.....	10
2.4.2 Auswertung risswerklicher Unterlagen.....	13
2.4.3 Zusammenfassung der geotechnischen Verhältnisse, Bodenmechanische Kennwerte	15
2.5 Technologische Verhältnisse.....	15
2.5.1 Technologische Verhältnisse im Bereich des nordöstlichen Erweiterungsfeldes	15
2.5.2 Konzeption zur Sanierung der Südost- und Ostrandböschung	15
3. Standsicherheitsberechnungen	16
3.1 Angaben zu den Berechnungsverfahren und der verwendeten Rechensoftware	16
3.2 Erforderliche Sicherheiten / Sicherheitskonzept	16
3.3 Modellaufbau und Parametrisierung.....	18
3.3.1 Berechnungsmodell und Lastannahmen	18
3.3.2 Lastannahmen	19
3.4 Berechnungsergebnisse.....	20
3.4.1 Berechnungsergebnisse – Standsicherheit der bestehenden Südost- und Ostrandböschung	20
3.4.2 Berechnungsergebnisse für die Sanierung der bestehenden Südost- und Ostrandböschung.....	20
3.4.3 Berechnungsergebnisse für die geplanten Endböschungen der Erweiterungsfläche ...	21
3.4.4 Berechnung der Ausgleichsneigung im Wellenschlagbereich.....	21
4. Ergebnisauswertung.....	22
5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geographische Lage des Kiessandtagebaus (unmaßstäblich).....	8
Abbildung 2: Kennwertrückrechnung am Schnitt 4 aus <i>Engel2022[U 9]</i>	12
Abbildung 3: Tonlinse im nördlichen Bereich des bestehenden Kiessandtagebaus	13
Abbildung 4: Risswerkliche Auswertung der Ist-Südostrandböschung.....	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse des Grundwassermonitorings (aus [U 14])	10
Tabelle 2: Kennwerte aus <i>Palme1997 [U 1]</i>	10
Tabelle 3: Kennwerte aus <i>Beutler2006[U 3]</i> , <i>Beutler2008[U 4]</i> und <i>Beutler2013[U 8]</i>	11
Tabelle 4: Kennwerte für Störungzonen und Liegendes aus <i>Beutler2008[U 4]</i> und <i>Beutler2013[U 8]</i>	11
Tabelle 5: Kennwerte aus <i>Engel2022[U 9]</i>	11
Tabelle 6: Auswertung der Ist-Geometrie an der Südostrandböschung	14
Tabelle 7: Zusammenstellung vorhandener geotechnischer Parameter	15
Tabelle 8: Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 (2021) für den Grenzzustand GEO-3 [1].	17
Tabelle 9: Berechnungsergebnisse für die Berechnungsfälle BF 2 und BF 3.....	20
Tabelle 10: Einzuhaltende Sicherheitsabstände beim Abflachen.....	20
Tabelle 11: Berechnungsergebnisse für die Berechnungsfälle BF 4 und BF 5.....	21

Anlagenverzeichnis

Anlage	Bezeichnung
Anlage 1	Übersichtslageplan mit Darstellung der geotechnischen Schnitte
Anlage 2	Laborergebnisse, Kornverteilungen
Anlage 3	Berechnungsergebnisse BF 1
Anlage 4	Berechnungsergebnisse BF 2
Anlage 5	Berechnungsergebnisse BF 3
Anlage 6	Berechnungsergebnisse BF 4
Anlage 7	Berechnungsergebnisse BF 5
Anlage 8	Berechnung Ausgleichsneigung Wellenschlagbereich

Unterlagenverzeichnis

Standisicherheits- und Baugrundgutachten:

- [U 1] Standsicherheitseinschätzung zum geplanten Kiessandtagebau Ponickau – Naundorf SW im Landkreis Riesa – Großenhain, vom SOBA anerkannter SfG Herr Dipl.-Ing. H. Palme, 26.09.1997
- [U 2] Bodenmechanische Standsicherheitseinschätzung – Innenverkippung im Kiessandtagebau Ponickau – Naundorf SW, vom SOBA anerkannter SfG Herr Dipl.-Ing. H. Palme, 30.11.2004
- [U 3] 2. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Aktualisierung Berechnungsansätze, Gewinnungsgerät, Sicherheitsabstände, ARCADIS CONSULT GmbH, vom SOBA anerkannte SfG Frau Dipl.-Ing. H. Beutler, 30.10.2006
- [U 4] 1. Ergänzung 2. Nachtrag vom 30.10.2006 zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Aktualisierung Berechnungsansätze, Gewinnungsgerät, Sicherheitsabstände, ARCADIS CONSULT GmbH, vom SOBA anerkannte SfG Frau Dipl.-Ing. H. Beutler, 20.03.2008
- [U 5] 3. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Errichtung einer Bandanlage, ARCADIS CONSULT GmbH, vom SOBA anerkannte SfG Frau Dipl.-Ing. H. Beutler, 25.03.2008
- [U 6] 4. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Herstellung Trenndamm im Westsee, GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, vom SOBA anerkannte SfG Frau Dipl.-Ing. H. Beutler, 25.05.2012; mit Erörterungsprotokoll vom 25.05.2012
- [U 7] Kiessandtagebau Ponickau – Naundorf SW – Geotechnische Stellungnahme zum 4. Nachtrag vom 25.05.2012 zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Herstellung Trenndamm im Westsee, GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, 08.08.2013
- [U 8] 5. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung vom 29.06.1997[sic]: Gestaltungsvorgaben Süd- und Südwestböschung im südlichen Tagebaubereich, GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, vom SOBA anerkannte SfG Frau Dipl.-Ing. H. Beutler, 14.01.2013; mit Erörterungsprotokoll vom 29.04.2013
- [U 9] Standsicherheitsuntersuchung Nr. 2022_3_06, Kiessandtagebau Ponickau – Naundorf SW, Institut für Baugrundforschung GbR, ö.b.u.v. Sachverständiger für Bodenmechanik, Erd- und Grundbau Herr Prof. Dr.-Ing. habil. J. Engel, 26.04.2022
- [U 10] Geotechnische Stellungnahme zu den Randböschungen des südlichen Verkippbereichs für den Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW (8124), GLU GmbH Freiberg, vom SOBA anerkannter SfG Herr Dipl.-Ing. Matthias Götz, 23.05.2022

Planerische Unterlagen

- [U 11] Risswerk Betriebszustand 05/2021, Vermessungs- und Ingenieurbüro R. Kluge
- [U 12] Rahmenbetriebsplan für das Planänderungsverfahren zum Vorhaben Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf NO (8124), GLU GmbH Freiberg, Entwurf vom 14.11.2022
- [U 13] Zulassung der 3. Ergänzung und Verlängerung des Hauptbetriebsplanes für den Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW der Steine und Erden Lagerstättenwirtschaft GmbH, Sächsisches Oberbergamt. 12.07.2022
- [U 14] Hydrogeologisches Gutachten mit geohydraulischer Modellierung für die Erweiterung des Kiessandtagebaues Ponickau-Naundorf SW, HGN Beratungsgesellschaft mbH, Entwurf vom 06.10.2022
- [U 15] Grobkonzeption zur Sanierung der bestehenden Südost- und Ostrandböschung im Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW, GLU GmbH Freiberg, Entwurf vom 20.11.2022
- [U 16] Ergebnisbericht - Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf – Geophysikalische Erkundung einer Kiessandlagerstätte, Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, 04.12.2017

Merkblätter, Regelwerke

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 1054:2021-04 „Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 1055-2:2010-11 „Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngößen“
- [3] Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV), Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen, 16.07.2001

Literatur

- / 1 / Prinz, Helmut; Straß, Roland: Ingenieurgeologie, 5. Auflage, Springer Spektrum, 2011.
- / 2 / Kempfert, Hans-Georg; Raitchel, Marc: GEOTECHNIK nach Eurocode, Band 1: Bodenmechanik, 4. Auflage, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2015

Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Symbole

Abkürzung/Symbol	Bezeichnung	Einheit
BF	Berechnungsfall	
BWE	Bergwerkseigentum	
BOK	Böschungsoberkante	
GOK	Geländeoberkante	
GWM	Grundwassermessstelle	
HBP	Hauptbetriebsplan	
KSTB	Kiessandtagebau	
RBP	Rahmenbetriebsplan	
SBP	Sonderbetriebsplan	
SfG	Sachverständiger für Geotechnik	
c'	wirksame Kohäsion	kN/m ²
h	Böschungshöhe	m
$h_{\text{erdf.}}$	Erdfeuchte Höhe	m
β	Böschungsneigung	°
β_{End}	Endböschungsneigung	°
γ	Wichte	kN/m ³
γ'	Wichte unter Auftrieb	kN/m ³
μ	Ausnutzungsgrad	-
φ'	wirksamer Reibungswinkel	°

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Steine und Erden Lagerstättenwirtschaft GmbH beabsichtigt die Erweiterung des bestehenden Kiessandtagebaus Ponickau-Naundorf SW in Richtung Nordosten. Die Lagerstätte Ponickau wird sowohl im Trockenschnitt als auch im Nassschnitt unterhalb des Grundwassers ausgekiest. Das Erweiterungsvorhaben ist Gegenstand eines bergrechtlichen Planänderungsverfahrens.

Im Norden grenzt die geplante Erweiterungsfläche an die Kreisstraße K 8517 und nähert sich dieser mit der Trockenschnittoberkante auf ca. 20 m. Im Südosten wird die Erweiterungsfläche durch einen Fahrradweg begrenzt.

Zur Gewährleistung der betrieblichen und öffentlichen Sicherheit sind konkrete Standsicherheitsuntersuchungen zu den geplanten Endböschungen im Bereich der o.g. Schutzobjekte erforderlich.

Weiterhin wurden die Randböschungen entlang der südlichen und östlichen Grenze des bestehenden Tagebaus bislang nicht dauerstandsicher hergestellt. Zur Gestaltung der Endböschungen in diesem Bereich ist gem. Zulassung zum aktuellen HBP [U 13] in der Nebenbestimmung (NB) 2.8 ein Konzept mit Standsicherheitsbewertung gefordert welches dem Oberbergamt vorzulegen ist. Die NB 2.8 ist in [U 13] wie folgt formuliert:

„Für die in der Vergangenheit im Kiessandtagebau nicht ordnungsgemäß hergestellten Endböschungsbereiche (v.a. Südost- und Ostböschungssysteme) sind (umfassende) Standsicherheitsberechnungen zur Dauerstandsicherheit im derzeitigen Zustand von einem anerkannten Sachverständigen für Lockergestein durchzuführen. Für nicht dauerstandsichere Böschungsbereiche sowie zu steil hergestellte Endböschungssysteme sind erdbautechnische Technologien zur Herstellung der Dauerstandsicherheit, auch unter Beachtung der Ziele der Wiedernutzbarmachung (Flachwasserbereiche) zu erarbeiten. Das Gutachten zur Standsicherheit sowie die technologischen Vorschläge und Untersetzungen zu erdbautechnischen Maßnahmen sind bis 30. November 2022 beim OBA einzureichen. Im Übrigen gelten die Vorgaben des § 8 SächsBergVO.“

Die o.g. Aufgabenstellungen sind Gegenstand des vorliegenden Standsicherheitsgutachtens.

2. Standortsituation

2.1 Geographische Lage

Geographisch lässt sich der Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW wie folgt einordnen:

Bundesland:	Freistaat Sachsen
Landkreis:	Meißen
Gemeinde:	Thiendorf
Gemarkung:	Naundorf b. Ortrand

Die Kiessandlagerstätte Ponickau-Naundorf SW und NO (Erweiterungsvorhaben) befindet sich ca. 0,5 km südlich von Naundorf und ca. 0,5 km nördlich von Lüttichau. Westlich ist Böhla bei Ortsrand ca. 1,5 km entfernt. Die Verkehrsanbindung erfolgt mit der Kreisstraße K8517 Ponickau – Naundorf. Das Gebiet fällt in die nördliche Richtung leicht ab und weist eine Höhenlage zwischen + 127 und + 133 m NHN auf. Auf der Vorhabenfläche sind keine natürlichen Gewässer vorhanden.

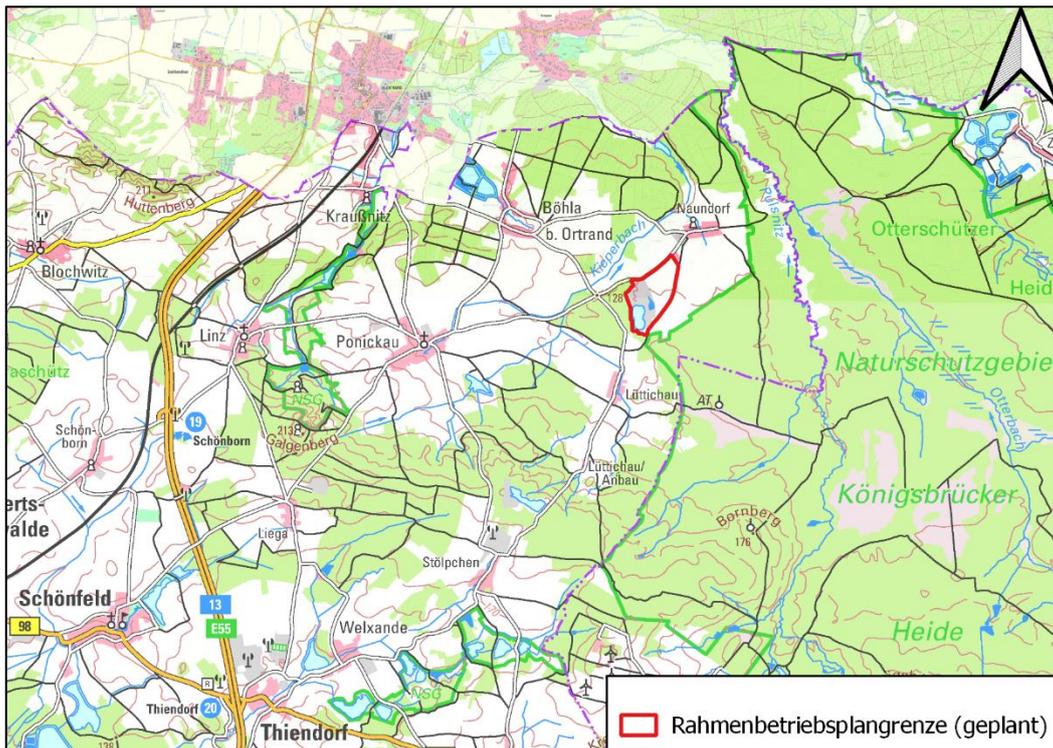


Abbildung 1: Geographische Lage des Kiessandtagebaus (unmaßstäblich)

2.2 Geologische Verhältnisse

Die bestehende, erkundete Lagerstätte befindet sich im Nordwestteil der Lausitzer Antiklinalzone, einer Gebirgsstruktur, die hier aus metamorphen Grauwacken proterozoischen Alters besteht. Das Grundgebirge wird hier von ca. 50 – 100 m mächtigen tertiären und quartären Sedimenten überlagert. Die tertiären Sedimente bestehen aus Feinsanden, Schluffen und stark kohleführenden Tonen und Schluffen bzw. schluffig-toniger Braunkohle. Im Quartär wurden v.a. während der Elster- und Saalekaltzeit fluviatile und glazifluviatile Sande und Kiese (Rohstoffkörper) sowie Schluffe (geringmächtige Geschiebemergel- und Beckenschluffhorizonte) abgelagert. Die Lagerstätte befindet sich außerhalb der südlich anschließenden, großräumig glazigenen Stauchungszone, so dass einfache, ungestörte Lagerungsverhältnisse vorliegen.[U 12]

Unmittelbar südlich der Ortschaften Lüttichau, Ponickau und Linz steigt die Oberfläche des proterozoischen Grundgebirges einschließlich der überlagernden Quartärsedimente auf ca. 189 bis 213 m NHN an. Nördlich des Planungsgebietes fällt das Gelände bis zur Linie Kroppen-Ortrand (Pulsnitzniederung) bis auf < +110 m HN ab.

Die Gesamtmächtigkeit der lagerstättenbildenden Sande und Kiese beträgt im Durchschnitt ca. 8 m im Trockenschnitt und ca. 22 m im Nassschnitt.[U 12]

2.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Der Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW und die Erweiterungsfläche liegen im südlichen Randbereich des hydrogeologischen Teilraumes vom Lausitzer Becken. Die quartären Sande und Kiese der Saale- und Elsterkaltzeit bilden den Grundwasserleiter im Bereich des Tagebaus mit einer Mächtigkeit zwischen 25 und 30 m. Unter den zumeist nur geringmächtigen wechsellagernden bis holozänen Deckschichten folgt der obere unbedeckte sandig-kiesige Porengrundwasserleiter. Hierbei sind verschiedene quartäre Grundwasserleiterkomplexe in einem Schichtpaket zumeist ohne Zwischenstauer zusammengefasst. Nur im Bereich der Stauchendmoräne westlich und südlich des Untersuchungsgebietes sind bindige Zwischenstauer innerhalb des Grundwasserleiterkomplexes verbreitet. Hier ist die Bildung eines lokal verbreiteten schwebenden GWL oberhalb des Zwischenstauers sowie des Hauptgrundwasserleiter unterhalb der bindigen Schichten möglich. Es wird unterschieden in den GWL I bis GWL III (Saale-1-Vorschüttung und Elster-1- und Elster-2-Nachüttung) sowie in den GWL 4 (Elster-1-Vorschüttung).

Im Liegenden des unbedeckten GWL folgen die tertiären Braunkohlesande und -schluffe, die als Grundwasserstauer einzustufen sind.

Die generelle Grundwasserströmungsrichtung ist von Süd nach Nord gerichtet.

Im Rahmen des Planänderungsverfahrens wurde ein hydrogeologisches Gutachten [U 14] erarbeitet, in welchem die Grundwasserstände im Zeitraum 2011 bis 2022 der Messtellen des Kieswerkes detailliert ausgewertet wurden.

Tabelle 1: Ergebnisse des Grundwassermonitorings (aus [U 14])

Messstelle	Min	Max	Mittel	Median	Max-Min
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
HyPon1/96	122,49	123,74	123,17	123,08	1,25
HyPon2/96	122,80	124,52	123,75	123,49	1,72
HyPon3/96	123,02	124,59	123,87	123,61	1,57
HyPon4/96	122,83	124,23	123,54	123,44	1,40

Aus den in Tabelle 1 zusammengefassten Grundwasserstandsdaten lässt sich eine mittlere Grundwasserspiegelhöhe im Bereich des Tagebaus von 123,58 m NHN ableiten. Der höchste Grundwasserspiegel (HGWSp.) wurde an der Messstelle HyPon3/96 im Anstrombereich mit 124,59 m NHN festgestellt. Gemäß dem hydrogeologischen Gutachten [U 14] stellt sich nach Beendigung des Kiesabbaus ein um wenige Zentimeter bis Dezimeter geringerer Seewasserspiegel ein. Auf der sichereren Seite liegend wird als Bemessungswasserstand der Höchstgrundwasserspiegel von rd. 124,60 m NHN festgelegt.

2.4 Geotechnische Verhältnisse

2.4.1 Auswertung vorhandener Unterlagen und Gutachten, Kennwertediskussion

Die geotechnischen Eigenschaften der Rohstoffschicht wurden in den bisherigen Standsicherheitsgutachten und gutachterlichen Stellungnahmen [U 1] bis [U 10] ausführlich untersucht und beschrieben. Das generelle Lagerstättenprofil (Idealprofil) ist im Standsicherheitsgutachten *Palme1997* [U 1] wie folgt angegeben:

1. Abraum/Mutterboden: 0,3 m – 3 m mächtig
2. Schwach kiesige Sande: 3,0 m – 9,0 m mächtig
3. Kiessande: 20,0 m – 30,0 m mächtig
4. Basis aus tertiärer Braunkohle, Ton, Schluff

Den Schichten wurden in *Palme1997* [U 1] folgende bodenmechanischen Kennwerte zugeordnet:

Tabelle 2: Kennwerte aus *Palme1997* [U 1]

Bezeichnung	γ [kN/m ³]	γ_r [kN/m ³]	φ' (anstehend) [°]	φ' (umgelagert) [°]	c'_k [kN/m ²]
Sand	18	20	33	30	5,0
Kiessand	19	21	36	32	0,0

In den nachfolgenden Ergänzungsgutachten *Beutler2006*[U 3], *Beutler2008*[U 4] und *Beutler2013*[U 8] wurde das Idealprofil aus *Palme1997*[U 1] übernommen und die Kennwerte der einzelnen Bodenschichten mehrfach folgendermaßen angepasst:

Tabelle 3: Kennwerte aus *Beutler2006*[U 3], *Beutler2008*[U 4] und *Beutler2013*[U 8]

	<i>Beutler 2006</i> [U 3]		<i>Beutler 2008</i> [U 4]		<i>Beutler 2013</i> [U 8]	
	Sand	Kiessand	Sand	Kiessand	Gewachsenes (erdfeucht)	Gewachsenes (wassergesättigt)
γ [kN/m ³]	18	18	18	19	18	18
γ^c [kN/m ³]	-	-	10	11	-	-
φ' [°]	30	33	33	36	35	33
c'_k [kN/m ²]	0	0	0 - 5	0 - 5	0	0

Weiterhin sind in den Gutachten *Beutler2008*[U 4] und *Beutler2013*[U 8] für den Liegendton sowie für bindige lokal begrenzte Störungszonen innerhalb der Rohstoffschicht folgende Kennwerte angesetzt worden:

Tabelle 4: Kennwerte für Störungszonen und Liegendes aus *Beutler2008*[U 4] und *Beutler2013*[U 8]

Bezeichnung	γ [kN/m ³]	γ^c [kN/m ³]	φ' [°]	c'_k [kN/m ²]
Geschiebelehm (Störungszone)	19,5	11,5	22,5 - 27,5	5 - 10
Liegendton, -schluff	20,0	-	25,0	10

Im jüngsten geotechnischen Standsicherheitsgutachten *Engel2022*[U 9] ist eine erneute Abänderung der Bodenkennwerte vorgenommen worden:

Tabelle 5: Kennwerte aus *Engel2022*[U 9]

Bezeichnung	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c'_k [kN/m ²]
Kiessand ü. GW	18	35	6
Kiessand u. GW	18	35	2

Da sich die Kennwertansätze in den bisherigen Gutachten teilweise stark unterscheiden, wurde exemplarisch am Schnitt 4 (Südostrandböschung) des Gutachtens *Engel2022*[U 9] eine Kennwertrückrechnung durchgeführt. Die Südostrandböschung war gemäß Luftbild im

Jahr 2017 bereits geschnitten. In den Folgejahren bis 2020 haben natürliche Abflachungsprozesse die Böschungsoberkanten weiter ins Hinterland rücken lassen. Ab 2020 bis zum heutigen Zeitpunkt sind gemäß Luftbild keine weiteren großen Böschungsumbildungen zu erkennen. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass sich die ursprüngliche Kapillarkohäsion nahezu vollständig abgebaut und sich näherungsweise ein Gleichgewichtszustand ($\eta \approx 1,0$) in der Böschung oberhalb des Wasserspiegels durch selbstständige Abflachung eingestellt hat. Für den kiesigen Sand oberhalb des Wasserspiegels konnte durch Rückrechnung ein charakteristischer Reibungswinkel von $\varphi' = 33^\circ$ und eine Kohäsion von $c' = 2 \text{ kN/m}^2$ ermittelt werden (vgl. Abbildung 2). Der kohäsive Anteil der Scherfestigkeit ist dabei nicht auf Kapillareffekte sondern auf die Verzahnung der gewachsenen, wechsellaagernden Sande und Kiese zurückzuführen (Verzahnungskohäsion).

Für den Lagerstättenbereich unterhalb des Grundwasserspiegels mit größeren Kies- und Steinanteilen wird in Anlehnung an das Gutachten *Palme1997*[U 1] und die geotechnische Stellungnahme *Götz2022*[U 10] ein charakteristischer Reibungswinkel von $\varphi' = 36^\circ$ und eine Kohäsion von $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ als maßgebend bewertet.

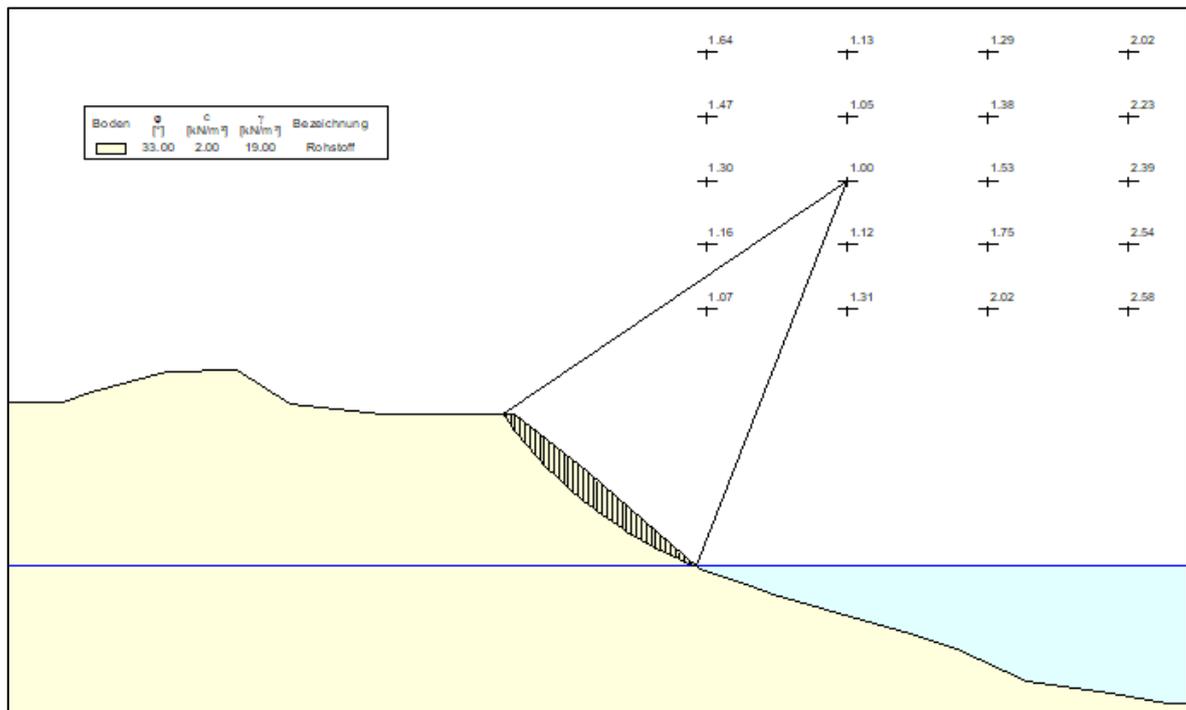


Abbildung 2: Kennwertrückrechnung am Schnitt 4 aus Engel2022[U 9]

Im Norden des derzeit aufgeschlossenen Kiessandtagebaus wurde bei der Gewinnung eine stark bindige, braune Schicht angetroffen. Die Schicht ist gemäß der geophysikalischen Lagerstättenenerkundung [U 16] nur lokal begrenzt und linsenartig vorliegend (vgl. Abbildung 3). Die Schicht wurde bis ca. 2 m oberhalb des Trockenschnittplanums festgestellt. Aus dem Material wurde eine gestörte Probe entnommen, an der die Kornverteilung

und der Organikgehalt im Labor bestimmt wurde. Die Ergebnisse sind in Anlage 2 beigefügt. Es handelt sich um einen leichtplastischen Ton der Bodengruppe TL nach DIN 18196. Das Material weist einen Glühverlust von ca. 10,53 % auf und ist damit nach DIN EN ISO 14688-2 einem mäßig organischen Boden zuzuordnen. Da die Schicht sählig und nur lokal begrenzt vorliegt wird eingeschätzt, dass sie nicht als vorgegebene Gleitfläche fungiert.

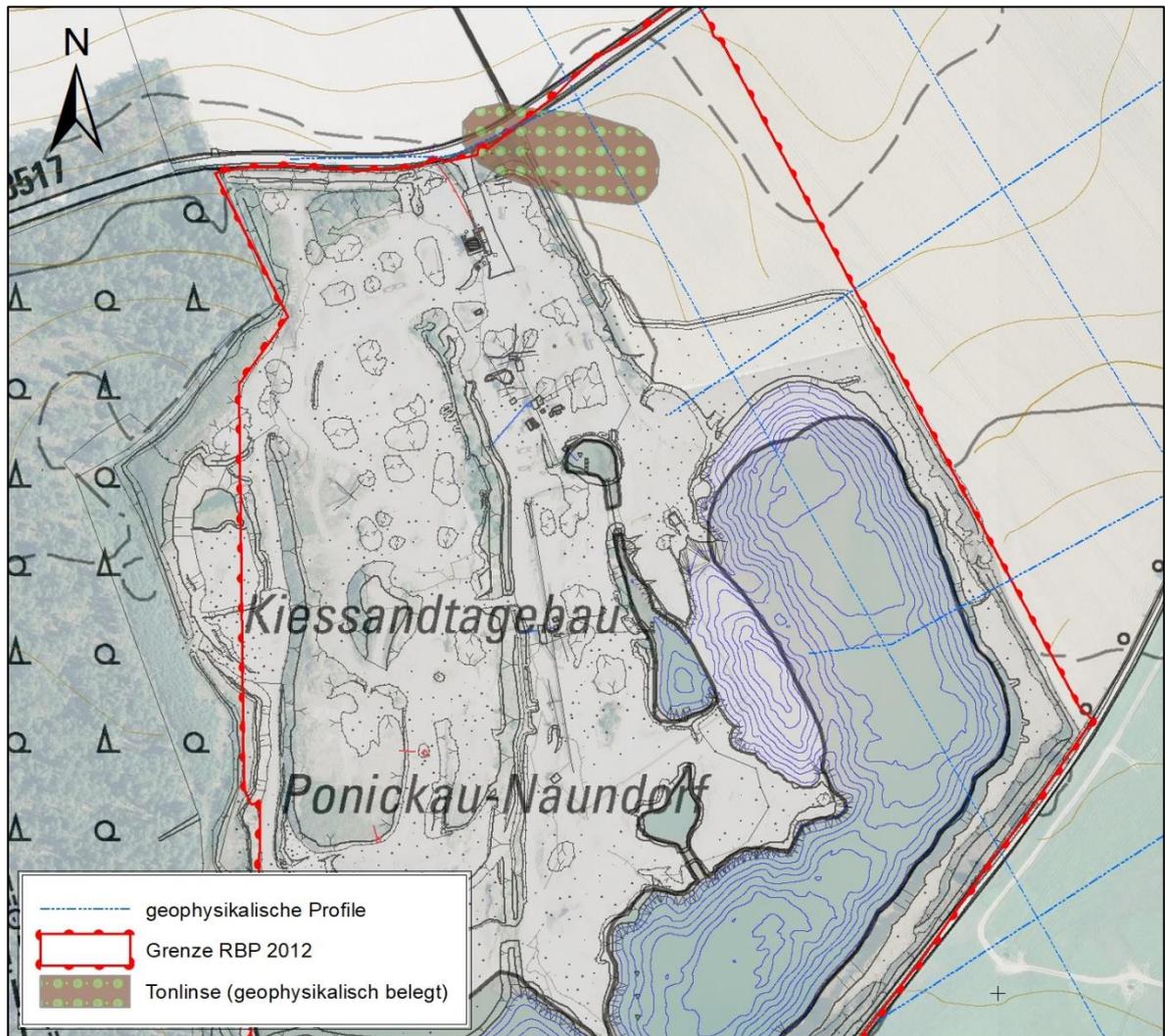


Abbildung 3: Tonlinse im nördlichen Bereich des bestehenden Kiessandtagebaus

2.4.2 Auswertung risswerklicher Unterlagen

Die Südost- und Ostrandböschung ist im aktuellen Risswerk von 2021 [U 11] eingetragen, die Südostböschung wurde dabei zuletzt 2019 eingemessen. An der Südostrandböschung wurden Profilschnitte festgelegt, um die Böschungsgeometrie abzuleiten (vgl. Abbildung 4).

Die vorhandene Geometrie der Südostrandböschung wurde wie folgt ermittelt (Tabelle 6):

Tabelle 6: Auswertung der Ist-Geometrie an der Südostrandböschung

Profil	Höhe BOK	Wasserspiegel	BUK NS	Böschungshöhe TS	Böschungshöhe NS	Böschungswinkel TS	Böschungswinkel NS
	[m NHN]	[m NHN]	[m NHN]	[m]	[m]	[°]	[°]
1	133,10	123,07	112,13	10,03	10,94	43	20,5
2	133,38	123,07	112,00	10,31	11,07	46	24,5
3	132,91	123,07	108,70	9,84	14,37	42	26,5
4	133,64	123,07	107,93	10,57	15,14	43	21,5
5	133,19	123,07	113,20	10,12	9,87	40	17,0
6	132,70	123,07	113,93	9,63	9,14	46	13,0
7	132,31	123,07	111,33	9,24	11,74	53	12,0
8	132,22	123,07	111,50	9,15	11,57	48	12,0

TS: Trockenschnitt, NS: Nassschnitt

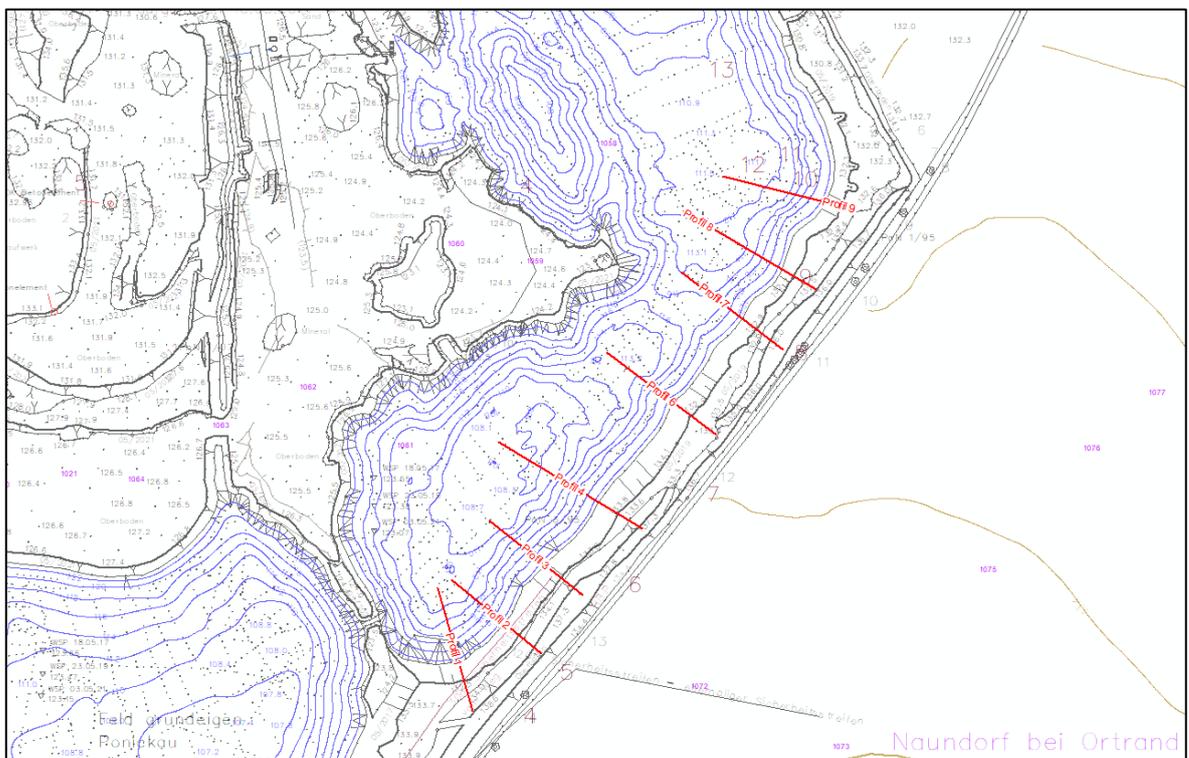


Abbildung 4: Risswerkliche Auswertung der Ist-Südostrandböschung

Die durchschnittliche Böschungshöhe oberhalb des Wasserspiegels beträgt ca. 10 m, die Unterwasserböschung ist im Mittel ca. 12 m hoch. Die Trockenschnittböschung weist Neigungen zwischen 40° und 53° auf und liegt im Mittel bei ca. 45°. Die Nassschnittböschung ist hingegen mit 12°...26,5° deutlich flacher.

Die sich anschließende Ostrandböschung wurde in den vergangenen 2 Jahren frisch hergestellt, sodass an dieser Böschung noch Abflachungsprozesse zu erwarten sind. Eine Ermittlung der Böschungsgeometrie sowie eine Kennwertrückrechnung ist daher an der Ostrandböschung nicht erfolgt.

2.4.3 Zusammenfassung der geotechnischen Verhältnisse, Bodenmechanische Kennwerte

In den Standsicherheitsberechnungen zur Sanierung der Südost- und Ostrandböschung sowie zu den Endböschungen der nordöstlichen Erweiterungsfläche werden die in nachfolgender Tabelle 7 aufgelisteten charakteristischen bodenmechanischen Kennwerte angesetzt.

Tabelle 7: Zusammenstellung vorhandener geotechnischer Parameter

Bezeichnung	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c'_k [kN/m ²]
Kiesiger Sand, gewachsen, dicht gelagert, oberhalb GW	19	33	2
Kiessand, gewachsen, dicht gelagert, unterhalb GW	20	36	0
Liegendschluff /-ton	20	25	10

2.5 Technologische Verhältnisse

2.5.1 Technologische Verhältnisse im Bereich des nordöstlichen Erweiterungsfeldes

Bei der Gewinnung des Rohstoffs kommt ein Hydraulikbagger oder Radlader für den Trockenschnitt und beim Nassschnitt ein Schrapper zum Einsatz. Nach Bedarf gewinnt der Schrapper den Rohstoff oberhalb des Grundwasserspiegels mit herein.

Gemäß den Planungsunterlagen [U 12] ist bei der Erschließung des nordöstlichen Erweiterungsfeldes folgende Endböschungskontur geplant:

- Neigung der Trockenböschung: 1 : 1,7 (rd. 30°)
- Neigung der Unterwasserböschung: 1 : 2,0 (rd. 27°)
- Bermbreite zwischen Trocken- und Nassschnitt: ca. 25 m

2.5.2 Konzeption zur Sanierung der Südost- und Ostrandböschung

In *Palme 1997* [U 1] sind konkrete Vorgaben für die Gestaltung der Endböschungen des Tagebaus Ponickau-Naundorf SW aufgestellt worden. Die Endböschungen sind wie folgt zu gestalten:

- Trockenböschung: Neigung ca. 30°
Höhe bis ca. 8 m

- Zwischenberme: Schwankungsbreite Wellenschlag zw. 122 – 126 m NHN
Verflachungszone (Bermenbreite) ca. 20 – 25 m
Neigung ca. 1 : 6
- Unterwasserböschung: Neigung ca. 30 – 35° oberer Teil, < 30° unterer Teil
Höhe bis ca. 27 m

Zum im Süden und Südosten angrenzenden Radweg sollte generell ein Abstand von mind. 30 m zur OK der Trockenschnittböschung eingehalten werden.

Unter Auswertung des aktuellen Risswerkes von 2021 [U 11] ist zu erkennen, dass die o.g. Soll-Böschungsgeometrie noch nicht hergestellt wurde und der Mindestabstand zum Radweg nicht überall vorliegend ist.

In der Zulassung zur 3. Ergänzung und Verlängerung des Hauptbetriebsplanes für den Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW [U 13] fordert das OBA Standsicherheitsberechnungen für die Südost- und Ostböschungen. Sollte die Dauerstandsicherheit nicht nachgewiesen werden können, sind technologische Vorschläge zur Böschungssanierung zu erarbeiten.

Zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit im Bereich der Südost- und Ostrandböschungen werden im Konzept [U 15] 2 Sanierungsvarianten vorgeschlagen.

3. Standsicherheitsberechnungen

3.1 Angaben zu den Berechnungsverfahren und der verwendeten Rechensoftware

Für die im Rahmen der vorliegenden Standsicherheitseinschätzung zu betrachtenden Böschungen ist von einem Bruch auf kreisförmiger Gleitfläche auszugehen. Diese Form der Bruchflächenausbildung wird im Besonderen durch die vergleichsweise homogene Materialzusammensetzung innerhalb der Rohstoffschicht begünstigt. Ein Abgleiten auf der bindigen Liegendschicht sowie auf der bindigen Ton-/Schlufflinse im Norden wird nicht untersucht, da zum einen das Liegende aufgrund der Gewinnungstechnologie erfahrungsgemäß nie vollständig aufgeschlossen sein wird und zum anderen die Ton-/Schlufflinse im Norden sählig bis zur Höhe des Trockenschnittplanums vorliegt.

Die Böschungsbruch- und Gleitkörperberechnungen erfolgen mit dem Programm GGU-Stability / Version 13.21 nach den semianalytischen Lamellenverfahren nach BISHOP.

3.2 Erforderliche Sicherheiten / Sicherheitskonzept

Für eine ausreichende Standsicherheit der zu untersuchenden Böschungen unter Ansatz von Verkehrslasten und ständigen Lasteinwirkungen müssen konkrete Standsicherheitsbetrachtungen geführt werden. Die Berechnungen erfolgen nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten (DIN 1054:2021-04 [1]). Beim Teilsicherheitskonzept ist die Resultierende der Einwirkungen E durch die Resultierende der Widerstände R mit dem Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$ nachzuweisen. Die

Einwirkungen und Widerstände werden durch Teilsicherheitsbeiwerte (γ) vergrößert bzw. abgemindert.

Gemäß der aktuell gültigen DIN 1054 (2021) [1] wird bei Nachweisen der Standsicherheit gegen Geländebruch der Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtsicherheit GEO-3 zugrunde gelegt. Die dabei angesetzten Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen/ Beanspruchungen und für die Widerstände für den Grenzzustand GEO-3 sind in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgeführt. Je nach Aufgabenstellung wird in der DIN 1054 in folgende Bemessungssituationen unterschieden:

BS-P: Ständige Situationen (persistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen entsprechen (ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Lasten) / 2 /

BS-T: Vorübergehende Situationen (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen (Bauzustände) / 2 /

Tabelle 8: Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 (2021) für den Grenzzustand GEO-3 [1]

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen				
Einwirkung / Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A/ BS-E
Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände und geotechnische Kenngrößen				
Widerstand / Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A/ BS-E
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}$, γ_{φ_u}	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}$, γ_{c_u}	1,25	1,15	1,10

3.3 Modellaufbau und Parametrisierung

3.3.1 Berechnungsmodell und Lastannahmen

Die Berechnungen werden mithilfe von Schichtmodellen durchgeführt, diese werden auf Basis von:

- Idealprofilen (Planungsschnitten) im Bereich der zukünftig geplanten Randböschungen des Kiessandtagebaus,
- vorgegebenen Geometrien der sanierten Südost- und Ostrandböschung gem. [U 15] und
- Profilschnitten in der bestehenden Südost- und Ostrandböschung aus *Engel2022* [U 9]

erstellt. Bei den Standsicherheitsberechnungen wird in folgende Berechnungsfälle (BF) unterschieden:

BF 1: Standsicherheit der Südost- und Ostrandböschung

BF 1.1: Standsicherheit der vorhandenen Südostrandböschung

BF 1.2: Standsicherheit der vorhandenen Ostrandböschung

BF 2: Sanierung der Südost- und Ostrandböschung – Variante 1

BF 2.1: Standsicherheit der sanierten Böschung – Gesamtsystem

BF 2.2: Standsicherheit der Sanierten Böschung – obere Teilböschung

BF 2.3: Standsicherheit der Sanierten Böschung – untere Teilböschung

BF 2.4: Gerätesicherheit bei Variante 1 (Variation der Böschungsneigung)

BF 3: Sanierung der Südost- und Ostrandböschung – Variante 2

BF 3.1: Standsicherheit der sanierten Böschung – Gesamtsystem

BF 3.2: Standsicherheit der Sanierten Böschung – obere Teilböschung

BF 3.3: Standsicherheit der Sanierten Böschung – mittlere Teilböschung

BF 3.4: Standsicherheit der Sanierten Böschung – untere Teilböschung

BF 3.5: Gerätesicherheit bei Variante 2 (Variation der Böschungsneigung)

BF 4: Geplante Südostrandböschung (Erweiterungsfeld)

BF 4.1: Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung – Gesamtsystem

BF 4.2: Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung – obere Teilböschung

BF 4.3: Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung – untere Teilböschung

BF 5: Geplante Nordrandböschung (Erweiterungsfeld)

BF 5.1: Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung – Gesamtsystem

BF 5.2: Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung – obere Teilböschung

BF 5.3: Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung – untere Teilböschung

Die Modellgrundlage der Standsicherheitsberechnungen zu den Endböschungen der Erweiterungsfeld bildet die gemäß Planung [U 12] vorgegebene Endgeometrie unter Berücksichtigung des Idealprofils der Lagerstätte aus *Palme 1997*[U 1].

Die Untersuchungen zur Dauerstandsicherheit der sanierten Südost- und Ostrandböschung werden anhand eines Idealprofils durchgeführt, welches aus den risswerklichen Unterlagen abgeleitet wurde (vgl. Kapitel 2.4.2).

Die Nachweise zur Standsicherheit der Arbeitsgeräte beim Abflachen der Südost- und Ostrandböschung erfolgen anhand systematischer Berechnungen unter Variation der Böschungsneigung.

3.3.2 Lastannahmen

In den Berechnungsmodellen wurden folgende Lastansätze berücksichtigt:

Ständige Lasten:

- Tagebaurandwall (ca. $b = 6 \text{ m} \times h = 2,0 \text{ m}$): $p_s = 38,0 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslasten:

- Verkehrslast Hydraulikbagger/Raupe beim Abflachen: $p_{v1} = 33,33 \text{ kN/m}^2$ (SLW 60*)
- Verkehrslast K 8517: $p_{v2} = 33,33 \text{ kN/m}^2$ (SLW 60*)
- Verkehrslast Radweg (Befahrung mit landwirtschaftlichem Gerät bis 60t):
 $p_{v3} = 33,33 \text{ kN/m}^2$ (SLW 60*)
- Verkehrslast Trockenschnittberme, Zwischenberme (Kontrollfahrt, Pflegemaßnahmen, etc.): $p_{v4} = 16,67 \text{ kN/m}^2$ (SLW 30*)

* nach DIN 1072

3.4 Berechnungsergebnisse

3.4.1 Berechnungsergebnisse – Standsicherheit der bestehenden Südost- und Ostrandböschung

Für die bestehende Südost- und Ostrandböschung des Kiessandtagebaus Ponickau-Naundorf SW wurden die vorhandenen Ausnutzungsgrade (μ_{vorh}) wie folgt berechnet:

BF 1.1 – Südostrandböschung (Schnitt 4 in *Engel2022* [U 9]): $\mu_{\text{vorh}} = 1,24$

BF 1.2 – Ostrandböschung (Schnitt 6 in *Engel2022* [U 9]): $\mu_{\text{vorh}} = 1,10$

3.4.2 Berechnungsergebnisse für die Sanierung der bestehenden Südost- und Ostrandböschung

Die Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen für die sanierte Südost- und Ostrandböschung sind in der nachfolgenden Tabelle 9 zusammengefasst. Die Berechnungsprotokolle sind in den Anlagen 4 bis 5 enthalten.

Tabelle 9: Berechnungsergebnisse für die Berechnungsfälle BF 2 und BF 3

BF	Beschreibung	Bemessungssituation	Ausnutzungsgrad μ_{ber}	Anlagen-Nr.
Sanierung der Südost- und Ostrandböschung – Variante 1				
BF 2.1	Standsicherheit Gesamtsystem	BS-P	0,82	4, Bl. 1
BF 2.2	Standsicherheit obere Teilböschung	BS-P	0,92	4, Bl. 2
BF 2.3	Standsicherheit untere Teilböschung	BS-P	0,85	4, Bl. 3
Sanierung der Südost- und Ostrandböschung – Variante 2				
BF 3.1	Standsicherheit Gesamtsystem	BS-P	0,79	5, Bl. 1
BF 3.2	Standsicherheit obere Teilböschung	BS-P	0,94	5, Bl. 2
BF 3.3	Standsicherheit mittlere Teilböschung	BS-P	0,98	5, Bl. 3
BF 3.4	Standsicherheit untere Teilböschung	BS-P	0,81	5, Bl. 4

Beim Abflachen der südöstlichen und östlichen Randböschung sind durch die Geräte folgende Abstände zur Böschungskante (b_v) einzuhalten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Einzuhaltende Sicherheitsabstände beim Abflachen

BF	Beschreibung	Bemessungssituation	Abstand $b_{v,1}$ in [m]	Anlagen-Nr.
Sanierung Südostrandböschung, Arbeiten auf der BOK (Variante 1 und 2)				
BF 2.4	Gerätesicherheit, 40° Böschung	BS-P	6,0	4, Bl. 4
	Gerätesicherheit, 45° Böschung	BS-P	8,5	4, Bl. 5
	Gerätesicherheit, 53° Böschung	BS-P	11,0	4, Bl. 6

BF	Beschreibung	Bemessungs- situation	Abstand b _{v,3} in [m]	Anlagen- Nr.
Sanierung Südostrandböschung, Arbeiten auf der Zwischenberme (Variante 2)				
BF 3.5	Gerätesicherheit, 40° Böschung	BS-P	3,0	5, Bl. 5
	Gerätesicherheit, 45° Böschung	BS-P	4,5	5, Bl. 6
	Gerätesicherheit, 53° Böschung	BS-P	6,0	5, Bl. 7

Ist bei der Variante 1 die obere Hälfte der Steilböschung bereits auf eine Neigung von ca. 30° abgeflacht worden, kann das Gerät bis auf b_{v,2} = 1 m an die Böschungskante des gesicherten Abschnittes heranfahren.

3.4.3 Berechnungsergebnisse für die geplanten Endböschungen der Erweiterungsfläche

Die Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen für die geplanten Endböschungen der Erweiterungsfläche sind in der nachfolgenden Tabelle 11 zusammengefasst. Die Berechnungsprotokolle sind in den Anlagen 6 bis 7 enthalten.

Tabelle 11: Berechnungsergebnisse für die Berechnungsfälle BF 4 und BF 5

BF	Beschreibung	Bemessungs- situation	Ausnut- zungsgrad μ _{ber}	Anlagen- Nr.
Südostrandböschung (Erweiterungsfeld)				
BF 4.1	Standsicherheit Gesamtsystem	BS-P	0,58	6, Bl. 1
BF 4.2	Standsicherheit obere Teilböschung	BS-P	0,89	6, Bl. 2
BF 4.3	Standsicherheit untere Teilböschung	BS-P	0,86	6, Bl. 3
Nordrandböschung (Erweiterungsfeld)				
BF 5.1	Standsicherheit Gesamtsystem	BS-P	0,58	7, Bl. 1
BF 5.2	Standsicherheit obere Teilböschung	BS-P	0,89	7, Bl. 2
BF 5.3	Standsicherheit untere Teilböschung	BS-P	0,86	7, Bl. 3

3.4.4 Berechnung der Ausgleichsneigung im Wellenschlagbereich

Bei Baggerseen bildet sich i.d.R. im Uferbereich aufgrund des Wellenschlags durch Wind oder das Gewinnungsgerät ein flach geneigter Strandbereich (Wellenschlagzone). Dieser lässt sich näherungsweise nach den „Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen“ [3] berechnen. Unter Ansatz einer erwarteten Unterwasserböschungsneigung von ca. 27° (1 : 2) ergibt sich für den Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW eine Ausgleichsneigung im Uferbereich von ca. 1 : 7 (≈ 8°). Das Berechnungsprotokoll ist in Anlage 8 beigefügt. Es wird darauf hingewiesen, dass Erdbauwerke, wie die sanierten Böschungen, insbesondere in der Wasserwechselzone generell nicht nachsorgefrei sind. Maßnahmen zum zusätzlichen Erosionsschutz im Wellenschlagbereich, wie z.B. der Auftrag von Überkorn, können dem entgegenwirken.

4. Ergebnisauswertung

Aus den Berechnungsergebnissen lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Die Ostrandböschung ist für den exemplarischen Schnitt unter Ansatz der festgelegten bodenmechanischen Parameter nicht standsicher ($\mu_{\text{ber}} = 1,1 > \mu_{\text{erf}} = 1,0$). Da es sich um eine in den vergangenen 2 Jahren frisch geschnittene Gewinnungsböschung handelt, ist zu erwarten, dass weitere selbstständige Abflachungsprozesse stattfinden werden. Die zu erwartenden Nachbruchbereiche liegen innerhalb der Betriebsplangrenze, das angrenzende Flurstück gehört dem Bergbauunternehmer, sodass im Gefahrenfall die Verfügbarkeit (z.B. für Absperrmaßnahmen) vorhanden ist. Eine akute Gefahr für die öffentliche Sicherheit liegt im Bereich der Ostrandböschung nicht vor, jedoch ist zu erwarten, dass der Fuß der Trockenböschung mit der Zeit durch Witterung und Wellenbewegungen kontinuierlich weiter abgetragen wird, bis eine Strandneigung von ca. 1 : 7 erreicht ist. Dabei wird die Trockenböschung untergraben und die Nachbruchbereiche werden größer und reichen ggfs. über die Betriebsplangrenze hinaus.
- Die bestehende Südostrandböschung (Schnitt S1) ist mit $\mu_{\text{vorh}} = 1,24 > \mu_{\text{erf}} = 1,0$ nicht dauerstandsicher. Weiterhin ist keine ausreichende Wellenauflaufzone vorhanden, sodass analog zur Ostrandböschung ein weiteres Nachbrechen und Abflachen der Trockenböschung zu erwarten ist.
- Die geplanten Randböschungen im Norden entlang der K 8517 und im Südosten entlang des Radweges sind unter den geplanten Geometrien (vgl. Kapitel 2.5) für die Bemessungssituation BS-P dauerstandsicher ($\mu_{\text{ber}} < 1,0$).
- Für die bei der Abflachung im Böschungsbereich arbeitenden Geräte konnte für definierte Mindestabstände (vgl. Tabelle 10, Gerätevorland b_V) ein ausreichendes Sicherheitsniveau berechnet werden. Innerhalb des Gerätevorlandes wurden Gleitkreise ermittelt, die eine deutlich geringere Sicherheit aufweisen. Beim Abflachen kann es folglich zu Nachbrüchen innerhalb des Gerätevorlandes kommen.

5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Firma Steine und Erden Lagerstättenwirtschaft GmbH plant die Erweiterung des Kiessandtagebaus Ponickau-Naundorf SW in Richtung Nordosten. Die Gewinnung soll im Nass- und Trockenschnitt erfolgen. Die geplanten Geometrien der Nord- und Südostrandböschungen entlang besonderer öffentlicher Schutzziele (K 8517 im Norden und Radweg im Südosten) wurden hinsichtlich ihrer Dauerstandsicherheit untersucht. Auf Basis der vorliegenden (hydro-)geologischen, geotechnischen, technologischen und geometrischen Randbedingungen kann für diese Böschungen eine ausreichende Standsicherheit ausgewiesen werden.

Die bestehende Südost- und Ostrandböschung ist rechnerisch nicht standsicher. Zur Sanierung der Böschungen wurde ein Konzept vorgelegt, das eine Abflachung zu steiler Böschungen sowie die Anlage eines Wellenschlagbereichs vorsieht. Die Standsicherheit der sanierten Südost- und Ostrandböschung mit der geplanten Geometrie konnte nachgewiesen werden. Dasselbe gilt für die Standsicherheit der Geräte beim Abflachen.

Zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit sind folgende Vorgaben und Empfehlungen einzuhalten:

- 1) Das zulässige Gesamtgewicht der Geräte beim Böschungsabflachen darf 60 t bzw. 33,33 kN/m² nicht überschreiten.
- 2) Die zulässige Gesamtmasse von Fahrzeugen, welche sich auf der Berme zwischen Trocken- und Nassendböschung der geplanten nordöstlichen Erweiterungsfläche (z.B. zu Pflege- und Kontrollmaßnahmen) aufhalten darf 30 t bzw. 16,67 kN/m² nicht übersteigen.
- 3) Der Randwall ist in einem Abstand von mind. 1,0 m zur Kante der Trockenendböschung anzuordnen.
- 4) Bei den Arbeiten zur Sanierung der Südost- und Ostrandböschung sind durch die Geräte die unter Kapitel 3.4.2 aufgeführten Sicherheitsabstände (Gerätevorland b_v) einzuhalten.
- 5) Nachbrüche innerhalb des Gerätevorlandes beim Abflachen der Steilböschungen können nicht ausgeschlossen werden. Das bei der Abflachung eingesetzte Personal ist darüber zu belehren und die Sicherheitsabstände sind kontinuierlich anzupassen.
- 6) Sicherheits- und Gesamtabstände sind durch geeignete Mittel (Flurstangen, Verwallungen, Absperrband, etc.) sichtbar zu kennzeichnen.
- 7) Es wird eingeschätzt, dass die bestehende Ostrandböschung für einen Zeitraum von max. 5 Jahren standsicher ist. Sollte in dieser Zeit die Erweiterung des Kiessandtagebaus in Richtung Nordosten genehmigt worden sein, ist an der Ostrandböschung keine Sanierung notwendig, da diese als fortschreitende Gewinnungsböschung weitergeführt wird. Sollte die nordöstliche Erweiterungsfläche innerhalb von 5 Jahren nicht genehmigt

werden, ist die Ostrandböschung von einem Sachverständigen für Geotechnik neu zu bewerten und die Böschung ggfs. analog zur Südostrandböschung zu sanieren.

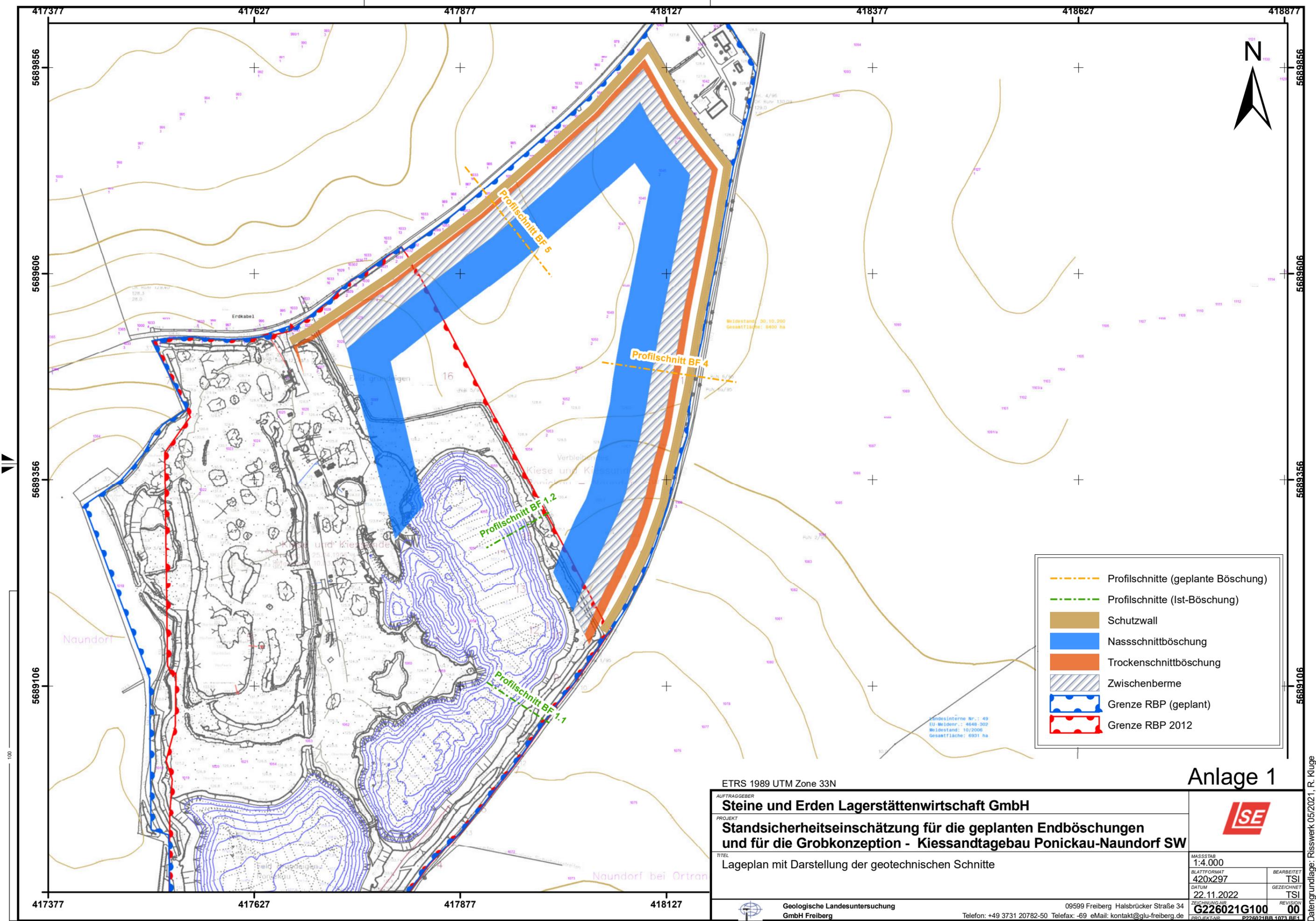
- 8) Beim Auftreten stark sandiger Bereiche, insbesondere in der Wasserwechselzone, sind Maßnahmen zur Reduzierung der Böschungserosion (z.B. Aufbringen einer Schicht aus grobkörnigem Material oder Überkorn) zu ergreifen. Generell wird ein Auftrag von ca. 0,5 m grobkörnigem Material im Wellenschlagbereich als zusätzlicher Erosionsschutz empfohlen. In Bereichen, wo die Erforderliche Mindestbreite des Wellenschlagbereichs von 7 m nicht eingehalten werden kann, ist ein Erosionsschutz zwingend erforderlich und umzusetzen.
- 9) Vor Beginn der Sanierungsarbeiten ist der jeweilige Böschungsabschnitt auf Risse und sonstige Verformungen (z.B. Senken) zu kontrollieren. Die Kontrollergebnisse sind zu dokumentieren. Risse dürfen generell nicht überfahren werden.
- 10) Beim Auftreten von ungewöhnlichen Böschungsumbildungen (z.B. Risse außerhalb der Sicherheitsabstände) sind die Arbeiten unverzüglich einzustellen und die Geräte zu entfernen, der Bereich gegen Betreten und Befahren abzusperren und der unterzeichnende Sachverständige für Geotechnik zu kontaktieren. Risse dürfen nicht überfahren werden.
- 11) Die Arbeiten zur Sanierung der bestehenden Südost- und Ostrandböschung dürfen nur bei Tageslicht und ausreichenden Sichtverhältnissen erfolgen.
- 12) Sollten bei der Gewinnung oder Böschungsabflachung maßgebende Änderungen der (hydro-)geologischen und geotechnischen Bedingungen (z.B. Feststellung von großflächigen tagebauseitig einfallenden bindigen Schichten) festgestellt werden, müssen die vorliegenden Standsicherheitsbetrachtungen überprüft und ggf. angepasst werden



Anlagen

Anlage 1

Übersichtslageplan mit Darstellung der geotechnischen Schnitte



- - - Profilschnitte (geplante Böschung)
- - - Profilschnitte (Ist-Böschung)
- Schutzwall
- Nassschnittböschung
- Trockenschnittböschung
- Zwischenberme
- Grenze RBP (geplant)
- Grenze RBP 2012

ETRS 1989 UTM Zone 33N

AUFTRAGGEBER Steine und Erden Lagerstättenwirtschaft GmbH		
PROJEKT Standsicherheitseinschätzung für die geplanten Endböschungen und für die Grobkonzeption - Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW		
TITEL Lageplan mit Darstellung der geotechnischen Schnitte		

Anlage 1

MASSSTAB 1:4.000	BEARBEITET TSI
BLATTFORMAT 420x297	GEZEICHNET TSI
DATUM 22.11.2022	REVISION 00
ZEICHNUNG-NR. G226021G100	
PROJEKT-NR. P226021BB_1073_BE1	

 Geologische Landesuntersuchung
GmbH Freiberg

09599 Freiberg Halsbrücker Straße 34
Telefon: +49 3731 20782-50 Telefax: -69 eMail: kontakt@glu-freiberg.de

Anlage 2
Laborergebnisse, Zusammenstellung der Kornverteilungen
Anlage 2.1
Laborergebnisse

Erdbaulabor Leipzig GmbH
 Magdeborner Str. 9
 04416 Markkleeberg

Korngrößenverteilung

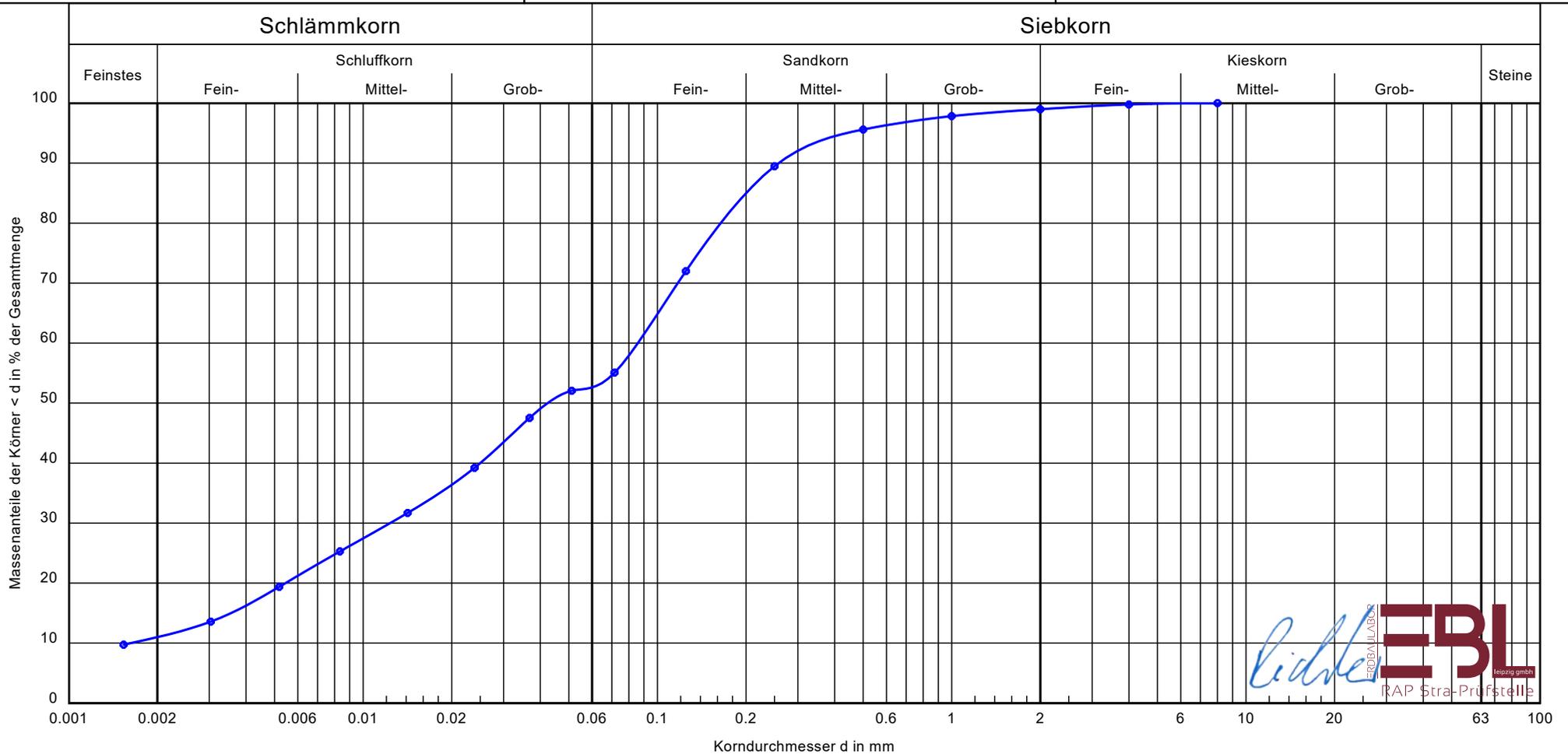
DIN EN ISO 17892-4

kombinierte Siebung und Sedimentation

Objekt: Kiessandtagebau Ponickau
 Entnahmeort:
 Prüfungsnr.: P407-22-1
 Probe: gestörte Probe v.2022

Bearbeiter: U.Petzold

Datum: 18.11.2022



Bodengruppe:	TL	Bemerkungen:	Bericht: Anlage:
Bodenart:	U, \bar{f}_s , t', ms'		
Entnahmestelle:			
Tiefe:			
k [m/s](Seiler):	$1.3 \cdot 10^{-7}$		

Korngrößenverteilung

DIN EN ISO 17892-4

kombinierte Siebung und Sedimentation

Bearbeiter: U.Petzold

Datum: 18.11.2022

Objekt: Kiessandtagebau Ponickau

Entnahmeort:

Prüfungsnr.: P407-22-1

Probe: gestörte Probe v.2022

Prüfung DIN EN ISO 17892-4 - 5.5
Bodengruppe: TL
Bodenart: U, \bar{f}_s , t', ms'
Entnahmestelle:
Tiefe:
k [m/s](Seiler): 1.320E-7
d10/d30/d60 [mm]: 0.002 / 0.012 / 0.086
Siebanalyse:
Trockenmasse [g]: 314.36
Schlammanalyse:
Trockenmasse [g]: 30.32
Korndichte [g/cm³]: 2.700
Aräometer:
Bezeichnung: DIN-Aräometer
Volumen Aräometerbirne [cm³]: 70.55
Fläche Messzylinder [cm²]: 28.27
Länge Aräometerbirne [cm]: 16.00
Länge der Skala [cm]: 14.50
Abstd. OK Birne - UK Skala [cm]: 1.50
Meniskuskorrektur C_m: 0.00

Siebanalyse

Korngröße [mm]	Rückstand [g]	Rückstand [%]	Siebdurchgänge [%]
8.0	0.00	0.00	100.00
4.0	0.69	0.22	99.78
2.0	2.51	0.80	98.98
1.0	3.64	1.16	97.82
0.5	6.99	2.22	95.60
0.25	19.23	6.12	89.48
0.125	54.95	17.48	72.00
Schale	226.35	72.00	-
Summe	314.36		
Siebverlust	0.00		



Schlammanalyse

Zeit		R'	R = R' + C _m	Korngröße	T	C _T	R + C _T	Durchgang
[h]	[min]	[g]	[g]	[mm]	[°C]	[g]	[g]	[%]
0	0.5	14.30	14.30	0.0715	21.6	0.30	14.60	55.07
0	1	13.50	13.50	0.0511	21.6	0.30	13.80	52.05
0	2	12.30	12.30	0.0368	21.6	0.30	12.60	47.52
0	5	10.10	10.10	0.0239	21.6	0.30	10.40	39.23
0	15	8.10	8.10	0.0142	21.6	0.30	8.40	31.68
0	45	6.40	6.40	0.0083	21.6	0.30	6.70	25.27
2	0	4.80	4.80	0.0052	21.8	0.34	5.14	19.39
6	0	3.20	3.20	0.0030	22.1	0.40	3.60	13.58
24	0	2.20	2.20	0.0015	22.0	0.38	2.58	9.73

Anerkannte Prüfstelle nach RAP Stra, Eignungs- und Kontrollprüfungen und Schiedsuntersuchungen an Böden einschl. Bodenverbesserung, Eignungs- und Kontrollprüfungen an Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Bodenverfestigungen, Kontrollprüfungen an Baustoffgemischen für Schichten ohne Bindemittel und für den Erdbau

Erdbaulabor Leipzig GmbH Gewerbegebiet Wachau-Nord Magdeborner Straße 9 04416 Markkleeberg Tel.: 034297 / 67810 post@erdbaulabor-leipzig.de	Auftraggeber: GLU Freiberg Objekt: Kiessandtagebau Ponickau	Anlage: Prf.-Nr.: P407-22-2
--	--	--

Bestimmung des Wassergehaltes von Bodenproben
gemäß DIN EN ISO 17892-1

Datum: 02.11.2022

Stationierung:

Schichtlage:

Bodengruppe nach DIN 18196:

Herkunft: Kiessandtagebau Ponickau

Witterung: Lufttemperatur:

Versuch durchgeführt von: M.Röber

Anmerkung:

Die Probe wird nach der Prüfung entsorgt.

Parameter	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Masse des Behälters	g	283,40		
Masse vorm Trocknen mit Behälter	g	1348,30		
Masse nach Trocknen mit Behälter	g	1039,80		
Eigenschaften der Bodenprobe				
Bodenprobe, Natur	g	1064,90		
Bodenprobe, getrocknet	g	756,40		
relativer Wassergehalt	%	0,4079		
Wassergehalt der Bodenprobe	%	40,8		

Bewertung: -



Dipl. -Ing. Frank Richter
Prüfstellenleiter RAP Stra



Markkleeberg, den 18.11.2022

Anerkannte Prüfstelle nach RAP Stra, Eignungs- und Kontrollprüfungen und Schiedsuntersuchungen an Böden einschl. Bodenverbesserung, Eignungs- und Kontrollprüfungen an Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Bodenverfestigungen, Kontrollprüfungen an Baustoffgemischen für Schichten ohne Bindemittel und für den Erdbau

Erdbaulabor Leipzig GmbH Gewerbegebiet Wachau-Nord Magdeborner Straße 9 04416 Markkleeberg Tel.: 034297 / 67810 post@erdbaulabor-leipzig.de	Auftraggeber: GLU Freiberg Objekt: Kiessandtagebau Ponickau	Anlage: Prf.-Nr.: P407-22-3
--	--	--

Bestimmung des Glühverlustes von Bodenproben
gemäß DIN 18128 (Prüfung DIN 18128 - GL)

Datum: 02.11.2022

Stationierung:

Schichtlage:

Bodengruppe nach DIN 18196:

Herkunft: Kiessandtagebau Ponickau

Witterung: Lufttemperatur:

Versuch durchgeführt von: M. Röber

Wassergehalt in %: 40,4 Prf.-Nr.: P407-22-2 vom 02.11.2022

Anmerkung:

Parameter	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Masse der ungeglühten Probe mit Behälter	g	40,28	45,61	44,18
Masse der geglühten Probe mit Behälter	g	38,53	43,59	41,92
Masse des Behälters	g	23,25	26,82	22,76
Eigenschaften der Bodenprobe				
Masseverlust durch das Glühen	g	1,75	2,02	2,26
Trockenmasse vor dem Glühen	g	17,03	18,79	21,42
relativer Glühverlust	%	10,28	10,75	10,55
Glühverlust (Mittelwert)	%	10,53		

Bewertung: -



Dipl. -Ing. Frank Richter
Prüfstellenleiter RAP Stra



Markkleeberg, den 18.11.2022

Anlage 2.2

Zusammenstellung der Kornverteilungen



**Geologische
Landesuntersuchung
GmbH Freiberg**

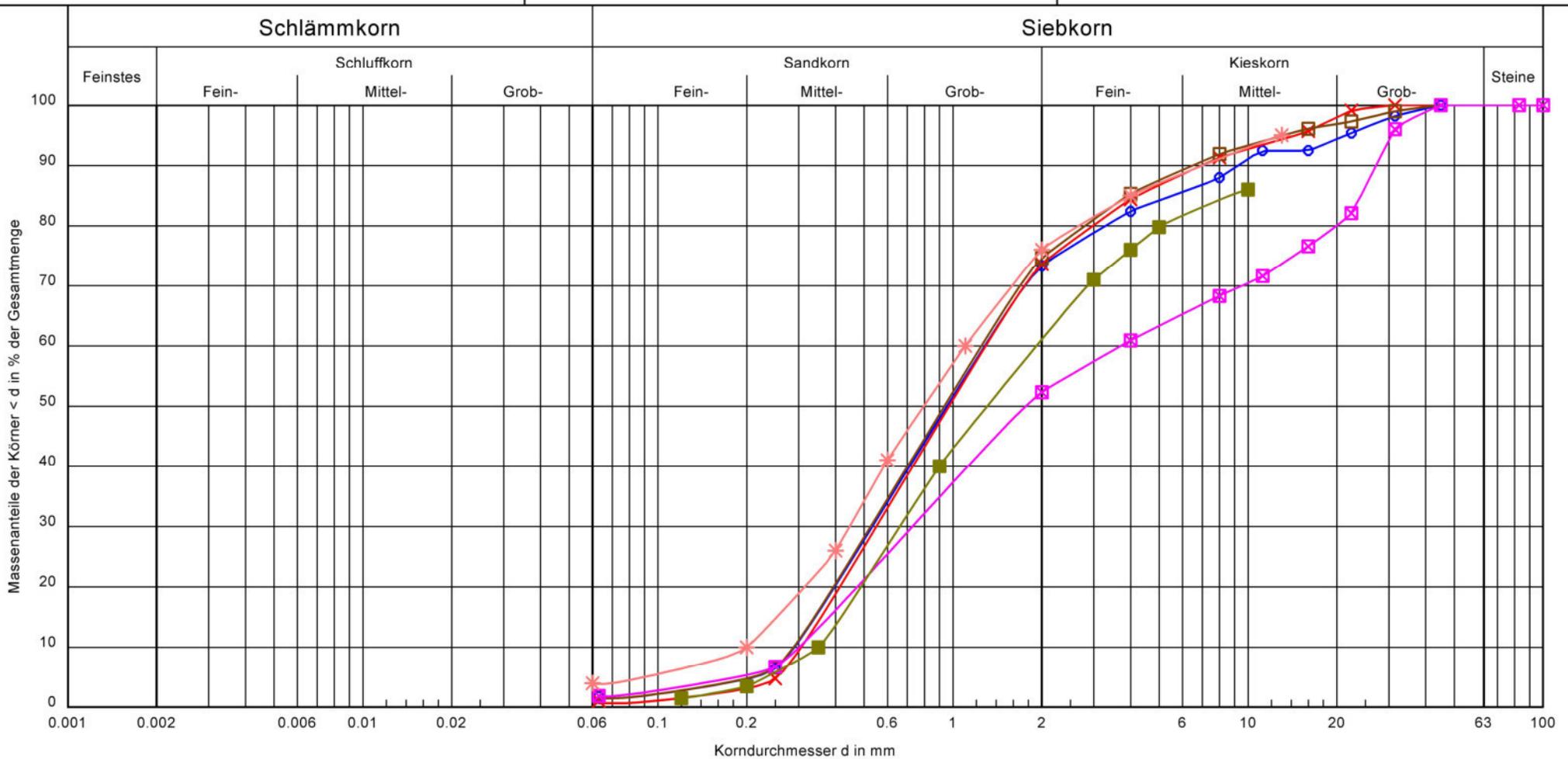
Halsbrücker Straße 34
09599 Freiberg
Mail: kontakt@glu-freiberg.de

Körnungslinie

Standsicherheitseinschätzung
Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW
Zusammenstellung der KVK für den Rohstoff

Bearbeiter: TSI

Datum: 22.11.2022



Bezeichnung:	Rohkies 0/32 - Nordteich	Kies 0/32 - Nordteich	0/32 - Westteich	Rohkies 0/32 - Südeich	Palme1997 - Sand	Palme1997 - Kiessand	Bemerkungen:	Bericht: P216095 Anlage: 2.2
Bodengruppe:	SE	SE	SE	GI	SE	SE		
Bodenart:	gS, m̄s, fs', fg', mg', gg'	gS, ms, fg, mg'	S, fg', mg'	S, G	S, fg', mg'	S, fg, mg		
Cu/Cc:	4.4/0.8	4.2/0.8	4.3/0.8	12.3/0.5	5.6/0.9	5.5/0.7		
T/U/S/G [%]:	- /1.5/71.8/26.8	- /0.7/72.8/26.6	- /1.5/73.0/25.5	- /1.8/50.4/47.7	- /3.9/71.9/24.2	- / - /61.1/38.9		

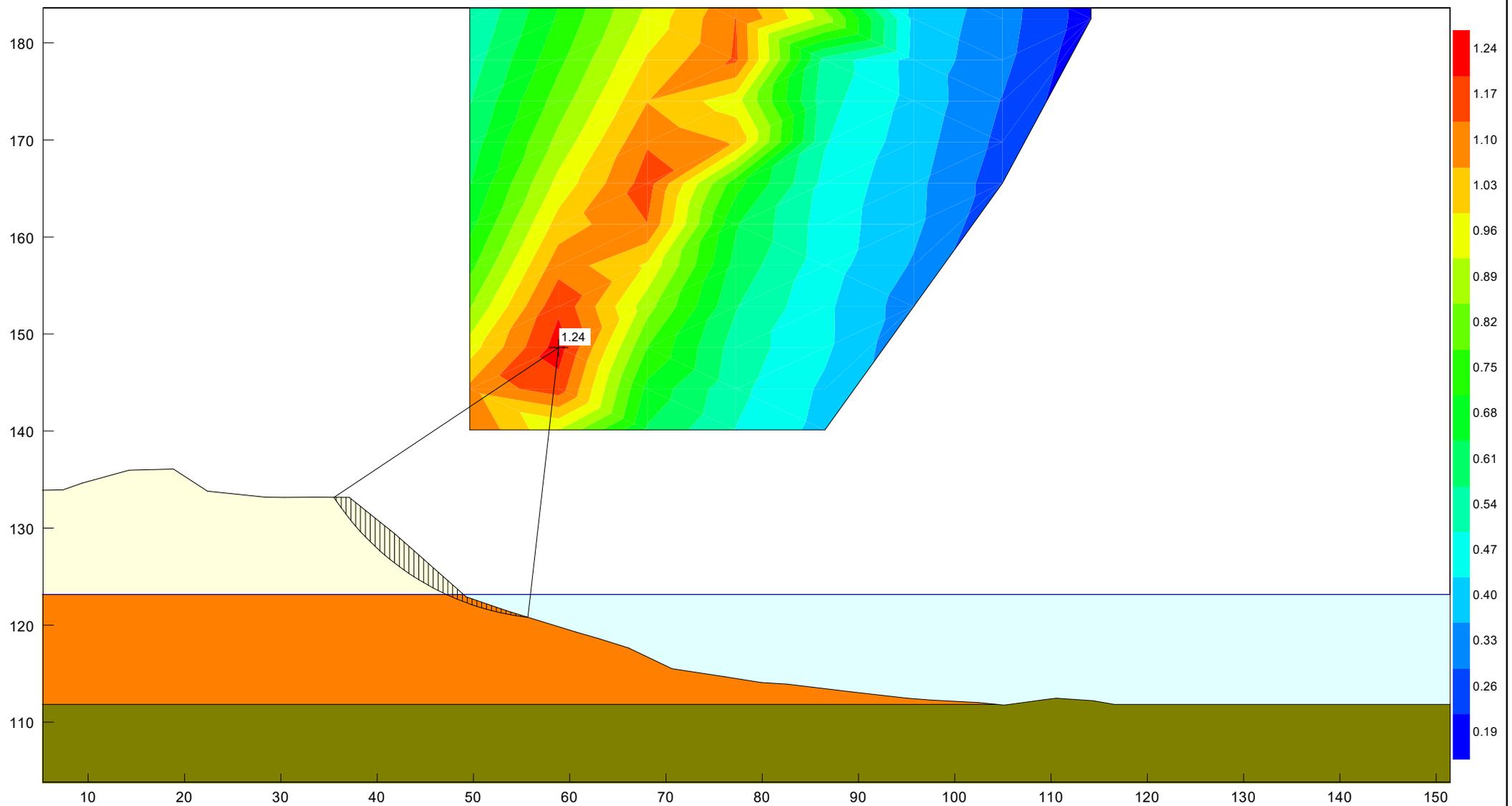
Anlage 3

Berechnungsergebnisse BF 1

C:\Users\LEI\Documents\Ponickau\G2.3_2023-05-19_Standisicherheitsgutachten und Grobkonzeption Endböschungen_Ponickau-Naundorf SW.docx

21.11.2022

Standisicherheitseinschätzung
Geplante Endböschungen und sanierte Südost- und Ostrandböschung
Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 1.24$
 $X_m = 58.85 \text{ m}$ $y_m = 148.58 \text{ m}$
 $R = 27.97 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

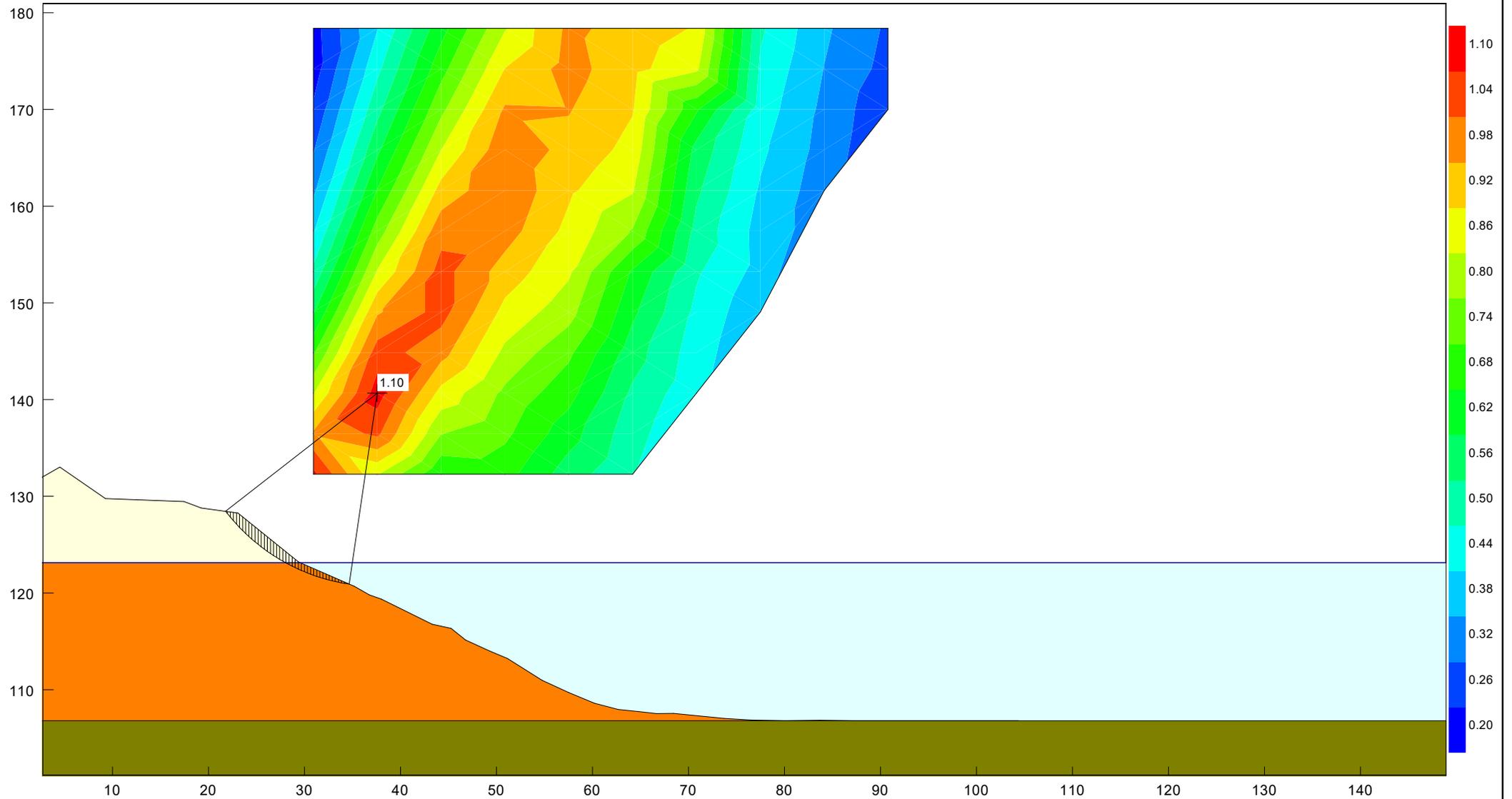
**Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW**

Berechnungsfall BF 1.1
 Standsicherheit der vorhandenen Südostrandböschung
 Schnitt 4 aus Engel2022 [U 9]

Projekt-Nr.: P226021BB
 Bearbeiter: TSI
 geprüft: Götz

Anlage 3, Blatt 1
 Datum: 20.11.2022





GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 1.10$
 $x_m = 37.58 \text{ m}$ $y_m = 140.67 \text{ m}$
 $R = 19.97 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
□	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
■	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
■	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW

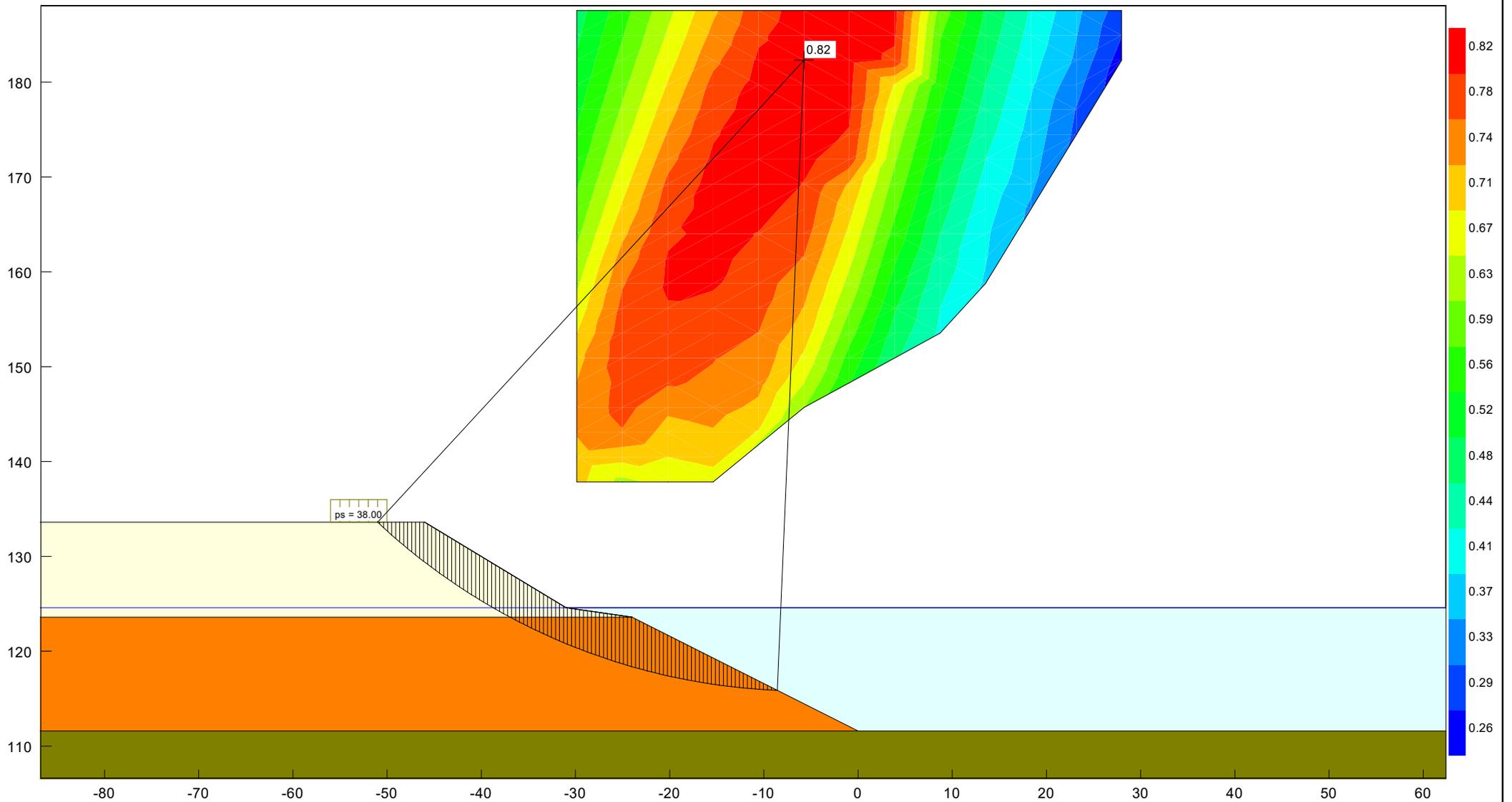


Berechnungsfall BF 1.2
 Standsicherheit der vorhandenen Ostrandböschung
 Schnitt 4 aus Engel2022 [U 9]

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 3, Blatt 2
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022

Anlage 4

Berechnungsergebnisse BF 2



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.82$
 $X_m = -5.75 \text{ m}$ $y_m = 182.32 \text{ m}$
 $R = 66.50 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

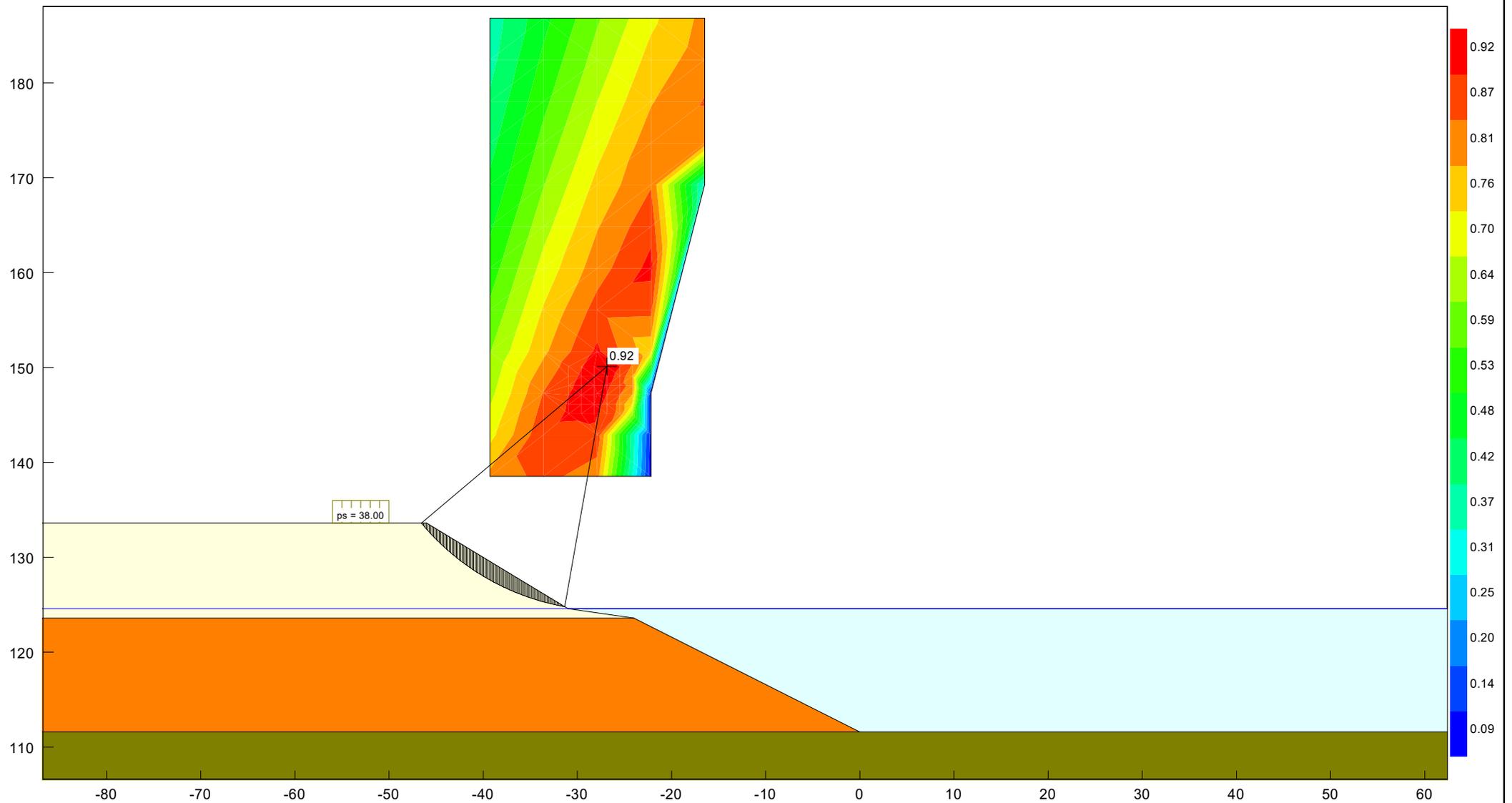
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 2.1
 Standsicherheit der Sanierten Böschung - Variante 1
 Standsicherheit des Gesamtsystems

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 1
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.92$
 $X_m = -26.85 \text{ m}$ $y_m = 150.11 \text{ m}$
 $R = 25.70 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

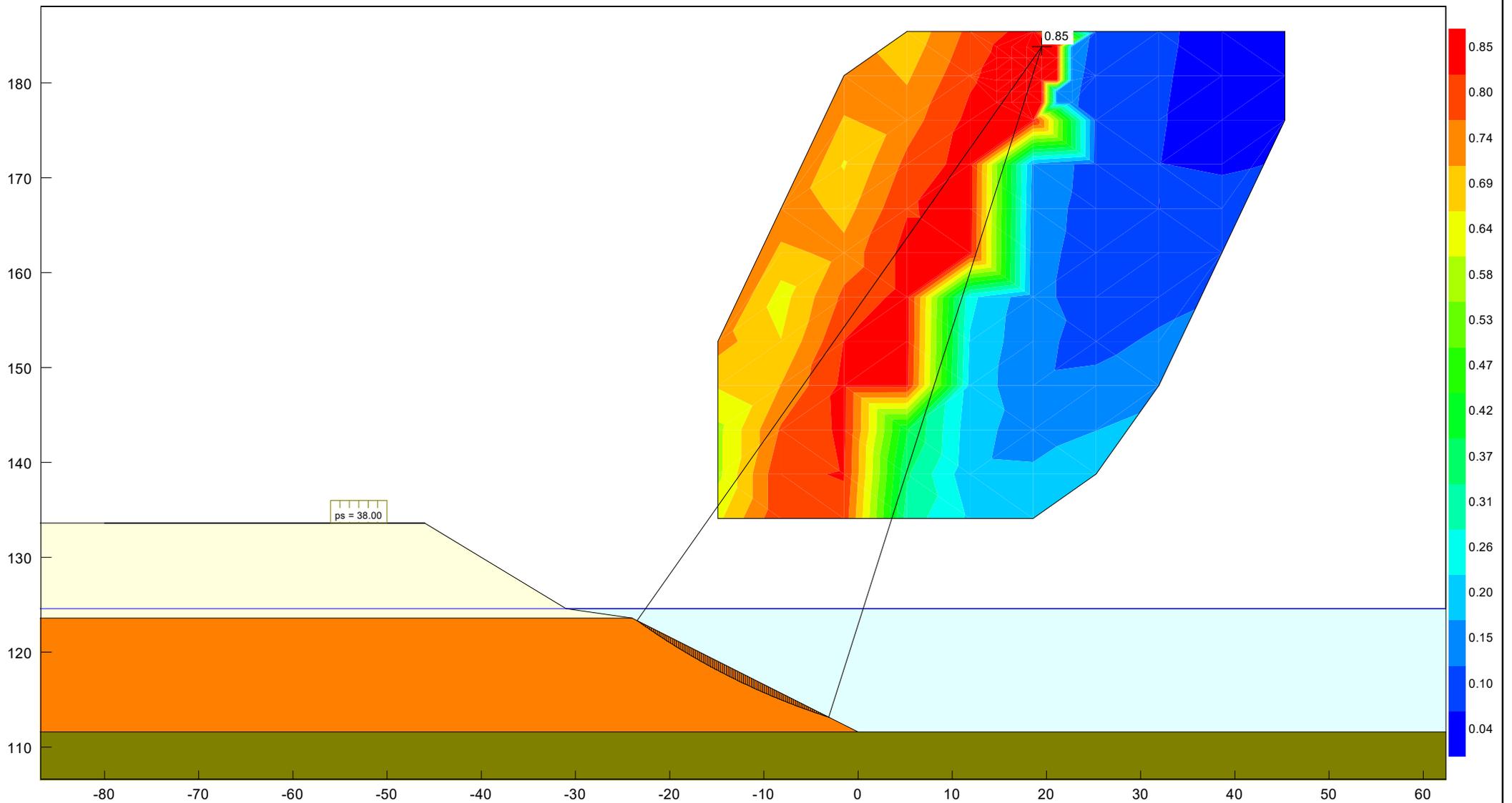
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
□	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
■	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
■	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 2.2
 Standsicherheit der Sanieren Böschung - Variante 1
 Standsicherheit der oberen Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 2
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.85$
 $X_m = 19.51 \text{ m}$ $y_m = 183.81 \text{ m}$
 $R = 74.19 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

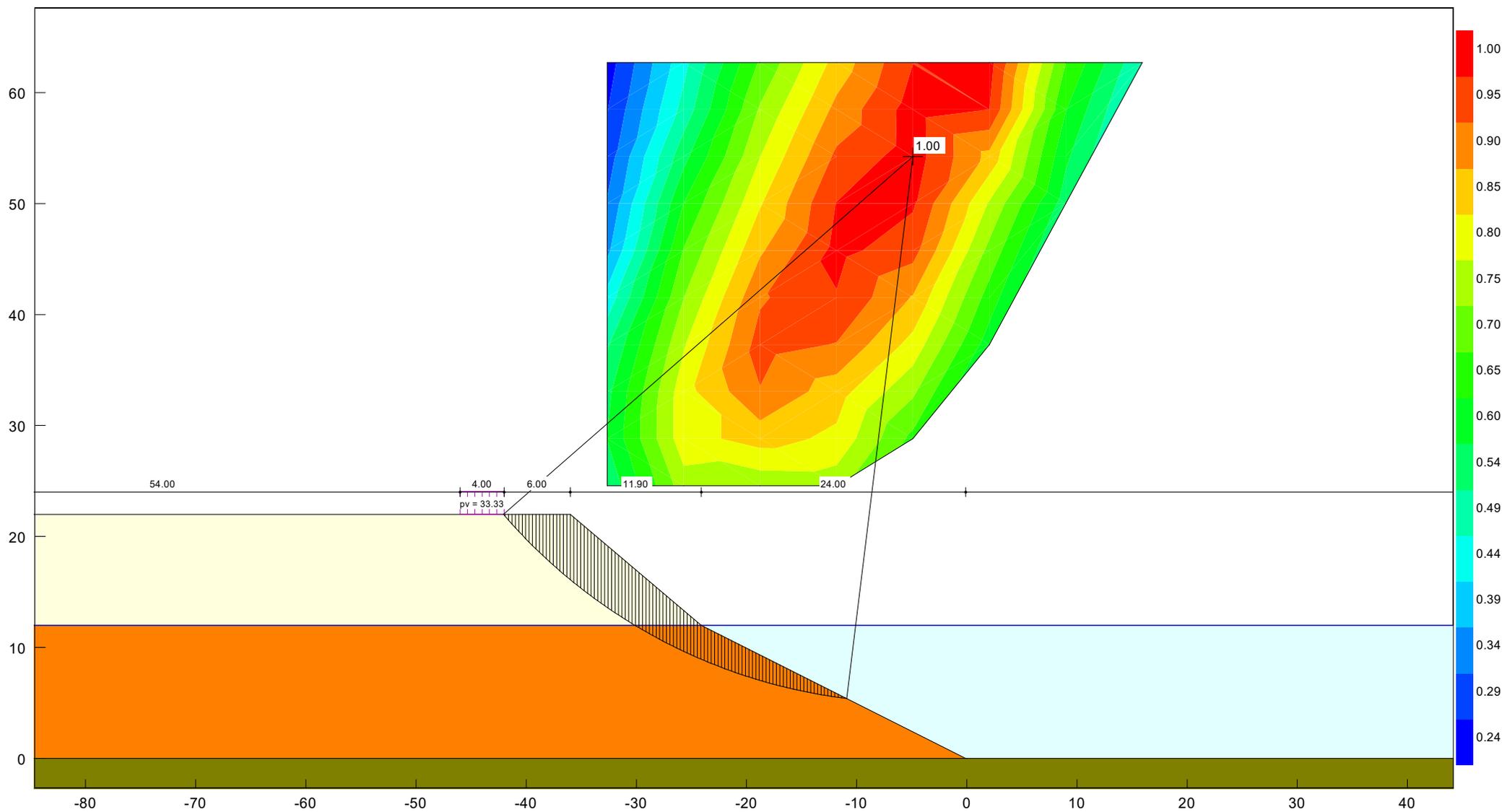
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 2.3
 Standsicherheit der Saniierten Böschung - Variante 1
 Standsicherheit der unteren Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 3
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 1.00$
 $X_m = -4.89 \text{ m}$ $y_m = 54.25 \text{ m}$
 $R = 49.22 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

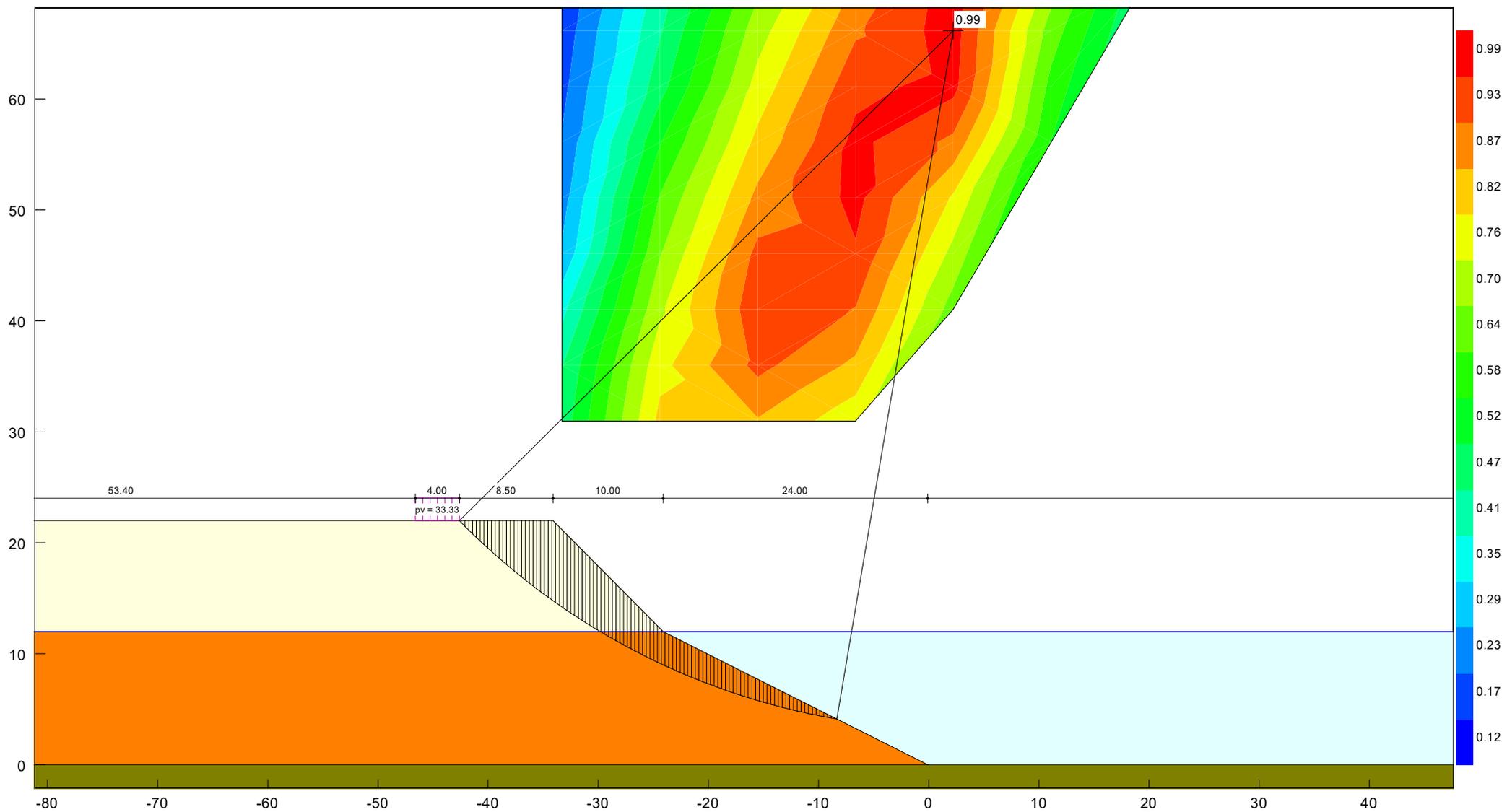
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 2.4
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 1
 Böschungsneigung: 40°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 4
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.99$
 $X_m = 2.23 \text{ m}$ $y_m = 66.16 \text{ m}$
 $R = 62.93 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

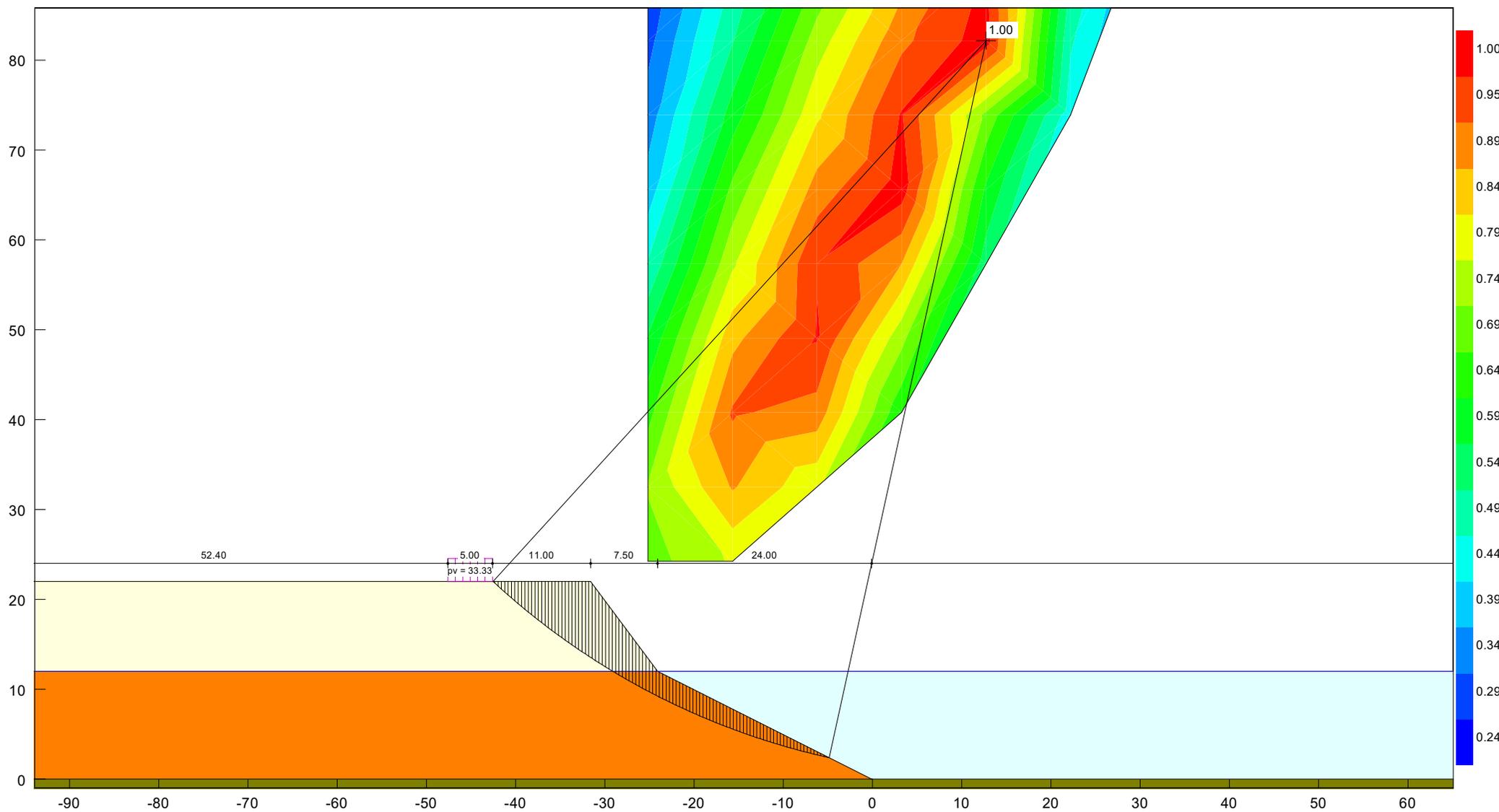
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 2.4
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 1
 Böschungsneigung: 45°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 5
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 1.00$
 $x_m = 12.72 \text{ m}$ $y_m = 82.17 \text{ m}$
 $R = 81.70 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Light Yellow]	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
[Orange]	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
[Dark Green]	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW

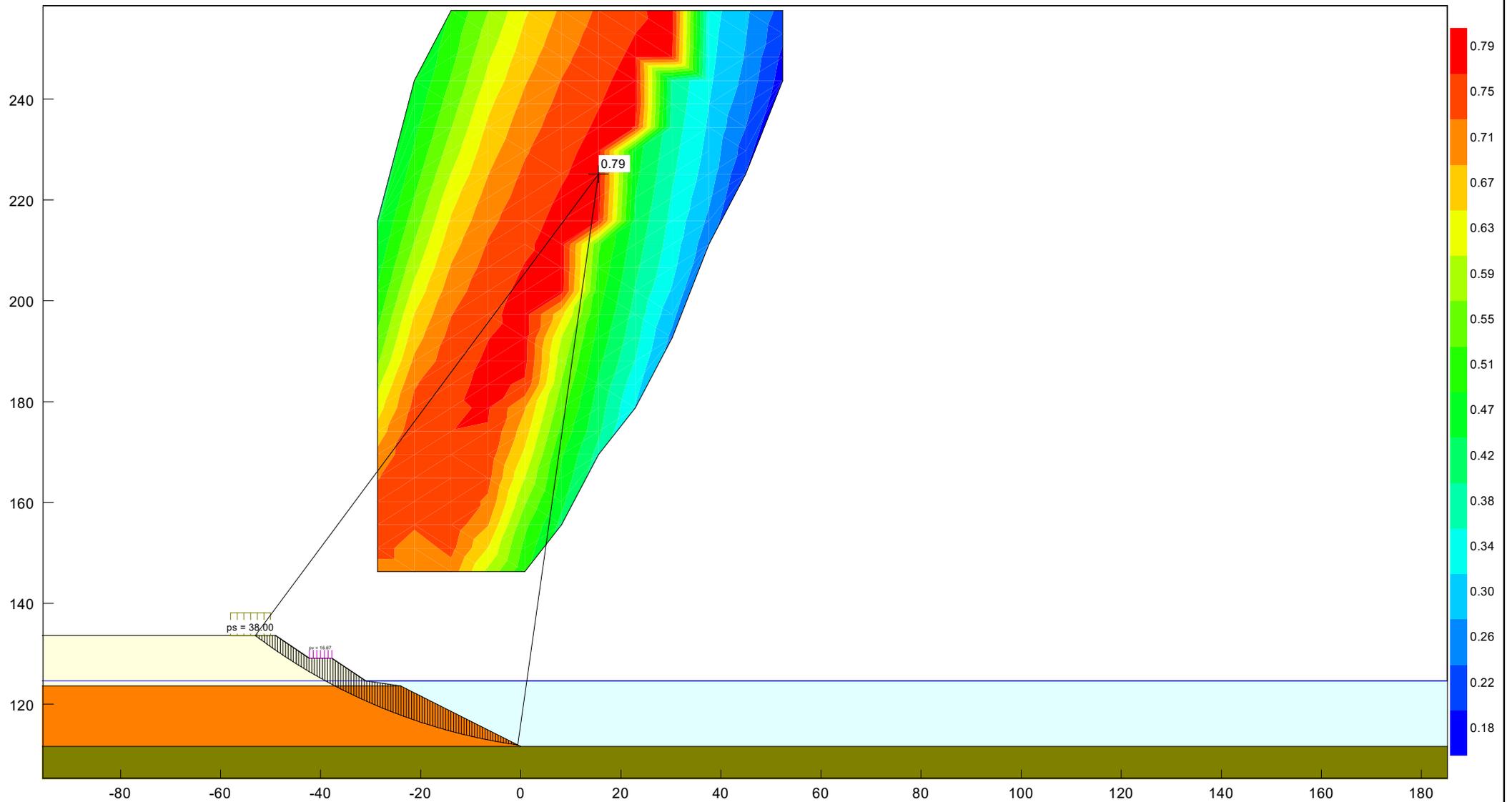


Berechnungsfall BF 2.4
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 1
 Böschungsneigung: 53°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 4, Blatt 6
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022

Anlage 5

Berechnungsergebnisse BF 3



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.79$
 $X_m = 15.53 \text{ m}$ $y_m = 225.13 \text{ m}$
 $R = 114.37 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

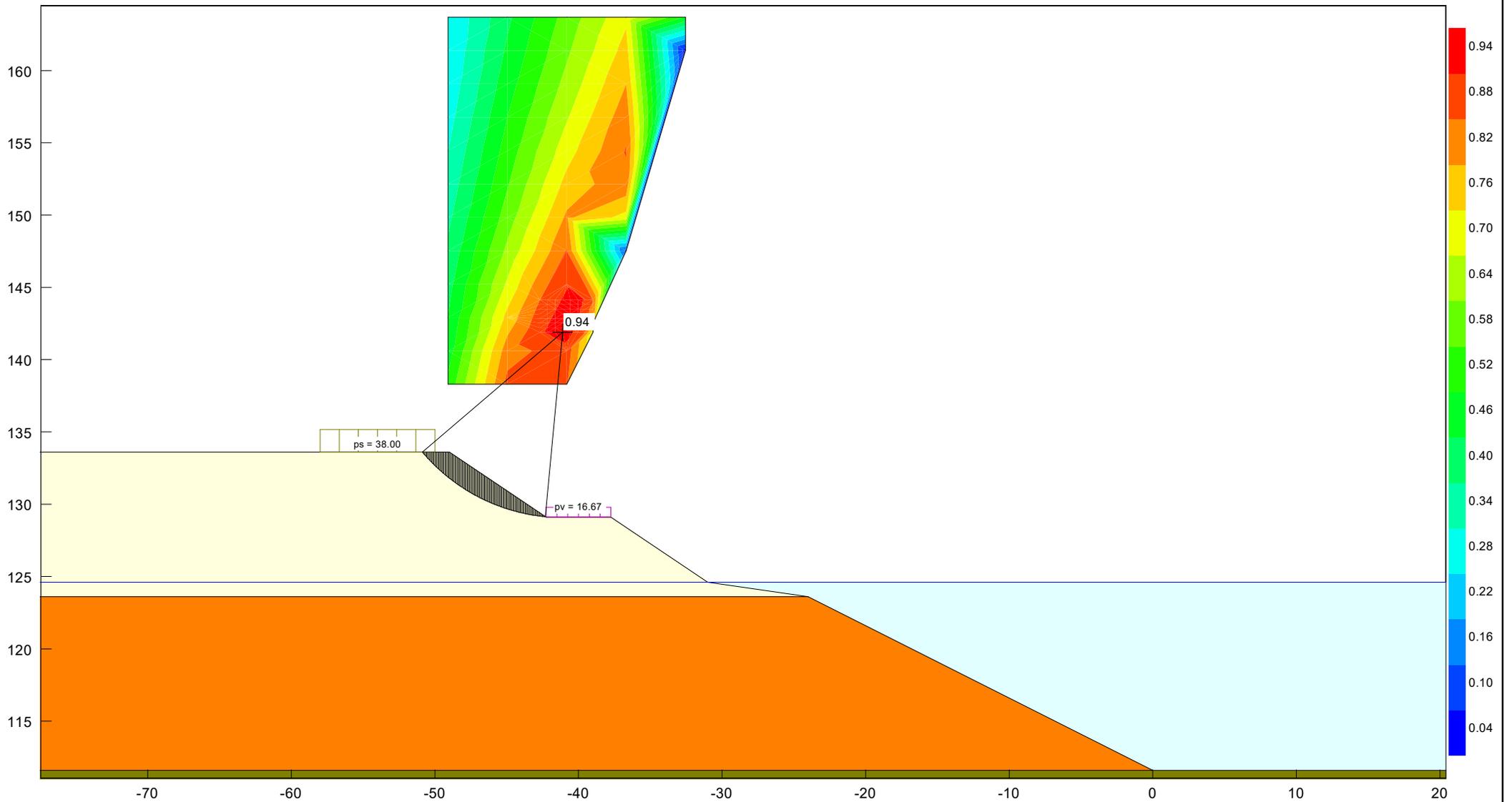
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 3.1
 Standsicherheit der Sanierten Böschung - Variante 2
 Standsicherheit des Gesamtsystems

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 5, Blatt 1
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.94$
 $X_m = -41.10 \text{ m}$ $y_m = 141.89 \text{ m}$
 $R = 12.81 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

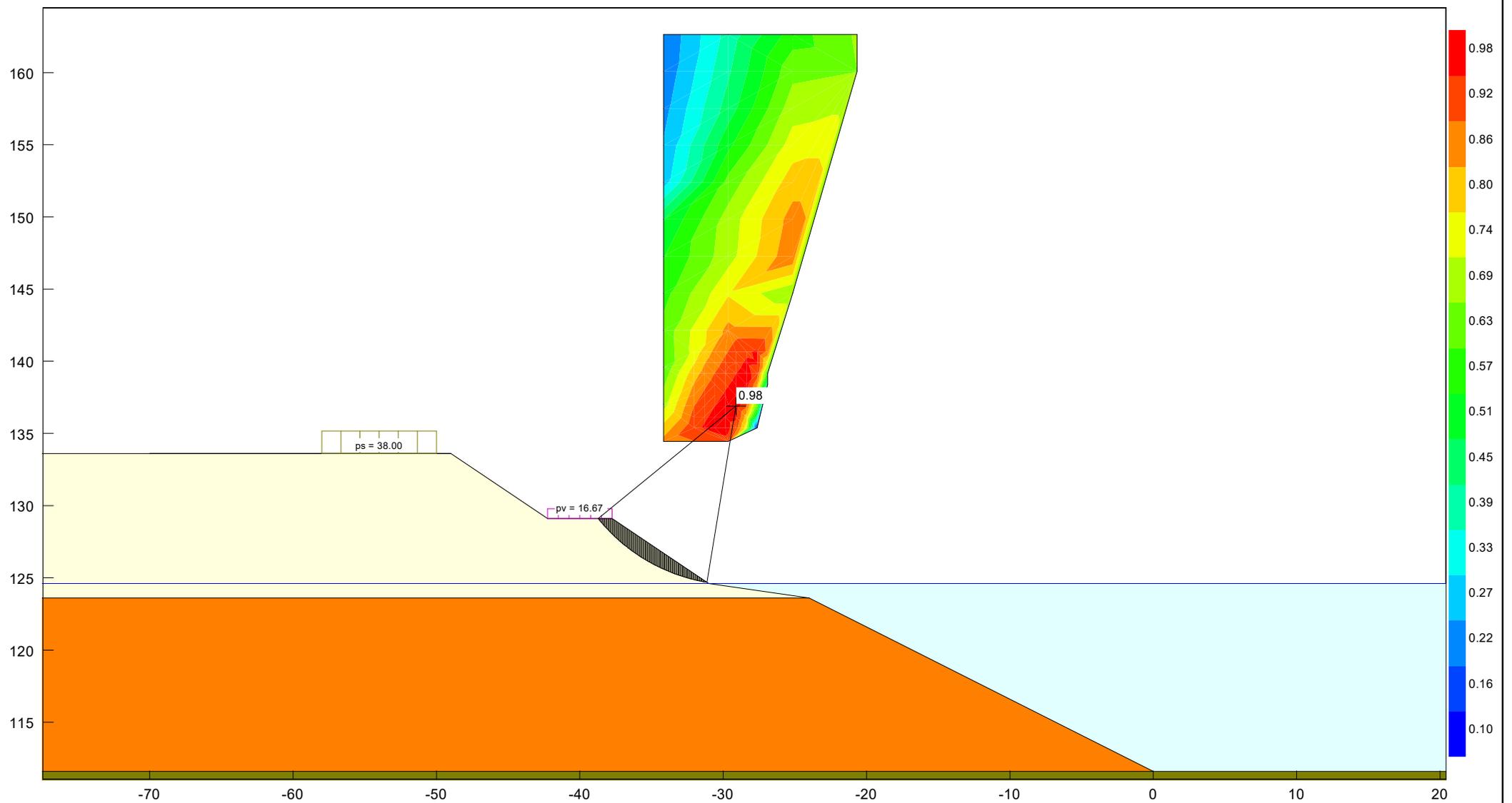
Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW

Berechnungsfall BF 3.2
 Standsicherheit der Sanieren Böschung - Variante 2
 Standsicherheit der oberen Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB
 Bearbeiter: TSI
 geprüft: Götz

Anlage 5, Blatt 2
 Datum: 20.11.2022





GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.98$
 $X_m = -29.11 \text{ m}$ $y_m = 136.90 \text{ m}$
 $R = 12.37 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

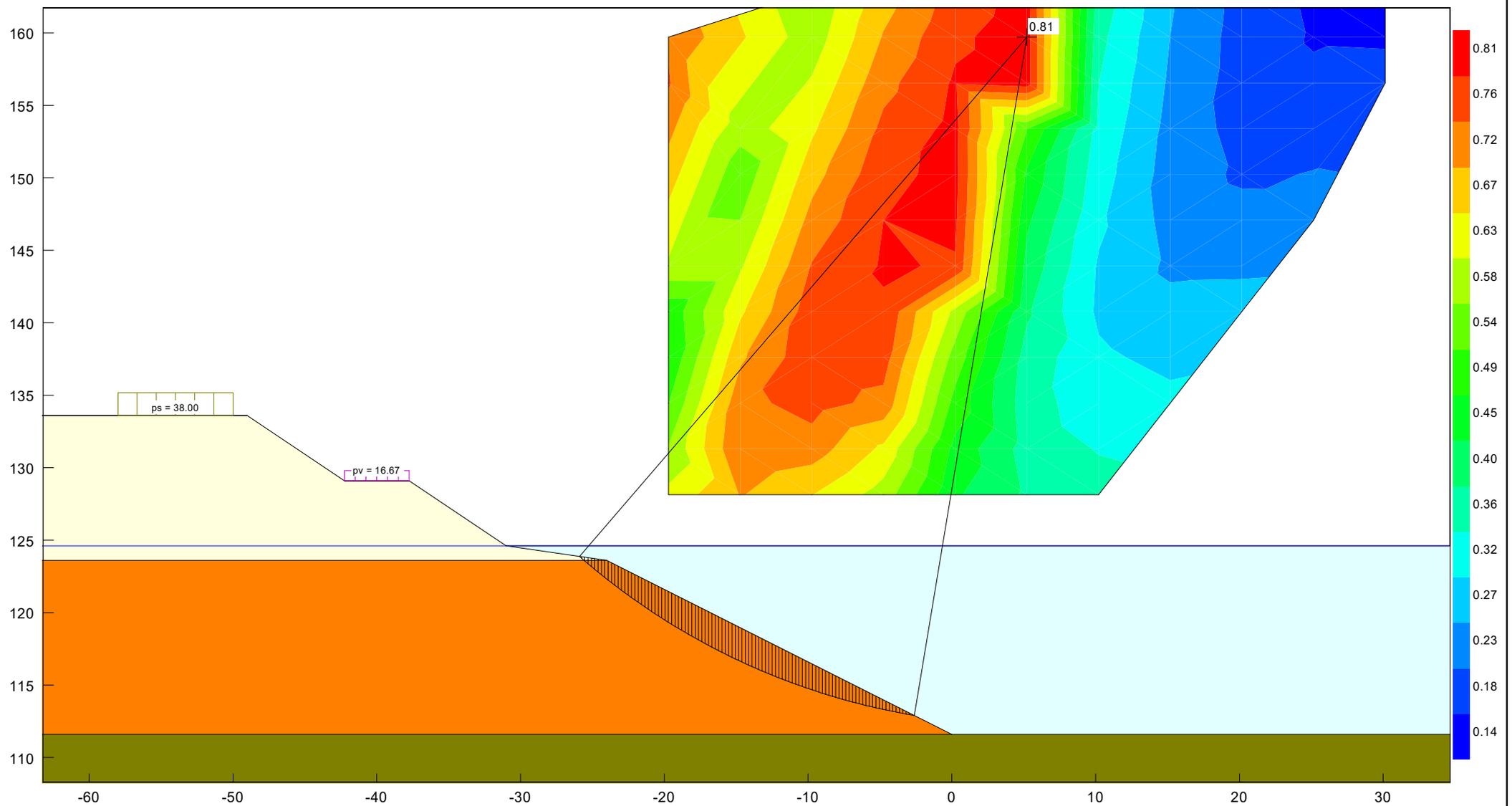
**Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW**

Berechnungsfall BF 3.3
 Standsicherheit der Sanierten Böschung - Variante 2
 Standsicherheit der mittleren Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB
 Bearbeiter: TSI
 geprüft: Götz

Anlage 5, Blatt 3
 Datum: 20.11.2022





GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.81$
 $X_m = 5.22 \text{ m}$ $y_m = 159.71 \text{ m}$
 $R = 47.45 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

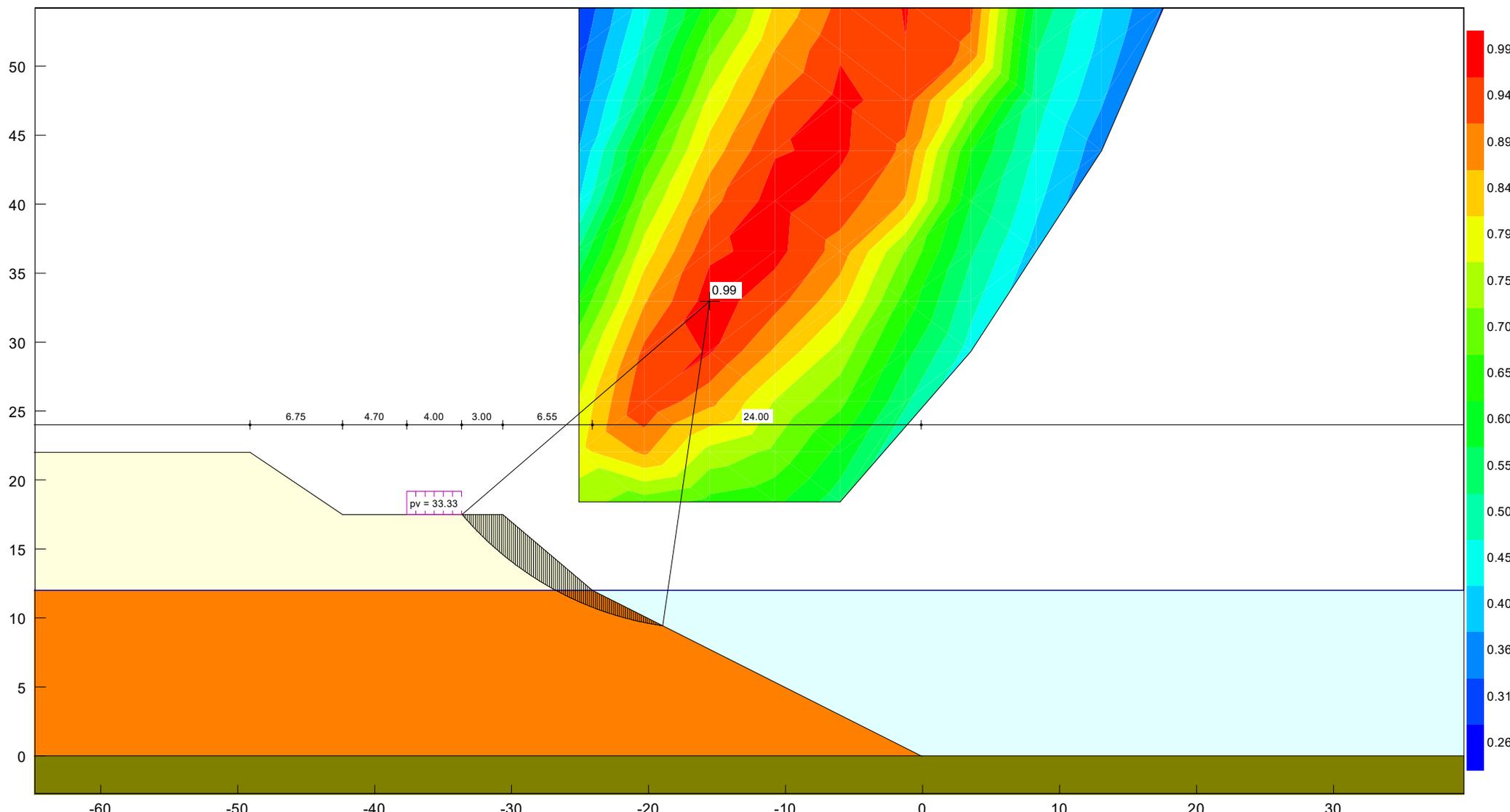
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Light Yellow]	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
[Orange]	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
[Dark Green]	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 3.4
 Standsicherheit der Sanieren Böschung - Variante 2
 Standsicherheit der unteren Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 5, Blatt 4
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.99$
 $X_m = -15.55 \text{ m}$ $y_m = 32.96 \text{ m}$
 $R = 23.77 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

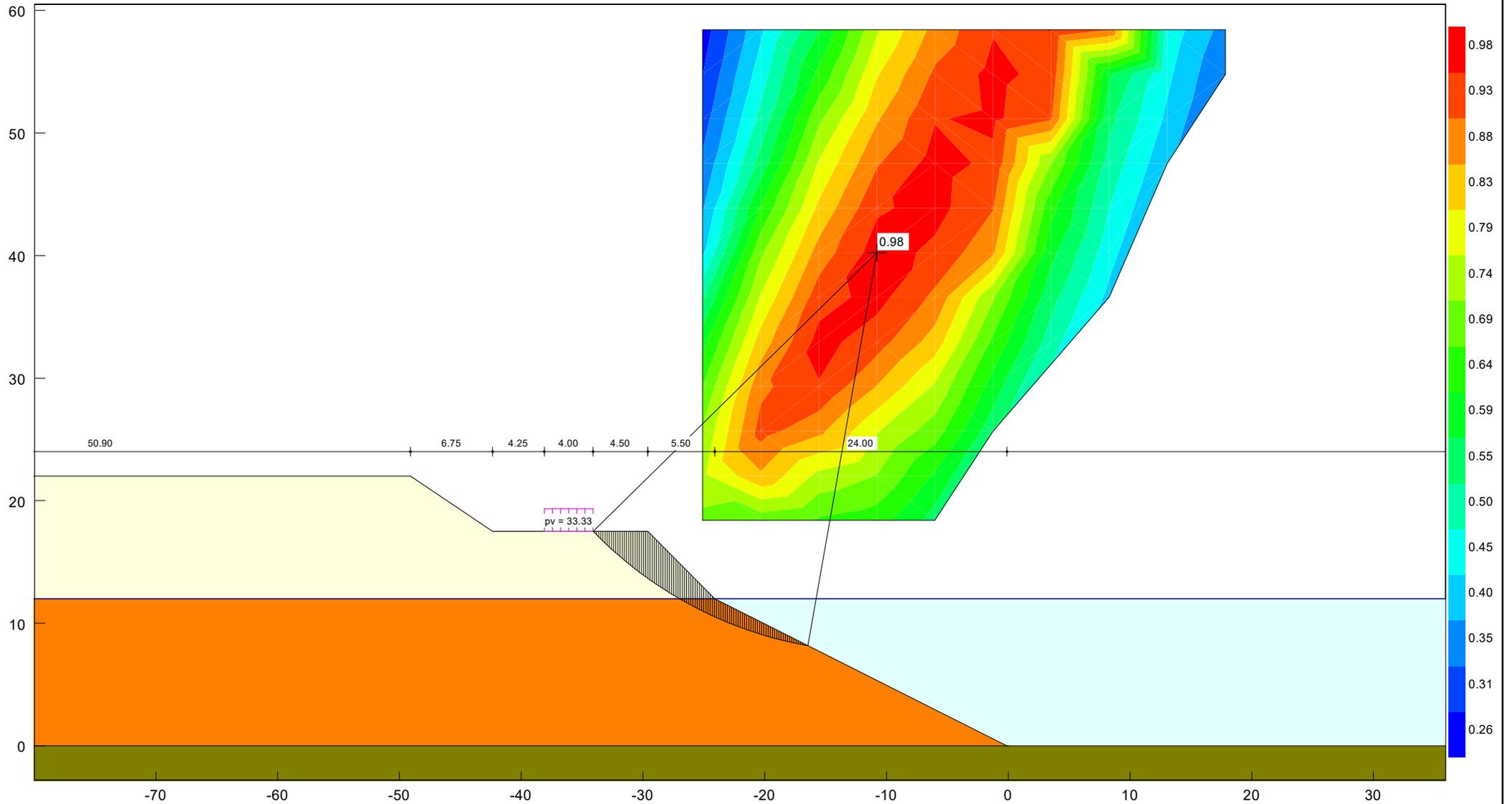
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 3.5
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 2
 Böschungsneigung: 40°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 5, Blatt 5
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.98$
 $X_m = -10.78 \text{ m}$ $y_m = 40.23 \text{ m}$
 $R = 32.55 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

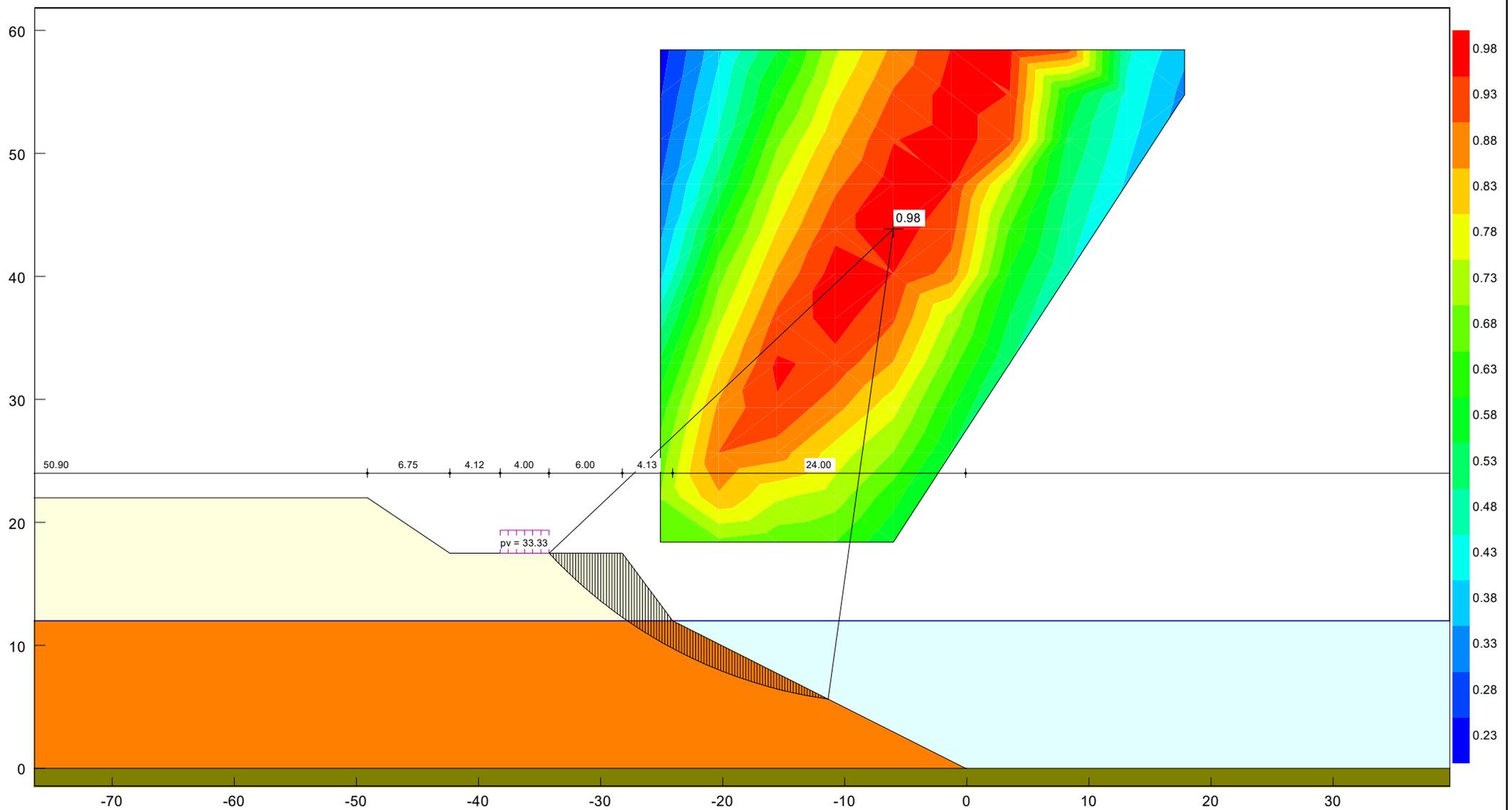
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 3.5
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 2
 Böschungsneigung: 45°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 5, Blatt 6
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.98$
 $X_m = -6.01 \text{ m}$ $y_m = 43.87 \text{ m}$
 $R = 38.61 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.15$
 - $\gamma(c') = 1.15$
 - $\gamma(c_u) = 1.15$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



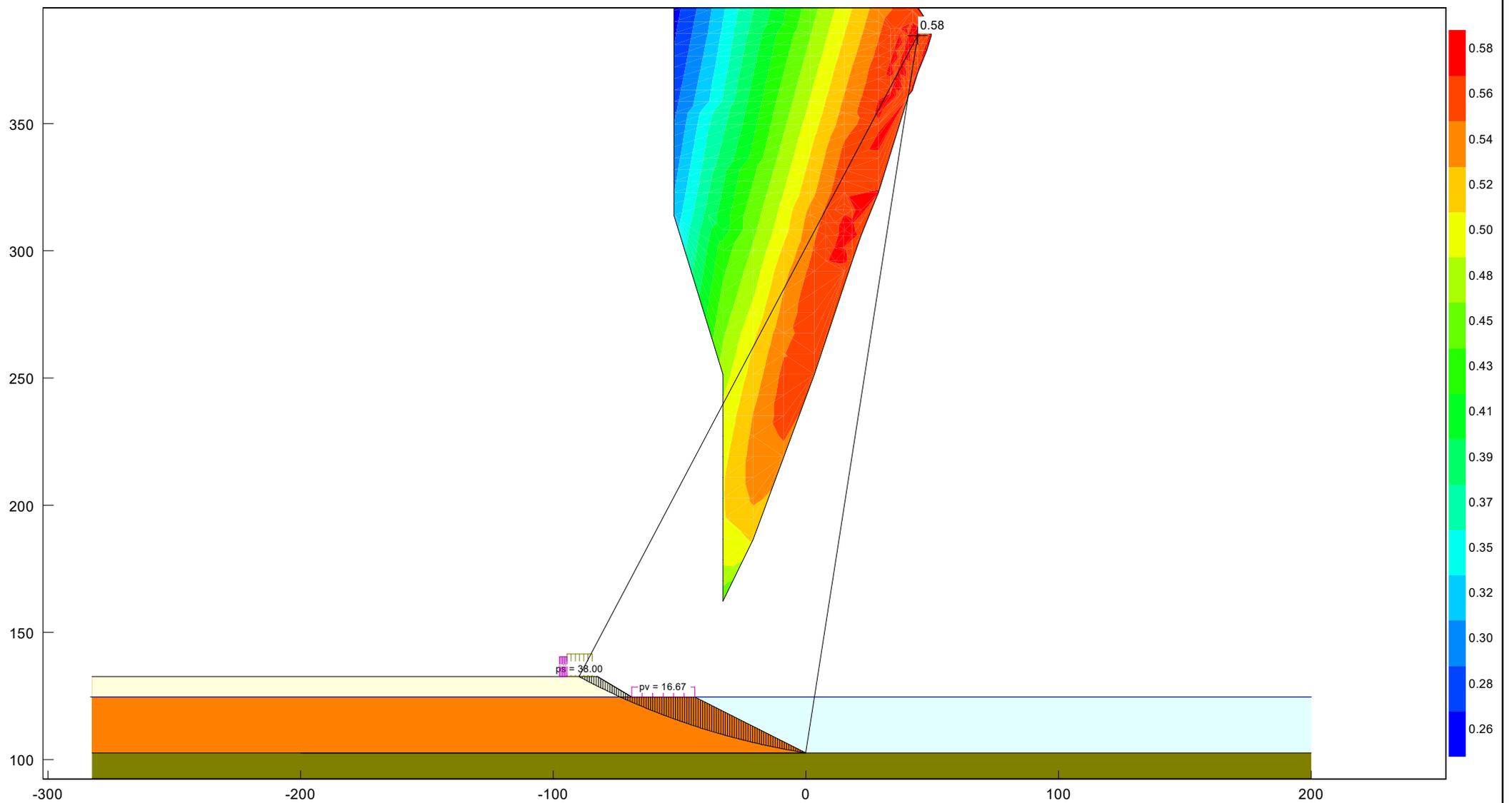
Berechnungsfall BF 3.5
 Standsicherheit des Arbeitsgerätes - Variante 2
 Böschungsneigung: 53°

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 5, Blatt 7
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



Anlage 6

Berechnungsergebnisse BF 4



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.58$
 $x_m = 44.22 \text{ m}$ $y_m = 384.49 \text{ m}$
 $R = 285.31 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

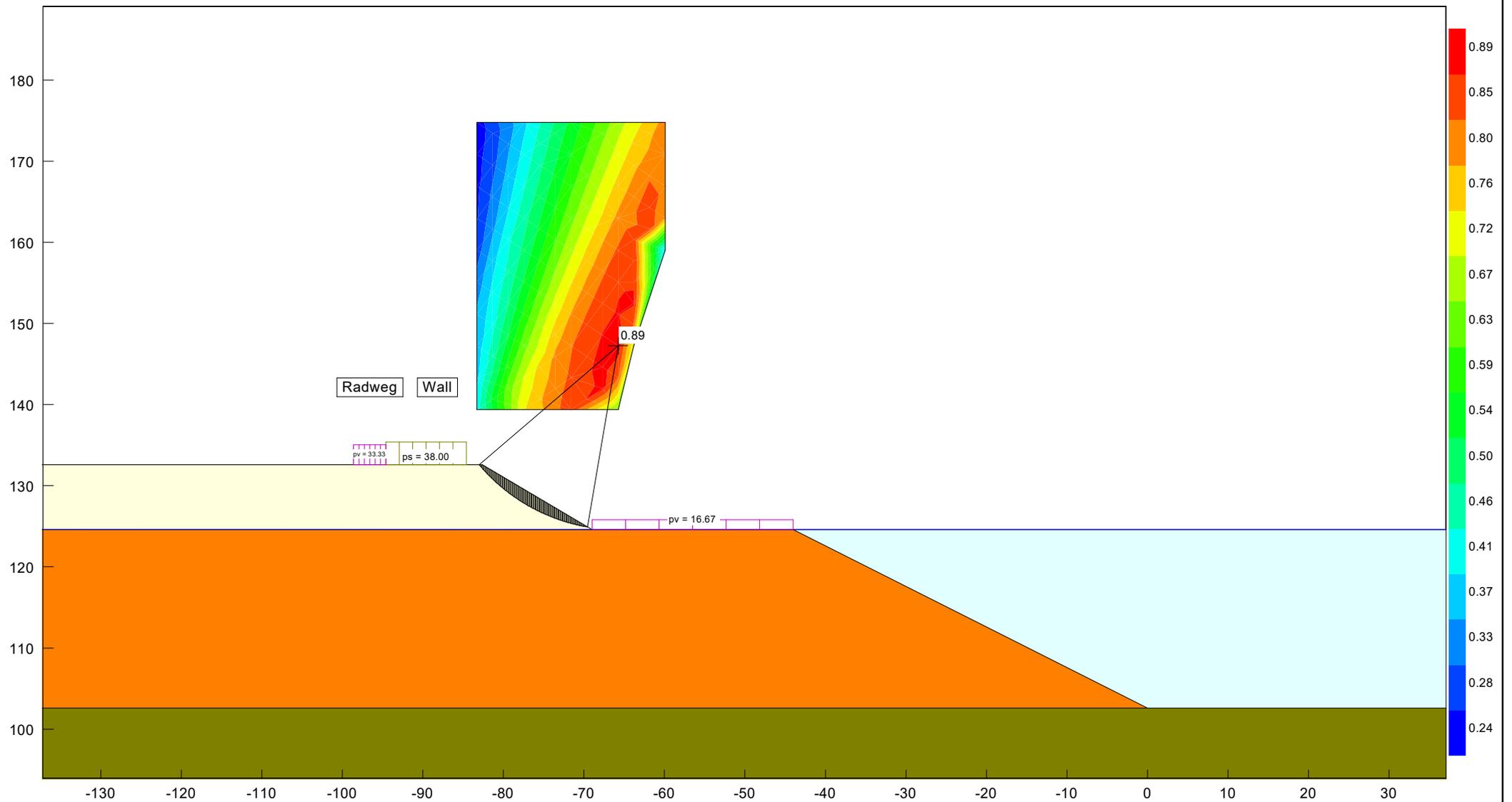
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
Yellow	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
Orange	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
Brown	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 4.1
 Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung
 Standsicherheit des Gesamtsystems

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 6, Blatt 1
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.89$
 $x_m = -65.74 \text{ m}$ $y_m = 147.25 \text{ m}$
 $R = 22.65 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

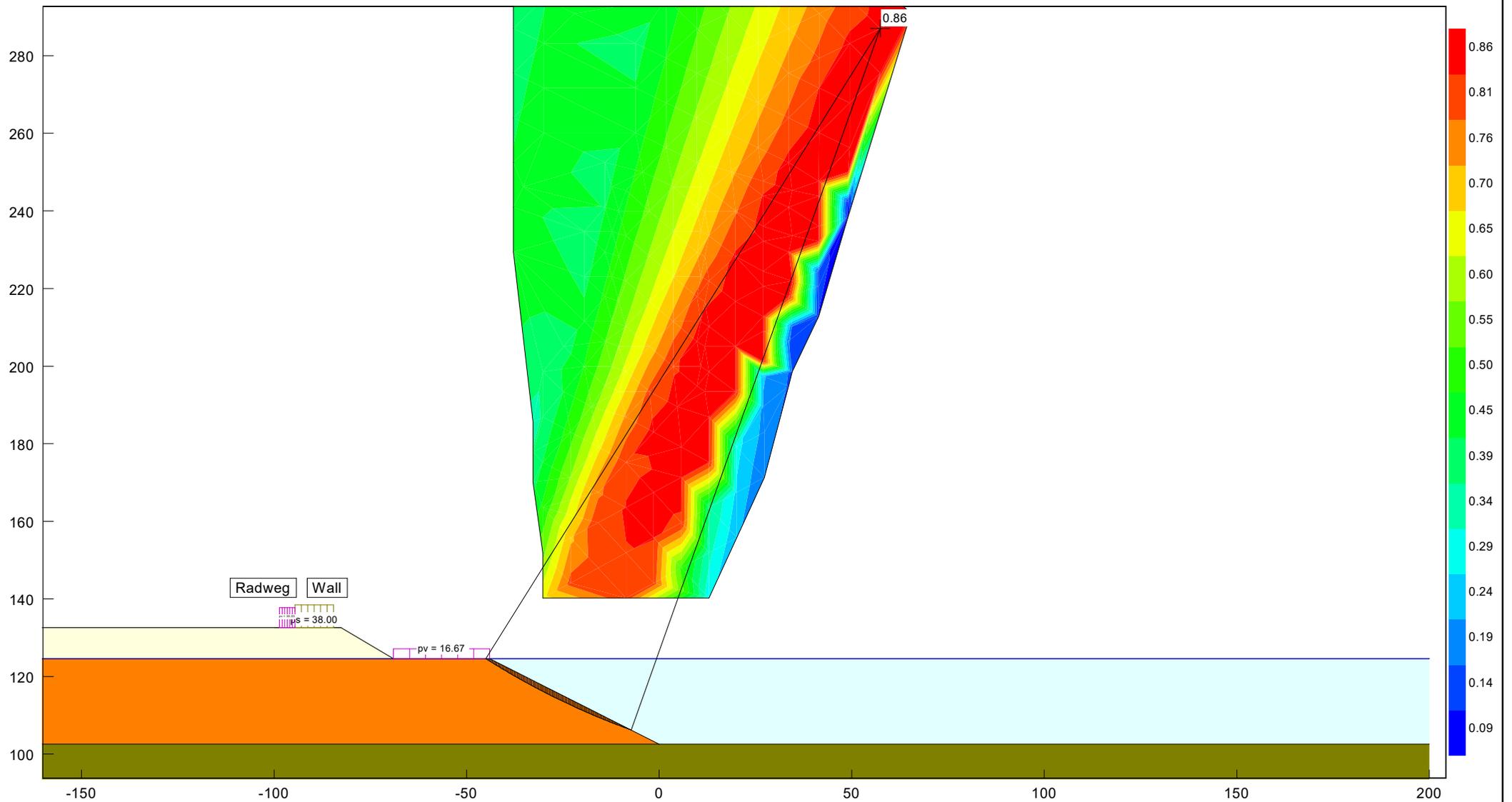
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

**Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW**

Berechnungsfall BF 4.2
 Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung
 Standsicherheit obere Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB
 Bearbeiter: TSI
 geprüft: Götz
 Anlage 6, Blatt 2
 Datum: 20.11.2022





GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.86$
 $x_m = 57.42 \text{ m}$ $y_m = 287.04 \text{ m}$
 $R = 192.04 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW

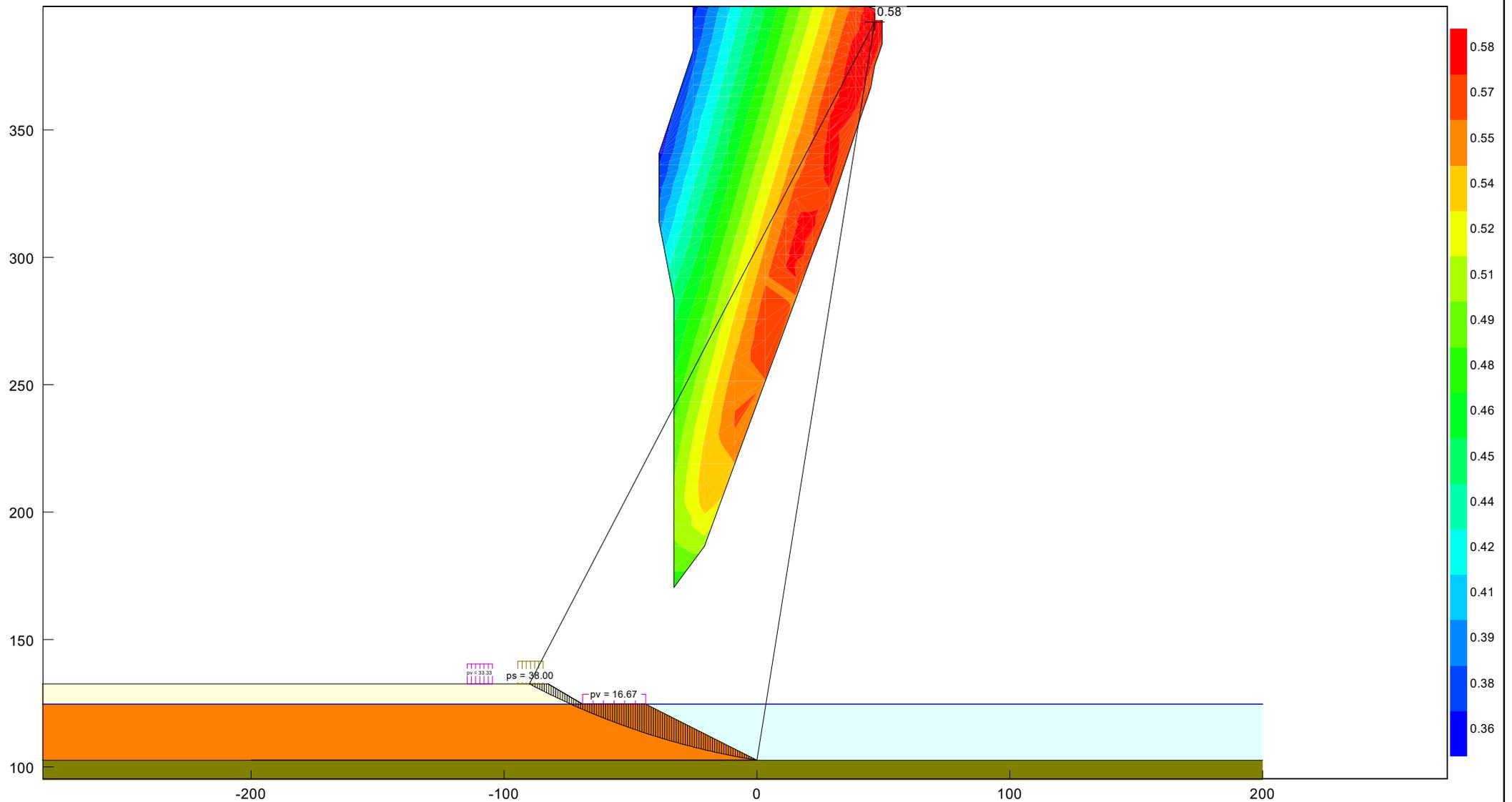


Berechnungsfall BF 4.3
 Standsicherheit der geplanten Südostrandböschung
 Standsicherheit untere Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 6, Blatt 3
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022

Anlage 7

Berechnungsergebnisse BF 5



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.58$
 $X_m = 46.53 \text{ m}$ $y_m = 392.35 \text{ m}$
 $R = 293.45 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

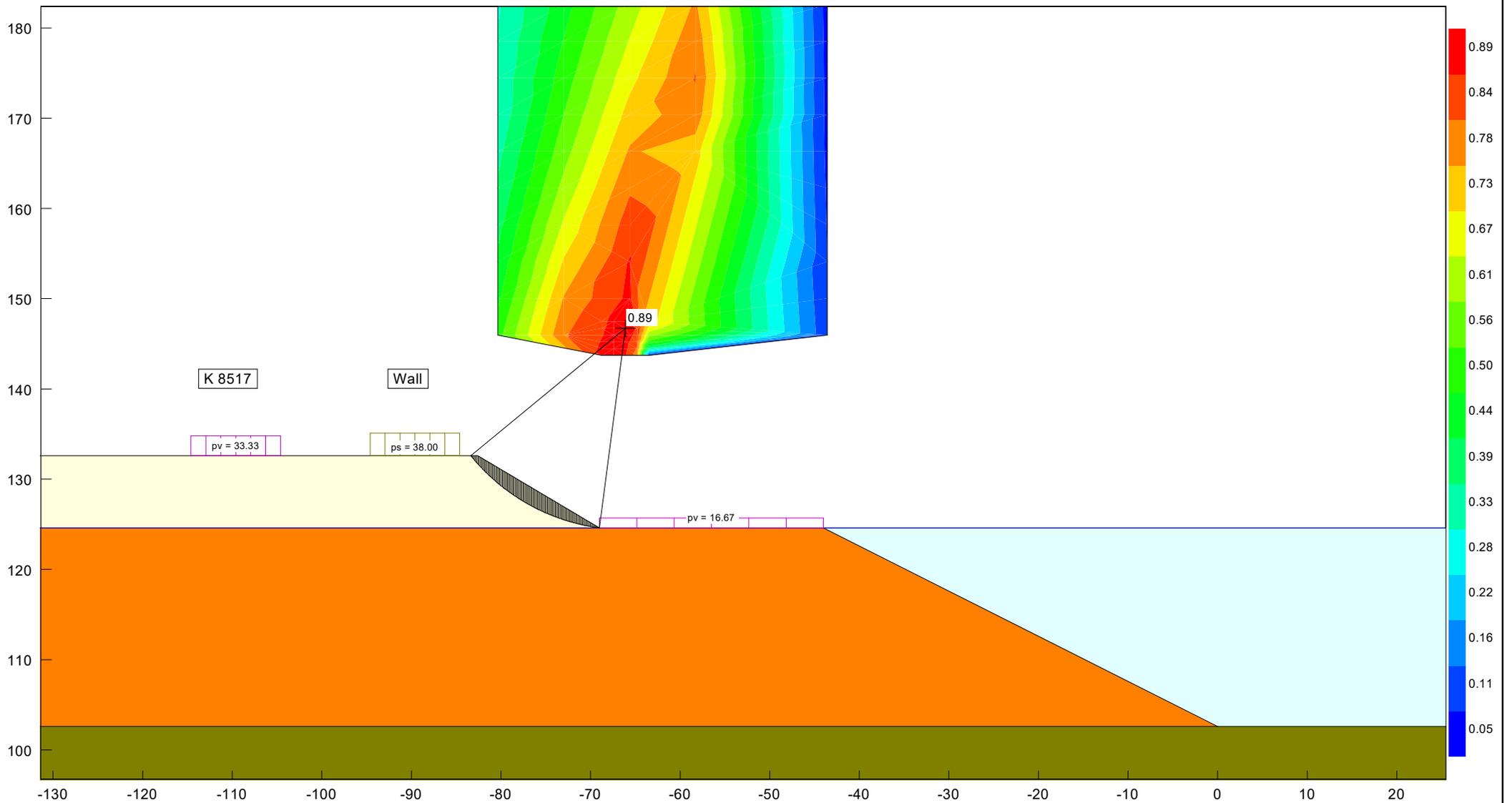
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 5.1
 Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung
 Standsicherheit des Gesamtsystems

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 7, Blatt 1
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.89$
 $X_m = -66.11 \text{ m}$ $y_m = 146.71 \text{ m}$
 $R = 22.29 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

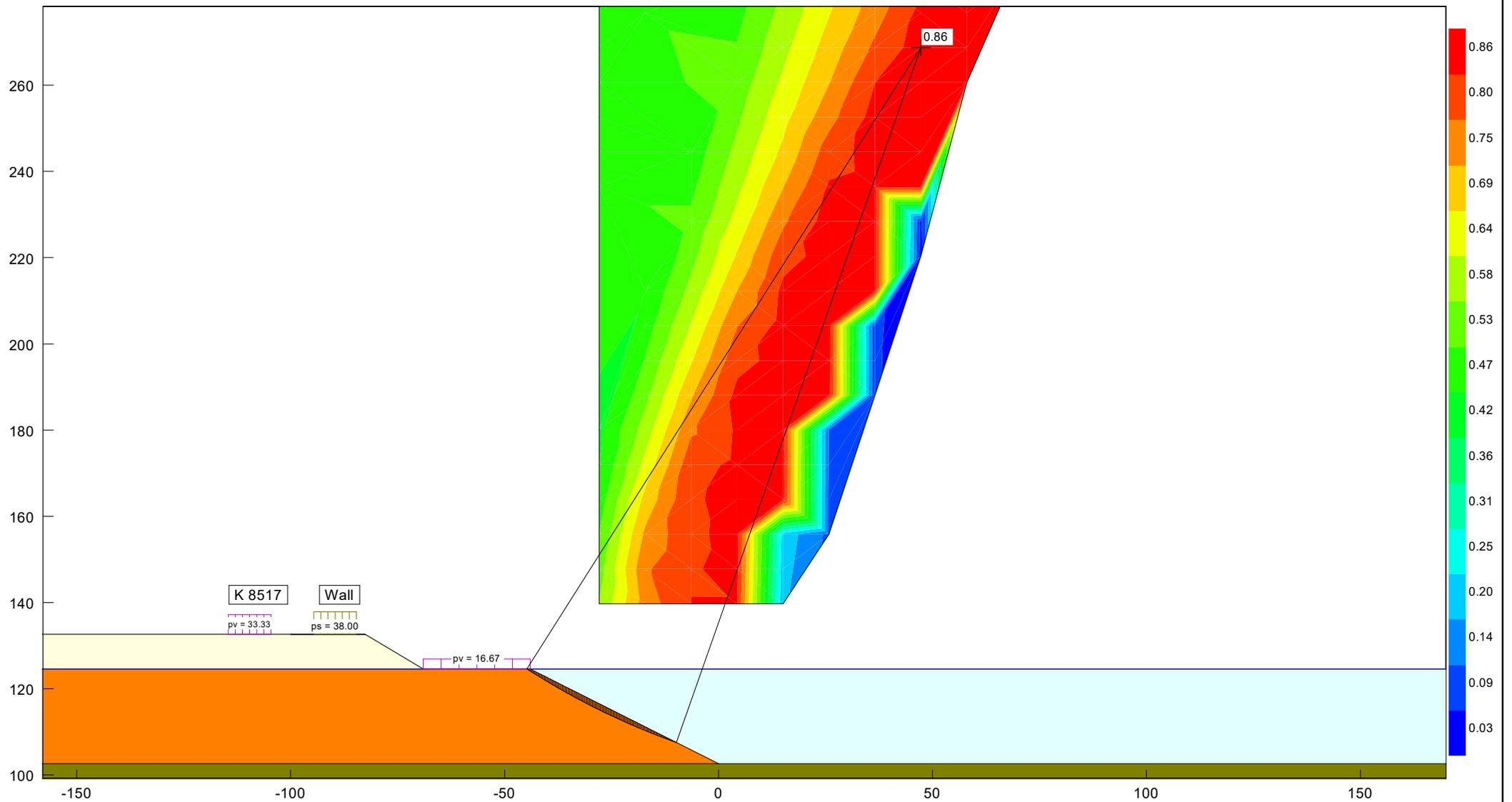
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 5.2
 Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung
 obere Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 7, Blatt 2
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022



GGU-STABILITY / Version 13.21 / 16.11.2021
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-P
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.86$
 $X_m = 47.29 \text{ m}$ $y_m = 268.74 \text{ m}$
 $R = 171.04 \text{ m}$

Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi') = 1.25$
 - $\gamma(c') = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Light Yellow]	33.00	2.00	19.00	Rohstoff (ü. GW)
[Orange]	36.00	0.00	20.00	Rohstoff (u. GW)
[Dark Green]	25.00	10.00	20.00	Liegendes

Projekt: Standsicherheitseinschätzung für die Endböschungen des Erweiterungsfeldes
 NO und Grobkonzeption zur Herstellung der geotechnischen Sicherheit
 an den südöstlichen Randböschungen im KTB Ponickau-Naundorf SW



Berechnungsfall BF 5.3
 Standsicherheit der geplanten Nordrandböschung
 untere Teilböschung

Projekt-Nr.: P226021BB	
Bearbeiter: TSI	Anlage 7, Blatt 3
geprüft: Götz	Datum: 20.11.2022

Anlage 8

Berechnung der Ausgleichsneigung im Wellenschlagbereich

C:\Users\LEI\Documents\Ponickau\G2.3_2023-05-19_Standisicherheitsgutachten und Grobkonzeption Endböschungen_Ponickau-Naundorf SW.docx

21.11.2022

Standisicherheitseinschätzung
Geplante Endböschungen und sanierte Südost- und Ostrandböschung
Kiessandtagebau Ponickau-Naundorf SW

Berechnung der Ausgleichsneigung m_A :

$$m_{\phi'} = 2 \quad \text{erw. Unterwasserböschungsneigung ca. } 1 : 2,0$$

Prüfung:

$$H_m/d_{50} = 214 < 500 \quad \text{erfüllt.}$$

Faktor:

$$A = 0,4471 \text{ [-]}$$

$$A = 0,5 \cdot \left(1 - \cosh^{-1} \left[0,083 \cdot \left(\frac{H_m}{d_{50}} - 3,4 \right)^{\frac{2}{3}} \right] \right)$$

Korndichte (unter Auftrieb): $\rho'_s = 1650 \text{ kg/m}^3$

Ausgleichsneigung $m_A \approx 7 \text{ [-]}$

$$m_A = m_{\phi'} + \left(0,0625 \cdot \frac{\rho_w}{\rho'_s} \cdot \frac{H_m}{d_{50}} \cdot \left(\frac{\lambda_m}{H_m} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^A$$

Die Ausgleichsneigung des Wellenschlagbereichs beträgt 1 : 7.

Höhe des Klifffußes über dem Wasserspiegel:

$$h_K = 0,23 \text{ m}$$

$$h_K = \frac{1,81}{m_A} \cdot H_m \cdot \left(\frac{\lambda_m}{H_m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Tiefe der Riffkronen unter dem Wasserspiegel:

$$h_R = 0,25 \text{ m}$$

$$h_R = H_m \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \left(\frac{\lambda_m}{H_m} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

Schnittpunkt der Ausgleichsneigung mit der Unterwasserböschung:

$$h'_R = 0,27 \text{ m}$$

$$h'_R = 1,1 \cdot h_R = 1,1 \cdot H_m \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \left(\frac{\lambda_m}{H_m} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

Abstand vom Kliffuß (\approx Breite Flachwasser- und Wellenschlagbereich):

$$l_T = 4 \text{ m}$$

$$l_T = (h_K + h'_R) \cdot m_A$$