Kempfert + Partner
Geotechnik

Kempfert Geotechnik GmbH · Friesenweg 10, Haus 4 · 22763 Hamburg

DB InfraGO AG
Infrastrukturprojekte Nord
Projekte STE HH-Kiel, I.II-N-K-S
Hammerbrookstraße 44
20097 Hamburg

Nur per E-Mail an: **Verteiler**

ESTW Niebüll – Erneuerung eines Kabelkanals mittels HDD-Verfahren entlang des Hindenburgdamms
Bewertung der Verlegung der HDD-Haupttrasse auf die Südseite,
Geotechnische Stellungnahme Nr. 1

1 Veranlassung

Die DB InfraGO AG plant im Rahmen des Projektes ESTW Niebüll die Erneuerung von signaltechnischen Anlagen auf der Strecke 1210 entlang des Hindenburgdamms von ca. km 217,3 bis ca. km 225,7 auf einer Länge von ca. 8,3 km. Die bestehenden Kabelkanäle sind zur Aufnahme weiterer Leitungen ungeeignet, so dass die Neuverlegung eines Leerrohrsystems geplant ist.

Kempfert + Partner Geotechnik wurde im Zuge der bisherigen Planung von der DB InfraGO AG, Projekte STE HH-Kiel (I.II-N-K-S), Hamburg, beauftragt, den Aufbau, die Beschaffenheit und die Eigenschaften des Baugrunds sowie die Grundwasserverhältnisse im Planungsbereich zu erkunden und zu untersuchen, den Baugrund vergleichend zu bewerten und Empfehlungen für die Trassierung und Durchführung des Spülbohrverfahrens auszuarbeiten. Die Ergebnisse wurden im Geotechnischen Bericht vom 30.01.2026 zusammengefasst, siehe Unterlage U1.

Im Zuge der weiteren Planung wurde die ursprünglich auf der Nordseite des Hindenburgdamms vorgesehene gleisparallele Haupttrasse auf die Südseite verlegt. Darüber hinaus wurden die Planung der Bohrabschnitte sowie die vorgesehene Herstellungsweise der Kabelquerungen angepasst. Mit der vorliegenden Geotechnischen Stellungnahme werden die geänderten Planungsrandbedingungen auf Grundlage der bereits vorliegenden geotechnischen Untersuchungen bewertet.

2 Unterlagen

Für die Erstellung der vorliegenden Geotechnischen Stellungnahme wurden folgende Unterlagen verwendet:

Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

Fon 040 6960445-0
Fax 040 6960445-29
Mail hh@kup-geotechnik.com

Geschäftsführer und Prokuristen
Dipl.-Ing. Heiko Vierck
Dr.-Ing. Patrick Becker
Dr. Gregor Overbeck (ppa.)

Partner
Prof. Dr.-Ing. Jan Lüking

Registergericht
Amtsgericht Hamburg
HRB 109428

Ust.-Identnummer
DE264813170

Patrick Becker
040 6960445-11
p.becker@kup-geotechnik.com

Projektnummer: HH 817.7/25

Datum: 28.09.2026

Arbeitsschwerpunkte
Erkunden
Beraten
Planen
Überwachen
Prüfen
Messen

Kempfert + Partner Gruppe
Hamburg
Kiel
Würzburg
Konstanz

Anerkannte Sachverständige
Dr.-Ing. U. Berner[1)]
Dr. Gregor Overbeck[1)]
Dr.-Ing. M. Raithel[1) 2) 3)]
Dipl.-Ing. H. Vierck[3)]

Öffentlich bestellt und vereidigt[1)]
Prüfsachverständiger[2)]
Eisenbahn-Bundesamt[3)]

Information
www.kup-geotechnik.com

Zertifiziert nach ISO 9001:2015

U1 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, Geotechnischer Bericht, ESTW Niebüll – Erneuerung eines Kabelkanals mittels HDD-Verfahren entlang des Hindenburgdamms, Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen, Festlegung der charakteristischen Werte und Gründungsempfehlung, 30.01.2026

U2 Pabsch Ingenieure GmbH, Hildesheim, ESTW Niebüll, Leitungsbau Spülbohrtrasse auf dem Hindenburgdamm, Str. 1210 ca. km 217,3 – ca. 225,7, Querprofil, Plan-Nr.: 50-0701-01, Ausführungsplanung, 29.07.2026

U3 Pabsch Ingenieure GmbH, Hildesheim, ESTW Niebüll, Leitungsbau Spülbohrtrasse auf dem Hindenburgdamm, Str. 1210 ca. km 217,3 – ca. 225,7, Lageplan 1, Plan-Nr.: 50-0301-01, Ausführungsplanung, 31.08.2026

U4 Pabsch Ingenieure GmbH, Hildesheim, ESTW Niebüll, Leitungsbau Spülbohrtrasse auf dem Hindenburgdamm, Str. 1210 ca. km 217,3 – ca. 225,7, Lageplan 2, Plan-Nr.: 50-0302-01, Ausführungsplanung, 31.08.2026

U5 Pabsch Ingenieure GmbH, Hildesheim, ESTW Niebüll, Leitungsbau Spülbohrtrasse auf dem Hindenburgdamm, Str. 1210 ca. km 217,3 – ca. 225,7, Lageplan 3, Plan-Nr.: 50-0303-01, Ausführungsplanung, 31.08.2026

U6 Pabsch Ingenieure GmbH, Hildesheim, ESTW Niebüll, Leitungsbau Spülbohrtrasse auf dem Hindenburgdamm, Str. 1210 ca. km 217,3 – ca. 225,7, Lageplan Detail Querung, Plan-Nr.: 50-0304-01, Ausführungsplanung, 29.07.2026

In der vorliegenden Geotechnischen Stellungnahme wird auf fachtechnische Normen und Regelwerke verwiesen. Bei allen nachfolgenden undatierten Verweisen auf Normen und Regelwerke gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen). Bei allen nachfolgenden datierten Verweisen auf Normen und Regelwerke gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe.

3 Bauvorhaben

Die DB Strecke 1210 überquert zwischen ca. km 217,3 und ca. km 225,1 das Wattenmeer der Nordsee zwischen den Haltestellen Klanxbüll und Morsum über den rd. 8 km langen „Hindenburg"-Bahndamm.

Der Bahndamm ist beidseitig durch Wirtschaftswege befahrbar. Die Bahnstrecke 1210 ist im Untersuchungsbereich zwischen km 217,3 und km 225,69 zweigleisig ausgebaut und nicht elektrifiziert, s. Abbildung 1.

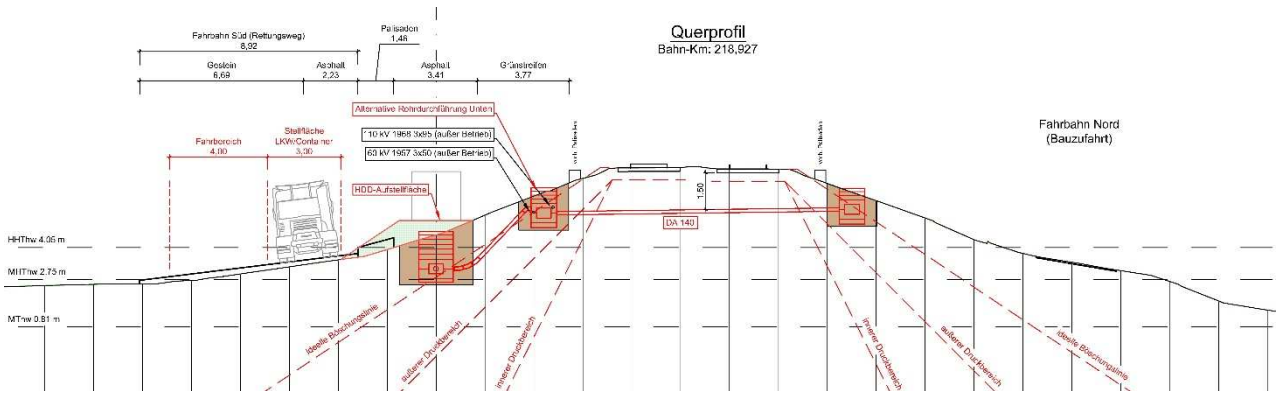


Abbildung 1: Querprofil des Hindenburgdamms bei km 218,927 gemäß Unterlage U2.

Die DB InfraGO AG plant längs zum Bahndamm auf bahnlinker Seite die Herstellung eines Leerrohrsystems zur Aufnahme weiterer signaltechnischer Leitungen im Horizontalspülbohrverfahren, welches im Weiteren als HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling) bezeichnet wird. Gegenüber der bisherigen Planung und der dem Geotechnischen Bericht (s. Unterlage U1) zugrunde gelegten Trassenführung wurde die gleisparallele Haupttrasse damit von der Nordseite auf die Südseite des Hindenburgdamms verlegt.

Die Lage der geplanten Leitungstrasse entlang des Bahndamms ist gemäß Unterlage U2 ca. 8,7 m südlich des Richtungsgleises und ca. 3,2 m oberhalb des südlichen Rettungsweges vorgesehen, s. Abb. 1. Im Bereich der südlichen Dammböschung befindet sich ein Deckwerk, das nach Angaben der Planung im Wesentlichen aus verklammerten Granitblöcken besteht und abschnittsweise mit Gussasphalt versiegelt ist.

Für die gleisparallele Haupttrasse bleibt das bereits in Unterlage U1 beschriebene HDD-Verfahren grundsätzlich unverändert. Geändert wurde jedoch die vorgesehene Ausbildung des Leerrohrsystems. Während im bisherigen Planungsstand ein Rohrbündel aus drei Leerrohren mit jeweils $D_A = 110$ mm in einem auf ca. 300 mm aufgeweiteten Bohrloch berücksichtigt wurde, ist nach der aktuellen Planung ein einzelnes Leerrohr aus PE 100, $D_A = 200 \times 18{,}2$ mm vorgesehen. Der vorgesehene Bohrquerschnitt beträgt $D_B = 260$ mm. Der maximale Belegungsgrad des Leerrohres wird mit 50 % angegeben, s. Abb. 2.

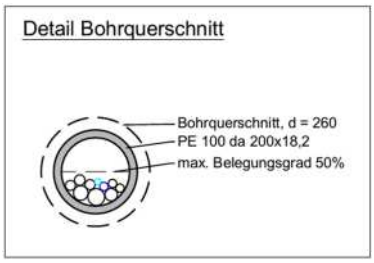


Abbildung 2: Geplanter Bohrquerschnitt der gleisparallelen HDD-Haupttrasse gemäß Unterlagen U3 bis U5.

Für die gleisparallele Haupttrasse ist eine Verlegetiefe von ca. 3,0 m unter Geländeoberkante vorgesehen. Die abschnittsweise Herstellung der horizontalen Bohrungen zwischen Maschinen- und Einziehgruben ist mit Bohrabschnittslängen von ca. 250 m geplant.

Der Verfahrensablauf umfasst zunächst die Herstellung einer gesteuerten Pilotbohrung. Anschließend wird der Bohrkanal beim Zurückziehen des Bohrgestänges mit einem Räumer aufgeweitet, wobei das Produktrohr im Zuge der Aufweitungsbohrung eingezogen werden kann. Weitergehende Angaben zum HDD-Verfahren und zu den hierbei maßgebenden Randbedingungen sind Unterlage U1 zu entnehmen.

Neben der gleisparallel verlaufenden Haupttrasse sind innerhalb des Untersuchungsgebietes an insgesamt acht Bereichen Kabelquerungen zu den auf der gegenüberliegenden Dammseite gelegenen Signalstandorten vorgesehen. Die Lage der Kabelquerungen ergibt sich aus den Lageplänen gemäß Unterlagen U3 bis U5. Die Querungsstandorte wurden gegenüber der in Unterlage U1 beschriebenen Planung nicht weiter angepasst und entsprechen den dort in Abschnitt 3.3 aufgeführten Positionen.

Im Gegensatz zur bisherigen Planung wurde jedoch das Herstellungsverfahren für die Kabelquerungen geändert. Diese sollen nicht mehr im HDD-Verfahren, sondern im gesteuerten Pilotrohrvortrieb mit Bodenentnahme hergestellt werden. Das Verfahren ist gemäß DVGW-Merkblatt GW 304[1] den unbemannten steuerbaren Verfahren zugeordnet und wird dort in Abschnitt 6.1.3.2.3 beschrieben. Dabei wird zunächst ein Pilotrohrstrang bodenentnehmend und gesteuert von der Start- zur Zielgrube vorgetrieben. Anschließend erfolgen die Aufweitung und der Einbau des vorgesehenen Produktrohres. Das Verfahrensprinzip ist in Abb. 3 dargestellt.

[1] DVGW Merkblatt GW 304: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren, Technische Regel Arbeitsblatt GW 304, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Stand Dezember 2008

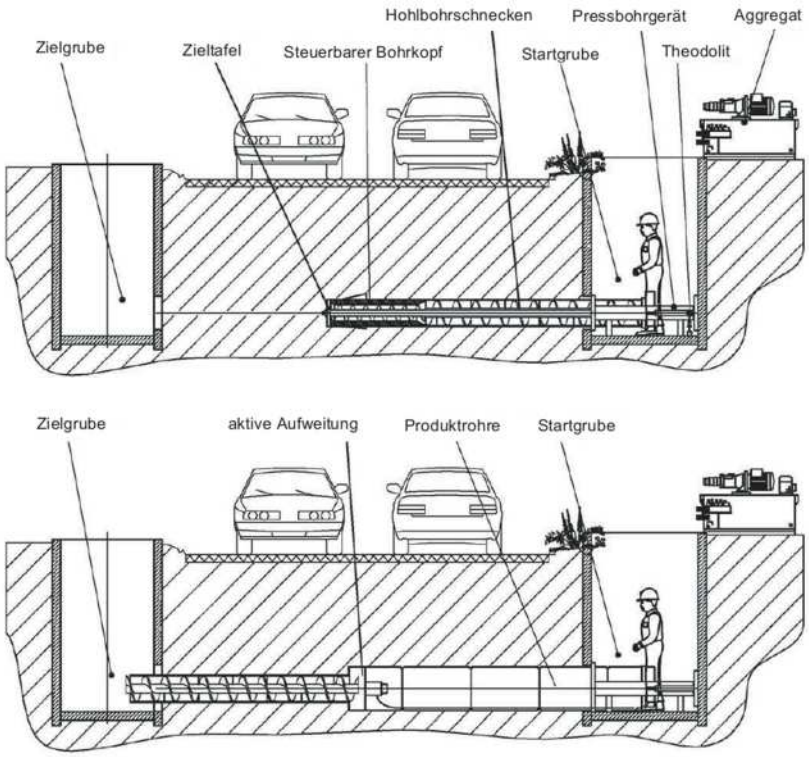


Abbildung 3: Beispiel eines Pilotrohrvortriebs mit Bodenentnahme, entnommen aus DVGW GW 304

Für die Kabelquerungen ist jeweils ein Leerrohr mit einem Außendurchmesser von D_A = 140 mm vorgesehen.

Für die grundsätzliche Ausbildung der Maschinen-, Einzieh-, Schacht- und Verbindungsbaugruben sowie der Kabelschächte wird, soweit gegenüber der bisherigen Planung unverändert, auf die Angaben in Unterlage U1 verwiesen. Die konkrete Lage der Gruben nach aktuellem Planungsstand ist den Unterlagen U3 bis U5 zu entnehmen.

Aufgrund der Lage des Hindenburgdamms im sturmflutgefährdeten Bereich ist die Bauausführung nach den vorliegenden Planungsgrundlagen auf den Zeitraum vom 15.04. bis 01.10. eines Jahres und damit außerhalb der Sturmflutsaison beschränkt.

Die Bauausführung erfolgt unter Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes. Eine Gefährdung des Bahnbetriebes ist auszuschließen.

4 Baugrundverhältnisse

4.1 Vorhandene Baugrundaufschlüsse

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen gemäß Unterlage U1 wurde der Baugrund entlang des Hindenburgdamms im Oktober 2025 mit insgesamt 29 Kleinrammbohrungen (BS) und 29 schweren Rammsondierungen (DPH) bis in Tiefen von ca. 10 m unter Geländeoberkante erkundet. Ergänzend wurden vorhandene Altaufschlüsse aus den Jahren 2021 und 2022 berücksichtigt. Die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen sowie die daraus abgeleiteten Baugrundmodelle und Bodenkenngrößen sind ausführlich in Unterlage U1 dokumentiert.

Die Anordnung der Aufschlüsse war auf den damaligen Planungsstand mit einer gleisparallelen Haupttrasse auf der Nordseite des Hindenburgdamms abgestimmt. Dementsprechend liegt für die nunmehr vorgesehene südliche Haupttrasse keine vergleichbar durchgehende Erkundung vor. Im Bereich der geplanten Kabelquerungen wurden jedoch beidseitig des Bahndamms Kleinrammbohrungen und schwere Rammsondierungen ausgeführt, so dass an mehreren Querprofilen ein direkter Vergleich der Baugrundverhältnisse möglich ist.

4.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse der Baugrunduntersuchung auf die Südseite

Die Gegenüberstellung der bahnrechten und bahnlinken Aufschlüsse im Bereich der Querungsstandorte zeigt auf beiden Seiten einen insgesamt vergleichbaren Baugrundcharakter. Unterhalb der Oberflächenbefestigungen und organisch geprägten Auffüllungen wurden überwiegend Klei- und Sandschichten sowie in größerer Tiefe gewachsene Sande mit örtlich eingeschalteten Klei- bzw. Sand-Klei-Wechsellagerungen erkundet. Die Schichtgrenzen und Schichtmächtigkeiten unterscheiden sich lokal, ohne dass sich daraus ein systematisch abweichender Schichtenaufbau der Südseite erkennen lässt. Die bereits in Unterlage U1 beschriebene kleinräumige Heterogenität des Baugrundes ist hierbei zu berücksichtigen.

Auch die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen zeigen an den gegenüberliegenden Aufschlusspaaren überwiegend vergleichbare Größenordnungen und Tiefenverläufe der Eindringwiderstände. Daraus ergeben sich keine Hinweise auf einen grundsätzlich abweichenden Zustand der Lagerungsdichte bzw. ein wesentlich unterschiedliches bodenmechanisches Verhalten des Baugrundes auf der Südseite.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse können, die in Unterlage U1 festgelegten Bodenarten und charakteristischen Bodenkenngrößen für die geotechnische Bewertung der südlichen Trassenführung grundsätzlich weiterhin herangezogen werden. Der Schichtenverlauf der Nordseite ist jedoch nicht spiegelbildlich auf die Südseite zu übertragen. Für die nachfolgenden Berechnungen ist der Baugrundaufbau der Südseite abschnittsweise aus den vorhandenen bahnlinken Aufschlüssen und den jeweils benachbarten Untersuchungsergebnissen abzuleiten.

4.3 Grund- und Schichtwasser

Hinsichtlich der Grund- und Schichtwasserverhältnisse sowie der tidebeeinflussten Wasserstände wird auf die ausführlichen Angaben in Unterlage U1 verwiesen. Die dort beschriebenen Randbedingungen werden für die vorliegende Bewertung grundsätzlich weiterhin zugrunde gelegt.

5 Geotechnische Bewertung

5.1 Bewertung der HDD-Haupttrasse

5.1.1 Geotechnische Randbedingungen und Risiken

Die im Trassenbereich angetroffenen Baugrundverhältnisse sind grundsätzlich für die Ausführung des HDD-Verfahrens geeignet. Wie bereits in Unterlage U1 beschrieben, sind jedoch die örtlich heterogenen Schichtverläufe sowie insbesondere die Übergänge zwischen sandigen und bindigen bzw. organischen Böden bei der Planung und Ausführung der Bohrungen zu berücksichtigen. Aufgrund der unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften können an den Schichtübergängen Richtungsabweichungen der Pilotbohrung auftreten.

Nach aktueller Planung ist die gleisparallele HDD-Haupttrasse mit einer Verlegetiefe von ca. 3,0 m u. GOK vorgesehen. Der Bohrquerschnitt beträgt D_B = 260 mm und wurde damit gegenüber der in Unterlage U1 betrachteten Planung mit ca. 300 mm reduziert. Der geringere Bohrquerschnitt ist im Hinblick auf mögliche Volumenverluste und hieraus resultierende Auflockerungen grundsätzlich günstig zu bewerten. Die Herstellung ist abschnittsweise mit Bohrabschnittslängen von ca. 250 m vorgesehen. Die vorgesehenen Abschnittslängen liegen damit am oberen Rand der bereits in Unterlage U1 betrachteten Größenordnung von ca. 200 m bis 250 m. Mit zunehmender Bohrabschnittslänge steigen grundsätzlich die Anforderungen an die Kontrolle und Beherrschung der maßgebenden Betriebsparameter, um mögliche Abweichungen und sich entwickelnde Schadensmechanismen frühzeitig erkennen zu können.

Zu den wesentlichen geotechnischen Risiken bei der HDD-Herstellung zählen insbesondere Ausbläser infolge zu hoher Spülungsdrücke bzw. einer unzureichenden Überdeckung, ein erhöhter Bodenaustrag, lokale Auflockerungen bzw. Hohlraumbildungen sowie daraus resultierende Setzungen und mögliche Beeinträchtigungen

der Gesamtstandsicherheit des Bahndamms. Diese Risiken und die hierbei maßgebenden Einflussgrößen wurden in Unterlage U1 bereits ausführlich beschrieben und bewertet. Die Auswirkungen möglicher Auflockerungen auf die Gesamtstandsicherheit des Bahndamms werden in Abschnitt 5.1.2 gesondert bewertet.

Für die südliche Trassenführung ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Dammböschung abschnittsweise durch ein Deckwerk aus verklammerten Granitblöcken und teilweise mit Gussasphalt versiegelten Bereichen befestigt ist. Hierdurch können oberflächennahe Veränderungen bzw. erste Anzeichen von Spülungsaustritten, Auflockerungen oder geringfügigen Setzungen gegenüber einer unbefestigten Geländeoberfläche erschwert bzw. verzögert erkennbar sein.

Zur überschlägigen Bewertung möglicher Setzungen wird die in Abschnitt 6.3.4 der Unterlage U1 beschriebene Volume-Loss-Methode herangezogen. Unter Ansatz von D_A = 200 mm, D_B = 260 mm, einem Volumenverlust von V_L = 23%, K = 0,40 und einer Überdeckung von ca. 3,0 m ergibt sich eine Setzung in der Größenordnung von $\Delta s_{,max}$ = ca. 3,9 mm ≈ 0,4 cm mit einer einseitigen Ausbreitung der Setzungsmulde von Δl = ca. 3,7 m.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Baugrundverhältnisse und der Ergebnisse der Gesamtstandsicherheitsberechnungen wird die geplante HDD-Haupttrasse auf der Südseite aus geotechnischer Sicht grundsätzlich als ausführbar bewertet. Voraussetzung hierfür sind eine auf die jeweiligen Bohrabschnitte abgestimmte Festlegung der maßgebenden Betriebsparameter sowie eine kontinuierliche fachtechnische Überwachung während der Ausführung. Die hierzu erforderlichen Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen sowie Maßnahmen bei Abweichungen werden in Abschnitt 6.2 beschrieben.

5.1.2 Bewertung der Gesamtstandsicherheit des Bahndamms

Zur Untersuchung der Auswirkungen des HDD-Verfahrens auf den Bahnbetrieb wurden für das vorliegende Querprofil bei km 218,927, vgl. Abb. 1, beispielhafte Berechnungen zur Gesamtstandsicherheit nach DIN 4084 durchgeführt. Die Ergebnisse der Geländebruchberechnungen sind in Anlage 1 dargestellt und in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Hierbei wurden zur Bewertung der geänderten Trassenführung die Baugrundverhältnisse aus dem Trassenbereich für drei Stationen variiert und die Geometrie nach Abb. 1 beibehalten.

Für die vergleichenden Standsicherheitsberechnungen wurde unter Berücksichtigung der vorgesehenen Bauzeit außerhalb der Sturmflutsaison ein Wasserstand von ca. +1,43 mNHN angesetzt, entsprechend dem mittleren Tidehochwasser (MThw) am Pegel Dagebüll gemäß Unterlage U1.

Zunächst wurde der IST-Zustand berechnet, um eine Veränderung der Auflockerungen durch das Vortriebsverfahren bewerten zu können. Für die Betriebsphase ist die Bemessungssituation BS-P maßgebend. Darüber hinaus ist für den Ist-Zustand auch die Bemessungssituation BS-T ausgewertet, die als direkter Vergleich für die Untersuchung der Auflockerungen heranzuziehen ist.

Die Auswirkungen der Auflockerungen sind geometrisch nicht greifbar, so dass zunächst in Höhe der angenommenen Vortriebsachse auf ca. +1,565 mNHN der vollständige Verlust des Scherwiderstandes auf einer angenommenen Einflussbreite von +/-1,0 m bzw. +/-2,0 m betrachtet wurde. Diese Ergebnisse bedürfen einer vorsichtigen Bewertung, da die Einflussbreite einer nicht erkannten Hohlraumaufweitung gleichgesetzt werden kann, die verfahrenstechnisch durch eine ordnungsgemäße Bauausführung und -überwachung vermieden werden soll.

Als Ergebnis dieser Betrachtung ergeben sich für sämtliche untersuchten Baugrundsituationen ausreichende Ausnutzungsgrade mit $\mu \leq 1{,}0$.

Gegenüber den in Unterlage U1 für die ursprünglich auf der Nordseite vorgesehene Trasse durchgeführten Berechnungen ergeben sich damit geringere Ausnutzungsgrade. Dort wurden für einen theoretischen Auflockerungsbereich von ±2,0 m Ausnutzungsgrade von bis zu μ = 1,20 ermittelt, so dass dort die Gesamtstandsicherheit teilweise nicht mehr nachgewiesen werden konnte.

Tabelle 1: Bewertung der Gesamtstandsicherheit des Bahndamms bei theoretischen Auflockerungen im Bereich der Vortriebsachse mit den Ausnutzungsgraden μ der Gesamtstandsicherheit

Station	IST-Zustand		Auswirkung von Auflockerungen (Verlust Scherwiderstand im Vortriebsbereich) Horizontaler Einflussbereich um Vortriebsachse bei +1,565 m NHN	
			+/- 1,0 m	+/- 2,0 m
	Betriebsphase (BS-P)	Bauzustand (BS-T)	Bauzustand (BS-T)	
218,95	0,76	0,69	0,81	0,91
222,95	0,76	0,69	0,81	0,91
225,69	0,76	0,69	0,81	0,91

5.2 Bewertung der Kabelquerungen

Vortriebsverfahren

Nach aktuellem Planungsstand sollen die Kabelquerungen nicht mehr im HDD-Verfahren, sondern mittels gesteuertem Pilotrohrvortrieb mit Bodenentnahme hergestellt werden. Für jede Querung ist die Verlegung eines Leerrohres mit einem Außendurchmesser von D_A = 140 mm vorgesehen. Die Vortriebsstrecke durch den Bahndamm beträgt gemäß Unterlage U6 ca. 12,0 m.

Für die Herstellung der Gleisquerungen sind die Grundsätze nach Ril 836.4501[2] sowie die Anforderungen der Ril 836.4502[3] und Ril 836.4505[4] zu berücksichtigen. Ergänzend sind für das vorgesehene Vortriebsverfahren die Regelungen des DWA-A 125[5] Merkblattes heranzuziehen.

Der vorgesehene Pilotrohrvortrieb mit Bodenentnahme ist den steuerbaren Vortriebsverfahren zuzuordnen. Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit zum Teil locker gelagerten nichtbindigen Böden ist der Einsatz der Horizontalramme nach DWA-A 125 nicht zulässig. Wir empfehlen daher die Ausführung der Kabelquerung im Horizontal-Pressbohrverfahren. Bei der Ausführung sind die örtlichen Baugrundverhältnisse zu berücksichtigen; insbesondere kann das Auftreten einzelner Hindernisse im Vortriebsbereich nicht ausgeschlossen werden.

Mindestüberdeckungshöhe

Die Überdeckungshöhe $h_ü$ wird als senkrechter Abstand zwischen Oberkante Schwelle und Oberkante Rohr angesetzt. Nach Ril 836.4502 soll bei Rohren unter Gleisanlagen mit einem Außendurchmesser D_A < 1,0 m eine Mindestüberdeckung von

[2] Ril 836.4501 – Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke – Querungen, Grundsätze
[3] Ril 836.4502 – Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke – Querungen; Durchlässe und Rohrleitungen
[4] Ril 836.4505 – Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke – Querungen, Anforderungen an grabenlose Einbauverfahren
[5] Arbeitsblatt DWA-A 125, Rohrvortrieb und verwandte Verfahren, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

$$h_{ü,min} \geq 1{,}50 \text{ m}$$

eingehalten werden.

Die Mindestbodenüberdeckung ab UK Schotterbett h_b sollte gem. Ril 836 Modul 4502 und 4505 bei nicht biegesteifen Rohren

$$h_b \geq 2 \times D_A = 2 \times 0{,}14 = \text{rd. } 0{,}28 \text{ m}$$

betragen.

Für das geplante Leerrohr mit D_A = 140 mm ist somit grundsätzlich die Mindestüberdeckung von $h_{ü,min}$ = 1,50 m maßgebend. Sofern sich aufgrund des gewählten Pilotrohrvortriebs ein größerer maßgebender Vortriebsdurchmesser ergibt, ist dieser für die abschließende Überprüfung der erforderlichen Bodenüberdeckung zugrunde zu legen. Die Einhaltung der erforderlichen Überdeckungen ist für sämtliche Querungsstandorte anhand der weiteren Ausführungsplanung zu überprüfen.

Nach Ril 836.4505 sollen Abweichungen von der geplanten Vortriebsachse nicht mehr als 20 cm betragen. Im Bereich geringer Überdeckungen sind die zulässigen Höhenabweichungen erforderlichenfalls weiter zu begrenzen, so dass die maßgebende Mindestüberdeckung während des gesamten Vortriebs eingehalten wird.

Verformungen infolge Rohrvortrieb

Bei Rohrvortrieben können Setzungen des überlagernden Bodenkörpers generell nicht gänzlich vermieden werden. Sie entstehen durch unvermeidbare Auflockerungserscheinungen an der Bohrlochwandung in Verbindung mit dem zur Herabsetzung der Vortriebskräfte erforderlichen Überschnitt.

Das Ausmaß der an der Geländeoberfläche auftretenden Setzungen hängt neben den Baugrundeigenschaften stark von der Qualität der Ausführung ab, die insbesondere von der Erfahrung des eingesetzten Personals abhängig ist.

Für eine überschlägige und konservative Abschätzung der möglichen Setzungen wird analog zu den Abschnitten 6.3.4 und 6.4.3 der Unterlage U1 die Volume-Loss-Methode angewendet. Hierbei wird ein umlaufender Überschnitt mit ≤ 10 mm, ein daraus resultierender Volumenverlust von V_L = 13% und K = 0,40 angesetzt.

Unter Ansatz der Mindestüberdeckung von $h_{ü,min}$ = 1,50 m ergibt sich eine Setzung in der Größenordnung von $\Delta s_{,max}$ = ca. 1,6 mm ≈ 0,2 cm mit einer einseitigen Ausbreitung der Setzungsmulde von Δl = ca. 1,7 m.

Bei der vorstehenden Setzungsprognose sind auf der sicheren Seite liegend die bodenmechanischen Eigenschaften des Oberbaus und des Gleiskörpers nicht berücksichtigt.

Nachfolgend werden die Auswirkungen der Setzung für die Kabelquerungen in Anlehnung an die Richtlinie Ril 836 der DB InfraGo AG bewertet und es werden auf dieser Grundlage Empfehlungen zur Abstimmung mit der DB InfraGo AG gegeben. Gemäß Ril 836.4505, 2 (3) dürfen als Grenzwerte für temporäre Gleislageänderungen Setzungsmulden nach Ril 836.3001, 4 (2) zu Grunde gelegt werden. Als weitere Orientierung können die zulässigen Setzungsdifferenzen innerhalb eines Instandhaltungszyklus gemäß Ril 836.3001, 4 (4), Bild 1 oder die Eingreifschwellenwerte SR_{lim} gem. Ril 821.2001, Tabelle 2, herangezogen werden.

Auf dieser Grundlage wird davon ausgegangen, dass eine Setzungsmulde mit einer Tiefe Δs bis ca. 2 mm und einer Breite Δl von überschläglich geschätzt etwa < 5 m unter Berücksichtigung der zulässigen Geschwindigkeit von 140 km/h verträglich ist.

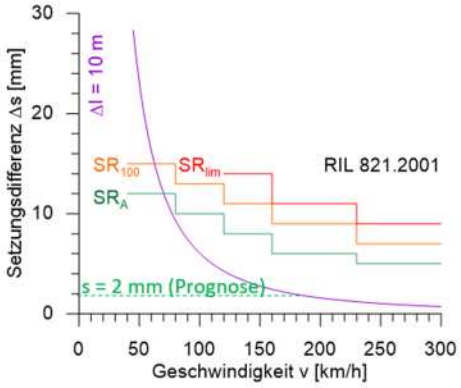


Abbildung 4: Geschwindigkeitsabhängige Beurteilungsmaßstäbe SR_{lim}, SR_{100} und SR_A für die Prüfgröße Längshöhe gemäß RIL 821.2001 sowie hinnehmbare Setzungsdifferenz nach RIL 836.3001 für Δl = 10 m mit Kennzeichnung der Setzungsprognose

Es kann unter der Voraussetzung einer korrekten Ausführung der Vortriebsarbeiten davon ausgegangen werden, dass die auftretenden Setzungen unterhalb des genannten Wertes von ca. 2 mm bleiben. Unabhängig hiervon ist die Vorhaltung von Stopfeinrichtungen zu empfehlen, um bei Bedarf Korrekturen der Gleislage vornehmen zu können.

Verbindliche Grenzwerte für Setzungen bzw. Gleislageänderungen sind in Abstimmung mit der DB InfraGo AG festzulegen, s. Arbeitsblatt DWA-A 125, Abschnitt 8.5.

Relevante Setzungen an den im Vortriebsverfahren verlegten Rohrleitungen sind daher bei korrekter Herstellung nicht zu erwarten. Dennoch wird eine Überwachung der Gleislage während der Vortriebsarbeiten empfohlen.

Hinweise zum Grundwasser

Die Ausführung der Kabelquerungen ist außerhalb der maßgebenden Sturmflutzeit vorgesehen. Dennoch kann aufgrund der tidebeeinflussten Grundwasserverhältnisse ein zeitweiser Grundwasserzutritt im Vortriebsbereich nicht ausgeschlossen werden. Die bei der Ausführung tatsächlich anstehenden Wasserstände sind daher zu berücksichtigen.

Weitere Hinweise

Für die weitere Planung und Ausführung sind ergänzend folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Die Querungen sollen die Gleisanlagen grundsätzlich rechtwinklig und in gerader Linienführung kreuzen und nicht unter Weichen, Schienenauszügen oder Schienenstößen angeordnet werden.
- Die Herstellung der Start- und Zielgruben darf die Standsicherheit des Bahndamms nicht beeinträchtigen.
- Der Vortrieb soll möglichst ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Beim Rohrvortrieb unter Gleisen ist eine Sofortverrohrung erforderlich.

Die Anforderungen an die Überwachung des Vortriebs und der Gleisanlagen sowie an Maßnahmen bei Abweichungen werden in Abschnitt 6.3 beschrieben.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Randbedingungen wird der geplante gesteuerte Pilotrohrvortrieb mit Bodenentnahme im Horizontal-Pressbohrverfahren für die Herstellung der Kabelquerungen aus geotechnischer Sicht grundsätzlich als geeignet bewertet. Die im Zuge der weiteren Ausführungsplanung festgelegten verfahrens- und gerätespezifischen Randbedingungen sind mit den der vorliegenden Bewertung zugrunde gelegten Ansätzen abzugleichen.

6 Empfehlungen zur Überwachung und zu Maßnahmen im Störungsfall

6.1 Allgemeines

Die grabenlosen Leitungsbauarbeiten sind durch fachkundiges und mit dem jeweiligen Bauverfahren erfahrenes Personal auszuführen und zu überwachen. Es wird empfohlen, mit der Ausschreibung der Bauleistung die Erstellung eines Monitoringkonzeptes unter Angabe von Warn-, Alarm- und Eingreifwerten durch die Fachfirma vorzusehen. Vor Beginn der Arbeiten sind die verfahrensbezogenen Überwachungs- und Interventionsmaßnahmen durch den Bau-AN anzugeben und mit den für die Bauausführung und den Bahnbetrieb zuständigen Stellen unter Einbeziehung des geotechnischen Sachverständigen festzulegen. Für das HDD-Verfahren wird auch in den vorliegenden Planungsunterlagen die Ausführung durch ein entsprechend qualifiziertes Fachunternehmen sowie eine Dokumentation der maßgebenden Herstellungsparameter gefordert.

Im Hinblick auf mögliche Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Gleisanlagen ist im Rahmen der weiteren Planung auf Grundlage einer Gefährdungsanalyse und -bewertung gemäß Ril 883.8100[6] festzulegen, ob und in welchem Umfang ein Geo-Monitoring erforderlich ist. Aus gutachterlicher Sicht wird aufgrund der Länge der Haltungsabschnitt von bis zu 250 m ein Geo-Monitoring mit einer fachkundigen geotechnischen Bauüberwachung empfohlen.

Die Gefährdungsanalyse ist objektbezogen unter Einbeziehung der jeweils betroffenen Fachgewerke durchzuführen. Für das Geo-Monitoring sind die zu überwachenden Bereiche, Messgrößen, Messpunkte und Messintervalle sowie die erforderlichen Warn- und Alarmwerte in einem Messprogramm festzulegen. Die Ril 883.8100 stellt ausdrücklich auch Baumaßnahmen in der Nähe relevanter Anlagen mit möglichem Einfluss auf diese als mögliche Ursache geometrischer Veränderungen heraus.

Für die Überwachung der Gleise und Weichen gelten die Grundsätze der Ril 883.8100A01[7]. Der Mindestumfang umfasst die Überwachung von Lage, Höhe, gegenseitiger Höhenlage und Verwindung. Die Erforderlichkeit einer zusätzlichen Überwachung der Spurweite bzw. der absoluten Gleisgeometrie ist im Rahmen der Gefährdungsanalyse festzulegen. Die Warn- und Alarmwerte sind in Abhängigkeit von der örtlich zulässigen Geschwindigkeit V_{zul} nach Ril 883.8100A01 anzusetzen; sie stellen Mindestanforderungen dar und können im Zuge der Gefährdungsanalyse verschärft werden.

Der räumliche Umfang der Überwachung ist aus dem jeweils möglichen Einwirkungsbereich der Baumaßnahme abzuleiten. Die Überwachung darf daher nicht auf die Bereiche der Maschinen-, Start-, Ziel- oder Einziehgruben beschränkt werden, sondern muss den gesamten durch die jeweilige grabenlose Herstellung potenziell beeinflussten Bereich erfassen. Für die gleisparallele HDD-Haupttrasse betrifft dies somit die gesamte Länge des jeweils herzustellenden Bohrabschnitts. Nach Ril 883.8100 sind sowohl auslösende als auch reagierende Bereiche in die Festlegung des Überwachungsbereiches einzubeziehen.

Vor Beginn der Baumaßnahmen ist eine Null- bzw. Ausgangsmessung durchzuführen. Ergänzend ist der Ausgangszustand der von der Baumaßnahme beeinflussten Bereiche im Rahmen einer Beweissicherung zu dokumentieren. Hierzu zählen insbesondere die Dammlage, Fahr- und Rettungswege, befestigte bzw. versiegelte Oberflächen sowie angrenzende Anlagenteile. Eine entsprechende Beweissicherung vor und nach der HDD-Herstellung ist bereits in den vorliegenden Planungsunterlagen vorgesehen. Die Folgemessungen sind in Abhängigkeit von der Gefährdungsanalyse so lange fortzuführen, bis mögliche bauzeitliche Veränderungen ausreichend erfasst bzw. abgeklungen sind. Die Ril 883.8200[8] unterscheidet hierfür Null-, Bezugs- und Folgemessungen.

[6] Ril 883.8100 - Gleis- und Bauvermessung – Geo-Monitoring; Bedarf analysieren und bewerten
[7] Ril 883.8100A01 - Gleis- und Bauvermessung – Geo-Monitoring; Überwachung der Gleise und Weichen
[8] Ril 883.8200 - Gleis- und Bauvermessung – Geo-Monitoring planen

Für die Ausschreibung des Geo-Monitoring ist vorzusehen, dass vor Beginn der Arbeiten ein Alarm- und Handlungsplan aufzustellen ist. Darin sind die bei Erreichen der Warn- und Alarmwerte erforderlichen Maßnahmen sowie die Verantwortlichen und Kommunikationswege festzulegen. Bei Erreichen eines Warnwertes sieht Ril 883.8000[9] beispielsweise eine Überprüfung vor Ort, eine Intensivierung der Überwachung oder eine Verkürzung der Mess- und Berichtsintervalle vor. Bei Erreichen eines Alarmwertes können weitergehende Maßnahmen bis zur Unterbrechung der Bauarbeiten, betrieblichen Einschränkungen sowie zusätzlichen Kontrollmessungen und Stabilisierungsmaßnahmen wie z.B. Ballastierung o.ä. erforderlich werden. Die Informations- und Meldewege sind vor Beginn der örtlichen Arbeiten festzulegen und einem Funktionstest zu unterziehen.

Die geodätische Überwachung der Gleisanlagen ist hierbei von der verfahrensspezifischen Überwachung des jeweiligen grabenlosen Herstellungsverfahrens zu unterscheiden. Während das Geo-Monitoring mögliche Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Bahnanlagen erfasst, dient die Überwachung der Betriebs- und Vortriebsparameter der möglichst frühzeitigen Erkennung einer sich entwickelnden Störung bereits während des Herstellungsprozesses. Die hierfür maßgebenden Parameter und Maßnahmen werden nachfolgend für die HDD-Haupttrasse und die Kabelquerungen verfahrensbezogen festgelegt.

6.2 Überwachung der HDD-Herstellung und Maßnahmen bei Abweichungen

Für die parallel zu den Gleisen verlaufende grabenlose Leitungsverlegung enthält die Ril 836 keine expliziten verfahrensbezogenen Vorgaben. Wie bereits in Unterlage U1 erläutert, wird daher in Anlehnung an Ril 836.2001[10] der Einflussbereich der Eisenbahnverkehrslasten mit dem Stützbereich gleichgesetzt; eine Schwächung dieses Bereiches ist zu vermeiden. Für die verfahrenstechnische Planung, Ausführung und Überwachung der HDD-Haupttrasse sind ergänzend die für das Horizontalspülbohrverfahren einschlägigen Regelwerke, insbesondere DIN 18324[11], DWA-A 125, DVGW-Merkblatt GW 321[12] sowie die Technischen Richtlinien des DCA[13], heranzuziehen.

Vor Beginn eines jeden Bohrabschnittes sind auf Grundlage der vorgesehenen Bohrgeometrie, der Überdeckung, der örtlichen Baugrundverhältnisse sowie der eingesetzten Bohrtechnik die planmäßigen Betriebsbereiche festzulegen. Hierzu gehören insbesondere der für den jeweiligen Abschnitt zulässige Spülungsdruck, die vorgesehenen Spülungs- und Fördermengen, die Bohr- bzw. Räumgeschwindigkeit sowie die zulässigen Zug- und Schubkräfte und Drehmomente. Für die maßgebenden Betriebsparameter sollten vor Beginn der Arbeiten abschnittsbezogene Warn-, Eingriffs- und Abbruchkriterien festgelegt werden, anhand derer auffällige Entwicklungen während des Bohrvorgangs unmittelbar bewertet werden können. Anders als die Warn- und Alarmwerte für die Gleisgeometrie nach Ril 883 handelt es sich hierbei um verfahrensbezogene, projektspezifisch festzulegende Kriterien.

Während der Pilotbohrung, der Aufweitungsbohrung und des Rohreinzugs sind die für die Beurteilung des Bohrvorgangs maßgebenden Prozessparameter fortlaufend zu erfassen, zu dokumentieren und vor Ort fachkundig zu bewerten. Entsprechend DVGW-Merkblatt GW 321 und den bereits in Unterlage U1 formulierten Empfehlungen sind hierbei mindestens folgende Angaben zu erfassen:

- Datum sowie genaue Bezeichnung des Bohrabschnitts;
- Maschinentyp;

---

[9] Ril 883.8000 - Gleis- und Bauvermessung – Geo-Monitoring; Grundsätze
[10] Ril 836.2001 - Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke – Einwirkungen und Widerstände
[11] DIN 18324: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Horizontalspülbohrarbeiten
[12] DVGW Merkblatt GW 321: Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung, Technische Regel Arbeitsblatt GW 321, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Stand Oktober 2003
[13] Technische Richtlinien des DCA (Drilling Contractors Association,), Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten, 4. Auflage

- Witterungsverhältnisse sowie maßgebende Baugrund- und Grundwasserverhältnisse;
- Uhrzeit und Dauer der einzelnen Arbeitsphasen;
- Dokumentation von Zugfahrten mit Angabe der Uhrzeit und Fahrtrichtung;
- Besonderheiten, insbesondere das Antreffen von Hindernissen oder unerwarteten Baugrundverhältnissen;
- Bohrfortschritt, Spülungs- bzw. Pumpendruck, Pumprate sowie Förder- und Spülungsmenge einschließlich des Gesamtvolumenstroms;
- Kennwerte der Bohrspülung;
- Drehmoment sowie Zug- und Schubkräfte;
- Ortungsdaten und Abweichungen der Bohrung von der Soll-Lage;
- Position des Aufweit- bzw. Einziehwerkzeuges.

Die erfassten Betriebsparameter sind im Zusammenhang zu bewerten, um sich entwickelnde Störungen möglichst frühzeitig zu erkennen. Insbesondere ist der Spülungskreislauf fortlaufend auf Unregelmäßigkeiten zu überprüfen. Nicht bilanzierbare Differenzen im Spülungskreislauf können auf ein unkontrolliertes Entweichen der Bohrspülung hinweisen. Ein im Verhältnis zum Bohrfortschritt auffällig hoher Bodenaustrag kann dagegen auf einen Mehraushub bzw. eine Auskesselung schließen lassen. Ergänzend ist der Feststoffanteil der Bohrspülung zu kontrollieren, um Veränderungen des Bodenaustrags bzw. eine unplanmäßige Verdünnung des Spülmediums erkennen zu können.

Der gemessene Spülungsdruck ist dabei stets gegenüber dem für den jeweiligen Bohrabschnitt festgelegten zulässigen Druckbereich und unter Berücksichtigung der örtlichen Überdeckung zu bewerten. Bei einer auffälligen Entwicklung sind nicht einzelne Messwerte, sondern der zeitliche Verlauf und die gleichzeitig beobachteten Änderungen der übrigen Betriebsparameter maßgebend. Auf diese Weise können sowohl ein unzulässiger Druckaufbau als auch Spülungsverluste oder ein erhöhter Bodenaustrag frühzeitig erkannt und voneinander abgegrenzt werden.

Auffällige Änderungen der Zug- und Schubkräfte oder des Drehmoments können Hinweise auf Hindernisse, wechselnde Baugrundverhältnisse, erhöhte Reibungswiderstände oder einen nicht planmäßigen Bohrverlauf geben und sind daher unmittelbar auf ihre Ursache zu prüfen. Beim Rohreinzug ist zusätzlich sicherzustellen, dass die zulässige Zugbeanspruchung des Produktrohres nicht überschritten wird. Besonderheiten wie Schlagen, Ruckeln, Dehnung oder Torsion des Rohrstrangs sind nach DVGW GW 321 ebenfalls zu erfassen.

Die tatsächliche Lage der Pilotbohrung ist fortlaufend mit der geplanten Bohrtrasse abzugleichen. Abweichungen in Höhe und Seite sowie Änderungen der Bohrneigung sind frühzeitig zu bewerten und bei Bedarf durch geeignete Steuermaßnahmen zu korrigieren. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der in Unterlage U1 beschriebenen heterogenen Baugrundverhältnisse und der möglichen Richtungsabweichungen an Übergängen zwischen unterschiedlich festen Bodenschichten von Bedeutung. Auch in den vorliegenden Planungsunterlagen ist eine permanente Aufzeichnung und Verlaufskontrolle der Bohrtrasse im Soll-Ist-Vergleich vorgesehen.

Die Überwachung ist über die gesamte Länge des jeweils herzustellenden Bohrabschnitts vorzunehmen und darf nicht auf die Bereiche der Maschinen- und Einziehgruben beschränkt werden. Ergänzend zur verfahrenstechnischen Überwachung sind die zugänglichen Bereiche entlang der Bohrtrasse während der Arbeiten regelmäßig auf Spülungsaustritte, Setzungen, Hebungen oder sonstige Auffälligkeiten zu kontrollieren. Aufgrund des auf der Südseite vorhandenen Deckwerks und der teilweise versiegelten Oberflächen ist zu berücksichtigen, dass geringe oberflächennahe Veränderungen örtlich erst verzögert erkennbar sein können. Die Trasse ist darüber hinaus entsprechend DVGW GW 321 vor und nach der jeweiligen Spülbohrung zu begehen; festgestellte Besonderheiten sind zu dokumentieren und dem Auftraggeber mitzuteilen.

Bei Abweichungen von den festgelegten Betriebsbereichen ist nach dem vor Beginn der Arbeiten definierten abgestuften Interventionskonzept vorzugehen. Bei Erreichen eines Warnkriteriums sind zunächst die

betroffenen Messwerte zu überprüfen und im Zusammenhang mit den übrigen Betriebsparametern zu bewerten; erforderlichenfalls ist die Überwachung zu intensivieren. Bei Erreichen eines Eingriffskriteriums sind die Ursache und mögliche Auswirkungen der Abweichung zu bewerten und geeignete Anpassungen des Bohrbetriebs vorzunehmen. Hierzu können abhängig vom jeweiligen Störungsbild insbesondere eine Anpassung des Spülungsdrucks, der Bohr- bzw. Räumgeschwindigkeit oder der Spülungsführung sowie gegebenenfalls eine Ballastierung gehören.

Bei Erreichen eines Abbruchkriteriums ist der Bohrvorgang zu unterbrechen. Gleiches gilt bei Hinweisen auf einen unkontrollierten Spülungsverlust bzw. -austritt, einen erheblichen Mehraushub, eine mögliche Hohlraumbildung oder auffällige Verformungen, sofern eine Beeinträchtigung des Bahndamms oder der Gleisanlagen nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Die Arbeiten dürfen erst nach Klärung der Ursache, Bewertung der Auswirkungen und Festlegung geeigneter Sicherungs- bzw. Gegenmaßnahmen fortgesetzt werden.

Die während der Bauausführung erstellten Aufzeichnungen sowie besondere Vorkommnisse, Abweichungen und die hieraus abgeleiteten Maßnahmen sind nachvollziehbar in den Bohr- und Bautagesprotokollen zusammenzuführen und nach Abschluss der Arbeiten der zuständigen Bauüberwachung zu übergeben.

6.3 Überwachung der Kabelquerungen und Maßnahmen bei Abweichungen

Beim Pilotrohrvortrieb sind insbesondere Bodenentnahme, Vortriebsfortschritt sowie Lage und Höhe der Vortriebsachse fortlaufend zu erfassen und zu dokumentieren. Durch den Abgleich dieser Größen sollen ein unzulässiger Mehraushub, Auflockerungen sowie Abweichungen von der Soll-Lage frühzeitig erkannt werden.

Werden hierbei Auffälligkeiten festgestellt, z. B. eine ungewöhnlich hohe Bodenentnahme, unerwartete Hindernisse, deutliche Lageabweichungen oder Verformungen, ist der Vortrieb zu unterbrechen. Die Ursache ist zu klären und das weitere Vorgehen festzulegen. Die Arbeiten dürfen erst nach Bewertung der Auswirkungen und Festlegung geeigneter Gegenmaßnahmen fortgesetzt werden.

Für die Gleisquerungen ist gemäß Ril 883.8100 ein Geo-Monitoring nach den Regelungen für Rammarbeiten vorzusehen. Der Messbereich umfasst mindestens 25 m vor und hinter der Querung sowie alle betroffenen Gleise und Weichen; die Überwachung ist mindestens zwei Wochen über das Ende der Vortriebsarbeiten hinaus fortzuführen. Die weiteren Festlegungen zu Messgrößen sowie Warn- und Alarmwerten erfolgen gemäß Abschnitt 6.1.

7 Zusammenfassung

Im Zuge der weiteren Planung wurde die gleisparallele HDD-Haupttrasse auf die Südseite des Hindenburgdamms verlegt und die Herstellungsweise der Kabelquerungen auf einen gesteuerten Pilotrohrvortrieb mit Bodenentnahme geändert. Die geänderten Planungsrandbedingungen sind in Abschnitt 3 beschrieben. Die für die Bewertung herangezogenen Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sind in Abschnitt 4 zusammengefasst. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse auf die Südseite wird für die Bauausführung festgestellt.

Die geotechnische Bewertung der südlichen HDD-Haupttrasse ist in Abschnitt 5.1 dokumentiert. Die Trasse wird aus geotechnischer Sicht grundsätzlich als ausführbar bewertet. Die Standsicherheitsberechnungen ergeben auch unter Ansatz theoretischer Auflockerungsbereiche ausreichende Ausnutzungsgrade mit $\mu \leq 0{,}91$. Die überschlägige Setzungsprognose ergibt eine maximale Setzung von ca. 4 mm, die bei fachgerechter Ausführung des HDD-Verfahrens als vertretbar bewertet werden.

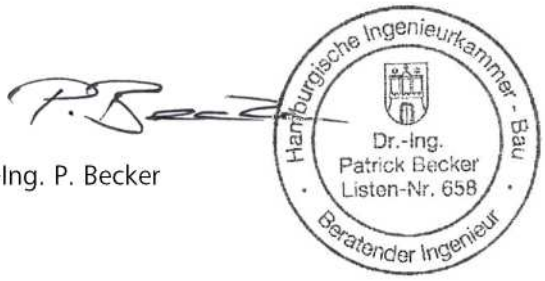
Die Bewertung der Kabelquerungen mittels gesteuertem Pilotrohrvortrieb ist in Abschnitt 5.2 enthalten. Unter Berücksichtigung der maßgebenden Mindestüberdeckung, der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

sowie der prognostizierten Verformungen wird das Verfahren grundsätzlich als geeignet bewertet. Für die Ausführung wird das Horizontal-Pressbohrverfahren empfohlen. Die überschlägige Setzungsprognose ergibt eine rechnerische maximale Setzung in der Größenordnung von ca. 2 mm, die für den Bahnbetrieb als vertretbar eingestuft werden. Unabhängig davon wird für die Ausschreibung der Bauleistung das Vorhalten von Stopfeinrichtungen zur Gleislagekorrektur empfohlen.

Die Anforderungen an die Überwachung sowie die bei Abweichungen zu ergreifenden Maßnahmen sind in Abschnitt 6 zusammengestellt. Es wird ein über die reguläre Qualitätssicherung hinausgehendes Geo-Monitoring empfohlen. Abschnitt 6.1 enthält dazu die allgemeinen Anforderungen an das Geo-Monitoring, die bereits in der Ausschreibung der Bauleistung berücksichtigt werden sollten. Abschnitt 6.2 fasst die verfahrensbezogene Überwachung der HDD-Herstellung und Abschnitt 6.3 die besonderen Anforderungen für die Kabelquerungen im Pilotrohrvortrieb zusammen. Mit dem Alarmplan ist auch ein Maßnahmenkonzept durch den Bau-AN auszuarbeiten und mit den für den Bahnbetrieb zuständigen Stellen unter Einbeziehung des geotechnischen Sachverständigen abzustimmen.

Für die Bauausführung wird eine geotechnische Fachüberwachung für erforderlich erachtet. Das für die Bauausführung empfohlene Monitoring soll bereits in der Ausschreibung der Bauleistung berücksichtigt werden.

Kempfert Geotechnik GmbH



Dr.-Ing. P. Becker

i. A.



M.Eng. V. Asela

Verteiler per E-Mail an:

- Weiß, Sebastian (DB InfraGo), Sebastian.S.Weiss@deutschebahn.com
- Herrmann, Ruben (DB InfraGo), Ruben.Herrmann@deutschebahn.com
- Bühmann, Jens (Pabsch Ingenieure), j.buehmann@pabsch-ingenieure.de

Anlage 1

Bewertung der Gesamtstandsicherheit

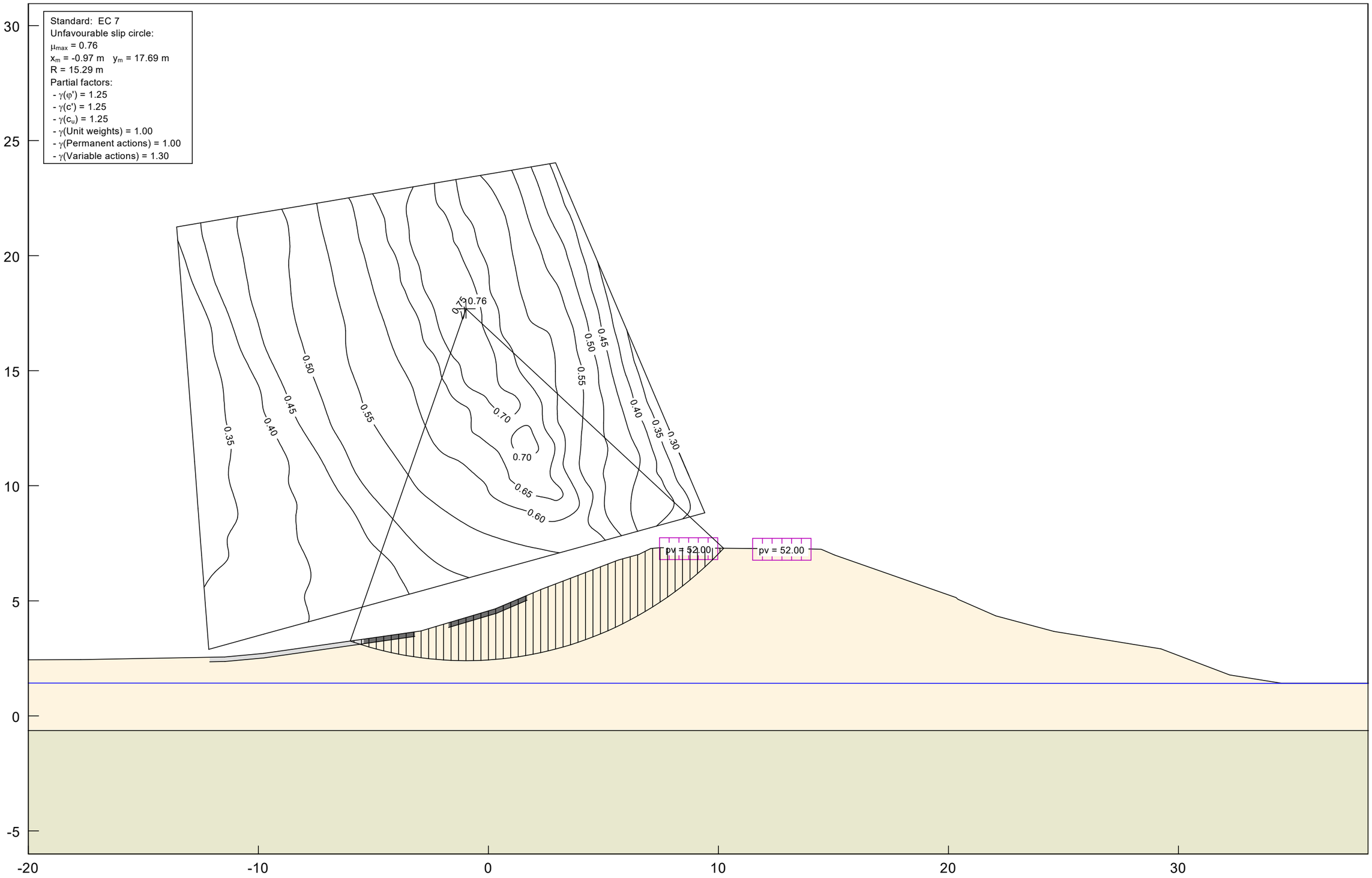
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 218,95

IST-Zustand (BS-P)

Anlage: 1.1.1
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



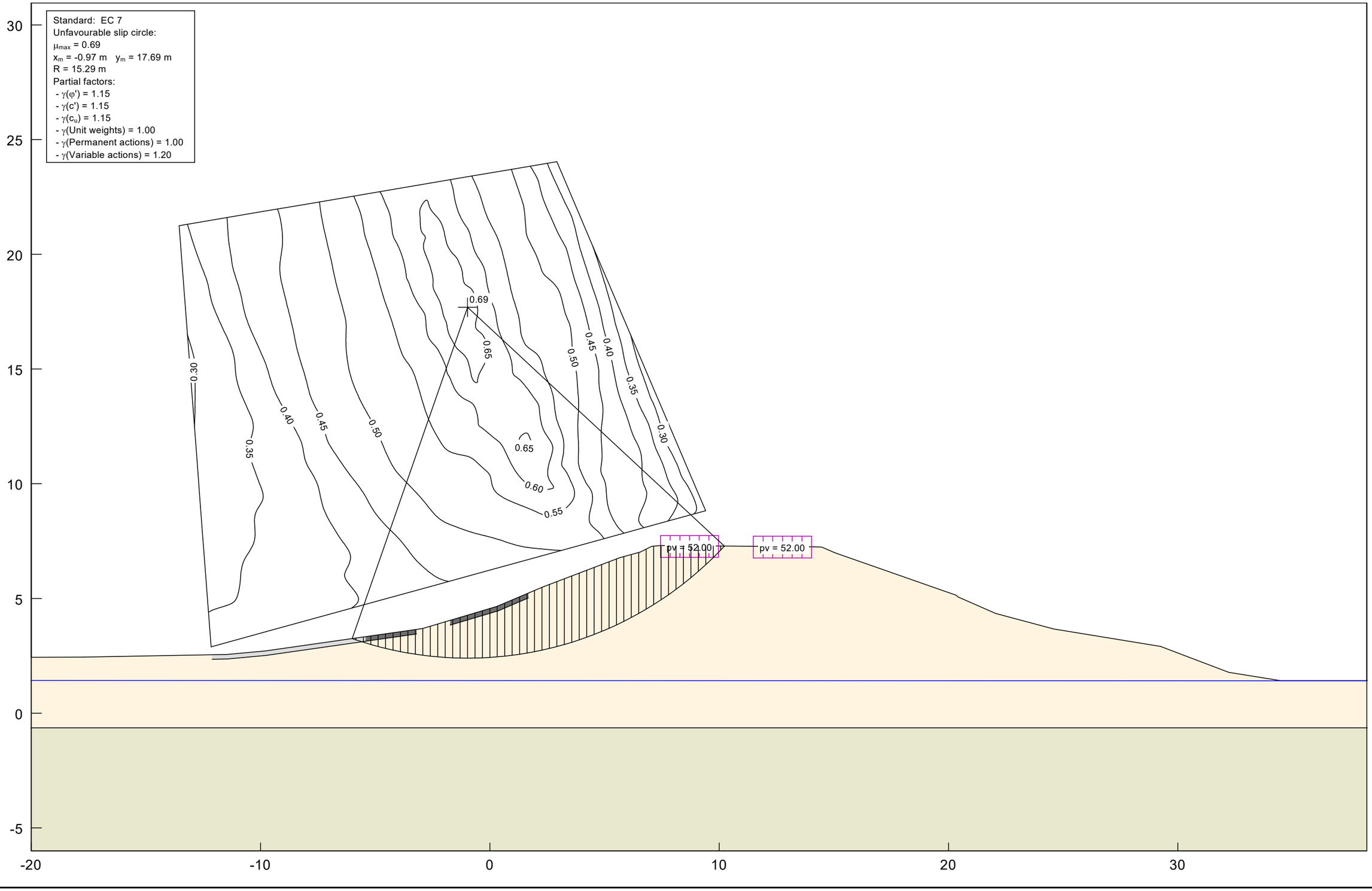
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 218,95

IST-Zustand (BS-T)

Anlage: 1.1.2
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



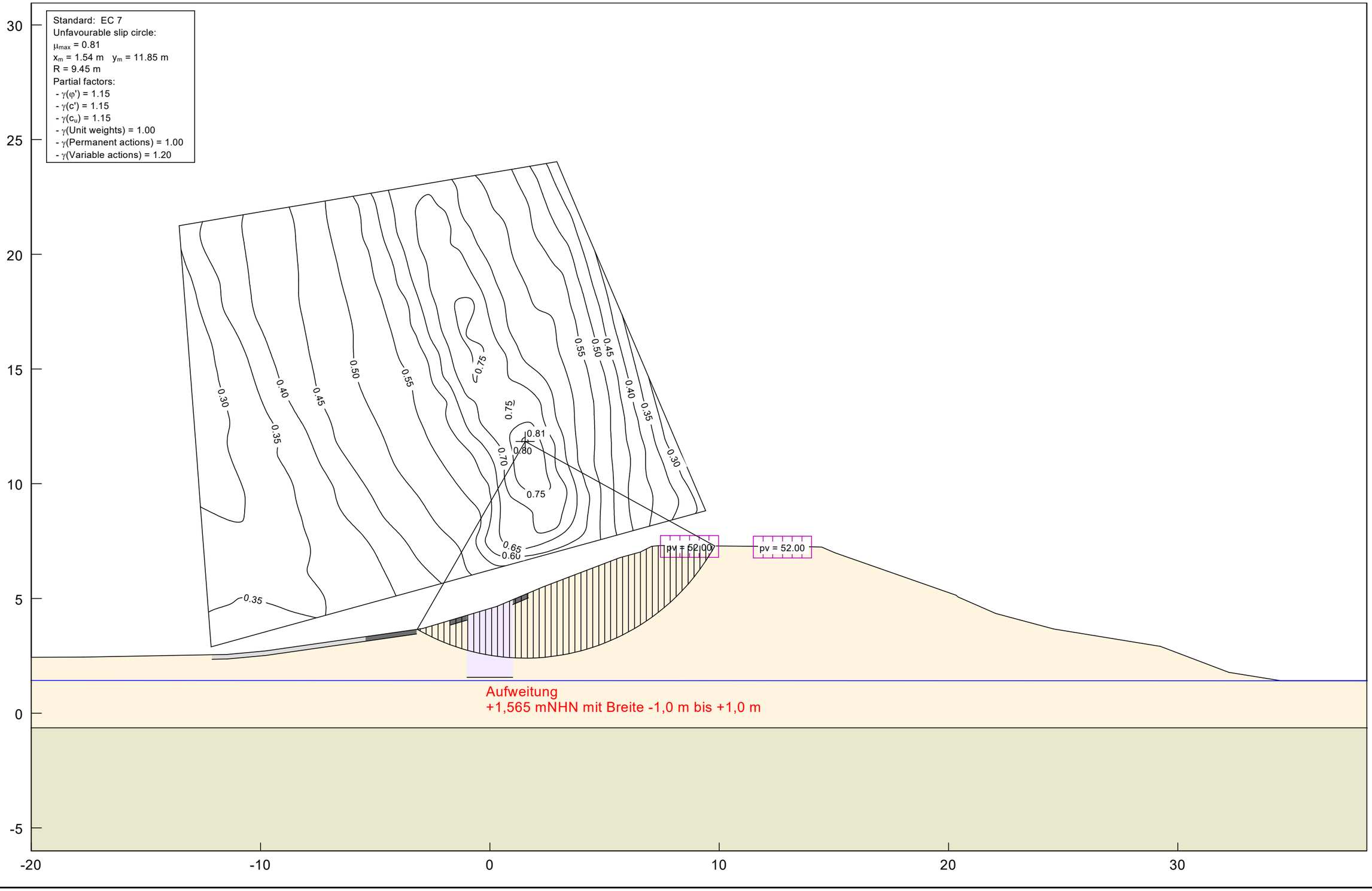
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 218,95

Aufweitung (BS-T)
+/-1,0 m

Anlage: 1.1.3
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

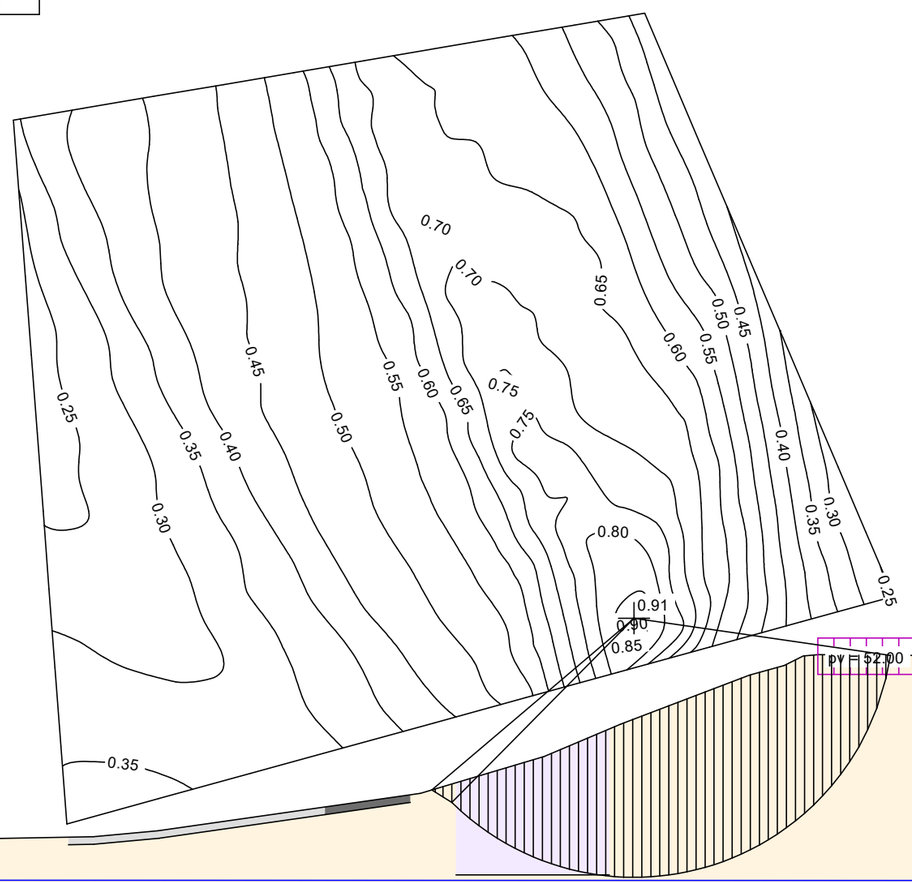
Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 218,95

Aufweitung (BS-T)
+/-2,0 m

Anlage: 1.1.4
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026

Standard: EC 7
Unfavourable slip circle:
μ_{max} = 0.91
x_m = 2.64 m y_m = 8.26 m
R = 6.76 m
Partial factors:
- $\gamma(\varphi')$ = 1.15
- $\gamma(c')$ = 1.15
- $\gamma(c_u)$ = 1.15
- γ(Unit weights) = 1.00
- γ(Permanent actions) = 1.00
- γ(Variable actions) = 1.20



Aufweitung
+1,565 mNHN mit Breite -2,0 m bis +2,0 m

30
25
20
15
10
5
0
-5
-20
-10
0
10
20
30

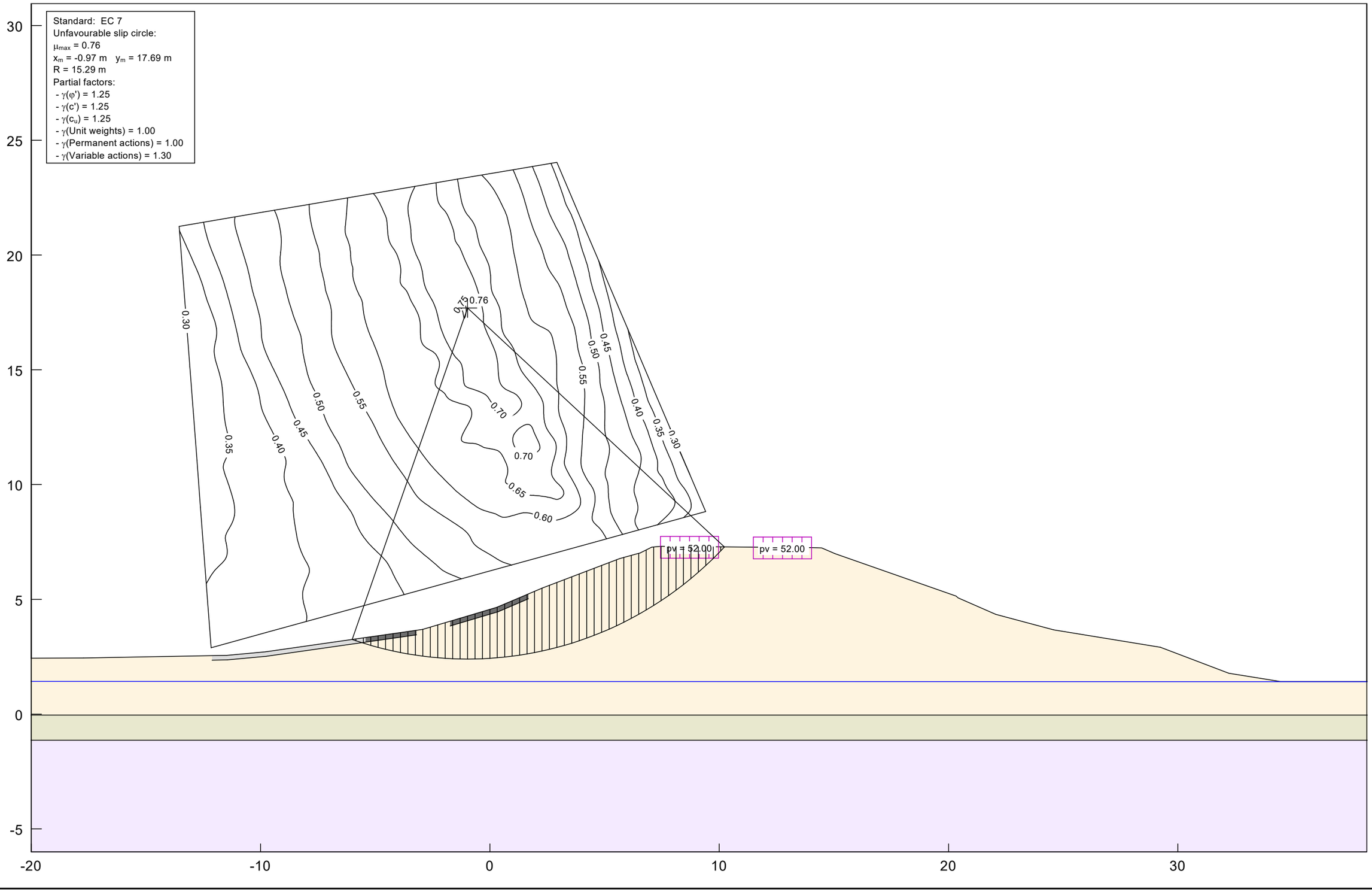
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	22.50	5.00	17.00	S7: Klei, sandig
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 222,95

IST-Zustand (BS-P)

Anlage: 1.2.1
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



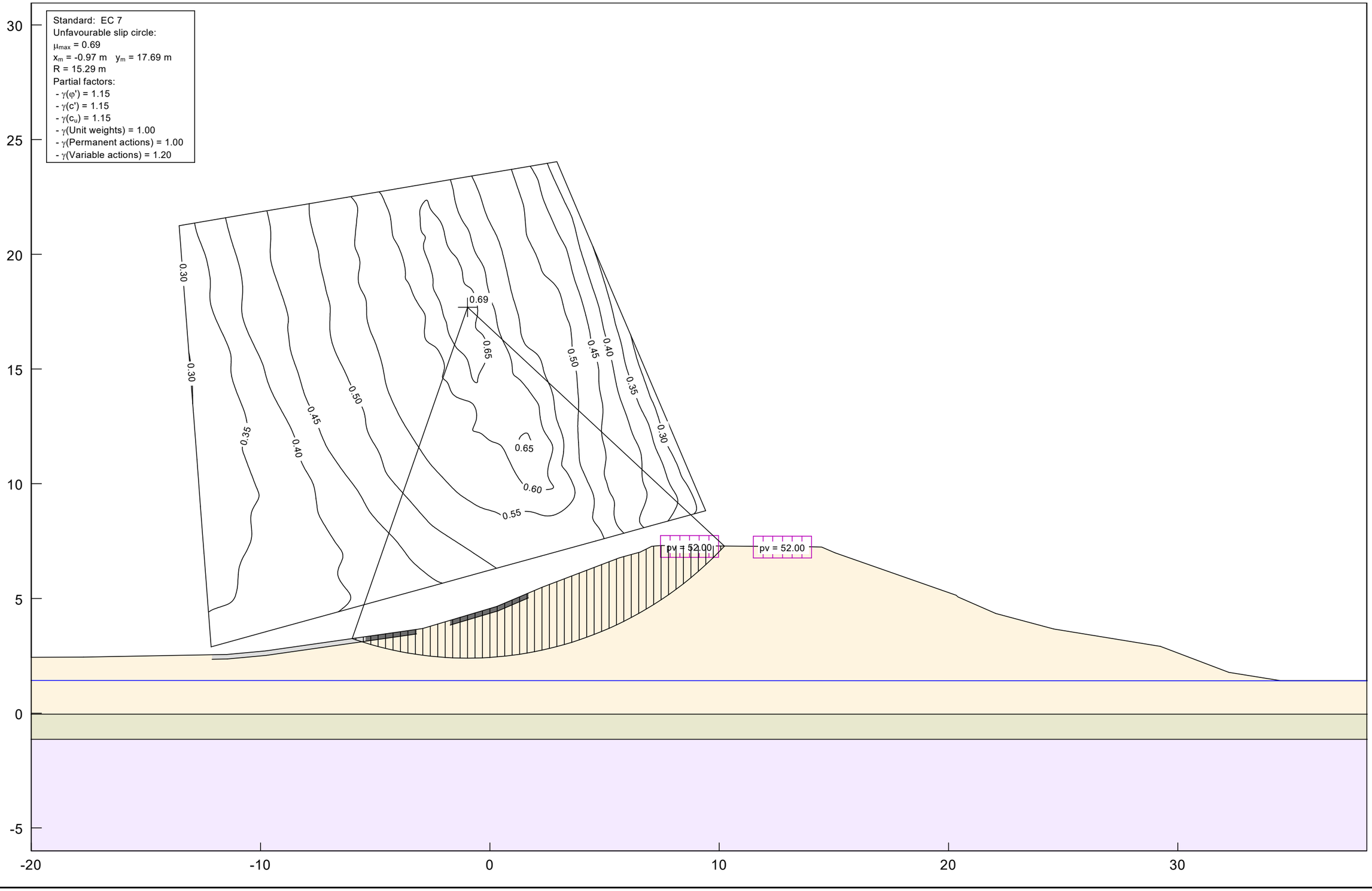
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	22.50	5.00	17.00	S7: Klei, sandig
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 222,95

IST-Zustand (BS-T)

Anlage: 1.2.2
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	22.50	5.00	17.00	S7: Klei, sandig
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

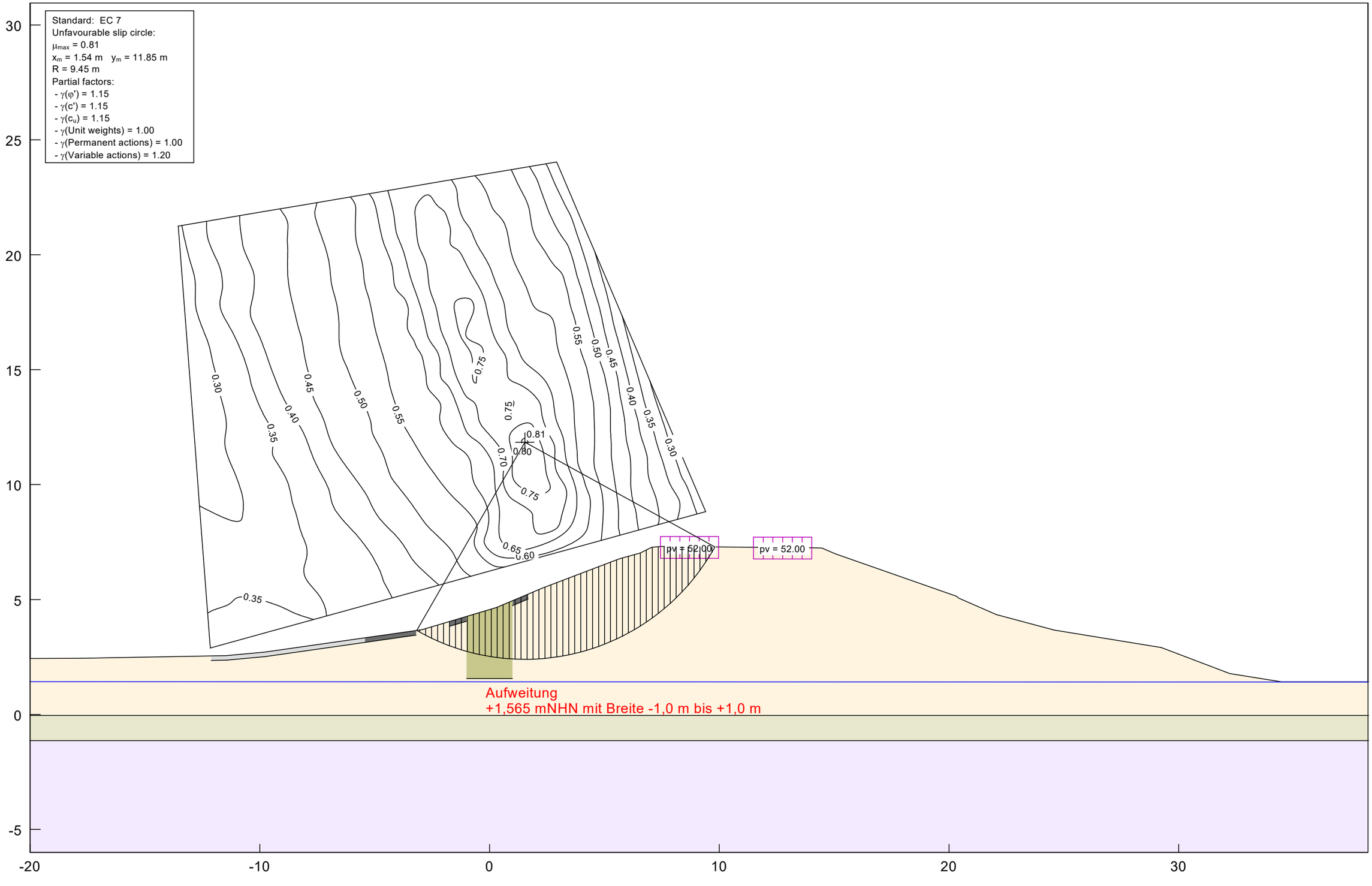
Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 222,95

Aufweitung (BS-T)
+/-1,0 m

Anlage: 1.2.3
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026

Standard: EC 7
Unfavourable slip circle:
μ_{max} = 0.81
x_m = 1.54 m y_m = 11.85 m
R = 9.45 m
Partial factors:
- $\gamma(\varphi')$ = 1.15
- $\gamma(c')$ = 1.15
- $\gamma(c_u)$ = 1.15
- γ(Unit weights) = 1.00
- γ(Permanent actions) = 1.00
- γ(Variable actions) = 1.20



Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	22.50	5.00	17.00	S7: Klei, sandig
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

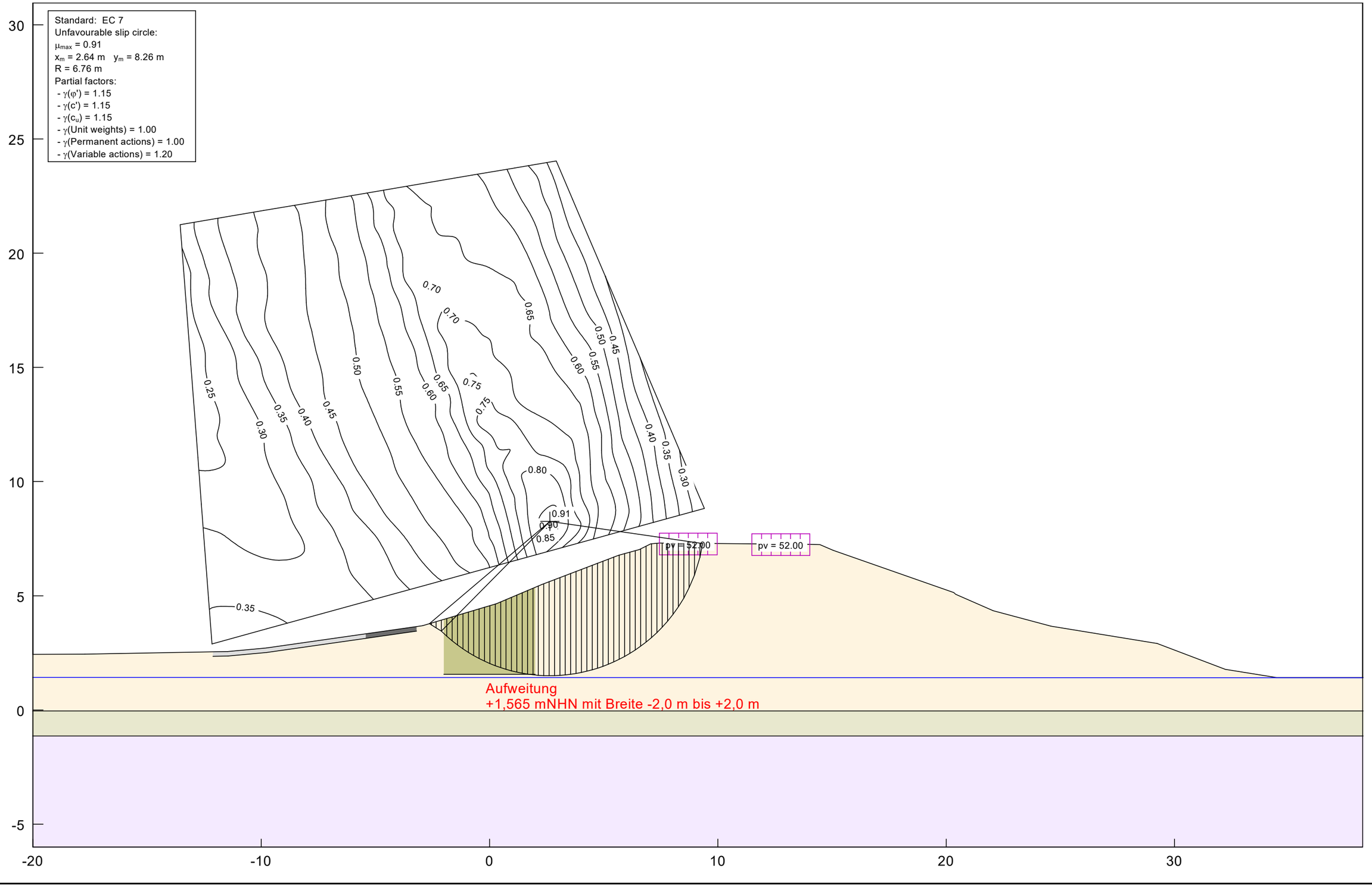
Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 222,95

Aufweitung (BS-T)
+/-2,0 m

Anlage: 1.2.4
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026

Standard: EC 7
Unfavourable slip circle:
μ_{max} = 0.91
x_m = 2.64 m y_m = 8.26 m
R = 6.76 m
Partial factors:
- $\gamma(\varphi')$ = 1.15
- $\gamma(c')$ = 1.15
- $\gamma(c_u)$ = 1.15
- γ(Unit weights) = 1.00
- γ(Permanent actions) = 1.00
- γ(Variable actions) = 1.20



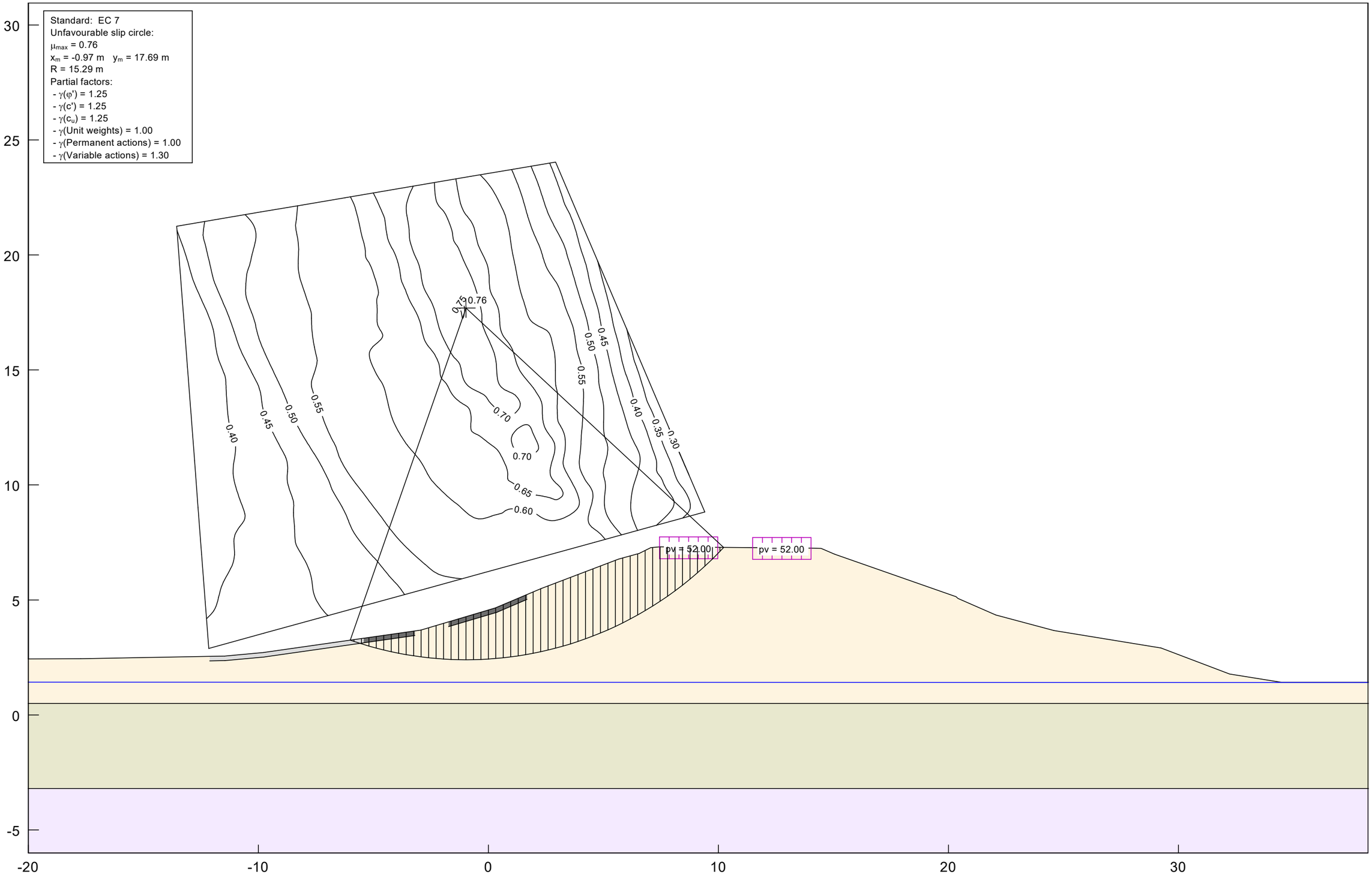
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	20.00	5.00	16.00	Klei

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 225,69

IST-Zustand (BS-P)

Anlage: 1.3.1
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



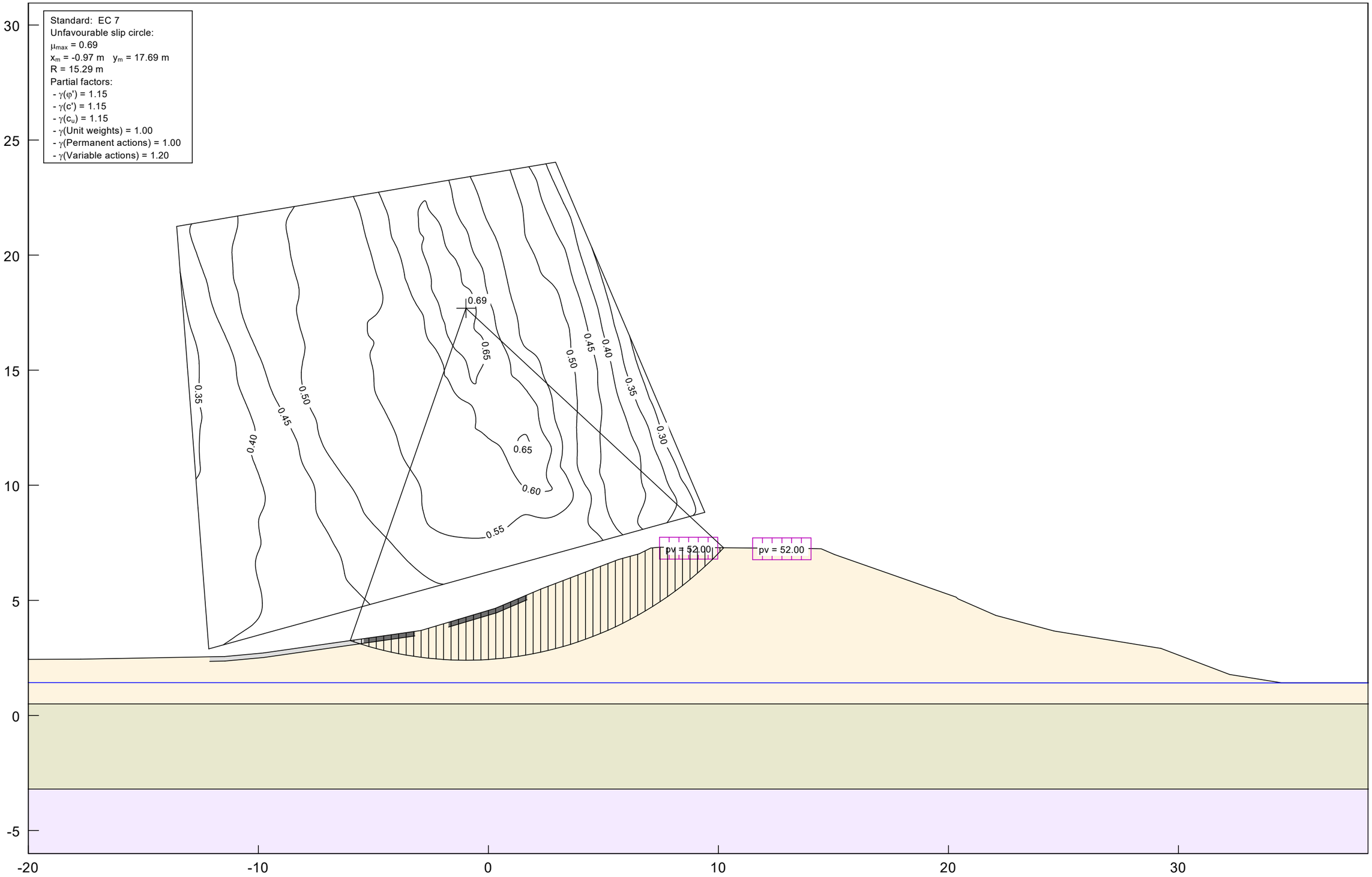
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	20.00	5.00	16.00	Klei

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 225,69

IST-Zustand (BS-T)

Anlage: 1.3.2
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



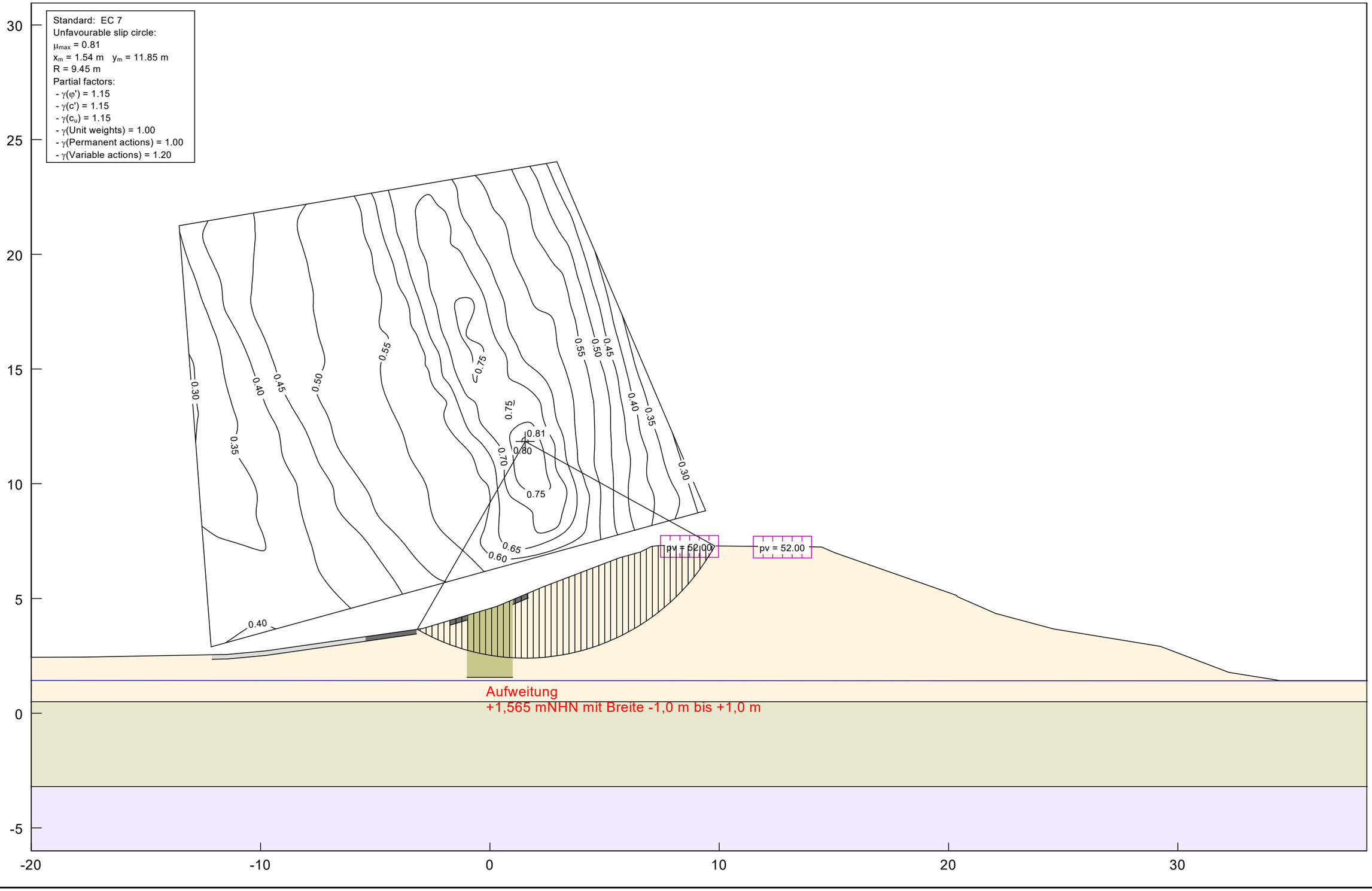
Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	20.00	5.00	16.00	Klei
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 225,69

Aufweitung (BS-T)
+/-1,0 m

Anlage: 1.3.3
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026



Soil	$\varphi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m³]	Designation
	30.00	50.00	24.00	Gussasphalt
	40.00	0.00	22.00	Gestein
	30.00	0.00	17.00	S3: A, Sand
	30.00	0.00	19.00	S5: Sand, schluffig
	20.00	5.00	16.00	Klei
	0.00	0.00	3.00	Auflockerung

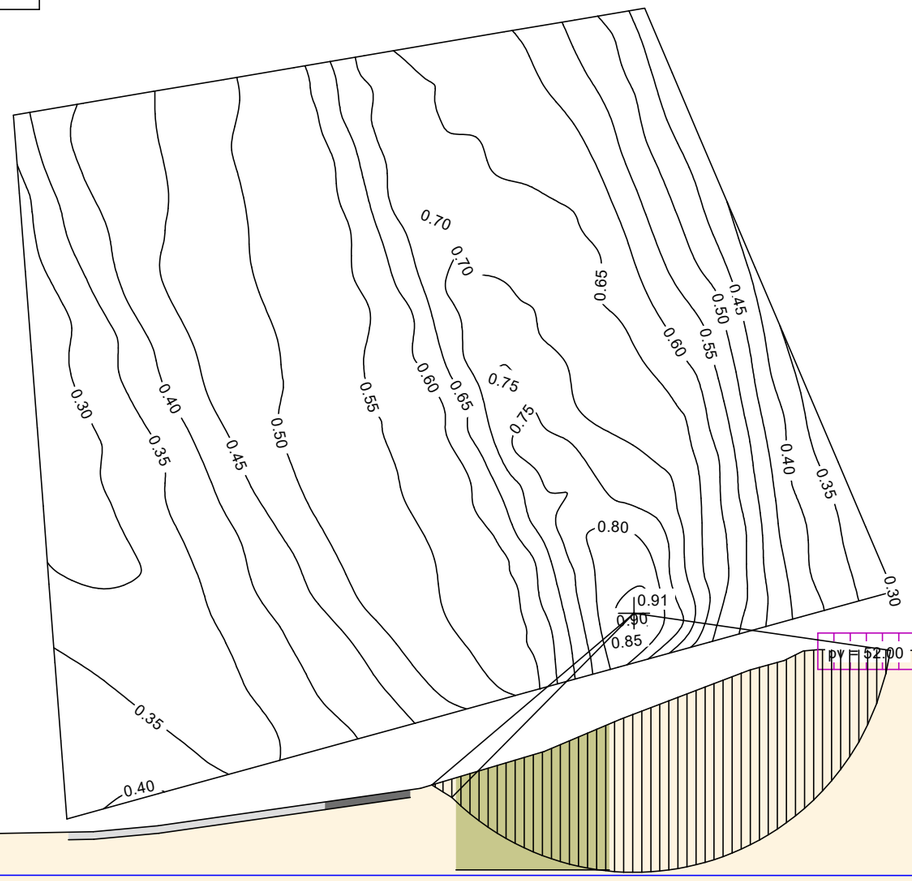
Kempfert + Partner
Geotechnik
Kempfert Geotechnik GmbH
Friesenweg 10, Haus 4
22763 Hamburg

ESTW Niebüll
HDD Kabelkanal
km 225,69

Aufweitung (BS-T)
+/-2,0 m

Anlage: 1.3.4
Projekt-Nr.: HH 817.7/25
Programm: GGU Stability
Version: 14.00
Datum: 10.09.2026

Standard: EC 7
Unfavourable slip circle:
μ_{max} = 0.91
x_m = 2.64 m y_m = 8.26 m
R = 6.76 m
Partial factors:
- $\gamma(\varphi')$ = 1.15
- $\gamma(c')$ = 1.15
- $\gamma(c_u)$ = 1.15
- γ(Unit weights) = 1.00
- γ(Permanent actions) = 1.00
- γ(Variable actions) = 1.20



Aufweitung
+1,565 mNHN mit Breite -2,0 m bis +2,0 m

30
25
20
15
10
5
0
-5
-20
-10
0
10
20
30