

Projekt 2390.07

Markt Markt Schwaben Gewässer III. Ordnung, Hennigbach HRB Einbergfeld

Markt Markt Schwaben

Entwurfsstatik

Nr. 2390.07_3_01_01

Dammbauwerk



Vorhabensträger:

Markt Markt Schwaben
Schloßplatz 2
85570 Markt Schwaben



REGIERUNGSBAUMEISTER
SCHLEGEL

Tragwerksplaner:

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG
Guntherstraße 29
80639 München

München, den 04.02.2021

R. Wach
ppa. R. Wach
(Projektleiter)

K. Heuberger
i.A. K. Heuberger
(Projektingenieur)

BERATENDER INGENIEUR
14602
INGENIEURKAMMER
BAYERN
BAYKAB
DIPLOM-INGENIEUR
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
2014

Indextabelle:

Rev.	Datum	Art der Änderung
01	04.02.2021	Einarbeitung Baugrundgutachten von GHB, Starnberg, 31.12.2020
02		
03		
04		
05		

Inhaltsverzeichnis Standsicherheitsberechnung

1	Vorbemerkungen	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Bauteile / Bezeichnungen	2
1.2.1	Dammbauwerk: Bauwerksbeschreibung	2
1.2.2	Dammbauwerk: Planunterlagen/ Skizzen	2
1.3	Verwendete Normen und Unterlagen	3
2	Einwirkungen und Beanspruchungen	4
2.1	Veränderliche Einwirkungen	4
2.2	Außergewöhnliche Einwirkungen	5
3	Maßgebende Wasserstände	5
4	Bodenkennwerte	5
4.1	Untergrund	5
4.2	Dammbauwerk	9
5	Bemessungssituation	10
6	Standsicherheit HRB Einbergfeld	11
6.1	Sickerlinie und Potentialverteilung	11
6.2	Nachweis der globalen Standsicherheit	11
6.2.1	Böschungsbruch	11
6.3	Nachweis der lokalen Standsicherheit	13
6.3.1	Bereich der land- und wasserseitigen Böschung	13
6.3.2	Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)	13
6.3.3	Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch	14
6.4	Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport	14
6.4.1	Kontakterosion und Suffosion	14
6.4.2	Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)	16
6.5	Gebrauchstauglichkeit	16

6.5.1	Setzungen	16
7	Hinweise für die weitere Planung und die Bauausführung	17
7.1	Bodenaustausch / Bodenverbesserung	17

Bilderverzeichnis

Abbildung 1:	Lage des Projektgebiets (Quelle: BayernAtlas).....	1
Abbildung 2:	Lageplanausschnitt (gesamter Hochwasserrückhalteraum)	2
Abbildung 3:	Lageplanausschnitt (Dammbauwerk).....	3
Abbildung 4:	Querschnitt	3
Abbildung 5:	Lageplan der Erkundungen aus den Baugrundgutachten [G1] und [G2]	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakteristische Bodenkennwerte für Untergund gemäß [G1].....	6
Tabelle 2:	Charakteristische Bodenkennwerte für Untergund gemäß [G2].....	7
Tabelle 3:	Charakteristische Bodenkennwerte für Dammbaustoffe	9
Tabelle 4:	Teilsicherheitsbeiwerte gemäß [U6] bzw. [U2] (Quelle: DWA-M 542 [U6]).....	12
Tabelle 5:	Ausnutzungsgrade für Böschungsbruchberechnungen	12
Tabelle 6:	Sicherheit gegen Kontakterosion mit hydraulischem Kriterium	15
Tabelle 7:	Sicherheit gegen Suffosion mit hydraulischem Kriterium	15

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Berechnungen mit GGU CONSOLIDATE – entfällt
Anlage 2:	Berechnungen mit GGU SS-FLOW-2D
Anlage 3:	Berechnungen mit GGU STABILITY

1 Vorbemerkungen

Der geplante Hochwasserschutz hat das Ziel, die bestehende Bebauung sowie die Verkehrswege in Markt Schwaben vor Überflutungen durch den Hennigbach und seiner Nebengewässer zu schützen. Abbildung 1 zeigt die Lage des Projektgebiets.

Der Hochwasserschutz kann nur durch ein Zusammenwirken mehrerer Einzelmaßnahmen gesichert werden, welche im Rahmen des „HQ100-Konzepts“ für die Gemeinde Markt Schwaben erarbeitet wurden. Der vorliegende Bericht befasst sich ausschließlich mit dem Dammbauwerk des geplanten Hochwasserrückhaltebeckens (kurz HRB) „Einbergfeld“. In Abbildung 2 ist die Lage des HRB Einbergfeld dargestellt.

Hierzu wurde im Rahmen der Gesamtmaßnahme im Jahre 2016 durch die IMH Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Geotechnik mbH (IMH) eine orientierende Baugrunderkundung durchgeführt.

Eine vertiefte Baugrunderkundung wurde Ende 2020 von GHB Consult GmbH (GHB) durchgeführt, um u.a. den Forderungen vom Wasserwirtschaftsamt Rosenheim nachzukommen.

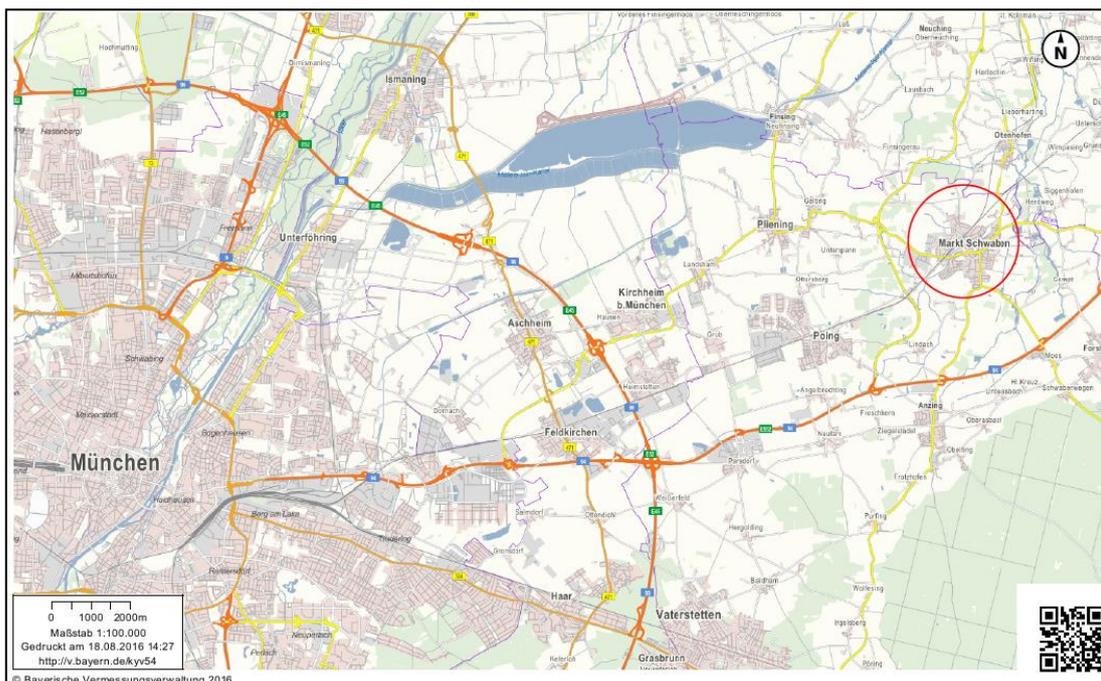


Abbildung 1: Lage des Projektgebiets (Quelle: BayernAtlas)

1.1 Aufgabenstellung

Für den geplanten Hochwasserschutz in Markt Schwaben sind im Zuge der Planung Leistungen der Tragwerksplanung zu erbringen, damit die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Dammbauwerks in diesem Fall für das HRB Einbergfeld nachgewiesen werden kann.

1.2 Bauteile / Bezeichnungen

1.2.1 Dammbauwerk: Bauwerksbeschreibung

Der Damm wird als ein 2-Zonen-Damm, welcher aus einem dichtenden Stützkörper und einem landseitig angeordneten durchlässigen Dränkörper besteht, geplant. Die dichtende Wirkung wird durch einen Dammkörper aus Bodenmaterial mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 10^{-7}$ m/s erreicht. Anfallendes Sickerwasser wird durch den landseitig angeordneten Dränkörper $k_f \geq 10^{-5}$ m/s abgeleitet.

Die Dammböschungen sind mit einer Neigung von 1:3 geplant. Die Deichkrone ist mit einer Breite von 4,50 m vorgesehen und soll befahrbar sein. Die Verteidigung soll über einen Hinterweg, der auf dem Dränkörper angeordnet ist, erfolgen. Auf der Wasserseite ist ein Weg, der zur Unterhaltung des Wildholzrechens dient, geplant. Die Gesamtlänge des Dammes wird ca. 210 m betragen.

Der Oberboden/Mutterboden wird abgetragen und durch Dammbaumaterial ausgetauscht.

1.2.2 Dammbauwerk: Planunterlagen/ Skizzen

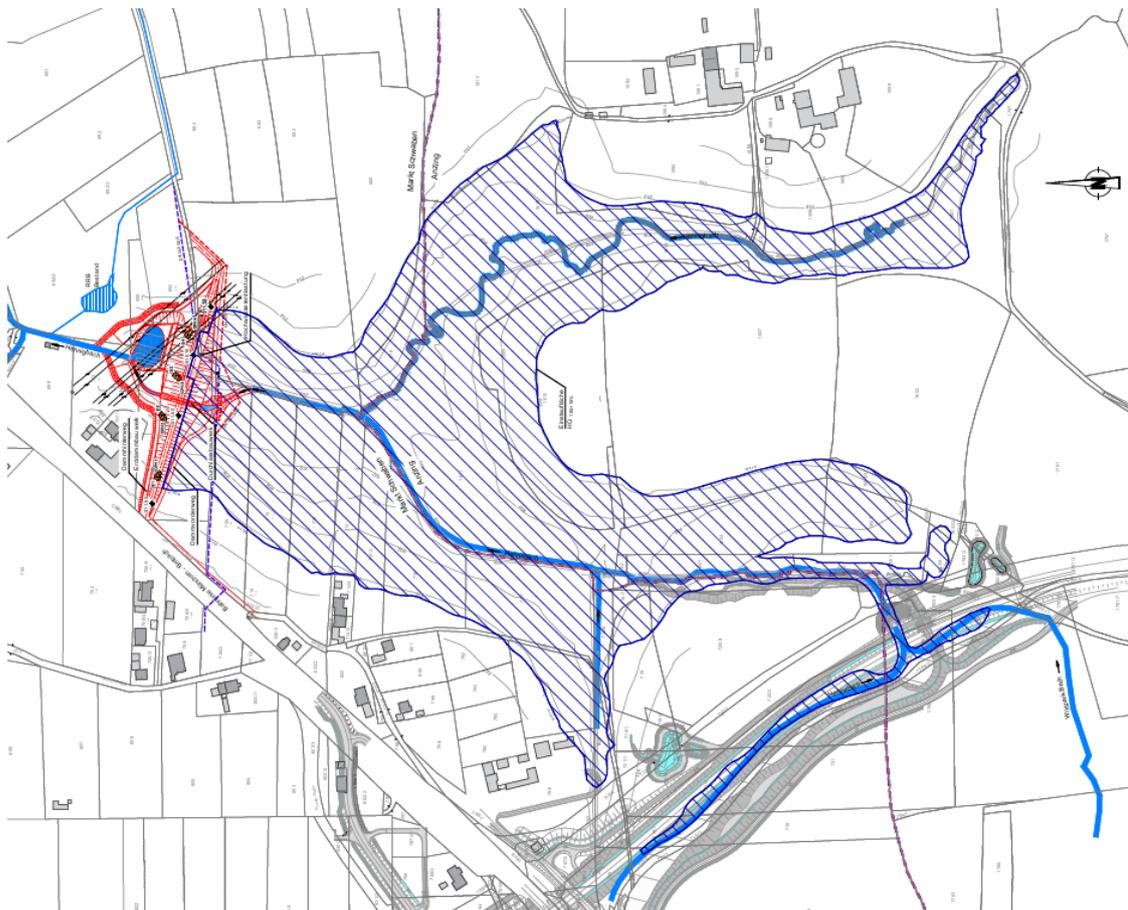


Abbildung 2: Lageplanausschnitt (gesamter Hochwasserrückhalteraum)

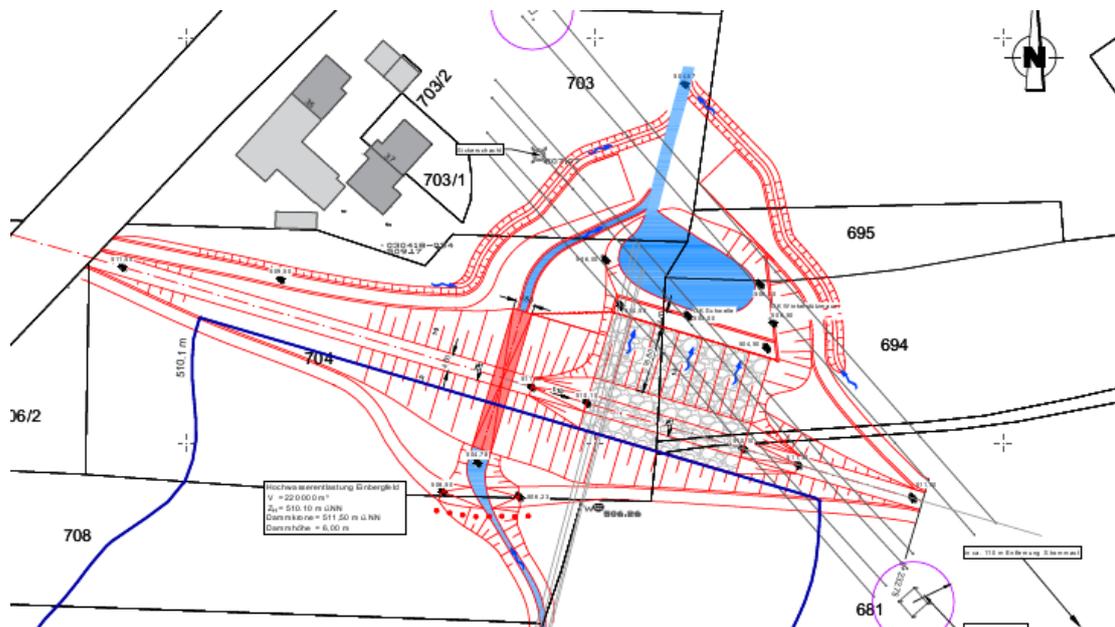


Abbildung 3: Lageplanausschnitt (Dammbauwerk)

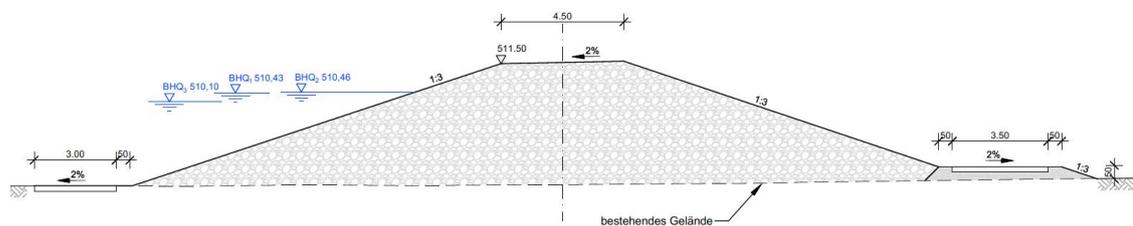


Abbildung 4: Querschnitt

1.3 Verwendete Normen und Unterlagen

Grundlage der Bearbeitung sind die folgenden Normen und Merkblätter in der jeweils aktuell gültigen Fassung:

- [U1] DIN 19700, Teile 10, 11 und 12, Stauanlagen, 2004
- [U2] DIN EN 1997, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1 (2014) und Teil 2 (2010)
- [U3] DIN 1054, Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 2010
- [U4] DIN EN 1998, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, 2010
- [U5] DIN 4084, Geländebruchberechnungen, 2009
- [U6] DWA-M 542, Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten für Staudämme und

Staumauern, Juli 2017

- [U7] DWA-M 507, Deiche an Fließgewässern – Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Dezember 2011
- [U8] Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Gekunststoffen - EBGEO, DGGT, 2010
- [U9] BAW-M (MSD), Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen, 2011
- [U10] DIN 4020, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, 2010

Verwendete Planungsunterlagen:

- [P1] HWS Markt Markt Schwaben, HRB Einbergfeld, Gewässer III. Ordnung, Henningbach, Lageplan und Querschnitte, Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG, München, April 2018.
- [P2] E-Mail mit Ergänzung der Bodenkennwerte vom 05.04.2018

Verwendete Literatur:

- [B1] Statik im Erdbau. Türke, H., Ernst-Verlag, 1984

Verwendete Gutachten:

- [G1] Geotechnischer Bericht, Hochwasserschutz Markt Schwaben, Projektnr.: 16132052, IMH Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Geotechnik mbH, Hengersberg, 12. Dezember 2016
- [G2] Ingenieurgeologisches Gutachten, Damm Hochwasserrückhaltebecken Einbergfeld, Projekt P17 TB-1023, GHB Consult GmbH, Starnberg, 31. Dezember 2020

Weitergehende Vorschriften und Richtlinien werden bei Bedarf (z.B. DWA-Merkblätter, BAW-Merkblätter) herangezogen. Fachspezifische Normen und Vorschriften sind dem entsprechenden statischen Bericht zu entnehmen.

2 Einwirkungen und Beanspruchungen

2.1 Veränderliche Einwirkungen

Entsprechend der Planung sind folgende Verkehrslasten anzusetzen:

Für den befestigten Verteidigungsweg:

Schwerlastverkehr SLW 60, entspricht einer Ersatzflächenlast $p = 33,3 \text{ kN/m}^2$

Für sonstige Wege:

Schwerlastverkehr SLW 30, entspricht einer Ersatzflächenlast $p = 16,7 \text{ kN/m}^2$

2.2 Außergewöhnliche Einwirkungen

Das Gebiet um das HRB Einbergfeld gehört keiner Erdbebenzone gemäß DIN EN 1998-1/NA:2011-01 [U4] an.

3 Maßgebende Wasserstände

Die wichtigsten Wasserstände aufgelistet:

BHQ ₁ :	510,38 m ü. NN
BHQ ₂ :	510,39 m ü. NN
Zv/Zs:	510,10 m ü. NN

Der Verlauf der Wasserspiegellage im Fall einer schnellen Beckenentleerung ist vorgegeben worden, damit die Belastung auf der wasserseitigen Böschung eventuell mit einer instationären Berechnung in der weiteren Planung nachvollzogen werden kann.

Das Baugrundgutachten [G2] hat Schicht- als auch Grundwasser auf unterschiedlichen Höhenkoten angetroffen. Daher wird für die Berechnungen ein Grundwasserstand auf Geländehöhe als maximaler Grundwasserstand angesetzt.

4 Bodenkennwerte

4.1 Untergrund

Im Rahmen der Gesamtmaßnahme wurde im Jahre 2016 durch die IMH Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Geotechnik mbH (IMH) eine orientierende Baugrunderkundung und Ende 2020 durch die GHB Consult GmbH (GHB) eine vertiefte Baugrunderkundung durchgeführt. Auf Grund der größeren Bohrtiefe und der näher beisammen liegenden Bohrungen wird in dieser Statischen Berechnung lediglich die Bodenkennwerte der vertieften Baugrunderkundung von GHB [G2] benutzt.

Die für die Berechnungen verwendeten Bodenkennwerte gemäß Baugrundgutachten [G1] und [G2] werden in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Nr.	Bodenschicht 2	Bodenschicht 3	Bodenschicht 4
	bindige Deckschicht	Kies/Sande	tertiäre Tone
Wichte γ_k [kN/m ³]	18,0	20,0	20,0
Wichte unter Auftrieb γ'_k [kN/m ³]	8,0	11,0	10,0
Reibungswinkel φ'_k [°]	23,75	35,0	27,5
Dränierte Kohäsion c'_k [kN/m ²]	0	0	17,5
Undränierte Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	8,0	0	95,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	2,5	90,0	6,0
Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹
Konsistenz (je nach Bodenart)	weich	locker bis mitteldicht, mit zunehmender Tiefe dicht	steif bis halbfest

Tabelle 1: Charakteristische Bodenkenwerte für Untergund gemäß [G1]

Nr.	Homogenbereich B1	Homogenbereich B2	Homogenbereich B3
	Verwitterungslehm: Schluff und Ton	Kies und Sand	Geschiebelehm: Ton und Schluff
Wichte γ_k [kN/m ³]	18,0	21,0	20,0
Wichte unter Auftrieb γ'_k [kN/m ³]	8,0	11,0	10,0
Reibungswinkel φ'_k [°]	22,5	35,0	27,5
Kohäsion c' [kN/m ²]	4	0	10
Undränierete Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	20,0	-	>50
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	4	40	20
Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]	$8,1 \times 10^{-8}$	$8,4 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-8}$ bis $9,2 \times 10^{-9}$
Konsistenz (je nach Bodenart)	weich bis steif	steif bis halbfest	locker bis dicht

Tabelle 2: Charakteristische Bodenkennwerte für Untergund gemäß [G2]

In Abbildung 5 ist eine Zusammenstellung der Erkundungen aus den Baugrundgutachten [G1] und [G2] dargestellt. Für die Bohrprofile wird auf das jeweilige Gutachten verwiesen.

4.2 Dammbauwerk

Gemäß den beiden Baugrundgutachten [G1] und [G2] sind die nachfolgenden Anforderungen zu den zu verwendenden Dammbaustoffen einzuhalten:

- bindige und gemischtkörnige Böden der Bodengruppen GU*/GT*/UM/TM nach DIN 18196 können verwendet werden
- Anteil an Feinkorn $d \leq 0,002$ mm soll mindestens 20% betragen
- Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 1 \cdot 10^{-7}$ einzuhalten
- der bei Aushub und Abtragungsarbeiten anfallende Boden des Homogenbereichs 1 erfüllt größtenteils diese Anforderungen
- ein Wiedereinbau von Aushubmaterial ist generell genehmigungspflichtig und sollte im Vorhinein mit dem Landratsamt abgesprochen werden
- Verdichtungsgrad (Proctordichte) von mind. $D_{Pr} = 97\%$ und einem Porenluftvolumen n_a von max. 12% in Schüttschichten von 30-40 cm einzubauen

Weitere Details zu den Anforderungen an das einzubauende Schüttmaterial siehe [G2].

Entsprechend dem Baugrundgutachten [G1] wurden folgende Bodenkennwerte für die Berechnungen angesetzt:

	Damm	Dränkörper	Durchwurzelte Deckschicht
	Gemischtkörnig	Kies/Sande	Gemischtkörnig
Wichte γ_k [kN/m ³]	20,0	20,0	20,0
Wichte unter Auftrieb γ'_k [kN/m ³]	10,0	10,0	11,0
Reibungswinkel φ'_k [°]	32,5	35,0	35,0
Dränierte Kohäsion c'_k [kN/m ²]	0	17,5	0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	80,0	80,0	90,0
Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]	10^{-7}	10^{-5}	10^{-7}

Tabelle 3: Charakteristische Bodenkennwerte für Dammbaustoffe

5 Bemessungssituation

Bei der Wahl der maßgebenden Bemessungssituationen wurde DWA-M 542 Tabelle 1 [U6] berücksichtigt.

Die Standsicherheit wurde für folgende Bemessungssituationen untersucht:

Ständige Situationen (BS-P)

BS-P1: Bei Ansatz drainierter Scherparameter und unter Berücksichtigung des Wasser- und Strömungsdrucks bei Vollstau ($Z_V = 510,10$ m ü. NN).

Vorübergehende Situationen (BS-T)

BS-T1: Bei Ansatz drainierter Scherparameter und unter Berücksichtigung des Wasser- und Strömungsdrucks beim Bemessungshochwasser 1 ($Z_{H1} = 510,38$ m ü. NN).

BS-T2: Bei Ansatz drainierter Scherparameter und unter Berücksichtigung des Wasser- und Strömungsdrucks infolge schnellstmöglicher Stauspiegelabsenkung aus Vollstau ($Z_V = 510,10$ m ü. NN).

BS-T3: Bauzustand unter Ansatz der undrainierten Scherfestigkeit des Untergrundes und Verkehrsbelastung auf Luft- und Wasserseite des Dammbauwerkes. Es werden Wasser- und Strömungsdrücke z.B. durch Hochwasser nicht berücksichtigt.

Außergewöhnliche Situationen (BS-A)

BS-A1: Bei Ansatz drainierter Scherparameter und unter Berücksichtigung des Wasser- und Strömungsdrucks beim Bemessungshochwasser 2 ($Z_{H2} = 510,39$ m ü. NN).

BS-A2: Bei Ansatz drainierter Scherparameter und unter Berücksichtigung des Wasser- und Strömungsdrucks beim Vollstau ($Z_V = 510,10$ m ü. NN) sowie dem Ausfall der Dränwirkung der Berme.

6 Standsicherheit HRB Einbergfeld

6.1 Sickerlinie und Potentialverteilung

Die Berechnung der Sickerlinie und Potentialverteilung erfolgte unter Verwendung des Programms GGU SS-FLOW-2D und mit den Bodenkennwerten gemäß [G1].

Die Randpotentiale werden entsprechend der Wasserstände in Kap. 3 angesetzt. Auf der Luftseite wird von einem Grundwasserstand auf Höhe GOK ausgegangen.

In der Bemessungssituation BS-A.2 „Einwirkungen infolge Ausfall oder eingeschränkter Wirkung von Sicherungselementen (Dichtungen/Dräns etc.)“ wird auf der sicheren Seite die Durchlässigkeit des luftseitigen Dränkörpers auf $k_f = 10^{-7}$ m/s analog dem Dammbaumaterial gesetzt, um eine Dränwirkung dieser Schicht auszuschließen.

Für die Bemessungssituation BS-T.2 „schnellstmögliche Stauspiegelabsenkung aus Vollstau“ wurden instationäre Berechnungen durchgeführt. Für die Standsicherheit wurde die Sickerlinie zum Zeitpunkt $t = 2,088 \times 10^5$ s bei einem Wasserstand von $W/3$ (507,25 m ü. NN) in Anlehnung an DWA-M 507 [U7] angesetzt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Anlage 2 enthalten.

6.2 Nachweis der globalen Standsicherheit

6.2.1 Böschungsbruch

Die Böschungsbruchberechnungen werden mit dem Programm GGU STABILITY Version 11.20 durchgeführt.

Dieses berechnet die Standsicherheit nach EC 7/DIN 4048 [U2/U5] auf Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes und zeigt den Ausnutzungsgrad μ an. Die Standsicherheit ist bei einem Ausnutzungsgrad $\mu < 1,0$ gegeben.

Entsprechend EC 7/DIN 1054:2010 [U2/U3] bzw. DWA-M 542 [U6] werden die charakteristischen Bodenkennwerte auf der Widerstandsseite durch die Teilsicherheitsbeiwerte abgemindert und die Belastungen auf der Einwirkungsseite mit einem Teilsicherheitsbeiwert beaufschlagt.

Auf Grund der sehr kleinen Unterschiede bei den Bodenkennwerten der beiden Baugrundgutachten [G1] und [G2] wird die Berechnung des Böschungsbruchs nicht auf die Werte des aktuelleren Baugrundgutachtens [G2] angepasst. Zusätzlich verbessert sich die Standsicherheit lediglich durch die Bodenstabilisierungen (siehe Kapitel 7) gefordert durch das vertiefte Baugrundgutachten [G2].

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN EN 1997 (EC 7) [U2] bzw. DWA-M 542 [U6] wurden verwendet:

Einwirkungen	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen ^{a)}	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ bzw. $\tan \varphi_u$ des dränenen bzw. des undränenen Bodens	$\gamma_{\varphi'}$, γ_{φ_u}	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' bzw. c_u des dränenen bzw. des undränenen Bodens	$\gamma_{c'}$, γ_{c_u}	1,25	1,15	1,10
ANMERKUNG a) Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.				

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte gemäß [U6] bzw. [U2] (Quelle: DWA-M 542 [U6])

Die Berechnungsergebnisse sind in Anlage 3 und der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

Bemessungssituation	Böschung	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$	
BS-P.1	Luftseite	0,96	
BS-T.1	Luftseite	0,90	
BS-T.2	Wasserseite	0,62	
BS-T.3	Luftseite	1,23 (Anfangszustand)	0,77 (Endzustand)
BS-A.1	Luftseite	0,87	
BS-A.2	Luftseite	0,88	

Tabelle 5: Ausnutzungsgrade für Böschungsbruchberechnungen

6.3 Nachweis der lokalen Standsicherheit

6.3.1 Bereich der land- und wasserseitigen Böschung

Der Nachweis der lokalen Standsicherheit wird für das Dammbaumaterial auf der sicheren Seite ohne den Ansatz einer Kohäsion mit dem Nachweis hangparalleles Gleiten geführt:

$$\begin{array}{ll} \tan \beta \leq \tan \varphi'_d & \text{oberhalb der Sickerlinie} \\ \tan \beta \leq \frac{1}{2} \tan \varphi'_d & \text{unterhalb der Sickerlinie} \end{array}$$

dabei sind

φ'_d = Bemessungswert des Reibungswinkels

Dammbaumaterial: $\varphi_k = 32,5^\circ$

Filterkörper: $\varphi_k = 35,0^\circ$

β = Böschungsneigung 1:3, $\beta = 18,4^\circ$

Die Sickerlinie tritt in der ständigen Bemessungssituation nicht aus der Böschung aus.
Daraus folgt:

Dammbaumaterial/Filterkörper: $\tan 18,4^\circ = 0,33 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$ Nachweis erfüllt

In der Bemessungssituation BS-A2 tritt die Sickerlinie aus der Dammböschung aus. Lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts können nicht ausgeschlossen werden.

6.3.2 Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis wird entsprechend Statik im Erdbau; Türke [B1] geführt:

a) Luftseite

Der Dränkörper leitet Sickerwasser ab, so dass keine Belastung durch Strömungsdruck vorhanden ist.

Damm: $\varphi_D = 32,5^\circ$; $\beta = 18,4^\circ$; $\alpha = 0$; $\delta_a = 0$

$$K_{ah} = [\cos 32,5^\circ / 1 + \sqrt{\sin 32,5^\circ \cdot \sin (32,5^\circ - 18,4^\circ)} / (\cos 18,4^\circ)]^2 = 0,38$$

Untergrund: $\varphi = 23,75^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / K_{ah} \cdot \tan \beta (\text{Damm}) \\ &= \tan 23,75^\circ / 0,38 \cdot \tan 18,4^\circ = \underline{3,48} > \underline{1,3} \text{ Nachweis erfüllt!} \end{aligned}$$

b) Bei schnellem Absunk

Durch schnelles Absinken wird eine Belastung durch Strömungsdruck hervorgerufen, die zu einer Unsicherheit hinsichtlich Gleiten führen könnte:

Damm: $\gamma'_D = 10,0 \text{ kN/m}^3$; $K_{ah} = 0,38$

Untergrund: $\varphi = 32,5^\circ$ (nach Bodenaustausch)

Gleitsicherheit: $\eta = \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / (K_{ah} + \gamma_w / \gamma'_D) \cdot \tan \beta (\text{Damm})$
 $= \tan 32,5^\circ / (0,38 + 10/10) \cdot \tan 18,4^\circ = \underline{1,38} > 1,0$ Nachweis erfüllt!

6.3.3 Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch

Unter der Deckschicht befindet sich im östlichen Dammabschnitt kein stark durchlässiger Untergrund gemäß Baugrundgutachten [G1] und [G2]. Aus diesem Grund entfallen die Nachweise gegen Aufschwimmen einer Bodenschicht und Hydraulischer Grundbruch.

Im westlichen Dammabschnitt stehen unter der Deckschicht Kiese und Sande an gemäß Baugrundgutachten [G1] und [G2]. Um eine Sicherheit gegen Aufschwimmen sowie hydraulischen Grundbruch herzustellen, wird eine Spundwand in den Untergrund eingebracht.

6.4 Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport

6.4.1 Kontakterosion und Suffosion

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion können mit dem hydraulischen Kriterium geführt werden. Dazu wird die Höhe des Wasserstandes über der luftseitigen GOK mit der Breite der Dammaufstandsfläche inkl. Dammwege.

Hydraulischer Gradient i : $i_{\text{vorh}} = \Delta h / \Delta L$

Dabei sind:

Δh = Höhe des Wasserstandes über wasserseitigem Böschungsfußpunkt

ΔL = Länge des horizontalen Fließweges unterhalb der Dammaufstandsfläche

Die getroffenen Annahmen liegen auf der sicheren Seite.

Ein Mittelwert des kritischen Kontrollgradienten nach Chugaev $i_{\text{krit}} = 0,23$ für schluffigen Ton wurde dem Merkblatt DWA-M 507 Tabelle 7 entnommen. Die verwendeten Teilsicherheitsbeiwerte wurden der DIN 19712 Tabelle 6 entnommen.

Folgende Tabelle enthält die Berechnung der Nachweise gegen **Kontakterosion** des Querschnitts mit der größten Dammhöhe. Der Nachweis ist erbracht, wenn folgende Bedingung erfüllt wird:

$$i_{\text{vorh}} \cdot \gamma_{\text{H,vorh}} \leq i_{\text{krit}} / \gamma_{\text{H,krit}}$$

Bemessungssituation	i_{vorh}	i_{krit}	Nachweis $i_{\text{vorh}} \cdot \gamma_{\text{H,vorh}} \leq i_{\text{krit}} / \gamma_{\text{H,krit}}$
BS-P.1	4,60/46,5 = 0,09	0,23	0,12 < 0,21
BS-A.1	5,89/46,5 = 0,13	0,23	0,14 < 0,21

Tabelle 6: Sicherheit gegen Kontakterosion mit hydraulischem Kriterium

Folgende Tabelle enthält die Berechnung der Nachweise gegen **Suffosion** des Querschnitts mit der größten Dammhöhe. Der Nachweis ist erbracht, wenn folgende Bedingung erfüllt wird:

$$i_{\text{vorh}} \cdot \gamma_{\text{H,vorh}} \leq i_{\text{krit}} / \gamma_{\text{H,krit}}$$

Bemessungssituation	i_{vorh}	i_{krit}	Nachweis $i_{\text{vorh}} \cdot \gamma_{\text{H,vorh}} \leq i_{\text{krit}} / \gamma_{\text{H,krit}}$
BS-P.1	4,60/46,5 = 0,09	0,23	0,12 < 0,15
BS-A.1	5,89/46,5 = 0,13	0,23	0,14 < 0,15

Tabelle 7: Sicherheit gegen Suffosion mit hydraulischem Kriterium

Der Nachweis gegen Kontakterosion und Suffosion wurde erfüllt.

6.4.2 Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)

Das Dammbaumaterial ist so zu wählen, dass keine Fugenerosion auftreten kann zwischen Dammkörper und Durchlassbauwerk. Zusätzlich wurde ein Sporn am Durchlassbauwerk in der Dammmachse geplant, um die Fugenerosion zusätzlich zu erschweren.

6.5 Gebrauchstauglichkeit

6.5.1 Setzungen

Die Ergebnisse aus dem vertieften Baugrundgutachten von GHB [G2] zeigen, dass die Eigensetzungen des Dammes den Großteil der Gesamtsetzungen verglichen mit den Setzungen des Dammuntergrundes ausmachen.

Eigensetzungen des Dammes

Bei max. Dammhöhe von ca. 6 m ist infolge nachträglicher Eigenkonsolidierung des Dammbaumaterials, je nach verwendetem Material, mit Setzungsbeträgen in der Größenordnung von 12 bis 24 cm zu rechnen.

Setzungen des Dammuntergrundes

Die Berechnungen ergaben Setzungen von 4,4 bis 7,9 cm bei 6 m Schütthöhe westlich und östlich des Durchlassbauwerks. Mit abnehmender Schütthöhe (hier gerechnet mit 3 m) werden auch die Setzungen geringer und wurden zu 1,5 bis 4,3 cm berechnet.

Somit betragen die Gesamtsetzungen von 13 bis 32 cm. GHB rät bei bindigem Schüttmaterial die Dammhöhe mittig um 30 cm und seitlich um 15 cm zu überhöhen.

In der Anlage 1 wurden Setzungen auf Basis des Gutachtens [G1] berechnet. Die Anlage 1 kann wegen der tieferen Bohrungen und den Setzungsberechnungen in [G2] entfallen.

7 Hinweise für die weitere Planung und die Bauausführung

7.1 Bodenaustausch / Bodenverbesserung

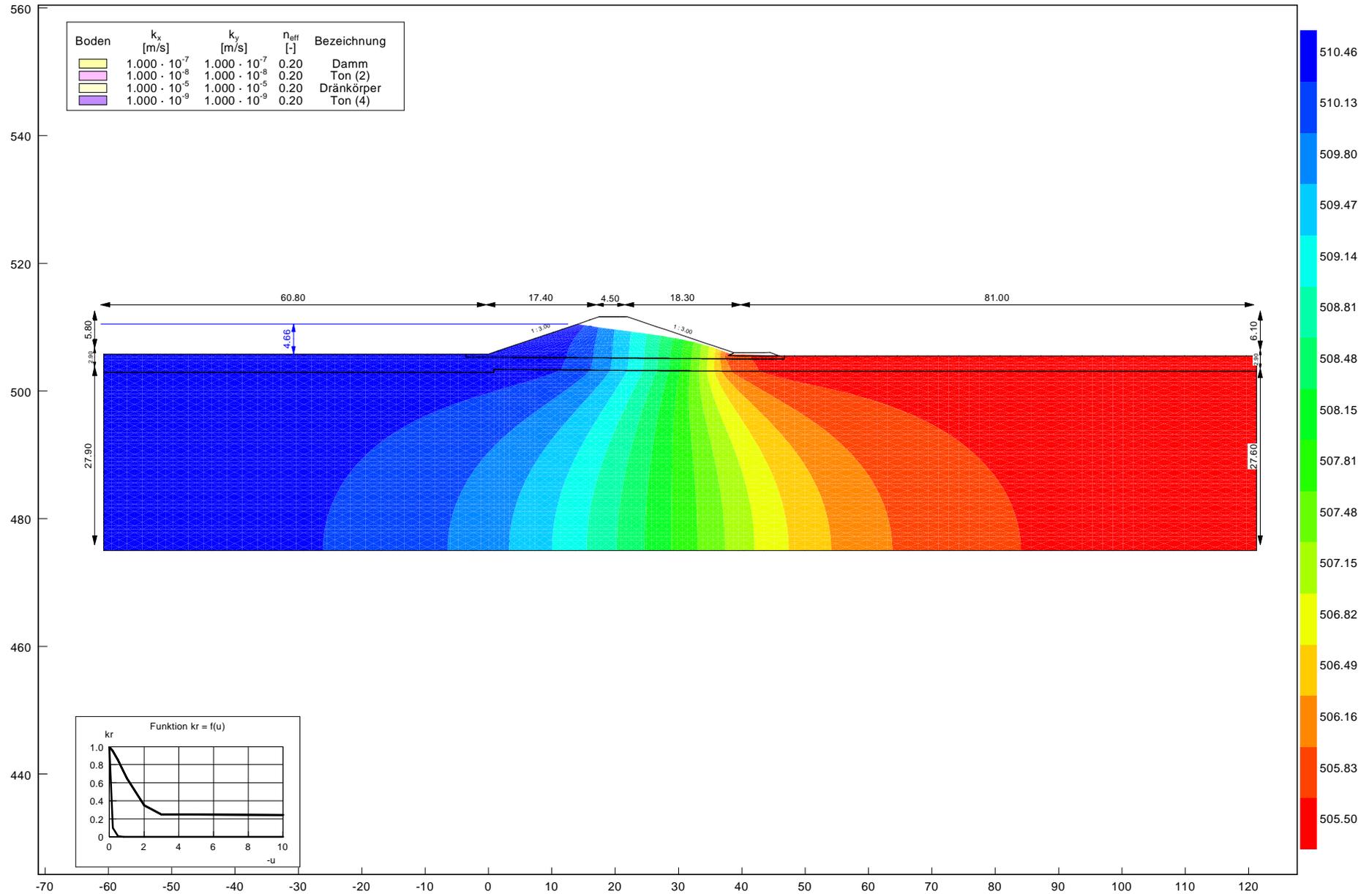
Der Baugrund wird laut geotechnischem Bericht [G1] und [G2] als nicht tragfähig eingestuft.

Der Einbau des von IMH [G1] vorgeschlagenen Geogitters ist laut GHB [G2] nicht möglich, da die angetroffenen Böden in zu weicher Konsistenz vorliegen, um eine ausreichende Verankerung des Geogitters sicherstellen zu können.

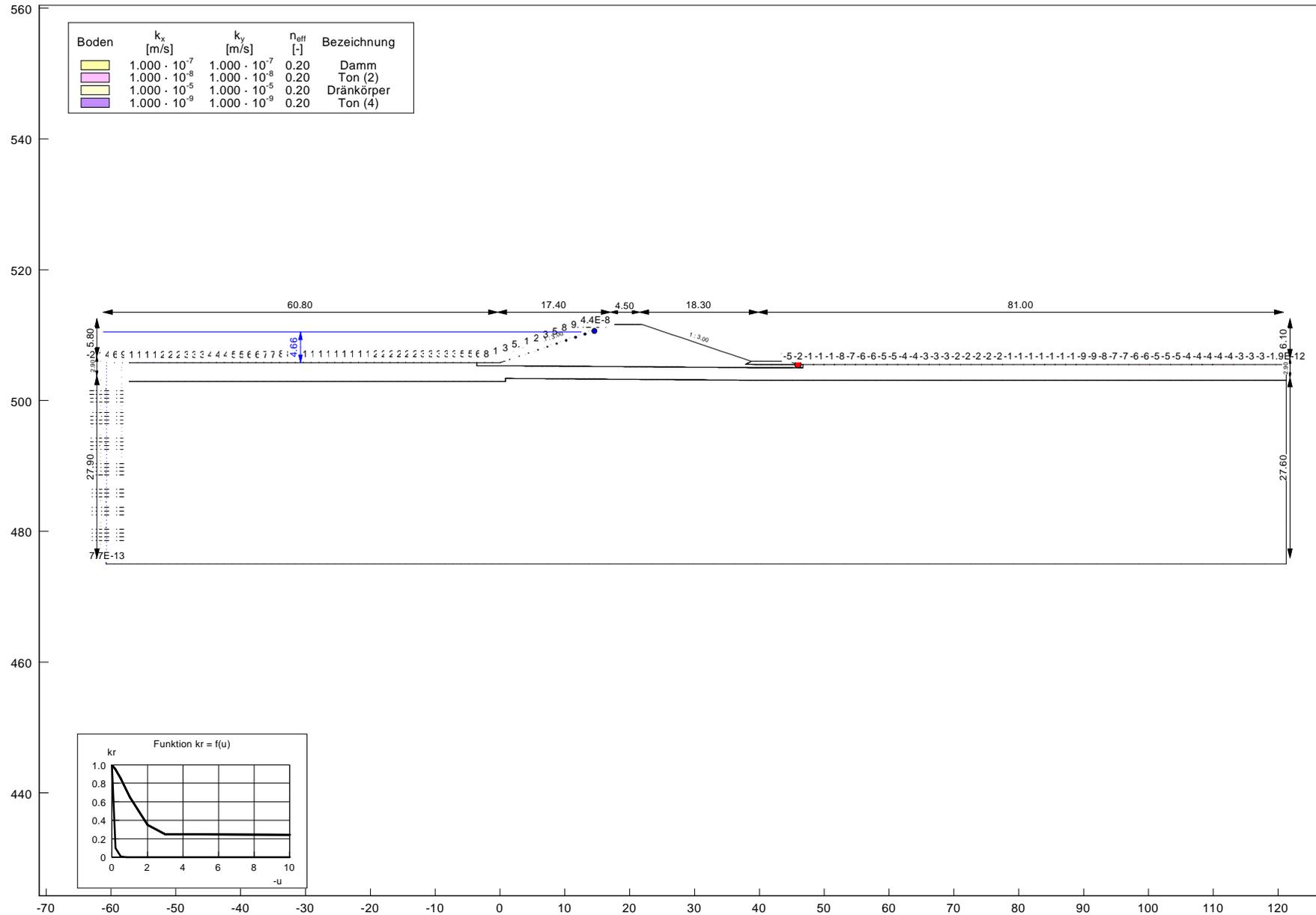
Es wird daher empfohlen die Tragfähigkeit der Dammaufstandsfläche mittels einer 80 bis 160 cm starken Kalkung des Bodens zu verbessern. Die Kalkung des Bodens soll in 40 cm dicken Lagen erfolgen und ist gemäß [G2] abhängig von der Dammhöhe.

Zudem soll gemäß [G2] eine dauerhaft im Boden verbleibende Spundwand eine Unterströmung des westlichen Dammbereichs verhindern. In dem Bereich westlich des Durchlassbauwerks stehen gemäß [G1] und [G2] durchlässige Kiese und Sande unter dem geplanten Damm an.

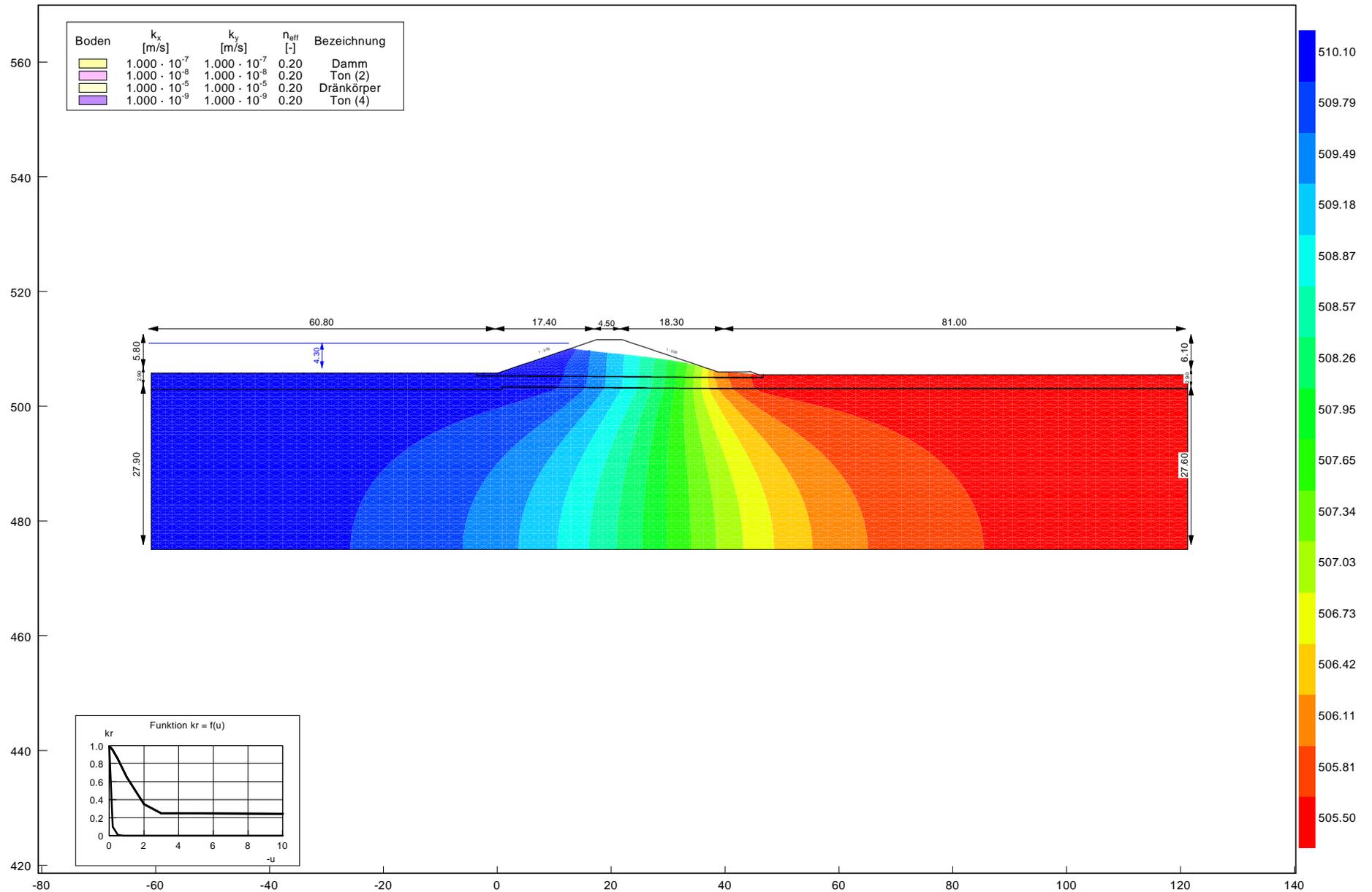
Anlage 2 Potentialverteilung BS-A.1



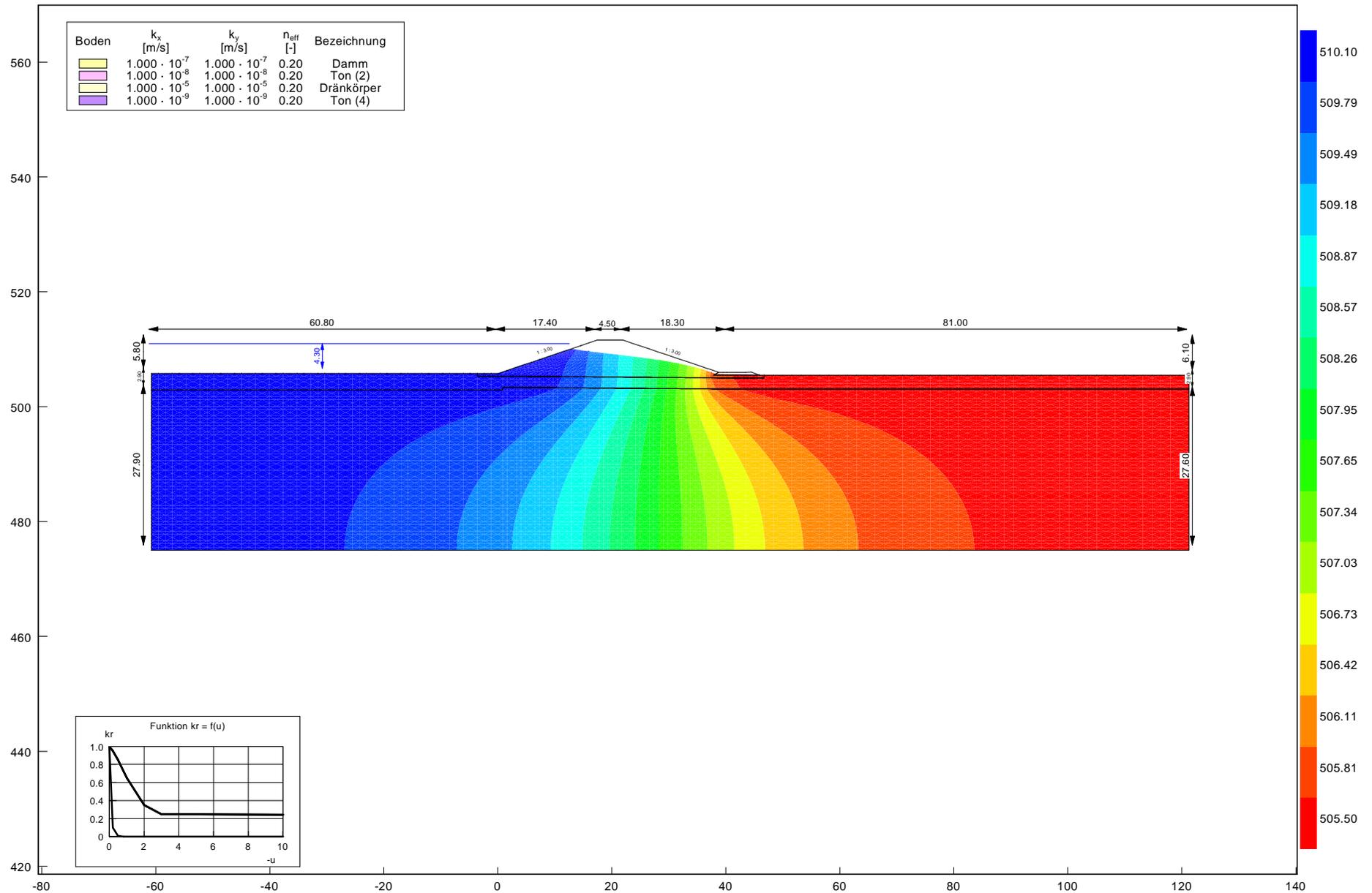
Anlage 2 Wassermenge BS-A.1



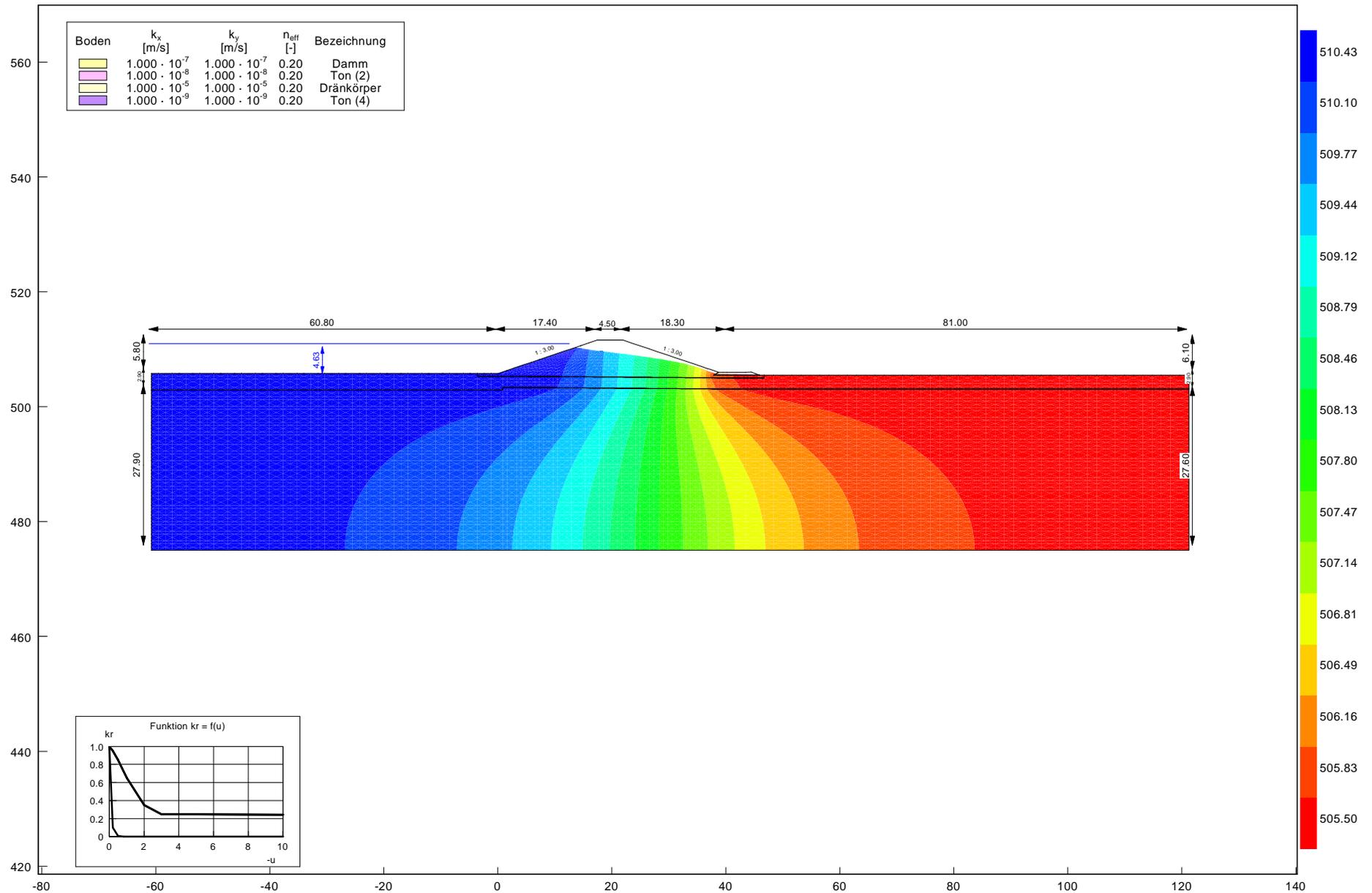
Anlage 2 Potentialverteilung BS-A.2



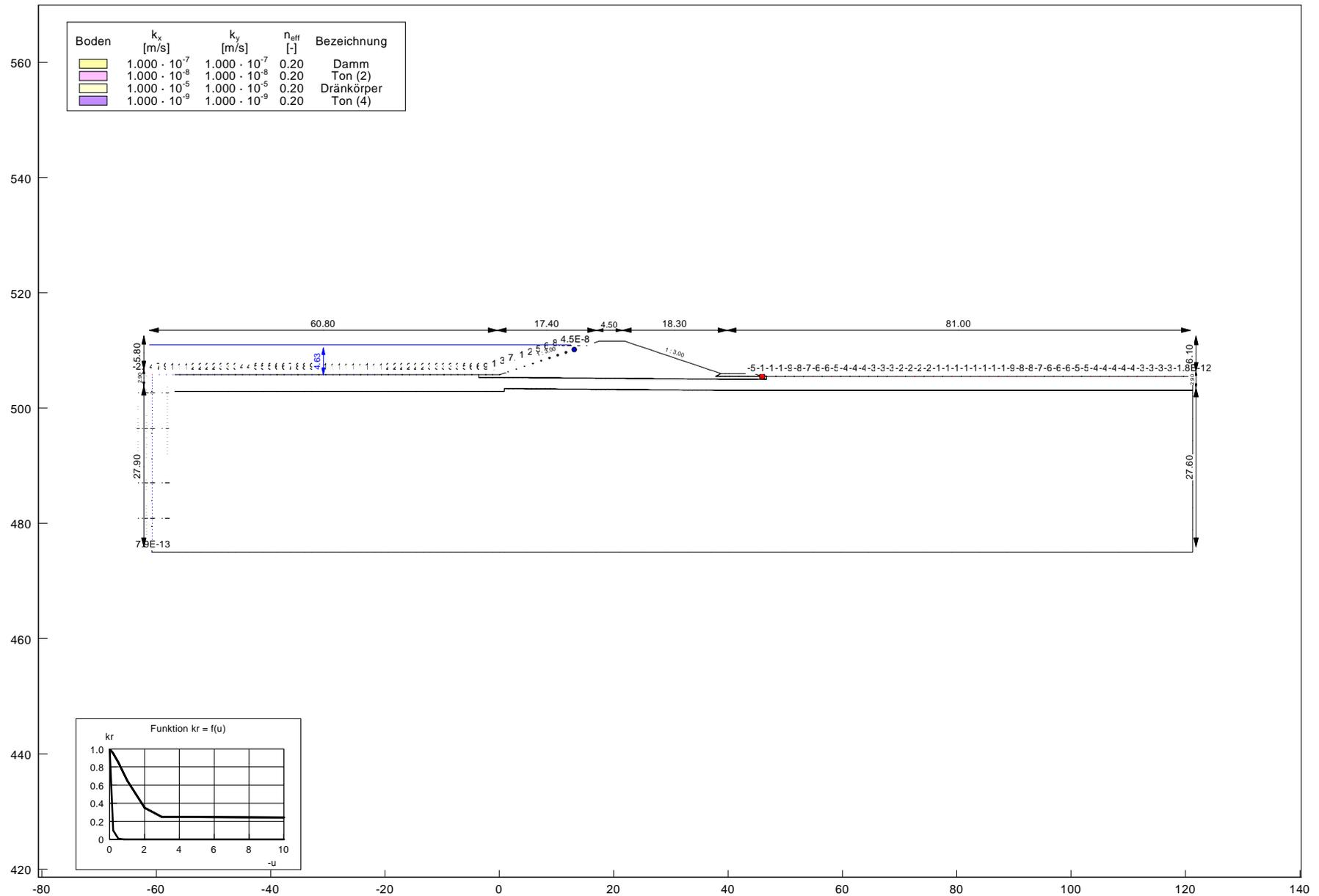
Anlage 2 Potentialverteilung BS-P.1



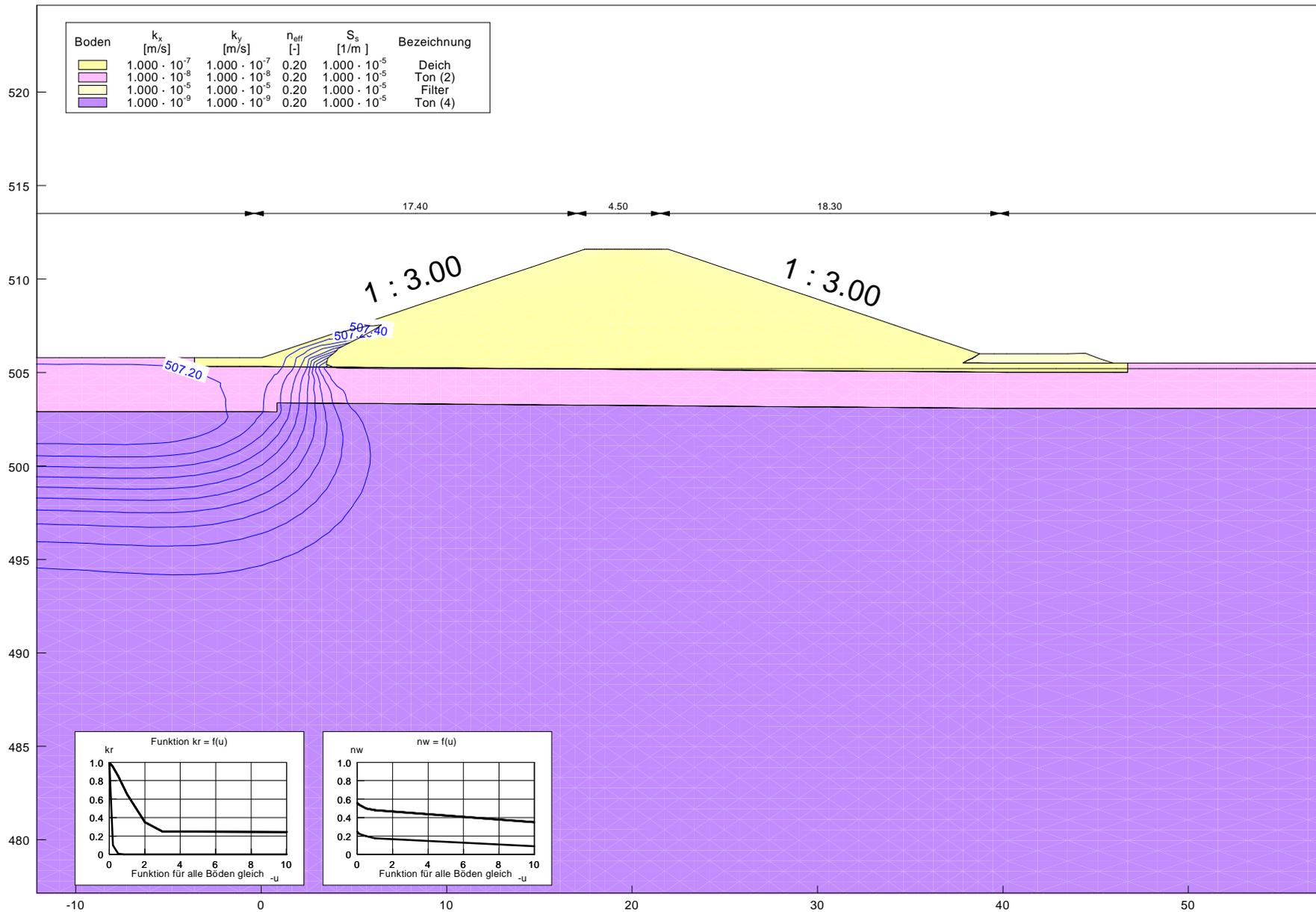
Anlage 2 Potentialverteilung BS-T.1



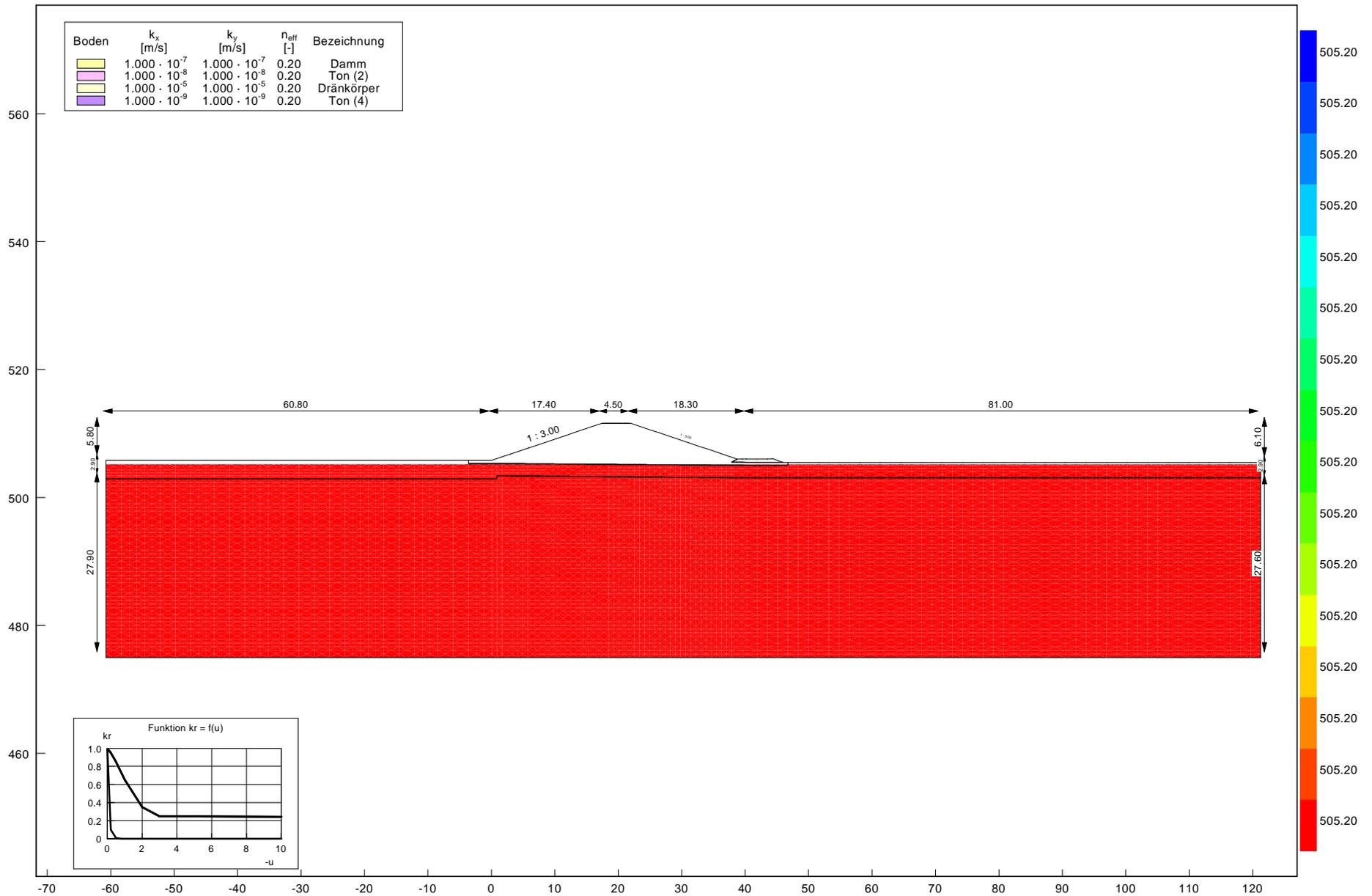
Anlage 2 Wassermenge BS-T.1



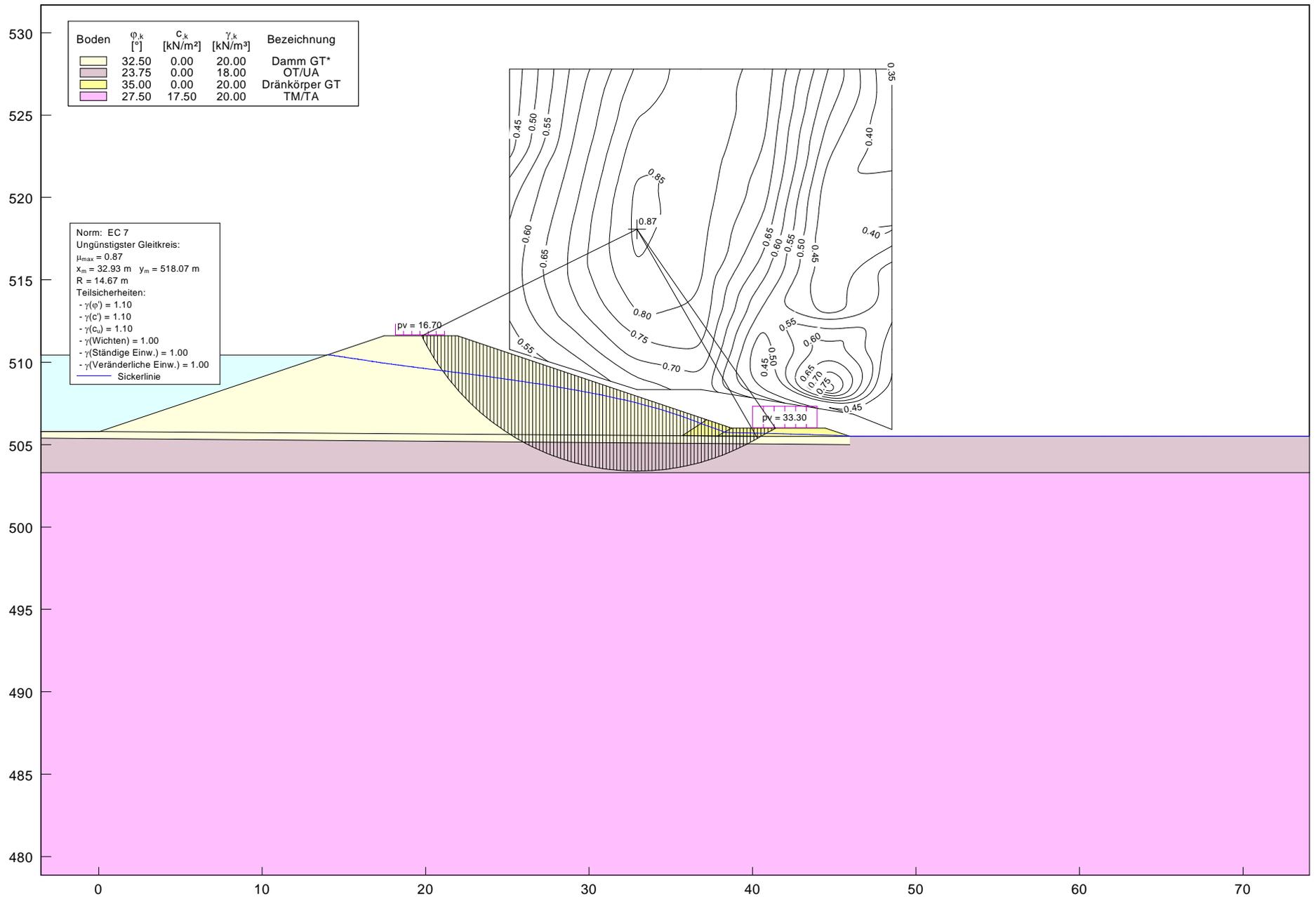
Anlage 2 Potentialverteilung BS-T.2



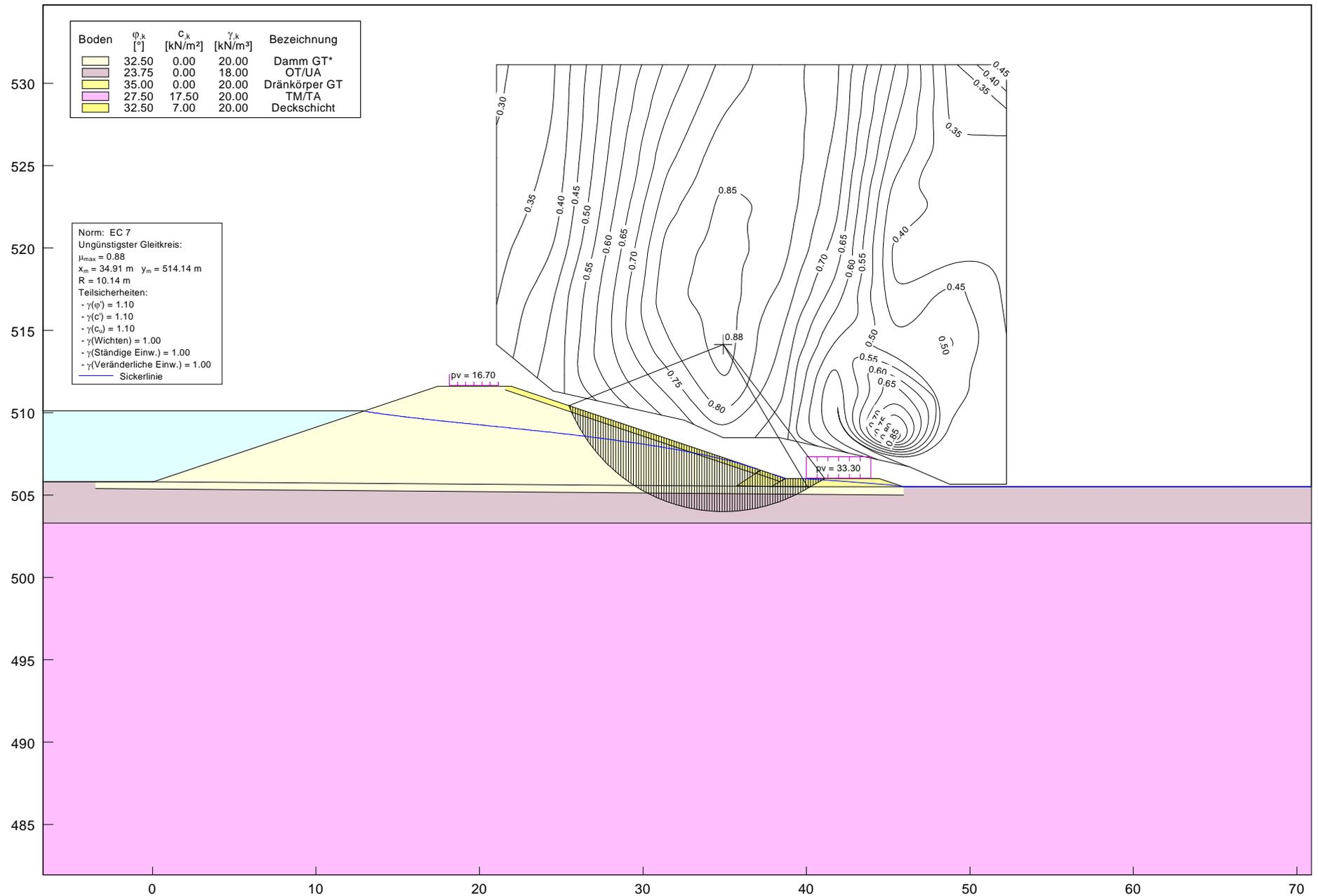
Anlage 2 Potentialverteilung BS-T.3



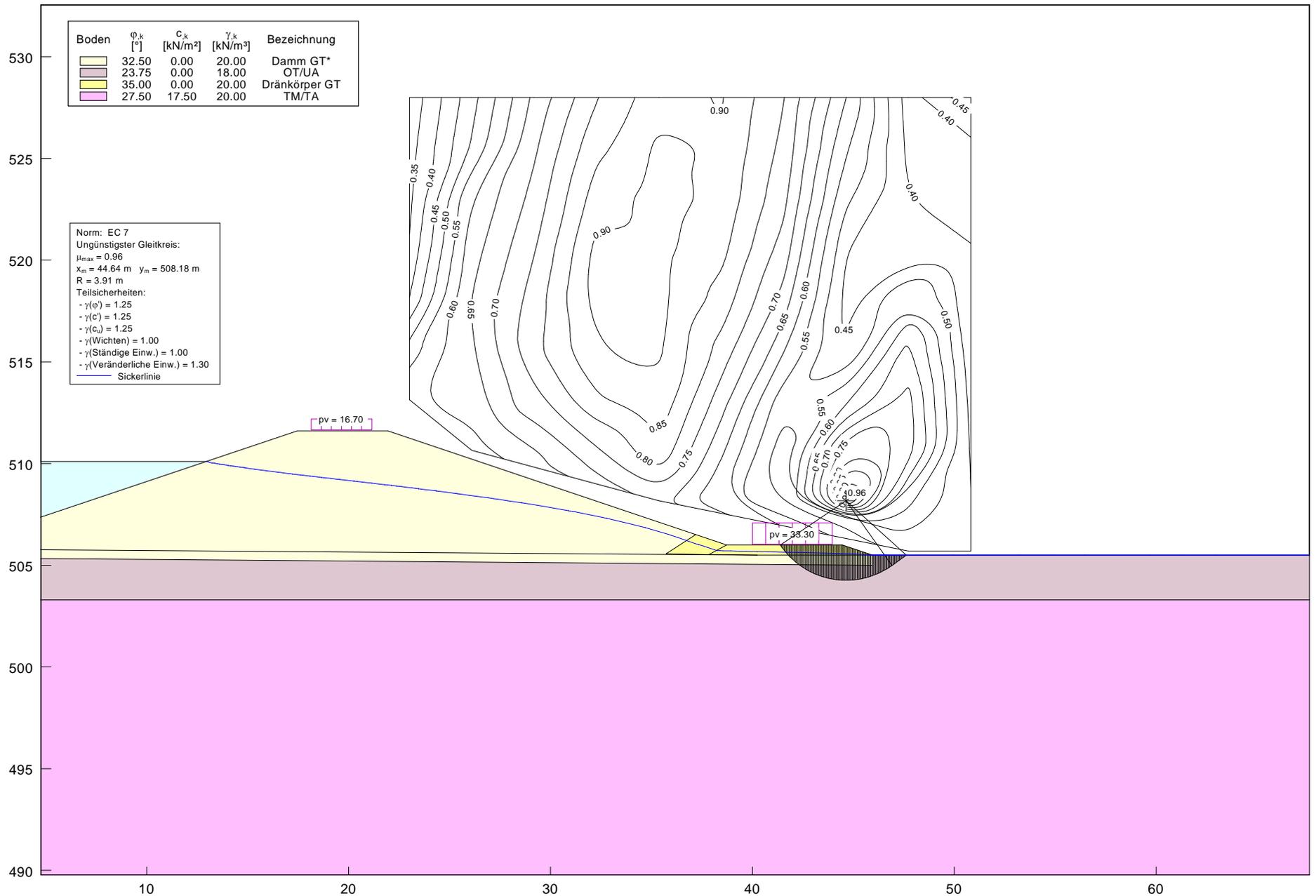
Anlage 3 Böschungsbruch BS-A.1



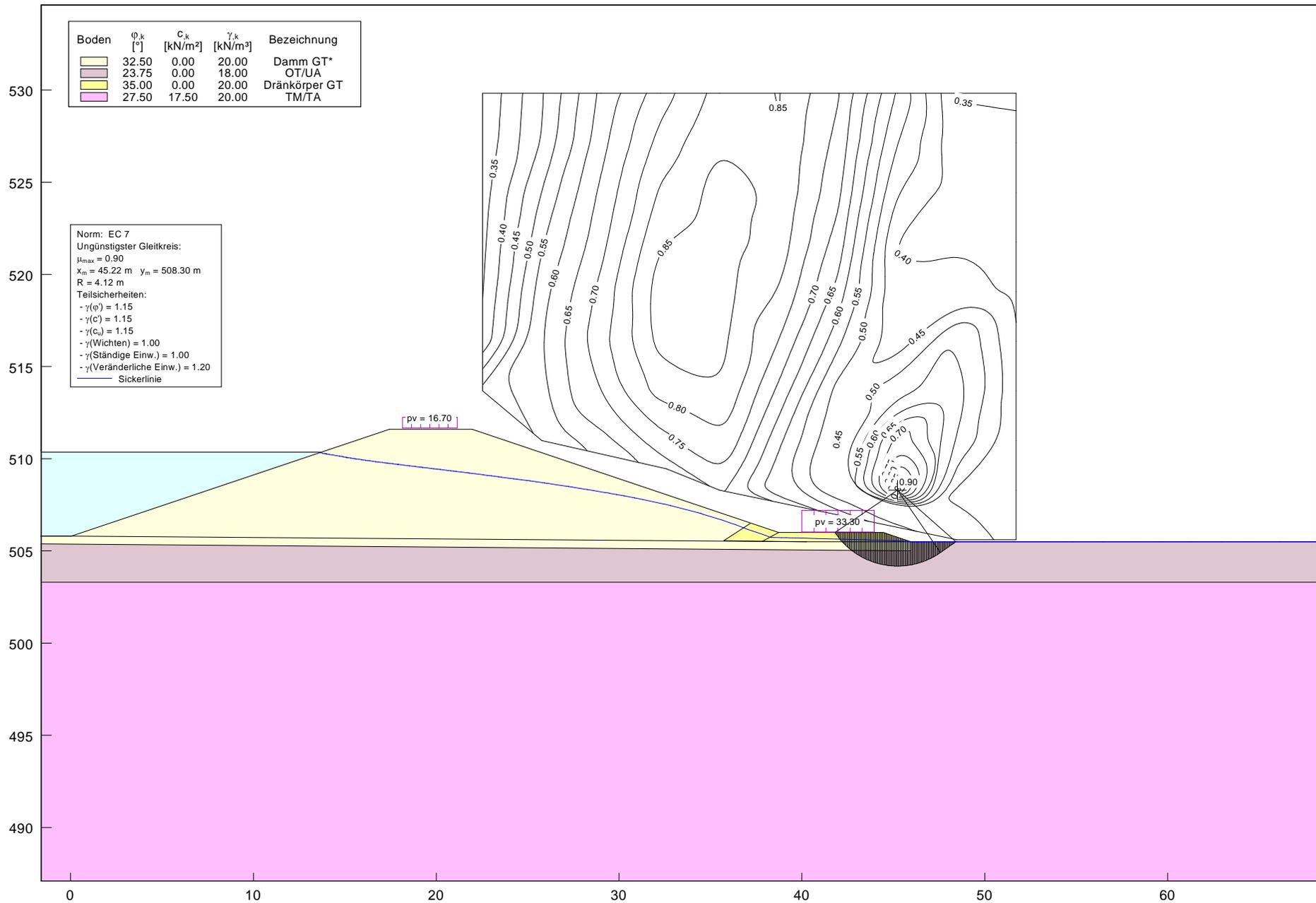
Anlage 3 Böschungsbruch BS-A.2



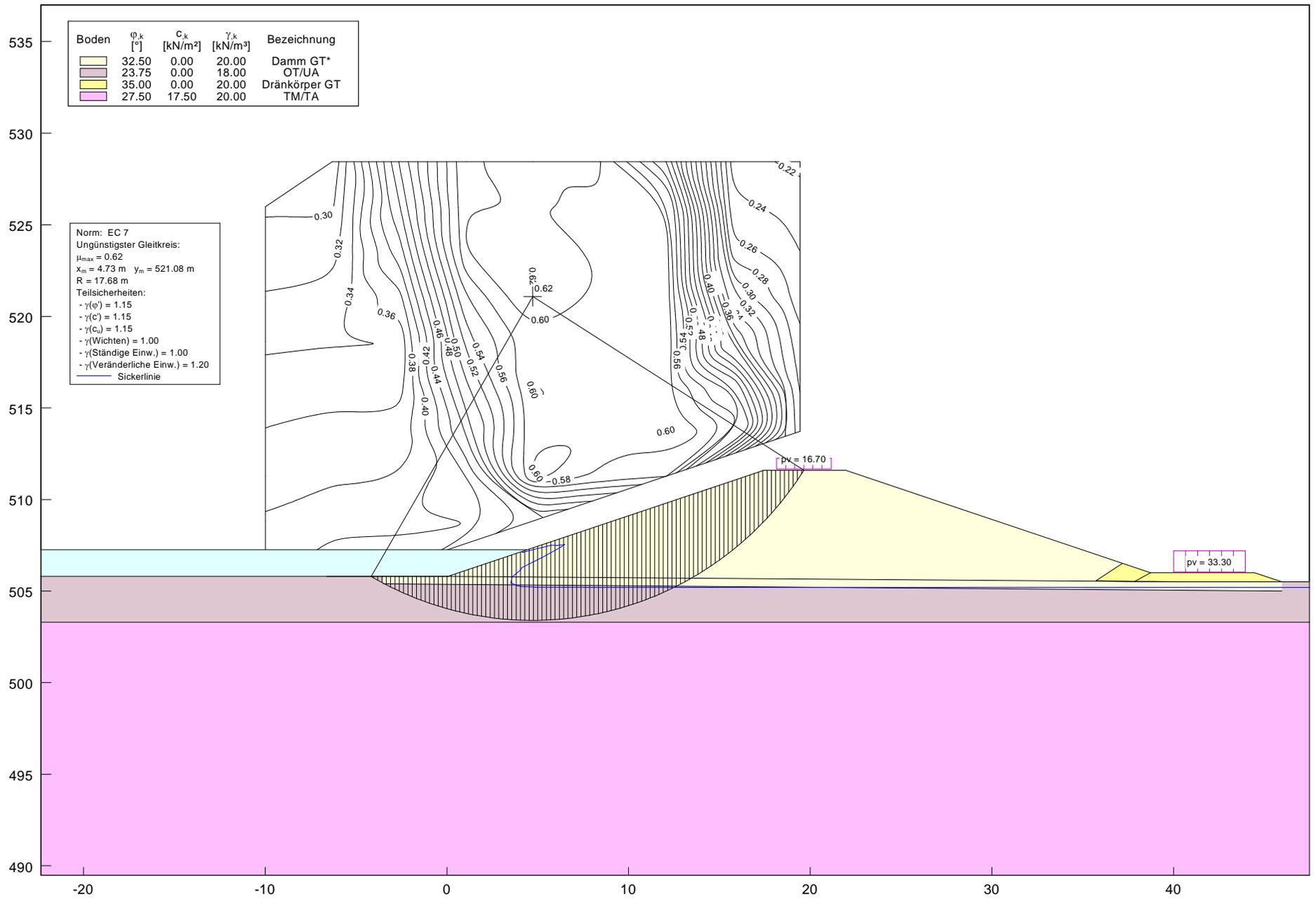
Anlage 3 Böschungsbruch BS-P.1



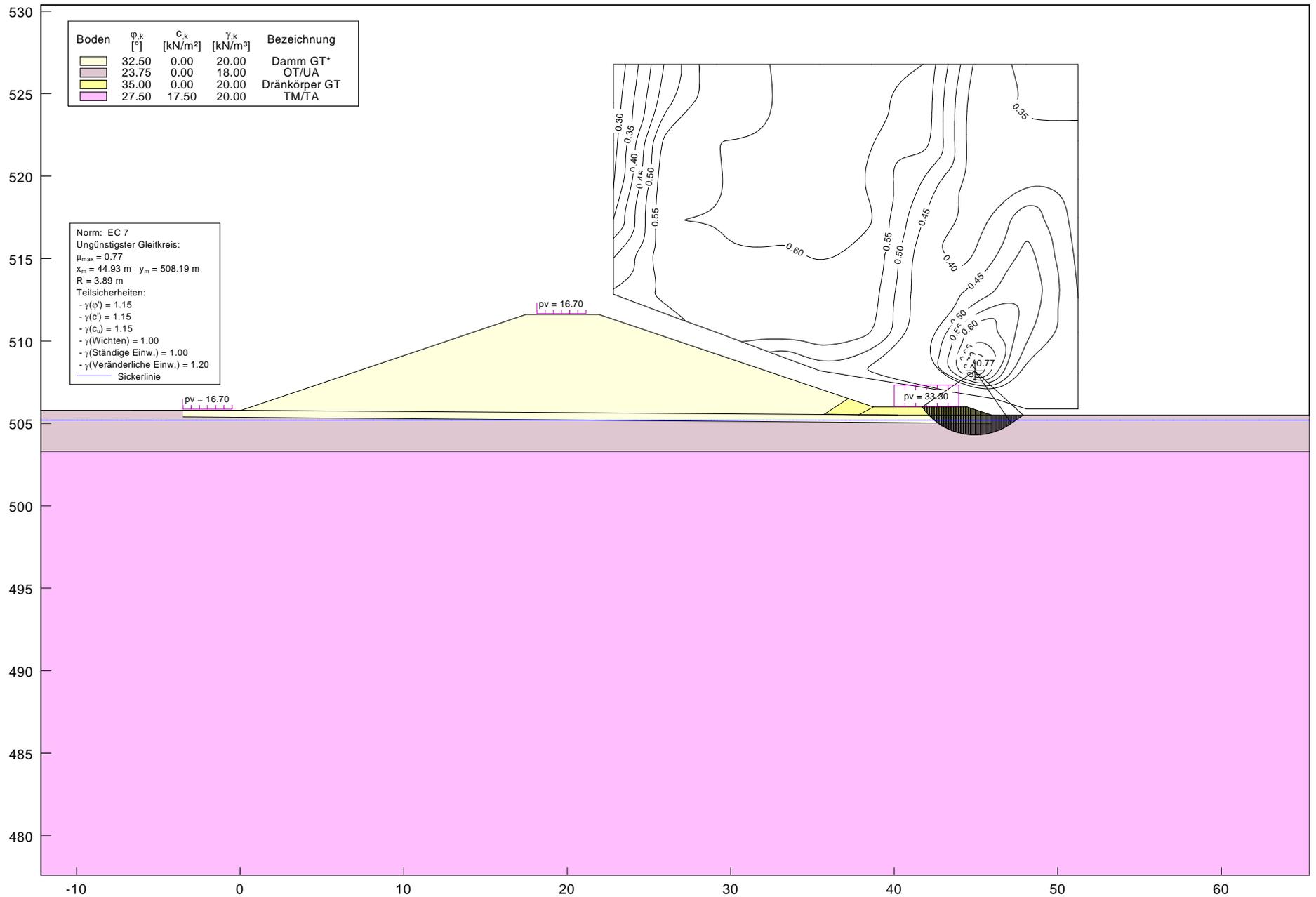
Anlage 3 Böschungsbruch BS-T.1



Anlage 3 Böschungsbruch BS-T.2



Anlage 3 Böschungsbruch BS-T.3 Endzustand



Anlage 3 Böschungsbruch BS-T.3 Anfangszustand

