

Projekt 2527.01

Hochwasserschutz Nittenau

Freistaat Bayern, vertreten durch das
Wasserwirtschaftsamt Weiden

Stand sicherheitsnachweise

Nr. 2527.01_3_07_00

Geotechnische Nachweise der Deichbauwerke im
Rahmen der Entwurfsplanung (Entwurfsstatik)

Objekte 1, 2 und 6



SCHLEGEL
Beratende Ingenieure

Vorhabensträger:

Freistaat Bayern, vertreten durch das
WWA Weiden
Am langen Steg 5
92637 Weiden

Tragwerksplaner:

Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG
Guntherstraße 29
80639 München

München, den 09.12.2019

ppa. R. Wach
(Projektleiter)

i.A. K. Heuberger
(Objektplaner)

Indextabelle:

Rev.	Datum	Art der Änderung
01		
02		
03		
04		
05		

Inhaltsverzeichnis Standsicherheitsberechnung

1	Veranlassung	1
2	Zielsetzung	1
3	Grundlagen	2
4	Anzusetzende Beanspruchungen	3
4.1	Veränderliche Einwirkungen	3
4.2	Außergewöhnliche Einwirkungen	3
4.3	Bemessungswasserstände	3
4.4	Bemessungssituationen nach DIN 19712	4
5	Baugrundbericht	5
5.1	Bodenkennwerte	5
5.2	Baugrundaufschlüsse	6
6	Standsicherheitsnachweise HWS Deich	8
6.1	Deichbauwerk Objekt 1	8
6.1.1	Sickerlinie	8
6.1.2	Nachweis der globalen Standsicherheit	9
6.1.2.1	Böschungsbruch	9
6.1.2.2	Gleitsicherheit des Deichkörpers	11
6.1.3	Nachweis der lokalen Standsicherheit	11
6.1.3.1	Bereich der land- und wasserseitigen Böschung	11
6.1.3.2	Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)	12
6.1.3.3	Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	13
6.1.4	Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport	14
6.1.4.1	Kontakterosion und Suffosion	14
6.1.4.2	Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)	14
6.1.5	Gebrauchstauglichkeit	15
6.1.5.1	Setzungen	15

6.2	Deichbauwerk Objekt 2	16
6.2.1	Sickerlinie	16
6.2.2	Nachweis der globalen Standsicherheit	17
6.2.2.1	Böschungsbruch	17
6.2.2.2	Gleitsicherheit des Deichkörpers	19
6.2.3	Nachweis der lokalen Standsicherheit	19
6.2.3.1	Bereich der land- und wasserseitigen Böschung	19
6.2.3.2	Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)	20
6.2.3.3	Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	21
6.2.4	Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport	22
6.2.4.1	Kontakterosion und Suffosion	22
6.2.4.2	Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)	22
6.2.5	Gebrauchstauglichkeit	23
6.2.5.1	Setzungen	23
6.3	Deichbauwerk Objekt 6	24
6.3.1	Sickerlinie	24
6.3.2	Nachweis der globalen Standsicherheit	25
6.3.2.1	Böschungsbruch	25
6.3.2.2	Gleitsicherheit des Deichkörpers	27
6.3.3	Nachweis der lokalen Standsicherheit	27
6.3.3.1	Bereich der land- und wasserseitigen Böschung	27
6.3.3.2	Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)	29
6.3.3.3	Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	30
6.3.4	Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport	31
6.3.4.1	Kontakterosion und Suffosion	31
6.3.4.2	Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)	31
6.3.5	Gebrauchstauglichkeit	32
6.3.5.1	Setzungen	32
6.4	Zusätzliche Bemessungssituationen	33
7	Zusammenfassung	34
7.1	Übersicht der geführten Nachweise	34
7.2	Globale Standsicherheit	36
7.3	Lokale Standsicherheit	36
7.4	Sicherheit gegen Materialtransport	37
7.5	Gebrauchstauglichkeit	37
7.6	Angesetzte Verkehrslasten	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	RKS 7 - Bohrung für Objekt 6	6
Abbildung 2:	RKS 12 - Bohrung für Objekt 2	7
Abbildung 3:	RKS 14 - Bohrung für Objekt 1	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakteristische Bodenkennwerte für Untergrund (Quelle: [G1] und [G2])	5
Tabelle 2:	Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])	10
Tabelle 3:	Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1	10
Tabelle 4:	Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])	18
Tabelle 5:	Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1	18
Tabelle 6:	Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])	26
Tabelle 7:	Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1	26
Tabelle 8:	Ausnutzungsgrade für Böschungsbruchberechnungen der Sonderquerschnitte	33
Tabelle 9:	Zusammenstellung der geführten Nachweise	35

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	GGU Ausdrücke
Anlage 1.1	Objekt 1 BS-P.1
Anlage 1.2	Objekt 1 BS-P.2
Anlage 1.3	Objekt 1 BS-A.1
Anlage 1.4	Objekt 1 BS-A.2
Anlage 1.5	Objekt 2 BS-P.1
Anlage 1.6	Objekt 2 BS-P.2
Anlage 1.7	Objekt 2 BS-A.1
Anlage 1.8	Objekt 2 BS-A.2
Anlage 1.9	Objekt 6 BS-P.1
Anlage 1.10	Objekt 6 BS-P.2
Anlage 1.11	Objekt 6 BS-A.1
Anlage 1.12	Objekt 6 BS-P.1 Nachweis der Erforderlichkeit einer Innendichtung
Anlage 1.13	Objekt 6 BS-P.1 Nachweis der Erforderlichkeit eines Bodenaustauschs
Anlage 2	Antwortenkatalog vom Baugrundgutachter (Piewak & Partner)

1 Veranlassung

Der Freistaat Bayern, vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Weiden, plant den Hochwasserschutz am Regen (Gewässer I. Ordnung) für die Stadt Nittenau. Ziel ist die Realisierung des Hochwasserschutzes für die Bebauung am linken Ufer des Regens für ein 100-jährliches Hochwasserereignis zuzüglich Klimafaktor (15%).

Mit dem Ingenieurvertrag vom 05.06.2014 wurde die ARGE Schlegel/aquasoli beauftragt, die erforderlichen Ingenieurleistungen bis zur Genehmigungsplanung zu erbringen.

2 Zielsetzung

Die Standsicherheit der Hochwasserschutzdeiche der Objekte 1, 2 und 6 wird im Rahmen dieses Berichtes untersucht.

3 Grundlagen

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] BAW-M (MSD), Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen, 2011
- [U9] DIN 4020, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, 2010
- [U10] DIN 19712, Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern
- [U11] Henner Türke, Statik im Erdbau

Verwendete Pläne:

- [P1] Hochwasserschutz Nittenau, Lagepläne Objekt 1, Objekt 2 und Objekt 6, ARGE Schlegel/aquasoli, Siegsdorf, Oktober 2019
- [P2] Hochwasserschutz Nittenau, Querschnitte Objekt 1, Objekt 2 und Objekt 6, ARGE Schlegel/aquasoli, Siegsdorf, Oktober 2019

Verwendete Gutachten:

- [G1] Baugrunduntersuchung, Nittenau, Hochwasserfreilegung, Piewak & Partner GmbH, Bayreuth, 31.07.2015
- [G2] Antwortenkatalog vom Baugrundgutachter, Piewak & Partner GmbH, 20.10.2015

Weitergehende Vorschriften und Richtlinien werden bei Bedarf (z.B. DWA-Merkblätter, BAW-Merkblätter) herangezogen.

4 Anzusetzende Beanspruchungen

4.1 Veränderliche Einwirkungen

Entsprechend der Planung sind folgende Verkehrslasten anzusetzen:

Für den Deichkronenweg bei Objekt 2:	(SLW 60)	$p = 33,3 \text{ kN/m}^2$
Für sonstige Deichkronenwege:	(SLW 30)	$p = 16,7 \text{ kN/m}^2$
Für den Sondernachweis:	(SLW 9)	$p = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Die angesetzte Verkehrslast auf der Deichkrone für die Standsicherheitsnachweise entspricht einem SLW 60 bei Objekt 2. Für Objekt 1 und 6 wurde ein SLW 30 angesetzt. Lediglich bei dem Nachweis der Erforderlichkeit einer Innendichtung (zusätzliche Bemessungssituation) wurde ein SLW 9 angesetzt.

4.2 Außergewöhnliche Einwirkungen

Das Stadtgebiet Nittenau liegt im Bereich der Erdbebenzone 0 sowie der Untergrundklasse S gemäß DIN EN 1998-1/NA:2011-01 [U4]. Ein Nachweis „Erdbeben“ nach DIN EN 1998 [U4] ist nicht erforderlich.

4.3 Bemessungswasserstände

Die Wasserstände des hundertjährigen Hochwassers wurden den Querschnitten des Deiches aus [P2] entnommen.

Da die genaue Lage des Grundwassersstandes bei Hochwasser nicht bekannt ist, wird ein Grundwasserstand auf der luftseitigen Geländeoberkante für die Berechnungen angesetzt. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite.

4.4 Bemessungssituationen nach DIN 19712

Bei der Wahl der maßgebenden Bemessungssituationen wurde DIN 19712 Tabelle 5 [U6] berücksichtigt.

Bei allen Bemessungssituationen gehen die Eigen- sowie Auflasten und die Verkehrslasten in die Berechnung mit ein. Zusätzliche Einflüsse werden nachfolgend aufgeführt.

Ständige Situationen (BS-P)

BS-P.1: Beanspruchungen durch das Bemessungshochwasser BHW (HQ100+15%)

BS-P.2: Beanspruchungen durch aus BHW (HQ100+15%) fallender Wasserspiegel

Vorübergehende Situationen (BS-T)

BS-T.1: Beanspruchungen durch BauHW entfallen, da beim BauHW wasser- und landseitig der gleiche Wasserspiegel erzeugt wird, durch offenes Siel

Außergewöhnliche Situationen (BS-A)

BS-A.1: Beanspruchungen durch Wasserstand „bordvoll“

BS-A.2: Beanspruchungen infolge Versagens von Dichtungen bzw. Dräns wird berücksichtigt durch gerade Sickerlinie vom WSP zur luftseitigen Böschung und GW-Stand auf Höhe der luftseitigen Geländeoberkanten.

BS-A.3: Beanspruchungen durch BauHW und infolge versagen von Dichtungen bzw. Dräns entfallen, wie unter BS-T.1 beschrieben.

Zusammenfassend werden die Bemessungssituationen BS-P.1, BS-P.2, BS-A.1 und BS-A.2 untersucht.

5 Baugrundbericht

Die für die Berechnungen verwendete Bodenkennwerte sowie Bohrungen gemäß Baugrundgutachten (siehe [G1] und [G2]) werden im Folgenden aufgeführt.

5.1 Bodenkennwerte

Bodenart	Auffüllung	bindige Deckschichten	gemischtkörnige Deckschichte	grobkörnige Böden	Fels verwittert
Bodengruppe nach DIN 18196	-	TM / UL, TL / (OU / HZ)	SU, GU, GT, ST / SU*	SW, SE / GE, GW	-
Bodenklassen nach DIN 18300	-	4 / 4 / 4 / 2	3 / 4	3	6 (7)
Konsistenz / Lagerung	weich	überwiegend weich - steif	überwiegend locker - mitteldicht	überwiegend mitteldicht	mürb - sehr mürb z.T. hart
Wichte [kN/m ³] nach DIN 1055, erdfeucht	17	19-19,5 / 20-20,5 / 14-17 / 11-13	18-20 / 20-20,5	17-19 / 18-20	22-23
Wichte [kN/m ³] unter Auftrieb nach DIN 1055	7	9-9,5 / 10-10,5 / 4-7 / 1-3	10-12 / 10-10,5	7-9 / 8-10	12-13
Reibungswinkel φ'_k [°] nach DIN 1055	15	22,5 / 27,5 / 15/15	32,5-35 / 27,5	30-35	45**
Kohäsion c'_k [kN/m ²] nach DIN 1055	0	0-5 / 0-2 / 0 / 0	0	-	**
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	3	3-5 (1)	30-100 / 5-10	40-100	50-500
Wasserdurchlässigkeit k_f [m/s]	10 ⁻³	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁷	5x10 ⁻³ -10 ⁻⁴	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹ bei starker Klüftung > 10 ⁻⁴
Frostempfindlichkeitskl. ZTWE-StB 94	-	F3	F2 / F3	F1	F2 (F3)

Tabelle 1: Charakteristische Bodenkennwerte für Untergrund (Quelle: [G1] und [G2])

** Ersatzreibungswinkel

5.2 Baugrundaufschlüsse

Es wurden die folgenden drei Bohrung für die drei Objekte angesetzt. Der Schichtenverlauf wurde dabei für die Berechnung des Böschungsbruchs über den gesamten Querschnitt horizontal verlaufend angenommen.

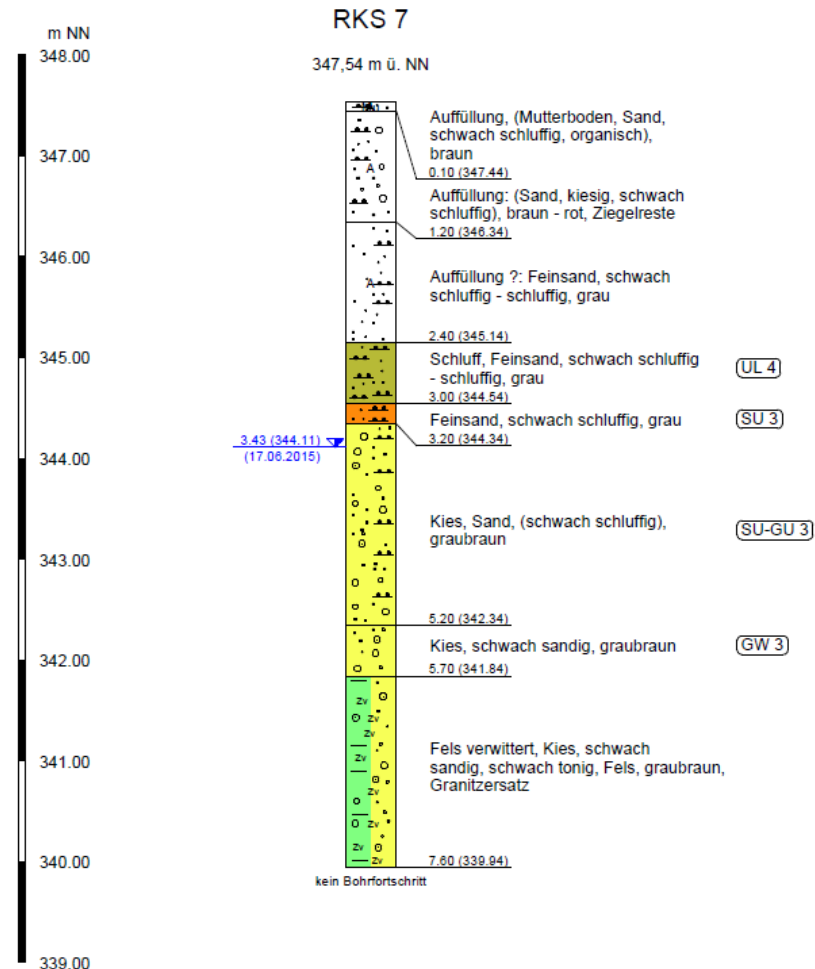


Abbildung 1: RKS 7 - Bohrung für Objekt 6

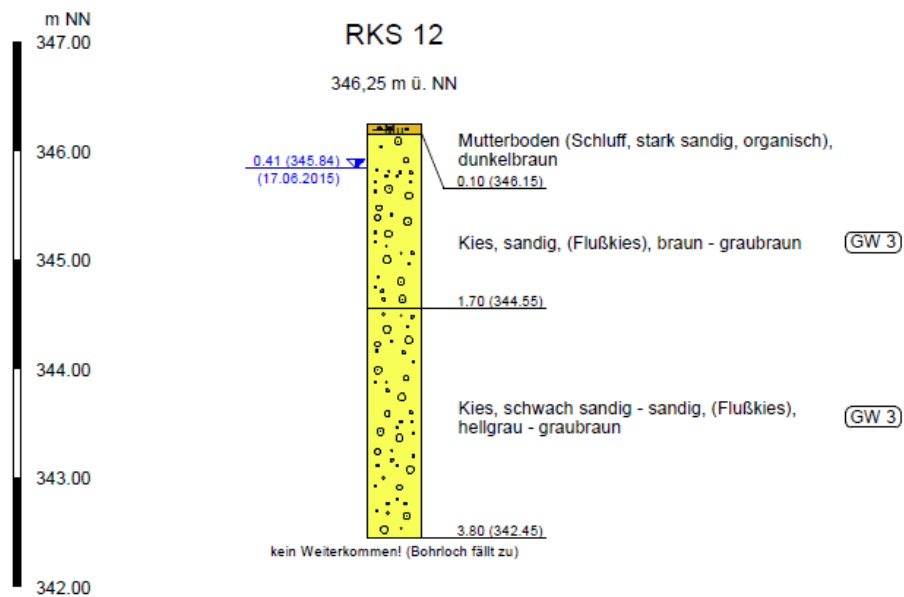


Abbildung 2: RKS 12 - Bohrung für Objekt 2

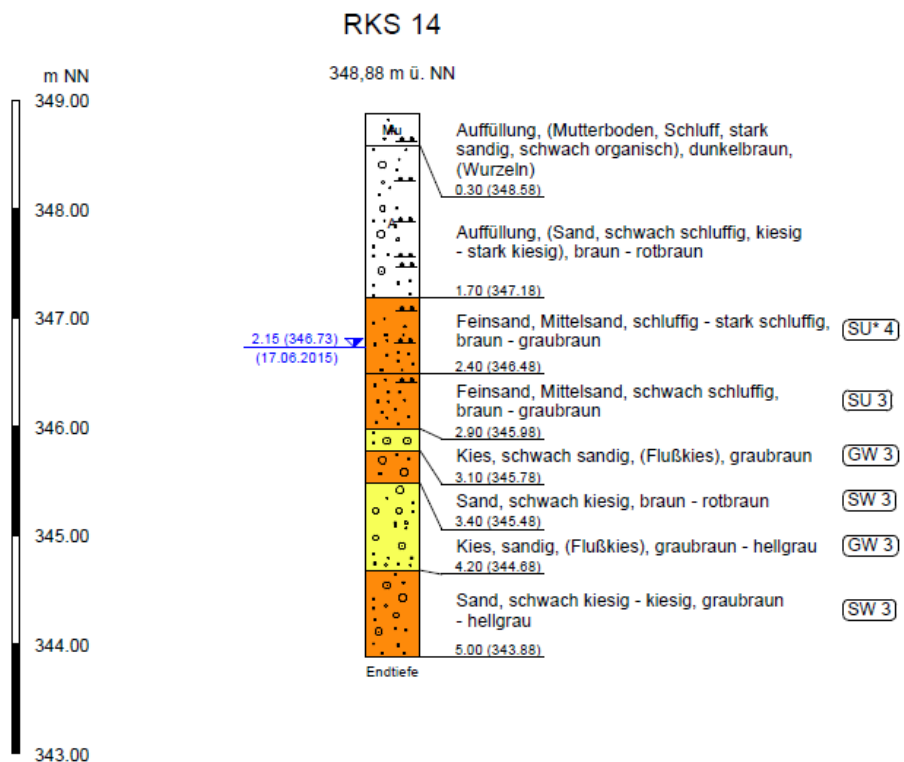


Abbildung 3: RKS 14 - Bohrung für Objekt 1

6 Standsicherheitsnachweise HWS Deich

6.1 Deichbauwerk Objekt 1

Der geplante Deich (Objekt 1) reicht von Bau-km 0+000 bis ca. 0+200. Dieser Deich wird beidseitig von einem 5 m breiten Schutzstreifen begleitet. Ein Schachtbauwerk inklusive Schöpfstelle quert den Deich bei Bau-km ca. 0+100. Der Deich wird mit Böschungsneigungen von 1:3 und einer Deichkronenbreite von 3,5 m ausgeführt. Dieser Abschnitt hat eine maximale Deichhöhe von kleiner gleich 3 m über dem landseitigen Böschungsfuß. Eine Innendichtung in Form einer Spundwand wird vorgesehen.

Als Verkehrslast wird beim Deichbauwerk Objekt 1 ein SLW 30 angesetzt.

Der Deich des Objektes 1 muss gemäß DIN 19712 der Deichklasse I zugeordnet werden, da das Schadenspotential als hoch anzusehen ist. Auf Grund der Deichhöhe von kleiner gleich 3 m kann der Mindestfreibord auf 0,5 m festgelegt werden. In den verwendeten Plänen wird auf der sicheren Seite liegend ein Freibord von 0,7 m vorgesehen.

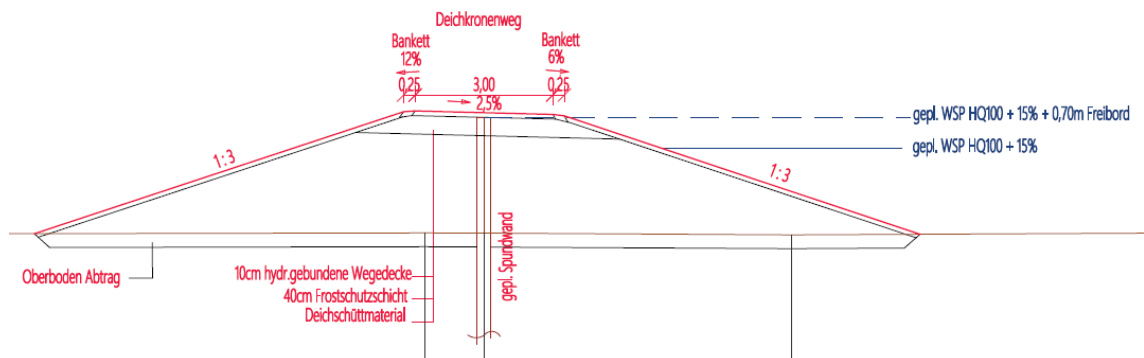


Abbildung 1: Objekt 1 Regelquerschnitt

6.1.1 Sickerlinie

Die Wasserstände werden entsprechend Kapitel 4.3 angesetzt. Auf der Luftseite wird auf der sicheren Seite von einem Grundwasserstand auf Höhe GOK ausgegangen (siehe BS-A.2).

Für die Bemessungssituation BS-P.2 „Beanspruchungen durch schnell fallenden Wasserspiegel“ wurde ein Wasserspiegel angenommen, welcher um 0,1 m niedriger liegt als die Sickerlinie im Deich. Dieser Wasserspiegelsunk trat bei dem Hochwasser am Regen im August 2002 auf (siehe www.gkd.bayern.de).

6.1.2 Nachweis der globalen Standsicherheit

6.1.2.1 Böschungsbruch

Die Böschungsbruchberechnungen werden mit dem Programm GGU STABILITY Version 12.16 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 [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.

Die aufgeschlossenen Bodenschichten der Bohrungen werden über den gesamten Querschnitt horizontal verlängert.

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN EN 1997 (EC 7) [U2] bzw. DWA-M 542 [U6] werden 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 dränier- ten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' bzw. c_u des dränierten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10
ANMERKUNG				
a) Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.				

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])

Die folgende Tabelle enthält die GGU Berechnungsergebnisse des Deiches von Objekt 1 (siehe Anlagen 1.1-1.4)

Bemessungssituation	Böschung	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$
BS-P.1	Luftseite	0,73
BS-P.2	Wasserseite	0,86
BS-A.1	Luftseite	0,73
BS-A.2	Luftseite	0,90

Tabelle 3: Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1

6.1.2.2 Gleitsicherheit des Deichkörpers

Der Nachweis der Gleitsicherheit des Deichkörpers ist nicht erforderlich, da eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird. Durch den Scherwiderstand der Spundwand ist der Nachweis der Gleitsicherheit in jedem Fall erfüllt.

6.1.3 Nachweis der lokalen Standsicherheit

6.1.3.1 Bereich der land- und wasserseitigen Böschung

Der Nachweis der lokalen Standsicherheit wird für das Deichmaterial auf der sicheren Seite ohne den Ansatz einer Kohäsion mit dem Nachweis der land- und wasserseitigen Böschung gegen oberflächennahen Bruch 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

$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi$

β = Böschungswinkel

Objekt 1 – Nachweis gegen oberflächennahen Bruch

a) Luftseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'_k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,33$$

$$\beta = 18,4^\circ$$

Die Sickerlinie kann in der Bemessungssituation BS-A.2 aus der Böschung austreten.

Daraus folgt:

$$\text{Oberhalb der Sickerlinie: } \tan 18,4^\circ = 0,33 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 18,4^\circ = 0,33 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass ein Sickerwasseraustritt in der luftseitigen Deichböschung nicht zu erwarten ist, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand vorgesehen wird. Falls es dennoch zu Sickerwasseraustritten kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

b) Wasserseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'_k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,33$$

$$\beta = 18,4^\circ$$

Die Sickerlinie tritt in der Bemessungssituation BS-P.2 aus der Böschung aus.

Daraus folgt:

$$\text{oberhalb der Sickerlinie: } \tan 18,4^\circ = 0,33 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 18,4^\circ = 0,33 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, falls es zu einem schnellen Absinken des Wasserspiegels kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

6.1.3.2 Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis wird entsprechend Statik im Erdbau; Türke [U11] geführt:

Objekt 1 – Nachweis der Spreizsicherheit

a) Luftseite

Die Innendichtung wird als funktionsfähig angesetzt, so dass mit keiner landseitigen Belastung durch Strömungsdruck zu rechnen ist.

$$\text{Reibungswinkel des Deichbaumaterials: } \varphi_D = 32,5^\circ$$

$$\text{Böschungsneigung } \beta = 18,4^\circ$$

$$\text{Ebene Deichaufstandsfläche } \alpha = 0 ; \delta_a = 0$$

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

Untergrund: $\varphi = 27,5^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / K_{ah} \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 27,5^\circ / 0,38 \cdot \tan 18,4^\circ = \underline{4,12 > 1,3} \end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit erfüllt ist.

b) Wasserseite (schnelles WSP Absinken)

Bei schnellem Absinken des WSP wird eine wasserseitige Belastung durch Strömungsdruck erzeugt, die einen negativen Einfluss auf die Spreizsicherheit haben kann.

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi_D = 32,5^\circ$

Böschungsneigung $\beta = 18,4^\circ$

Ebene Deichaufstandsfläche $\alpha = 0$; $\delta_a = 0$

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

Deich: $\gamma'_D = 10,0 \text{ kN/m}^3$

Untergrund: $\varphi = 27,5^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / (K_{ah} + \gamma_w / \gamma'_D) \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 27,5^\circ / (0,38 + 10/10) \cdot \tan 18,4^\circ = \underline{1,13 > 1,0} \end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit auch unter Auftrieb erfüllt ist.

6.1.3.3 Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Es wird eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht. Aus diesem Grund ist der Nachweis der Lagesicherheit (Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch) an dieser Stelle nicht erforderlich.

6.1.4 Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport

6.1.4.1 Kontakterosion und Suffosion

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

Kontakterosion

Die Spundwand unterbricht sowohl Kontakterosion an der Schichtgrenze von fein- zu grobkörnigen Böden als auch parallel zur Schichtgrenze verlaufende Kontakterosion.

Die Kontakterosion entlang des Schachtbauwerks im Deich des Objektes 1 wird durch eine konstruktive lückenlose Verbindung von Spundwand und Bauwerk ausgeschlossen.

Suffosion

Eine Gefährdung durch Suffosion kann aufgrund der vorgesehenen Spundwand ausgeschlossen werden.

6.1.4.2 Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)

Gemäß der DIN 19712 kann der Vorgang der Fugenerosion auftreten, wenn z.B. im Kontaktbereich Bauwerk/Boden Imperfektionen (Hohlräume) bestehen, in denen es bei einem entsprechenden hydraulischen Kurzschluss zu Erosionsvorgängen kommen kann. Imperfektionen in der Deichaufstandsfläche wurden vom Baugrundgutachter [G1] nicht vorgefunden.

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da zusätzlich eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

6.1.5 Gebrauchstauglichkeit

6.1.5.1 Setzungen

Die maximalen Setzungen des Deiches Objekt 1 können wie folgt abgeschätzt werden:

$$s = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s$$

h = Schütthöhe in m

γ = Wichte des Deichbaumaterial in kN/m³

E_s = Steifemodul des Deichbaumaterials in kN/m²

Die Setzungen für den Hochwasserschutzdeich inklusive Bodenaustausch betragen demnach:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$h_{\max} \approx 3,5 \text{ m}$$

$$E_s = 45.000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\text{Deich}} = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s = 20 \cdot 3,5^2 / 2 \cdot 45.000 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,27 \text{ cm}$$

Die Setzung im Untergrund aufgrund der Zusatzbelastung errechnet sich wie folgt:

Hierfür getroffene Annahmen/Vereinfachungen:

- Sohlspannung σ in Dammmitte: $\Delta\sigma = \gamma_{\text{Deich}} \cdot h = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,5 \text{ m} = 70 \text{ kN/m}^2$
- Steifemodul $E_{s, \text{Sand}} = 65.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 30 – 100 MN/m², gemischtkörnige Deckschichten siehe [G1])
- Steifemodul $E_{s, \text{Kies}} = 70.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 40 – 100 MN/m², grobkörnige Böden siehe [G1])
- Abnahme der Spannungen mit der Tiefe wird vernachlässigt

$$s_{\text{Untergrund}} = \Delta\sigma \cdot d_{\text{Sand}} / E_{s, \text{Sand}} + \Delta\sigma \cdot d_{\text{Kies}} / E_{s, \text{Kies}} = 70 \cdot 1,2 / 65.000 + 70 \cdot 6,0 / 70.000 = 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,73 \text{ cm}$$

$$s_{\text{gesamt}} = s_{\text{Deich}} + s_{\text{Untergrund}} = 0,27 \text{ cm} + 0,73 \text{ cm} = 1,00 \text{ cm}$$

Die auftretenden Setzungen beim HWS Deich des Objektes 1 wurden im Deichbaumaterial mit 0,27 cm und im Untergrund mit 0,73 cm abgeschätzt. Die gesamten Setzungen ergeben sich somit zu 1,0 cm.

6.2 Deichbauwerk Objekt 2

Der geplante Deich (Objekt 2) reicht von Bau-km ca. 0+400 bis ca. 0+750. Dieser Deich wird beidseitig von einem 5 m breiten Schutzstreifen begleitet. Bereichsweise sind Sitzsteine in die landseitige Böschung des Deiches integriert. Eine Drainageleitung sowie ein neuer Regenwasserkanal verlaufen abschnittsweise entlang der landseitigen Böschung. Der Deich wird mit Böschungsneigungen von 1:3 und einer Deichkronenbreite von 4,0 m ausgeführt. Dieser Abschnitt hat eine maximale Deichhöhe von kleiner gleich 3,5 m über dem landseitigen Böschungsfuß. Eine Innendichtung in Form einer Spundwand wird vorgesehen. Diese wird in diesem Abschnitt landseitig der Spundwand durch einen Versatz um ca. 1,2 m nach unten geplant. Der Bereich des Versatzes wird mit einer Gabionenverkleidung versehen.

Als Verkehrslast wird beim Deichbauwerk Objekt 2 ein SLW 60 angesetzt.

Der Deich des Objektes 2 muss gemäß DIN 19712 der Deichklasse I zugeordnet werden, da das Schadenspotential als hoch anzusehen ist. Auf Grund der Deichhöhe von kleiner gleich 3,5 m kann der Mindestfreibord auf ca. 0,63 m festgelegt werden. In den verwendeten Plänen wird auf der sicheren Seite liegend ein Freibord von 0,7 m vorgesehen.

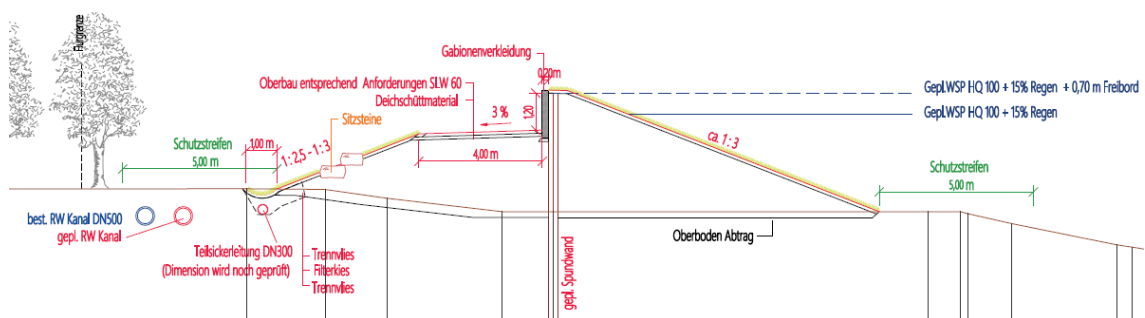


Abbildung 2: Objekt 2 Regelquerschnitt

6.2.1 Sickerlinie

Die Wasserstände werden entsprechend Kapitel 4.3 angesetzt. Auf der Luftseite wird auf der sicheren Seite von einem Grundwasserstand auf Höhe GOK ausgegangen (siehe BS-A.2).

Für die Bemessungssituation BS-P.2 „Beanspruchungen durch schnell fallenden Wasserspiegel“ wurde ein Wasserspiegel angenommen, welcher um 0,1 m niedriger liegt als die Sickerlinie im Deich. Dieser Wasserspiegelsunk trat bei dem Hochwasser am Regen im August 2002 auf (siehe www.gkd.bayern.de).

6.2.2 Nachweis der globalen Standsicherheit

6.2.2.1 Böschungsbruch

Die Böschungsbruchberechnungen werden mit dem Programm GGU STABILITY Version 12.16 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 [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.

Bei bestehenden Deichen oder Dämmen kann ein Oberboden mit einer Durchwurzelungskohäsion bei dichtem lückenlosen Grasbewuchs mit einem charakteristischen Wert von maximal $c_{w,k} = 7 \text{ kN/m}^2$ in einer oberflächennahen, 0,2 m dicken Schicht berücksichtigt werden (gemäß [U8]). Dieser Deich ist jedoch kein bestehender Deich. Bei der Bemessungssituation BS-P.2 wird ein Oberboden mit einer Durchwurzelungskohäsion auf der Wasserseite von 2 kN/m^2 angesetzt. Es ist darauf zu achten, dass eine Ansaat direkt im Anschluss an den Bau des Deiches aufgebracht wird. Ohne die Grasnarbe wäre diese Bemessungssituation lokal nicht standsicher. (siehe Anlage 1.6)

Die aufgeschlossenen Bodenschichten der Bohrungen werden über den gesamten Querschnitt horizontal verlängert.

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN EN 1997 (EC 7) [U2] bzw. DWA-M 542 [U6] werden 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 dränier- ten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' bzw. c_u des dränierten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10
ANMERKUNG				
a) Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.				

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])

Die folgende Tabelle enthält die GGU Berechnungsergebnisse des Deiches von Objekt 2 (siehe Anlagen 1.5-1.8).

Bemessungssituation	Böschung	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$
BS-P.1	Luftseite	0,86
BS-P.2	Wasserseite	0,90
BS-A.1	Luftseite	0,88
BS-A.2	Luftseite	0,99

Tabelle 5: Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1

6.2.2.2 Gleitsicherheit des Deichkörpers

Der Nachweis der Gleitsicherheit des Deichkörpers ist nicht erforderlich, da eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird. Durch den Scherwiderstand der Spundwand ist der Nachweis der Gleitsicherheit in jedem Fall erfüllt.

6.2.3 Nachweis der lokalen Standsicherheit

6.2.3.1 Bereich der land- und wasserseitigen Böschung

Der Nachweis der lokalen Standsicherheit wird für das Deichmaterial auf der sicheren Seite ohne den Ansatz einer Kohäsion mit dem Nachweis der land- und wasserseitigen Böschung gegen oberflächennahen Bruch 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

$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi$

β = Böschungswinkel

Objekt 2 – Nachweis gegen oberflächennahen Bruch

a) Luftseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'_k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,39$$

$$\beta = 21,3^\circ$$

Die Sickerlinie kann in der Bemessungssituation BS-A.2 aus der Böschung austreten.

Daraus folgt:

$$\text{Oberhalb der Sickerlinie: } \tan 21,3^\circ = 0,39 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 21,3^\circ = 0,39 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass ein Sickerwasseraustritt in der luftseitigen Deichböschung nicht zu erwarten ist, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand vorgesehen wird. Falls es dennoch zu Sickerwasseraustritten kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

b) Wasserseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,39$$

$$\beta = 21,3^\circ$$

Die Sickerlinie tritt in der Bemessungssituation BS-P.2 aus der Böschung aus.

Daraus folgt:

$$\text{oberhalb der Sickerlinie: } \tan 21,3^\circ = 0,39 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 21,3^\circ = 0,39 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, falls es zu einem schnellen Absinken des Wasserspiegels kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

6.2.3.2 Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis wird entsprechend Statik im Erdbau; Türke [U11] geführt:

Objekt 2 – Nachweis der Spreizsicherheit

a) Luftseite

Die Innendichtung wird als funktionsfähig angesetzt, so dass mit keiner landseitigen Belastung durch Strömungsdruck zu rechnen ist.

$$\text{Reibungswinkel des Deichbaumaterials: } \varphi_D = 32,5^\circ$$

$$\text{Böschungsneigung } \beta = 21,3^\circ$$

$$\text{Ebene Deichaufstandsfläche } \alpha = 0 ; \delta_a = 0$$

$$K_{ah} = [\cos 32,5^\circ / 1 + \sqrt{(\sin 32,5^\circ \cdot \sin (32,5^\circ - 21,3^\circ) / (\cos 21,3^\circ))}]^2 = 0,40$$

Untergrund: $\varphi = 32,5^\circ$

$$\begin{aligned}\text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / K_{ah} \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 32,5^\circ / 0,40 \cdot \tan 21,3^\circ = \underline{4,09 > 1,3}\end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit erfüllt ist.

b) Wasserseite (schnelles WSP Absinken)

Bei schnellem Absinken des WSP wird eine wasserseitige Belastung durch Strömungsdruck erzeugt, die einen negativen Einfluss auf die Spreizsicherheit haben kann.

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi_D = 32,5^\circ$

Böschungsneigung $\beta = 21,3^\circ$

Ebene Deichaufstandsfläche $\alpha = 0$; $\delta_a = 0$

$$K_{ah} = [\cos 32,5^\circ / 1 + \sqrt{(\sin 32,5^\circ \cdot \sin (32,5^\circ - 21,3^\circ) / (\cos 21,3^\circ))}]^2 = 0,40$$

Deich: $\gamma'_D = 10,0 \text{ kN/m}^3$

Untergrund: $\varphi = 32,5^\circ$

$$\begin{aligned}\text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / (K_{ah} + \gamma_w / \gamma'_D) \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 32,5^\circ / (0,40 + 10/10) \cdot \tan 21,3^\circ = \underline{1,17 > 1,0}\end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit auch unter Auftrieb erfüllt ist.

6.2.3.3 Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Es wird eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht. Aus diesem Grund ist der Nachweis der Lagesicherheit (Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch) an dieser Stelle nicht erforderlich.

6.2.4 Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport

6.2.4.1 Kontakterosion und Suffosion

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

Kontakterosion

Die Spundwand unterbricht sowohl Kontakterosion an der Schichtgrenze von fein- zu grobkörnigen Böden als auch parallel zur Schichtgrenze verlaufende Kontakterosion.

Suffosion

Eine Gefährdung durch Suffosion kann aufgrund der vorgesehenen Spundwand ausgeschlossen werden.

6.2.4.2 Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)

Gemäß der DIN 19712 kann der Vorgang der Fugenerosion auftreten, wenn z.B. im Kontaktbereich Bauwerk/Boden Imperfektionen (Hohlräume) bestehen, in denen es bei einem entsprechenden hydraulischen Kurzschluss zu Erosionsvorgängen kommen kann. Imperfektionen in der Deichaufstandsfläche wurden vom Baugrundgutachter [G1] nicht vorgefunden.

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da zusätzlich eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

6.2.5 Gebrauchstauglichkeit

6.2.5.1 Setzungen

Die maximalen Setzungen des Deiches Objekt 2 können wie folgt abgeschätzt werden:

$$s = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s$$

h = Schütthöhe in m

γ = Wichte des Deichbaumaterial in kN/m³

E_s = Steifemodul des Deichbaumaterials in kN/m²

Die Setzungen für den Hochwasserschutzdeich inklusive Bodenaustausch betragen demnach:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$h_{\max} \approx 4,0 \text{ m}$$

$$E_s = 45.000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\text{Deich}} = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s = 20 \cdot 4,0^2 / 2 \cdot 45.000 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,36 \text{ cm}$$

Die Setzung im Untergrund aufgrund der Zusatzbelastung errechnet sich wie folgt:

Hierfür getroffene Annahmen/Vereinfachungen:

- Sohlspannung σ in Dammmitte: $\Delta\sigma = \gamma_{\text{Deich}} \cdot h = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 4,0 \text{ m} = 80 \text{ kN/m}^2$
- Steifemodul $E_{s, \text{Kies}} = 70.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 40 – 100 MN/m², grobkörnige Böden siehe [G1])
- Abnahme der Spannungen mit der Tiefe wird vernachlässigt

$$s_{\text{Untergrund}} = \Delta\sigma \cdot d_{\text{Kies}} / E_{s, \text{Kies}} = 80 \cdot 5,7 / 70.000 = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,65 \text{ cm}$$

$$s_{\text{gesamt}} = s_{\text{Deich}} + s_{\text{Untergrund}} = 0,36 \text{ cm} + 0,65 \text{ cm} = 1,01 \text{ cm}$$

Die auftretenden Setzungen beim HWS Deich des Objektes 2 wurden im Deichbaumaterial mit 0,36 cm und im Untergrund mit 0,65 cm abgeschätzt. Die gesamten Setzungen ergeben sich somit zu 1,01 cm.

6.3.2 Nachweis der globalen Standsicherheit

6.3.2.1 Böschungsbruch

Die Böschungsbruchberechnungen werden mit dem Programm GGU STABILITY Version 12.16 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 [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.

Bei bestehenden Deichen oder Dämmen kann ein Oberboden mit einer Durchwurzelungskohäsion bei dichtem lückenlosen Grasbewuchs mit einem charakteristischen Wert von maximal $c_{w,k} = 7 \text{ kN/m}^2$ in einer oberflächennahen, 0,2 m dicken Schicht berücksichtigt werden (gemäß [U8]). Dieser Deich ist jedoch kein bestehender Deich. Bei der Bemessungssituation BS-P.2 wird ein Oberboden mit einer Durchwurzelungskohäsion auf der Wasserseite von 2 kN/m^2 angesetzt. Es ist darauf zu achten, dass eine Ansaat direkt im Anschluss an den Bau des Deiches aufgebracht wird. Ohne die Grasnarbe wäre diese Bemessungssituation lokal nicht standsicher. Zusätzlich muss für diesen Lastfall ein Geogitter unterhalb der Deichaufstandsfläche wasserseitig der Spundwand bis zur bestehenden Flussböschung eingebracht werden (siehe Anlage 1.10).

Die aufgeschlossenen Bodenschichten der Bohrungen werden über den gesamten Querschnitt horizontal verlängert.

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN EN 1997 (EC 7) [U2] bzw. DWA-M 542 [U6] werden 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 dränier- ten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' bzw. c_u des dränierten bzw. des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10
ANMERKUNG				
a) Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.				

Tabelle 6: Teilsicherheitsbeiwerte (Quelle: DWA-M 542 [U6])

Die folgende Tabelle enthält die GGU Berechnungsergebnisse des Deiches von Objekt 6 (siehe Anlagen 1.9-1.11).

Bemessungssituation	Böschung	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$
BS-P.1	Luftseite	0,97
BS-P.2	Wasserseite	0,98
BS-A.1	Luftseite	0,97
BS-A.2	Luftseite	Nicht nachgewiesen

Tabelle 7: Ausnutzungsgrade der Böschungsbruchberechnungen am Objekt 1

Die Bemessungssituation BS-A.2 „Versagen der Dichtung“ wird nicht nachgewiesen, da die unter dem Deich anstehenden Auffüllungen wie ein Drainageteppich fungieren und das anfallende Sickerwasser auf kurzem Wege in den kleinen Regen dränieren.

6.3.2.2 Gleitsicherheit des Deichkörpers

Der Nachweis der Gleitsicherheit des Deichkörpers ist nicht erforderlich, da eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird. Durch den Scherwiderstand der Spundwand ist der Nachweis der Gleitsicherheit in jedem Fall erfüllt.

6.3.3 Nachweis der lokalen Standsicherheit

6.3.3.1 Bereich der land- und wasserseitigen Böschung

Der Nachweis der lokalen Standsicherheit wird für das Deichmaterial auf der sicheren Seite ohne den Ansatz einer Kohäsion mit dem Nachweis der land- und wasserseitigen Böschung gegen oberflächennahen Bruch 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

$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi$

β = Böschungswinkel

Objekt 6 – Nachweis gegen oberflächennahen Bruch

a) Luftseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'_k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,40$$

$$\beta = 21,8^\circ$$

Die Sickerlinie kann in der Bemessungssituation BS-A.2 aus der Böschung austreten.

Daraus folgt:

$$\text{Oberhalb der Sickerlinie: } \tan 21,8^\circ = 0,40 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 21,8^\circ = 0,40 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass ein Sickerwasseraustritt in der luftseitigen Deichböschung nicht zu erwarten ist, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand vorgesehen wird. Falls es dennoch zu Sickerwasseraustritten kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

b) Wasserseite

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi'k = 32,5^\circ$

$$\tan \beta = 0,40$$

$$\beta = 21,8^\circ$$

Die Sickerlinie tritt in der Bemessungssituation BS-P.2 aus der Böschung aus.

Daraus folgt:

$$\text{oberhalb der Sickerlinie: } \tan 21,8^\circ = 0,40 \leq \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,51$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist oberhalb des Sickerlinienaustritts erfüllt.

$$\text{unterhalb der Sickerlinie: } \tan 21,8^\circ = 0,40 \leq 0,5 \cdot \tan 32,5^\circ / 1,25 = 0,25$$

Der Nachweis gegen oberflächennahen Bruch ist unterhalb des Sickerlinienaustritts **nicht erfüllt**.

Zusammenfassend wird festgestellt, falls es zu einem schnellen Absinken des Wasserspiegels kommt, können lokale Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts nicht ausgeschlossen werden.

6.3.3.2 Bereich am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis wird entsprechend Statik im Erdbau; Türke [U11] geführt:

Objekt 6 – Nachweis der Spreizsicherheit

a) Luftseite

Die Innendichtung wird als funktionsfähig angesetzt, so dass mit keiner landseitigen Belastung durch Strömungsdruck zu rechnen ist.

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi_D = 32,5^\circ$

Böschungsneigung $\beta = 21,8^\circ$

Ebene Deichaufstandsfläche $\alpha = 0$; $\delta_a = 0$

$$K_{ah} = [\cos 32,5^\circ / 1 + \sqrt{(\sin 32,5^\circ \cdot \sin (32,5^\circ - 21,8^\circ) / (\cos 21,8^\circ))}]^2 = 0,40$$

Untergrund: $\varphi = 15,0^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / K_{ah} \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 15,0^\circ / 0,40 \cdot \tan 21,8^\circ = \underline{1,67} > 1,3 \end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit erfüllt ist.

b) Wasserseite (schnelles WSP Absinken)

Bei schnellem Absinken des WSP wird eine wasserseitige Belastung durch Strömungsdruck erzeugt, die einen negativen Einfluss auf die Spreizsicherheit haben kann.

Reibungswinkel des Deichbaumaterials: $\varphi_D = 32,5^\circ$

Böschungsneigung $\beta = 21,8^\circ$

Ebene Deichaufstandsfläche $\alpha = 0$; $\delta_a = 0$

$$K_{ah} = [\cos 32,5^\circ / 1 + \sqrt{(\sin 32,5^\circ \cdot \sin (32,5^\circ - 21,8^\circ) / (\cos 21,8^\circ))}]^2 = 0,40$$

Deich: $\gamma'_D = 10,0 \text{ kN/m}^3$

Untergrund: $\varphi = 15,0^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / (K_{ah} + \gamma_w / \gamma'_D) \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 15,0^\circ / (0,40 + 10/10) \cdot \tan 21,8^\circ = \underline{0,48} > 1,0 \end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit unter Auftrieb **nicht erfüllt** ist.

Deshalb wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen und im Folgenden rechnerisch nachgewiesen.

Bei dem Nachweis gegen Böschungsbruch des Deiches Objekt 6 wird festgestellt, dass ein Geogitter eingebaut werden muss, um diesen Nachweis führen zu können. Zusätzlich wird im Baugrundgutachten [G1] gefordert, dass weiche Böden nachzuverdichten sind. Es wird daher an dieser Stelle der Nachweis der Spreizsicherheit mit einem angenommenen Reibungswinkel von 30° wiederholt.

Untergrund: $\varphi = 30,0^\circ$

$$\begin{aligned}\text{Gleitsicherheit: } \eta &= \max T / \text{vorh } T = \tan \varphi (\text{Untergrund}) / (K_{ah} + \gamma_w / \gamma'_D) \cdot \tan \beta (\text{Deich}) \\ &= \tan 30,0^\circ / (0,40 + 10/10) \cdot \tan 21,8^\circ = \underline{1,03} > 1,0\end{aligned}$$

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Nachweis der Spreizsicherheit mit den getroffenen Annahmen unter Auftrieb erfüllt ist.

Es ist darauf zu achten, dass unter Berücksichtigung des verwendeten Geogitters bei der Nachverdichtung ein Reibungswinkel von größer gleich 30° hergestellt wird. Dies ist im Zuge der Bauumsetzung nachzuweisen.

6.3.3.3 Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Es wird eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht. Aus diesem Grund ist der Nachweis der Lagesicherheit (Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch) an dieser Stelle nicht erforderlich.

6.3.4 Nachweis zur Sicherheit gegen Materialtransport

6.3.4.1 Kontakterosion und Suffosion

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

Kontakterosion

Die Spundwand unterbricht sowohl Kontakterosion an der Schichtgrenze von fein- zu grobkörnigen Böden als auch parallel zur Schichtgrenze verlaufende Kontakterosion.

Suffosion

Eine Gefährdung durch Suffosion kann aufgrund der vorgesehenen Spundwand ausgeschlossen werden.

6.3.4.2 Fugenerosion/Erosionsgrundbruch (Piping)

Gemäß der DIN 19712 kann der Vorgang der Fugenerosion auftreten, wenn z.B. im Kontaktbereich Bauwerk/Boden Imperfektionen (Hohlräume) bestehen, in denen es bei einem entsprechenden hydraulischen Kurzschluss zu Erosionsvorgängen kommen kann. Imperfektionen in der Deichaufstandsfläche wurden vom Baugrundgutachter [G1] nicht vorgefunden.

Die Nachweise für Kontakterosion und Suffosion sind nicht erforderlich, da zusätzlich eine zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

6.3.5 Gebrauchstauglichkeit

6.3.5.1 Setzungen

Die maximalen Setzungen des Deiches Objekt 6 können wie folgt abgeschätzt werden:

$$s = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s$$

h = Schütthöhe in m

γ = Wichte des Deichbaumaterial in kN/m^3

E_s = Steifemodul des Deichbaumaterials in kN/m^2

Die Setzungen für den Hochwasserschutzdeich inklusive Bodenaustausch betragen demnach:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$h_{\max} \approx 3,5 \text{ m}$$

$$E_s = 45.000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\text{Deich}} = \gamma \cdot h^2 / 2 \cdot E_s = 20 \cdot 3,5^2 / 2 \cdot 45.000 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,27 \text{ cm}$$

Die Setzung im Untergrund aufgrund der Zusatzbelastung errechnet sich wie folgt:

Hierfür getroffene Annahmen/Vereinfachungen:

- Sohlspannung σ in Dammmitte: $\Delta\sigma = \gamma_{\text{Deich}} \cdot h = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,5 \text{ m} = 70 \text{ kN/m}^2$
- Steifemodul $E_{s, \text{ Auffüllung}} = 3.000 \text{ kN}$ (weicher Boden, siehe [G2])
- Steifemodul $E_{s, \text{ Schluff}} = 4.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 3 – 5 MN/m^2 , bindige Deckschichten siehe [G1])
- Steifemodul $E_{s, \text{ Sand}} = 65.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 30 – 100 MN/m^2 , gemischtkörnige Deckschichten siehe [G1])
- Steifemodul $E_{s, \text{ Kies}} = 70.000 \text{ kN}$ (Mittelwert aus 40 – 100 MN/m^2 , grobkörnige Böden siehe [G1])
- Abnahme der Spannungen mit der Tiefe wird vernachlässigt

$$\begin{aligned} s_{\text{Untergrund}} &= \Delta\sigma \cdot d_{\text{Schluff}} / E_{s, \text{ Schluff}} + \Delta\sigma \cdot d_{\text{Auffüllung}} / E_{s, \text{ Auffüllung}} + \Delta\sigma \cdot d_{\text{Sand}} / E_{s, \text{ Sand}} + \Delta\sigma \cdot d_{\text{Kies}} / E_{s, \text{ Kies}} \\ &= 70 \cdot 1,3 / 3.000 + 70 \cdot 0,6 / 4.000 + 70 \cdot 3,2 / 65.000 + 70 \cdot 0,5 / 70.000 \\ &= 4,48 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 4,48 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$s_{\text{gesamt}} = s_{\text{Deich}} + s_{\text{Untergrund}} = 0,27 \text{ cm} + 4,48 \text{ cm} = 4,75 \text{ cm}$$

Die auftretenden Setzungen beim HWS Deich des Objektes 6 wurden im Deichbaumaterial mit 0,27 cm und im Untergrund mit 4,48 cm abgeschätzt. Die gesamten Setzungen ergeben sich somit zu 4,75 cm.

6.4 Zusätzliche Bemessungssituationen

Es wurden zusätzlich für zwei Bemessungssituationen die Nachweise gegen Böschungsbruch am Deich des Objektes 6 geführt.

Mit der ersten zusätzlichen Bemessungssituation wurde die Erforderlichkeit einer Innendichtung nachgewiesen (siehe Anlage 1.12).

Mit der zweiten zusätzlichen Bemessungssituation wurde zusätzlich zur Spundwand die Erforderlichkeit eines Bodenaustauschs nachgewiesen (siehe Anlage 1.13).

Die folgende Tabelle enthält die Berechnungsergebnisse der beiden zusätzlichen Bemessungssituationen.

Bemessungssituation	Böschung	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$
BS-P.1	Luftseite	1,49 (nicht erfüllt)
BS-P.1	Luftseite	1,06 (nicht erfüllt)

Tabelle 8: Ausnutzungsgrade für Böschungsbruchberechnungen der Sonderquerschnitte

7 Zusammenfassung

7.1 Übersicht der geführten Nachweise

In der nachfolgenden Tabelle werden die geführten Nachweise zusammengestellt.

Lediglich bei den Nachweisen gegen Böschungsbruch wird ein Ausnutzungsgrad angegeben (siehe Anlagen 1.1 - 1.13). Bei den Nachweisen gegen oberflächennahen Bruch wird aus der nachzuweisenden Bedingung ein Ausnutzungsgrad erzeugt zur Quantifizierung der verbleibenden Sicherheitsreserven. Um die Setzungen ebenfalls in diese Tabelle aufnehmen zu können, werden anstatt des Ausnutzungsgrades die jeweiligen Setzungen je Objekt in cm angegeben.

Nachweis	Objekt	Bemessungssituation	Nachweis erfüllt	Ausnutzungsgrad
Böschungsbruch	1 RQS	BS-P.1	Ja	0,73
Böschungsbruch	1 RQS	BS-P.2	Ja	0,86
Böschungsbruch	1 RQS	BS-A.1	Ja	0,73
Böschungsbruch	1 RQS	BS-A.2	Ja	0,90
Böschungsbruch	2 RQS	BS-P.1	Ja	0,86
Böschungsbruch	2 RQS	BS-P.2	Ja	0,90
Böschungsbruch	2 RQS	BS-A.1	Ja	0,88
Böschungsbruch	2 RQS	BS-A.2	Ja	0,99
Böschungsbruch	6 RQS	BS-P.1	Ja	0,97
Böschungsbruch	6 RQS	BS-P.2	Ja	0,98
Böschungsbruch	6 RQS	BS-A.1	Ja	0,97
Böschungsbruch	6 RQS	BS-A.2	---	Nicht nachgewiesen
Böschungsbruch	NW der Erf. einer Innendichtung	BS-P.1	Nein	1,49
Böschungsbruch	NW der Erf. eines Bodenaustauschs	BS-P.1	Nein	1,06
Gleitsicherheit	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Oberflächennaher Bruch	1 RQS über Sickerlinie	BS-A.2	Ja	0,65
Oberflächennaher Bruch	1 RQS unter Sickerlinie	BS-A.2	Nein	1,32
Oberflächennaher Bruch	1 RQS über Sickerlinie	BS-P.2	Ja	0,65

Nachweis	Objekt	Bemessungssi- tuation	Nachweis erfüllt	Ausnut- zungsgrad
Oberflächennaher Bruch	1 RQS unter Sickerlinie	BS-P.2	Nein	1,32
Oberflächennaher Bruch	2 RQS über Sickerlinie	BS-A.2	Ja	0,76
Oberflächennaher Bruch	2 RQS unter Sickerlinie	BS-A.2	Nein	1,56
Oberflächennaher Bruch	2 RQS über Sickerlinie	BS-P.2	Ja	0,76
Oberflächennaher Bruch	2 RQS unter Sickerlinie	BS-P.2	Nein	1,56
Oberflächennaher Bruch	6 RQS über Sickerlinie	BS-A.2	Ja	0,78
Oberflächennaher Bruch	6 RQS unter Sickerlinie	BS-A.2	Nein	1,60
Oberflächennaher Bruch	6 RQS über Sickerlinie	BS-P.2	Ja	0,78
Oberflächennaher Bruch	6 RQS unter Sickerlinie	BS-P.2	Nein	1,60
Spreizsicherheit	1 RQS Luftseite	---	Ja	0,32
Spreizsicherheit	1 RQS Wasserseite	---	Ja	0,88
Spreizsicherheit	2 RQS Luftseite	---	Ja	0,32
Spreizsicherheit	2 RQS Wasserseite	---	Ja	0,85
Spreizsicherheit	6 RQS Luftseite	---	Ja	0,78
Spreizsicherheit	6 RQS Wasserseite	Auffüllungen nicht verdichtet	Nein	2,08
Spreizsicherheit	6 RQS Wasserseite	Auffüllungen verdichtet und Geogitter	Ja	0,97
Auftriebssicherheit	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Kontakterosion	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Suffosion	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Fugenerosion/Erosionsgrundbruch	Allgemein	Nachweis nicht erforderlich	---	---
Setzungen	1 RQS	---	---	1,00 cm
Setzungen	2 RQS	---	---	1,01 cm
Setzungen	6 RQS	---	---	4,75 cm

Tabelle 9: Zusammenstellung der geführten Nachweise

7.2 Globale Standsicherheit

Bei den Böschungsbruchberechnungen hat sich gezeigt, dass kritischen Bemessungssituationen der schnelle WSP Absink sowie das Versagen der Innendichtung und Drainageleitung sind. Die genauen Werte können der Tabelle 9 und den Anlagen 1.1 bis 1.13 entnommen werden. Bei einem Ausnutzungsgrad, der den Wert 1 überschreitet, ist der Nachweis der Standsicherheit nicht erfüllt.

Dies ist der Fall bei den Anlagen 1.12 und 1.13. Die Grundlage dieser beiden Anlagen bildet der Deich am Objekt 6. In der Anlage 1.12 wird die Erforderlichkeit einer Innendichtung nachgewiesen. In der Anlage 1.13 wird zusätzlich zur Innendichtung die Erforderlichkeit eines Bodenaustauschs nachgewiesen.

Der Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten ist nicht erforderlich, da eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebaut wird. Eine Spundwand kann große Scherkräfte aufnehmen, deshalb ist die Sicherheit gegen Gleiten in jedem Fall erfüllt.

7.3 Lokale Standsicherheit

Der Nachweis der Lagesicherheit (Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch) ist nicht erforderlich, da eine undurchlässige zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

In Objekt 2 befindet sich gemäß dem Baugrundgutachten [G1] unter der Deichaufstandsfläche keine wenig durchlässige Bodenschicht, welche durch einen durchlässigeren Untergrund unterlagert ist. Zusätzlich wird in allen Objekten eine Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht. Aus diesem Grund ist der Nachweis der Lagesicherheit (Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch) nicht erforderlich.

Die Spreizsicherheit am Böschungsfuß kann an allen Objekten nachgewiesen werden. Lediglich am Objekt 6 kann die Spreizsicherheit auf der Wasserseite erst nach Einbau eines Geogitters und Nachverdichtung des angrenzenden Bodens (Auffüllung) nachgewiesen werden. Dabei ist darauf zu achten das Geogitter und Nachverdichtung gemeinsam einen Reibungswinkel von größer gleich 30° erzeugen.

Im Bereich der land- und wasserseitigen Böschungen ist mit lokalen Rutschungen unterhalb des Sickerlinienaustritts zu rechnen. Ein Sickerwasseraustritt auf der landseitigen Deichböschung ist bei funktionierender Innendichtung nicht zu erwarten.

7.4 Sicherheit gegen Materialtransport

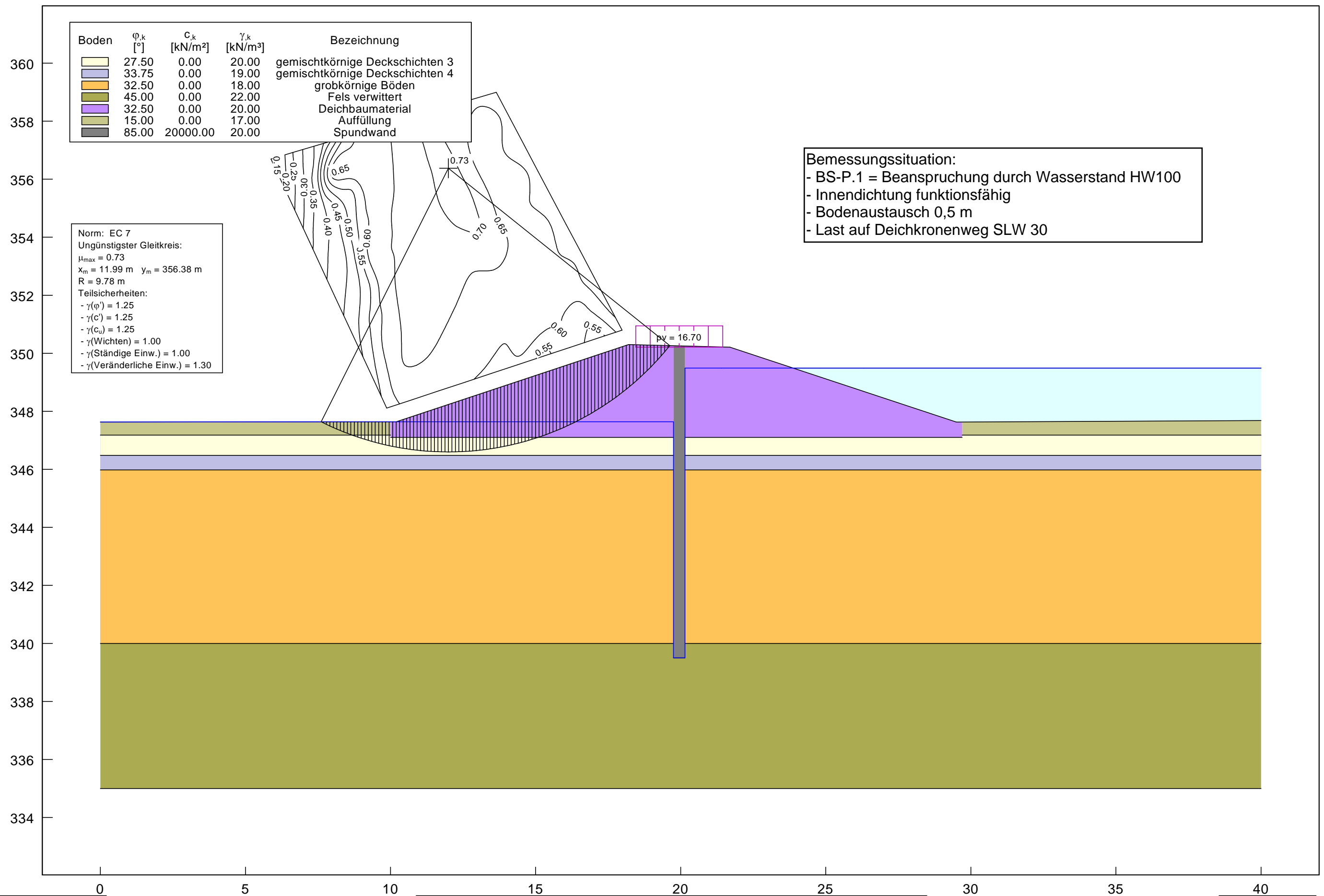
Die Nachweise gegen Kontakterosion und Suffosion können entfallen, da eine undurchlässige zuverlässige Innendichtung in Form einer Spundwand eingebracht wird.

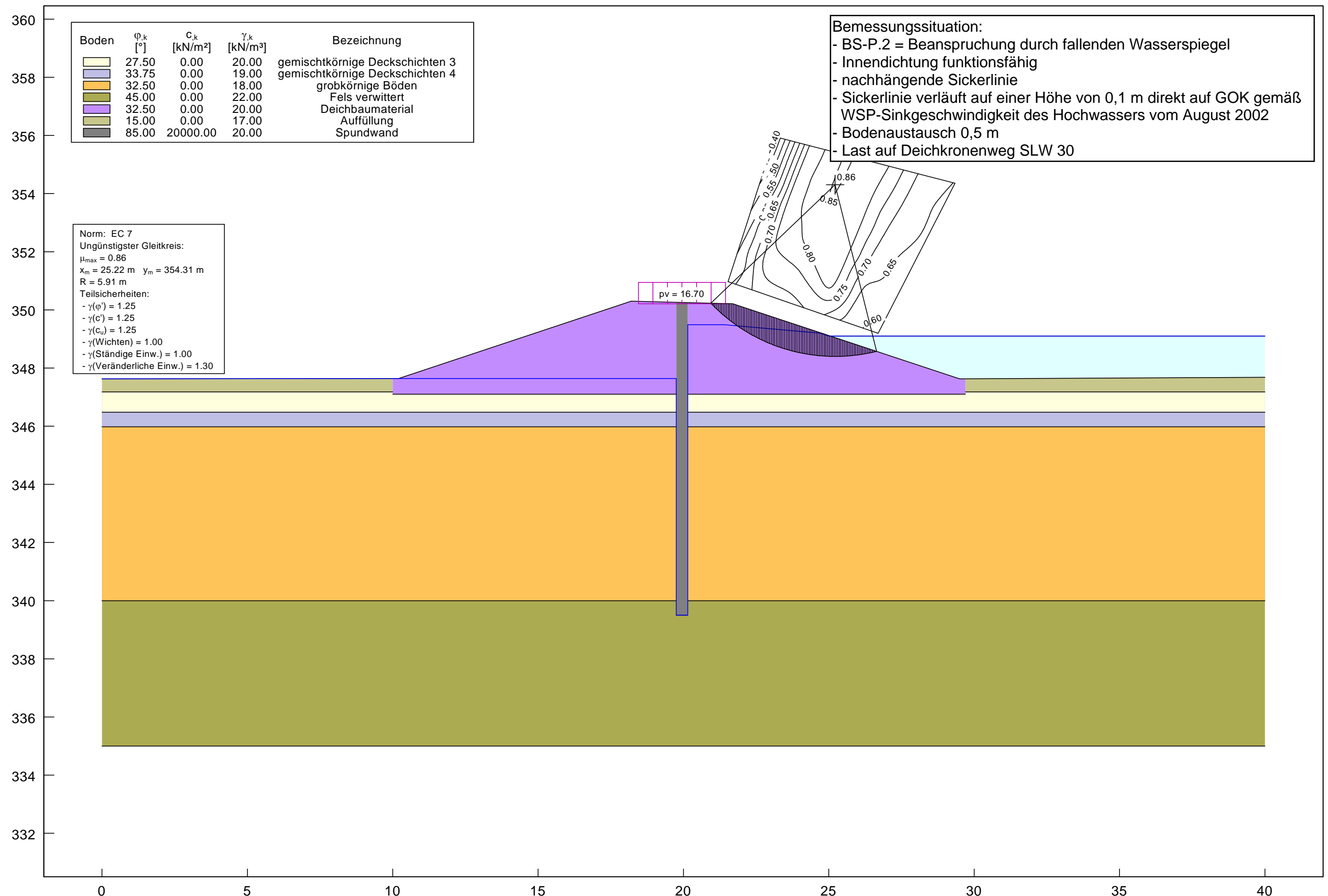
7.5 Gebrauchstauglichkeit

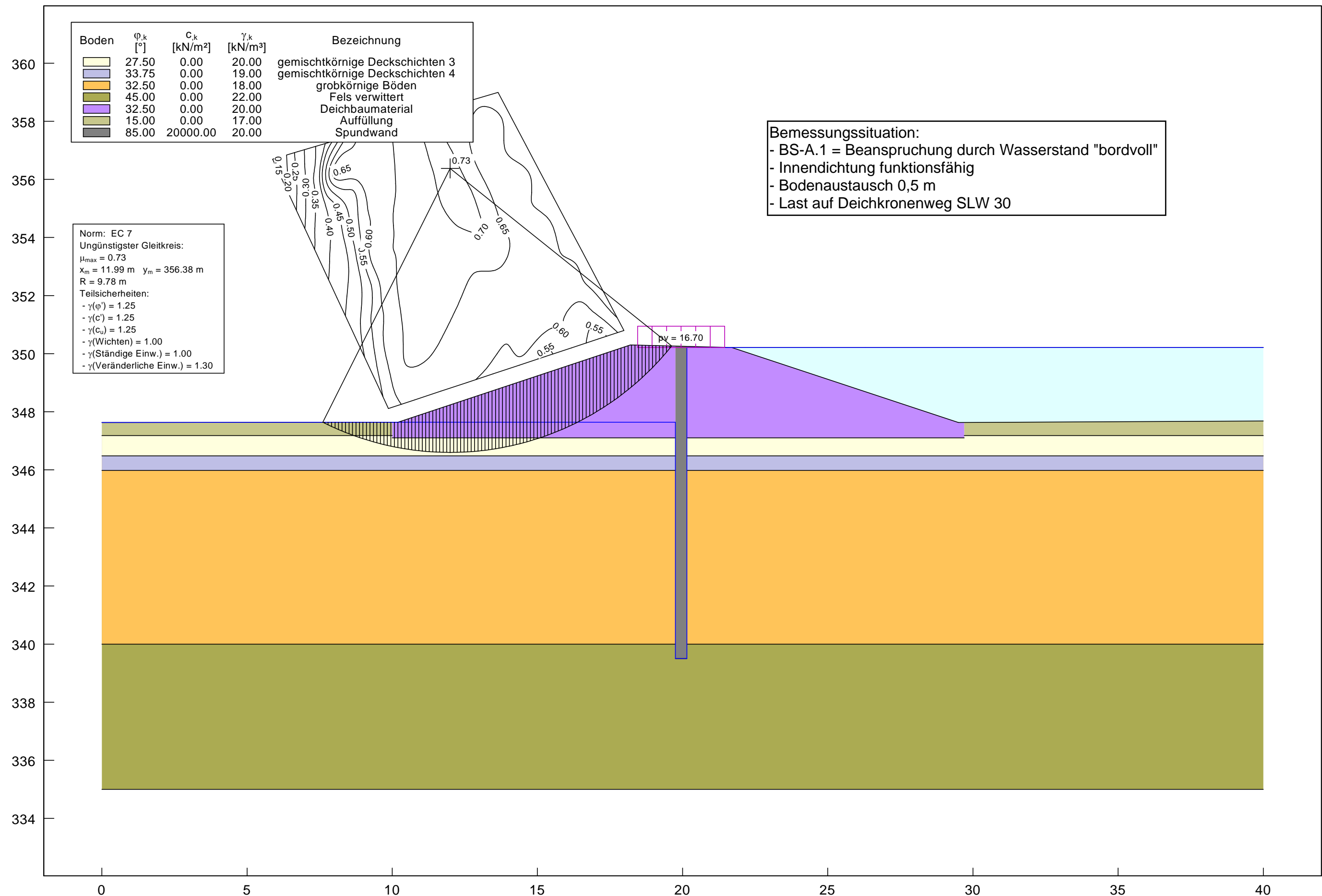
Die Setzungsberechnungen wurden je Objekt durchgeführt und sind Tabelle 9 zu entnehmen. Bei Objekt 6 wurden die größten Setzungen ermittelt. Diese Setzungen sind jedoch für ein Dammbauwerk in Erdbauweise gemäß Baugrundgutachter [G2] verträglich.

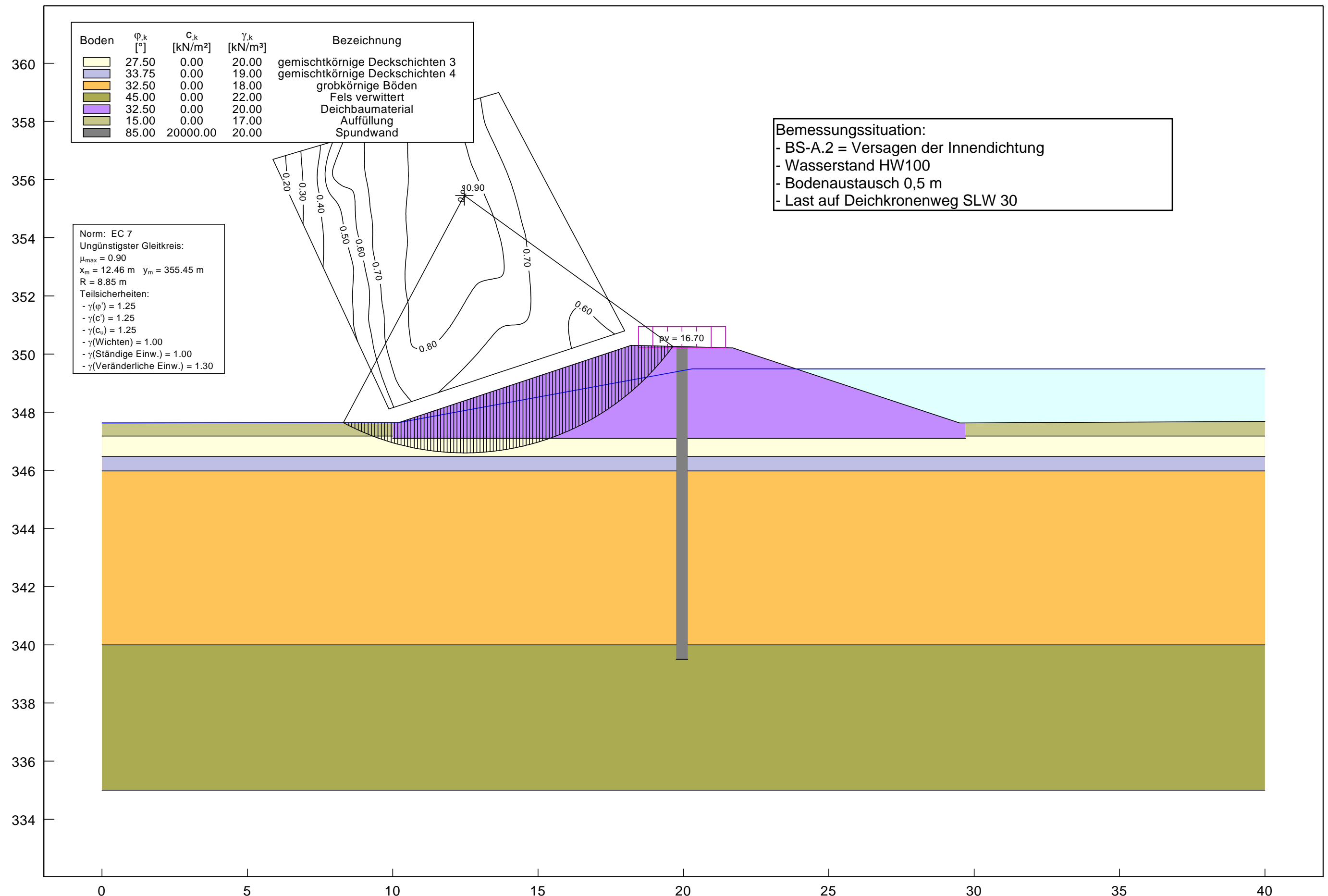
7.6 Angesetzte Verkehrslasten

Die angesetzte Verkehrslasten auf der Deichkrone für die Standsicherheitsnachweise bei Objekt 1 und 6 entsprechen einem SLW 30. Bei dem Objekt 2 wird ein SLW 60 angesetzt. Lediglich bei dem Nachweis der Erforderlichkeit einer Innendichtung wurde ein SLW 9 angesetzt, um zu zeigen das nicht eine Reduzierung der Verkehrslast einen Ausnutzungsgrad von kleiner gleich 1 erzeugt.







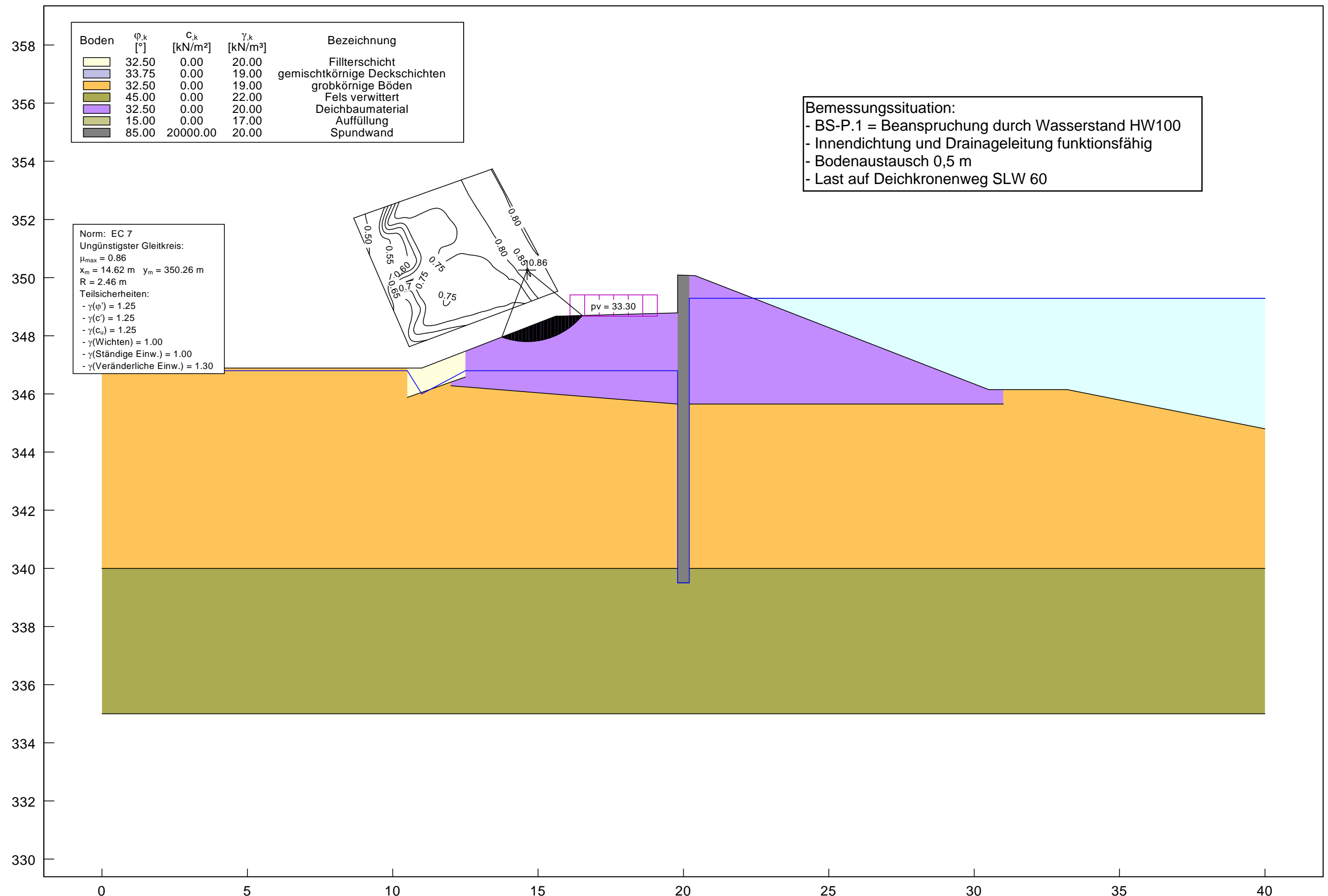


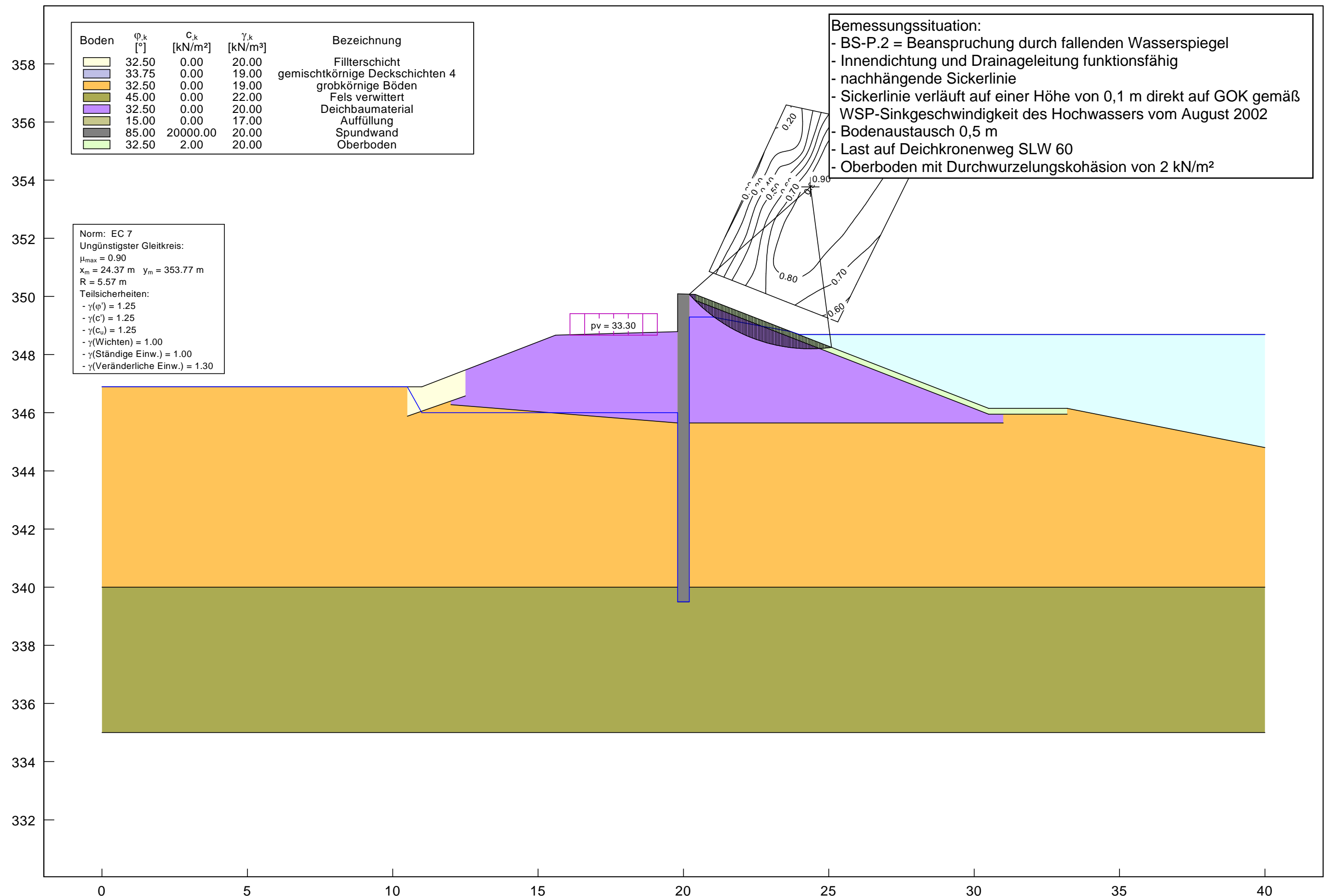
Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	0.00	20.00	gemischtkörnige Deckschichten 3
	33.75	0.00	19.00	gemischtkörnige Deckschichten 4
	32.50	0.00	18.00	grobkörnige Böden
	45.00	0.00	22.00	Fels verwittert
	32.50	0.00	20.00	Deichbaumaterial
	15.00	0.00	17.00	Auffüllung
	85.00	20000.00	20.00	Spundwand

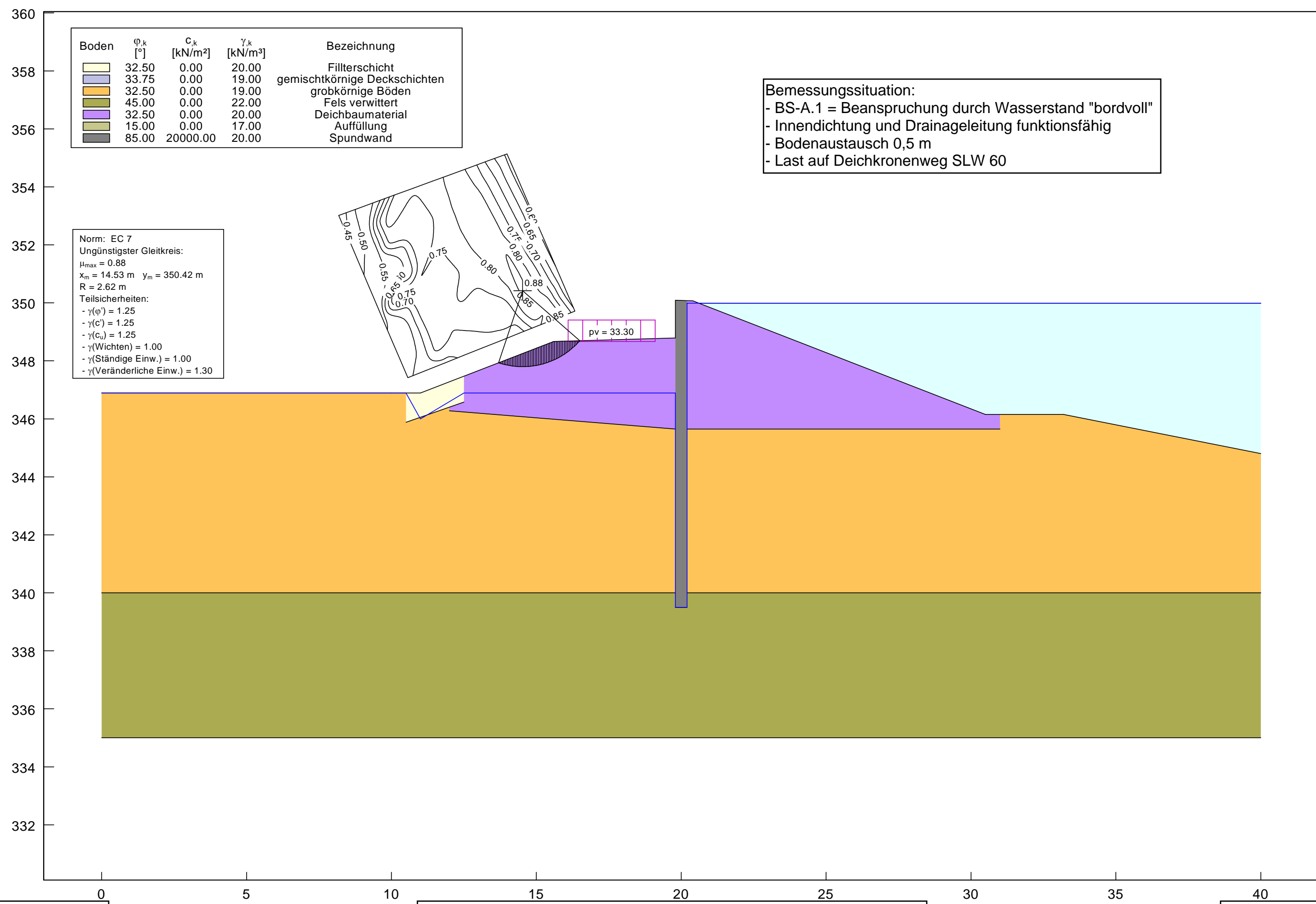
Norm: EC 7
Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.90$
 $x_m = 12.46 \text{ m}$ $y_m = 355.45 \text{ m}$
 $R = 8.85 \text{ m}$
Teilsicherheiten:
- $\gamma(\varphi') = 1.25$
- $\gamma(c') = 1.25$
- $\gamma(c_u) = 1.25$
- $\gamma(Wichten) = 1.00$
- $\gamma(Ständige \text{ Einw.}) = 1.00$
- $\gamma(Veränderliche \text{ Einw.}) = 1.30$

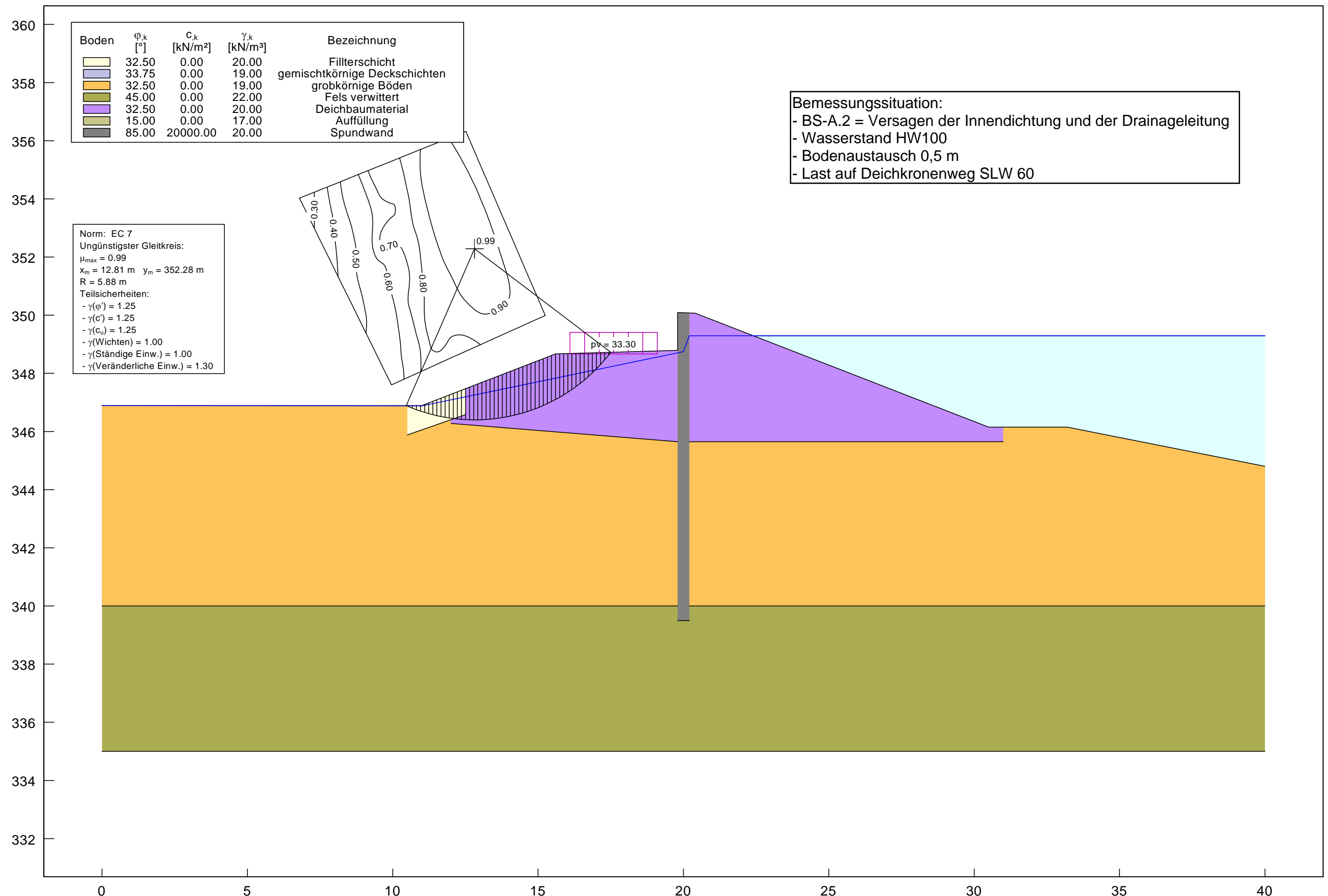
Bemessungssituation:
- BS-A.2 = Versagen der Innendichtung
- Wasserstand HW100
- Bodenaustausch 0,5 m
- Last auf Deichkronenweg SLW 30

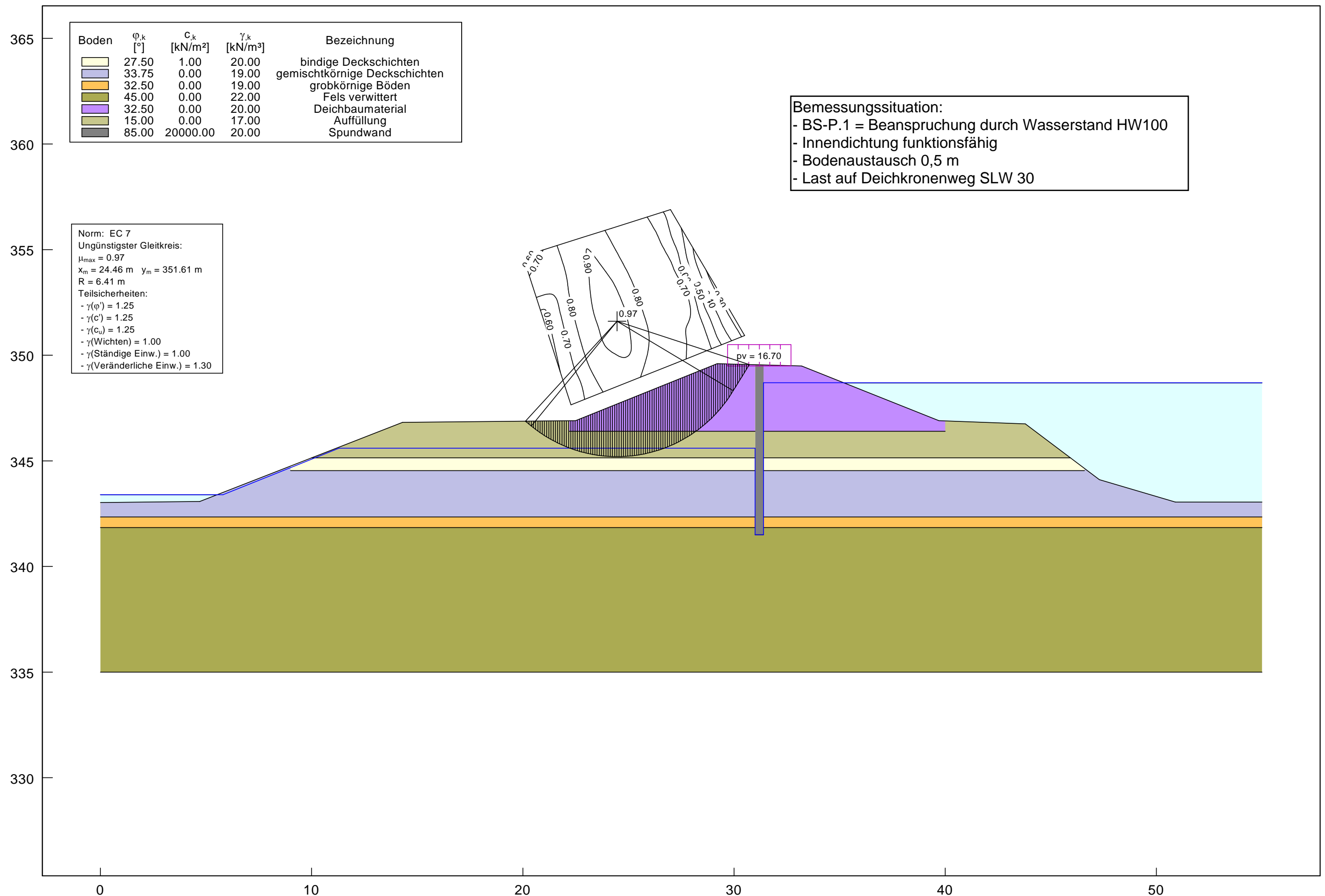
$p_v = 16.70$

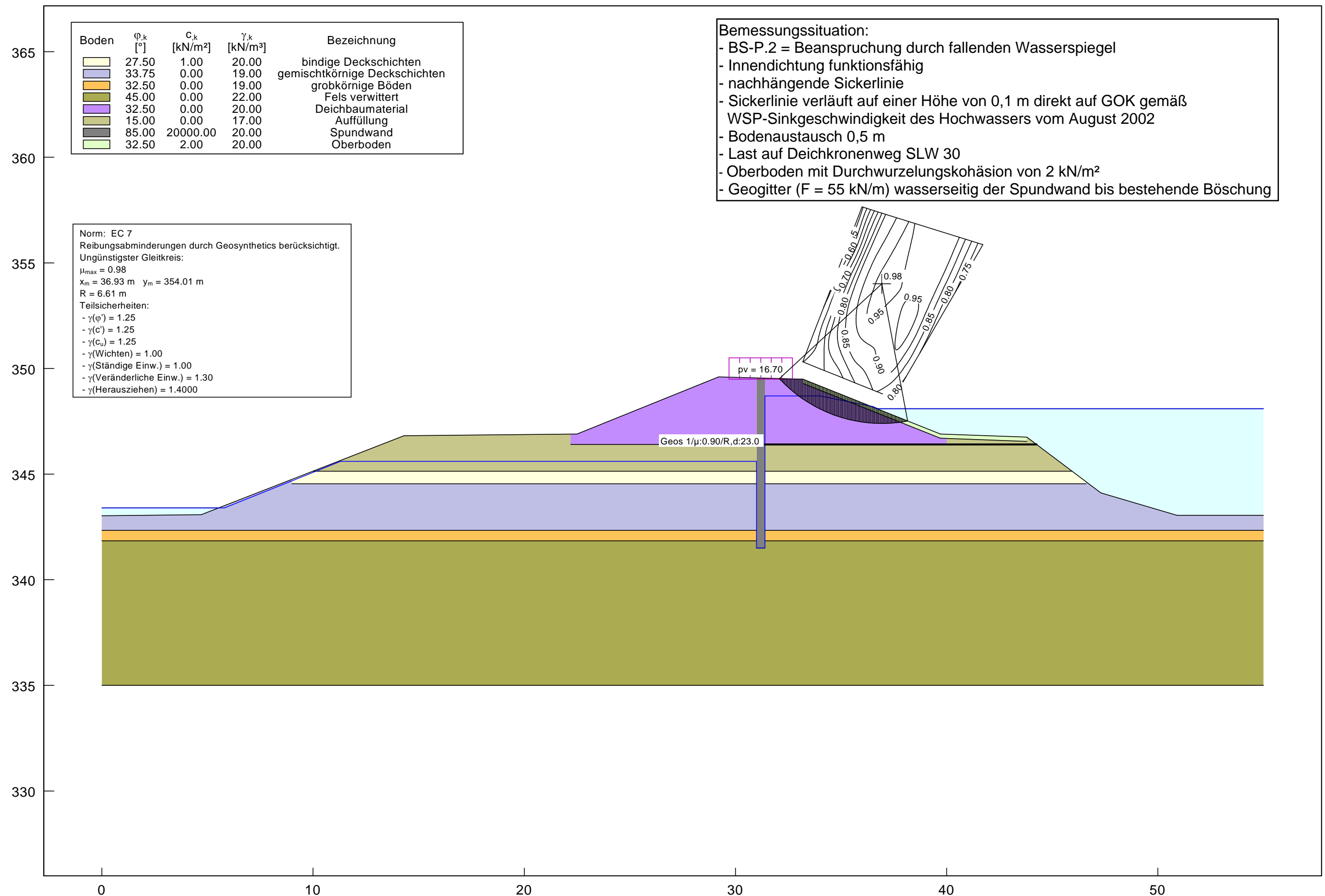


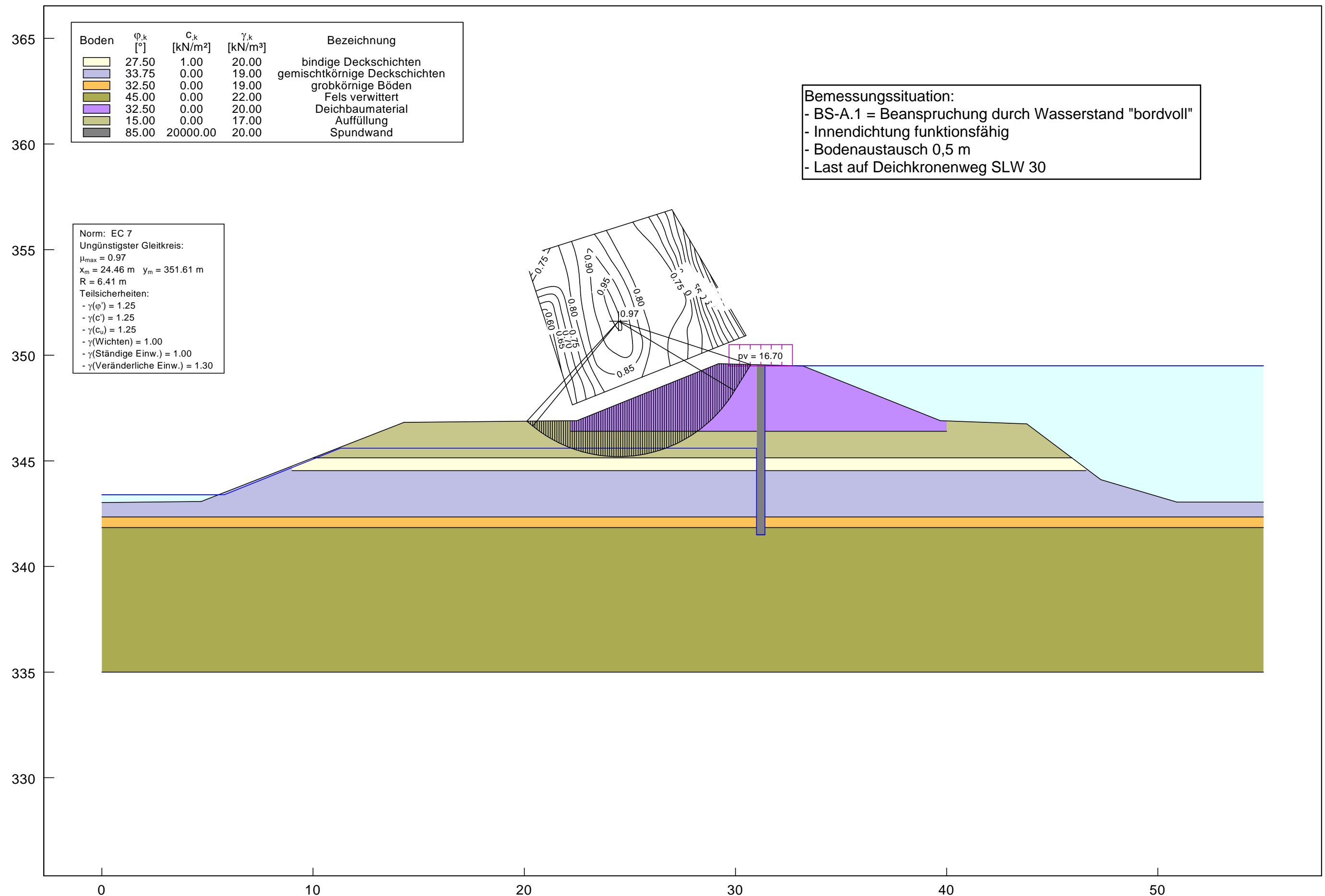


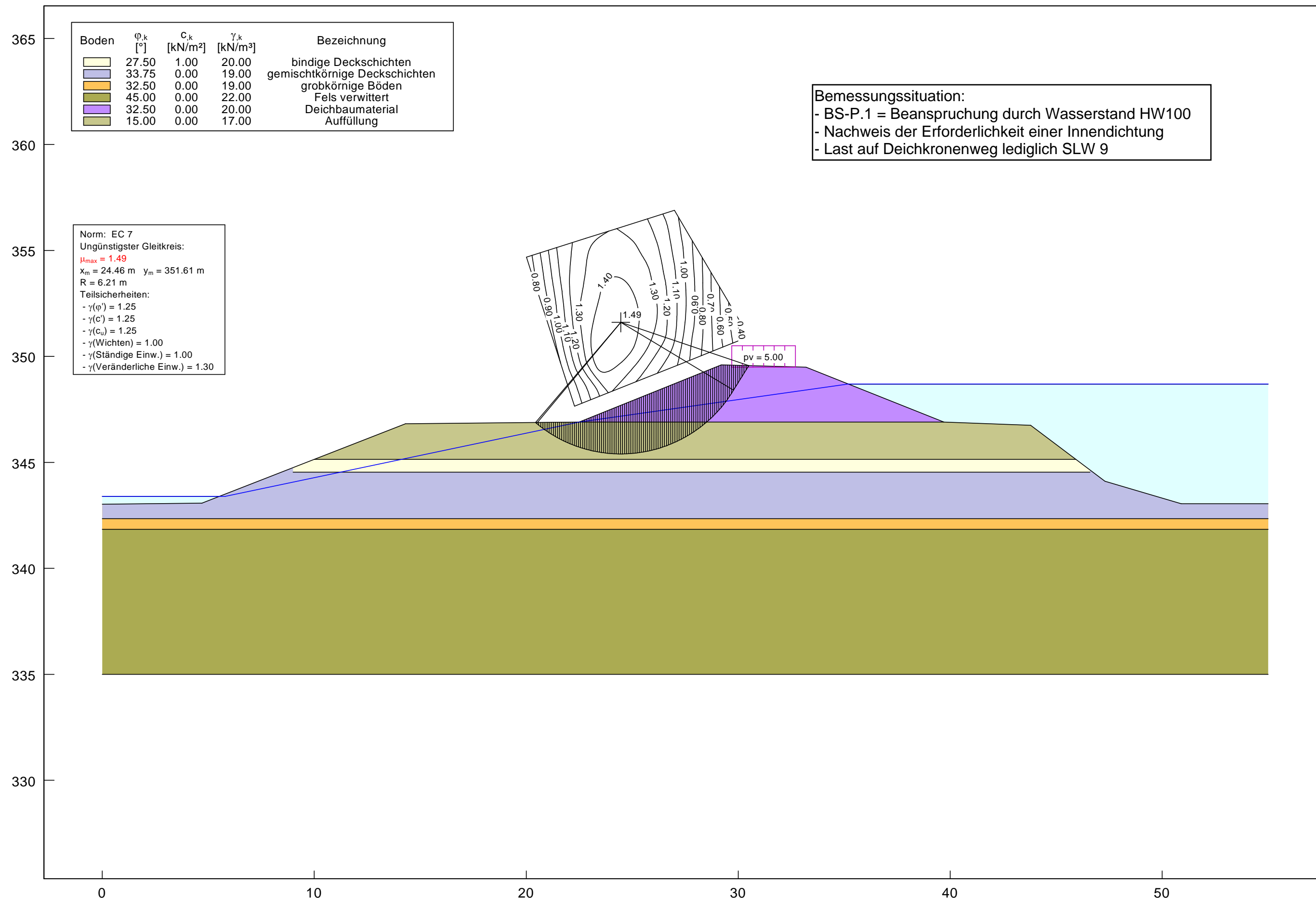


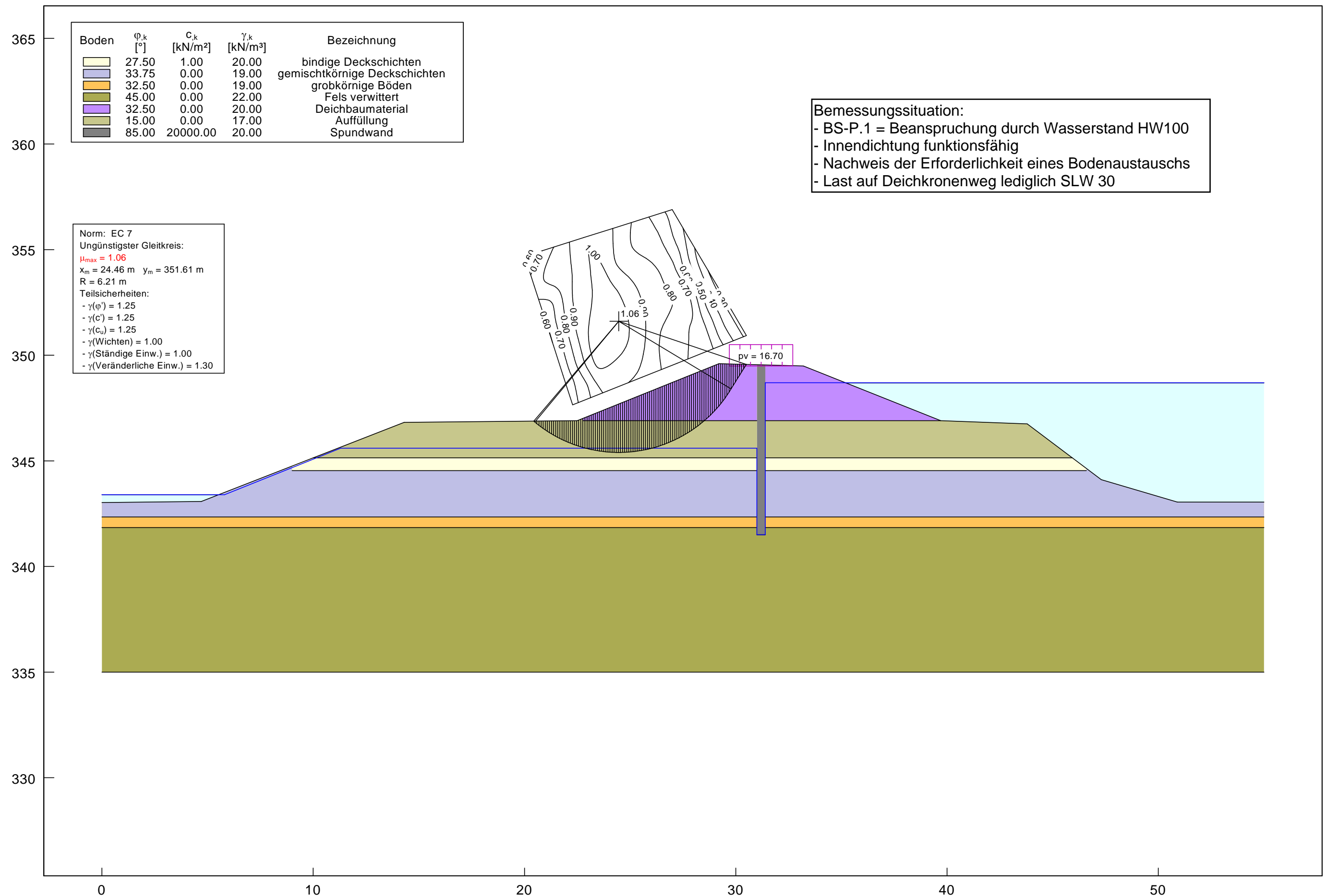












Thema Auffüllungen

Wie unterscheidet man Auffüllung vom Untergrund? Wie ist der Übergang definiert? Beispiel: RKS 9 → die unterste Schicht der Auffüllung wird mit „Feinsand, Mittelsand schwach schluffig“ beschrieben, die darunter liegende Schicht ist „Sand, schwach schluffig, schwach feinkiesig“. → Wo liegt der genaue Unterschied? (nur aus Interesse, damit ich es besser verstehe)

Antwort

Eine Abgrenzung von Auffüllungen mit natürlichen Böden die nur umgelagert wurden, vom nicht umgelagerten Boden ist schwierig. In der Regel besitzen viele Auffüllungen zumindest geringe Anteile an Fremdstoffen. Insbesondere sind einige Ziegelbruchstücke verbreitet. Bei RKS 9 wurden solche Ziegelstücke nicht festgestellt. Im Umfeld der Sondierung RKS 9 ist aber fast die gesamte Insel aufgefüllt. Dies ist auf Grund der Geländeverhältnisse und der benachbarten Sondierungen (RKS 7 und RKS 9) erkennbar. Ein weiteres Kriterium ist der Bohrfortschritt. Dieser ist in den lockeren (mittelalterliche) Auffüllungen meist sehr hoch. Bei der benachbarten Rammsondierung DPH 9 waren in den Sanden sehr geringe Schlagzahlen vorhanden. In diesem Fall ist es die Summe der Befunde die dazu führen die RKS 9 bis 2,6 m als Auffüllung zu charakterisieren.

Für die Berechnung der Deichstandsicherheiten benötige ich auch Bodenkennwerte von der Auffüllung. Selbst wenn die komplette Schicht im Bereich der Deichaufstandsfläche ausgetauscht werden soll, brauche ich trotzdem Kennwerte, da der Boden neben dem Deich nach wie vor ansteht. Im größten Notfall würde ich vorschlagen, dass man sehr schlechte Bodenkennwerte annimmt, um den schlechtesten Fall abzubilden (Beispielhaft: $\phi = 15^\circ$, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$, $k_f = 10^{-3}$). Oder kann man sich entsprechend der Beschreibungen in den Schichtprofilen an den „normalen“ Bodenkennwerten orientieren?

Antwort

Auffüllungen wurden in den Rammkernsondierungen RKS 5, RKS 7, RKS 8, RKS 8.1, RKS 9, RKS 10, RKS 11, RKS 13 und RKS 14 angetroffen. Insbesondere sind im Bereich der Angerinsel Auffüllungen vorhanden. Die Mächtigkeiten der Auffüllungen schwanken zwischen 0,20 und 2,10 m.

Hierbei handelt es sich überwiegend um Sande und Kiese mit unterschiedlichen Ton-, Schluff- und Steinanteilen und vereinzelt um Schluffe mit Kies- und Sandanteilen. Die Auffüllungen enthalten stellenweise organische Beimengungen. Sie besitzen überwiegend braune und graue Farbtöne.

Die von Ihnen angenommen Parameter mit $\phi = 15^\circ$, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$, $k_f = 10^{-3}$ sind plausible Annahmen für die Erdstatistischen Parameter der Auffüllung.

Die Aussage, wann ein Austausch bzw. Bodenstabilisierung stattfinden muss und wann eine kontrollierte Schüttung ausreicht, ist sehr schwierig zu interpretieren:

- wenn ein Schluffschicht ($d = 0,5 \text{ m}$) unterhalb einer Sandschicht ($d = 0,3 \text{ m}$) liegt (Beispiel RKS 11), sollten dann beide Schichten ausgehoben werden, oder gilt die Aussage nur, wenn die Schluffschicht direkt mit dem Deichkörper in Kontakt stehen würde? (Der Deich ist mit der Schluffschicht (RKS 11) rechnerisch standsicher).

Antwort

Wir haben eine Setzungsberechnung durchgeführt. Bei einer Schütthöhe von etwa 2 m ergeben sich bei einer Last von 40 kN/m^2 Setzungen von knapp 2 cm. Hierbei sind in die Berechnung relativ schlechte Bodenverhältnisse eingegangen. Die obere Schicht wurde mit einem weichen Boden (Steifemodul $E_s = 3 \text{ MN/m}^2$) angesetzt. Darunter wurde eine lockere Sandschicht von 2 m angenommen (Steifemodul $E_s = 10 \text{ MN/m}^2$). Darunter folgt eine mitteldicht gelagerte Schicht aus Sand und Kies ($E_s = 50 \text{ MN/m}^2$). Für einen großen Teil der Dammstrecken dürften diese Setzungen verträglich sein. Insbesondere nach starken Niederschlägen sollte für die Bereiche mit den

Schluffen unter dem Oberboden eine Stabilisierung oder ein Bodenaustausch vorgesehen werden (Größenordnung 1/3 der Strecke).

- wie sind locker gelagerte Deckschichten definiert? Es sind keine genaueren Angaben zu den Lagerungsdichten der Bodenschichten angegeben. In den DPH kann man zwar erkennen, ob der Boden leicht oder schwer rammbar ist, aber eine konkrete Vorgabe wäre dabei hilfreich.

Antwort

Die Lagerungsdichten bei den Rammkernsondierungen werden in der Regel aus dem Bohrfortschritt ermittelt. Die Sondierungen wurden vom Büro Spotka ausgeführt. Diese haben die Lagerungsdichte nicht angegeben. Bei einigen Sondierungen waren wir zugegen. Da haben wir Informationen.

Generell sind die oberen 2 bis 3 m bei den Sanden locker gelagert. Dies haben wir bei der Setzungsberechnung für die Dämme berücksichtigt. Bei den Bauwerken (Wehranlagen) liegen für die Gründung immer die Ergebnisse der Schweren Rammsonde zu Grunde. Bei Schlagzahlen von über 10 Schlägen pro 10 Zentimeter Eindringtiefe kann man von einer mitteldichten Lagerung ausgehen. Bei enggestuften Sanden ist eine Mitteldichte Lagerung bei geringen Schlagzahlen (ca. 5 bis 6) vorhanden.

- reicht es aus, einen Bodenaustausch der Schichten „Auffüllung“ vorzunehmen, in denen organisches Material oder Schlacke enthalten ist? Und auf den Schichten „Auffüllung“ die z. B. aus Sand sind den Deichkörper kontrolliert aufzuschütten (RKS 9 – Ein Aushub von 2,60 m wäre nur schwer durchführbar, da würde ich die Auffüllung bis zu einer Tiefe von 0,50 m ausheben und auf der darunter liegenden Auffüllung kontrolliert aufschütten).

Antwort

In der Regel dürfte es reichen die lockeren Auffüllungen mit organischem Material bis zu einer Tiefe von 50 cm auszutauschen. Dies trifft auch auf weiche Deckschichten zu. Ein Aushub bis zu einer Tiefe von 2,6 m ist nicht nötig. Hier zeigt die Setzungsberechnung Setzungen von etwa 2 cm bei einer Last von 40 kN/m². Dies ist für den Erddamm unproblematisch.

- Gibt es genauere Vorgaben zur Deichstabilisierung, z. B. Dicke? (In der Ausführung bei einer 2,6 m dicken Auffüllungsschicht gar nicht durchführbar. Gibt es dazu Vorgaben ansonsten geht die notwendige Dicke aus der Deichstatik hervor).

→ etwas präzisere Aussagen zum Thema Aufschüttung wären hilfreich!

Antwort

Eine Stabilisierung der bindigen Deckschichten mit Mischbinder (ca. 4 %) kann bis zu einer Tiefe von etwa 45 cm eingefräst werden. In diesem Fall ist ein E_{v2} -Wert von 45 MN/m² zu erreichen. Dies ist hilfreich beim Bau des Deiches. Sonst ist die Deichstatik maßgeblich.

In der Regel dürfte es reichen die lockeren Auffüllungen mit organischem Material bis zu einer Tiefe von 50 cm auszutauschen. Dies trifft auch auf weiche Deckschichten zu. Ein Aushub bis zu einer Tiefe von 2,6 m ist nicht nötig. Hier zeigt die Setzungsberechnung Setzungen von etwa 2 cm bei einer Last von 40 kN/m². Dies ist für den Erddamm unproblematisch.

RKS 8.1

Wo liegt der RKS 8.1? Auf dem Lageplan finde ich den Punkt nicht!

Antwort

Die Rammkernsondierung RKS 8.1 wurde auf der nördlichen Seite des Regen ausgeführt. Diese steht nicht im Zusammenhang mit dem Deich sondern betrifft ein Bauwerk der Stadt Nittenau. Hier gab es eine Absprache zwischen der Stadt und dem WWA.

RKS 12

Ist es wahrscheinlich, dass auch bei diesem Bohrkern bei einer Tiefe von ca. 7,30 m bzw. bei einer Höhenkote von 340,19 m üNN eine Felsschicht ansteht? Bei diesem durchlässigen Boden muss möglicherweise eine Spundwand o. ä. Dichtung in den Deich, da dieser sonst zu schnell durchströmt wird.

Antwort

RKS 19 wurde in der Nähe von RKS 12 ausgeführt. Hier wurde planmäßig eine Tiefe von 5,0 m erreicht (342,11 m NN). Bei einer Reihe von Sondierungen wurde die Felslinie (ehemalige Talsohle) bei ca. 340 m NN angetroffen. Dies deutet darauf hin, dass hier der Fels erst bei etwa 340 m NN ansteht.

Deichschüttmaterial

Da Sie es gerade am Telefon angesprochen haben, falls Sie für das Deichmaterial auch noch Ideen/Annahmen haben, nehme ich diese auch gerne an, ansonsten nehme ich vergleichbare Annahmen eines gemischtkörnigen Bodens von vergleichbaren Projekten.

Antwort

Zu möglichen Dammschüttmaterialien fehlen mir leider die lokalen Kenntnisse. Deshalb ist es etwas spekulativ welche Materialien zur Verfügung stehen. Eventuell hat das Bauamt der Stadt hierzu Erkenntnisse.

Etwa 4 km östlich von Nittenau gibt es den Granitsteinbruch Schwinger. Möglicherweise könnte der Abraum verwendet werden. Beim Granitzersatz handelt es sich häufig um ein schluffig, sandiges Material mit Stein und Blockanteilen. Die Körnung dürfte aber heterogen sein.

Bei Teublitz sind noch Tongruben aktiv. Diese produzieren hochwertige Tone und dürften deshalb relativ teuer sein. Es kann aber sein, dass sandige Zwischenlagen oder Abraum (z.B. toniger Sand) vorhanden sind.

Vielen Dank für Ihre Hilfe!!!