

Hamburg  
Berlin · Kiel · Oldenburg

Neufeldtstraße 10  
24118 Kiel  
Tel.: (04 31) 26 04 10 - 0  
Fax: (04 31) 26 04 10 - 18

[www.igb-ingenieure.de](http://www.igb-ingenieure.de)

Kiel, 18.10.2010  
KI 06-689 • Ov/Bc/Sc

## **Baugrundgutachten – Nr. 2**

**Straßenbauverwaltung:** Land Schleswig-Holstein

**Straße:** Verlegte Kreisstraße K40

**Streckenbezeichnung:** B 5, Dreistreifigkeit Tönning-Husum,  
1. BA von Tönning nach  
Rothenspieker  
Bau-km 0+300 bis 5+500  
und Ausbau K40

**Bauwerk:** Überführung K40  
(Bau-km 4+140 B5/0+275,42 K40)  
Rampenbauwerke

**Gemarkung:** Oldenswort

Auftraggeber:

Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein  
Niederlassung Flensburg  
Schleswiger Straße 55  
24491 Flensburg

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1 ALLGEMEINES.....</b>	<b>3</b>
1.1 Beschreibung des Bauvorhabens .....	3
1.2 Anlagenverzeichnis.....	4
1.3 Unterlagenverzeichnis .....	5
<b>2 BESCHREIBUNG DER BODENVERHÄLTNISSE .....</b>	<b>7</b>
<b>3 BAUTECHNISCHE BESCHREIBUNG DER EINZELNEN BODENSCHICHTEN</b>	<b>7</b>
<b>4 ERDSTATISCHE NACHWEISE.....</b>	<b>9</b>
4.1 Standsicherheitsnachweise .....	9
4.2 Setzungen und Verformungen .....	13
4.3 Nachweis der Auftriebssicherheit.....	16
<b>5 ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG DER BODENVERHÄLTNISSE UND VORSCHLÄGE FÜR BAUTECHNISCHE MAßNAHMEN .....</b>	<b>17</b>
5.1 Tragfähigkeit und Verformungsverhalten des Untergrundes .....	17
5.2 Baugrundverbesserungsmaßnahmen .....	17
5.3 Aufbau der Dämme.....	20
5.4 Entwässerungsmaßnahmen/Bauwasserhaltung .....	22
5.5 Methoden zum Nachweis der erreichten Verdichtungsqualität.....	22
5.6 Berücksichtigung der Belange Dritter.....	23
<b>6 VORSCHLÄGE FÜR WEITERE AUFSCHLÜSSE, UNTERSUCHUNGEN UND MESSUNGEN .....</b>	<b>23</b>

## 1 ALLGEMEINES

### 1.1 Beschreibung des Bauvorhabens

Zwischen Tönning und Husum ist der dreistreifige Ausbau der B 5 geplant. Im 1. Bauabschnitt soll der Streckenabschnitt Tönning – Rothenspieker auf einer Länge von ca. 5 km sowie die K 40 zwischen der L 36 und Rothenspieker auf einer Länge von ca. 1 km ausgebaut werden.

Bauherr der Maßnahme ist das „Land Schleswig-Holstein“, vertreten durch den „Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Flensburg“ (LBV-SH). Die Objektplanung der Verkehrsanlagen erfolgt durch die eds-planung – Beratende Ingenieure, Gettorf (eds) im Auftrag des LBV-SH.

Vom LBV-SH wurden wir durch Ingenieurvertrag vom 21.12.2006 beauftragt, für den 1. Bauabschnitt zum Ausbau der B 5 eine Baugrundbeurteilung und ein Gründungsgutachten zu erstellen.

Mit Schreiben vom 27.11.2007 wurde von IGB das Baugrundgutachten [U5] vorgelegt, in dem der Untergrundaufbau und die Grundwasserverhältnisse im Einzelnen beschrieben und charakteristische Bodenkennwerte angegeben werden. Ferner werden Aussagen zur Geländebruch- und Böschungsbruchsicherheit gemacht und eine Setzungsabschätzung vorgenommen, auf dessen Grundlage Empfehlungen zur Verbesserung des Baugrundes und Hinweise zur Ausführung ausgesprochen werden.

Angaben zum Bauentwurf sind der Entwurfsplanung zu entnehmen, die im Auftrag des LBV-SH durch eds erstellt wurden; siehe auch [U2], [U3], [U6] und [U7].

Im Zuge der fortgeschriebenen Entwurfsplanung wurde ab 2008 – nach Vorliegen des Baugrundgutachtens - die Verlegung der K 40 mit Überführungsbauwerk über die B 5 und Straßendamm überplant.

Mit der 1. Ergänzung zum Baugrundgutachten vom 15.02.2008 [U5.1] wurde die Gründungsempfehlung für den Straßendamm (Rampe) der Überführung konkretisiert. Die Gründungsempfehlung sieht im Übergang des Brückenwiderlagers zum Straßendamm eine Vorwegnahme der Primärsetzungen mittels Vertikaldränagen und Vorbelastungsschüttung sowie den Einbau von Leichtbaustoffen vor. Im Steigungsbereich kann die

Einbaumächtigkeit der Leichtbaustoffe etwa bis zur Einmündung der Achse 210/215 bzw. 220/225 auf Null reduziert werden.

Ende 2009 wurden die Planunterlagen vom LBV-SH beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn, eingereicht. Der Entwurf sieht eine Vorwegnahme der Primärsetzungen mittels Vertikaldränagen und Vorbelastungsschüttung vor sowie im Übergangsbereich den Einbau von Leichtbaustoffen, vgl. [U7]. Das BMVBS merkte u.a. an, dass zur Kostensenkung die Bauweise des Straßendamms (Rampe) der K 40 optimiert werden solle. In der Folge wurde ergänzend zum o. g. Baugrundgutachten zunächst in Form von Aktenvermerken und Besprechungen zwischen LBV-SH und IGB die Art der Optimierung erörtert und weiter optimiert. Aufgrund der Komplexität der Rampenbauwerke werden auftragsgemäß im vorliegenden Baugrundgutachten Nr. 2 Empfehlungen zur Gründung des Straßendamms der K 40 gegeben. Es werden die Ergebnisse des vorangegangenen Vermerkes (AV Nr. 1 vom 22.02.10 [U10]) und Besprechungen vom Mai und Juni 2010 sowie der umfangreichen Berechnungen zusammengefasst. Es basiert auf den Ergebnissen des Baugrundgutachten [U5].

## 1.2 Anlagenverzeichnis

Die nachfolgend aufgeführten Anlagen 1 bis 12.3 sind bereits Bestandteil des vorliegenden Gutachtens vom 27.11.2007 [U5] und werden nicht erneut beigelegt, gelten jedoch unverändert für den vorliegenden Bericht Nr.2.

<b>Anlage</b>	<b>1</b>	Übersichtslageplan M. 1 : 25.000
<b>Anlage</b>	<b>2.2</b>	Lageplan der Untergrundaufschlüsse – Nord M. 1 : 2.500
<b>Anlage</b>	<b>3.5</b>	Ergebnisse der Untergrundaufschlüsse, K40 M. 1:100/1:1.000
<b>Anlage</b>	<b>4</b>	Zusammenstellung der Prüfergebnisse
<b>Anlage</b>	<b>5</b>	Kornverteilungskurven
<b>Anlage</b>	<b>6</b>	Durchlässigkeitsversuche
<b>Anlage</b>	<b>7</b>	Kompressionsversuche
<b>Anlage</b>	<b>8</b>	Einaxiale Druckversuche
<b>Anlage</b>	<b>9</b>	Direkte Scherversuche – Rahmenscherversuch

**Anlage 10** Spitzendrucksondierungen (Fa. Neumann)

**Anlage 12.3** Bemessungs-Bodenprofil 3, Stat. 3+800 bis 5+200 M. 1 : 100

Nachfolgend aufgelistete Anlagen 13 bis 15.5 beziehen sich ausschließlich auf das vorliegende Baugrundgutachten – Nr. 2 (Überführung K 40) und werden dem Bericht beige-fügt:

**Anlage 13** Ergebnisse der Sicherheitsnachweise gegen Böschungsbruch

**Anlage 13.3** K 40, Bau-km 0+310 (Endzustand)

**Anlage 13.4** K 40, Bau-km 0+390 (Endzustand)

**Anlage 13.5** K 40, Bau-km 0+055 (Endzustand)

**Anlage 13.6** K 40, Bau-km 0+310 (Anfangszustand)

**Anlage 14** Ergebnisse der Setzungsberechnungen

**Anlage 14.4** K 40, Bau-km 0+310

**Anlage 15** Konsolidierungsverlauf Setzung

**Anlage 15.4** Konsolidierungsverlauf Setzung, K 40

**Anlage 15.5** Konsolidierungsverlauf Vertikaldränagen K 40

### **1.3 Unterlagenverzeichnis**

[U1] Baugrundgutachten Nr. 1, BW 2 B 5, km 6+010 „Alte Eider“, Landesamt für Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Baustoff- und Bodenprüfstelle, Kiel, 06.02.2001

[U2] B 5; Dreistreifigkeit Tönning – Husum, I. BA Tönning – Rothenspieker, Lagepläne M. 1 : 1000, Unterlage Nr.: 7 Blatt Nr.: 5, Stand 29.05.2008, eds – planung, Beratende Ingenieure, Gettorf

[U3] B 5; Dreistreifigkeit Tönning – Husum, I. BA Tönning – Rothenspieker, Achse 100, Querprofile M. 1 : 100, Anlage 15.9, Stand 10.09.2007, eds – planung, Beratende Ingenieure, Gettorf

- [U4] Geologische Übersichtskarte, 1 : 200.000, CC2318 Neumünster, Herausgegeben von der Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland, Hannover 1980
- [U5] Baugrundgutachten, B 5, Dreistreifigkeit Tönning-Husum, 1. BA von Tönning nach Rothenspieker Bau-km 0+300 bis 5+500 und Ausbau K 40, **IGB** Ingenieurgesellschaft mbH, 27.11.2007
- [U5.1]Baugrundgutachten - 1. Ergänzung, **IGB** Ingenieurgesellschaft mbH, 15.02.2008
- [U6] B 5; Dreistreifigkeit Tönning – Husum, I. BA Tönning – Rothenspieker, Höhenplan M. 1 : 1000/100, Unterlage Nr.: 8, Blatt Nr.: 8, Stand 29.05.2008, eds – planung, Beratende Ingenieure, Gettorf
- [U7] B 5; Dreistreifigkeit Tönning – Husum, I. BA Tönning – Rothenspieker, Straßenquerschnitt – Verlegte K 40 - Aufbau mit Leichtbaustoffen (Variante 1), M. 1 : 50, Unterlage Nr.: 6, Blatt Nr.: 9b, Stand 06.04.2009, eds – planung, Beratende Ingenieure, Gettorf
- [U7.1] Unterlage Nr.: 6, Blatt Nr.: 9b, Stand Juli 2010, eds – planung, Beratende Ingenieure, Gettorf
- [U8] Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 542), Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, FGSV Verlag GmbH, März 2010
- [U9] Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 550), Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Arbeitskreis Leichtbaustoffe, FGSV Verlag GmbH, Ausgabe 1995
- [U10] Aktenvermerk Nr.1 Brücke B 50/B 5 Übergangsbereich Bauwerksgründung/Straßendamm, **IGB** Ingenieurgesellschaft mbH, 22.02.2010
- [U11] EBGEO – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) (2010): Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. Verlag Ernst & Sohn, 2010

## 2 BESCHREIBUNG DER BODENVERHÄLTNISSE

Geländeform, Geologie, Hydrologie und Besonderheiten des Baugrundes sind im Detail in Kap. 2 [U5] beschrieben.

## 3 BAUTECHNISCHE BESCHREIBUNG DER EINZELNEN BODENSCHICHTEN

Die Beschreibung der Schichten sowie der Schichtenverlauf sind im Detail in Kap. 2 und Kap 4.1 [U5] beschrieben.

Die Angabe der Bodenkenngößen erfolgte auf Grundlage unserer Erfahrungen in der näheren Umgebung, der Bodenansprache in unserem Labor und der bodenmechanischen Versuchsergebnisse, Kap. 3 [U5]. Für erdstatische Berechnungen können gemäß DIN 1054 (2005) die in der **Tabelle 1** angegebenen charakteristischen Werte in Ansatz gebracht werden ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ,  $E_{S,k}$ ,  $c_v$ ,  $\phi'_{k}$ ,  $c'_{k}$ ,  $c_{u,k}$ ).

Bei Anwendung des Globalsicherheitskonzeptes gemäß DIN 1054 (1976) sind die Rechenwerte der Bodenkenngößen den angegebenen charakteristischen Werten gleichzusetzen.

**Tabelle Nr. 1: Bodenkennwerte**

Bodenart					Wattsand, schluffig	Sand, Holozän	Sand, Pleistozän
Konsolidierungs- koeffizient	$c_h$	[m <sup>2</sup> /s]		Klei, mit Sandlagen	2 x 10 <sup>-4</sup>	2 x 10 <sup>-3</sup>	0,5
	$c_v$	[m <sup>2</sup> /s]		1 x 10 <sup>-7</sup> - 1 x 10 <sup>-5</sup> 2 x 10 <sup>-8</sup> - 1 x 10 <sup>-6</sup>			
Steifemodul	200 kN/m <sup>2</sup>	[MN/m <sup>2</sup> ]		3 - 10			
	100 kN/m <sup>2</sup>	[MN/m <sup>2</sup> ]		2 - 5			
	50 kN/m <sup>2</sup>	[MN/m <sup>2</sup> ]		1 - 4			
Durchlässigkeit	horizontal	[m/s]		5 x 10 <sup>-10</sup> - 2 x 10 <sup>-8</sup>	1 x 10 <sup>-8</sup> - 1 x 10 <sup>-7</sup>	1 x 10 <sup>-7</sup> - 1 x 10 <sup>-5</sup>	1 x 10 <sup>-4</sup>
	vertikal	[m/s]		1 x 10 <sup>-10</sup> - 2 x 10 <sup>-9</sup>			
Schерfestig- keit	undr. Scherf.	[kN/m <sup>2</sup> ]		10- 150	-	-	-
	Kohäsion	[kN/m <sup>2</sup> ]		5 - 20	2,5	0	0
	Reibungs- winkel	[°]		15 - 30	30	32,5	35
Wichte	$\gamma / \gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]		15/5	19/11	19/11	19/11

## 4 ERDSTATISCHE NACHWEISE

### 4.1 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise wurden an drei maßgeblichen Stationen des Straßendammes (Rampe) der verlegten K 40 ausgeführt:

1. Bau-km 0+310 (K4 0 Achse 200), unmittelbar im Kuppenbereich vor dem Brückenwiderlage; Gradient 9,161 m; Straßenquerschnitt gemäß [U7] mit EPS-Hartschaumstoff-Blöcken als Leichtbaustoff, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK, Böschungsneigung 1 : 2,
2. Bau-km 0+390 (K 40 Achse 200/Einmündung Achse 210); Gradient NN+7,36 m; Straßenquerschnitt ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK, Böschungsneigung 1 : 2.
3. Bau-km 0+055 (K 40 Achse 200/Anschluss K 40 alt – Rothenspieker), Wannenebereich, Gradient NN+3,06 m; Straßenquerschnitt ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK, Böschungsneigung 1 : 2.

Der Nachweis der zulässigen Bodenpressung nach DIN 1054 (2005), Nr. 7 sowie der Grundbruchsicherheitsnachweis entfallen, da keine Gründung zur Lastabtragung von Fundamenten geplant ist. Der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch nach DIN 1054 (2005), Nr. 12.3 und DIN 4084 entfällt ebenfalls, da keine verankerten oder nicht verankerten Stützbauwerke zur Sicherung von Geländesprüngen vorgesehen sind. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Nachweise der Sicherheit gegen Böschungsbruch dargestellt.

Die Nachweise wurden mit dem Programm Stability, GGU, nach DIN 4084 nach dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte der DIN 1054 (2005) durchgeführt.

Die Nachweise wurden an den o.g. Querschnitten geführt mit dem zugehörigen Bemessungsbodenprofil BMP3 (Anlage 12.3) .

Den Berechnungen liegen die Bodenkennwerte der **Tabelle 1** zugrunde, wobei bei der Scherfestigkeit für den Klei - auf der sicheren Seite liegend - die Mindestwerte angesetzt wurden. Für EPS-Blöcke liegen keine „Boden“-Kennwerte vor. In [U9] wird lediglich ein

Reibungskoeffizient EPS/EPS und EPS/Boden von 0,5 genannt. Hilfsweise wird für die Standsicherheitsberechnungen ein Reibungswinkel  $\varphi = \tan 0,5 = 26,5^\circ$  mit einer Kohäsion  $c = 0$  angesetzt.

Ferner wurden folgende Randbedingungen und Lastannahmen zu Grunde gelegt:

- vorh. GOK am Böschungsfuß (Urgelände) ca. NN + 1,5 m,
- Voraushub bis NN+0,6 m, entsprechend bis ca. 1 m unter GOK, oberhalb des mittleren Grundwasserstandes,
- gepl. Verkehrslast SLW60/30, Ansatz als Flächenlast  $p = 33,3/16,7 \text{ kN/m}^2$ , Verkehrslast Radweg LKW7,5 Ansatz als Flächenlast  $p = 4 \text{ kN/m}^2$

Für die drei genannten, maßgeblichen Stationen (Bau-km 0+310, 0+310 und 0+055) wurde jeweils die Endstandsicherheit berechnet (**Anlage 13.3, 13.4** und **13.5**). Zusätzlich erfolgte für die Station Bau-km 0+310 im Kuppenbereich der Nachweis der Standsicherheit im Bau-/Anfangszustand (**Anlage 13.6**). In den Anlagen sind jeweils die ungünstigsten Gleitkreise dargestellt.

## **Endstandsicherheit**

### Bau-km 0+310 (Kuppenbereich mit EP-Blöcken), Anlage 13.3

Die ungünstigsten Gleitkreise verlaufen durch den Dammkörper. Bei lagenweisem Einbau und Verdichtung des seitlichen Dammmaterials aus grobkörnigem Boden gem. [U7] und Gewährleistung eines (Ersatz-)Reibungswinkels von  $\varphi \geq 32,5^\circ$  ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,0 \leq \mu_{\text{zul}} = 1,0$  (**Anlage 13.3.1**).

Wird ein geringerer (Ersatz-)Reibungswinkels angesetzt bzw. beim Einbau erzielt, ergibt sich ein zu hoher Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} > 1,0$ . Gemäß **Anlage 13.3.2** wird unter Ansatz von  $\varphi = 30^\circ$  für das seitliche Dammmaterial ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,05$  nachgewiesen.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Standsicherheit ist das seitliche Dammmaterial entsprechend lagenweise einzubauen und zu verdichten. Die Verdichtung und die Scherfestigkeit sind nachzuweisen.

Alternativ sind auf der Aushubsohle bzw. innerhalb der Böschung zugfeste Geogitter zu verlegen und entsprechend innerhalb des Straßendamms zu verankern, um eine ausreichende Standsicherheit der Böschung zu erlangen (**Anlage 13.3.3**). Die Geogitter sind an der Böschungsaußenkante mindestens 1,5 m umzuschlagen. In [U7.1] ist eine Ausführung mit Geogittern im Schnitt dargestellt. Gemäß Vordimensionierung ist eine Geogitterlage auf der Aushubsohle mit einer Höchstzugkraft von 80 kN/m (quer) erforderlich.

#### Bau-km 0+390; Straßenquerschnitt ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Anlage 13.4

Die ungünstigsten Gleitkreise verlaufen durch den Dammkörper und den Untergrund (Kleihorizont). Bei Verwendung von grobkörnigem Boden als Dammmaterial gem. [U7] und unter Ansatz eines Reibungswinkels von  $\varphi \geq 32,5^\circ$  ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,18 > \mu_{\text{zul}}$  (**Anlage 13.4.1**), so dass eine ausreichende Standsicherheit nicht nachgewiesen werden kann.

Bei Ansatz von günstigeren Scherparametern für den Klei ( $\varphi \geq 20^\circ$ ), z. B. infolge einer Vorbelastungsschüttung und Entwässerung durch Vertikaldränagen, ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} \approx 1,0 = \mu_{\text{zu}}$  (**Anlage 13.4.2**).

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Standsicherheit auch bei ungünstigen Bodenkennwerten des Kleis im Untergrund ist flächig auf der Aushubebene ein zugfestes Geogitter zu verlegen (**Anlage 13.4.3**). Gemäß Vordimensionierung ist eine bzw. sind mehrere Geogitterlagen mit einer Höchstzugkraft von gesamt 200 kN/m (quer) erforderlich.

#### Bau-km 0+055, Wannenbereich, ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Anlage 13.5

Die Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise sind ähnlich denen für Bau-km 0+390. Die maßgeblichen Gleitkreise verlaufen durch den Dammkörper und den Untergrund. Bei grobkörnigem Boden als Dammmaterial und ungünstigen Scherparametern für den Untergrund (Klei) ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,18 > \mu_{\text{zul}}$  (**Anlage 13.5.1**).

Bei Ansatz von günstigeren Scherparametern für den Klei ( $\varphi \geq 20^\circ$ , s. o.) oder Verlegung eines zugfesten Geogitters kann der Nachweis geführt werden,  $\mu_{\max} = 0,94$  bzw.  $0,97 < 1,0 = \mu_{zu}$  (**Anlage 13.5.2** bzw. **Anlage 13.5.3**). Gemäß Vordimensionierung ist eine Geogitterlagen mit einer Höchstzugkraft von 80 kN/m (quer) erforderlich.

### **Anfangsstandsicherheit**

Der Nachweis der Standsicherheit im Anfangszustand (unter Ansatz der undränierten Scherfestigkeit  $c_u$  der Weichschichten) wurde für den Straßenquerschnitt Bau-km 0+310 [U7] geführt, **Anlage 13.6**. Untersucht wurden die Bauzustände nach Aufbringen einer Vorbelastungsschüttung und nach Herstellung des Straßendamms.

#### Vorbelastungsschüttung

Bei grobkörnigem Boden als Dammmaterial und ungünstigen Anfangs-Scherparametern für den Untergrund (Klei) ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,18 > \mu_{zul}$  (**Anlage 13.6.1**), so dass eine ausreichende Standsicherheit nicht nachgewiesen werden kann.

Bei Ansatz von günstigeren Anfangs-Scherparametern für den Klei ( $c_u \geq 15$  kN/m<sup>2</sup>) ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 0,85 < 1,0 = \mu_{zu}$  (**Anlage 13.6.2**).

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Standsicherheit ( $\mu_{\max} \leq 1,0 = \mu_{zu}$ ) auch bei ungünstigen Bodenkennwerten des Kleis ist, wie bereits für den Endzustand empfohlen, flächig auf der Aushubebene ein zugfestes Geogitter (Zugfestigkeit längs/quer  $\geq 80$  kN/m<sup>2</sup>) zu verlegen (**Anlage 13.6.3**).

#### Herstellung Straßendamm

Die Ergebnisse dieser Standsicherheitsnachweise sind ähnlich denen für die Vorbelastungsschüttung. Bei grobkörnigem Boden als Dammmaterial und ungünstigen Anfangs-Scherparametern für den Untergrund (Klei,  $c_u = 10$  kN/m<sup>2</sup>) ergibt sich ein Ausnutzungsfaktor von  $\mu_{\max} = 1,13 > \mu_{zul}$  (**Anlage 13.6.4**).

Bei Ansatz von günstigeren Anfangs-Scherparametern für den Klei ( $c_u \geq 15$  kN/m<sup>2</sup>) oder Verlegung eines zugfesten Geogitter kann der Standsicherheitsnachweis geführt werden,  $\mu_{\max} = 0,90$  bzw.  $0,94 < 1,0 = \mu_{zu}$  (**Anlage 13.6.5** bzw. **Anlage 13.6.6**).

Zur Gewährleistung des erforderlichen Sicherheitsniveaus und auf Grundlage der vorliegenden Entwurfsplanung [U6, U7 bzw. U7.1] zu folgender Gründungsempfehlung:

- Böschungsneigung bis 1 : 2 (Straßendamm, Endzustand),
- Böschungsneigung Bauzustand bis 1 : 1,5 (Vorbelastungsschüttung),
- Neigung Grabenböschungen bis 1 : 1,5,
- Grabentiefe bis 1 m,
- Anforderung Dammmaterial (Ersatz-) Reibungswinkel  $\varphi = 32,5^\circ$
- Geogitter in Aushubebene.

Weitere Anforderungen an den Boden im Überschüttbereich bzw. das Dammmaterial sowie Anmerkungen und Empfehlungen zur Ausführung und Ausschreibung sind dem Kpt. 5 zu entnehmen.

## 4.2 Setzungen und Verformungen

Allgemeine Hinweise zu Setzungen (Sofortsetzung, Konsolidierungssetzung und Kriechsetzen) und deren Berechnung sind dem Kap. 4.5 in [U5] zu entnehmen.

### Sofortsetzungen

Die Sofortsetzungen  $s_0$  sind für das Verformungsverhalten nach Abschluss der Baumaßnahme nur von geringer Bedeutung, da diese bereits während des Aufbringens der Aufschüttung eintreten.

### Primärsetzungen

Die Primärsetzungen (Konsolidierungssetzungen) wurden mit dem Programm SETTLE, GGU, nach DIN 4019 ermittelt, wobei das Bemessungs-Bodenprofil BMP 3 (**Anlage 12.3**) angesetzt wurde. Den Berechnungen liegen die Bodenkennwerte der **Tabelle** zugrunde. Da bei den Bemessungs-Bodenprofilen die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten zum Teil variieren und in der Tabelle für die Steifemodul  $E_s$  eine Spannweite angegeben wird, wurden die Berechnungen jeweils unter Ansatz ungünstiger Parameter (geringe Steifemodul) und günstiger Parameter (hohe Steifemodul) für die Weichschichten

durchgeführt. Ansonsten gelten die in Kap. 4.1 genannten Randbedingungen. Für die erdfeuchten EPS-Blöcke wurde gemäß [U9] eine Wichte von  $1 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

Die Setzungen wurden für den Straßendamm (Rampe) der verlegten K40 zwischen den Stationen 0+300 und 0+500 ermittelt. Die Darstellung des Setzungsverlaufes in **Anlage 14.4** erfolgt analog zu Kap. 4.1 für die drei maßgeblichen Stationen:

1. Bau-km 0+310, unmittelbar im Kuppenbereich vor dem Brückenwiderlage; Gradient 9,161 m; Straßenquerschnitt gemäß [U7] mit EPS-Hartschaumstoff-Blöcken als Leichtbaustoff, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK,
2. Bau-km 0+390, Gradient NN+7,36 m; Straßenquerschnitt ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK,
3. Bau-km 0+455, Gradiente 4,72 m; Straßenquerschnitt ohne EPS-Hartschaumstoff-Blöcke, Bodenvoraushub bis ca. 1 m unter GOK sowie
4. in Straßenachse.

Die Angabe der Setzungen bezieht sich jeweils auf Aushubebene bzw. vorh. Gelände.

Das Maximum der Setzungen liegt bei Station 0+390, an der der Damm am Ende der EPS-Blockbauweise die größte Sandaufschüttung aufweist. Im Bereich der Kuppe mit EPS-Blockbauweise sind die Setzungen im Verhältnis gering.

Die Setzungen betragen bei ungünstigen Bodenkennwerten (geringe Steifemoduln für Klei) gemäß **Anlagen 14.4.1 bis 14.4.4** zwischen rd.

- **0,25 m** im Kuppenbereich mit EPS-Blöcken (Stat. 0+310)
- **1,15 m** bei Stat. 0+390 ohne EPS-Blöcke und
- **0,70 m** (Stat. 0+450) ohne EPS-Blöcke.

Im Bereich der EPS-Blockbauweise ist der Setzungsverlauf im Querschnitt gleichmäßig groß (**Anlage 14.4.2**). Außerhalb des Bereiches der EPS-Blockbauweise ist das Maximum der Setzungen im Querschnitt der K 40, betrachtet jeweils in Achse der Straße, und zum Böschungsfuß hin nehmen die Setzungen auf Null ab (**Anlage 14.4.3 und 14.4.4**).

Bei Ansatz günstiger Bodenkennwerten (hohe Steifemoduln für Klei) werden deutlich geringere Setzungen ermittelt und betragen gemäß **Anlagen 14.4.5** zwischen rd.

- **0,06 m** im Kuppenbereich mit EPS-Blöcken (Stat. 0+310)
- **0,25 m** bei Stat. 0+390 ohne EPS-Blöcke und
- **0,15 m** bei Stat. 0+450 ohne EPS-Blöcke.

Der wesentliche Anteil der Setzungen wird durch die oberhalb von etwa NN – 7 m anstehenden Weichschichten hervorgerufen (**Anlage 14.4.6**). Unterhalb dieser „Grenztiefe“ haben die anstehenden Weichschichten nur noch einen sehr geringen Anteil (< 10%) an den Gesamtsetzungen.

Die Primärsetzungen werden nur allmählich eintreten und erst deutlich nach Abschluss der Baumaßnahme abgeklungen sein, sofern keine beschleunigte Setzungsvorwegnahme erfolgt. Zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung wurden zusätzliche Berechnungen zur Bestimmung des Konsolidationsverlaufes mit dem Software-Programm „KONSOLIDATION“, der Fa. GGU durchgeführt. Die Berechnung erfolgt nach der eindimensionalen Konsolidationstheorie nach Terzaghi mit mehrschichtigen Systemen.

Die konsolidierungsbedingten Setzungen werden gemäß den Diagrammen in **Anlage 15.4** ohne beschleunigte Setzungsvorwegnahme zwischen ca. 2 Jahren (**Anlage 15.4.3 und 15.4.4** bei günstigen Bodenkennwerten für den Klei) und bis zu mehreren Jahrzehnten (**Anlage 15.4.1 und 15.4.2** bei ungünstigen Bodenkennwerten) nach Lastaufbringung abgeklungen sein (Konsolidierungsgrad  $U > 90 \%$ ).

### **Sekundärsetzungen**

Bei den rechnerisch ermittelten Setzungen handelt es sich überwiegend um Primärsetzungen. Hinzu kommen Setzungen aus Kriechen. Nach der Auswertung der Zeit-Setzungsversuche und der Kompressionsversuche in **Anlage 7.6 bis 7.10** beträgt der Anteil der Sekundärsetzung an den Gesamtsetzungen etwa 25 % bis 40 %. Zu den vorgenannten Primärsetzungen kommen daher noch Sekundärsetzungen hinzu in einer Größenordnung von rd.

- 0,02 bis 0,15 m im Kuppenbereich mit EPS-Blöcken (Stat. 0+310)
- 0,08 m bis 0,75 m bei Stat. 0+390 ohne EPS-Blöcke und
- 0,05 m bis 0,45 m bei Stat. 0+450 ohne EPS-Blöcke.

Das Kriechen tritt jedoch stark verzögert, nach Abklingen der Primärsetzungen auf. Etwa 90 % der Kriechsetzungen werden erst nach mehreren Jahren bis Jahrzehnten abgeklungen sein. Nach etwa 10 Jahre werden die Sekundärsetzung im Kuppenbereich voraussichtlich weniger als 0,1 m und bei Station 0+390 (Bereich mit maximaler Sandaufschüttung) zwischen 0,08 m und 0,35 betragen.

### **Zusammenfassung**

Die Steifigkeit der setzungswirksamen Weichschichten können stark variieren. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die Setzungen bei unterschiedlicher Steifemoduln und verschiedener Bauweise (mit/ohne EPS-Blöcke) sehr unterschiedlich groß ausgeprägt sein können. Es ist daher von Primärsetzung zwischen ca. 0,06 und 0,25 m im Kuppenbereich mit EPS-Blockbauweise und zwischen 0,15 bis über 1 m im Steigungsbereich der Rampe außerhalb der EPS-Blöcke auszugehen.

Weiterhin ist mit Sekundärsetzungen zu rechnen in einer Größenordnung von etwa 50 % der Primärsetzungen.

Ohne Baugrund verbessernde Maßnahmen sind Schäden am Straßenkörper infolge Setzungen und Setzungsdifferenzen zu erwarten, so dass baugrundverbessernde Maßnahmen erforderlich sind.

### **4.3 Nachweis der Auftriebssicherheit**

Die Aushubebene liegt oberhalb des mittleren Grundwasserstandes. Die Auftriebssicherheit der Aushubsole ist aufgrund der Mächtigkeit der Weichschichten auch bei Ansatz des Bemessungswasserstandes von NN+1 m gegeben; ein Nachweis ist entbehrlich.

Im Bauzustand ist während des Voraushubes zur Trockenlegung der Baugrube eine Offene Wasserhaltung durchzuführen (siehe Kap. Hauptbericht). Dadurch ist die Auftriebs-

sicherheit der EPS-Blöcke im Bauzustand auch bei Ansatz des Bemessungswasserstandes von NN+1 m gegeben.

Die Gradienten der verlegten K 40 liegt generell oberhalb des Bemessungswasserstandes. Bei dem geplanten Deckenaufbau von 0,6 m und der geplanten Aushubebene (siehe [U7]) besteht im Endzustand für die gesamte Verlegte K 40 eine ausreichende Sicherheit gegen Auftrieb.

## **5 ZUSAMMENFASSENDER BEURTEILUNG DER BODENVERHÄLTNISSE UND VORSCHLÄGE FÜR BAUTECHNISCHE MAßNAHMEN**

### **5.1 Tragfähigkeit und Verformungsverhalten des Untergrundes**

Der in Geländeoberkante bzw. in Aushubebene anstehende Boden (Klei) ist mit Baugerät nicht befahrbar und weist keinen ausreichenden Verformungsmodul auf.

Das Planum ist in Vorkopfbauweise herzustellen. Auf das Planum ist zunächst als Trennschicht ein Straßenbauvliesstoff zu verlegen. Das Vlies ist entsprechend der Belastungen zu bemessen: Geotextilrobustheitsklasse (GRK) 3, Öffnungsweite  $d_{90} < 0,09$  mm.

Zur Gewährleistung der Standsicherheit im Bau- und Endzustand ist auf der Aushubebene ein zugfestes Geogitter zu verlegen. Gemäß Vordimensionierung ist eine Geogitterlage mit einer Höchstzugkraft von 80 kN/m (quer) erforderlich. Im Bereich der maximalen Sandaufschüttung (zwischen Stat. 0+330 und 0+450) erhöht sich die erforderliche Höchstzugkraft gemäß Vordimensionierung auf etwa 200 kN/m, wobei diese auf mehrere Lagen zu verteilen ist.

Die Geogitter sind vor Baubeginn mit dem zum Einsatz vorgesehenen Produkt nach den Empfehlungen zur Bewehrung mit Geokunststoffen (EBGEO) [U11] zu bemessen.

### **5.2 Baugrundverbesserungsmaßnahmen**

Der Straßendamm weist laut [U6] eine Höhe von knapp 8 m über GOK am Übergang zum Widerlager der Überführung auf. Ohne Baugrundverbessernde Maßnahmen würden hier Primärsetzungen in einer Größenordnung von 0,3 m bis über 1 m eintreten,

was das Entstehen einer „Abrisskante“ bzw. eines Höhenversprunges zwischen tiefgegründetem Widerlager und Straßendamm bewirken würde.

In [U5], Kap. 5 werden die zur Auswahl stehenden, grundsätzlich geeigneten Maßnahmen beschrieben:

- Beschleunigte Setzungsvorwegnahme mittels Vorbelastungsschüttung und Einbringen von Vertikaldränagen,
- setzungsreduzierende Gründung durch Einbau von pfahlähnlichen Elementen,
- Einbau von Leichtbaustoffen (z. B. Blähton oder EPS), setzungsminimierend.

Als baugrundverbessernde Maßnahmen wurde in [U5.1] und [U11] die

- beschleunigte Setzungsvorwegnahme mittels Vorbelastungsschüttung und Einbringen von Vertikaldränagen und zusätzlich
- im Kuppenbereich eine Setzungsminimierung durch Einbau von Leichtbaustoffen empfohlen.

Der Bauentwurf [U7] folgt dieser Empfehlung. Im Kuppenbereich ist der Einbau von EPS-Hartschaumstoff-Blöcken als Leichtbaustoff geplant. Da der Einbau von Leichtbaustoffen unterhalb des Grundwasserspiegels nur begrenzt wirkungsvoll ist und zur Begrenzung der Baukosten sowie Vermeidung einer Grundwasserabsenkung, wurde der Einbau von EPS auf das Niveau oberhalb des Grundwasserspiegels unter Tolerierung geringer Restsetzungen beschränkt.

### **Beschleunigte Setzungsvorwegnahme**

Zur Minimierung der Primärsetzungen - und in Abhängigkeit von der Dauer der Liegezeit auch ein Teil der Sekundärsetzungen – ist eine beschleunigte Setzungsvorwegnahme (Vorbelastungsschüttung mit Vertikaldränagen) vorzunehmen. Diese Maßnahme ist möglichst früh vor dem Beginn der Gesamtbaumaßnahme vor dem erforderlichen Einbau der Leichtbaustoffe auszuführen.

Die Berechnungen zeigen (Anlage 15), dass bei

- einer Sandüberschüttung von rd. 1 m gegenüber der gepl. FOK außerhalb des Einbaubereich der EPS - Hartschaumstoff – Blöcke
- einer Vorbelastungsschüttung aus Sand/Boden mit einer Schütthöhe entsprechend Überdeckung der EPS-Blöcke zuzüglich einer Überhöhung von rd. 1 m im Einbaubereich der EPS - Hartschaumstoff – Blöcke
- einer Liegezeit von mindestens  $T = 6$  Monaten und
- einem Raster der Vertikaldränagen von  $a \leq 1,5$  m

ein Konsolidationsgrad von  $U \geq 90$  % (bezogen auf die Gesamtsetzungen der Vorbelastung) erreicht und somit eine fast vollständige Vorwegnahme der zu erwartenden Primärsetzungen infolge Gebrauchslast (ohne Überschüttung) erlangt werden kann.

Eine Beschleunigung der Vorgänge kann z. B. durch Verkleinerung des Rasters der Vertikaldränagen auf  $a = 1,25$  m und/oder Erhöhung der Vorbelastungsschüttung auf ca. 2 m über gepl. FOK erzielt werden.

In Abhängigkeit vom Bauablauf (Liegezeit) und der zur Verfügung stehenden Bodenmengen (Baukosten) können die Faktoren Überhöhung, Liegezeit und Dränabstand noch im Rahmen der Ausführungsplanung optimiert werden.

Erfahrungen aus anderen Maßnahmen zeigen, dass die tatsächlichen Liegezeiten bis zum Abklingen der Setzungen größer als prognostiziert sind und bis zu über 1 Jahr dauern können. Weiterhin hat sich ein Dränabstand von  $a = 1,25$  m als optimal erwiesen.

Die zur Konsolidationsbeschleunigung erforderlichen Vertikaldränagen (Kunststoffstreifendräng) sind vorzugsweise in einem Raster gleichseitiger Dreiecke einzubringen. Dabei sind die Vertikaldränagen und die Überschüttung mindestens bis an den Böschungsfuß anzuordnen. Die Unterkante der Vertikaldränagen stellt im vorliegenden Fall die Oberkante der Wattsande dar. Diese Wattsande sind einerseits nur mit erheblichen Aufwand zu durchteufen und andererseits ist der wirksame Anteil der unterlagernden Weichschichten an den Gesamtsetzungen nur gering. Zudem stellen die Wattsande eine wirksame, zusätzliche horizontale Entwässerungsschicht dar. Die Einbringtiefe liegt

demnach bei etwa NN –8 m. Die exakte Tiefe lässt sich baubegleitend während der Ausführung ermitteln.

### **EPS-Hartschaumstoff-Blöcke**

Zum Einbau des EPS siehe Kap. 5.3

### **Restsetzungen**

Wegen der planmäßigen Längsneigung von 4,5 % im Steigungsbereich des Straßendamms sind hier gewisse Setzungen tolerierbar. Die Setzungsberechnungen ergeben eine maximale Änderung der Steigung von 1 %. Das Eintreten eines Gegengefälles infolge Setzungen wird nach den bisherigen Berechnungen und den zugrundeliegenden Lastannahmen nicht eintreten.

Außerhalb des Kuppenbereiches wird daher empfohlen, unter Tolerierung von Sekundärsetzungen die Einbaumächtigkeit der EPS-Hartschaumstoff-Blöcke zu begrenzen. Unterhalb der Einmündungen der Achsen 400/420 und Achsen 220/225 kann zur Beschränkung der Baukosten auf den Einbau von Leichtbaustoffen verzichtet werden.

Mit Rückbau der Vorbelastungsschüttung und Ende der Setzungsvorwegnahme sind die Primärsetzungen nahezu vollständig abgeklungen, jedoch ist mit dem Eintreten von Sekundärsetzungen zu rechnen, die sich über einen langen Zeitraum einstellen werden (siehe Kpt. 5.1 des Berichtes Nr. 1).

Wie in Kap. 4.2 beschrieben, werden nach etwa 10 Jahren die Sekundärsetzungen im Kuppenbereich weniger als 0,1 m betragen. Diese Setzungen infolge Kriechen sind im Übergangsbereich zum Brückenwiderlager aus Sicht des Gutachters bezogen auf den Zeitraum von 10 Jahren tolerierbar und können im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen durch Aufasphaltieren ausgeglichen werden.

## **5.3 Aufbau der Dämme**

### **Dammmaterial**

Das Dammmaterial ist lagenweisen einzubauen und zu verdichten, gegebenenfalls sind Schüttpausen erforderlich.

Gemäß [U7] ist grobkörniger Boden zum Einbau vorgesehen. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Standsicherheit ist eine Scherfestigkeit von  $\varphi \geq 32,5^\circ$  des eingebauten Bodens nachzuweisen. Grundsätzlich ist auch die Verwendung anderer, verdichtungsfähiger Böden unter Beachtung der Anforderungen der ZTVE-StB möglich, sofern ein (Ersatz-)Reibungswinkels von  $\varphi \geq 32,5^\circ$  gewährleistet ist.

### **EPS-Hartschaumstoffe**

Der Einbau der EPS-Hartschaumstoffe hat nach den Vorgaben des Merkblattes FGSV 550 zu erfolgen [U9]. Gemäß Bauentwurf [U7] ist eine Überbauung der EPS-Blöcke von mindestens 1,5 m bei Verzicht auf eine Betonplatte vorgesehen. Als lastverteilende Schicht wird die Verlegung von zugfestem Geogitter (Höchstzugfestigkeit, quer ca. 80 kN/m) zwischen EPS und Überbau empfohlen. Wegen der zum Teil sehr großen Einbauhöhe von bis zu ca. 7 m wird empfohlen, jeweils nach 5 Lagen EPS-Blöcke (entsprechend ca. 2,5 m) ein lastverteilendes Geogitter innerhalb der EPS-Blöcke zu verlegen.

Die Geogitter sind an der Böschungsaußenkante mindestens 1,5 m umzuschlagen. Die Empfehlungen der EBGEO [U11] sind beim Einbau und Verlegung zu beachten. Vor Baubeginn sind die Geogitter mit dem zum Einsatz vorgesehenen Produkt gemäß EBGEO zu bemessen.

Zur Vorwegnahme der Sofortsetzungen infolge Eigenverformung der EPS-Blöcke sind diese kurzfristig nach vollständigem Einbau mit rd. 2 m Dammmaterial zu überbauen bevor der geplante Straßenquerschnitt hergestellt wird.

### **Böschungen**

Unter Gewährleistung des erforderlichen Sicherheitsniveaus sowie vorgenannter Randbedingungen sind die Böschungen wie folgt auszubilden:

- Böschungsneigungen bis 1 : 2 (Straßendamm, Endzustand),
- Böschungsneigungen Bauzustand bis 1 : 1,5 (Vorbelastungsschüttung),
- Neigung Grabenböschungen bis 1 : 1,5,
- Bankette / Bermen > 1,5 m.

Die Böschungen sind mit bindigem Oberboden abzudecken und zu begrünen. Bis zum Anwachsen der Ansaat ist der Oberboden gegen Erosion zu sichern. Alternativ sind die Böschungen mit Strohmatte abzudecken.

#### **Anschluss Widerlager/Damm**

Das Widerlager der Überführung wird tiefgeündet und wird sich nur während der Bauphase geringfügig setzen. Das Dammbauwerk erfährt jedoch trotz Vorbelastungsschüttung und EPS über die Folgejahre noch Sekundärsetzungen, vgl. Kap. 5.2.

Um die negative Mantelreibung auf das Widerlagerbauwerk infolge Setzungen des Dammes zu begrenzen, ist in der Fuge zwischen Widerlager und Damm eine Dränmatte und Kunststoffolie als vertikale „Gleitschicht“ einzubauen. Detailplanungen hierzu sind mit dem Tragwerksplaner des Brückenbauwerkes zu gegebener Zeit zu erörtern.

#### **5.4 Entwässerungsmaßnahmen/Bauwasserhaltung**

Das Planum liegt gemäß [U7] oberhalb des mittleren Grundwasserstandes.

Im Bauzustand während des Voraushubes zur Trockenlegung der Baugrube sowie bei der Neuanlage von Entwässerungsgräben ist eine Wasserhaltung durchzuführen.

Diese sind vorzugsweise als offene Wasserhaltung mit Pumpensämpfen und Sickerleitungen anzulegen.

Eine Grundwasserabsenkung ist nicht erforderlich.

#### **5.5 Methoden zum Nachweis der erreichten Verdichtungsqualität**

Die Lagerung (Verdichtungsgrad, Dpr) der eingebauten Böden ist im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung gem. ZTVE-StB nachzuweisen. Zusätzlich sind die Verformungsmoduli ( $E_{v2}/E_{v1}$ ) für das Planum und die Tragschichten mittels Lastplattendruckversuch ebenfalls gem. ZTVE-StB nachzuweisen.

Es gelten ferner die Anforderungen gem. DIN 18.300.

## 5.6 Berücksichtigung der Belange Dritter

Da die verlegte K40, außer an die B5 oder landwirtschaftlich genutzten Flächen an keine andere Bebauung grenzt, sind keine Belange Dritter – mit Ausnahme des Grunderwerbes – zu berücksichtigen.

## 6 VORSCHLÄGE FÜR WEITERE AUFSCHLÜSSE, UNTERSUCHUNGEN UND MESSUNGEN

Zusätzliche Aufschlüsse zur Beschreibung des Untergrundes oder Beschreibung des Untergrundes des Dammbauwerkes werden als nicht erforderlich erachtet.

Zur besseren Prognose der zu erwartenden Setzungen und der erforderlichen Liegezeit der Vorbelastungsschüttung sind Setzungspegel im Zuge der Bauphase einzurichten. Die Setzungspegel sind in regelmäßigen Abständen geodätisch einzumessen und die Messergebnisse auszuwerten. Das Endsetzungsmaß und der Verlauf der Setzungen sowie der Zeitpunkt des Endausbaus der Straße können so während der Bauphase/Liegezeit bestimmt werden. Die Setzungspegel sind im Längsabstand von ca. 50 m jeweils 2 bis 3 Pegel pro Station quer zur Achse anzuordnen.

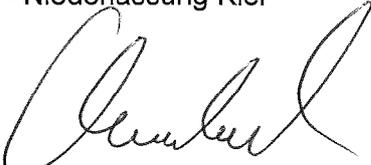
Zusätzlich sind im Untergrund Porenwasserdruckaufnehmer in verschiedenen Kleihorizonten, (z. B. 1 m, 3 m und 6 m unter Aushubebene) einzubringen. Die Porenwasserdruckaufnehmer sind ebenfalls im Längsabstand von ca. 50 m in Straßenachse anzuordnen. Der Porenwasserdruck ist von Beginn der Aufschüttungen an kontinuierlich zu messen und aufzutragen. Der Verlauf des Porenwasserüberdruckes spiegelt den Konsolidierungsgrad  $U$  der Weichschichten dar und dient neben den vorgenannten Setzungspegeln als Grundlage für die Festlegung der erforderlichen Liegezeit und gegebenenfalls von Schüttpausen.

Zu den Setzungspegeln und Porenwasserdruckaufnehmern siehe auch [U5] Kap. 6.7.

Für Rückfragen und weitere Beratungen stehen wir gern zur Verfügung.

IGB Ingenieurgesellschaft mbH

- Niederlassung Kiel -

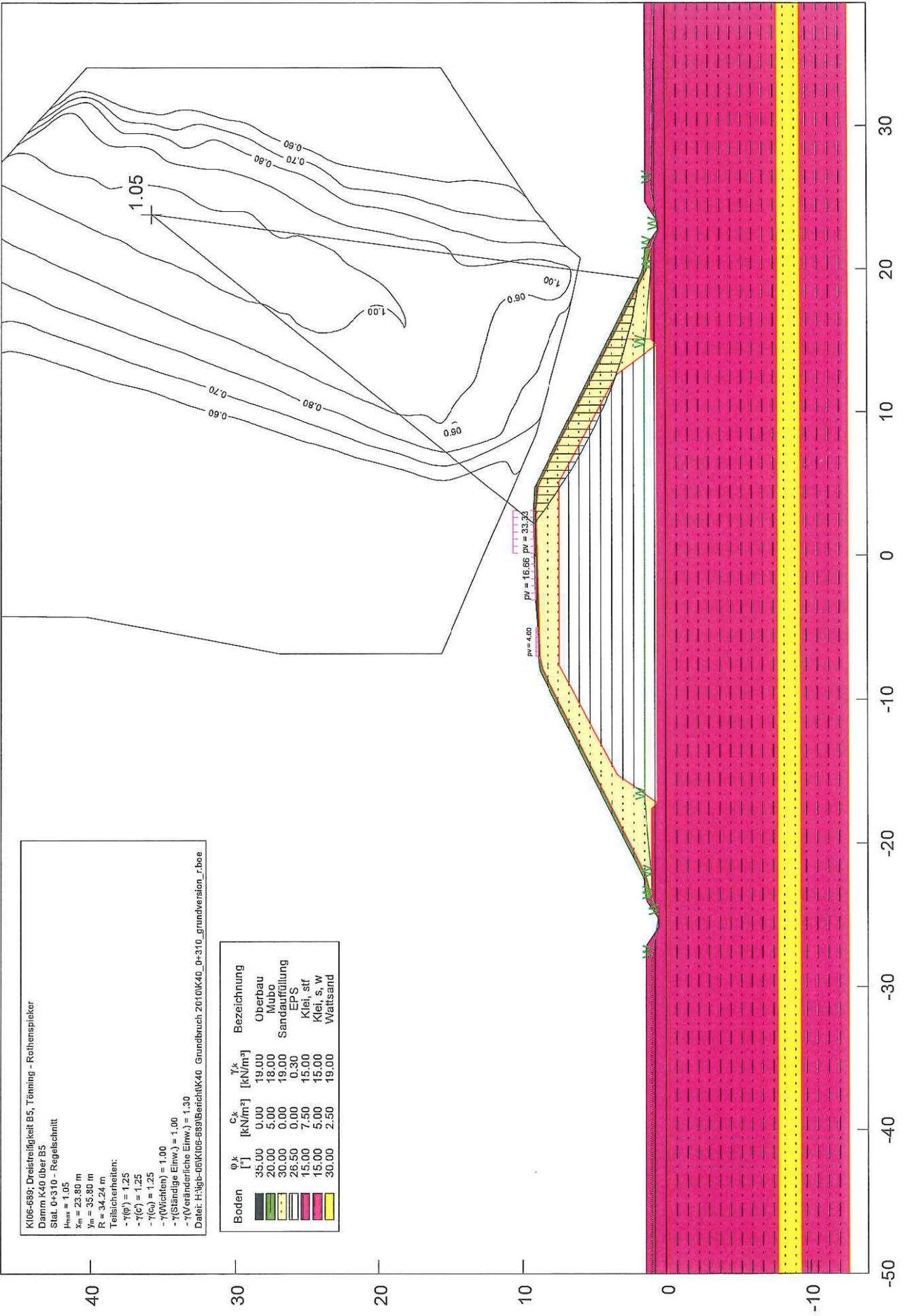
A handwritten signature in black ink, appearing to read "Overbeck", written in a cursive style.

Dr. rer. nat. Gregor Overbeck

i. A. gez.

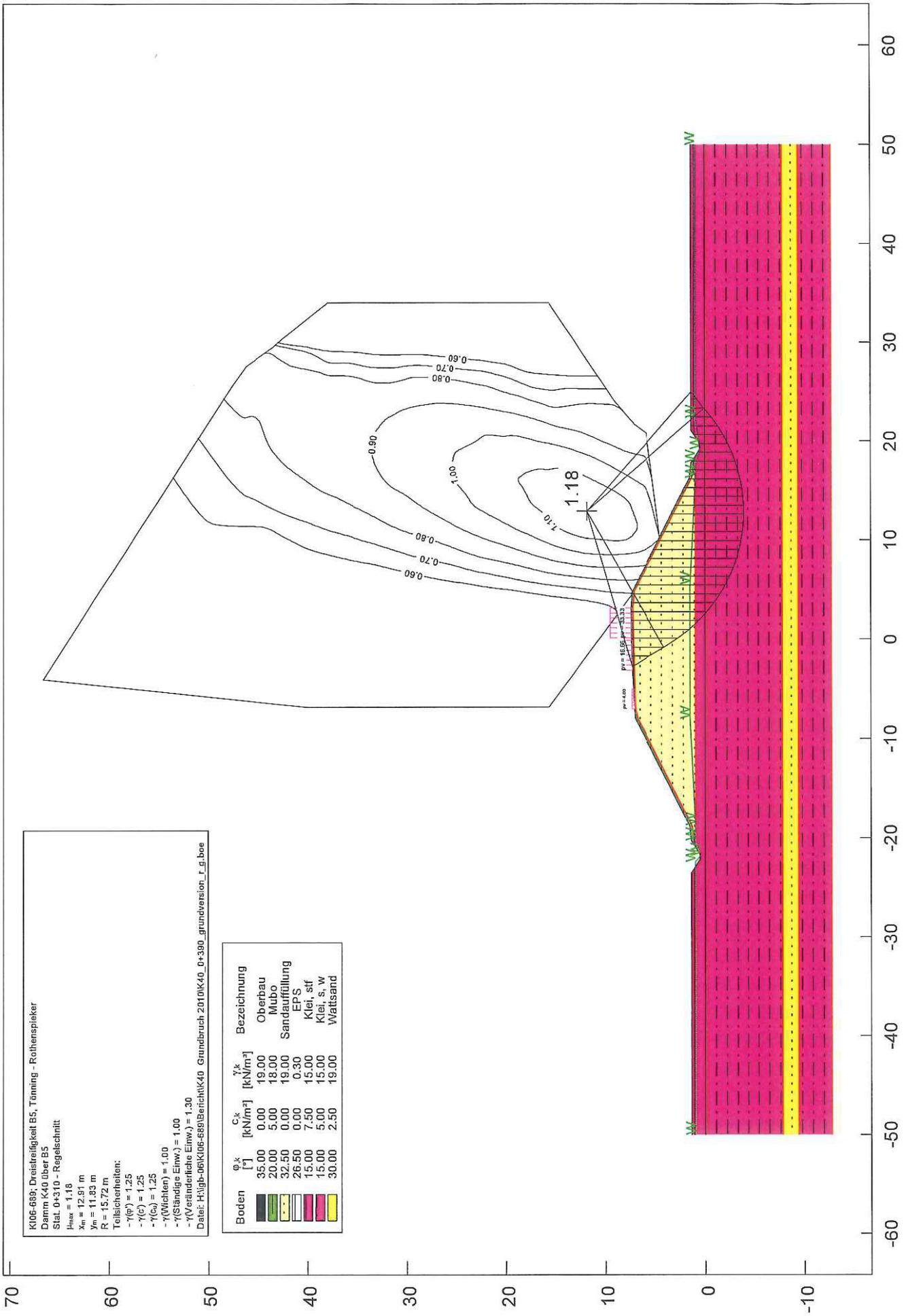
Dipl.-Ing. Torsten Brockmann

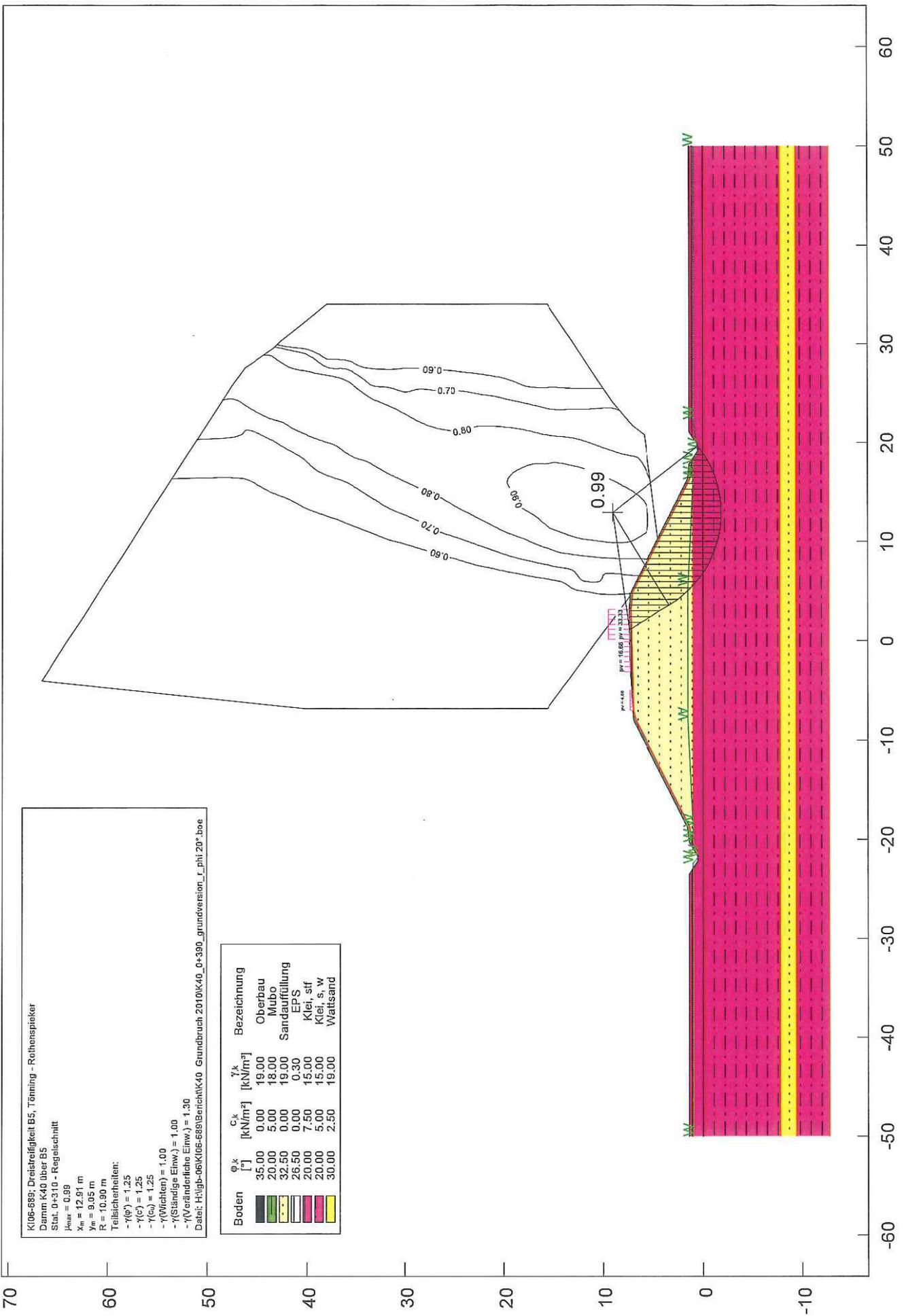




K106-689; Dreistreifigkeit B5, Tönning - Rohrenspleker  
 Damm K40 über B5  
 Stel. 0+310 - Regelschnitt  
 H<sub>max</sub> = 1,05  
 X<sub>m</sub> = 23,80 m  
 Y<sub>m</sub> = 35,80 m  
 R = 34,24 m  
 Teilicherheiten:  
 -T(φ) = 1,25  
 -T(C) = 1,25  
 -T(C<sub>u</sub>) = 1,25  
 -T(Wichten) = 1,00  
 -T(Ständige Einw.) = 1,00  
 -T(Veränderliche Einw.) = 1,30  
 Datei: H:\gib-46\K106-689\BenichtK40 Grundbruch 2010\K40\_0+310\_grundversion\_r.boe

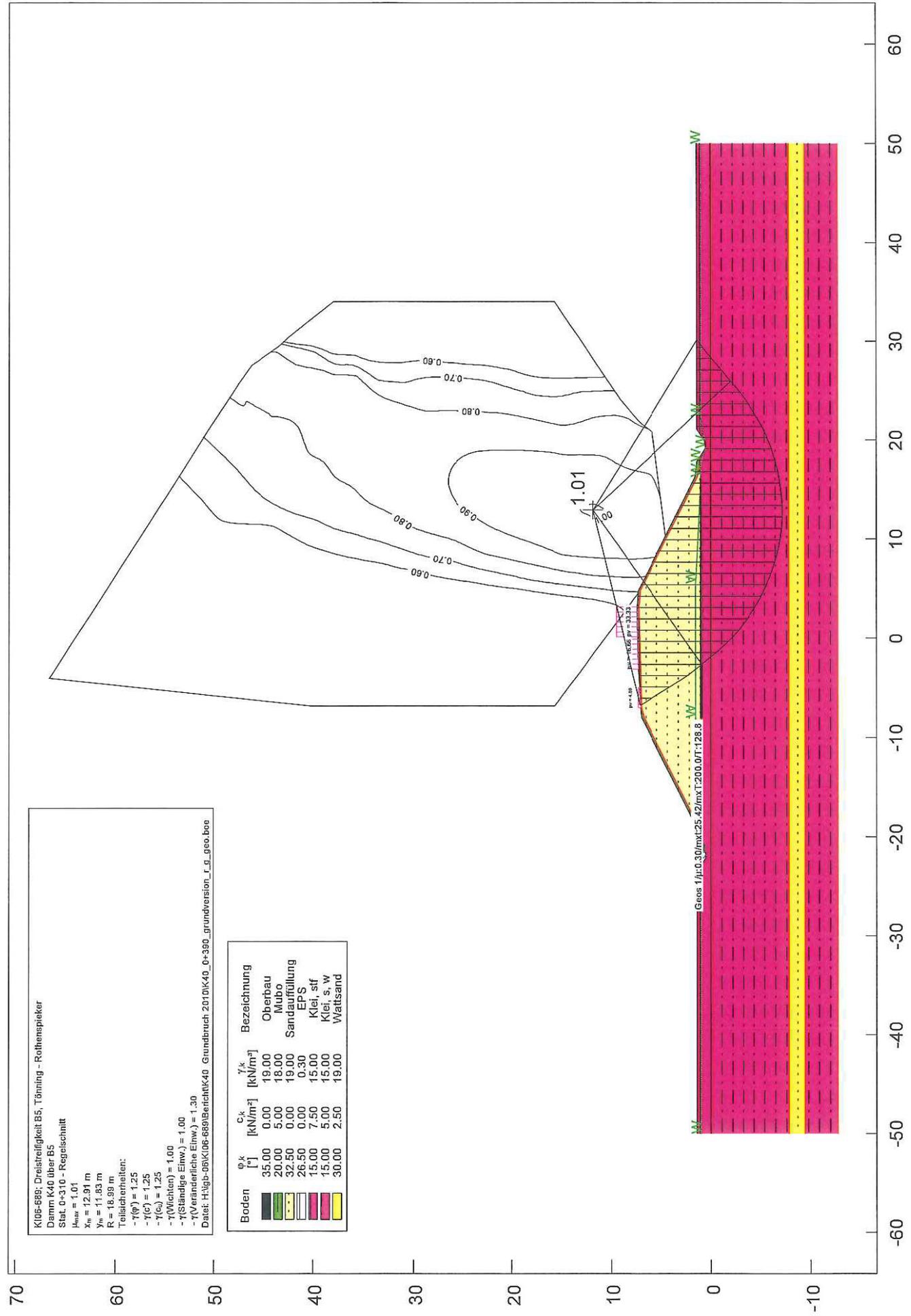
Boden	φ <sup>k</sup> [°]	C <sup>k</sup> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sup>k</sup> [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
[Green]	35.00	0.00	19.00	Oberbau
[Dark Green]	20.00	5.00	18.00	Mubo
[Light Green]	30.00	0.00	19.00	Sandauffüllung
[Yellow]	26.50	0.00	0.30	EPS
[Pink]	15.00	7.50	15.00	Klei, stf
[Light Blue]	15.00	5.00	15.00	Klei, s. w
[Dark Blue]	30.00	2.50	19.00	Wattsand





KI06-686; Dreistufigkeit B5; Tönning - Rothenspieker  
 Dämm K40 über B5  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $h_{\text{Bau}} = 1,01$   
 $x_{\text{An}} = 12,91$  m  
 $y_{\text{An}} = 11,83$  m  
 $R = 18,99$  m  
 Teilsicherheiten:  
 $\gamma(\varphi) = 1,25$   
 $\gamma(c) = 1,25$   
 $\gamma(\text{Wichten}) = 1,00$   
 $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1,00$   
 $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1,30$   
 Datei: H:\igb-06\KI06-686\Bericht\K40\_Grundbruch 2010\K40\_0+390\_grundversion\_L\_g\_geo.boe

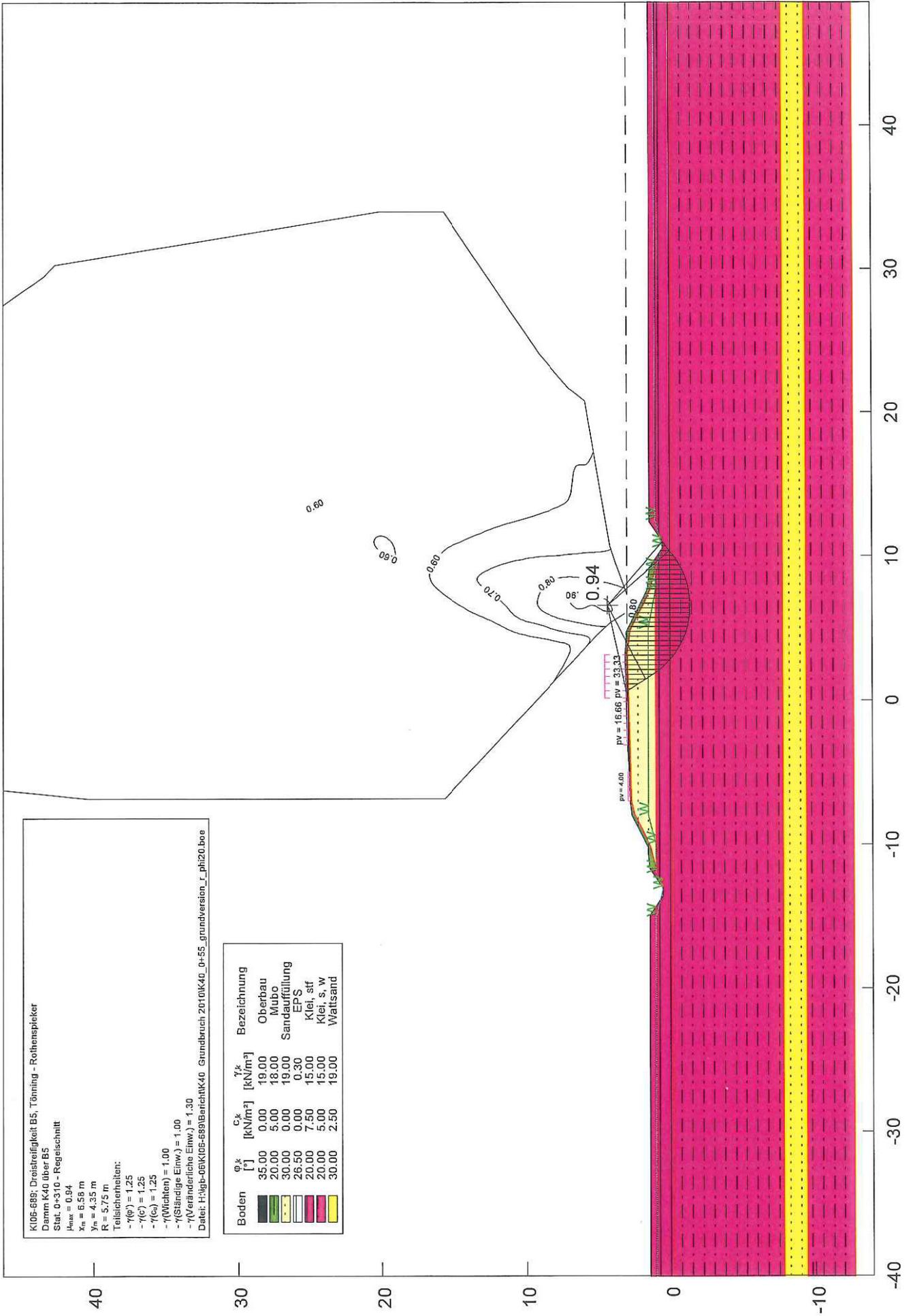
Boden	$\varphi_{i,k}$ [°]	$c_{i,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_{i,k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	35,00	0,00	19,00	Oberbau
	20,00	5,00	18,00	Mubo
	32,50	0,00	19,00	Sandauffüllung
	26,50	0,00	0,30	EPS
	15,00	7,50	15,00	Klei, stf
	15,00	5,00	15,00	Klei, s, w
	30,00	2,50	19,00	Wattsand





K106-689; Dreistreifigkeit B5, Tönning - Robenspieker  
 Damm K40 über B5  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $H_{max} = 1.08$   
 $X_{kr} = 6.58$  m  
 $Y_{kr} = 4.35$  m  
 $R = 5.75$  m  
 Teilchenneilt:  
 $- \gamma(\rho') = 1.25$   
 $- \gamma(c') = 1.25$   
 $- \gamma(c_{ub}) = 1.25$   
 $- \gamma(Wichten) = 1.00$   
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$   
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40\_Grundbruch 2010\K40\_0+55\_grundversion\_1.g.boe

Boden	$\phi^k$ [°]	$c^k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
[Green]	35.00	0.00	19.00	Oberbau
[Light Green]	20.00	5.00	18.00	Mubo
[Yellow]	32.50	0.00	19.00	Sandauffüllung
[Light Yellow]	26.50	0.00	0.30	EPS
[Pink]	15.00	7.50	15.00	Klei, stif
[Light Pink]	15.00	5.00	15.00	Klei, s, w
[Yellow-Orange]	30.00	2.50	19.00	Wattsand



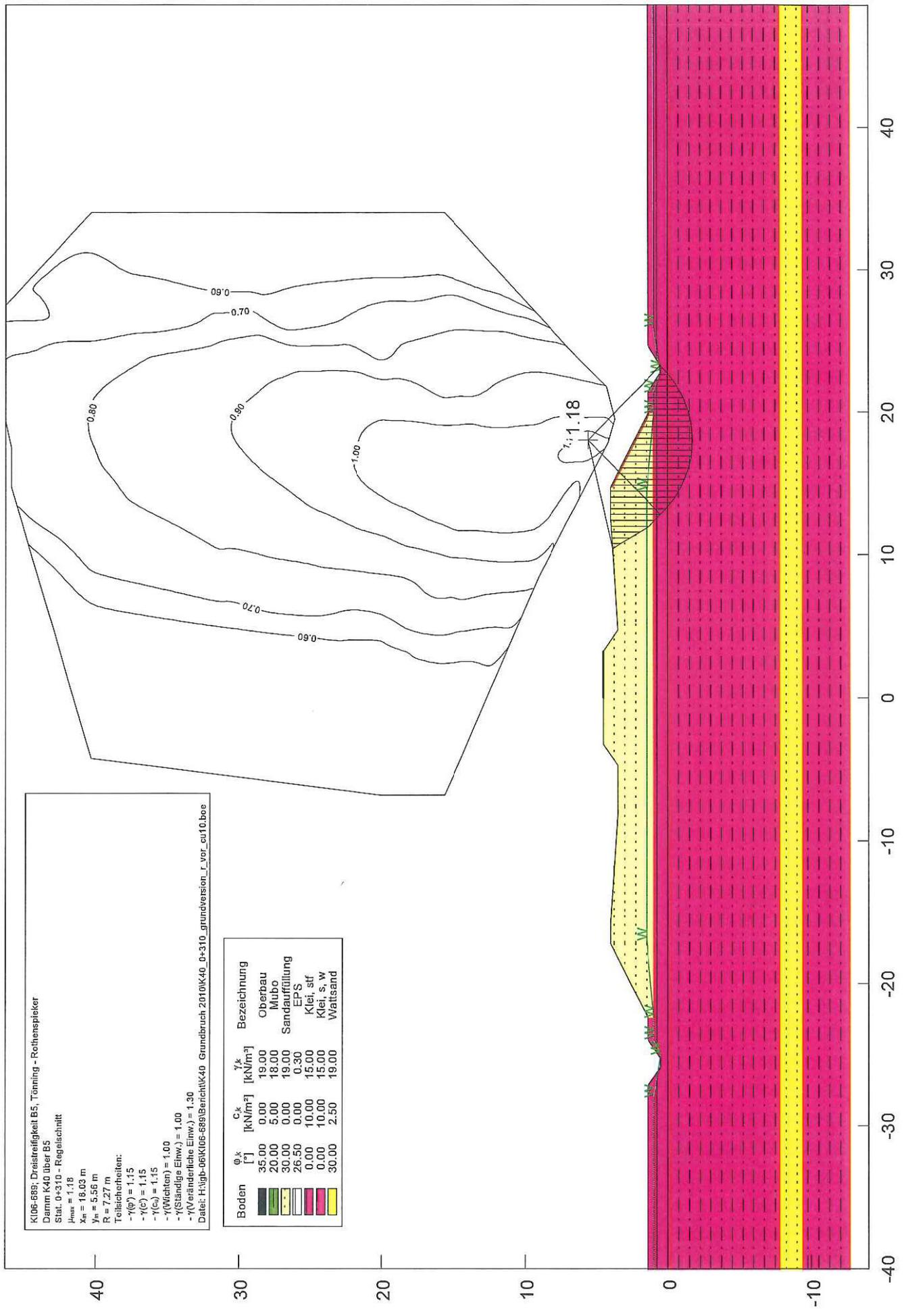
K106-688; Dreistreifigkeit BS, Tönning - Rothenspieker  
 Damm K40 über BS  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $\mu_{max} = 0.97$   
 $x_{in} = 6.58 \text{ m}$   
 $y_{in} = 4.35 \text{ m}$   
 $R = 5.75 \text{ m}$   
 Teilrisserstellen:  
 $-y(\phi) = 1.25$   
 $-y(c) = 1.25$   
 $-y(\text{Wichten}) = 1.00$   
 $-y(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
 $-y(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$   
 Datei: H:\igb-06\K106-688\Bericht\K40\_Grundbruch\_2010\K40\_0+55\_grundversion\_r\_geo.boe

Boden	$\phi^k$ [°]	$c^k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
[Green]	35.00	0.00	19.00	Oberbau
[Light Green]	20.00	5.00	18.00	Mubo
[Yellow]	30.00	0.00	19.00	Sandauffüllung
[Light Blue]	26.50	0.00	0.30	EPS
[Pink]	15.00	7.50	15.00	Klei, stf
[Light Blue]	15.00	5.00	15.00	Klei, s, w
[Yellow]	30.00	2.50	19.00	Wattsand



K106-689; Dreistreifigkeit B5, Tönning - Rothenspieker  
 Dammbau K40 über B5  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $j_{max} = 1,18$   
 $X_m = 18,03$  m  
 $Y_m = 5,56$  m  
 $R = 7,27$  m  
 Teilrisserisiten:  
 $-Y(\phi) = 1,15$   
 $-Y(C) = 1,15$   
 $-Y(Wichten) = 1,00$   
 $-Y(\text{Ständige Einw.}) = 1,00$   
 $-Y(\text{Veränderliche Einw.}) = 1,30$   
 Datei: H:\igp-06\K106-689\Bericht\K40 Grundbruch 2010\K40\_0+310\_grundversion\_r\_vor\_cu10.boe

Boden	$\phi^k$ [°]	$C^k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
[Green]	35,00	0,00	19,00	Oberbau
[Dark Green]	20,00	5,00	18,00	Mubo
[Light Green]	30,00	0,00	19,00	Sandauffüllung
[Yellow]	26,50	0,00	0,30	EPS
[Pink]	0,00	10,00	15,00	Klei, stf
[Light Pink]	0,00	10,00	15,00	Klei, s. w
[Yellow-Orange]	30,00	2,50	19,00	Wattsand



K106-688; Dreistreifigkeit B5, Tinning - Rothenspieker

Damm K40 über B5

Stat. 0+310 - Regelschnitt

$K_{max} = 0.85$

$X_m = 20.35$  m

$Y_m = 11.05$  m

$R = 9.49$  m

Teilsicherheiten:

- $\gamma(\phi^*) = 1.15$

- $\gamma(c^*) = 1.15$

- $\gamma(c_{ul}) = 1.15$

- $\gamma(W_{icheren}) = 1.00$

- $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$

- $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

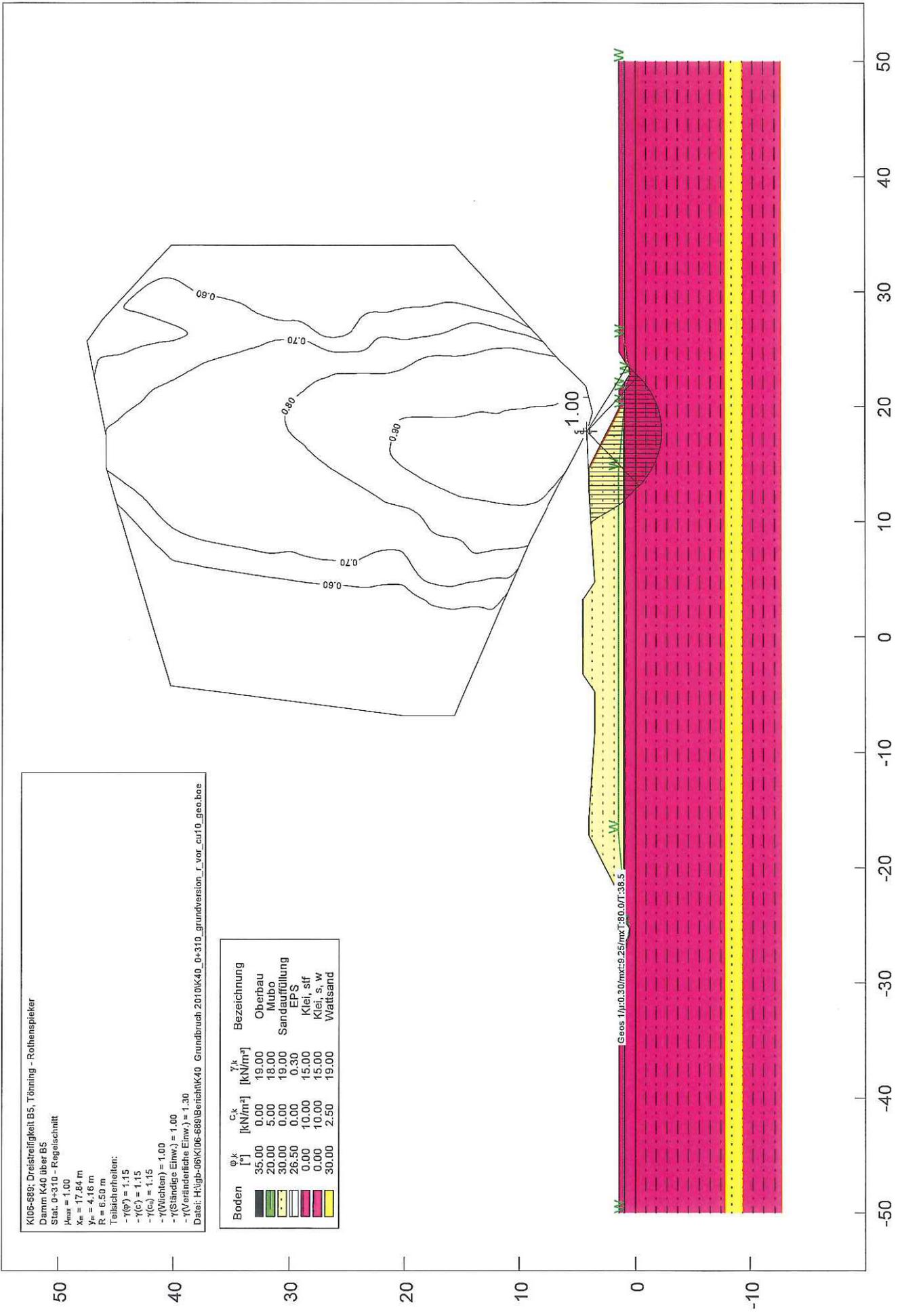
Datei: H:\igb-06\K106-688\BereichK40\_Grundbruch 2010\K40\_0+310\_grundversion\_r\_vor\_cul15.boe

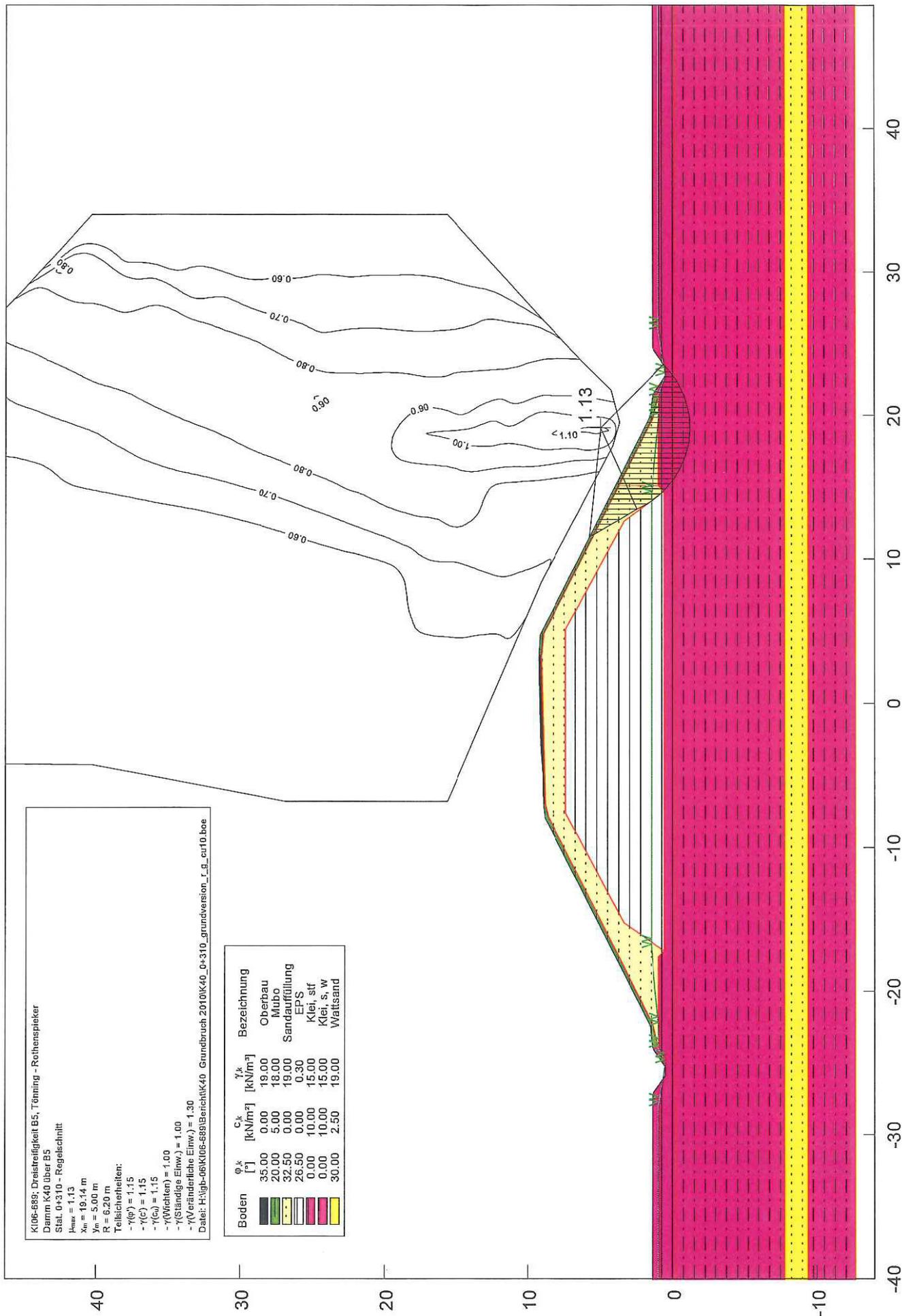
Boden	$\phi^*, k$ [°]	$c^*, k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^*, k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	35.00	0.00	19.00	Oberbau
	20.00	5.00	18.00	Mubo
	30.00	0.00	19.00	Sandauffüllung
	26.50	0.00	0.30	EPS
	0.00	15.00	15.00	Klei, stf
	0.00	15.00	15.00	Klei, s, w
	30.00	2.50	19.00	Wattsand

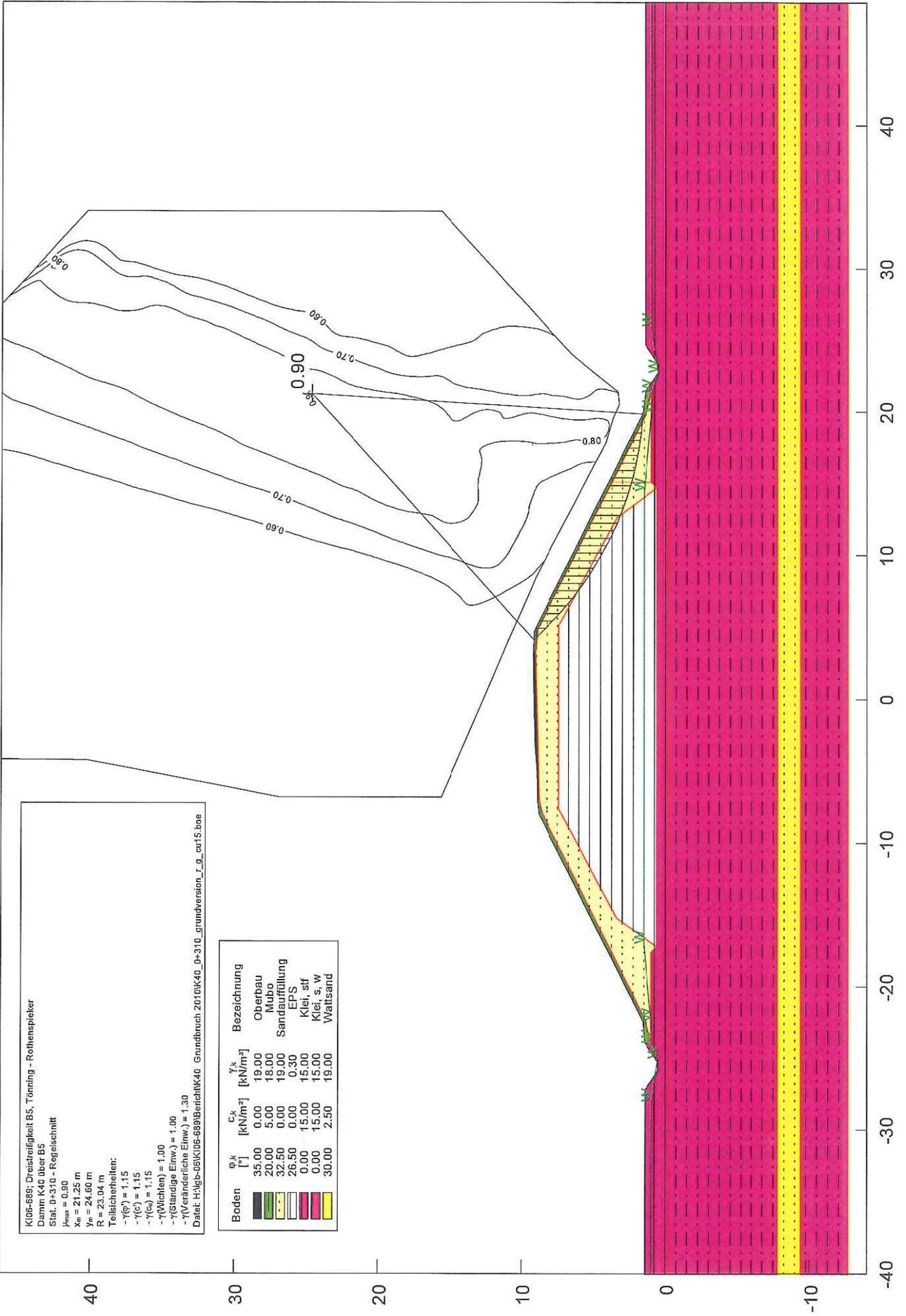


K106-689; Dreistreifigkeit BS, Törring - Rollenspieler  
 Dämm K40 über BS  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $\mu_{max} = 1,00$   
 $X_{st} = 17,84 \text{ m}$   
 $Y_{st} = 4,16 \text{ m}$   
 $R = 6,50 \text{ m}$   
 Teilchenheiten:  
 $- \gamma(\rho) = 1,15$   
 $- \gamma(G) = 1,15$   
 $- \gamma(Wichten) = 1,00$   
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1,00$   
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1,30$   
 Datei: H:\jgb-06\K106-689\Bericht\K40 Grundbruch 2010\K40\_0+310\_grundversion\_r\_vor\_cuf10\_geo.boe

Boden	$\theta_k$ [°]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	35,00	0,00	19,00	Oberbau
	20,00	5,00	18,00	Mubo
	30,00	0,00	19,00	Sandauffüllung
	26,50	0,00	0,30	EPS
	0,00	10,00	15,00	Klei, stf
	0,00	10,00	15,00	Klei, s, w
	30,00	2,50	19,00	Wattsand







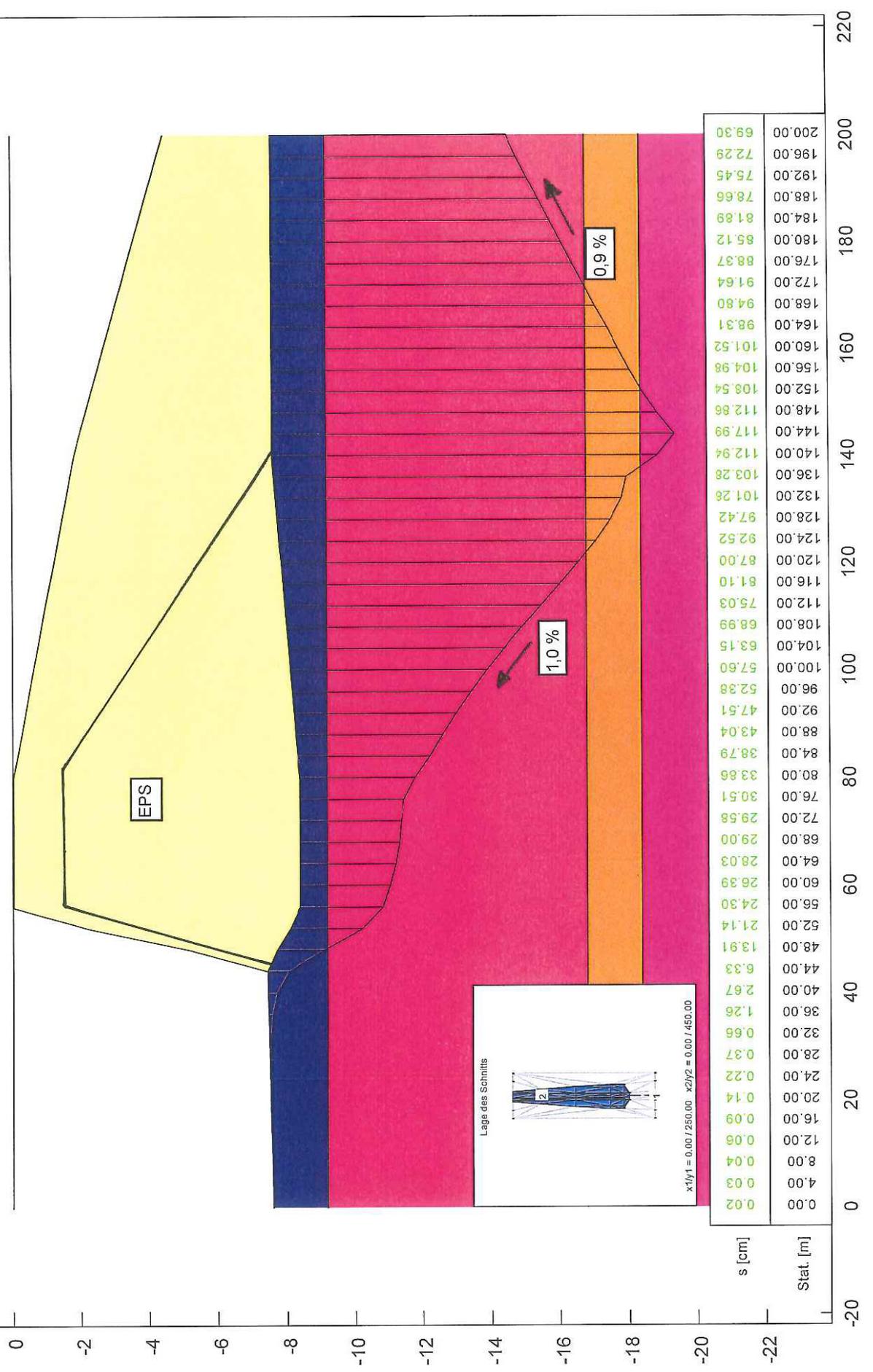
KI06-689; Dreistreifigkeit BS, Tönning - Rothenspieler  
 Damm K40 über BS  
 Stat. 0+310 - Regelschnitt  
 $\mu_{max} = 0,94$   
 $x_{rel} = 18,87$  m  
 $y_{rel} = 4,07$  m  
 $R = 5,70$  m  
 Teilsicherheiten:  
 $- \gamma(\phi) = 1,15$   
 $- \gamma(c) = 1,15$   
 $- \gamma(\text{Wichten}) = 1,00$   
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1,00$   
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1,30$   
 Datei: H:\jgb-06\KI06-689\BerichtK40 Grundbruch 2010\K40\_0+310\_grundversion\_1\_g\_cur10\_geo.boe

Boden	$\phi^k$ [°]	$c^k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
[Green]	35.00	0.00	19.00	Oberbau
[Dark Green]	20.00	5.00	18.00	Mubo
[Light Green]	32.50	0.00	19.00	Sandauffüllung
[Yellow]	26.50	0.00	0.30	EPS
[Pink]	0.00	10.00	15.00	Klei, stf
[Red]	0.00	10.00	15.00	Klei, s. w
[Orange]	30.00	2.50	19.00	Wattsand



B5; Damm K40  
 Bemessungsprofil 3; K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriß:  
 $x1/y1 = 0.00 / 250.00$   
 $x2/y2 = 0.00 / 450.00$   
 Maßstabsfaktor Setzungsmulde = 0.100  
 Setzungen an UK Schicht-Nr. 2  
 Grenztiefe = UK Profil  
 Datei: H:\vgb-06\K106-689\Bericht\K40 Setzung\_2010\BMP\_3-min Es K40 Achse-grund5.fda

Schicht	$\gamma$ [kN/m³]	$E_s$ [MN/m²]	$E_{sw}$ [MN/m²]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
0	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
1	18.00	25.00	40.00	0.000	Dämm/EPS
2	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-sif
3	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w
4	19.00	15.00	40.00	0.000	Wattsand
5	15.00	3.00	10.00	0.000	Klei



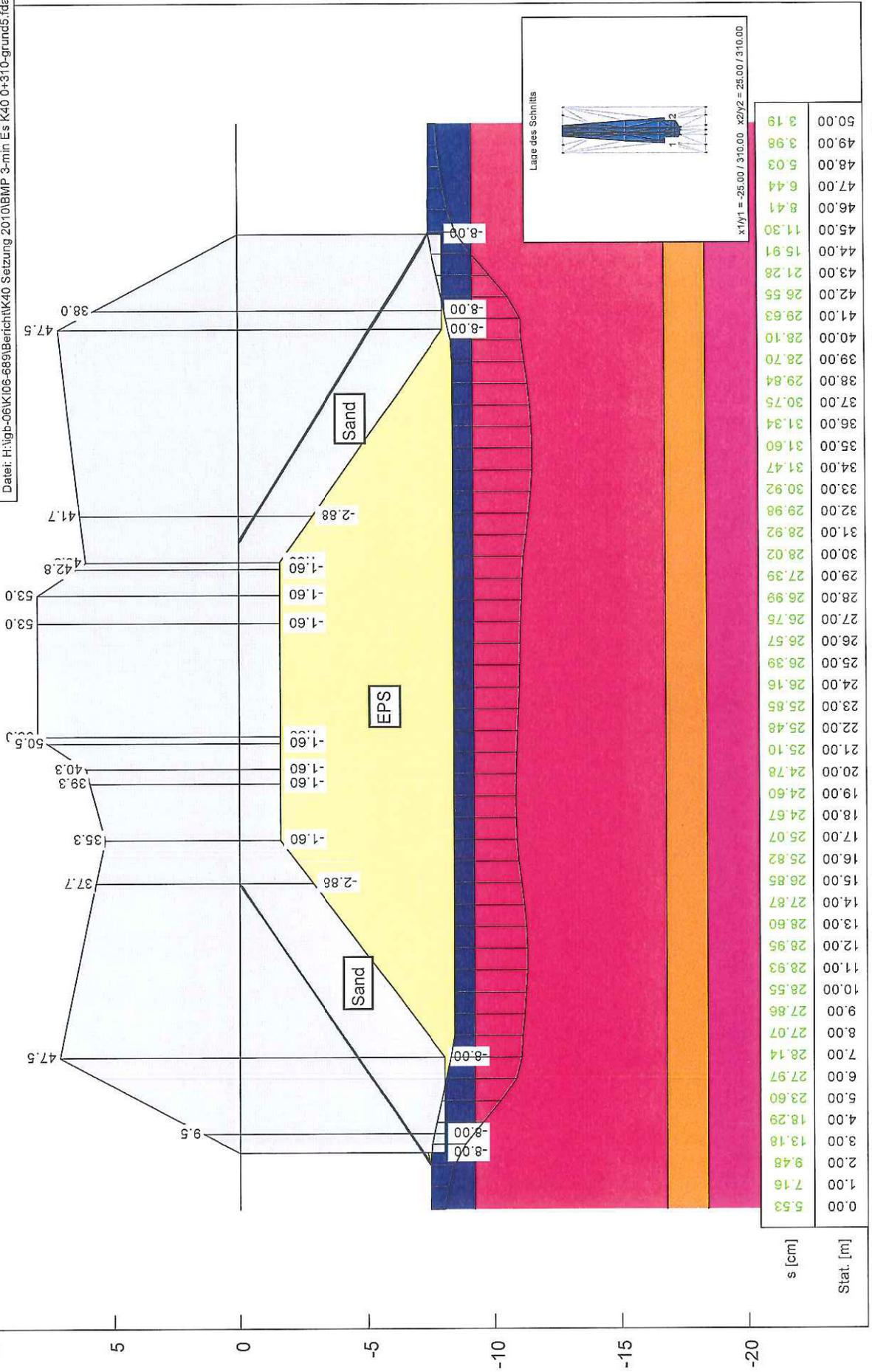
Lage des Schnitts

$x1/y1 = 0.00 / 250.00$   $x2/y2 = 0.00 / 450.00$

s [cm]	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00	48.00	52.00	56.00	60.00	64.00	68.00	72.00	76.00	80.00	84.00	88.00	92.00	96.00	100.00	104.00	108.00	112.00	116.00	120.00	124.00	128.00	132.00	140.00	144.00	148.00	152.00	156.00	160.00	164.00	168.00	172.00	176.00	180.00	184.00	188.00	192.00	196.00	200.00	
	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.37	0.66	1.26	2.67	6.33	13.91	21.14	24.30	26.39	28.03	29.00	29.58	30.51	33.86	38.79	43.04	47.51	52.38	57.60	63.15	68.99	75.03	81.10	87.00	92.52	97.42	101.28	102.28	112.94	117.99	112.86	108.54	104.98	101.52	98.31	94.80	91.64	88.37	85.12	81.89	78.66	75.45	72.29	69.30

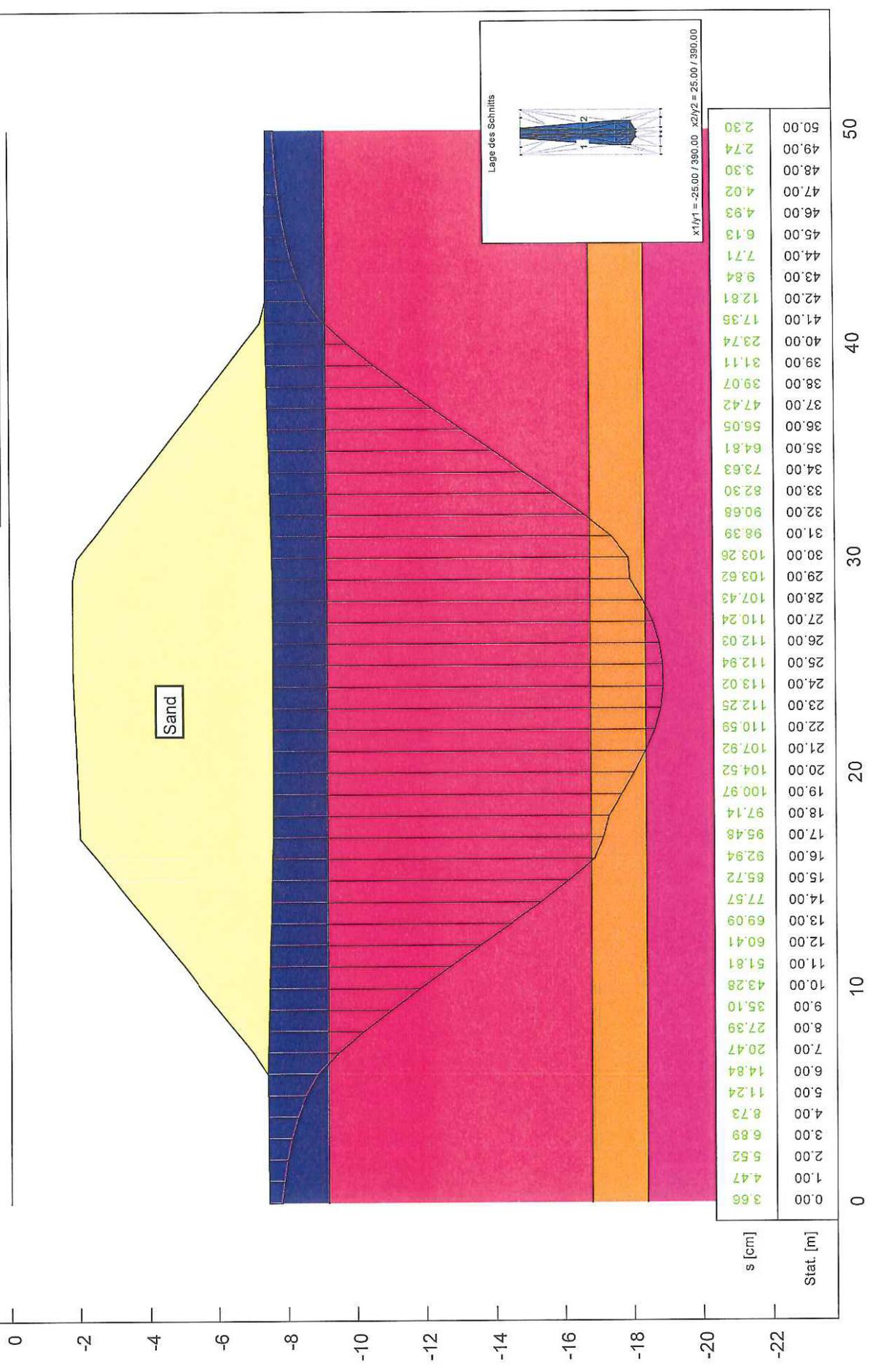
B5: Dreistreifigkeit Dam  
 Bemessungsprofil 3: K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriss:  
 x1/y1 = -25.00 / 310.00  
 x2/y2 = 25.00 / 310.00  
 Maßstabfaktor Setzungsmulde = 0,100  
 Setzungen an UK Schicht-Nr. 2  
 Grenzlinie = UK Profil  
 Datei: H:\gib-06\K106-689\BerichtK40 Setzung 2010\BMP 3-min Es K40 0+310-grund5.fda

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{sw}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
[White]	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
[Yellow]	18.00	25.00	40.00	0.000	Dämm/EPS
[Blue]	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-stf
[Red]	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w
[Orange]	19.00	15.00	40.00	0.000	Wattsand
[Pink]	15.00	3.00	10.00	0.000	Klei

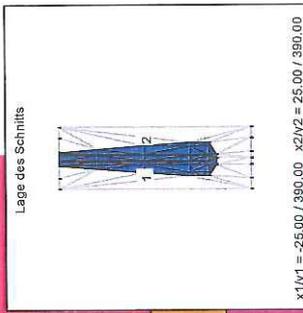


Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s(w)}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
	18.00	25.00	40.00	0.000	Damm/EPS
	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-stf
	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w
	19.00	15.00	40.00	0.000	Wattsand
	15.00	3.00	10.00	0.000	Klei

BS: Damm K40  
 Bemessungsprofil 3: K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriss:  
 $x1/y1 = -25.00 / 390.00$   
 $x2/y2 = 25.00 / 390.00$   
 Maßstabsfaktor Setzungsmulde = 0.100  
 Setzungen an UK Schicht-Nr. 2  
 Grenztiefe = UK Profil  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Setzung 2010\BMP 3-min Es K40 0+390-grund5.fda

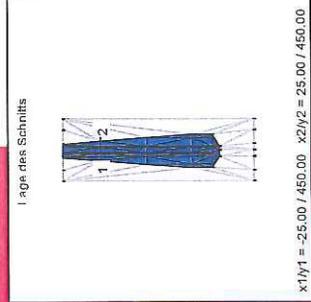
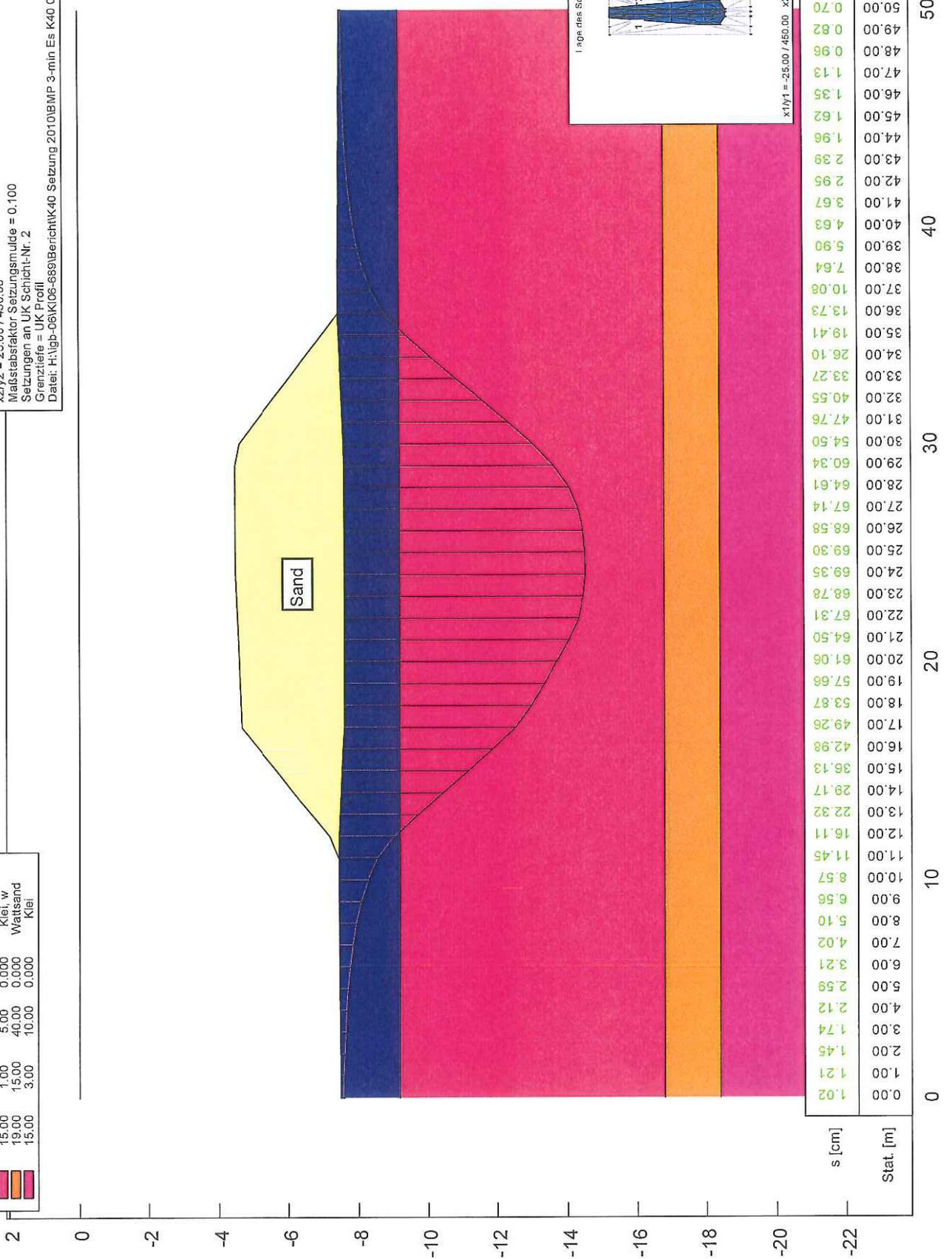


s [cm]	Stat. [m]
3.66	0.00
4.47	1.00
5.52	2.00
6.89	3.00
8.73	4.00
11.24	5.00
14.84	6.00
20.47	7.00
27.39	8.00
35.10	9.00
43.28	10.00
51.81	11.00
60.41	12.00
69.09	13.00
77.57	14.00
85.72	15.00
92.94	16.00
95.48	17.00
97.14	18.00
100.97	19.00
104.52	20.00
107.92	21.00
110.59	22.00
112.25	23.00
113.02	24.00
112.94	25.00
112.03	26.00
110.24	27.00
107.43	28.00
103.62	29.00
103.26	30.00
98.39	31.00
90.68	32.00
82.30	33.00
73.63	34.00
64.81	35.00
56.05	36.00
47.42	37.00
39.07	38.00
31.11	39.00
23.74	40.00
17.36	41.00
12.81	42.00
9.84	43.00
7.71	44.00
6.13	45.00
4.93	46.00
4.02	47.00
3.30	48.00
2.74	49.00
2.30	50.00



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s(w)}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$	Bezeichnung
	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
	18.00	25.00	40.00	0.000	Dämm/EPS
	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-str
	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w
	19.00	15.00	40.00	0.000	Wattsand
	15.00	3.00	10.00	0.000	Klei

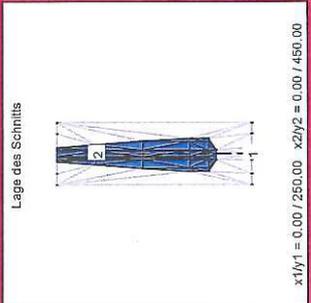
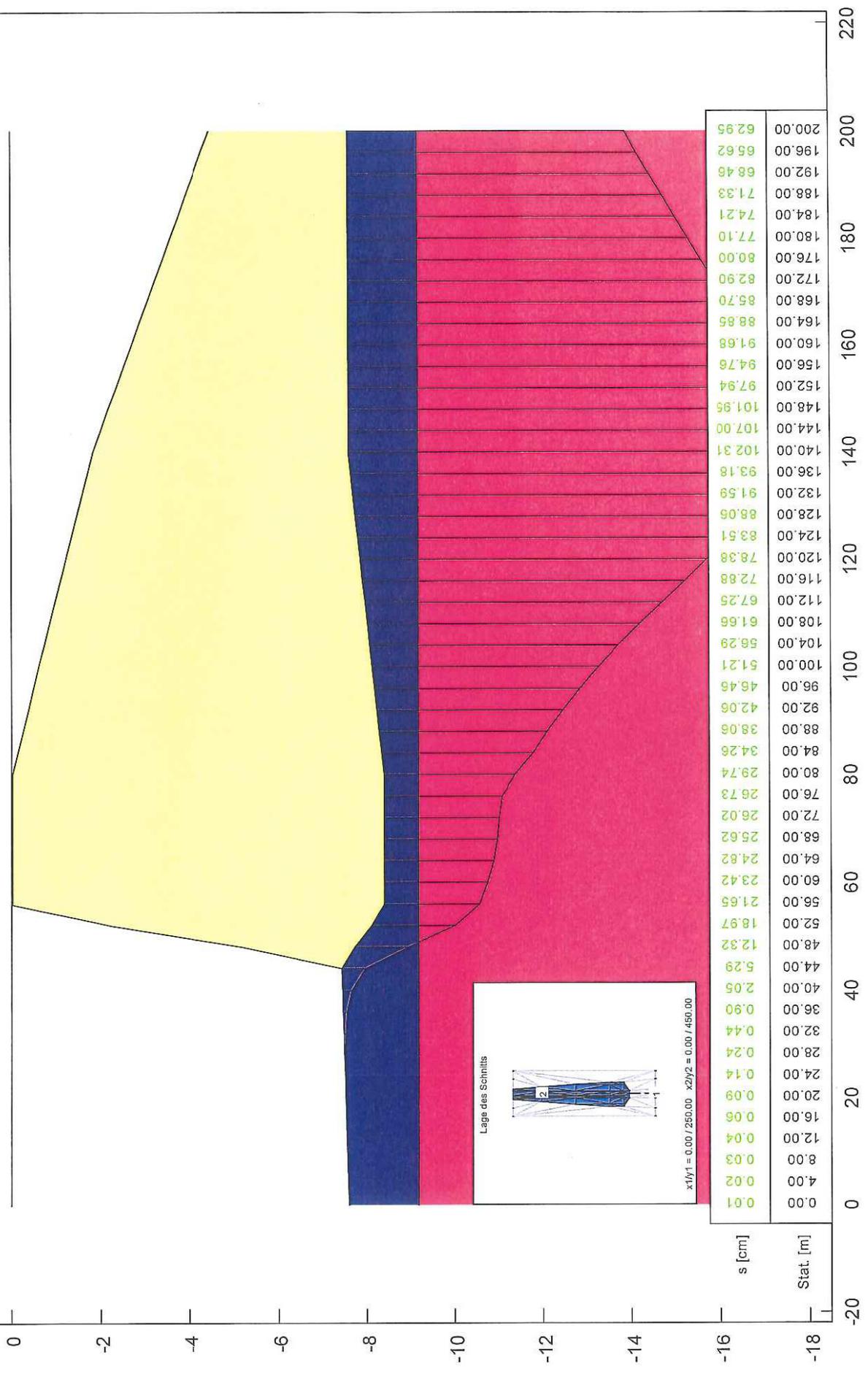
B5; Dreistreifigkeit Dam  
 Bemessungsprofil 3; K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriß:  
 $x1/y1 = -25.00 / 450.00$   
 $x2/y2 = 25.00 / 450.00$   
 Maßstabfaktor Setzungsmulde = 0,100  
 Setzungen an UK-Schicht-Nr. 2  
 Grenztiefe = UK-Profil  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40-Setzung\_2010\BMP\_3-min\_Es\_K40\_0r-450-grundf5.fda



s [cm]	Stat. [m]
1.02	0.00
1.21	1.00
1.45	2.00
1.74	3.00
2.12	4.00
2.59	5.00
3.21	6.00
4.02	7.00
5.10	8.00
6.56	9.00
8.57	10.00
11.45	11.00
16.11	12.00
22.32	13.00
29.17	14.00
36.13	15.00
42.98	16.00
49.26	17.00
53.87	18.00
57.66	19.00
61.06	20.00
64.50	21.00
67.31	22.00
68.78	23.00
69.35	24.00
69.30	25.00
68.58	26.00
67.14	27.00
64.61	28.00
60.34	29.00
54.50	30.00
47.76	31.00
40.55	32.00
33.27	33.00
26.10	34.00
19.41	35.00
13.73	36.00
10.08	37.00
7.64	38.00
5.90	39.00
4.63	40.00
3.67	41.00
2.95	42.00
2.39	43.00
1.96	44.00
1.62	45.00
1.35	46.00
1.13	47.00
0.96	48.00
0.82	49.00
0.70	50.00

B5; Damm K40  
 Bemessungsprofil 3; K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriß:  
 x1/y1 = 0.00 / 250.00  
 x2/y2 = 0.00 / 450.00  
 Maßstabfaktor Setzungsmulde = 0.100  
 Setzungen an UK Schicht-Nr. 2  
 Grenztiefe = UK Profil  
 Date: H:\gpb-06\K106-689\Bericht\K40 Setzung\_2010\BMP 3-min Es K40 Achse-grund6.fda

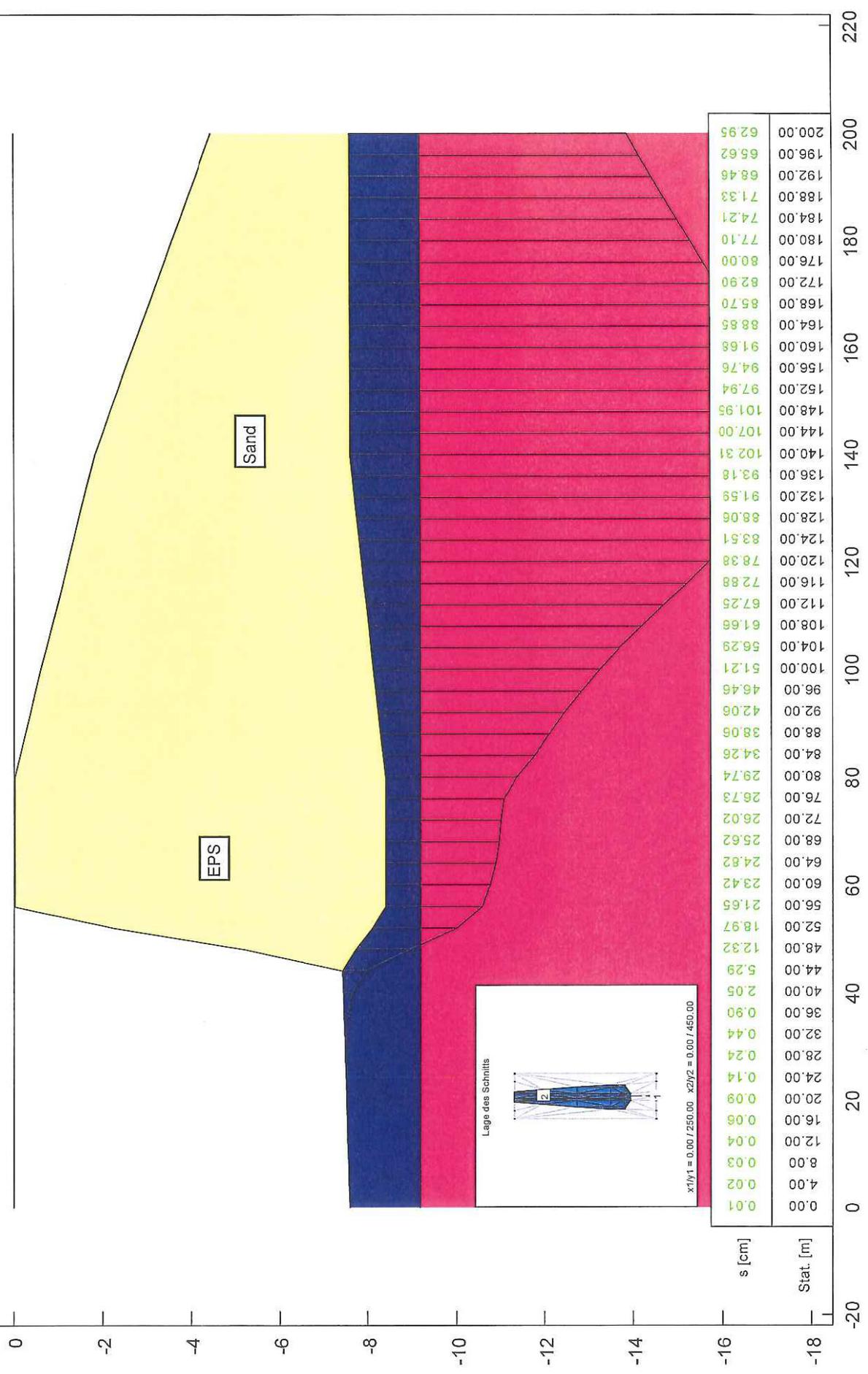
Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s(w)}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
	18.00	25.00	40.00	0.000	Damm/EP-S
	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-stf
	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w



s [cm]	Stat. [m]
0.00	0.00
0.01	4.00
0.02	8.00
0.03	12.00
0.04	16.00
0.06	20.00
0.09	24.00
0.14	28.00
0.24	32.00
0.44	36.00
0.90	40.00
2.05	44.00
5.29	48.00
12.32	52.00
18.97	56.00
21.65	60.00
23.42	64.00
24.82	68.00
25.62	72.00
26.02	76.00
26.73	80.00
29.74	84.00
34.26	88.00
38.06	92.00
42.06	96.00
46.46	100.00
51.21	104.00
56.29	108.00
61.66	112.00
67.25	116.00
72.88	120.00
78.38	124.00
83.51	128.00
88.06	132.00
91.59	136.00
93.18	140.00
102.31	144.00
107.00	148.00
101.95	152.00
97.94	156.00
94.76	160.00
91.68	164.00
88.85	168.00
85.70	172.00
82.90	176.00
80.00	180.00
77.10	184.00
74.21	188.00
71.33	192.00
68.46	196.00
65.62	200.00
62.95	200.00

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{skw}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	v [-]	Bezeichnung
1	0.00	100.00	100.00	0.000	Oberbau/Luft
2	18.00	25.00	40.00	0.000	Damm/EPS
3	15.00	1.00	4.00	0.000	Klei, w-stf
4	15.00	1.00	5.00	0.000	Klei, w

B5; Damm K40  
 Bemessungsprofil 3; K40 min Es  
 Setzungsmulde [cm]  
 Lage des Schnitts im Grundriß:  
 $x1/y1 = 0.00 / 250.00$   
 $x2/y2 = 0.00 / 450.00$   
 Maßstabfaktor Setzungsmulde = 0.100  
 Setzungen an UK Schicht-Nr. 2  
 Grenztiefe = UK Profil  
 Datei: H:\igb-06\K106-669\Bericht\K40 Setzung 2010\BMP 3-min Es K40 Achse-grund6.fda

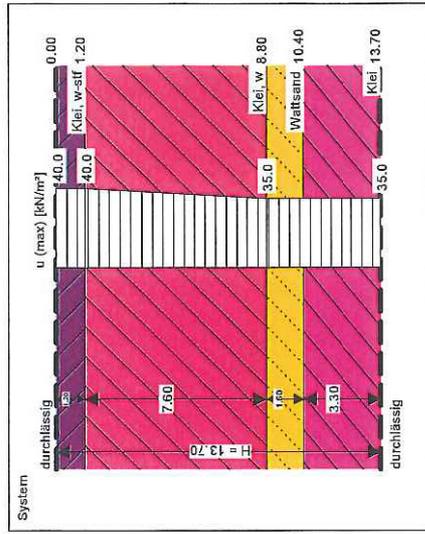
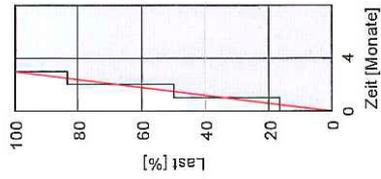
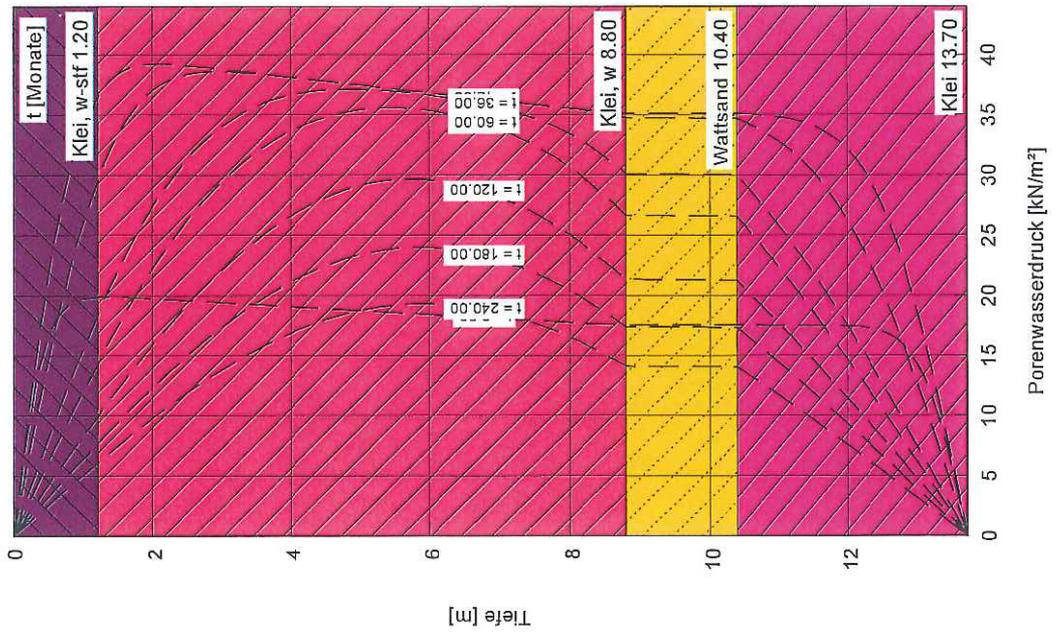


s [cm]	Stat. [m]
0.01	0.00
0.02	4.00
0.03	8.00
0.04	12.00
0.06	16.00
0.09	20.00
0.14	24.00
0.24	28.00
0.44	32.00
0.90	36.00
2.05	40.00
5.29	44.00
12.32	48.00
18.97	52.00
21.65	56.00
23.42	60.00
24.82	64.00
25.62	68.00
26.02	72.00
26.73	76.00
29.74	80.00
34.26	84.00
38.06	88.00
42.06	92.00
46.46	96.00
51.21	100.00
56.29	104.00
61.66	108.00
67.25	112.00
72.88	116.00
78.38	120.00
83.51	124.00
88.06	128.00
91.59	132.00
93.18	136.00
102.31	140.00
107.00	144.00
101.95	148.00
97.94	152.00
94.76	156.00
91.68	160.00
88.65	164.00
85.70	168.00
82.90	172.00
80.00	176.00
77.10	180.00
74.21	184.00
71.33	188.00
68.46	192.00
65.62	196.00
62.95	200.00

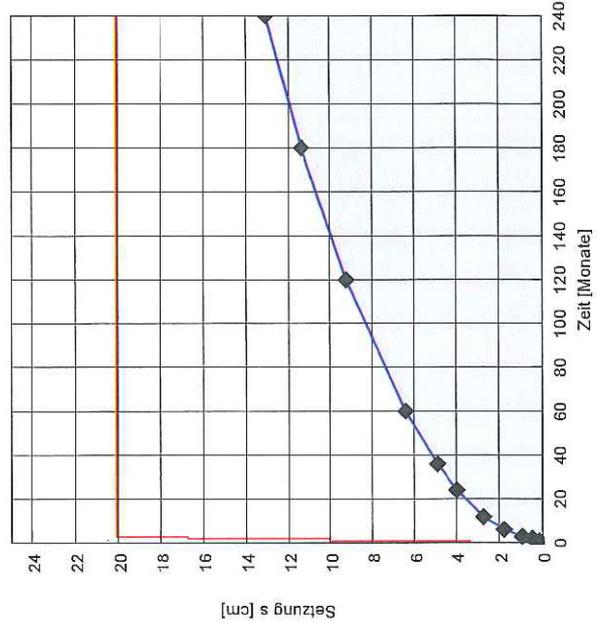
BMP3, min Es - K40  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Schrittweite (Tiefe) = 0.100 m  
 Endsetzung = 20.1 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konmult\BMP3-min Es ohne drain.kon

Zeit [Monate]	$T_v^{(t)}$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.00	0.7	0.1
2.00	0.00	2.4	0.5
3.00	0.00	4.6	0.9
6.00	0.00	8.8	1.8
12.00	0.00	13.5	2.7
24.00	0.01	19.7	4.0
36.00	0.01	24.4	4.9
60.00	0.02	31.9	6.4
120.00	0.03	46.0	9.2
180.00	0.05	56.6	11.4
240.00	0.07	65.2	13.1

<sup>(t)</sup>  $T_v [-] = c_v^{(t)} * t / H^2$



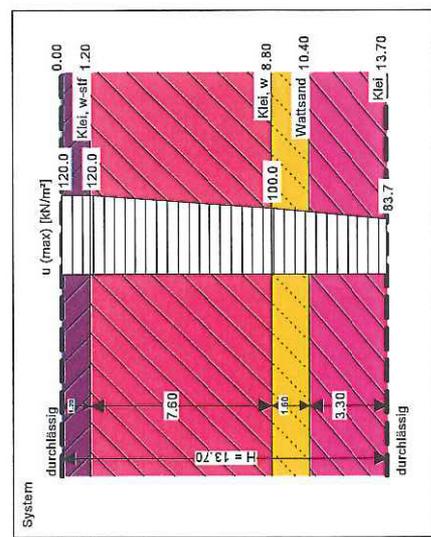
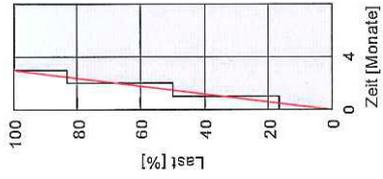
Boden	k [m/s]	$c_v$ [m²/s]	Bezeichnung
[Pink hatched]	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$2.00 \cdot 10^{-8}$	Klei, w-stf
[Pink hatched]	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$2.00 \cdot 10^{-8}$	Klei, w
[Yellow hatched]	$1.00 \cdot 10^{-9}$	$1.00 \cdot 10^{-5}$	Wattsand
[Pink hatched]	$1.00 \cdot 10^{-10}$	$4.00 \cdot 10^{-8}$	Klei



BMP3, min Es - K40  
 B5: Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Schrittweite (Tiefe) = 0.100 m  
 Endsetzung = 65.3 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konmult\BMP3-min Es (ohne EPS) ohne drän.kon

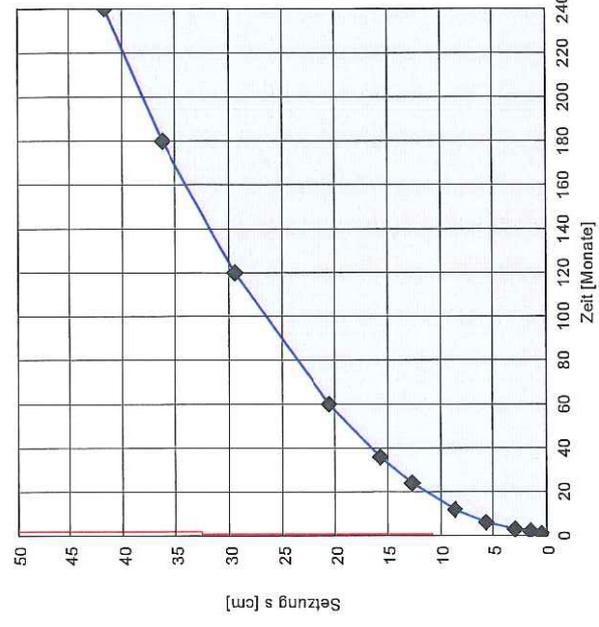
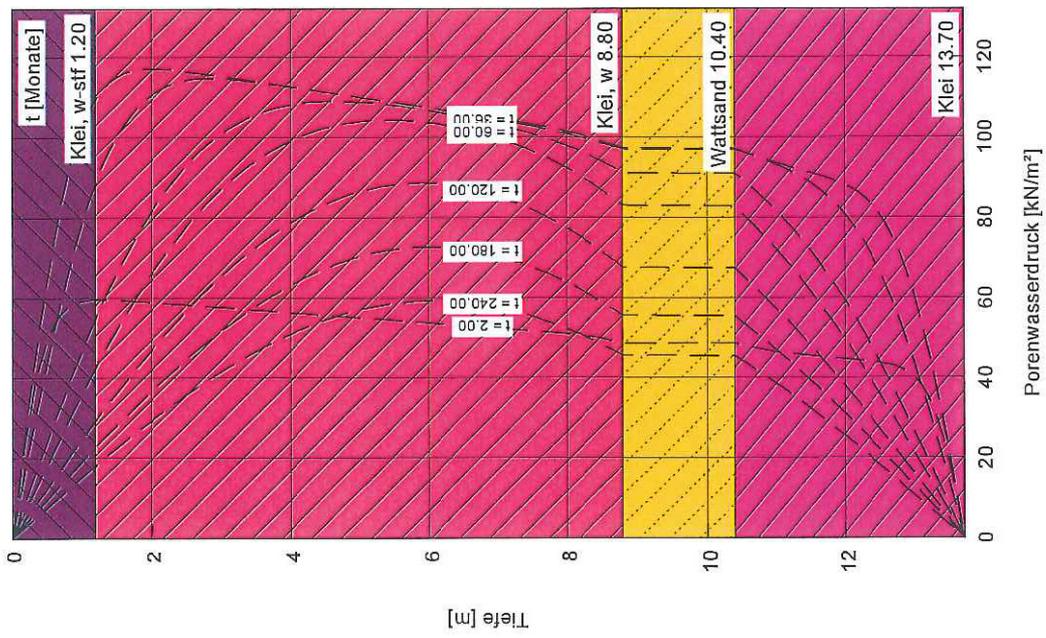
0+350

Boden	k [m/s]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	Bezeichnung
	1.00 · 10 <sup>-06</sup>	2.00 · 10 <sup>-04</sup>	Klei, w-stf
	1.00 · 10 <sup>-06</sup>	2.00 · 10 <sup>-04</sup>	Klei, w
	1.00 · 10 <sup>-06</sup>	2.00 · 10 <sup>-04</sup>	Wattsand
	1.00 · 10 <sup>-06</sup>	2.00 · 10 <sup>-04</sup>	Klei



Zeit [Monate]	T <sub>v</sub> <sup>(*)</sup> [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.00	0.7	0.4
2.00	0.00	2.3	1.5
3.00	0.00	4.5	2.9
6.00	0.00	8.6	5.6
12.00	0.00	13.2	8.6
24.00	0.01	19.4	12.7
36.00	0.01	24.1	15.7
60.00	0.02	31.5	20.5
120.00	0.03	45.1	29.5
180.00	0.05	55.5	36.2
240.00	0.07	63.8	41.6

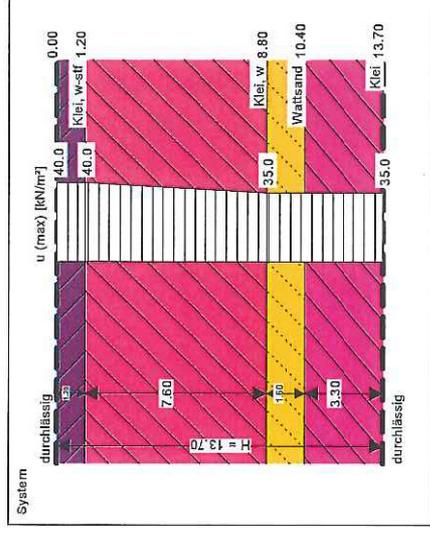
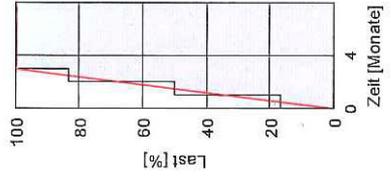
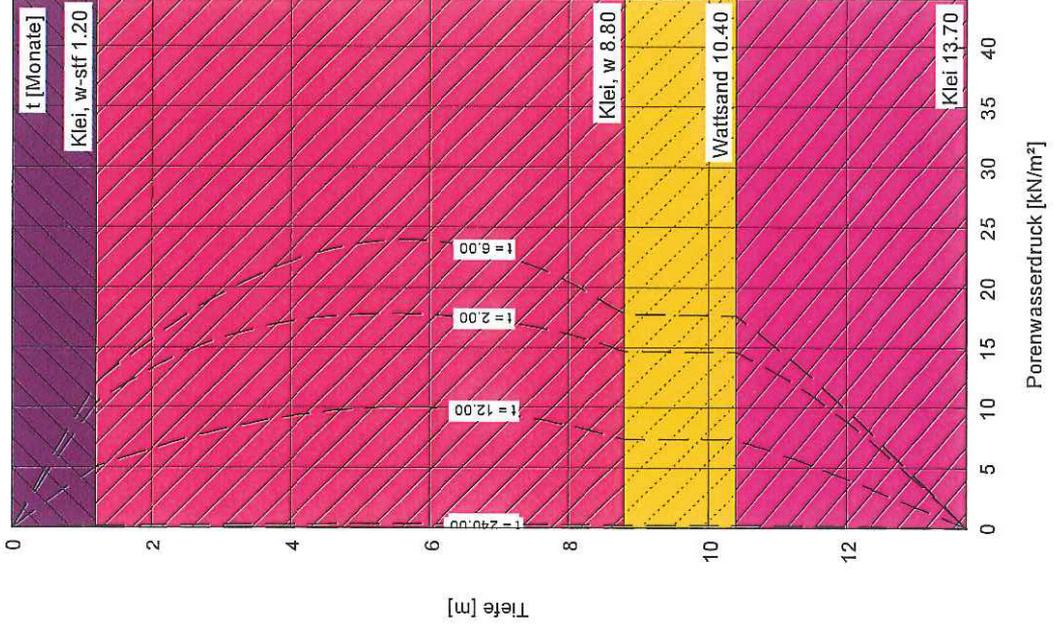
(\*) T<sub>v</sub> [-] = c<sub>v(t)</sub> \* t / H<sup>2</sup>



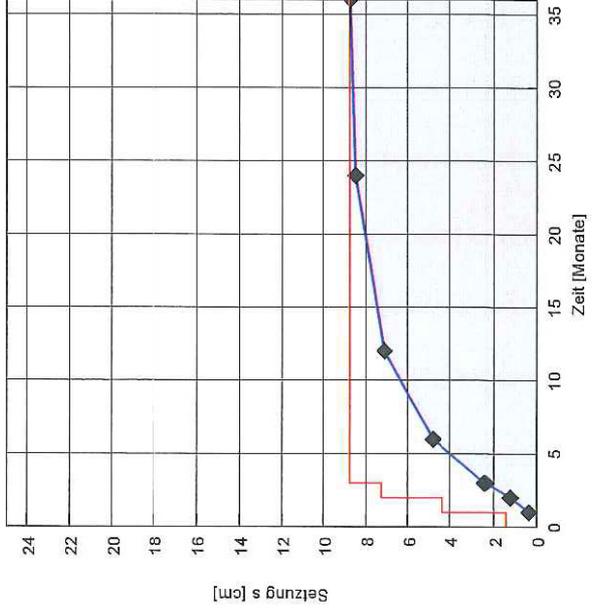
BMP3, max Es - K40  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Schrittweite (Tiefe) = 0.100 m  
 Endsetzung = 8.8 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konmult\BMP3-max Es ohne drän.kon

Zeit [Monate]	$T_v^{(1)}$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.01	4.0	0.4
2.00	0.03	13.9	1.2
3.00	0.04	27.1	2.4
6.00	0.08	54.7	4.8
12.00	0.17	81.1	7.1
24.00	0.34	96.7	8.5
36.00	0.50	99.4	8.7
60.00	0.84	100.0	8.8
120.00	1.68	100.0	8.8
180.00	2.52	100.0	8.8
240.00	3.36	100.0	8.8

(1)  $T_v = c_v(t) \cdot t / H^2$



Boden	k [m/s]	$c_v$ [m²/s]	Bezeichnung
[diagonal lines]	$1.00 \cdot 10^{-9}$	$1.00 \cdot 10^{-6}$	Klei, w-stf
[diagonal lines]	$2.00 \cdot 10^{-9}$	$1.00 \cdot 10^{-6}$	Klei, w
[diagonal lines]	$1.00 \cdot 10^{-7}$	$2.00 \cdot 10^{-4}$	Wattsand
[diagonal lines]	$2.00 \cdot 10^{-9}$	$1.00 \cdot 10^{-6}$	Klei

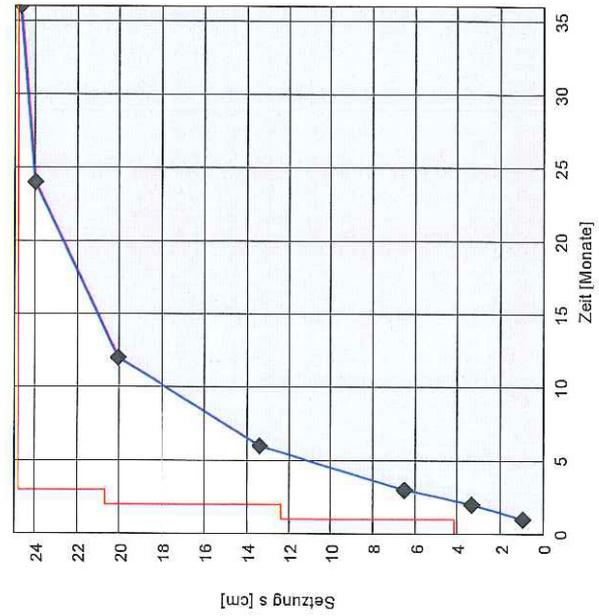
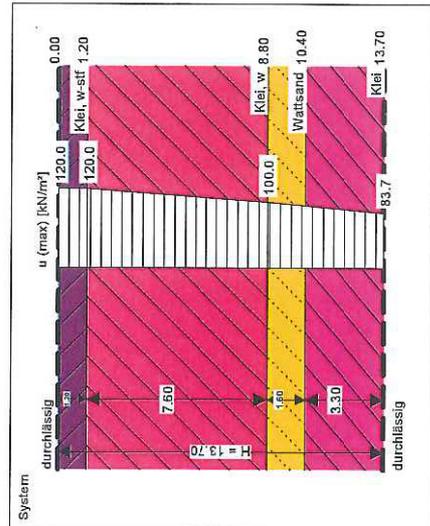
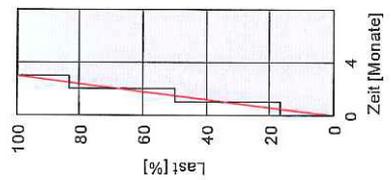
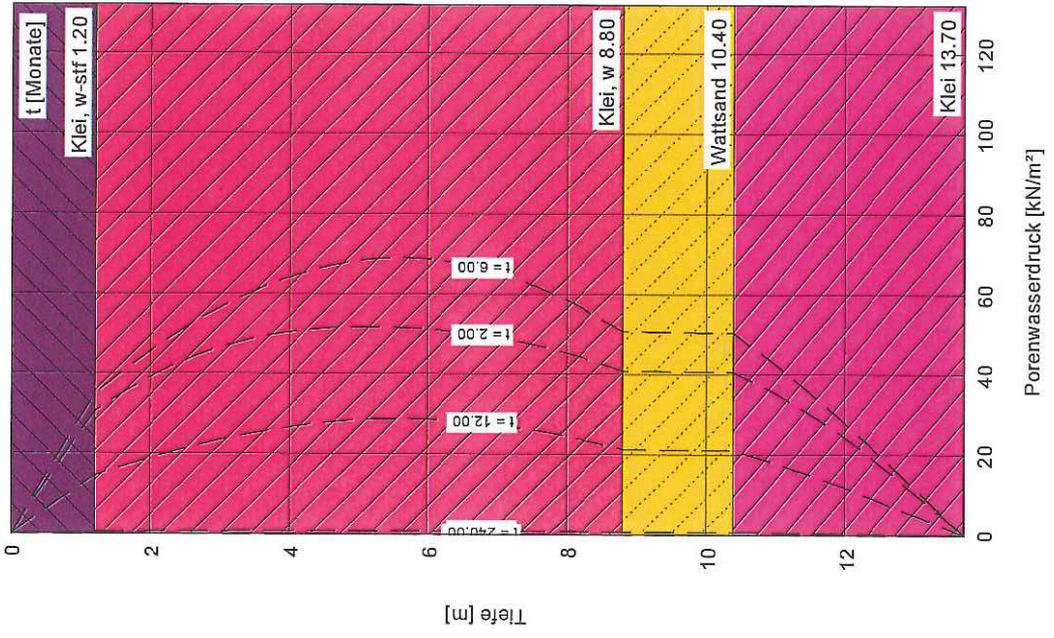


BMP3, max Es - K40  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Schrittweite (Tiefe) = 0.100 m  
 Endsetzung = 24.8 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\BerichtK40 Konmult\BMP3-max Es (ohne EPS) ohne drän.kon

0+350

Zeit [Monate]	$T_v$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.01	3.8	0.9
2.00	0.03	13.4	3.3
3.00	0.04	26.3	6.5
6.00	0.08	54.0	13.4
12.00	0.17	80.8	20.1
24.00	0.34	96.6	24.0
36.00	0.50	99.4	24.7
60.00	0.84	100.0	24.8
120.00	1.68	100.0	24.8
180.00	2.52	100.0	24.8
240.00	3.36	100.0	24.8

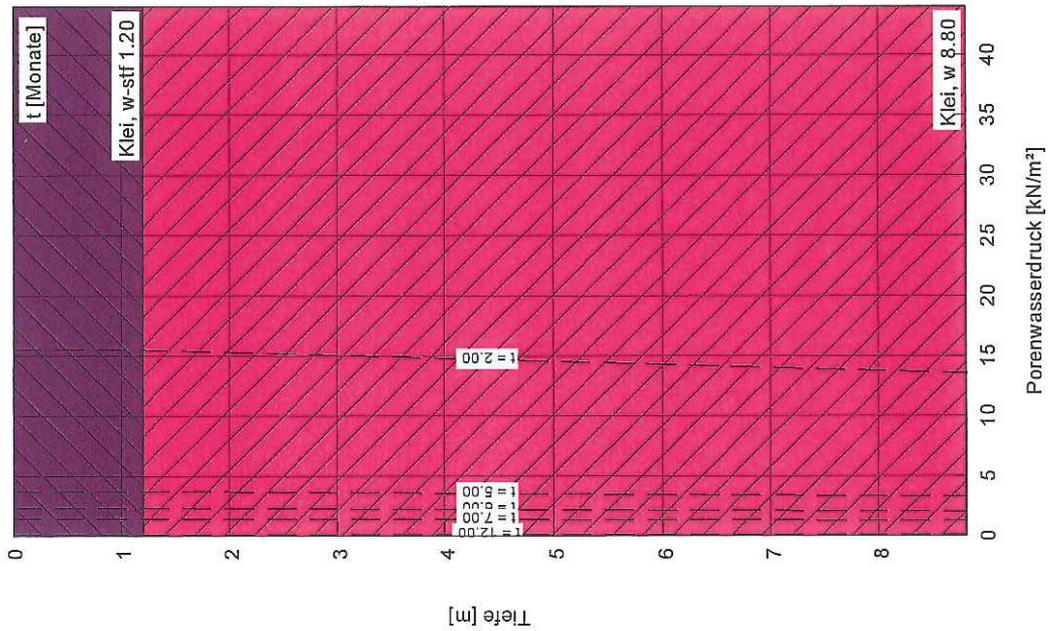
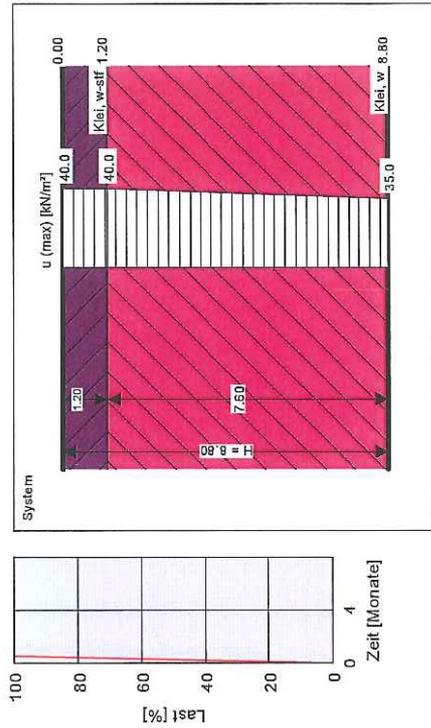
(\*)  $T_v [-] = c_v(t) * t / H^2$



Boden	k [m/s]	$c_v$ [m²/s]	Bezeichnung
	$1.00 \cdot 10^6$	$1.00 \cdot 10^{-8}$	Klei, w-stif
	$2.00 \cdot 10^6$	$1.00 \cdot 10^{-8}$	Klei, w
	$1.00 \cdot 10^7$	$2.00 \cdot 10^{-4}$	Wattsand
	$2.00 \cdot 10^9$	$1.00 \cdot 10^{-8}$	Klei

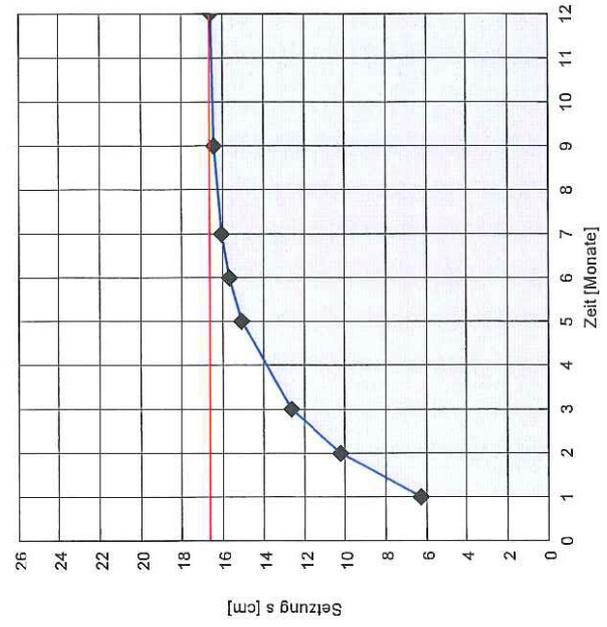
BMP3, min Es - K40  
 B5: Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Dränabstand  $d_e = 1.500$  m  
 Dränradius  $r_w = 0.050$  m  
 Endsetzung = 16.7 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konnullit\BMP3-min Es drän 1,5 m.kon

Boden	k [m/s]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	Bezeichnung
	$5,00 \cdot 10^{-10}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	Klei, w-stf
	$5,00 \cdot 10^{-10}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	Klei, w



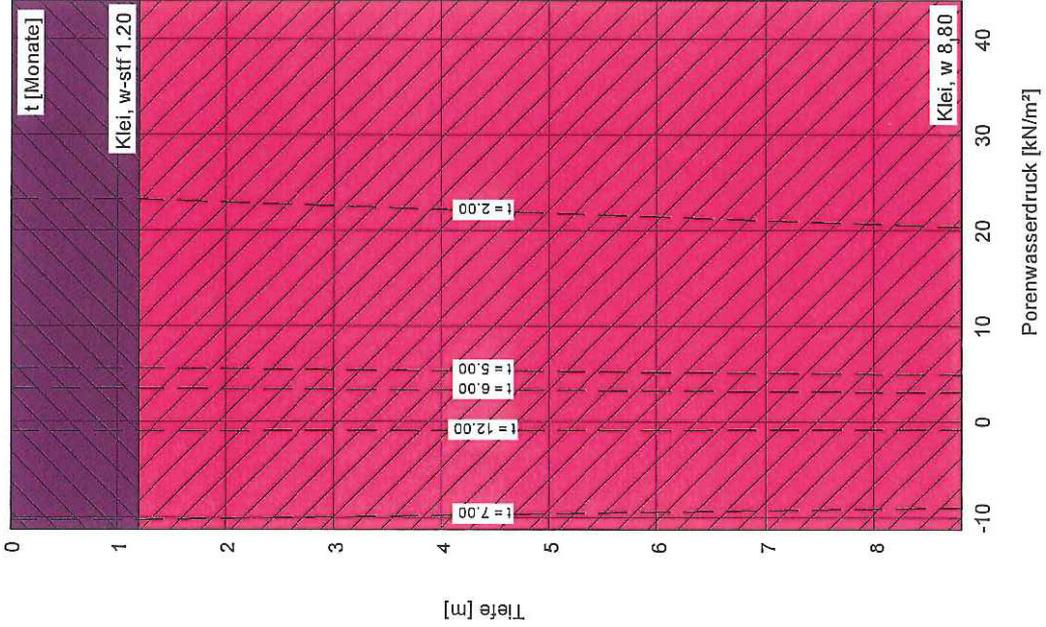
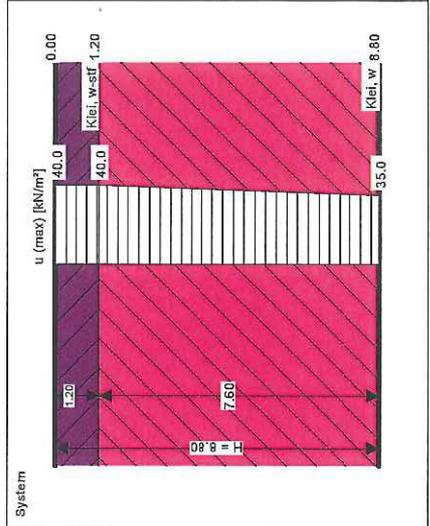
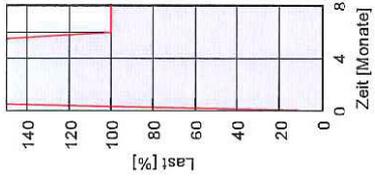
Zeit [Monate]	$T_r$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.12	37.8	6.3
2.00	0.23	61.2	10.2
3.00	0.35	75.9	12.6
5.00	0.58	90.7	15.1
6.00	0.70	94.2	15.7
7.00	0.82	96.4	16.0
9.00	1.05	98.6	16.4
12.00	1.40	99.7	16.6

(\*)  $T_r [-] = c_{v(t)} * t / d_e^2$

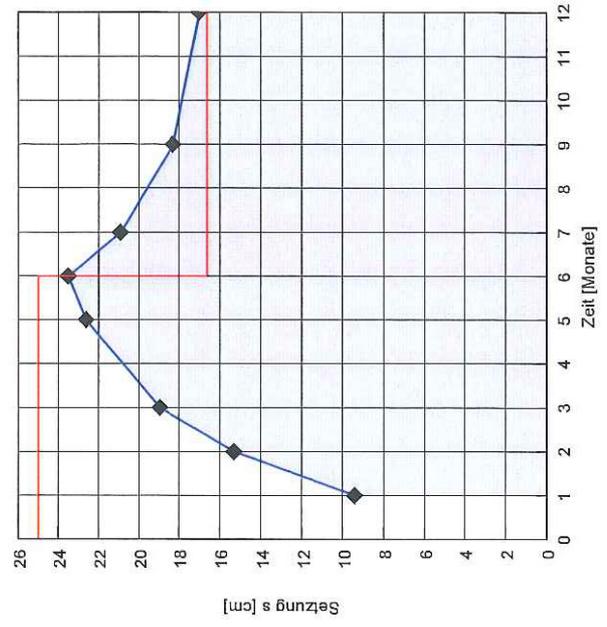


BMP3, min Es - K40 - 50% Überkonsolidierung  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Dränabstand  $d_e = 1,500$  m  
 Dränradius  $r_w = 0,050$  m  
 Endsetzung  $= 16,7$  cm  
 (für Lastanteil von 100,0 %)  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konmult\BMP3-min Es drän 1,5 m- Ü 50%.kon

Boden	k [m/s]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$E_{s(w)}/E_s$ [-]	Bezeichnung
	$5,00 \cdot 10^{-10}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	1,00	Klei, w-stf
	$5,00 \cdot 10^{-10}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	1,00	Klei, w



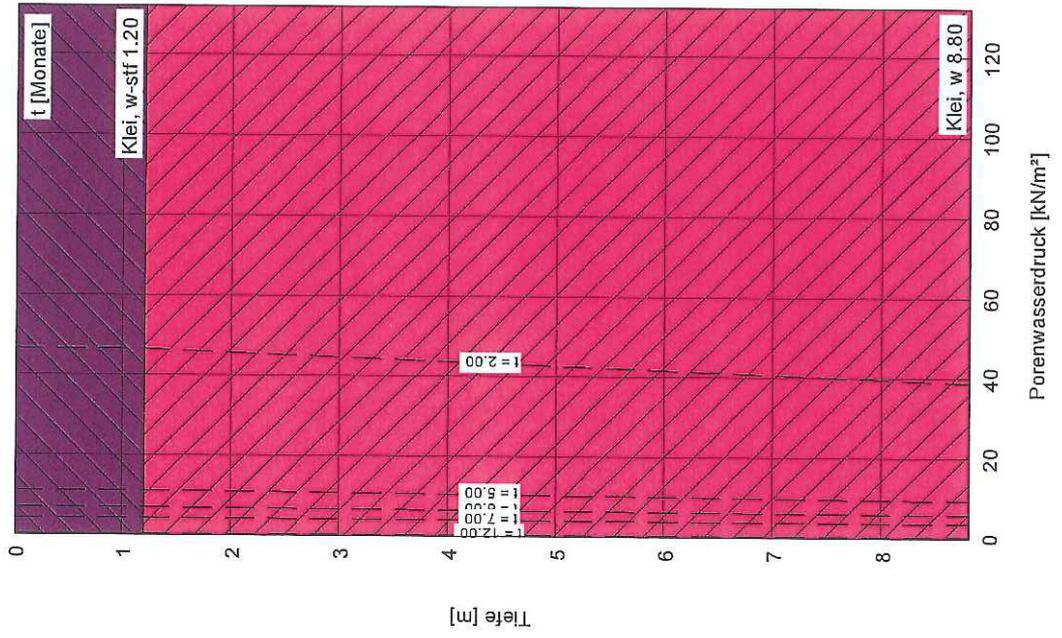
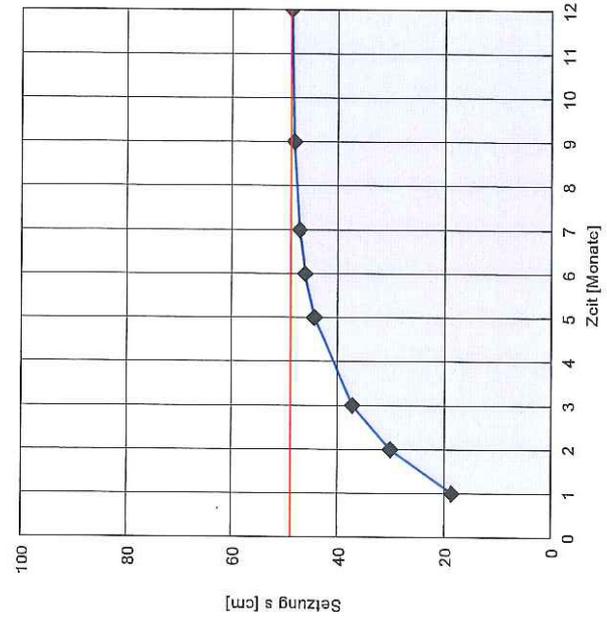
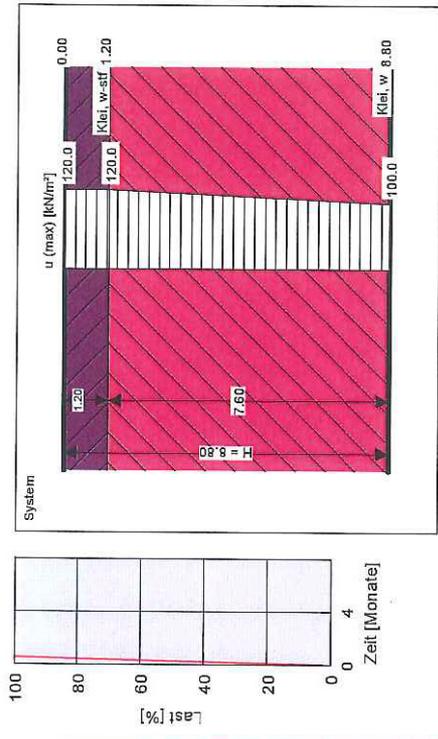
Zeit [Monate]	$T_r$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.12	56.6	9.4
2.00	0.23	91.9	15.3
3.00	0.35	113.8	19.0
5.00	0.58	136.0	22.6
6.00	0.70	141.3	23.5
7.00	0.82	125.7	20.9
9.00	1.05	109.9	18.3
12.00	1.40	102.3	17.0



(\*)  $T_r [-] = c_{v(t)} * t / d_e^2$

BMP3, min Es - K40 Stat. 0+390  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Dränabstand  $d_e = 1.500$  m  
 Dränradius  $r_w = 0.050$  m  
 Endsetzung = 49.0 cm  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 Konmult\BMP3-min Es (0+390)\_drän 1,5 m.kon

Boden	k [m/s]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	Bezeichnung
■	$5.00 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-7}$	Klei, w-stf
■	$5.00 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-7}$	Klei, w

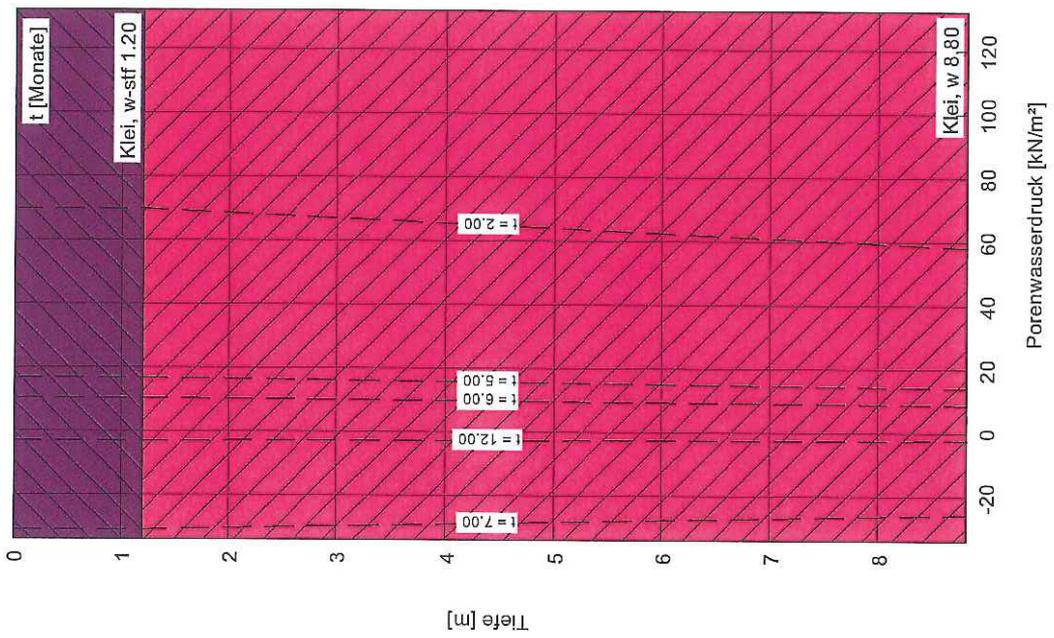
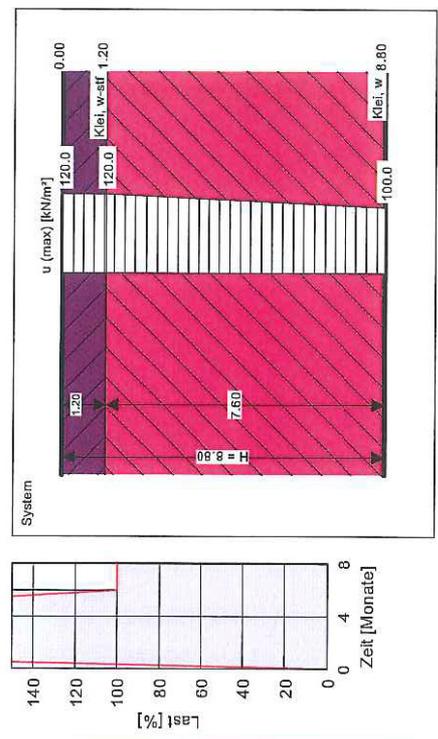


Zeit [Monate]	$T_r$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.12	37.8	18.5
2.00	0.23	61.2	30.0
3.00	0.35	75.9	37.2
5.00	0.58	90.7	44.4
6.00	0.70	94.2	46.1
7.00	0.82	96.4	47.2
9.00	1.05	98.6	48.3
12.00	1.40	99.7	48.8

(\*)  $T_r [-] = c_v(t) * t / d_e^2$

BMP3, min Es - K40 Stat. 0+390- 50% Überkonsolidierung  
 B5; Damm K40 - Konsolidierungsverlauf  
 Dränabstand  $d_e = 1.500$  m  
 Dränradius  $r_w = 0.050$  m  
 Endsetzung = 49.0 cm  
 (für Lastanteil von 100.0 %)  
 Datei: H:\igb-06\K106-689\Bericht\K40 KonmuflBMP3-min Es (0+390) drän 1,5 m- Ü 50%.kon

Boden	k [m/s]	$c_r$ [m <sup>2</sup> /s]	$E_{eq}/E_s$ [-]	Bezeichnung
■	$5.00 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-7}$	1.00	Klei, w-stf
■	$5.00 \cdot 10^{-10}$	$1.00 \cdot 10^{-7}$	1.00	Klei, w



Zeit [Monate]	$T_r$ [-]	U [%]	s [cm]
1.00	0.12	56.6	27.7
2.00	0.23	91.9	45.0
3.00	0.35	113.8	55.8
5.00	0.58	136.0	66.6
6.00	0.70	141.3	69.2
7.00	0.82	125.7	61.6
9.00	1.05	109.9	53.8
12.00	1.40	102.3	50.1

$T_r [-] = c_{v(t)} \cdot t / d_e^2$

