

Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg Bundesstraße 463 v. NK 7719 051 n. NK 7719 003 Stat. 620 bis NK 7719 005 n. NK 7720 002 Stat. 750	Regierungspräsidium Tübingen
<b>B 463 OU Lautlingen</b>	
PSP-Element: V.2410.B0463.N73	

# Feststellungsentwurf

## UNTERLAGE 20.2.5

### Ergänzende Gutachten 2018 – Dammschüttungen und KP Mitte

Aufgestellt: Regierungspräsidium Tübingen Abt. 4 Straßenwesen und Verkehr Ref. 44 Planung  Tübingen, den 22.02.2021	



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

Regierungspräsidium Tübingen

Referat 42 - Steuerung und Baufinanzen, Vertrags- und Verdingungswesen

Herr Matthias Schneck

Konrad-Adenauer-Straße 20

72072 Tübingen

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
38.5387	P5387b180129_Daemme	Mö/Bra	Esslingen	30.01.2018

## **Stand sicherheitsberechnungen und Sicherungsempfehlungen**

**Dammschüttungen / Anschlussstelle Mitte  
km 2+350 – 2+520 und km 2+850 – 2+900**

**OU Lautlingen B 463**

**- Ergänzender Geotechnischer Bericht für  
Einschnittsböschungen und Dämme -**

Angebot vom 10.11.2017

**Gesellschaft:** HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang

**Zentrale Witten:** Rosi-Wolfstein-Straße 6, D-58453 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de  
<http://www.dr-spang.de>

**Niederlassungen:** 73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de  
60528 Frankfurt/Main, Rennbahnstraße 72 – 74, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de  
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de  
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, hamburg@dr-spang.de  
06618 Naumburg, H.-von-Stephan-Platz 1, Tel. (03445) 762-153, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de  
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de

**Banken:** Deutsche Bank AG, Esslingen, IBAN: DE46 6117 0024 0010 4299 00, BIC: DEUTDEDB611



---

INHALT	SEITE
<b>1. ALLGEMEINES</b>	<b>4</b>
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen, Technische Vorschriften und Normen	6
<b>2. GEOTECHNISCHE GRUNDLAGEN</b>	<b>8</b>
2.1 Baugrund	8
2.2 Grundwasser	10
2.3 Geotechnische Besonderheiten	10
2.4 Boden- und Felskennwerte	11
2.5 Kennwerte für Verpressanker	12
2.6 Kennwerte für Bohrpfähle	13
<b>3. STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN</b>	<b>14</b>
3.1 Allgemein	14
3.2 Programmbeschreibungen	16
3.3 Berechnungsschnitte	17
3.4 Sicherungsmöglichkeiten für die Dammschüttung	18
3.5 Sicherungsmöglichkeiten für die Einschnittsböschung	22
3.6 Berechnungsergebnisse	24
3.6.1 Berechnungsschnitt 1 – km 2+480	25
3.6.2 Berechnungsschnitt 2 – km 2+430	29
3.6.3 Berechnungsschnitt 3 – km 2+860	31
3.6.4 Berechnungsschnitt 4 – km 2 + 480 – km 2 + 520, schräg zur Trassenachse in Hangfallrichtung	32
3.7 Bauzustand	36
3.8 Weitere mögliche Sicherungsvarianten	37
3.9 Entwässerungsmaßnahmen	38
<b>4. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>39</b>
4.1 Dammstandsicherheit und -gebrauchstauglichkeit	39
4.2 Sonstige Empfehlungen	41



## **5. ANLAGEN**

Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 100.000 (2)

Anlage 2: Lageplan, 1 : 2.000 (2)

Anlage 3: Statische Berechnungen (detaillierte Auflistung siehe S. A1-A2) (37)

Anlage 4: Baugrundaufschlüsse (29)



## **1. ALLGEMEINES**

### **1.1 Projekt**

Das Regierungspräsidium Tübingen plant den Bau der Ortsumfahrung Lautlingen im Zuge der B 463. Die Neubaustrecke ist ca. 4.500 m lang, verläuft in freiem Gelände und beinhaltet 10 neue Ingenieurbauwerke (Brücken, Unterführungen, Überführungen) sowie einige Einschnitte und Dämme. Durch die Trassenführung sind mehrere Dammbereiche zu schütten, u.a. in den Hängen westlich und östlich des Meßstetter Talviadukts (BW 6), vom Beginn der Ortsumfahrung bis km ca. 0+730, zwischen km ca. 1+270 und km ca. 1+350, zwischen km ca. 1+545 und km ca. 1+790 sowie zwischen km ca. 3+275 und km ca. 3+885 vgl. [U 4]. Die Höhe der Dammschüttung beträgt westlich des Meßstetter Talviadukts (BW 6) bis zu 16 m über Gelände. Nördlich an die westliche Dammschüttung schließt zwischen km 2+250 und 2+520 die Anschlussstelle zur B 463 an.

Von Seiten der Dr. Spang GmbH wurden mehrere mögliche Varianten für die Herstellung der Dammbauwerke untersucht. In Abstimmung mit dem Bauherrn und dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) wurde die vorhandene Geologie mit den anstehenden Bodenschichten im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse [U 5] nochmals detaillierter untersucht und darauf basierend der Untersuchungsumfang im Hinblick auf die Bemessungsfälle angepasst. Zusätzlich wurde der Einfluss der an die Dammböschungen nördlich anschließenden Einschnittsböschungen für die Anschlussstelle zur B 463 untersucht.

Gegenstand dieser Untersuchung sind die Widerlagerhinterfüllungen und Dämme westlich und östlich des Meßstetter Talviadukts bei km 2+350 – 2+500 und km 2+850 – 2+900 einschließlich der Betrachtung der Einschnittsböschungen für die Anschlussstelle zur B 463 zwischen km 2+430 und 2+480. Das vorliegende Gutachten ersetzt somit das bereits eingereichte Gutachten vom 18.08.2017.

### **1.2 Auftrag**

Das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) weist im Zuge der Projektbearbeitung auf die Rutschgefährdung der im Planungsgebiet anstehenden Tonsteinschichten des Braunen Jura hin [U 6]. Der geplante Dammbereich befindet sich gemäß der Ingenieurgeologischen



Gefahrenhinweiskarte [U 9] nicht innerhalb des rutschgefährdeten Bereichs. Dennoch wird gemäß Abstimmung mit dem LGRB eine Betrachtung unter Berücksichtigung einer Rutschgefährdung vorgenommen.

Das Auftreten der Rutschungen in dieser Gesteinsformation kommt zumeist nach Wasserzufluss und daran anschließender Durchfeuchtung der Tonsteinlagen mit einhergehender Entfestigung der Gesteinsschichten vor. Die Gebiete weisen somit eine erhöhte Neigung zu Rutschungen an aufweichenden Scherflächen auf. Derartige Rutschungsereignisse gibt es an den Rändern des Albtraufs immer wieder. In den vergangenen Jahren wurden diese zunehmend wissenschaftlich ausgewertet, so dass dazu neuere Erkenntnisse vorliegen. Hier kann beispielsweise der Hangrutsch bei Mössingen-Öschingen aus dem Jahr 2013 mit anschließender Begleitung und Auswertung der Sanierungsmaßnahmen durch das LGRB genannt werden (siehe [U 10]). Es wurde daher im vorliegenden Gutachten auf die neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse eingegangen und auf das dem LGRB vorliegende, geologisch vergleichbare Beispiel der Untersuchung einer historischen Rutschfläche innerhalb eines Tunnelbauvorhabens in Pfullingen Bezug genommen bzw. dieses zur detaillierteren Kennwertfindung berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in die mit Datum vom 27.10.2017 übermittelte Sensitivitätsanalyse [U 5] eingeflossen.

Für die geplante Ortsumfahrung wurde bereits 2008 eine Baugrunderkundung durchgeführt und die Ergebnisse in einem Baugrundgutachten zusammengestellt. Die Überlegungen, die Böschungen ohne Sicherungsbauwerke in geböschter Weise zu erstellen, wurden aus den oben genannten Gründen und in Abstimmung mit dem LGRB hin zu einer dauerhaften Böschungssicherung mittels Bauwerken überarbeitet. Das Baugrundgutachten von 2008 wird damit fortgeschrieben und daher für die dauerhafte Böschungssicherung mittels Bauwerken ein entsprechend erweiterter Untersuchungsumfang mit differenzierten Standsicherheitsberechnungen durchgeführt. Im vorliegenden Bericht werden Berechnungen zur Standsicherheit und zu möglichen Sicherungsvarianten der Böschungen für unterschiedliche Bemessungssituationen und unter Berücksichtigung vorhandener Untersuchungen durchgeführt.

Bezüglich der anstehenden Böden und dem Baugrundaufbau behalten die Ergebnisse der im Jahr 2008 von der Dr. Spang GmbH durchgeführten Baugrunderkundung jedoch weiterhin Gültigkeit. Auf dieser Basis, der Grundlage des uns vorliegenden Planungsstands der Ausbauprofile [U 2] und [U 3] und den neueren Erkenntnissen und Abstimmungen zum anstehenden Baugrund wurden



Standortsicherheitsuntersuchungen mit den Programmen GGU-STABILITY, GGU-CANTILEVER, GGU-RETAIN und GGU-SETTLE durchgeführt.

### **1.3 Unterlagen, Technische Vorschriften und Normen**

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] Übersichtslageplan, Verlegung der B 463 bei Albstadt – Lautlingen, Feststellungsentwurf, Bau-km 0+012 – 4+380, Vorabzug, M 1:10.000, Ingenieurbüro für Bauwesen Herbert Germey GmbH, Tübingen, 29.01.2016.**
- [U 2] Querprofile, Verlegung der B 463 bei Albstadt – Lautlingen, Vorentwurf, Regierungspräsidium Tübingen, Referat 44 – Planung, M 1:100, 12.04.2013.**
- [U 3] Querprofile, 2017-11-06-A-42 an IB Spang; B 463 OU Lautlingen - Profile für weitere Berechnungen Anschlusspunkte, Regierungspräsidium Tübingen, Referat 42 - Steuerung und Baufinanzen, Vertrags- und Verdingungswesen, M 1:100, 06.11.2017.**
- [U 4] Höhenplan Achse 1G1, Verlegung der B 463 bei Albstadt – Lautlingen, Feststellungsentwurf, Regierungspräsidium Tübingen, Referat 44 – Planung, M 1:2.500/1:250, ohne Datum.**
- [U 5] Sensitivitätsanalyse bzgl. der geotechnischen Kennwerte zur Abstimmung, Standsicherheitsuntersuchungen für Einschnitte und Dämme, OU Lautlingen, Dr. Spang GmbH, Esslingen, 27.10.2017.**
- [U 6] Ingenieurgeologische Stellungnahme zu geotechnischen Kennwerten und Standsicherheitsberechnungen für die Planung der Ortsumfahrung der B 463 in Albstadt-Lautlingen, Lkr. Zollernalbkreis (TK 25, Bl. 7719), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Regierungspräsidium Freiburg, 29.09.2017.**
- [U 7] Geologische Karte von Baden-Württemberg, Blatt 7719, Balingen, Karte 1:25.000 und Erläuterungen; Geologisches Landesamt, Baden-Württemberg, Stuttgart, 1987.**



- [U 8] Ingenieurgeologische Gefahren in Baden - Württemberg**, LGRB, Regierungspräsidium Freiburg, 2005.
- [U 9] Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte von Baden-Württemberg**, LGRB, Regierungspräsidium Freiburg, LGRB, <http://geogefahren.lgrb-bw.de>, 2017.
- [U 10] Information über Massenbewegungen am Albtrauf**: Hier Schadensfall an der Landhaus-siedlung in Mössingen-Öschingen vom 02.06.2013, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Regierungspräsidium Freiburg, Website vom 10.06.2014, [www.lgrb-bw.de/ingenieurgeologie/moessingen](http://www.lgrb-bw.de/ingenieurgeologie/moessingen), abgerufen am 24.01.2018:

#### **Vorschriften und Normen:**

- DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; 12/2010.
- DIN 4084: Gelände- und Böschungsbruchberechnungen; 01/2009.
- DIN 4085: Baugrund; Berechnung des Erddrucks; 10/2007, mit Berichtigung 1, 11/2008.
- DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten; 04/2005.
- DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; 09/2009.
- DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang zu Eurocode 7 - Teil 1; 12/2010.
- EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Ernst & Sohn, Berlin, 5. Auflage, 2012.
- EBGEO Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, Ernst & Sohn, Berlin, 2. Auflage, 2010.

#### **Weitere Literatur:**

Grundbau Taschenbuch, Ernst & Sohn, Berlin, Teile 1 – 3, 7. Auflage, 2008/2009.



## **2. GEOTECHNISCHE GRUNDLAGEN**

### **2.1 Baugrund**

Die Straßentrasse der geplanten OU verläuft nach der Geologischen Karte [U 7] vollständig innerhalb der Schichten des Braunjuras. Im Einzelnen werden mit abnehmendem Entstehungsalter die Schichten des Wedelsandsteins (jmWs), der Ostreenkalkformation (jmOK), der Hamitenton (jmHT)- und Dentalien-Formation (jmDT) sowie der Ornatentonformation (jmOR) aufgeschlossen. Hierbei handelt es sich durchgehend um Tonsteine die teilweise sandige Anteile aufweisen und in Wechsellagerung mit Kalksteinbänken auftreten, wobei der Tonsteinanteil gegenüber dem Kalksteinanteil etwa im Verhältnis von 95 : 5 % überwiegt.

Im Untersuchungsgebiet werden nach [U 7] die Festgesteinsschichten von einer mehrere Meter mächtigen Schicht aus verlehmttem Hangschutt bzw. Hanglehm überlagert, wobei die Mächtigkeit des bindigen Hanglehms proportional zum Abstand des Albtraufs zunimmt.

Auf den jurassischen Tonsteinen auflagernd wurden vorwiegend Hanglehme bzw. Verwitterungslehme angetroffen, welche teilweise mit größeren Sand-/ Kiesanteilen in Hangschutt übergehen. Es handelt sich um überwiegend bindigen, schwach feinsandigen Boden, welcher zumeist in steifer Konsistenz vorliegt.

Im Liegenden der Deckschichten (die Deckschichten unterlagernd) wurden über den gesamten Einschnitt die Gesteine des Braunen Juras angetroffen. In den Bohrungen standen erwartungsgemäß Schluff-, Ton- und Kalksteine an. Aufgrund von Wasserwegsamkeiten und damit verbundenen Verwitterungsprozessen sind die Schichten des Braunjuras heterogen verwittert, d.h. es kann nicht grundsätzlich von einem mit der Tiefe abnehmenden Verwitterungsgrad ausgegangen werden.

In der Tabelle 2.1-1 ist der im Untersuchungsbereich angetroffene Baugrundaufbau gemäß der bei der Erkundung im Jahr 2008 angetroffenen Bodenschichten zusammengefasst. Die Schichteinteilung berücksichtigt hier nur die für die Standsicherheitsanalyse zugrunde gelegten Erkundungsbohrungen im Untersuchungsbereich der Dammböschungen bei 2+350 – 2+520 und km 2+850 – 2+900. Diese sind die Kernbohrungen BK 10 – BK 12 und BK 17 – BK 20, die Kleinrammbohrungen BS 12, BS 13, BS 17 und BS 18 und die Ergebnisse der schweren Rammsondierung DPH 16



- DPH 18, DPH 23 und DPH 24. Die Lage der Aufschlüsse kann dem Lageplan in Anlage 2.1 entnommen werden. Die Aufschlüsse sind Anlage 4 zu entnehmen.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]	Schicht-UK [m GOK]	Bodenbeschreibung	
				Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
2b	Hang- bzw. Verwitterungslehm	1,4 bis 16,1 (7,6)	1,6 bis 16,1 (7,7)	Schluff oder Ton, schwach feinsandig bis kiesig, beige, braun	steif bis halbfest, lokal auch breiig oder weich
5a	Tonstein (stark bis vollständig verwittert)	0,7 bis 9,1 (3,6)	10,1 bis 14,7 (11,8)	Ton- und Mergelstein, entweder vollständig zer-setzt zu feinsandigem Ton / Schluff, oder Tst mit äußerst geringer Festigkeit, hellbraun, oliv-braun, dunkelgrau	steif bis halbfest, tlw. auch fest oder weich
5b	Tonstein (verwittert bis stark verwittert)	2,9 bis 12,0 (5,3)	15,0 bis 18,0 (16,5)	Ton-, Schluff- und stark untergeordnet Kalkstein, tlw. fossilführend, Eisenkonkretionen, Eisenoolithe, graubraun	/
5c	Tonstein / Kalkstein (angewittert bis frisch)	> 0,2	nicht aufgeschlossen	Ton- bzw. Kalkstein, tlw. fossilführend, Eisenkonkretione, Eisenoolithe, dunkelgrau, hellgrau	/

1) lokal sehr hohe Schlagzahlen deuten auf Steineinlagerungen hin

**Tabelle 2.1-1: Baugrundaufbau**

Der Untergrundaufbau entspricht stratigraphisch den Erkenntnissen aus [U 7]. Insbesondere die Schichten 2b und 5a schwanken aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte über die gesamte Erstreckung der Trasse in Ihrer Einzelschichtmächtigkeit. Über den gesamten Trassenverlauf ist jedoch mit einer etwa gleichbleibenden Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckung zu rechnen.



## 2.2 Grundwasser

Der lokale Vorfluter für das Untersuchungsgebiet ist der Meßstetter Talbach, der in seinem weiteren Verlauf der ca. in Ost-West-Richtung verlaufenden Eyach zufließt. Im Untersuchungsgebiet verläuft die europäische Wasserscheide in Nord-Süd-Richtung.

Bei den aufgeschlossenen Festgesteinsschichten handelt es sich um Kluftgrundwasserleiter. Die Tonstein- bzw. Tonschichten sind als Grundwassergeringleiter einzustufen. Lediglich die eingeschalteten klüftigen Kalksteinbänke wirken als Kluftgrundwasserleiter. Die Durchlässigkeiten der überlagernden Lockergesteine (Porengrundwasserleiter) sind stark vom Fein- und Feinstkornanteil abhängig. In den bindigen Ablagerungen innerhalb des Baugebiets ist mit Stau- und Sickerwasser zu rechnen.

Gemäß [U 7] sind in den Hanglagen oberhalb des Projektgebiets vereinzelt Quellen verzeichnet. Dies deutet ebenfalls auf aus den höheren Lagen zufließendes Wasser hin, welches aus den überlagernden (oft senkrecht geklüfteten und tief verkarsteten) Mergel- und Kalksteinen des Oberjuras sowie durch die durchlässigeren Bereiche des überlagernden Hangschutts zufließen.

Aufgrund des zu erwartenden Stau- und Schichtwassers ist der **Bemessungswasserstand** auf Höhe der Geländeoberkante hinter der Oberkante der Sicherungsbauwerke anzusetzen.

## 2.3 Geotechnische Besonderheiten

Nach DIN EN 1998-1/NA und der Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg, Ausgabe 2005, liegt das Baufeld in der **Erdbebenzone 3, die Untergrundklasse ist R**. Unter Berücksichtigung eines Erhöhungsfaktors von 1,25 und  $a_g = 0,8 \text{ m/s}^2$  ergibt sich hierfür eine horizontale Erdbebenbeschleunigung von  $1,0 \text{ m/s}^2$  sowie eine vertikale Erdbebenbeschleunigung von  $\pm 0,33 \text{ m/s}^2$ .

Etwa bei Bau-km ca. 1+800 kreuzt nach [U 1] eine vermutete Abschiebung nicht ausgewiesener Versatzhöhe die Trasse. Die Störung verläuft etwa in SSW-NNE-Richtung. Im Tal des Messtetter Talbaches bei Bau-km ca. 2+600 wird eine Abschiebung mit einer Versatzhöhe von bis zu 10 m



vermutet. Der Abstand vom betrachteten Abschnitt beträgt hier jedoch  $> 100$  m, sodass die Störungen für die Berechnungen nicht relevant werden.

Das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) weist auf die **Rutschgefährdung** der im Projektgebiet anstehenden Formationen des Braunjura hin [U 6]. Insbesondere nach langanhaltenden Niederschlägen und anschließender Durchfeuchtung der Tonsteinlagen mit einhergehender Entfestigung der Gesteinsschichten weisen die Gebiete eine erhöhte Neigung zu Rutschungen an aufweichenden Scherflächen auf.

Darüber hinaus wurde vom LGRB auf eine durch Einbringen von Wasser während der Bohrarbeiten hervorgerufene verminderte Haftkraft von Verankerungen in den Tonsteinlagen hingewiesen.

## 2.4 Boden- und Felskennwerte

Aufgrund der durchgeführten Erkundung und Laborversuchen sowie den Ergebnissen der bereits durchgeführten Untersuchungen zur Standsicherheit und der auf Initiative der LRGB angeregten Sensitivitätsanalyse [U 5] lassen sich die in Tabelle 2.4-1 und 2.4-2 angesetzten Boden- und Felskennwerte als Rechenwerte angeben.

Schicht Nr.	Bodenart / Felsart	Wichte feuchter Boden $\gamma_k$ kN/m <sup>3</sup>	Wichte unter Auftrieb $\gamma_k'$ kN/m <sup>3</sup>	Reibungswinkel $\varphi_k'$ °	Kohäsion $c_k'$ kN/m <sup>2</sup>	Anfangsfestigkeit $c_{u,k}$ kN/m <sup>2</sup>	Steifemodul <sup>1)</sup> $E_{s,k}$ MN/m <sup>2</sup>
2a	Hang- bzw. Verwitterungsschutt	19	9	25 - 30	5 - 20	15 - 30	20
2b	Hang- bzw. Verwitterungslehm	19	9	22,5 - 25	6 - 25	15 - 35	20
5a	Tonstein, Mergelstein (stark bis vollständig verwittert)	20	10	17,5 - 22,5	17,5 - 25	15 - 35	20

1) Laststeigerungsbereich 100 bis 250 kN/m<sup>2</sup>

**Tabelle 2.4-1:** Charakteristische Bodenkennwerte



Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge  $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Reibungs- winkel  $\varphi_k'$ [°]	Kohäsion  $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Einaxiale Druckfestig- keit Gestein $\sigma_c$ [MN/m <sup>2</sup> ]	E-Modul Gebirge  E [MN/m <sup>2</sup> ]
5b	Tonstein, Mergelstein, Kalkstein (verwittert bis stark verwittert)	26,5	25 - 35	$\geq 0$ (5 - 10)	2 - 20 <sup>2)</sup>	250 - 5.000 <sup>1)</sup>
5c	Tonstein, Kalkstein (angewittert - unverwittert)	26,5	27,5 - 35	$\geq 0$ (10 - 30 (15))	2 - 50 <sup>2)</sup>	5.000 - 15.000 <sup>1)</sup>

1) lokal, insbesondere beim Antreffen von Kalksteinbänken, auch deutlich höhere Werte möglich

**Tabelle 2.4-2:** Felsmechanische Kennwerte, Werte in Klammern als Rechenwerte

Da keine weiteren Angaben zu Trenn- und Klufflächenneigungen vorliegen, wurden die Kennwerte der Festgesteinsschichten als Bodenkennwerte unter der Annahme, dass sich in jeder Neigung Rutschflächen ausbilden können, angesetzt.

## 2.5 Kennwerte für Verpressanker

Zum Nachweis des Herausziehwiderstandes von Verpressankern wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Baugrunderkundung sowie der durchgeführten Sensitivitätsanalyse [U 5] die nachfolgenden, charakteristischen Mantelreibungen angesetzt.

Schicht- Nr.	Schicht	Herausziehwiderstände von Verpressankern  $q_{s,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
2a / 2b	Hang- bzw. Verwitterungsschutt, Hang- bzw. Verwitterungslehm	80
5a	Tst - Mst, (stark bis vollständig verwittert)	80
5b / 5c	Tst - Mst, Kst (verwittert bis stark verwittert, so- wie frisch bis schwach verwittert)	150

**Tabelle 2.5-1:** Charakteristische Herausziehwiderstände für Verpressanker



Da das vorliegende Baugrundprofil einen geschichteten Aufbau mit stärker verwitterten Tonsteinen und frischen bis angewitterten Tonsteinen zeigt, wurde auch für die Schicht 5c (frisch bis angewitterter Tonstein) ebenfalls ein Herausziehwiderstand von  $150 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Für die Sicherung durch eine Bohrpfehlwand wurden Ankerwiderstände auf ca. 60 % des Bruchwerts abgemindert, um zu berücksichtigen, dass Anker in den zur Herstellung des Sicherungsbauwerks erforderlichen Aushubzuständen teilweise höher beansprucht werden als im Endaushubzustand.

## 2.6 Kennwerte für Bohrpfähle

Für den Vertikallastabtrag für Bohrpfähle können die folgenden Kennwerte angesetzt werden. Ein dezidierter Nachweis des Vertikallastabtrags wurde im Folgenden nicht geführt und ist in der Ausführungsplanung zu betrachten.

Schicht-Nr.	Schicht	charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	charakteristischer Pfahlsitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
2a / 2b	Hang- bzw. Verwitterungsschutt, Hang- bzw. Verwitterungslehm	0,025 <sup>1)</sup>	-
5a	Tst - Mst, (stark bis vollständig verwittert)	0,040 <sup>1)</sup>	0,35/0,45/0,80 <sup>2)</sup>
5b	Tst - Mst, Kst (verwittert bis stark verwittert)	0,50 <sup>1)</sup>	5
5c	Tonstein, Mergelstein (angewittert bis unverwittert)	0,50 <sup>1)</sup>	10

- 1) nur aktivierbar bei einem Absetzen der Pfähle in der Schicht 5b bzw. bei gesondertem Nachweis auch in der Schicht 5c  
2) bei einer bezogenen Pfahlkopfsatzung  $s / D_s$  von 0,02/0,03/0,10

**Tabelle 2.6-1:** Charakteristische Mantelreibungen und Spitzenwiderstände von Bohrpfählen



### 3. STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 Allgemein

Zur Beurteilung der Standsicherheit der Damm- und Einschnittsböschungen nach dem Eingriff durch den Straßenbau in den Hang werden im Vorfeld Standsicherheitsuntersuchungen erforderlich. Im Folgenden werden die durchgeführten Berechnungen sowie der dafür maßgebende Berechnungsschnitt dargestellt.

Die Standsicherheit der Böschung bzw. der Böschungssicherung wurde zunächst global mit dem Programm GGU-STABILITY untersucht. Darüber hinaus wurden weitere Berechnungen des Sicherungselements als Bauteilnachweis der Bohrpfehlwand durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgen für die nachfolgend aufgeführten Bemessungssituationen:

- Bemessungssituation BS-A für den außergewöhnlichen Lastfall
- Bemessungssituation BS-P für den dauerhaften Lastfall
- Bemessungssituation BS-E für den Lastfall Erdbeben

Die Standsicherheitsuntersuchungen im außergewöhnlichen Lastfall (BS-A) wurden, zur Berücksichtigung der erhöhten Rutschgefährdung der Hänge im Untersuchungsbereich, unter Ansatz der unteren Kennwertgrenzen durchgeführt. Auf die Ausführungen in [U 5] wird verwiesen. Für die Berechnung der weiteren Lastfälle wurde für die Schichten ein mittlerer Kennwertsatz gewählt.

Schicht Nr.	Bodenart / Felsart	Lastfall BS-A		BS-P, BS-E	
		Reibungs- winkel $\varphi_k'$ [°]	Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Reibungs- winkel $\varphi_k'$ [°]	Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
2a	Hang- bzw. Verwitterungsschutt	25	5	27,5	15
2b	Hang- bzw. Verwitterungslehm	22,5	6	25	15
5a	Tonstein, Mergelstein (stark bis vollständig verwittert)	17,5	17,5	22,5	25



Schicht Nr.	Bodenart / Felsart	Lastfall BS-A		BS-P, BS-E	
		Reibungs- winkel $\phi_k'$ [°]	Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Reibungs- winkel $\phi_k'$ [°]	Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
5b	Tonstein, Mergelstein, Kalkstein (verwittert bis stark verwittert)	25	10	35	5
5c	Tonstein, Kalkstein (angewittert - unverwittert)	27,5	15	35	15

**Tabelle 3.1-1:** Angesetzte Kennwerte für die jeweiligen Lastfälle

Es wird weiterhin für die Standsicherheitsuntersuchungen der Dammbereiche von folgenden Kennwerten für die Dammschüttungen bzw. Bodenaustauschschichten ausgegangen.

Bodenart / Felsart	Wichte feuchter Boden $\gamma_k$ kN/m <sup>3</sup>	Wichte unter Auftrieb $\gamma_k'$ kN/m <sup>3</sup>	Reibungs- winkel $\phi_k'$ °	Kohäsion $c_k'$ kN/m <sup>2</sup>	Steife- modul <sup>1)</sup> $E_{s,k}$ MN/m <sup>2</sup>
Dammschüttung, bindemittelstabilisiert	19,0	9,0	25,0 / 22,5 <sup>2)</sup>	20 / 25 / 150 <sup>3)</sup>	-
Dammschüttung, grobkörnig	21,0	11,0	38,5	0	-
Dammschüttung aus Leichtbaumaterial, z.B. Glasschaumschotter	3,0	Dränierung erforderlich	40	0	-
Grasdeckschicht	19,0	9,0	25,0 / 22,5 <sup>2)</sup>	7	-
Bodenaustausch	21,0	11,0	37,5	0	50

1) Laststeigerungsbereich 100 bis 250 kN/m<sup>2</sup>

2) Kleinere Werte im BS-A

3) Ansatz in Fallstudie zur Überprüfung des Einflusses einer verbesserten Bindemittelstabilisierung

**Tabelle 3.1-2:** Angesetzte Bodenkennwerte für die Dammschüttungen bzw. Bodenaustauschschichten

Die Standsicherheit der Dammböschung bzw. der Böschungssicherung wurde zuerst global mit dem Programm GGU-STABILITY untersucht. Des Weiteren wurde eine weitere Betrachtung des



Grundbruchs bzw. zum Abgleiten der Dammschulter untersucht. Dies trägt insbesondere der teilweise erheblichen Querneigung des Geländes bis zu ca. 15° Rechnung. Die Untersuchungen erfolgen in der Bemessungssituation BS-A für den außergewöhnlichen Lastfall sowie dort, wo erforderlich auch für die Bemessungssituation BS-P für den dauerhaften Lastfall und für die Bemessungssituation BS-E für Erdbeben. Zusätzlich erfolgen räumliche Setzungsabschätzungen in der Dammaufstandsfläche aufgrund der erheblichen Dammauflast.

Im Zuge der weiteren Planung ist auch der Bauzustand in der Bemessungssituation BS-T bezüglich der Herstellung zu untersuchen, da aufgrund der geringen Durchlässigkeit in der Dammaufstandsfläche Porenwasserüberdrücke auftreten können, die eine undrained Betrachtung der Dammstandssicherheit erforderlich machen. Außerdem wird die im Endzustand berücksichtigte 20 cm dicke Grasdeckschicht über dem Dammkörper im Bauzustand noch nicht aktiviert.

### 3.2 Programmbeschreibungen

Die Nachweise der Böschungsstandssicherheit sowie der einzelnen Sicherungen erfolgte mit den nachfolgend genannten GGU-Programmen.

Programm	Leistungsbezeichnung	Programmautor	Programm-Version
GGU STABILITY	Böschungsbruchberechnungen und Berechnungen von Bodenvernagelungen und Bewehrte-Erde-Wänden nach DIN 4084 und EC 7	Prof. Dr.-Ing. Johann Buß, GGU-Software, Civilserve GmbH, Steinfeld	V 12.06 11.11.2017
GGU CANTILEVER	Berechnung von Winkelstützmauern	Prof. Dr.-Ing. Johann Buß, GGU-Software, Civilserve GmbH, Steinfeld	V 3.46 07.08.2017
GGU RETAIN	Berechnung von Verbauwänden	Prof. Dr.-Ing. Johann Buß, GGU-Software, Civilserve GmbH, Steinfeld	V 3.46 07.08.2017
GGU-SETTLE	Berechnung von Fundamentsetzungen nach DIN 4019 für Rechteck- und Dreiecksfundamente	Prof. Dr.-Ing. Johann Buß, GGU-Software, Civilserve GmbH, Steinfeld	V 4.00 30.08.2014

**Tabelle 3.2-1:** Verwendete Programme



### 3.3 Berechnungsschnitte

Es wird davon ausgegangen, dass für die jeweils höchste Dammschüttung unmittelbar am Widerlager eine Stützung der Dammschüttung einerseits durch Flügelwände des Widerlagers und andererseits durch die Widerlagergründung auf Pfählen erfolgt. Daher wird der Berechnungsschnitt 1 für die Dammberechnung ca. 20 m von der Widerlagerachse entfernt gewählt. Es wurden dabei die folgenden, nach jetzigem Planungsstand maßgeblichen Berechnungsschnitte gemäß [U 2] betrachtet:

- **Berechnungsschnitt 1 - km 2 + 480**  
Maximale Höhe der Dammschulter ca. 13,8 m über GOK, Tiefe des Einschnitts zur Anschlussstelle ca. 5,1 m, Geländeneigung 8° – 9°, Nachweis gegen Gleiten, Grundbruch, Böschungsbruch und Nachweis der Setzungen
- **Berechnungsschnitt 2 - km 2 + 430**  
Maximale Höhe der Dammschulter ca. 7,3 m über GOK, Tiefe des Einschnitts zur Anschlussstelle ca. 6,0 m, Geländeneigung 9° – 15°, Nachweis gegen Gleiten und Böschungsbruch
- **Berechnungsschnitt 3 - km 2 + 860**  
Maximale Höhe der Dammschulter ca. 11,0 m über GOK, Geländeneigung 5° – 6°, Nachweis der Setzungen
- **Berechnungsschnitt 4 - km 2 + 480 – km 2 + 520, schräg zur Trassenachse in Hangfallrichtung**  
Maximale Höhe der Dammschulter ca. 14,8 m über GOK, Geländeneigung 8° – 9°, Nachweis gegen Gleiten, Grundbruch, Böschungsbruch

Der Berechnungsschnitt 1 stellt aufgrund der größten Höhe der Gesamtböschung aus Damm und Einschnitt das ungünstigste Berechnungsprofil für die Dammberechnung dar. Beim Berechnungsschnitt 2 besitzt die Dammaufstandsfläche demgegenüber eine größere Neigung, was für ein Abgleiten der Dammschulter oder für den Böschungsbruch maßgebend werden kann. Außerdem liegt hier eine größere Einschnittshöhe bis zur Anschlussstelle Mitte vor. Bei Berechnungsschnitt 3 besitzt die Dammaufstandsfläche die größte Mächtigkeit der vergleichsweise kompressiblen Hanglehmschicht 2b, weshalb hier zu untersuchen ist, ob größere Setzungen auftreten als im Berechnungsschnitt 1. Auf Wunsch des LGRB wird zusätzlich der Berechnungsschnitt 4 schräg zur Trassenachse jedoch in Hangfallrichtung untersucht. Hierdurch wird der tiefliegende Einschnitt der Anschlussstelle jedoch nicht tangiert.



Nach Abstimmung mit dem Referat Ingenieurbau wird in den vorliegenden Berechnungen von einer Tiefgründung der Widerlager des Meßstetter Talviadukts (Bauwerk 6) ausgegangen und somit keine Zusatzlasten auf die Böschung beispielsweise durch Widerlagerlasten berücksichtigt. Für die Gründungspfähle ist jedoch aus der Widerlagerhinterfüllung von einer Zusatzbeanspruchung durch negative Mantelreibung auszugehen, da der sich setzende Baugrund in der Dammaufstandsfläche in die Gründungspfähle „hängt“. Die Größenordnung einer negativen Mantelreibung kann im Zuge weiterer Planungen nach Vordimensionierung der Pfahlanordnung, Pfahllängen und Pfahldurchmesser abgeschätzt werden. Tabelle 3.3-1 fasst die untersuchten Berechnungsschnitte zusammen:

Be- rech- nungs- schnitt	Querprofil [km]	Bereich [km]	Anlage Nr.
1	2+480	ca. km 2+440 – 2+480	3.1
2	2+430	ca. km 2+360 - 2+430	3.2
3	2+860	ca. km 2+840 – 2+930	3.3
4	2+480 – 2+520, schräg	ca. km 2+480 – 2+520	3.4

**Tabelle 3.3-1:** Zusammenstellung der Berechnungsschnitte für die Dammbereiche

Die Schichten wurden für die Berechnungsschnitte 1, 2 und 4 aus den Bohrungen BK 11 und BK 12 sowie aus den Sondierungen BS 13 und BS 14 interpoliert. Für den Berechnungsschnitt 3 wurde eine Schichtung gemäß der Bohrung BK 18 berücksichtigt.

### **3.4 Sicherungsmöglichkeiten für die Dammschüttung im Anschluss an den Meßstetter Talviadukt**

Grundsätzlich ist eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten für die Ausführung der Dammböschung bezüglich der Standsicherheit denkbar. Im Folgenden werden gemäß Aufgabenstellung die folgenden Sicherungsvarianten untersucht:



**Varianten:**

1. **Konventionelle Schüttung aus verfügbarem Aushubmaterial:** Als konventionelles Dammbaumaterial bietet sich aufgrund der Verwertung der Aushubmengen aus den Einschnitten eine Wiederverwendung der vorwiegend bindigen Lockergesteinsböden oder des verwitterten Tonsteinausbruchmaterials an. Insbesondere der vorwiegend bindige Aushub als auch der verwitterte Tonstein eignet sich jedoch nicht für eine Dammschüttung, da dieser schlecht verdichtungsfähig ist und bei Wasserzutritt zu Entfestigung neigt, was zu nachträglichen Setzungen des Dammkörpers führt. Weiterer Nachteil ist die Frostepfindlichkeit des Bodens. Insbesondere für große Dammhöhen als auch im Übergangsbereich zu einer vergleichsweise steifen Tiefgründung der Brücke sollte das unverbesserte Aushubmaterial nicht zum Einsatz kommen. Aufgrund der Defizite in der Verdichtung, der Aufweichungsgefährdung und der Frostepfindlichkeit wird für Standsicherheitsberechnungen eine Abminderung der Kohäsion gegenüber dem gewachsenen Hanglehm als Ausgangsboden von  $c' = 5 \text{ kN/m}^2$  vorgenommen. Es ist davon auszugehen, dass auch eine Wiederverwertung des Aushubs aus den Schichten 5b und 5c aus den Einschnittsbereichen zu keiner wesentlichen Verbesserung der Scherfestigkeit des Dammschüttmaterials führt.
2. **Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials:** Eine Verbesserung der Wiederverwertbarkeit des Aushubmaterials kann durch das Beimischen von Bindemitteln erreicht werden. Durch das Beimischen von Kalk kann bei zu feuchtem Boden die Verdichtbarkeit des eingebauten Materials verbessert werden, der Einsatz von Zement führt zu einer irreversiblen Verfestigung des eingebauten Bodens. Häufig führt eine Kombination beider Anteile (Mischbinder) zu optimalen bodenmechanischen Eigenschaften des eingebauten Bodens. Für den Nachweis der Eignung des zu verbessernden Bodens für das Verfahren werden Eignungsprüfungen erforderlich. **Zu bemerken ist, dass für ausgeprägt plastische Tone nur eine sehr schwere Verarbeitbarkeit zu erwarten ist und bei quellfähigen Bestandteilen im Ton keine Eignung des Bodens für das Verfahren nachzuweisen sein wird.** Für nachfolgende Standsicherheitsberechnungen wird für die Erreichung einer standsicheren Dammböschung unter einer Neigung von 1 : 1,5 eine Erhöhung der Kohäsion des Ausgangsbodens auf  $c' = 20 \text{ kN/m}^2$  bzw.  $c' = 25 \text{ kN/m}^2$  erforderlich. Dieser Wert ist in der Regel mit dem Verfahren zu erreichen. Zu prüfen ist, inwieweit durch den Einsatz von Bindemitteln §24a-Biotope gemäß [U 1] negativ beeinflusst werden. Zu berücksichtigen sind Veränderungen des pH-Wertes verbesserten Bodens auf Werte zwi-



schen 10 bis 12. Auch eine Versinterung möglicher Dränagen kann durch Kalkaustrag über Niederschlagswasser erfolgen.

- 3. Dammschüttung aus grobkörnigem Boden:** Eine Dammschüttung aus grobkörnigem Boden besitzt eine gute Verdichtbarkeit bei geringer Frostempfindlichkeit. Gleichzeitig sorgt die grobkörnige Hinterfüllung im Übergangsbereich zur steifen Brückengründung für einen Ausgleich der Setzungen zwischen Brücke und nachgiebiger Dammschüttung, weshalb diese in Regelwerken für Hochgeschwindigkeitsstrecken der DB empfohlen wird. Leider sind die im Untersuchungsgebiet anstehenden Böden, sowohl der in Teilabschnitten anstehende Hangschutt (Schicht 2a) als auch die Festgesteinsschichten 5b und 5c, für eine diesbezügliche Wiederverwendung ungeeignet, da entweder ein zu großer Feinkornanteil oder eine Aufweichungsgefährdung vorliegt. Geeignet für den Einbau ist jedoch beispielsweise Kalksteinschotter aus den unweit des Untersuchungsgebiets liegenden Steinbrüchen des Weißjuras. Für nachfolgende Standsicherheitsberechnungen wird auch für die Erreichung einer standsicheren Dammböschung unter einer Neigung von 1 : 1,5 ein Reibungswinkel von  $\varphi' = 38,5^\circ$  erforderlich, der durch Eignungsprüfungen nachzuweisen ist. Damit wird gebrochenes Schüttgut bereits sehr weitgehend ausgelastet. Der Feinkornanteil im Dammbaustoff muss unter 5 % begrenzt bleiben.
- 4. Abflachung der Böschung aus konventionellem Schüttmaterial:** Nachfolgende Standsicherheitsuntersuchungen einer Dammböschung unter einer Neigung von 1 : 1,5 im Endzustand zeigen, dass diese nicht standsicher ist. Stattdessen kann die Standsicherheit durch eine Abflachung der Dammböschung auf 1 : 2,5 erreicht werden. Aufgrund der vorliegenden Geländeneigung führt eine Abflachung zu einem überproportional hohen Bedarf an Dammschüttmaterial. Zusätzlich sind die unter der Variante 1 beschriebenen Nachteile des unverbesserten Dammmaterials hinsichtlich Verdichtung, Aufweichungsgefährdung und Frostempfindlichkeit zu beachten. Für die nördliche Dammböschung des westlichen Dammbereichs scheidet eine Abflachung der Böschung wegen der darunter geplanten Zufahrtsstraße aus geometrischen Gründen aus.
- 5. Dammschüttung aus Leichtbaumaterial:** Dammschüttungen aus Leichtbaumaterial stellen eine innovative Alternative zu herkömmlichen Lösungen dar. Vorteil dieser Variante ist, dass durch das geringe Eigengewicht des Schüttmaterials nur geringe Setzungen in der Aufstandsfläche auftreten, die damit auch nur geringe Konsolidationssetzungen im bindigen



Baugrund verursachen. Ebenfalls wird hierdurch eine negative Mantelreibung auf die Gründungspfähle der Widerlager minimiert. Bei Wahl von geeignetem Schüttgut, z.B. **Glasschaumschotter**, wird eine hohe Frostsicherheit und sehr gute Wasserdurchlässigkeit der Schüttung bei gleichzeitiger hoher Tragfähigkeit erzielt.

Die Dammaufstandsfläche ist so zu profilieren, dass Staunässe auf der Grenzschicht Damm – Untergrund nicht entstehen kann. Der Glasschaumschotter selbst kann die Funktion einer Dränschicht übernehmen. Im Zuge der weiteren Planungen ist zu untersuchen, inwieweit im Übergangsbereich zur steifen Brückengründung der Einsatz von Leichtbaumaterial zweckmäßig ist. Referenzbeispiele beim Einsatz von Glasschaumschotter als Dammbaumaterial weisen die Erfordernis von Schleppplatten im Übergang zur Brücke aus. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Herstellung eines durch Zement verfestigten Stützkeils aus grobkörnigem Material unmittelbar hinter dem Brückenwiderlager, der jedoch für ein höheres Schüttgewicht sorgt. Alternativ könnte auch dort der Glasschaumschotter eingesetzt werden.

Bei hohen Dammschüttungen kann der Glasschaumschotter in Kombination mit Lagen aus mineralischem Boden und in Verbindung mit dem Einsatz von Geogittern eingebaut werden, was zu einer Optimierung der technischen Lösung zwischen hohen Materialkosten für den Glasschaumschotter und erforderlicher Gewichtsreduktion führt. Möglich ist auch zusätzlich eine Zementverfestigung des Glasschaumschotters (Keil im Hinterfüllbereich). Aufgrund der guten Dämmeigenschaften des Glasschaumschotters verweisen Hersteller auch auf den Einsatz des Materials in Verbindung mit Straßenheizungen bei Erdwärmeanwendungen. Für Glasschaumschotter werden Schüttgewichte von ca. 170 kg/m<sup>3</sup> angegeben. In den Standsicherheitsuntersuchungen und Setzungsabschätzungen wurde unter Berücksichtigung einer Verdichtung unter 1 : 1,3 und einer Durchfeuchtung des Materials von 7 Vol.% von einer Wichte von 300 kg/m<sup>3</sup> ausgegangen. Für nachfolgende Standsicherheitsberechnungen wird auch für die Erreichung einer standsicheren Dammböschung unter einer Neigung von 1 : 1,5 ein Reibungswinkel von  $\phi' = 40^\circ$  erforderlich, der durch Eignungsprüfungen nachzuweisen ist.

Aufgrund des vergleichsweise hohen Preises für das Schüttgut gegenüber dem Vorteil der Gewichtsreduktion ist der Einsatz von Leichtbaumaterial für die Dämme dann wirtschaftlich interessant, wenn nur geringe Liegezeiten für die Dämme zum Abklingen von Setzungen



zur Verfügung stehen, wenn eine negative Mantelreibung auf die Gründungspfähle unbedingt unterbunden werden muss oder wenn damit aufwendige Sicherungsmaßnahmen im Baugrund zu vermeiden werden können.

- 6. Stabilisierung der Dammschüttung durch Geogitter:** Durch den Einsatz von Geogittern kann die Dammböschung stabilisiert und damit unter 1 : 1,5 geböschet werden. Geogitterbahnen sind für eine Stabilisierung der Dammböschung relativ tief in die Dammschüttung und aufgrund der geneigten Dammaufstandsfläche auch in die Dammaufstandsfläche einzubinden. Da grundsätzlich für eine Aktivierung der Geogitter als Sicherungselemente Verschiebungen in der Dammschüttung auftreten müssen, ist eine Stabilisierung im Übergangsbereich zwischen steifer Brückengründung und weicher Dammaufstandsfläche nicht angeraten. Zu prüfen ist, inwieweit eine dauerhafte Verträglichkeit der Geogitter mit den vor Ort anstehenden Böden gegeben ist und welche Erfahrungen über den Einsatz von Geogittern in Erdbebenzone 3 vorliegen.

In allen Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Dammaufstandsfläche durch den Einsatz eines Bodenaustauschs je nach Dammhöhe zwischen 30 cm und 1,60 m stabilisiert und wasserdurchlässig ausgebildet wird, sodass kein Wasseraufstau im Dammkörper erfolgt.

### **3.5 Sicherungsmöglichkeiten für die Einschnittsböschung im unteren Bereich der Anschlussrampe**

Grundsätzlich ist eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten für die Sicherung der Einschnittsböschungen bezüglich der Standsicherheit denkbar. Im hier vorliegenden Gutachten wird die Sicherung durch eine aufgelöste Bohrpfahlwand untersucht. Im Verhältnis zu den in anderen Gutachten untersuchten Einschnittsböschungen liegen für die betrachteten kombinierten Damm- und Einschnittsböschungen die größten Gesamthöhen vor, weshalb nicht tief in die Dammaufstandsfläche reichende Sicherungsvarianten voraussichtlich nicht standsicher sind oder unwirtschaftlich ausgeführt werden können. Im Zuge weiterer Planungsphasen können andere Sicherungsvarianten betrachtet werden.

Eine tiefreichende Sicherung in der Dammaufstandsfläche stellt eine biegesteife Verbauwand, z.B. als Bohrpfahlwand dar. Die Bohrpfahlwand wird als aufgelöste Wand mit einer Ausfachung aus



Spritzbeton betrachtet. In dem Fall sind Entwässerungsbohrungen in der Ausfachung vorgesehen, um einen anstehenden Wasserdruck zu verhindern. Die Bohrpfahlwand wird zudem mit Dauerankern in den Baugrund rückverankert. Eine nachträgliche, nicht als Böschungssicherung wirkende Verblendung durch Gitter- oder Pflanzkörbe kann zudem aus landschaftsplanerischer Sicht ausgeführt werden. Wasserwirtschaftlich ist aufgrund der Abdichtungswirkung eine aufgelöste Bohrpfahlwand gegenüber einer überschnittenen Bohrpfahlwand zu bevorzugen.

Bei der Ausführung von Verankerungen im Bereich der Tongesteine des Mittleren Juras ist aufgrund des anspruchsvollen Ankersubstrats, grundsätzlich eine Längenstaffelung der Anker zu beachten.

Alternativ besteht die Möglichkeit, die Dammaufstandsfläche durch eine Rüttelstopfverdichtung zu stabilisieren. Bei einer Rüttelstopfverdichtung (RSV) wird ein zylindrischer Rüttler in den Untergrund eingerüttelt, wobei der anstehende Boden zur Seite verdrängt wird. Der beim Ziehen des Rüttlers entstehende Hohlraum wird über ein Schleusensystem im Rüttler mit Schotter gefüllt, der ebenfalls mit dem Rüttler verdichtet (gestopft) wird. Anhand der Leistungsaufnahme des Geräts beim Einrütteln kann die Festigkeit und damit die erforderliche Eindringtiefe kontrolliert werden.

Bei der Erstellung der Rüttelstopfsäulen kommen Großgeräte (> 30 t) zum Einsatz. Es ist zu berücksichtigen, dass eine Zuwegung des Geräts, sowie der unterstützenden Fahrzeuge (Radlader, etc.) erforderlich ist und für das Erstellen der Rüttelstopfsäulen ein „Bohrplanum“ aus gut verdichtbarem Material zu erstellen ist.

Erstes Ziel der Maßnahmen zur Stabilisierung der Hänge und Böschungen muss die zuverlässige, störungsfreie und kontrollierbare Drainage des Hang- und Schichtenwassers in den Hanglehmassen und Tonmergelstein- und Mergelsteinschichten des Braunen Jura bergseitig der geplanten Sicherungsbereiche sein. Eine dauerhafte Sicherstellung einer geordneten Entwässerung, die sich nicht ungünstiger einstellen darf als die angesetzten Sickerparabeln, ist für die standsichere Ausbildung der Sicherungsmaßnahme zur Herstellung der Einschnitte und Dämme wesentlich. Diese sind beispielsweise über Sickerschlitze im Lockergestein zu gewährleisten.

Da für die Standsicherheitsuntersuchungen in Kombination mit der Sicherung der Einschnittsböschung zusätzliche Varianten entwickelt wurden, gibt nachfolgende Tabelle eine Übersicht über die Sicherungsvarianten für Damm- und Einschnittsböschungen:



Nr. Variante	Bezeichnung
1.	Konventionelle Schüttung aus verfügbarem Aushubmaterial
2.	Schüttung des Damms durch Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials zur Erreichung einer Kohäsion auf $c_{\text{Damm}}' = 20 \text{ kN/m}^2$ bzw. $25 \text{ kN/m}^2$
2a.	Schüttung des Damms durch Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials zur Erreichung einer Kohäsion auf $c_{\text{Damm}}' = 150 \text{ kN/m}^2$
2b.	Schüttung des Damms durch Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials zur Erreichung einer Kohäsion auf $c_{\text{Damm}}' = 20 \text{ kN/m}^2$ und Sicherung durch eine Bohrpfahlwand
2c.	Schüttung des Damms durch Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials zur Erreichung einer Kohäsion auf $c_{\text{Damm}}' = 20 \text{ kN/m}^2$ und Stabilisierung der Dammaufstandsfläche durch eine Rüttelstopfverdichtung
3.	Dammschüttung aus grobkörnigem Boden
3a.	Dammschüttung aus grobkörnigem Boden und Sicherung durch eine Bohrpfahlwand
4.	Abflachung der Böschung aus konventionellem Schüttmaterial
5.	Dammschüttung aus Leichtbaumaterial
6.	Stabilisierung der Dammschüttung durch Geogitter

**Tabelle 3.6.1-1:** Übersicht über die Sicherungsvarianten für Damm- und Einschnittsböschungen

### 3.6 Berechnungsergebnisse

Mit dem Programm GGU-STABILITY wurde die Böschungsstabilität mit dem Verfahren nach Bishop für die gewählten Schnitte für den außergewöhnlichen Lastfall (BS-A) und den Endzustand (BS-P) berechnet. Die Bemessung für Erdbeben erfolgt in der Bemessungssituation BS-E.

Zusätzlich wird für die talseitige Dammschulter ein Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter mit dem Programm GGU-Cantilever geführt. Es wird hierbei die Dammschulter als Schwergewichtsmauer idealisiert, wobei vom Eigengewicht der Dammschüttung für das Stützbauteil und von einem aktiven Wandreibungswinkel gleich dem Reibungswinkel des Bodens ausgegangen wird. Die Neigung der Dammaufstandsfläche wird durch einen um diesen Betrag reduzierten Sohlreibungswinkel und durch eine zusätzlich auf Höhe des Dammfußes angreifende Abtriebskraft aus Eigengewicht der Dammschulter berücksichtigt.



Für die Berechnung der Bohrpfahlwand wird eine nachträgliche Dimensionierung mit dem Programm GGU-RETAIN ausgeführt. Hierbei werden Nachweise der tiefen Gleitfuge, Ankerherauszieh Widerstände sowie die erforderliche Pfahllänge zum Abtrag der Horizontalkräfte und die Dimension und Abstände der Bohrpfähle berechnet. Eine Bemessung im Hinblick auf die Vertikal lastabtragung und auf Bauzustände wurde hierbei nicht durchgeführt.

Eine Abschätzung der Setzungen in der Dammaufstandsfläche erfolgt für die gesamte Widerlager hinterfüllung räumlich unter Berücksichtigung der jeweiligen Schichtung zu Beginn und in der Mitte der Dammschüttung sowie in einem Abstand von ca. 20 m von der Widerlagerachse.

### 3.6.1 Berechnungsschnitt 1 – km 2+480

Nachfolgend werden in der folgenden Tabelle 3.6.1-1 die berechneten Geometrien dargestellt. Der Berechnungsschnitt 1 stellt den kombinierten Damm- und Einschnittsbereich mit der größten Gesamthöhe dar. Dieser besitzt eine maximale Höhe von ca. 23,2 m. Das Urgelände besitzt eine Querneigung von ca. 8°.

Berechnungsschnitt / Querprofil [km]	Dammböschungshöhe	Dammbreite	Neigung der Dammschultern	Einschnittshöhe	Breite der ungesicherten Einschnittsböschung	Gesamtböschungshöhe	Breite der Gesamtböschung
1 / 2+480	16,8 m	50,5 m	34° (1 : 1,5)	6,4 m	10,2 m	23,2 m	36,3 m

**Tabelle 3.6.1-1:** Angesetzte Geländegeometrie im Berechnungsschnitt 1 (vgl. Anlage 3.1.1.1)

Bei den im Vorfeld durchgeführten Variantenuntersuchungen haben sich die Dammbau-Varianten 2, 3, 5 und 6 als sinnvollste Varianten für die Ausführung des Damms herausgestellt. Eine Schüttung des Damms aus dem vorhandenen Aushubmaterial (Variante 1) erweist sich als nicht stand sicher. Eine Abflachung der Dammschulter (Variante 4) kann aus geometrischen Gründen im Bereich des Berechnungsschnitts 1 nicht ausgeführt werden. Für die Sicherungsvarianten 2, 3 und 6 ergibt sich für die Dammschüttung ein vergleichbares Eigengewicht. Durch die spezielle Betrachtung der Rutschgefährdung im BS-A mit ungünstigen Baugrundkennwerten tritt ein Versagen in der Dammaufstandsfläche auf, weshalb die standsichere Ausbildung der Gesamtböschung nur in geringerem Ausmaß von der Art der Dammschüttung selbst abhängt. Daher wird eine Betrachtung



hier nur für die Dammbau-Varianten 2 und 5 betrachtet. Hierfür werden die Fälle ohne Sicherung der tieferliegenden Einschnittsböschung und mit Sicherung durch eine Bohrpfahlwand betrachtet.

Eine Setzungsbetrachtung erfolgt für die Varianten 2, 3 und 5. In der Tabelle 3.6.1-2 sind im Folgenden die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen zusammengestellt.

Berechnungs- schnitt / Querprofil [km]	Variante	Ausnutzung [μ]	Anlage Nr.
1 / 2+480	2. Bindemittelstabilisierung	Böschung, BS-A: 1,21 (nicht ausreichend standsicher)	3.1.1.1
		Grundbruch, BS-A: 2,83 (nicht ausreichend standsicher)	3.1.1.2
		Böschung, BS-P: 1,10 (nicht ausreichend standsicher)	3.1.1.3
		Grundbruch, BS-A: 1,42 (nicht ausreichend standsicher)	3.1.1.4
	2a. Verbesserte Bindemittelstabilisierung mit $c'_{\text{Damm}} = 150 \text{ kN/m}^2$	Böschung, BS-A: 0,94	3.1.1.5
		Grundbruch, BS-A: 2,04 (nicht ausreichend standsicher)	3.1.1.6
	2b. Bindemittelstabilisierung und Bohrpfahlwand	Böschung, BS-A: 0,98	3.1.2.1
		Böschung, BS-P: 0,97	3.1.2.3
		Setzung: 7,6 cm	3.1.2.5
	3a. Grobkörnige Schüttung und Bohrpfahlwand	Setzung: 8,4 cm	3.1.4.1
	5. Leichtbaumaterial	Böschung, BS-A: 0,92	3.1.3.1
		Gleiten, BS-A: 0,62	3.1.3.2
		Böschung, BS-P: 0,97	3.1.3.3
		Gleiten, BS-P: 0,78	3.1.3.4
		Böschung, BS-E: 0,89	3.1.3.5
		Gleiten, BS-E: 0,70	3.1.3.6
		Setzung: 0,6 cm	3.1.3.7

**Tabelle 3.6.1-2:** Ergebnisse der Standsicherheits- und Setzungsnachweise für die kombinierte Damm- und Einschnittsböschung im Berechnungsschnitt 1 bei km 2+480

Die Untersuchungen zeigen, dass die Standsicherheit für die ungesicherte Böschung aufgrund eines durch die Gesamtböschung verlaufenden Gleitkreises nicht nachgewiesen werden kann. Auch



im Falle einer Stabilisierung des Dammmaterials durch eine Bindemittelstabilisierung bis zu einer Kohäsion von  $c'_{\text{Dammschüttmaterial}} = 150 \text{ kN/m}^2$  (s. Tabelle 3.1.2) ist die Standsicherheit nicht gegeben. Ein Geländebruch kann zwar so unterbunden werden, was in der Form auch bei stabilisiertem grobkörnigen Material oder bei Stabilisierung durch Geogitter erreicht werden kann. Aufgrund der Auflast aus der Dammschüttung versagt jedoch die Dammaufstandsfläche durch einen Grundbruch der Dammschulter. Da gegenüber der in Kapitel 3.4 beschriebenen Variante 2 hier nur die Kohäsion durch einen höheren Bindemittelgehalt erhöht wird, wird diese als Variante 2a bezeichnet.

Dieser Versagensmechanismus kann letztlich nur durch ein deutlich unter die Einschnittssohle tiefreichendes Sicherungsbauwerk unterbunden werden, das die Gleitfläche eines möglichen Grundbruchkörpers kreuzt. Die Einbindetiefe des Sicherungsbauwerks ist im Zuge der weiteren Planungen zu bestimmen. Daher wird hier die Sicherung durch eine Bohrpfahlwand erforderlich. Unter Berücksichtigung einer Bohrpfahlwand am Böschungsfuß werden die Standsicherheitsnachweise erbracht. Ein Grundbruch wird hier unter Annahme, dass die Bohrpfahlwand die Ausbildung eines Grundbruchkörpers verhindert, nicht weiter untersucht. Gegenüber der Schüttung des Dammkörpers aus bindemittelstabilisiertem Material wird eine Betrachtung mit zusätzlicher Bohrpfahlwand als Variante 2b bezeichnet. Erfolgt die Schüttung aus grobkörnigem Dammmaterial, wird dies der Variante 3a zugeordnet. Für eine Stabilisierung der Dammaufstandsfläche und der Einschnittsböschung durch eine Rüttelstopfverdichtung der Variante 2c können Standsicherheitsnachweise nicht geführt werden.

Für die Sicherung durch eine Bohrpfahlwand wird von einem Abstand der Bohrpfähle von 1,80 m ausgegangen. Es ergibt sich ein vertikaler Abstand der zwei erforderlichen Ankerlagen von 2,50 m bei einem Horizontalabstand von 1,80 m. Bei der Bemessung der Bohrpfahlwand werden zusätzliche Tragfähigkeitsreserven zur Berücksichtigung teilweise höherer Beanspruchungen der Anker im Bauzustand berücksichtigt.

Eine Stützung der Böschung durch eine Bohrpfahlwand darf im Bemessungsschnitt 1 entfallen, wenn der Dammkörper aus Leichtbaumaterial geschüttet wird, da der den Damm unterlagernde Baugrund die leichte Dammschüttung trägt. Ein Gelände-, Gleit- und Grundbruchnachweis wird für alle Bemessungssituationen erbracht. Für den Einsatz von grobkörnigem Schüttmaterial oder Leichtbaumaterial wird eine Grasdeckschicht erforderlich, deren Wirkung erst nach einer Vegetationsperiode als voll wirksam angesehen werden kann. Entlang der Dammaufstandsfläche wird für



alle Varianten ein 1,6 m mächtiger, grobkörniger Bodenaustausch aus einem gut verdichtbaren, rolligen Boden (Bodengruppen GW, GI, SW, SI nach DIN 18 196) zur Lastverteilung und Entwässerung der Dammaufstandsfläche empfohlen. Dies gilt auch bei einer Dammschüttung aus grobkörnigem Schüttmaterial.

Bei einem Eigengewicht der grobkörnigen Schüttung mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$  führt dies zur größten Setzung von 8,4 cm. Für alle anderen Nachweise ergeben sich aufgrund des vergleichbaren Schüttgewichts jedoch vergleichbarer Scherfestigkeit wie für das bindemittelstabilisierte Material vergleichbare Berechnungsergebnisse wie für die Betrachtungen der Varianten 2. 2a und 2b. Daher wurden hier Standsicherheitsnachweise nicht zusätzlich geführt.

Der Einsatz von Glasschaumschotter als Leichtbaumaterial für die Dammschüttung führt demgegenüber zu einer drastischen Setzungsreduzierung auf 0,6 cm. Dieser ist nur im Falle einer ausschließlichen Schüttung aus Glasschaumschotter zu erzielen. Bei abwechselnder Schüttung durch mineralischen Boden werden Zwischenwerte der Setzungen zwischen den Varianten 3 und 5 erreicht. Bei einer Schüttung des Damms aus bindemittelstabilisierten Aushubmaterial werden Setzungen zu 7,6 cm prognostiziert.

Eine Betrachtung im Erdbebenlastfall BS-E wird hier nur für die Variante der Schüttung des Damms aus Leichtbaumaterial ohne zusätzliche Sicherung durch eine Bohrpfahlwand geführt. Einerseits hat sich in Vorbetrachtungen gezeigt, dass eine Böschungssicherung in der Bemessungssituation BS-E nur dann kritisch wird, wenn flach verlaufende Gleitfugen unter Gleitschollen maßgebend werden. Andererseits führt eine tiefreichende Bohrpfahlwand dazu, dass Gleitflächen um die Bohrpfahlwand herum ebenfalls tief verlaufen, was ein Versagen auf flach und oberflächennahen Gleitflächen unterbindet.

Der Bauzustand der Sicherungsvarianten wurde hier im Detail nicht weiter untersucht. Im Zuge der weiteren Planung ist auch der Bauzustand in der Bemessungssituation BS-T bezüglich der Herstellung ohne Berücksichtigung einer Grasdeckschicht zu untersuchen, da aufgrund der geringen Durchlässigkeit in der Dammaufstandsfläche Porenwasserüberdrücke auftreten können, die eine undränierete Betrachtung der Dammstandssicherheit erforderlich machen. Da der Nachweis im undräniierten Zustand abhängig von der Herstelldauer der Dammschüttung und von der Konsolidationszeit des Baugrunds ist, ist dieser Nachweis im Zuge weiterer Planungen zu führen, wenn ein



Bauablauf bekannt ist. Gegebenenfalls sind Maßnahmen zur Beschleunigung der Konsolidation zu treffen.

### 3.6.2 Berechnungsschnitt 2 – km 2+430

Für die untersuchten Sicherungsvarianten werden in der folgenden Tabelle 3.6.2-1 die berechneten Geometrien dargestellt. Der Berechnungsschnitt 2 hat gegenüber dem Berechnungsschnitt 1 eine geringere Höhe, aufgrund der großen Neigung des Urgeländes in der Aufstandsfläche wird eine Überprüfung des Böschungsbruchs sowie des Abgleitens und des Grundbruchs von Dammteilen erforderlich. Der Berechnungsschnitt 2 besitzt eine Gesamthöhe von ca. 18,7 m. Die Einschnittshöhe ist hier gegenüber dem Berechnungsschnitt 1 erhöht, weswegen hier die Bohrpfahlwand einen größeren Geländesprung abstützen muss als für den Berechnungsschnitt 1. Das Urgelände besitzt eine Querneigung von ca. 9° - 15°.

Berechnungsschnitt / Querprofil [km]	Dammböschungshöhe	Dammbreite	Neigung der Dammschultern	Einschnittshöhe	Breite der ungesicherten Einschnittsböschung	Gesamtböschungshöhe	Breite der Gesamtböschung
2 / 2+430	10,6 m	33,3 m	34° (1 : 1,5)	8,1 m	16,0 m	18,7 m	32,8 m

**Tabelle 3.6.2-1:** Angesetzte Geländegeometrie im Berechnungsschnitt 2 (vgl. Anlage 3.2.1.1)

Aufgrund der geringeren Dammhöhe gegenüber dem Berechnungsschnitt 1 werden keine Setzungsbetrachtungen erforderlich. Berechnungen im Lastfall Erdbeben BS-E werden nicht maßgebend und daher hier nicht weiter untersucht. Bei einer Betrachtung der Varianten 2a, 3a und 5 ergeben sich keine Verschlechterungen in den Ausnutzungsgraden gegenüber der Tabelle 3.6.1-2, weshalb hierfür keine weiteren Berechnungen durchgeführt wurden. Für die Varianten 1, 4 und 6 gelten die Ausführungen des Kapitels 3.6.1. In den Tabellen 3.6.2-2 sind im Folgenden die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen zusammengestellt.



Berechnungs- schnitt / Querprofil [km]	Variante	Ausnutzung [μ]	Anlage Nr.
2 / 2+430	2. Bindemittelstabilisierung	Böschung, BS-A: 1,67 (nicht ausreichend standsicher)	3.2.1.1
		Grundbruch, BS-A: 2,08 (nicht ausreichend standsicher)	3.2.1.2
		Böschung, BS-P: 1,10 (nicht ausreichend standsicher)	3.2.1.3
	2b. Bindemittelstabilisierung und Bohrpfahlwand	Böschung, BS-A: 0,99	3.2.2.1
		Böschung, BS-P: 0,90	3.2.2.3

**Tabelle 3.6.2-2:** Ergebnisse der Standsicherheits- und Setzungsnachweise für die kombinierte Damm- und Einschnittsböschung im Berechnungsschnitt 2 bei km 2+430

Auch im Berechnungsschnitt 2 kann die Standsicherheit für die ungesicherte Böschung nicht nachgewiesen werden. Daher wird hier die Sicherung durch eine Bohrpfahlwand erforderlich. Unter Berücksichtigung einer Bohrpfahlwand am Böschungsfuß können die Standsicherheitsnachweise geführt werden. Zusätzlich ist zur Verhinderung oberhalb der Bohrpfahlwand verlaufender Gleitkreise die Bindemittelstabilisierung des Damms so einzustellen, dass eine Kohäsion von  $c' = 25 \text{ kN/m}^2$  gewährleistet wird. Ein Grundbruch wird hier unter Annahme, dass die Bohrpfahlwand die Ausbildung eines Grundbruchkörpers verhindert, nicht weiter untersucht. Für eine Stabilisierung der Dammaufstandsfläche und der Einschnittsböschung durch eine Rüttelstopfverdichtung der Variante 2c können Standsicherheitsnachweise nicht geführt werden.

Ein Sicherungsbauwerk wird auch dann erforderlich, wenn der Damm aus Leichtbaumaterial geschüttet wird, da sich Gleitflächen auch ohne Auflast aus dem Damm in der tieferen Dammböschung ausbilden. Aus den Erfahrungen der Standsicherheitsberechnungen für die Einschnitte kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Böschungshöhe im Hanglehm von über 5 m und einer Böschungsneigung von maximal 1 : 2 eine Böschungssicherung erforderlich wird, sofern Zusatzbelastungen weit genug von der Böschungskante entfernt befinden und große Hanglehmmächtigkeiten vorliegen.

Wie für den Berechnungsschnitt 1 ergibt sich ein Abstand für die Bohrpfähle und Anker in Horizontalrichtung von 1,80 m. Der Vertikalabstand der zwei erforderlichen Ankerlagen ergibt sich zu 2,50 m bei einem Horizontalabstand von 1,80 m.



Entlang der Dammaufstandsfläche wird für alle Varianten ein 90 cm mächtiger, grobkörniger Bodenaustausch aus einem gut verdichtbaren, rolligen Boden (Bodengruppen GW, GI, SW, SI nach DIN 18 196) zur Lastverteilung und Entwässerung der Dammaufstandsfläche empfohlen. Dies gilt auch bei einer Dammschüttung aus grobkörnigem Schüttmaterial. Der Bauzustand der Sicherungsvarianten wurde hier im Detail nicht weiter untersucht. Im Zuge der weiteren Planung ist auch im Berechnungsschnitt 2 der Bauzustand in der Bemessungssituation BS-T bezüglich der Herstellung zu untersuchen.

### 3.6.3 Berechnungsschnitt 3 – km 2+860

Die Berechnung wird für die Dammböschung östlich des Meßstetter Talviadukts geführt. Im Bereich des Berechnungsschnitts 3 besitzt der Damm eine maximale Höhe von ca. 11,0 m über GOK. Das Urgelände besitzt eine Querneigung von ca. 5° - 6°. Die Dammkrone weitet sich in aufsteigender Kilometrierung von der Brücke kommend von ca. 11,6 m auf ca. 13,0 m auf.

Es erfolgt hier lediglich eine Abschätzung der Setzungen, da in diesem Bereich der kompressible Hanglehm (Schicht 2b) in größerer Mächtigkeit als westlich des Meßstetter Talviadukts ansteht. Da es sich um eine Betrachtung des Gebrauchszustands handelt, wird eine Untersuchung des Lastfalls Erdbeben BS-E oder BS-A hinfällig. Für die Varianten 1, 4 und 6 wird keine Setzungsabschätzung durchgeführt, da hierfür die anderen Varianten Gültigkeit besitzen.

Berechnungsschnitt / Querprofil [km]	Maximale Dammhöhe	Dammbreite	Neigung der Dammschultern
3 / 2+860	11,0 m	46,8 m	34° (1 : 1,5)

**Tabelle 3.6.1-1:** Angesetzte Dammgeometrie der untersuchten Sicherungsvarianten im Berechnungsschnitt 3 (vgl. Anlage 3.3.1.1)



Berechnungs- schnitt / Querprofil [km]	Sicherungsvariante	Setzung [cm]	Anlage Nr.
3 / 2+860	2. 2a. + 2b. Bindemittelstabilisierung	5,7 cm	3.3.1.1
	3. + 3a. Grobkörnige Schüttung	7,1 cm	3.3.2.1
	5. Leichtbaumaterial	0,5 cm	3.3.3.1

**Tabelle 3.6.3-2:** Ergebnisse der Setzungsabschätzung für den Damm im Berechnungsschnitt 3 bei km 2+860

Setzungsabschätzungen für den Berechnungsschnitt 3 führen zu geringeren Setzungen als im Berechnungsschnitt 1. Das größte Eigengewicht der grobkörnigen Schüttung mit einer Feuchtwichte von  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$  führt zur größten Setzung von 7,1 cm. Der Einsatz von Glasschaumschotter als Leichtbaumaterial für die Dammschüttung führt demgegenüber zu einer drastischen Setzungsreduzierung auf 0,5 cm. Dieser ist nur im Falle einer ausschließlichen Schüttung aus Glasschaumschotter zu erzielen. Bei abwechselnder Schüttung durch mineralischen Boden werden Zwischenwerte der Setzungen zwischen den Varianten 3 und 5 erreicht.

Im Bereich der Dammaufstandsfläche wird für alle Varianten ein 0,9 m mächtiger, grobkörniger Bodenaustausch aus einem gut verdichtbaren, rolligen Boden (Bodengruppen GW, GI, SW, SI nach DIN 18 196) zur Lastverteilung und Entwässerung der Dammaufstandsfläche empfohlen. Dies gilt auch bei einer Dammschüttung aus grobkörnigem Schüttmaterial. Angegebene Zahlenwerte der Setzungen sind als grobe Anhaltswerte anzusehen. Absolutsetzungen wie auch der zeitliche Verlauf der Setzungen sind durch Beobachtungen zu verifizieren.

#### **3.6.4 Berechnungsschnitt 4 – km 2 + 480 – km 2 + 520, schräg zur Trassenachse in Hangfallrichtung**

Auf Wunsch des LGRB wird eine Betrachtung der Standsicherheit der Dammböschung entlang der Falllinie des Geländes durchgeführt. Aus den vorliegenden Querprofilen und Höhenlinien im Lageplan wurde eine Böschungsgeometrie in einer zur Trassenachse um 45° gedrehte Schnittlinie betrachtet, die vom Kopf der Widerlagerschüttung durch den um das Widerlager herum geführten



Dammfuß verläuft. Eine eventuelle Stützung durch Flügelwände oder Gründungspfähle des Widerlagers bleibt unberücksichtigt. Ebenso wird vernachlässigt, dass sich im Kegelbereich der Widerlagerschüttung ein räumliches Tragverhalten der Dammschüttung ausbildet, das gegenüber einer ebenen Betrachtung Reserven birgt.

Nachfolgend werden in der folgenden Tabelle 3.6.4-1 die berechneten Geometrien dargestellt. Der Berechnungsschnitt 4 stellt den Dammbereich mit der größten Höhe dar. Dieser besitzt eine maximale Höhe von ca. 18,8 m. Das Urgelände besitzt eine Neigung von ca. 9°.

Berechnungs-schnitt / Querprofil [km]	Maximale Dammhöhe	Dammbreite	Neigung der Dammschultern
2+480 – 2+520, schräg	18,8 m	61 m	34° (1 : 1,5)

**Tabelle 3.6.1-1:** Angesetzte Dammgeometrie der untersuchten Sicherungsvarianten im Berechnungsschnitt 4 (vgl. Anlage 3.4.1.1)

Da Betrachtungen der Varianten 1, 2a, 3a, 4, 5 und 6 entweder zu keinem standsicheren Zustand führen oder keine wesentlich höheren Ausnutzungen liefern, werden diese hier nicht weiter betrachtet. In der Tabelle 3.6.4-2 sind die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen zusammengestellt.

Berechnungs-schnitt / Querprofil [km]	Variante	Ausnutzung [μ]	Anlage Nr.
4 / 2+480 – 2+520, schräg	2. Bindemittelstabilisierung	Böschung, BS-A: 1,12 (nicht ausreichend standsicher)	3.4.1.1
		Böschung, BS-P: 0,99	3.4.1.2
		Böschung, BS-E: 0,94	3.4.1.3
	2b. Bindemittelstabilisierung und Bohrpfehlwand	Böschung, BS-A: 0,98	3.4.2.1
	2c. Bindemittelstabilisierung und Rüttelstopfverdichtung	Böschung, BS-A: 0,96	3.4.3.1
		Grundbruch: BS-A: 0,94	3.4.3.2

**Tabelle 3.6.14-2:** Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise für die Dammböschung im Berechnungsschnitt 4 bei km 2+480 – 2+520, schräg



Die Standsicherheit kann für die ungesicherte Böschung in der Bemessungssituation BS-A nicht nachgewiesen werden. Es wird eine Stützung des Böschungsfußes durch eine Bohrpfahlwand erforderlich, die ohne Rückverankerungen auskommt.

Zur Bestimmung der Länge der Rüttelstopfsäulen kann der Berechnungsschnitt (Anlage 3.4.3.1) herangezogen werden. Eine Einbindung von mindestens 1 m in die Schichten des stark verwitterten bis frischen Tonmergelsteins (Schichten 5b oder 5c) ist empfehlenswert. Daraus folgt eine Länge der Säulen von etwa 11,0 m. Eine Stabilisierung sollte hierbei mindestens von der Dammmitte bis ca. 20 m über den talseitigen Dammfuß hinaus erfolgen. Als Füllmaterial wird im Regelfall enggestufter (gebrochener) Kies verwendet. Der Durchmesser einer solchen Schotter säule hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: der Konsistenz des anstehenden Untergrunds und der aufgewendeten Energie der Rüttelarbeiten.

Im vorliegenden Fall ist von einem Durchmesser der Säulen zwischen 0,6 m und 0,8 m auszugehen. Die durch die Rüttelstopfsäulen erzielte Baugrundverbesserung führt zu einer Verbesserung der Steifigkeit und der Scherfestigkeit des Baugrunds. Bei einem Rastermaß von z.B.  $a = 1,4 \text{ m}$  führen Säulen mit einem Durchmesser von 0,7 m nach einem vereinfachten Bemessungsverfahren von Priebe (1995) zu einer Steifigkeitsverbesserung, d.h. zu einer Erhöhung des Steifemoduls um den Faktor ca. 1,8. Durch die Verfüllung mit Schotter führen die Säulen zur zusätzlichen Drainierung des Baugrunds und zu einer beschleunigten Konsolidierung. Die Bemessung der Rüttelstopfverdichtung ist in Abhängigkeit der zu erwartenden dynamischen Belastungen durch den Straßenverkehr in weiteren Planungsphasen vorzunehmen.

### **3.6.5 Fazit der Standsicherheitsuntersuchungen in den Berechnungsschnitten 1 bis 4**

Durch den Ansatz der ungünstigen Baugrundkennwerte führt eine Dammschüttung der Dammbauvarianten 1 bis 4 und 6 aufgrund des großen vorhandenen Eigengewichts zu einem Versagen der Dammaufstandsfläche. Zusätzlich führt die am Fuß der Dammschüttung verlaufende Einschnittsböschung für die Zufahrt zur B 463 zu einer größeren Gesamtböschungshöhe, was auch ein Versagen der Böschung nach sich zieht. Eine Stabilisierung des Dammkörpers ist hier nur bedingt hilfreich.



Stattdessen wird zur Verhinderung eines Grundbruchs der Dammschulter eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit einer Ausfachung aus Spritzbeton am Fuß der Einschnittsböschung bzw. am Dammfuß erforderlich. Diese kann voraussichtlich mit einem Abstand der Bohrpfähle von 1,80 m sowie mit zwei Ankerlagen durch die Bohrpfähle mit einem Vertikalabstand von 2,50 m und einem Horizontalabstand von 1,80 m ausgeführt werden. Eine Bohrpfahlwand wird voraussichtlich von km 2+400 – km 2+520 erforderlich, weil hier von einem destabilisierenden Einfluss der Einschnittsböschung auszugehen ist. Ebenfalls stellt eine Bohrpfahlwand eine Sicherungsmöglichkeit am Fuß des Kegels der Widerlagerschüttung West zum Tal hin und für die Widerlager- und Dammschüttung Ost auch ohne Rückverankerung dar.

Im Übergangsbereich von der Einschnittsböschung zu einer alleinigen Stützung des Dammfußes am Schüttkegel des Widerlagers West ist die Bohrpfahlwand vom Fuß der Einschnittsböschung schräg die Einschnittsböschung hoch zum Dammfuß zu führen. Die genaue Geometrie ist im Zuge der weiteren Planung zu bestimmen. Im Bereich des Berechnungsschnitts 2 wird eine zusätzliche Stabilisierung des Dammschüttmaterials erforderlich. Eine genaue Festlegung, in welchen Bereichen eine Bohrpfahlwand zur Sicherung der Zufahrt zur B 463 erfolgt, ist in weiteren Planungsphasen zu erarbeiten.

Sofern keine Einschnittsböschung unterhalb des Dammfußes zu erstellen ist, besteht alternativ zu einer Bohrpfahlwand die Möglichkeit, die Dammaufstandsfläche und den talseitigen Baugrund durch eine Rüttelstopfverdichtung zu stabilisieren. Es kann hierbei etwa von einem Abstand der Rüttelstopfsäulen gleich dem doppelten Pfahldurchmesser ausgegangen werden. Neben der Erhöhung der Scherfestigkeit wird hierbei auch die Steifigkeit des Baugrunds verbessert, dadurch Setzungen reduziert sowie Konsolidationszeiten beschleunigt. Eine Rüttelstopfverdichtung stellt eine Möglichkeit zur Stabilisierung und Steifigkeitserhöhung des Baugrunds abseits der Einschnittsböschung zur Zufahrt zur B 463, also für den Schüttkegel des Widerlagers West sowie für die Widerlager- und Dammschüttung Ost dar.

Im Falle einer Dammschüttung aus Leichtbaumaterial (Variante 5) kann auf eine zusätzliche Stützung des Damms verzichtet werden, sofern die tiefere Einschnittsböschung bei einer Böschungsnegung von 1 : 2 eine Höhe von ca. 5 m nicht überschreitet.

In Anlehnung an die Ergebnisse für den Berechnungsschnitt 1 in Tabelle 3.6.1-2 kann festgestellt werden, dass die Berechnungen in den Bemessungssituationen BS-P und BS-E geringere Ausnut-



zungen liefern, weshalb die Untersuchungen in der Bemessungssituation BS-A maßgebend werden. Durchgeführte Setzungsabschätzungen beschreiben die Gebrauchstauglichkeit und sind daher keiner Bemessungssituation zuzuordnen.

Mit den vorgestellten Varianten 2, 3 und 5 und unter Einschränkung mit den Varianten 4 und 6 kann die Standsicherheit der Dämme im Anschlussbereich an die Widerlager des Meßstetter Talviadukts langfristig sichergestellt werden und die Sicherheit für den Straßenverkehr und die Dammschultern gewährleistet werden. Mit Bezug auf die Ausführungen in Kapitel 3.4 sind die einzelnen Varianten unter Berücksichtigung der örtlichen Faktoren in einer Planung detailliert zu betrachten und bezüglich der Kosten zu bewerten. Auch eine Kombination aus den verschiedenen Varianten in den unterschiedlichen Abschnitten ist denkbar.

In den Berechnungen für alle Sicherungsvarianten wird davon ausgegangen, dass die Dammaufstandsfläche durch den Einsatz eines Bodenaustauschs je nach Dammhöhe zwischen 30 cm und 1,60 m stabilisiert und wasserdurchlässig ausgebildet wird, sodass kein Wasseraufstau im Dammkörper erfolgt.

### **3.7 Bauzustand**

In den vorliegenden Untersuchungen wurde der Bauzustand bisher nicht berücksichtigt. Im Zuge der weiteren Planung ist auch der Bauzustand in der Bemessungssituation BS-T bezüglich der Herstellung zu untersuchen, da aufgrund der geringen Durchlässigkeit in der Dammaufstandsfläche Porenwasserüberdrücke auftreten können, die für undrainede Verhältnisse in der Dammaufstandsfläche sorgen können, die eine separate Betrachtung der Dammstandsicherheit erforderlich machen. Wir gehen davon aus, dass Standsicherheitsnachweise in den Bauzuständen erbracht werden können.

Zusätzlich ist die im Endzustand berücksichtigte 20 cm dicke Grasdeckschicht über dem Dammkörper im Bauzustand nicht anzusetzen.



### 3.8 Weitere mögliche Sicherungsvarianten für die Einschnittsböschungen

In Bereichen, in denen die Einschnittsböschungen alleine nicht standsicher sind, erscheinen weitere Varianten ggfs. sinnvoller. Gegebenenfalls ist auch eine Kombination von mehreren Varianten als Sicherungslösung für die verschiedenen standsicherheitsgefährdeten Bereiche möglich.

1. **Stützscheiben:** Als eine weitere Sicherungsvariante wird das Ausführen von Stützscheiben zur Stabilisierung der Böschungen mit geringerer Höhe gesehen. Hierbei werden, ähnlich den Sickerstützscheiben, in regelmäßigen Abständen von ca. 5 – 10 m schlitzweise Bereiche der Böschung ausgehoben und mit Beton verfüllt bzw. mit tragfähigem Boden vermischt. Durch den Einsatz von tragfähigem Material erhöht sich die Tragfähigkeit der Böschung und damit die Standsicherheit.
2. **Vernagelung der Böschung mit Frontausbildung durch Übernetzung:** Gut vorstellbar ist, eine steilere Ausführung der Böschungen durch eine Vernagelung mit Frontausbildung mittels einer Übernetzung durch hochfestes Stahldrahtgeflecht in Verbindung mit Erosionsschutzmatten vorzusehen. Der Platzbedarf der Sicherung kann hierdurch weiter herabgesetzt werden. Ebenfalls bestehen bei einer Frontausbildung durch eine Übernetzung Vorteile hinsichtlich des Natur- und Artenschutzes und einer Einbindung ins Landschaftsbild. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass Übernetzungen in Deutschland keine bauaufsichtliche Zulassung besitzen, jedoch im Straßenbereich wie auch im Bahnbereich durch die hier vorliegende EBA-Zulassung breite Anwendung finden.
3. **Rückverankerte Spritzbetonschale:** Die Ausführung einer rückverankerten Spritzbetonschale über die vollständige Böschungshöhe kann sowohl für den Bauzustand als auch für den Endzustand erfolgen. Nachweise für den Bauzustand zeigen, dass eine Sicherung nur durch vorgespannte Verpressanker mit Begrenzung der Krafteintragungslänge erfolgen kann. Dies gilt entsprechend für den Endzustand. Hier ist zur Erreichung einer optisch ansprechenden Ansicht eine Vorsatzschale aus Stahlbeton, Mauerwerk oder Gabionenkörben möglich.
4. **Lisenenwand:** Bei der Lisenenwand handelt es sich um eine Sicherung durch vertikale Ankerbalken, die horizontal durch vorgespannte Verpressanker abgestützt und am Fuß auf Einzelfundamenten aufgelagert werden. Die Ausfachung zwischen den Ankerbalken erfolgt



durch bepflanzbare Raumgitterkörbe. Es wird davon ausgegangen, dass die Raumgitterkörbe ihre Vertikallast an die vertikalen Ankerbalken abgeben. Eine Abtragung des horizontalen Erddrucks an die Ankerbalken erfolgt je nach Standfestigkeit der abgestützten Front über Biegung und gelenkige Auflagerung der Raumgitterkörbe an die Ankerbalken bzw. direkt über Gewölbetragswirkung im Gebirge an die Ankerbalken.

5. **Schwergewichtsmauer:** Die Sicherung durch eine Schwergewichtsmauer erfolgt in der Regel ohne den Einsatz zusätzlicher Rückverankerungen. Da Horizontalbelastungen aus Erddruck aber nur durch das Eigengewicht der Konstruktion und durch eine Einbindung in den Baugrund vor der Mauer abgetragen werden können, werden große Dimensionen der Stützung erforderlich.

### 3.9 Entwässerungsmaßnahmen für die Einschnittsböschungen

Es ist sicherzustellen, dass sich gegenüber dem in der Berechnung angesetzten Wasserstand kein ungünstigerer, d.h. höherer Grundwasserspiegel einstellt. In Ergänzung hierzu werden Grundwassermessstellen empfohlen, mit denen die Grundwasserstände im Zuge der weiteren Planung baubegleitend und dauerhaft überwacht werden. Für die dauerhafte Sicherstellung einer geordneten Entwässerung werden nachstehend beschriebene Sickerschlitze im Lockergestein empfohlen.

Bei einer Sicherung durch eine aufgelösten Bohrpfehlwand ist die erdberührende Fläche z.B. durch Drainagematten wasserdurchlässig auszubilden und das Bauwerk durch Entwässerungsöffnungen über dem Straßengraben zu entwässern. Im Fall einer vernagelten Übernetzung ist die Frontausbildung durchlässig, daher kann hierbei darauf verzichtet werden.

Aus den vorwiegend bindigen Böden sowie den verwitterten und angewitterten Felsbereichen ist von einem eher geringen Wasserandrang auszugehen. Mit anfallendem Schichtwasser oder Oberflächenwasser ist zu rechnen. Das anfallende Wasser kann über die Streckenentwässerung gefasst werden und ist vor Einleitung in den Vorfluter vorzuklären.

**Sickerstützscheiben / Sickerschlitze:** Zur weiteren Stabilisierung der Sicherungsmaßnahmen besteht die Möglichkeit, Sickerstützscheiben bzw. Sickerschlitze in regelmäßigen Abständen von ca. 5 – 10 m schlitzweise in Böschungsbereichen auszuheben und mit durchlässigem Kiesmaterial



filterstabil zu verfüllen. Dies empfiehlt sich generell zur Ausbildung der Kopfböschung mit einer Böschungsneigung von 1 : 2. Es ist dann nach Niederschlägen mit einem höheren Wasserandrang zu rechnen.

Wird im Falle von Sickerstützscheiben grobkörniges Material mit definierter Scherfestigkeit oder Einkornbeton in geringeren Abständen eingebaut und verdichtet, kann neben der Drainagefunktion von einer Stützung der Böschung ausgegangen werden, die rechnerisch in Ansatz gebracht werden kann.

#### **4. ZUSAMMENFASSUNG**

##### **4.1 Sicherung der Dammschüttung und Einschnittsböschung Widerlager West**

Die Standsicherheitsuntersuchungen der Dammschnitte im Bereich der Widerlagerhinterfüllungen und der Anschlussstelle zwischen km 2+350 – 2+500 haben ergeben, dass bei einer Dammschüttung mit dem Aushubmaterial aus den Einschnitten ohne weitergehende Bodenverbesserung unter einer Neigung von 1 : 1,5 die Standsicherheit nicht gegeben ist.

Da das unverbesserte Aushubmaterial schlecht verdichtungsfähig und frostempfindlich ist und bei Wasserzutritt zu Entfestigung neigt, sollten alternative Schüttmaterialien gewählt oder eine gezielte Bindemittelstabilisierung des Aushubmaterials betrachtet werden. Eine Abflachung der Dammschultern als auch eine Stützung der Dammschultern durch Geogitter führt zwar zu einer Stabilisierung des Damms, besitzt jedoch den Nachteil dass sich der Dammkörper aus den o.g. Gründen nachträglich unkontrolliert setzt.

Die Varianten sind unter Berücksichtigung der örtlichen Faktoren im Detail zu betrachten und bezüglich der Kosten zu bewerten. Eine kombinierte Ausführung verschiedener Varianten, z.B. einer Wechsellagerung aus Glasschaumschotter zur Gewichtsreduzierung mit einer grobkörnigen Schüttung erscheint praktikabel. Im Zuge der weiteren Planung ist hierbei auch der Bauzustand bezüglich der Herstellung zu untersuchen.



Ausgehend von den vorlaufend beschriebenen Untersuchungen und zugehörigen Ergebnissen erscheint eine Bindemittelstabilisierung des Dammbaumaterials auch vor dem Hintergrund der Wiederverwendung des Aushubmaterials wirtschaftlich und praktikabel, insbesondere wenn eine ausreichende Liegezeit für die Dammschüttung vor dem Straßenbau zur Verfügung steht. Für Abschätzungen zur Liegezeit werden Konsolidationsberechnungen für den Baugrund in der Dammaufstandsfläche erforderlich, für deren Durchführung wir gerne zur Verfügung stehen.

Prognosen zur Konsolidationszeit des Bodens ohne Berechnung sind aufgrund der durchgängig auch in größeren Tiefen anstehenden, gering durchlässigen Böden mit Unsicherheiten behaftet, auch hinsichtlich der Angabe eines Zeitraums von Jahren. Gegebenenfalls kann auf Erfahrungswerte der Zeitsetzung von vergleichbaren Bauvorhaben in der Umgebung zurückgegriffen werden. Alternativ können auch Probeschüttungen hergestellt werden, deren Setzungsverhalten mit Hilfe von Horizontalinklinometern überwacht wird. Eine Beschleunigung der Konsolidationssetzung durch Tiefendrains und Rüttelstopfsäulen ist möglich.

Der Einfluss der Setzungen der Dammaufstandsfläche auf die Zusatzbeanspruchung der Gründungspfähle der Widerlager durch negative Mantelreibung kann erst nach vorliegender Dimensionierung der Pfahlanordnung, der Pfahllängen und der Pfahldurchmesser vorgenommen werden. Für eine entsprechende Betrachtung stehen wir gerne zur Verfügung.

Setzungen in der Dammaufstandsfläche wurden von uns für konventionelles Schüttgut zu bis zu 8,4 cm unter dem hohen Damm abgeschätzt. Für die Gesamtsetzung des Damms ist zusätzlich die Eigensetzung des Dammkörpers zu betrachten, wobei hierfür bei sorgfältiger Verdichtung üblicherweise ein Wert von 1 % der Dammhöhe angesetzt wird.

Eine Stützung der kombinierten Damm- und Einschnittsböschungen mit konventioneller Schüttung kann nur durch eine massive, tiefreichende Stützwand erfolgen, da ansonsten ein Grundbruch der Dammschulter auf der geringsten Dammaufstandsfläche erfolgt. Dieser Versagensmechanismus kann letztlich nur durch ein Sicherungsbauwerk unterbunden werden, der die Gleitfläche eines möglichen Grundbruchkörpers kreuzt. Daher wird hier die Sicherung durch eine aufgelöste Bohrpfehlwand erforderlich.

Bei einer Schüttung des Damms aus Leichtbaumaterial kann der den Damm unterlagernde Baugrund die leichte Dammschüttung tragen. Es kann dann jedoch zu einem Versagen der tiefliegen-



den Einschnittsböschung kommen. Aus den Erfahrungen der Standsicherheitsbetrachtungen für die Einschnitte ist dies der Fall, wenn die Einschnittsböschung bei einer Neigung der Böschung von 1 : 2 eine Höhe von 5 m übersteigt.

Im Bereich des Schüttkegels der Widerlagerschüttung West zum Tal hin abseits der Einschnittsböschung kann eine Sicherung des Dammfußes durch eine tiefreichende aufgelöste Bohrpfahlwand oder durch eine Rüttelstopfverdichtung erfolgen.

#### **4.2 Sicherung der Dammschüttung Widerlager Ost**

Im Bereich der Dammschüttung Widerlager Ost zwischen km 2+850 – 2+900 ist die Standsicherheit bei einer Dammschüttung mit dem Aushubmaterial aus den Einschnitten ohne weitergehende Bodenverbesserung unter einer Neigung von 1 : 1,5 ebenfalls nicht gegeben. Zur Stabilisierung der Dammböschung selbst werden hier entsprechende Stabilisierungsmaßnahmen bzw. Alternativen für die Dammschüttung wie für das Widerlager West erforderlich.

Setzungen in der Dammaufstandsfläche wurden von uns für konventionelles Schüttgut zu bis zu 7,1 cm unter dem hohen Damm abgeschätzt, was ungefähr dem Setzungsbetrag der Dammschüttungen westlich des Messstetter Talviadukts entspricht. Für die Gesamtsetzung des Damms ist zusätzlich die Eigensetzung des Dammkörpers zu betrachten, wobei hierfür bei sorgfältiger Verdichtung üblicherweise ein Wert von 1 % der Dammhöhe angesetzt wird.

Zur Sicherung des Baugrunds in und neben der Dammaufstandsfläche werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Diese bestehen einerseits in einer tiefreichenden aufgelösten Bohrpfahlwand oder andererseits in einer flächigen Stabilisierung durch eine Rüttelstopfverdichtung.

#### **4.3 Sonstige Empfehlungen**

Im Bereich der geplanten Dämme ist zwischen dem anstehenden bindigen Boden und dem Bodenaustauschmaterial ein Trennvlies (Geotextil, mindestens Robustheitsklasse 4) anzuordnen, um den Eintrag bindiger Bodenbestandteile in den ausgetauschten Boden zu unterbinden.



Bei steiler als 1 : 5 geneigten Dammaufstandsflächen ist nach ZTVE-Stb 09 eine stufenartige Abstimmung der Aufstandsflächen in Höhen von 0,6 m – 1,0 m vorzusehen und leicht talseitig zu neigen, damit Sickerwasser ungehindert abfließen kann.

Der Boden in der Aufstandsfläche der Dämme muss mindestens steife Konsistenz aufweisen und darf nicht aufgeweicht sein. Aufgeweichte Bereiche sind durch einen Bodenaustausch aus einem gut verdichtbaren rolligen Boden (Bodengruppen GW, GI, SW, SI nach DIN 18 196) nach ZTVE-StB 94/97, Ziffer 8.4.3, zu ersetzen und in einzelnen Lagen mit  $\leq 0,3$  m Dicke zu verdichten. Der Bodenaustausch muss einen seitlichen Überstand mindestens in der Auftragsstärke haben und auf 98 % der einfachen Proctordichte verdichtet werden.

Für die Dammbau- und Einschnittssicherungsmaßnahme ist eine **Objekt- und Tragwerksplanung** erforderlich.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Änderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Folgerungen und Empfehlungen sind im Zuge der weiteren Planung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

(gezeichnet)

Dipl.-Ing. Christian Spang  
(Geschäftsführer)

i.V.

  
Dr.-Ing. Axel Möllmann  
(Projektleiter)

**Verteiler:** - Regierungspräsidium Tübingen, Referat 42 - Steuerung und Baufinanzen, Vertrags- und Verdingungswesen, Herr Matthias Schneck, Konrad-Adenauer-Straße 20, 72072 Tübingen, 5 x, davon 1 x vorab per Mail an  
<matthias.schneck@rpt.bwl.de>  
Dr. Spang GmbH, Esslingen, 1 x



DR. SPANG

Projekt: 38.5387

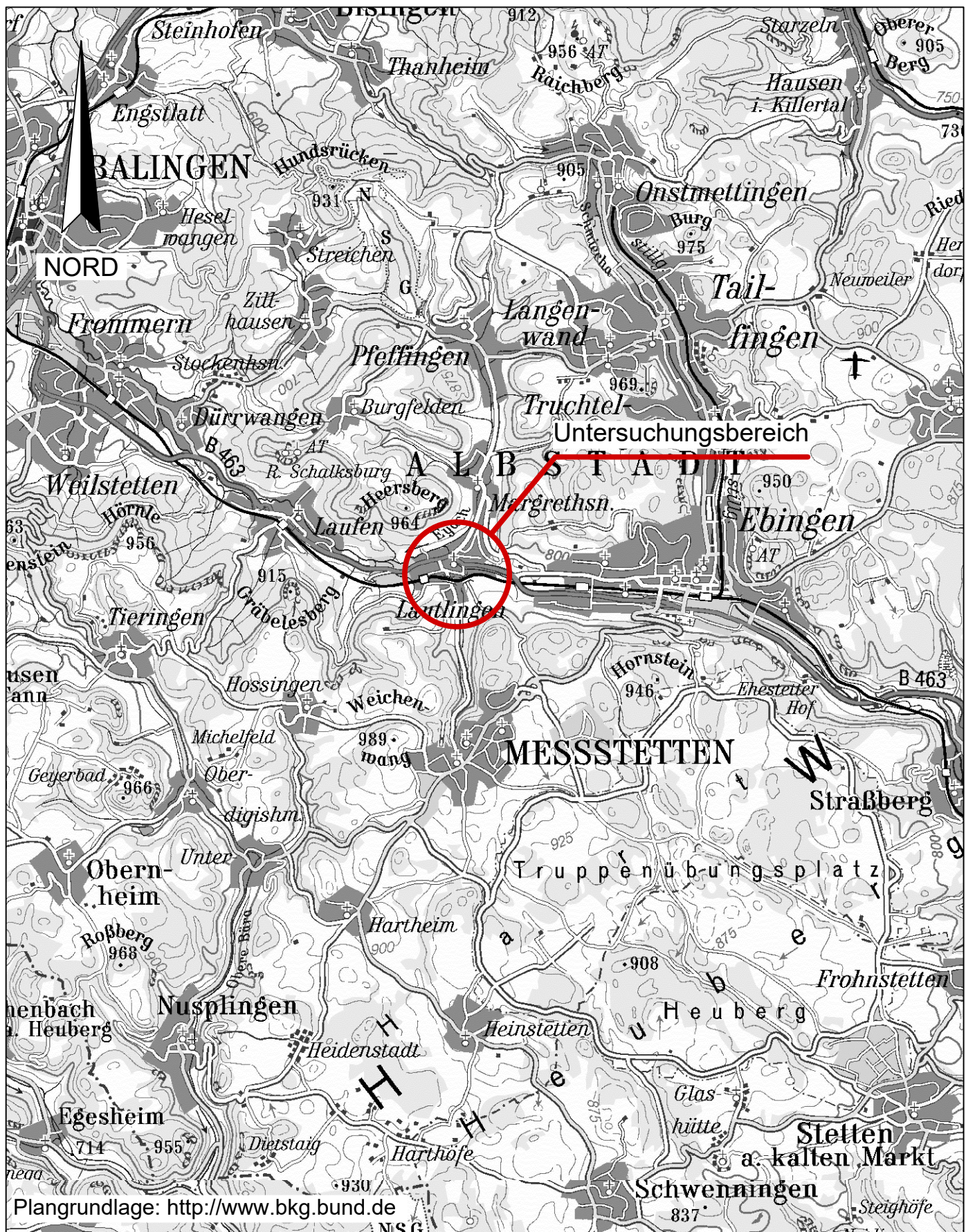
30.01.2018

---

# Anlage 1:    **Übersichtslageplan**

## INHALT

1.0	Titelblatt	(1)
1.1	Übersichtslageplan 1 : 100.000	(1)



DR. SPANG

## Übersichtslageplan

**AUFTRAGGEBER:**  
Regierungspräsidium Tübingen

**PROJEKT:**  
Ortsumfahrung Lautlingen  
Dammschüttungen  
km 2+500 und 2+850

Anlage:	1.1
Projekt Nr.:	38.5387
Plan Nr.:	38.5387/ 1.1
Datum:	26.07.2017
Maßstab:	1:100.000
Gezeichnet:	Car
Geprüft:	Bra



DR. SPANG

Projekt: 38.5387

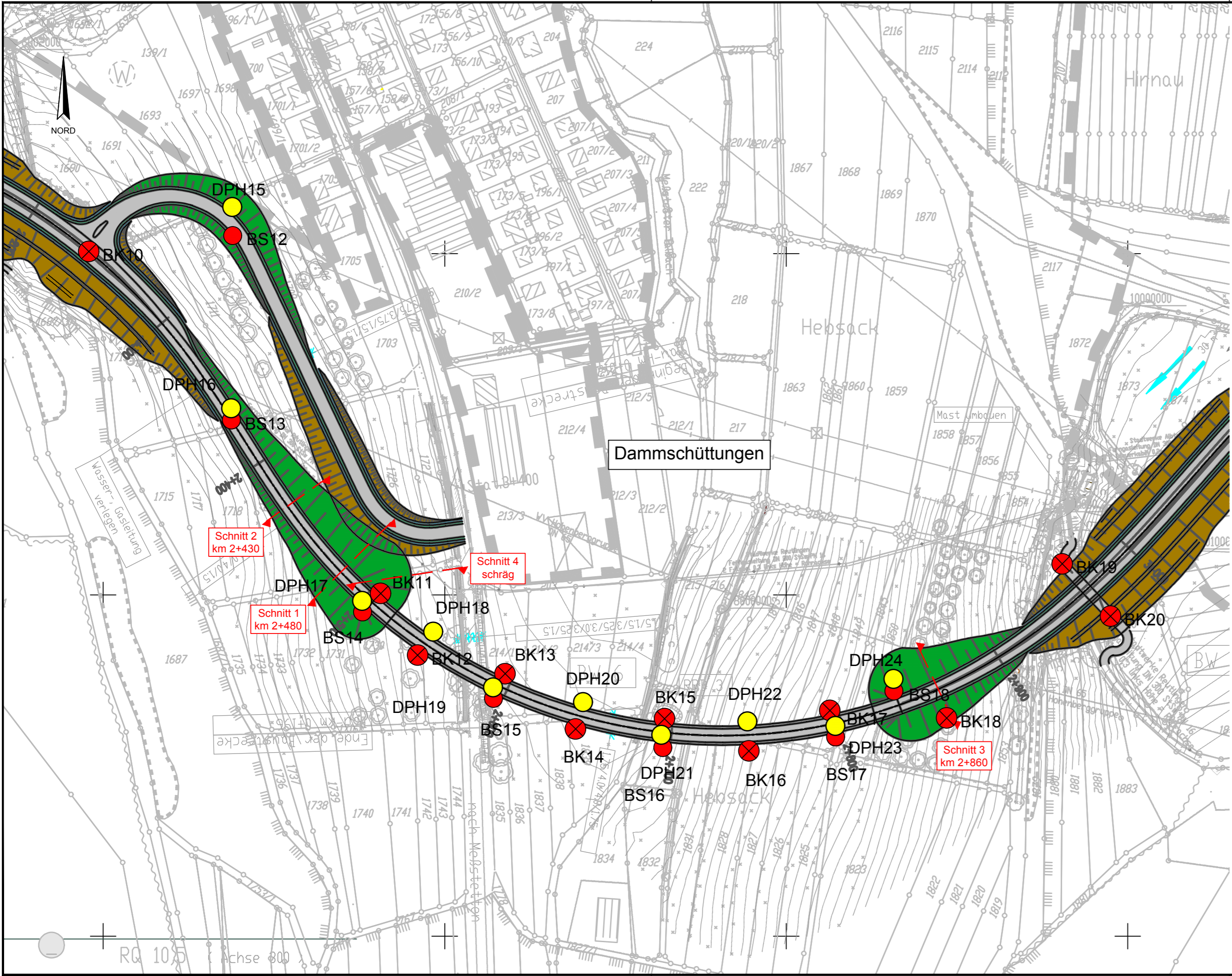
30.01.2018

---

## **Anlage 2: Lageplan**

### INHALT

2.0	Titelblatt	(1)
2.1a	Lageplan 1 : 2.000	(1)



Legende:

- BS 1 Kleinrammbohrung
- BK 1 Kernbohrung
- DPH 1 schwere Rammsondierung

Plangrundlage :  
Katasterplan: Ing.Büro Germey, Stand Mai 2007  
Achse: Regierungspräsidium Tübingen, M 1:25.000, Stand 05.07.2017

Nummer	Änderung bzw. Ergänzung	Name	Datum



DR. SPANG

DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für  
Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstraße 29, 73734 Esslingen/Neckar  
Telefon +49 / (0) 711 / 351 3049 -0 ▪ Fax +49 / (0) 711 / 351 30 49 - 19  
email: esslingen@dr-spang.de ▪ web: <http://www.dr-spang.de>

Regierungspräsidium Tübingen

Ortsumfahrung Lautlingen  
Standortsicherheitsuntersuchung Dammschüttung

Lageplan  
km 2+500 und 2+850

Geotechnische Untersuchung

Gezeichnet:	Car	Entworfen:	Bra
Geprüft:	Mö	Datum:	16.08.2017
Plan-Nr.:	38.5387/2.1	Proj.-Nr.:	38.5387
Maßstab:	1:2.000	Anlage:	2.1



DR. SPANG

Projekt: 38.5387

30.01.2018

---

## **Anlage 3:     Statische Berechnungen**

### INHALT

3.0	Titelblatt und Zusammenstellung A1-A2	(3)
3.1	Schnitt 1 - km 2+480	(19)
3.2	Schnitt 2 - km 2+430	(6)
3.3	Schnitt 3 - km 2+860	(3)
3.4	Schnitt 4 - km 2+480 – 2+520, schräg	(6)



DR. SPANG

Projekt: 38.5387

Seite A1

30.01.2018

<b>Anlage 3</b>		
<b>Statische Berechnungen</b>		
<b>Anlagen-Nr.</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>3.1</b>	<b>Schnitt 1 - km 2+480</b>	
3.1.1	Vorbetrachtung mit Einschnittsböschung	Vorbetrachtung bindemittelstabilisierter Damm mit Einschnittsböschung
3.1.1.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.1.1.2		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-A
3.1.1.3		Geländebruch nach Bishop, BS-P
3.1.1.4		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-P
3.1.1.5		Geländebruch nach Bishop, verbessert, BS-A
3.1.1.6		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, verbessert, BS-A
3.1.2	Bindemittelstabilisierung und Bohrpfahlwand	Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials und Bohrpfahlwand vor Einschnittssohle
3.1.2.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.1.2.2		Vordimensionierung Bohrpfahlwand, BS-A
3.1.2.3		Geländebruch nach Bishop, BS-P
3.1.2.4		Vordimensionierung Bohrpfahlwand, BS-P
3.1.2.5		Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche mit Bindemittelstabilisierung
3.1.3	Glasschaumschotter	Schüttung mit Leichtbaumaterial
3.1.3.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.1.3.2		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-A
3.1.3.3		Geländebruch nach Bishop, BS-P
3.1.3.4		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-P
3.1.3.5		Geländebruch nach Bishop, BS-E
3.1.3.6		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-E
3.1.3.7		Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche
3.1.4	Grobkörnige Schüttung	Grobkörnige Schüttung
3.1.4.1		Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche
<b>3.2</b>	<b>Schnitt 2 - km 2+430</b>	
3.2.1	Vorbetrachtung mit Einschnittsböschung	Vorbetrachtung bindemittelstabilisierter Damm mit Einschnittsböschung
3.2.1.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.2.1.2		Nachweis gegen Grundbruch und Abgleiten der Dammschulter, BS-A
3.2.1.3		Geländebruch nach Bishop, BS-P
3.2.2	Bindemittelstabilisierung und Bohrpfahlwand	Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials und Bohrpfahlwand vor Einschnittssohle
3.2.2.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.2.2.2		Vordimensionierung Bohrpfahlwand, BS-A
3.2.2.3		Geländebruch nach Bishop, BS-P
<b>3.3</b>	<b>Schnitt 3 - km 2+860</b>	
3.3.1.1	mit Bindemittelstabilisierung	Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche
3.3.2.1	Grobkörnige Schüttung	Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche
3.3.3.1	Glasschaumschotter	Setzungsberechnung der Dammaufstandsfläche



DR. SPANG

Projekt: 38.5387

Seite A2

30.01.2018

<b>3.4</b>	<b>Schnitt 4 - 2+480 –2+520, schräg</b>	
3.4.1	Vorbetrachtung ohne Sicherung	Vorbetrachtung bindemittelstabilisierter Damm ohne Sicherung
3.4.1.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.4.1.2		Geländebruch nach Bishop, BS-P
3.4.1.3		Geländebruch nach Bishop, BS-E
3.4.2	Bindemittelstabilisierung und Bohrpfahlwand	Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials und Bohrpfahlwand am Dammfuß
3.4.2.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A
3.4.3	Bindemittelstabilisierung und Rüttelstopfverdichtung	Bindemittelstabilisierung des verfügbaren Aushubmaterials und flächige Rüttelstopfverdichtung in und neben der Aufstandsfläche
3.4.3.1		Geländebruch nach Bishop, BS-A



DR. SPANG

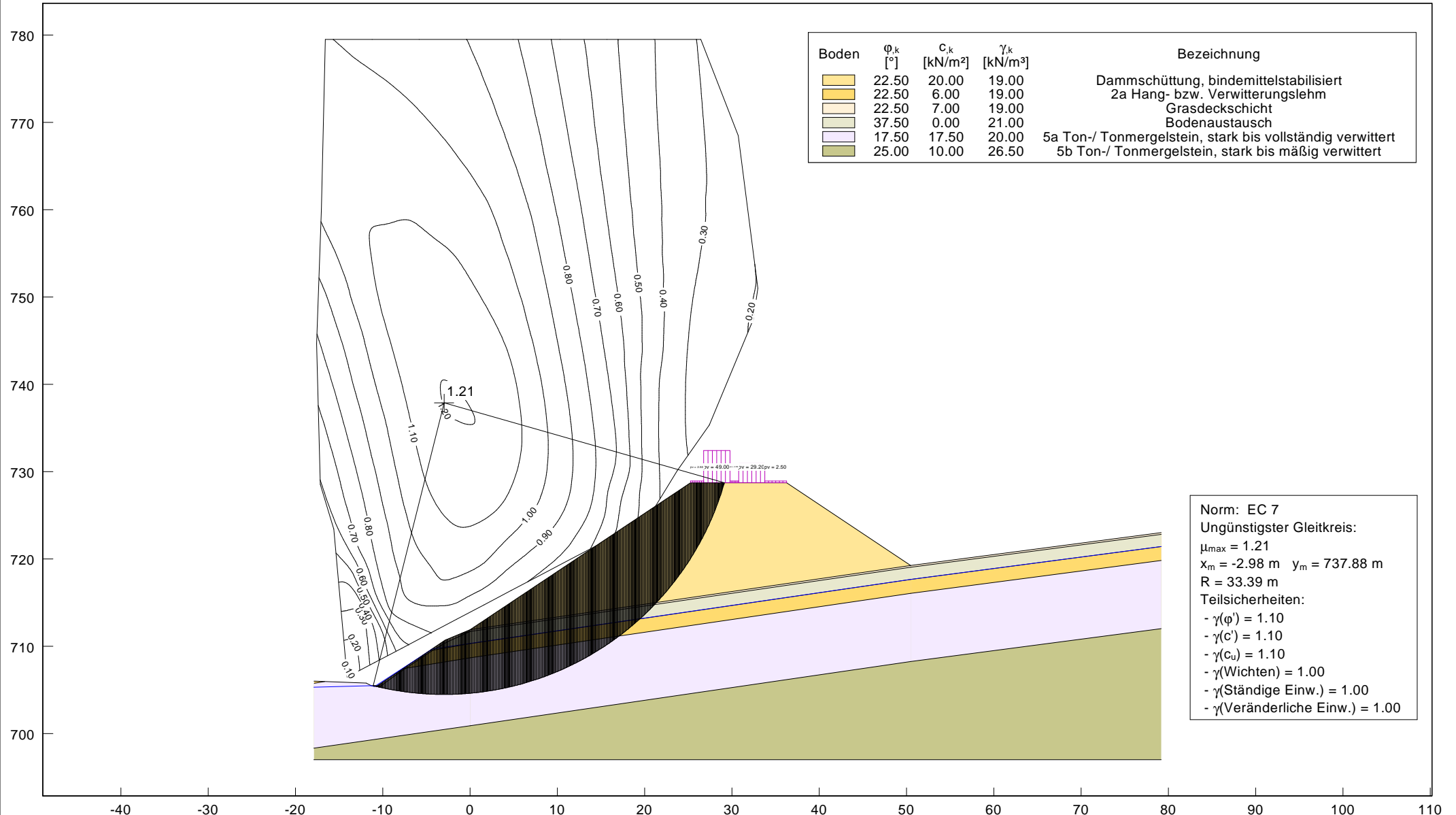
# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1 Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung \_ BS-A

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.1.1.1

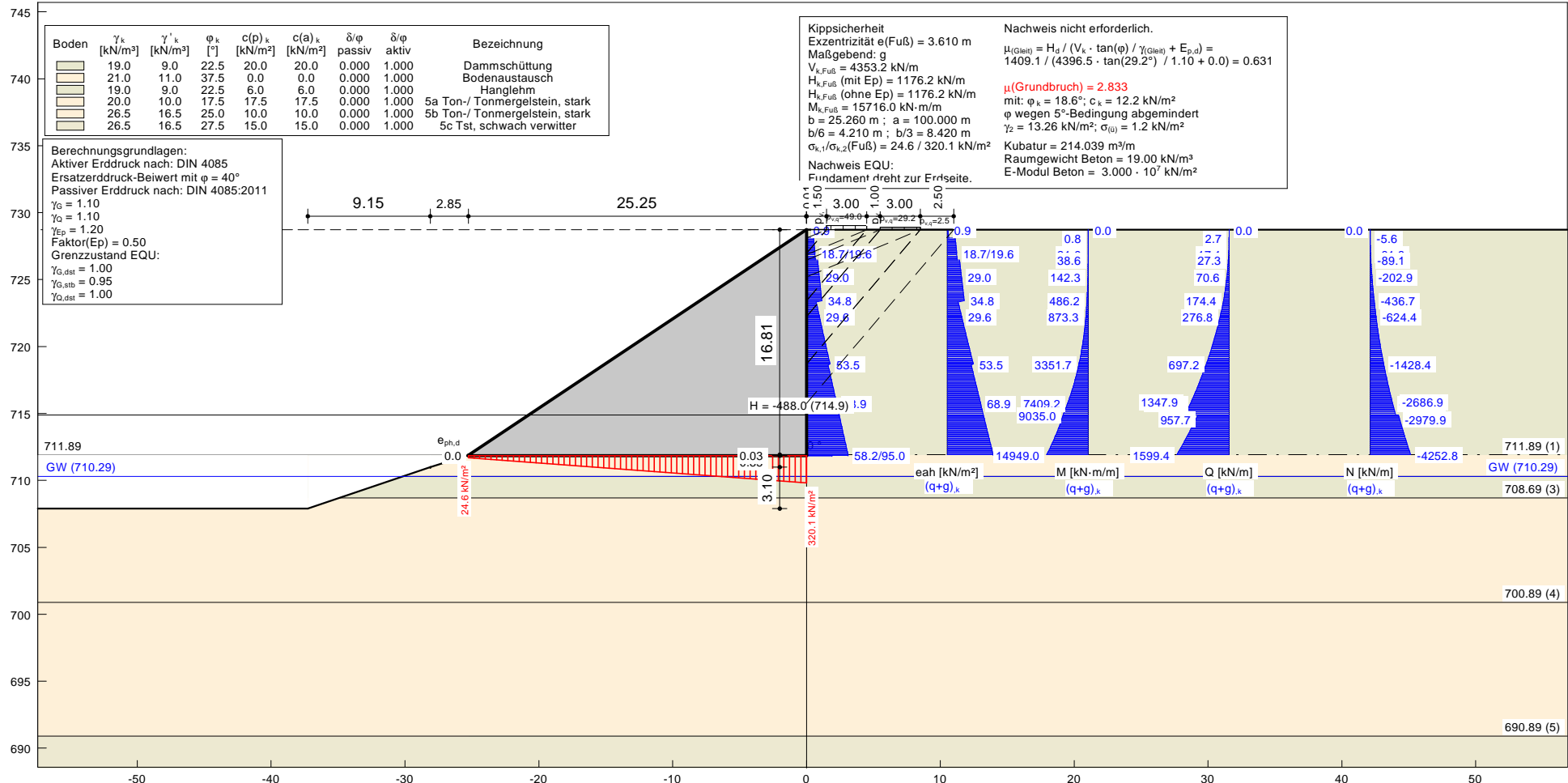
Bearbeiter: Mö

Datum: 19.12.2017



# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1 Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung \_ BS-A

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.1.1.2  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 19.12.2017

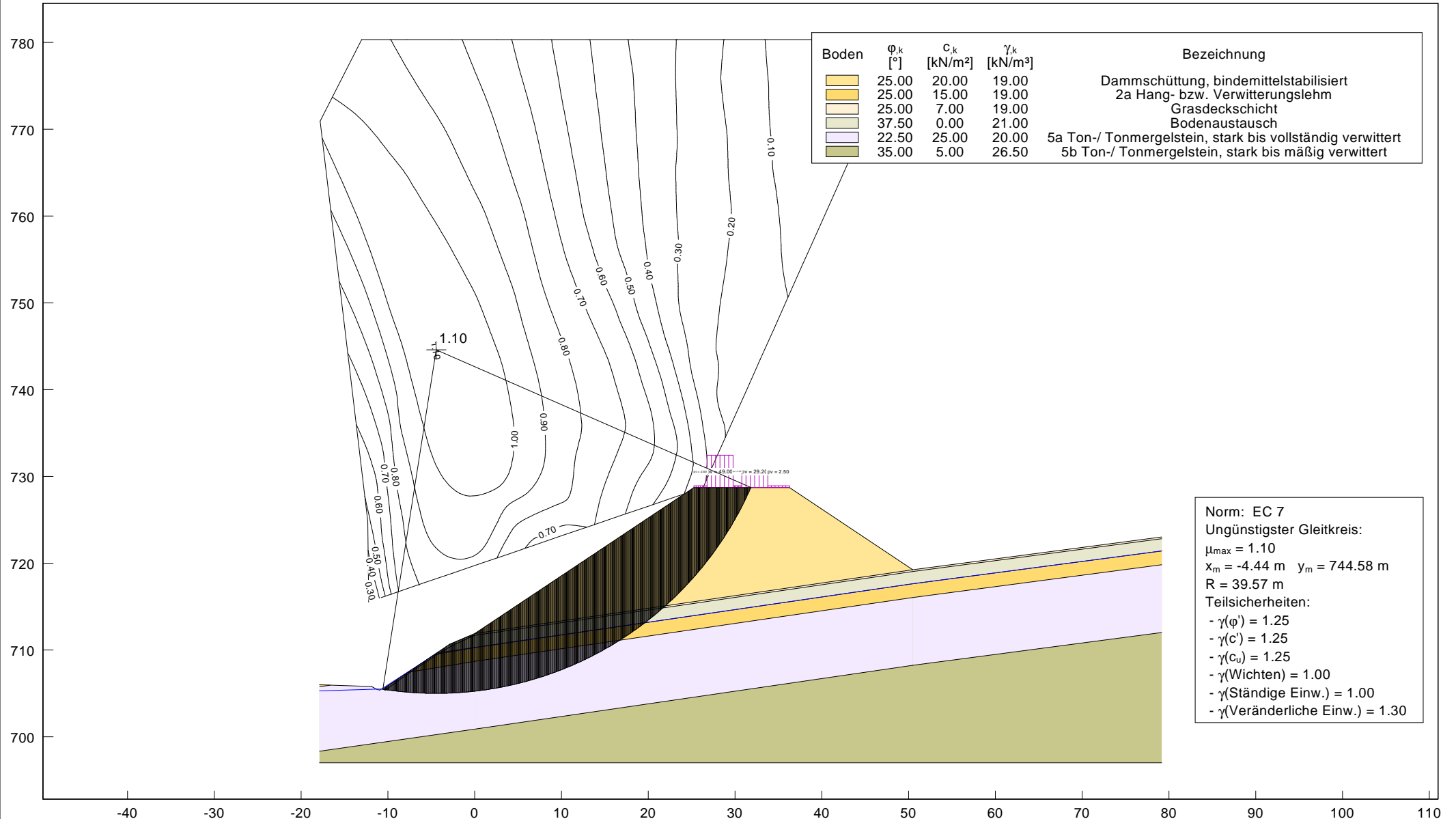




DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung \_ BS-P

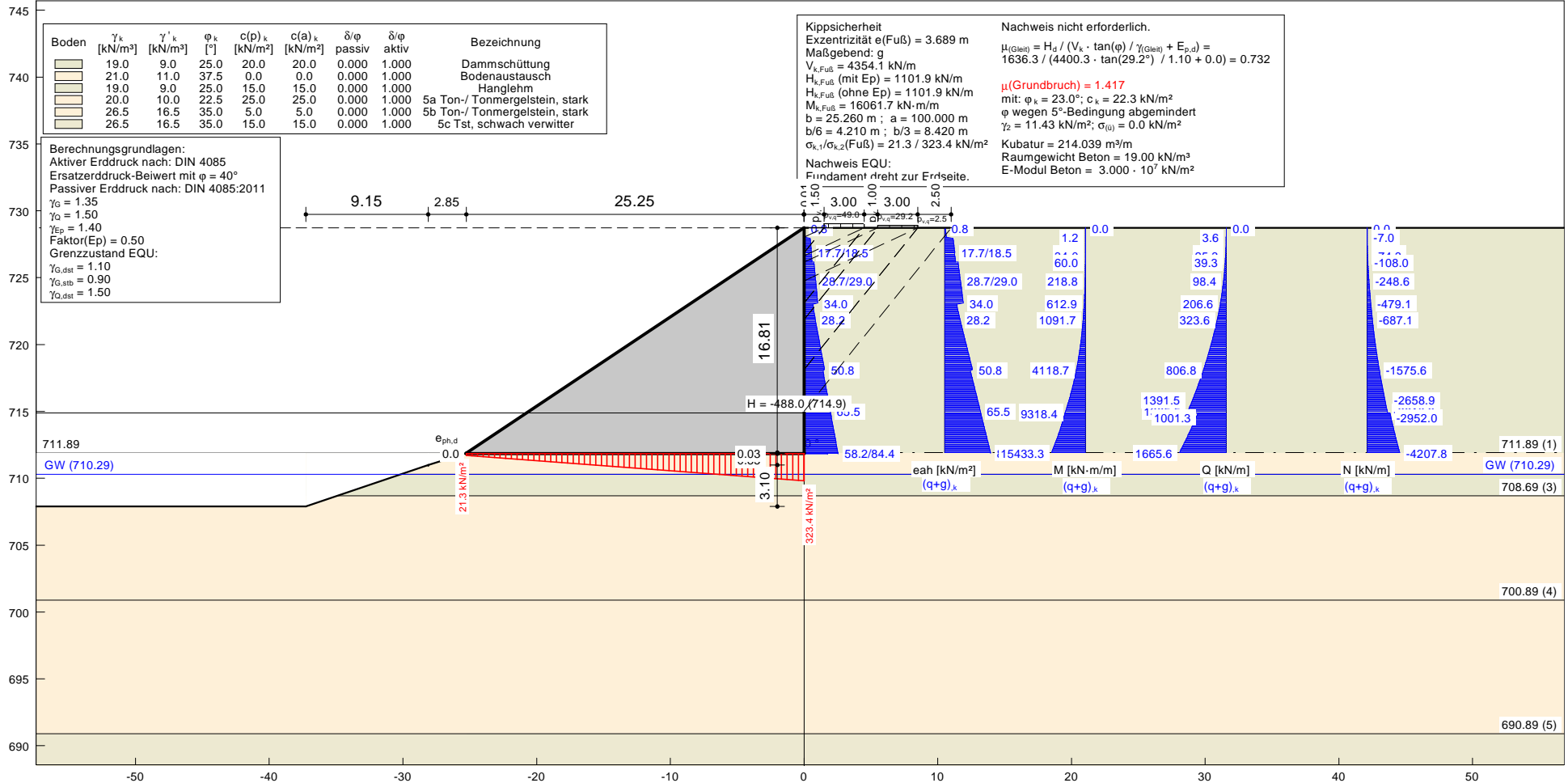
Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.1.1.3  
Bearbeiter: Mö  
Datum: 19.12.2017





Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung \_ BS-P

Projekt:	P 38.5387
Anlage:	3.1.1.4
Bearbeiter:	Mö
Datum:	19.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

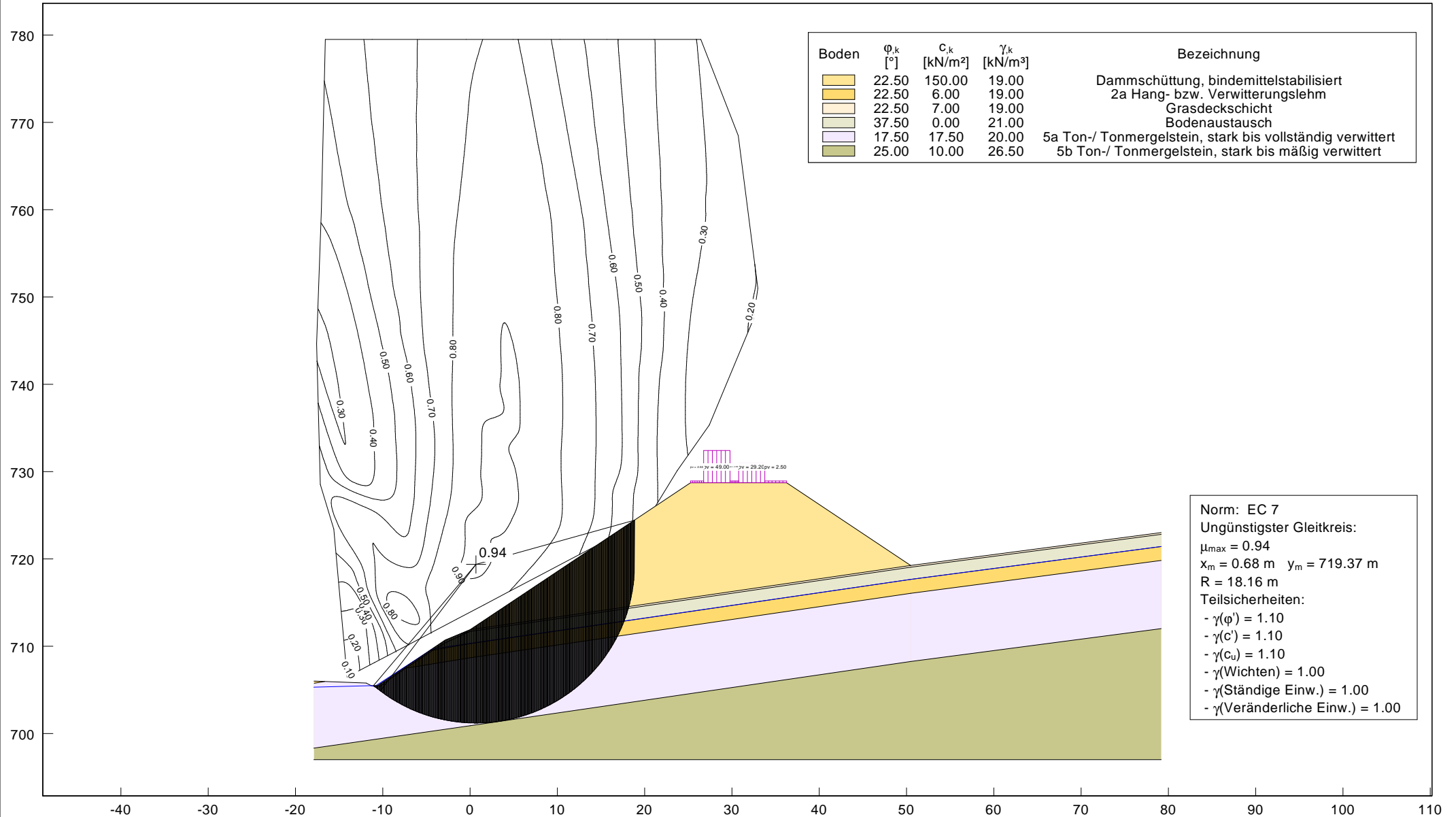
Schnitt 1 - km 2+480, Verbesserte Bindemittelstabilisierung \_ BS-A

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.1.1.5

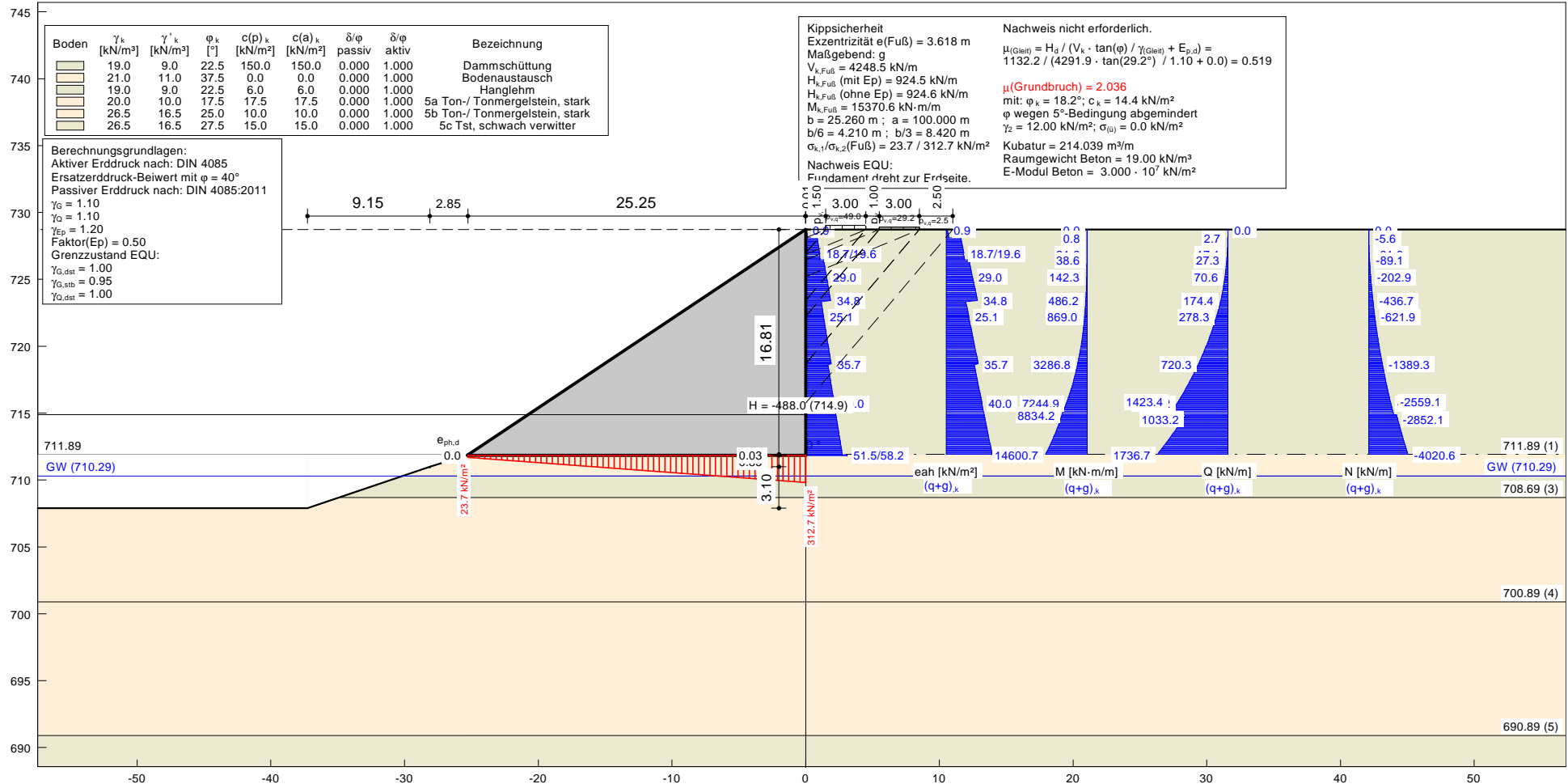
Bearbeiter: Mö

Datum: 19.12.2017





Projekt:	P 38.5387
Anlage:	3.1.1.6
Bearbeiter:	Mö
Datum:	21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

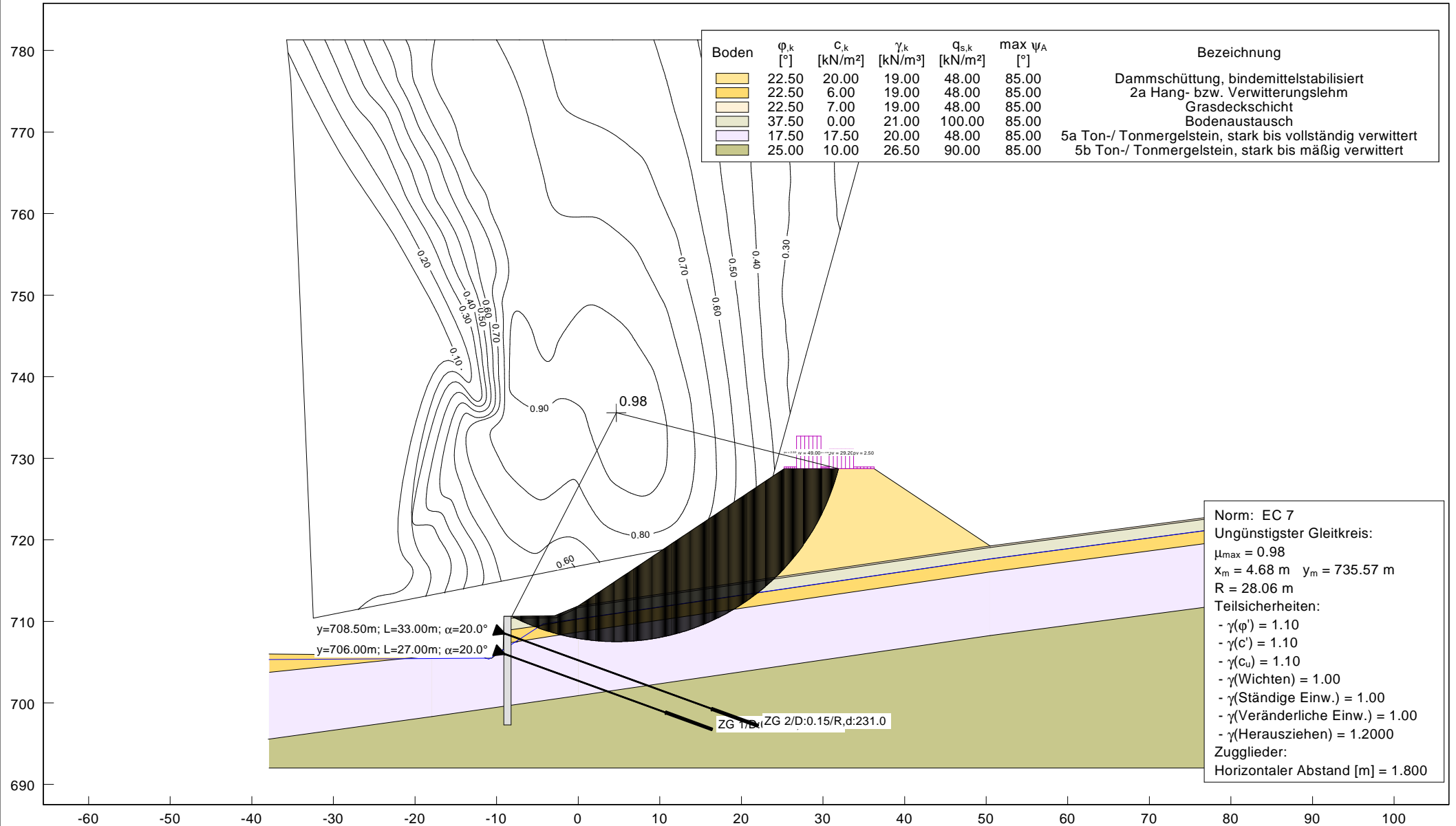
Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung und Bohrpfehlwand \_ BS-A

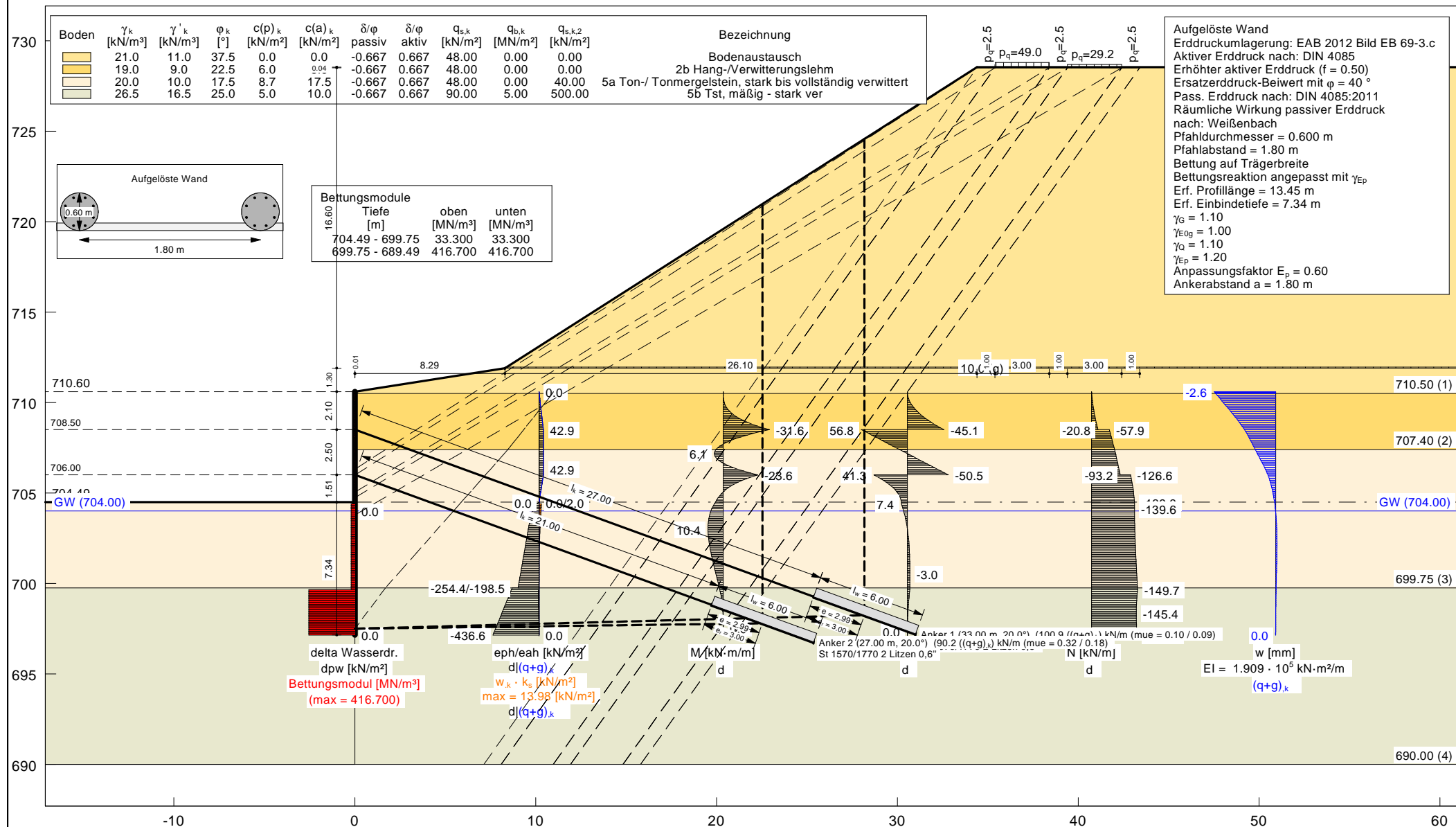
Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.1.2.1

Bearbeiter: Mö

Datum: 19.12.2017







DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

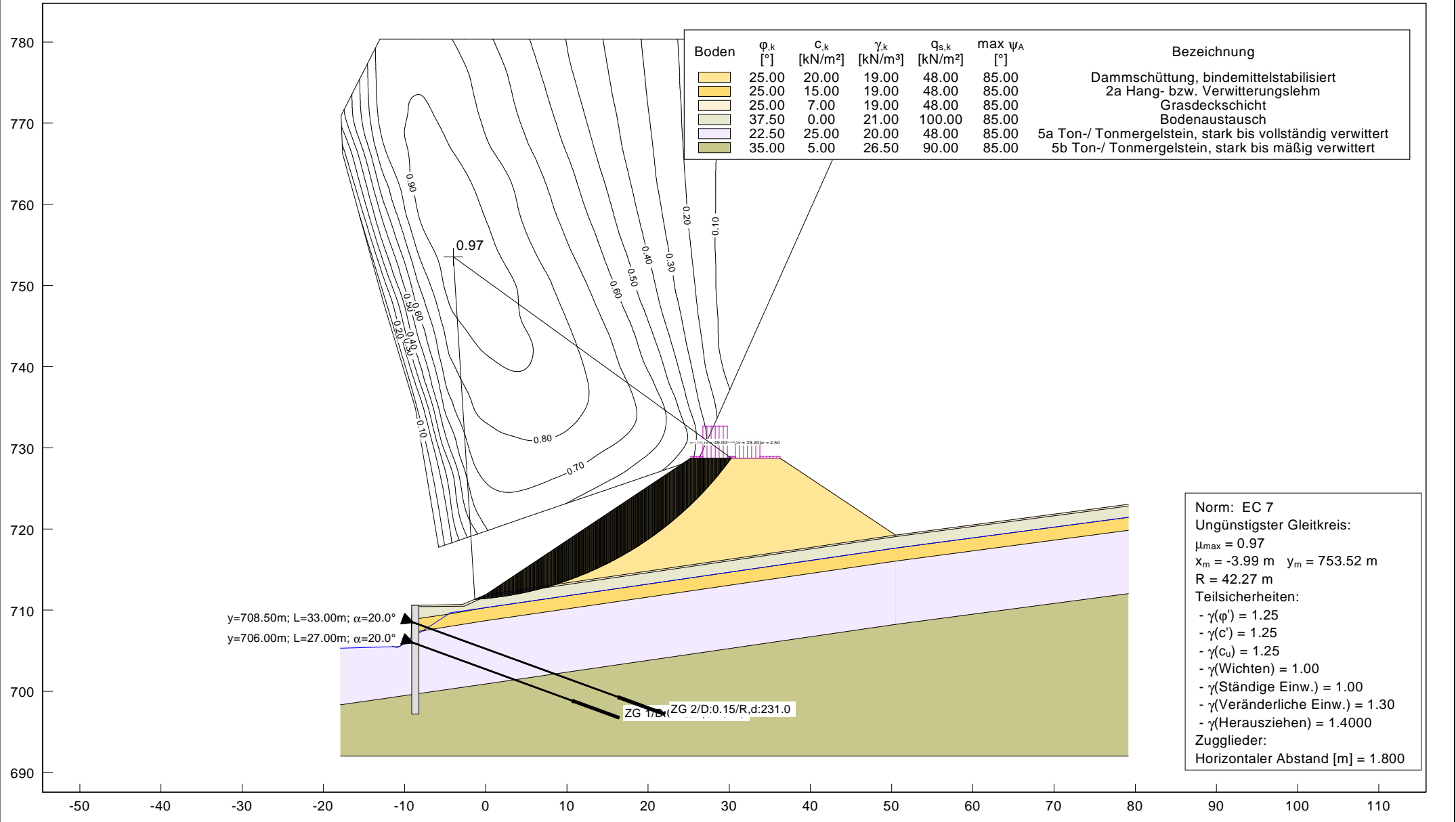
Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung und Bohrpfehlwand \_ BS-P

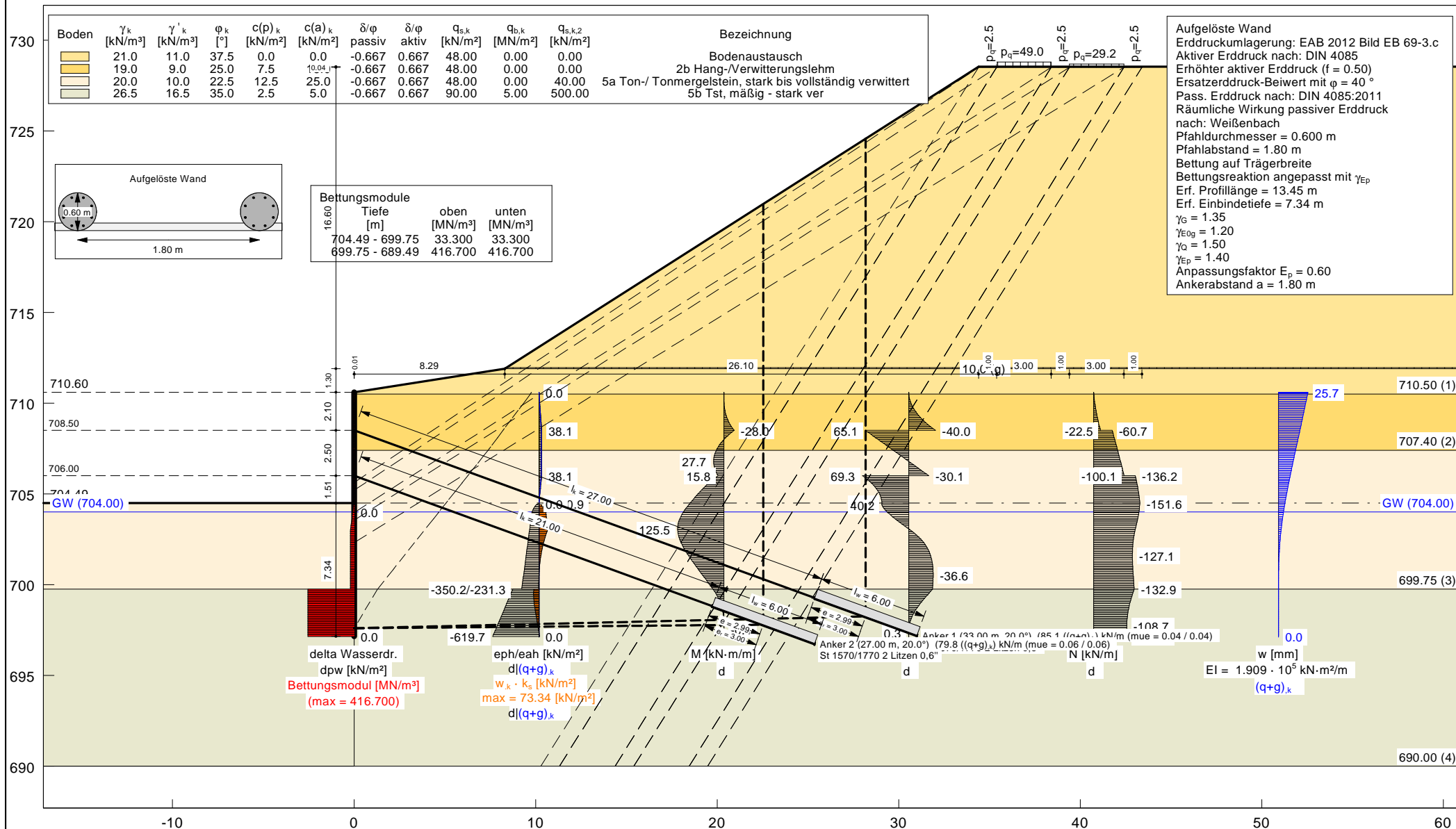
Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.1.2.3

Bearbeiter: Mö

Datum: 19.12.2017



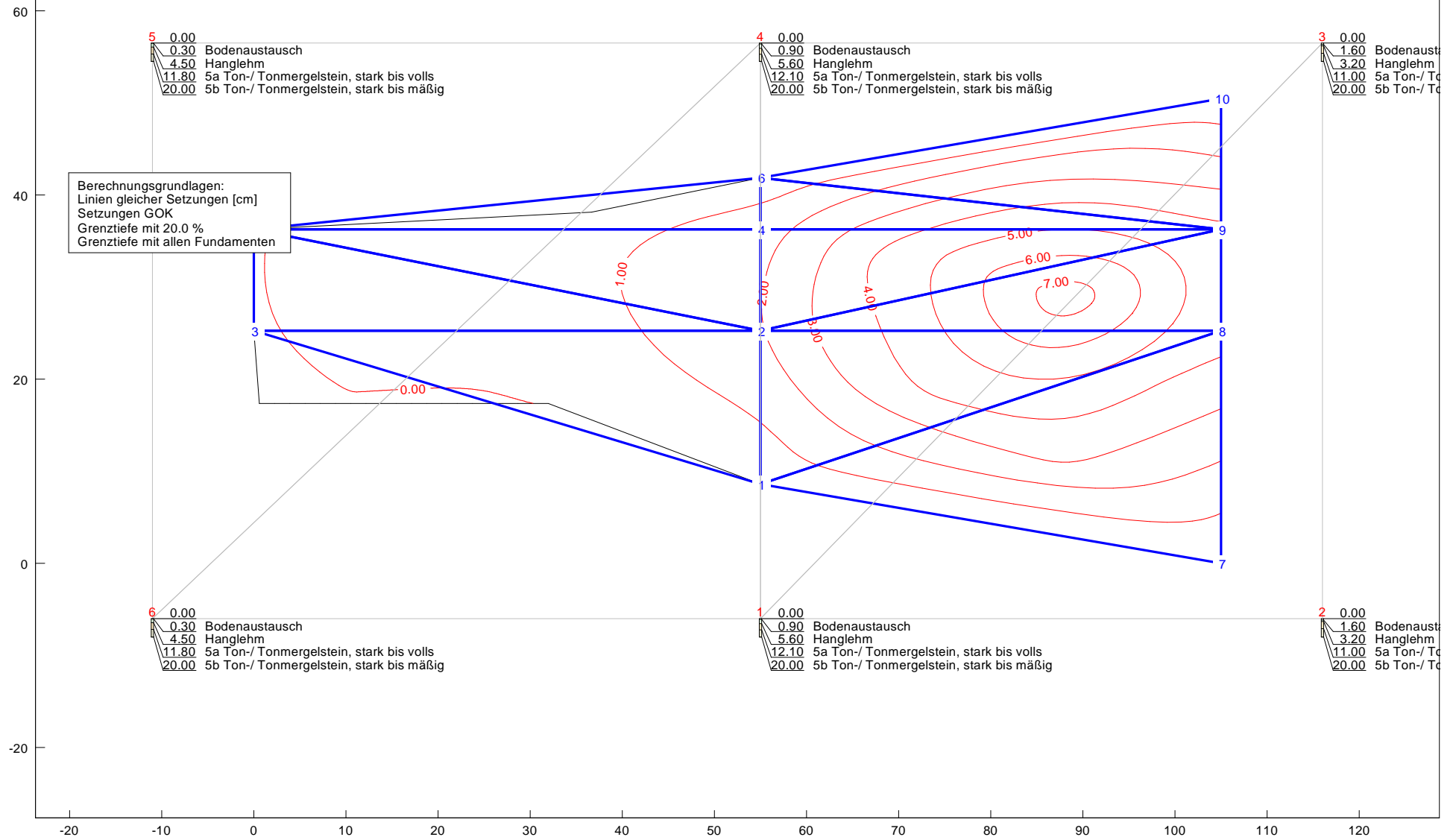


# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

## Schnitt 1 - km 2+480, Bindemittelstabilisierung und Bohrpfehlwand \_ BS-P

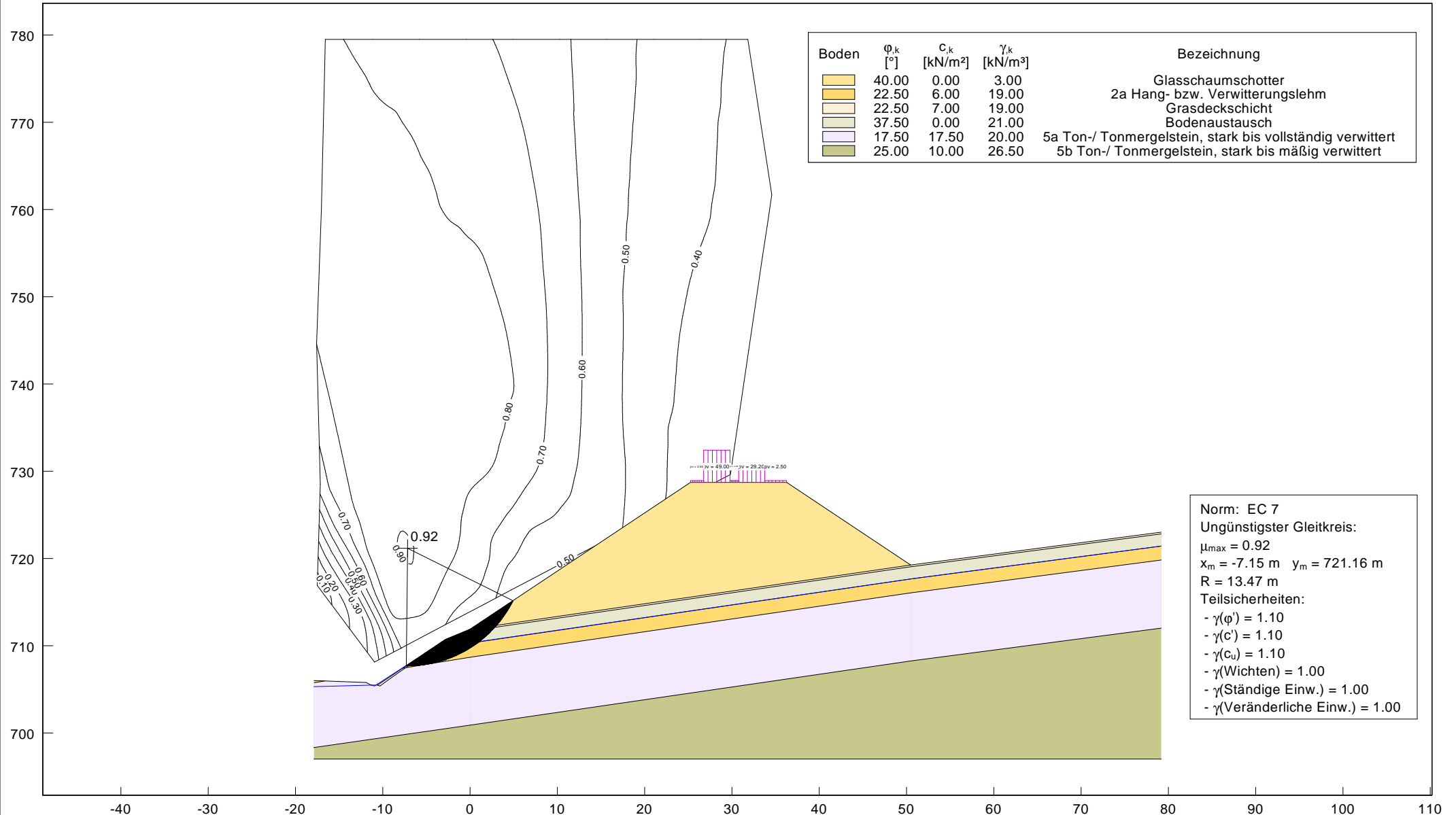
Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.1.2.5  
Bearbeiter: MÖ  
Datum: 21.12.2017

Schicht	$\gamma$ [kN/m³]	$E_s$ [MN/m²]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	21.00	50.00	0.300	Bodenaustausch
	19.00	20.00	0.300	Hanglehm
	20.00	20.00	0.300	5a Ton-/ Tonmergelstein, stark bis volls
	26.50	250.00	0.300	5b Ton-/ Tonmergelstein, stark bis mäßig



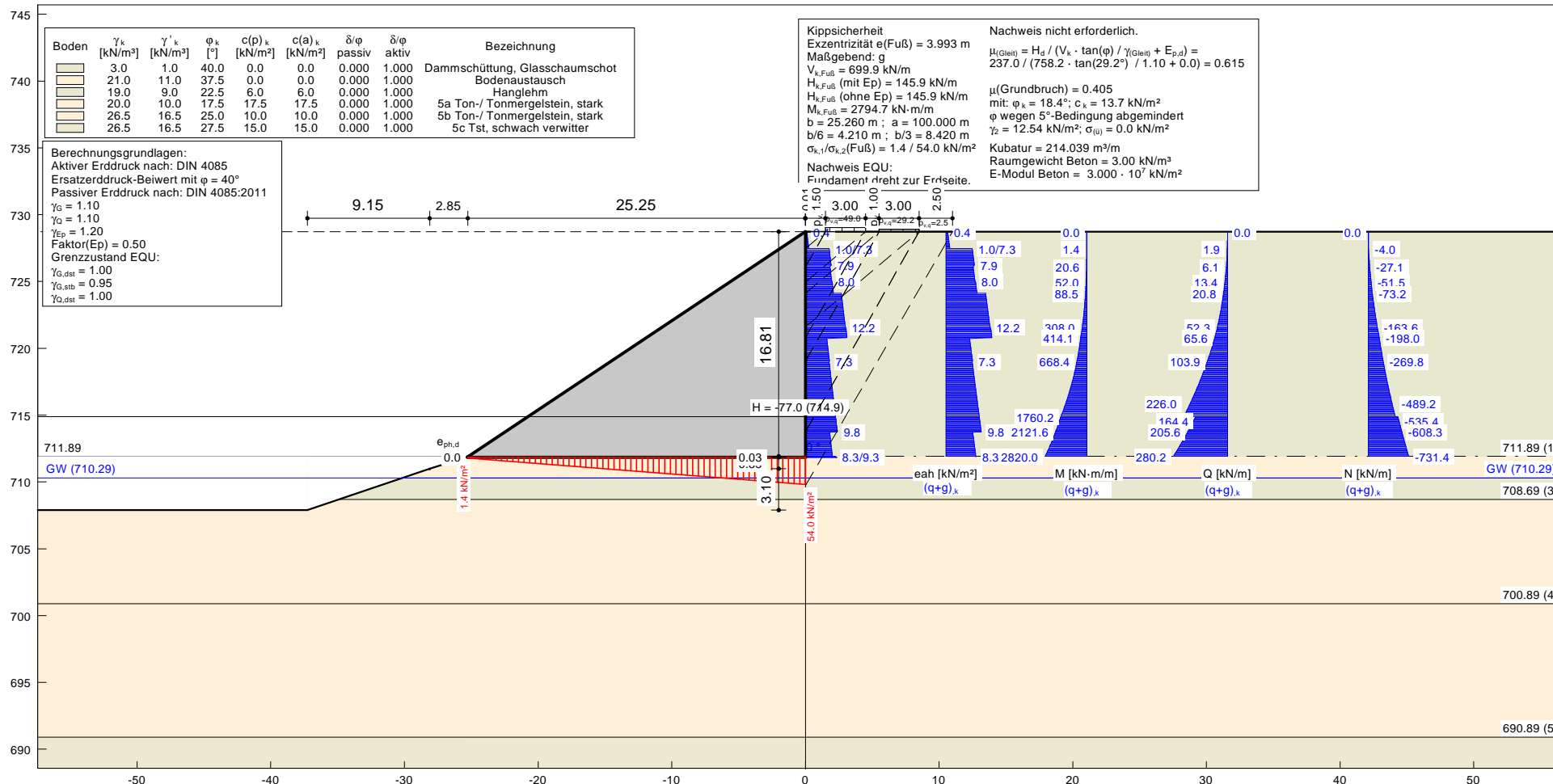


Projekt:	P 38.5387
Anlage:	3.1.3.1
Bearbeiter:	Mö
Datum:	21.12.2017



# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1 Schnitt 1 - km 2+480, Glasschaumschotter \_ BS-A

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.1.3.2  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 21.12.2017

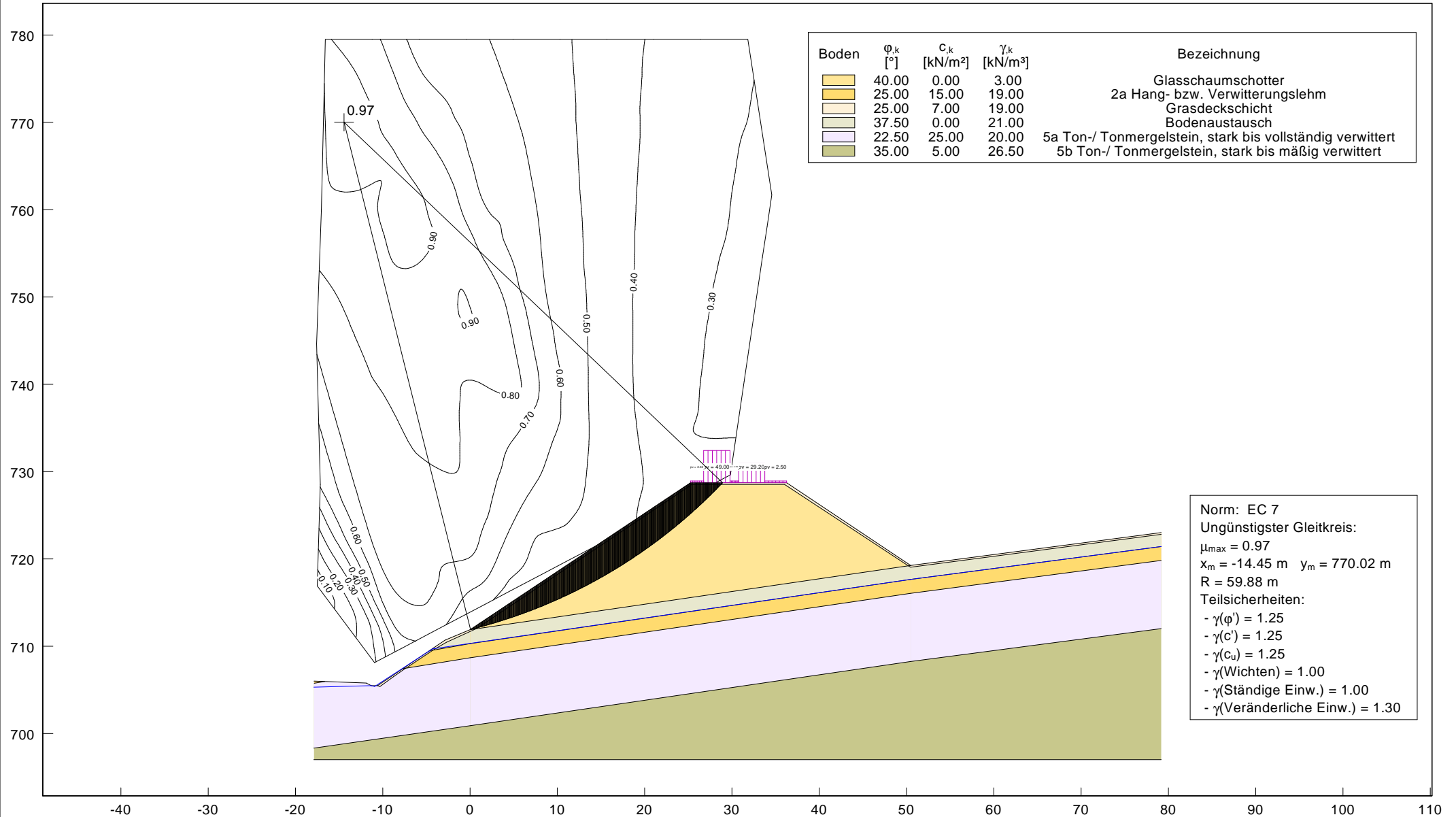




DR. SPANG

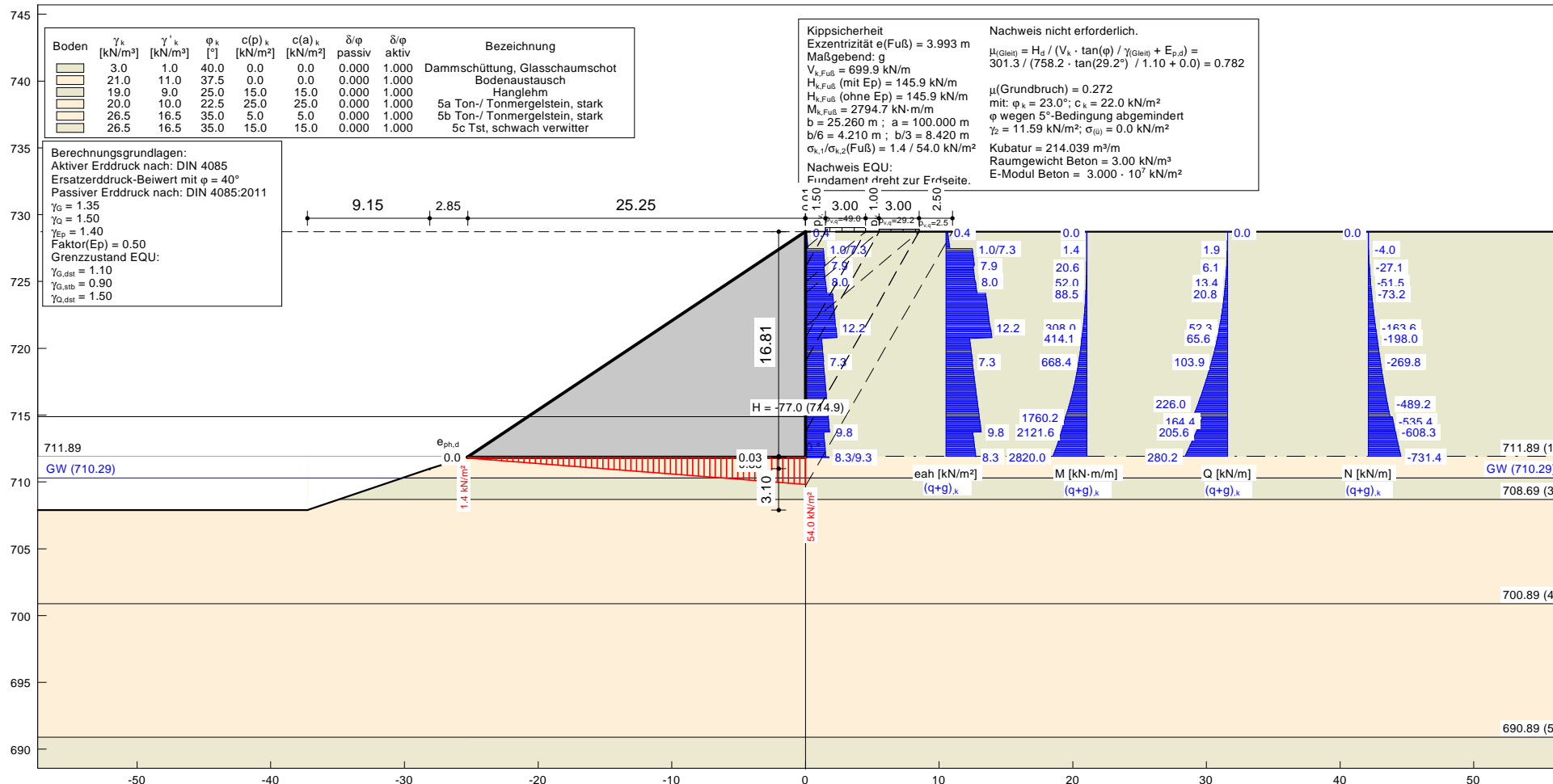
Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 1 - km 2+480, Schüttung mit Leichtbaumaterial \_ BS-P

Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.1.3.3  
Bearbeiter: Mö  
Datum: 21.12.2017



# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1 Schnitt 1 - km 2+480, Glasschaumschotter \_ BS-P

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.1.3.4  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

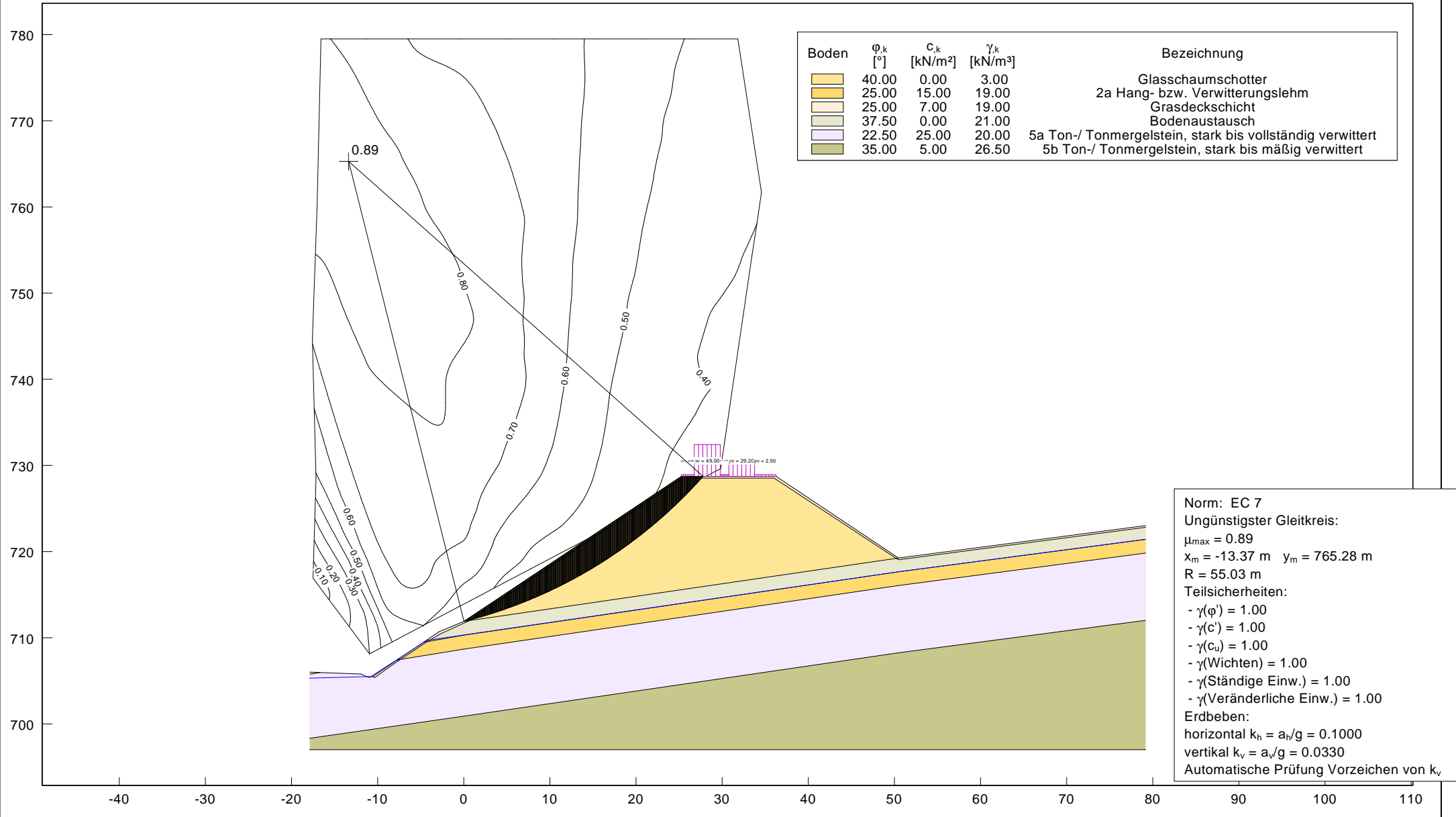
Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 1 - km 2+480, Schüttung mit Leichtbaumaterial \_ BS-E

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.1.3.5

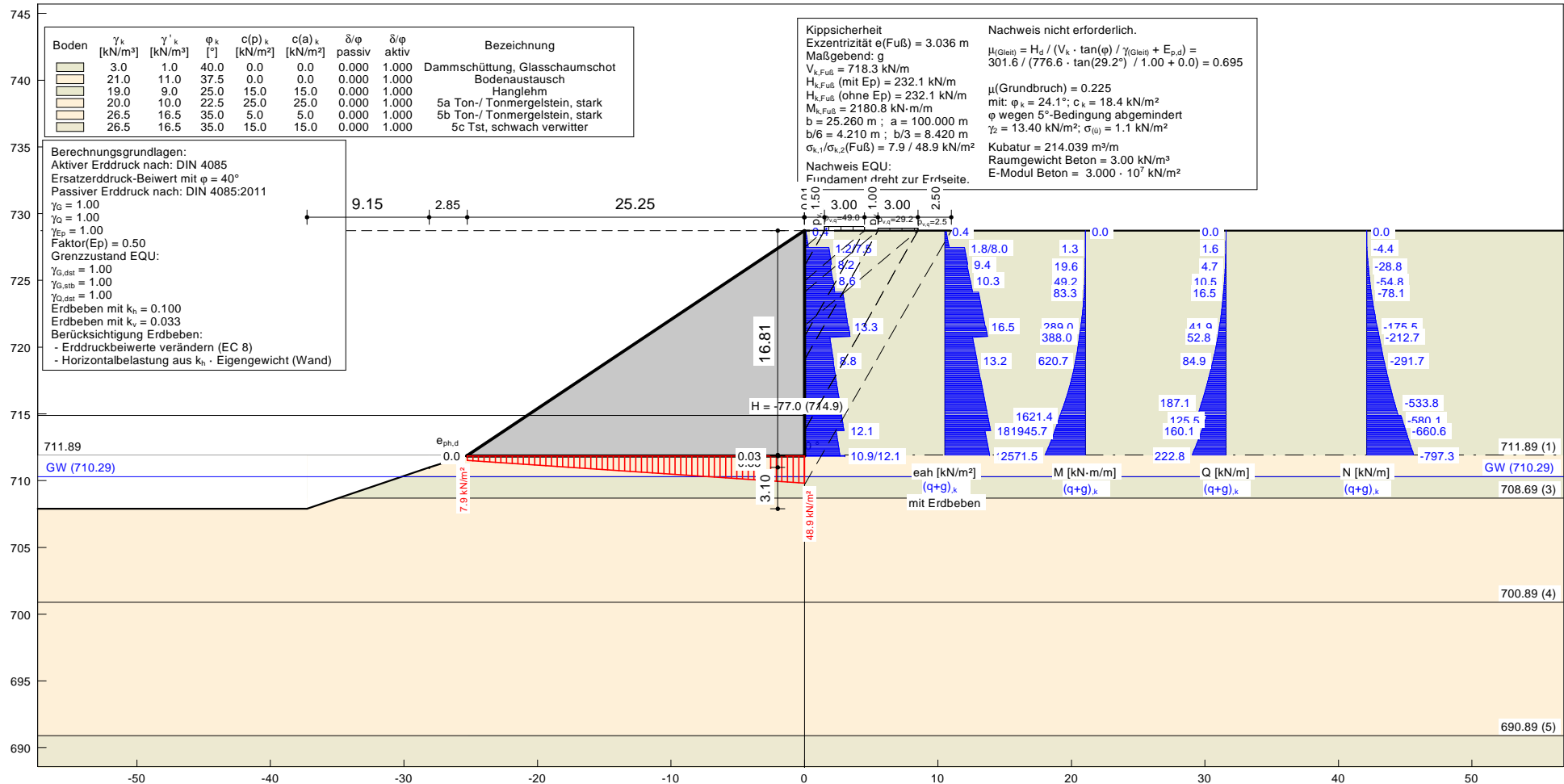
Bearbeiter: Mö

Datum: 21.12.2017

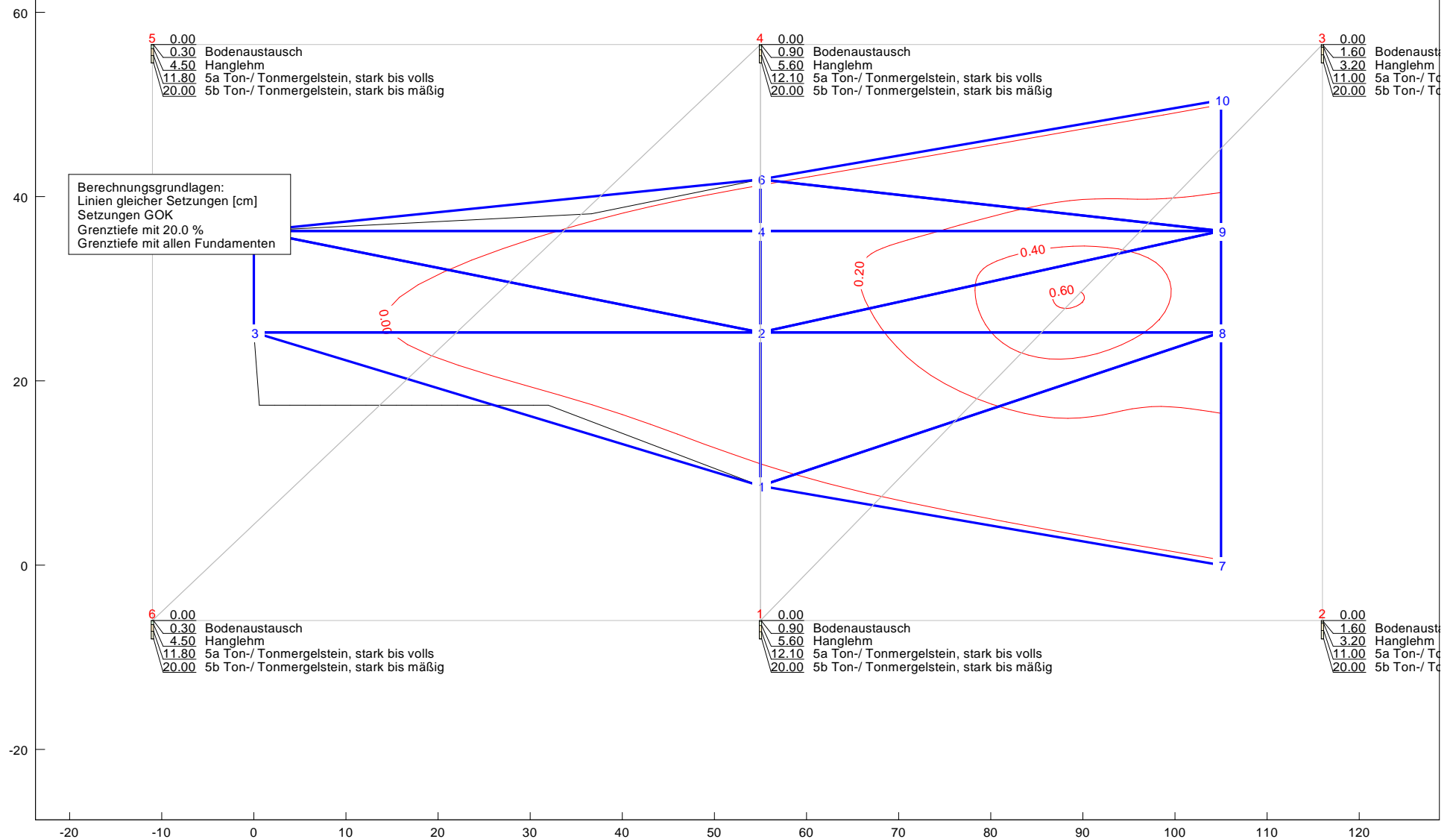




Projekt:	P 38.5387
Anlage:	3.1.3.6
Bearbeiter:	Mö
Datum:	21.12.2017



Schicht	$\gamma$ [kN/m³]	$E_s$ [MN/m²]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	21.00	50.00	0.300	Bodenaustausch
	19.00	20.00	0.300	Hanglehm
	20.00	20.00	0.300	5a Ton-/ Tonmergelstein, stark bis volls
	26.50	250.00	0.300	5b Ton-/ Tonmergelstein, stark bis mäßig

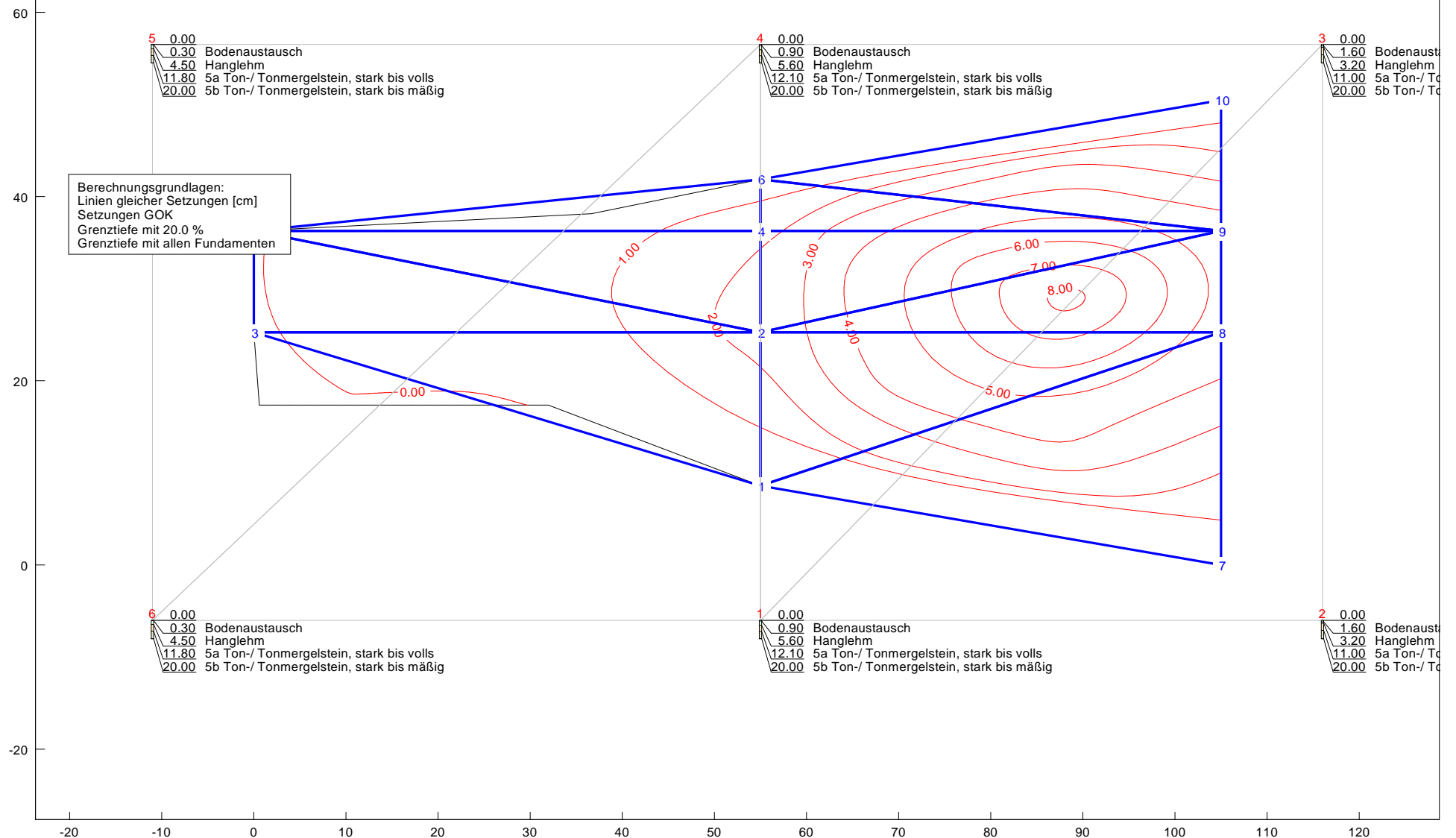


# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

## Schnitt 1 - km 2+480, Grobkörnige Schüttung und Bohrpfehlwand

Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.1.4.1  
Bearbeiter: Mö  
Datum: 21.12.2017

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	Bezeichnung
	21.00	50.00	0.300	Bodenaustausch
	19.00	20.00	0.300	Hanglehm
	20.00	20.00	0.300	5a Ton-/ Tonmergelstein, stark bis volls
	26.50	250.00	0.300	5b Ton-/ Tonmergelstein, stark bis mäßig

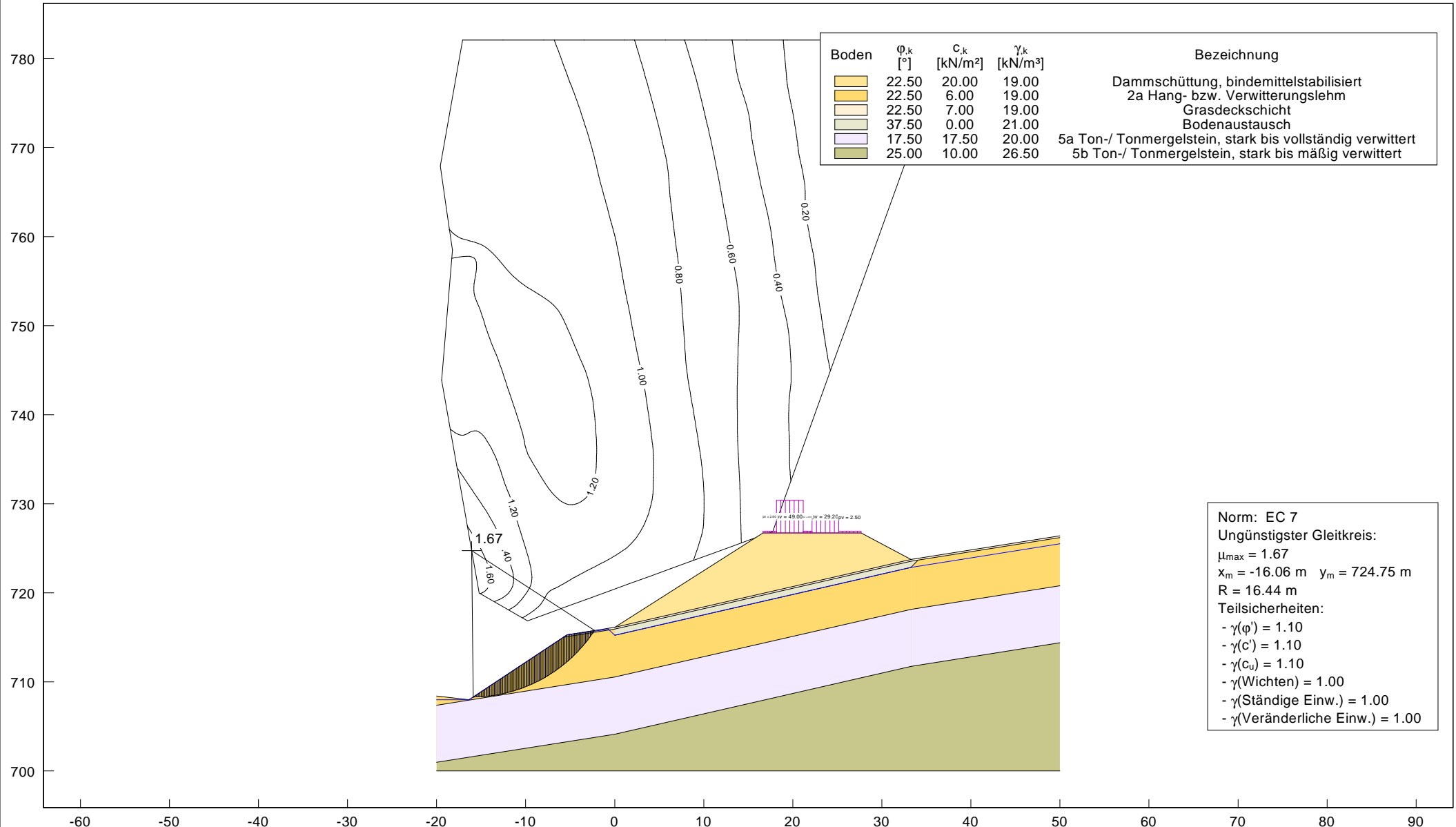




DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 2 - km 2+430, Bindemittelstabilisierung \_ BS-A







Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.2.1.1  
Bearbeiter: Mö  
Datum: 22.12.2017





Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 2 - km 2+430, Bindemittelstabilisierung \_ BS-A

Projekt:	P 38.5387
Anlage:	3.2.1.2
Bearbeiter:	Mö
Datum:	22.12.2017

Boden	$\gamma_k$	$\gamma' \cdot k$	$\Phi_k$	$c(p)_k$	$c(a)_k$	$\delta/\varphi$	$\delta/\varphi$	Bezeichnung
	[kN/m³]	[kN/m²]	[°]	[kN/m²]	[kN/m²]	passiv	aktiv	
	19,0	9,0	22,5	20,0	20,0	0,000	1,000	Dammerschüttung
	21,0	11,0	37,5	0,0	0,0	0,000	1,000	Bodenaustausch
	20,0	9,0	22,5	6,0	6,0	0,000	1,000	Hänglehne
	20,0	10,0	17,5	17,5	17,5	0,000	1,000	5a Ton-/ Tonmergelstein, stark
	26,5	16,5	25,0	10,0	10,0	0,000	1,000	5b Ton-/ Tonmergelstein, stark
	26,5	16,5	27,5	15,0	15,0	0,000	1,000	5c Tst, schwach verwittert

Berechnungsgrundlagen:  
 Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
 Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$   
 Passiver Erddruck nach: DIN 4085:2011  
 $\gamma_G = 1.10$   
 $\gamma_Q = 1.10$   
 $\gamma_{Ep} = 1.20$   
 Faktor( $E_p$ ) = 0.50

1.00	zustand EQU.
$\gamma_{G, \text{stb}} = 0.95$	
$\gamma_{Q, \text{dst}} = 1.00$	

Kippsicherheit  
Exzentrizität  $e(\text{Fuß}) = 2.329 \text{ m}$   
Maßgebend:  $g$   
 $V_{k, \text{Fuß}} = 1787.5 \text{ kN/m}$   
 $H_{k, \text{Fuß}}$  (mit  $E_p$ ) =  $407.3 \text{ kN/m}$   
 $H_{k, \text{Fuß}}$  (ohne  $E_p$ ) =  $407.4 \text{ kN/m}$   
 $M_{k, \text{Fuß}} = 4162.8 \text{ kN·m/m}$   
 $b = 16.660 \text{ m}$ ;  $a = 100.000 \text{ m}$   
 $b/6 = 2.777 \text{ m}$ ;  $b/3 = 5.553 \text{ m}$   
 $\sigma_{\alpha,1}/\sigma_{\alpha,2}(\text{Fuß}) = 17.3 / 197.3 \text{ kN/m}^2$   
Nachweis EQU:  
Fundament dreht zur Erdseite.

Nachweis nicht erforderlich.

$$\mu_{(\text{Gleit})} = H_d / (V_k \cdot \tan(\phi) / \gamma_{(\text{Gleit})} + E_{p,d}) = 562.5 / (1830.6 \cdot \tan(28.5^\circ) / 1.10 + 0.0) = 0.623$$

$\mu$  (Grundbruch) = 2.079

mit:  $\phi_k = 18.9^\circ$ ;  $c_k = 8.5 \text{ kN/m}^2$

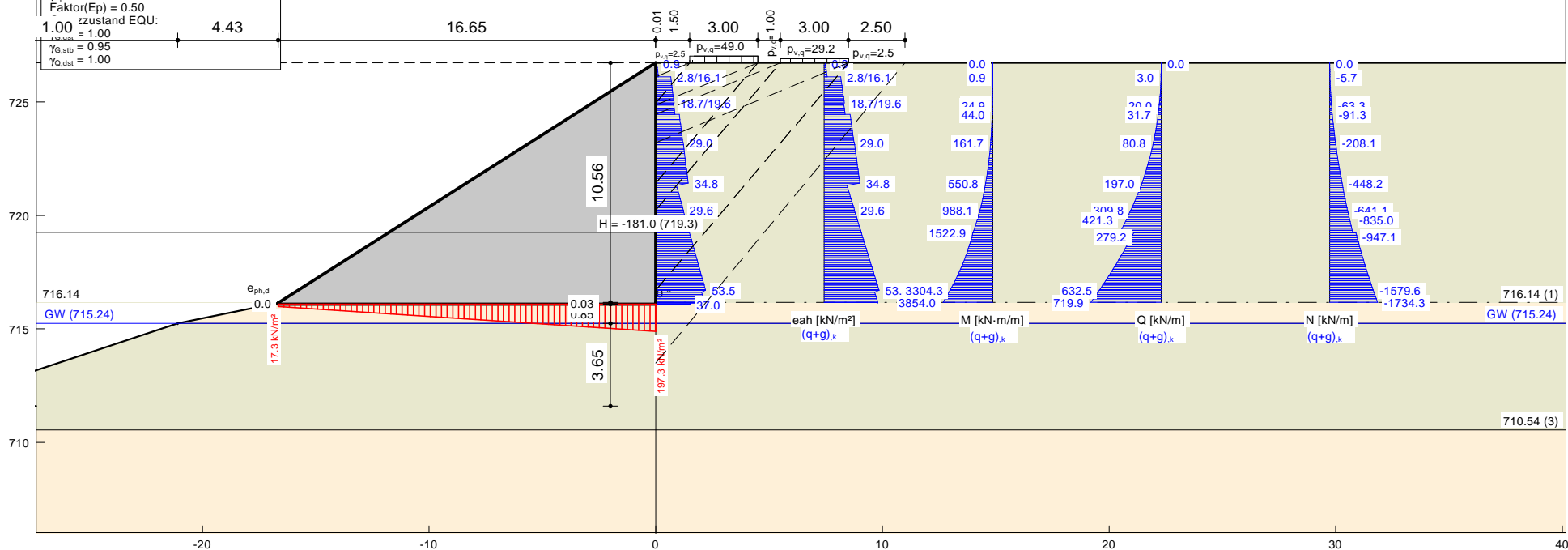
$\phi$  wegen  $5^\circ$ -Bedingung abgemindert

$\gamma_2 = 10.65 \text{ kN/m}^3$ ;  $\sigma_{(u)} = 2.8 \text{ kN/m}^2$

Kubatur =  $89.102 \text{ m}^3/\text{m}$

Raumgewicht Beton =  $19.00 \text{ kN/m}^3$

E-Modul Beton =  $3.000 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$





DR. SPANG

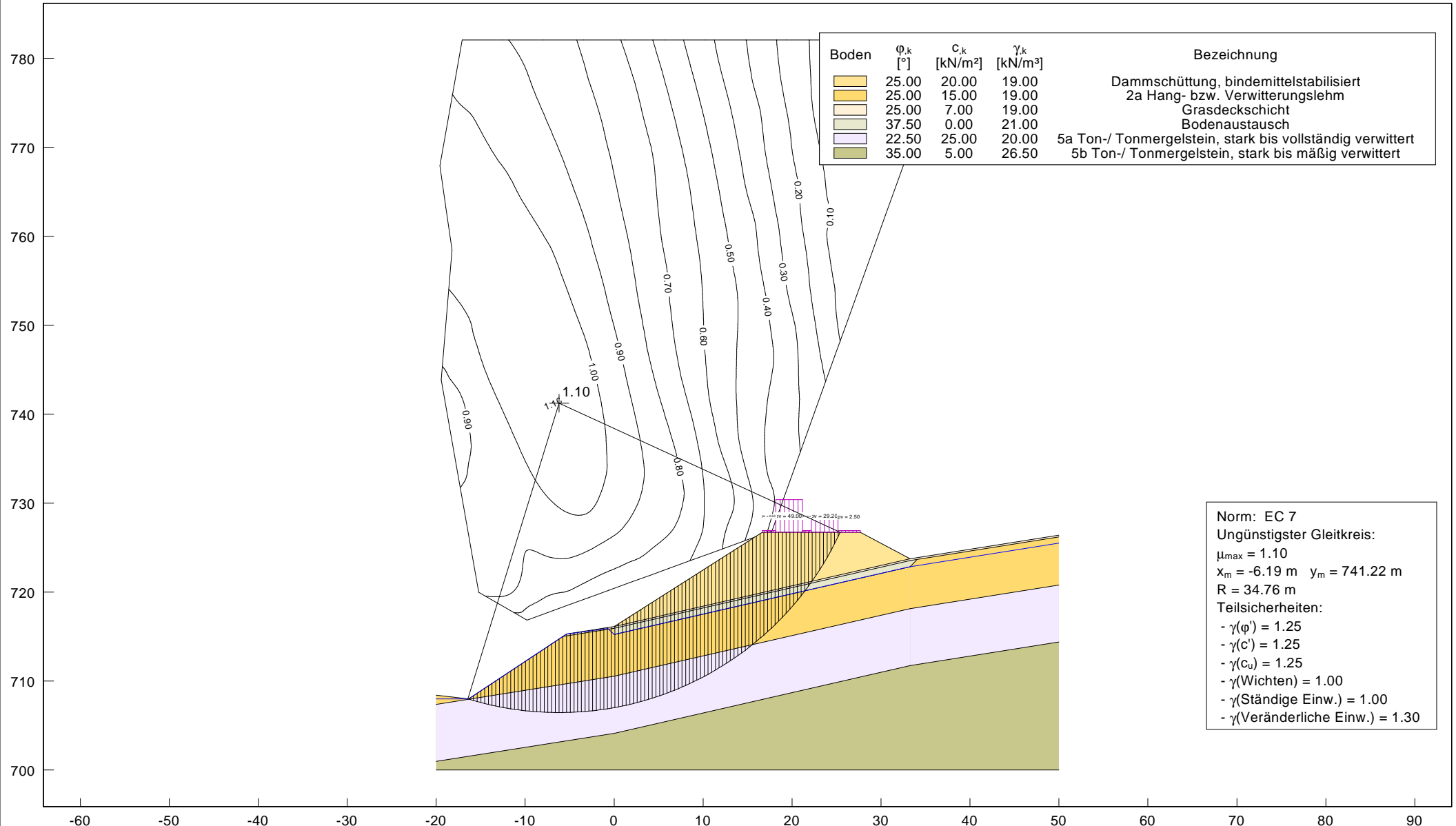
Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 2 - km 2+430, Bindemittelstabilisierung \_ BS-P

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.2.1.3

Bearbeiter: MÖ

Datum: 22.12.2017

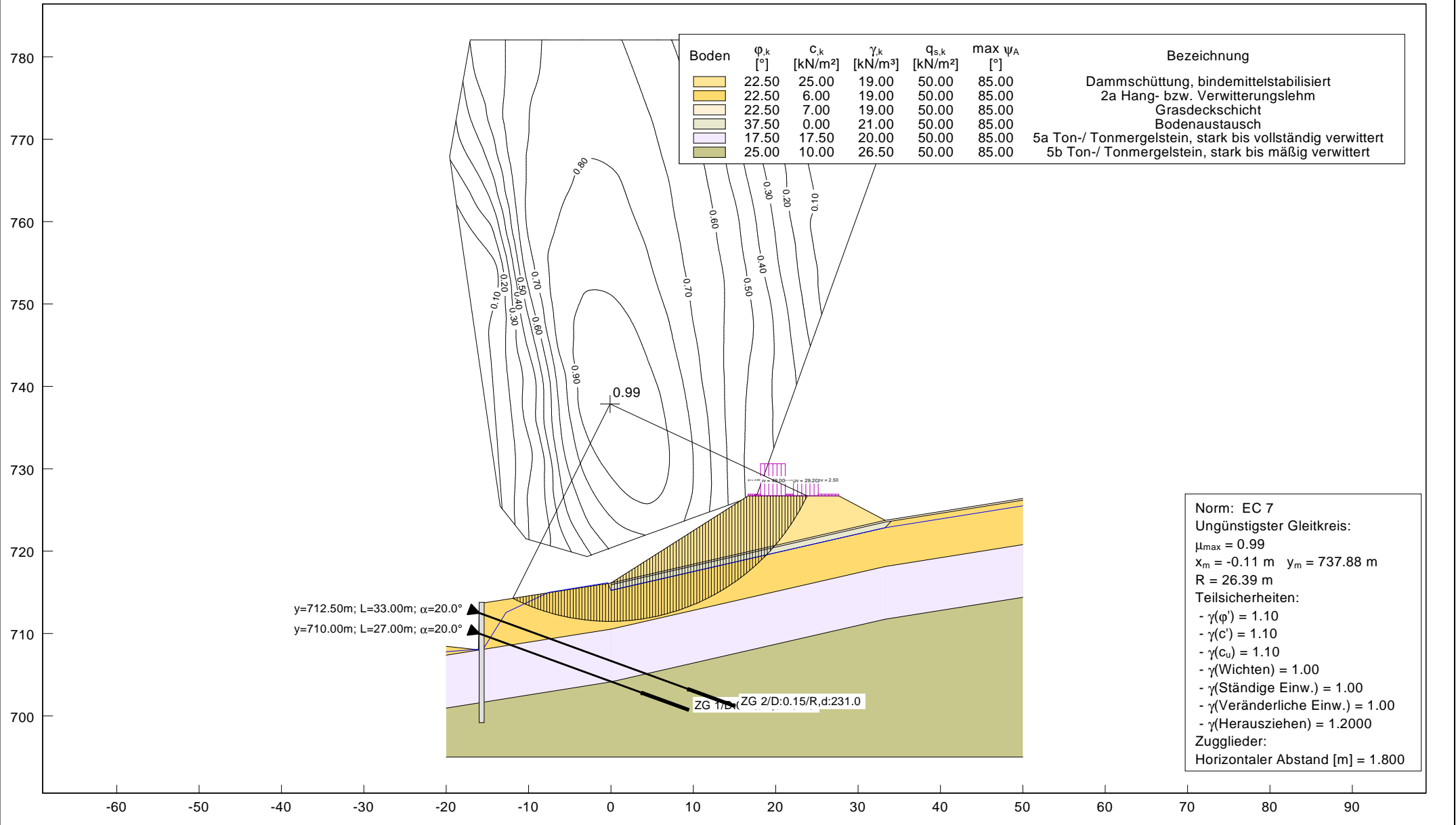




DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1  
Schnitt 2 - km 2+430, Bindemittelstabilisierung + Bohrpfehlwand \_ BS-A

Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.2.2.1  
Bearbeiter: Mö  
Datum: 21.12.2017



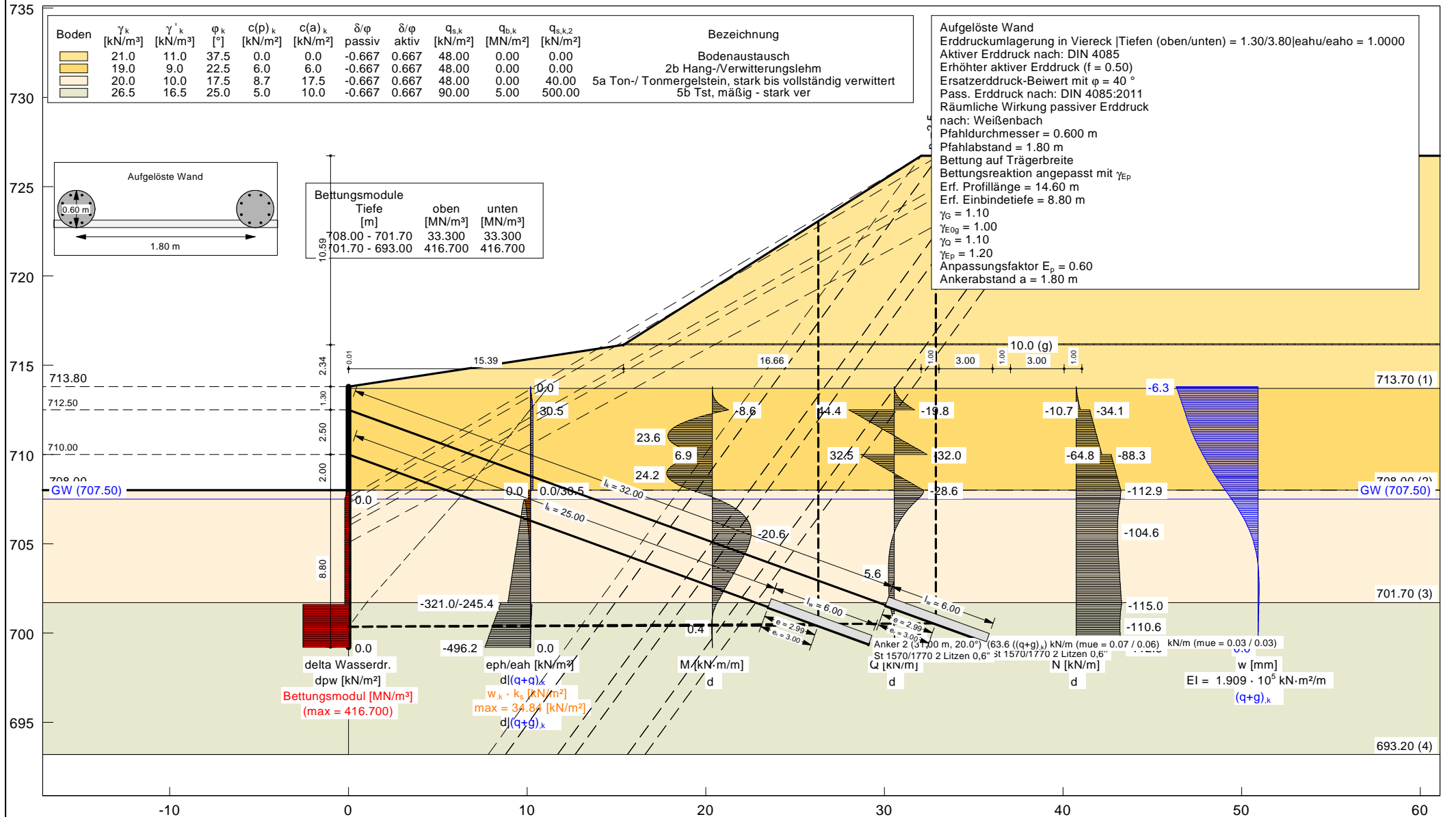


DR. SPANG

Projekt: OU Lautlingen, Damm Nr. 1

Schnitt 2 - km 2+430, Bohrpflwand, aufgelöst \_ BS-A

Projekt: P 38.5387  
Anlage: 3.2.2.2  
Bearbeiter: MÖ  
Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

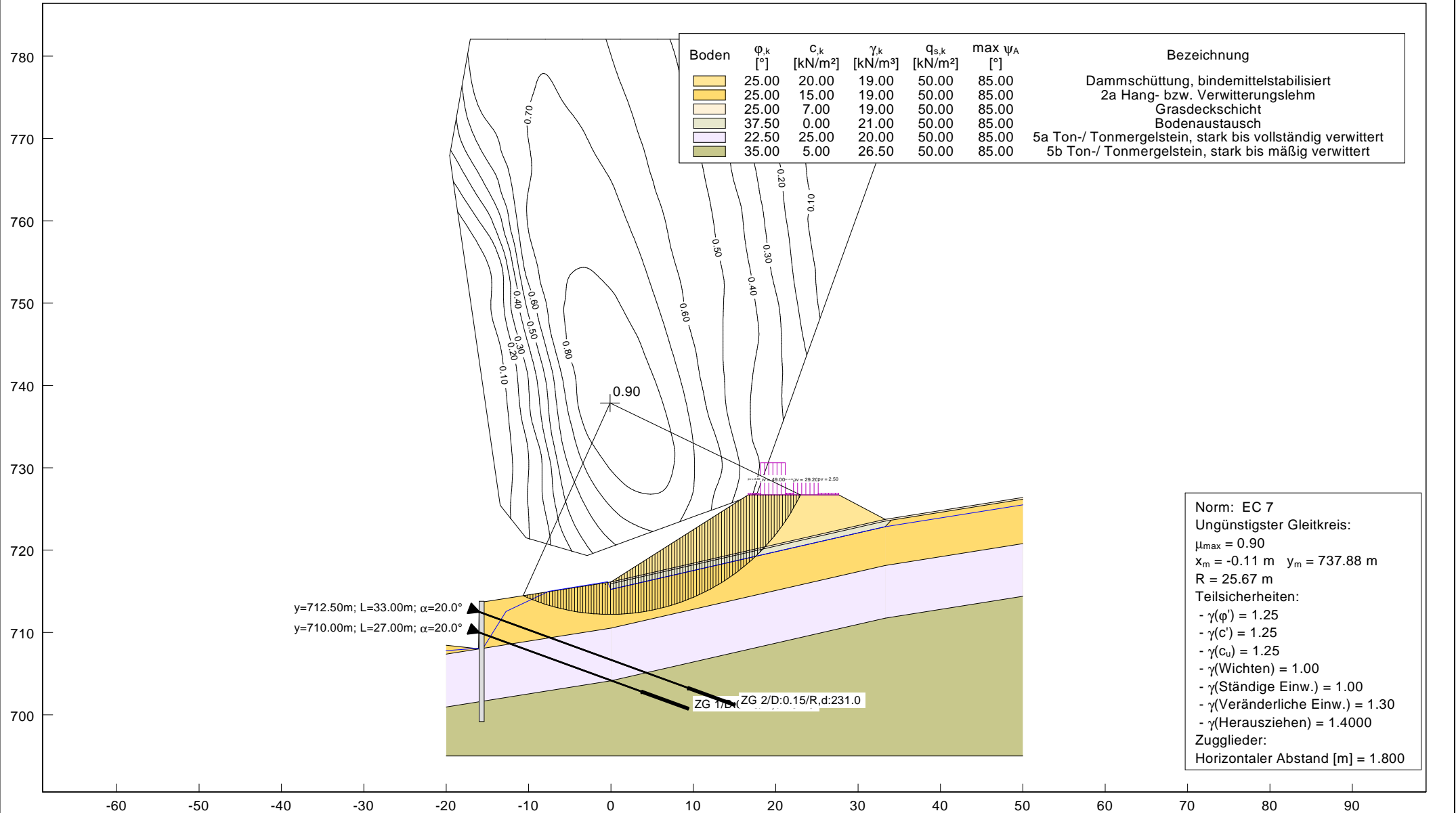
Schnitt 2 - km 2+430, Bindemittelstabilisierung + Bohrpfehlwand\_ BS-P

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.2.2.3

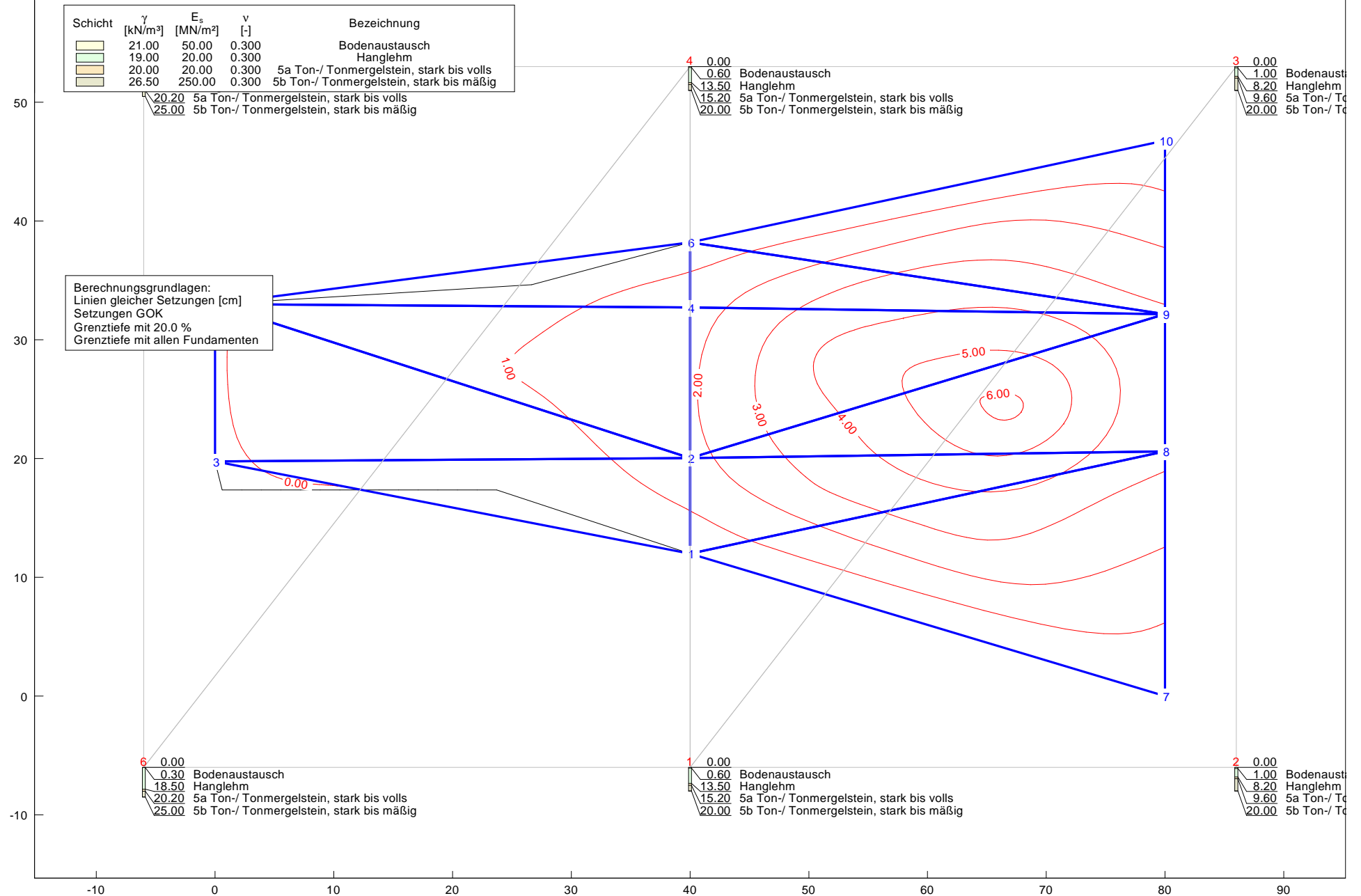
Bearbeiter: Mö

Datum: 22.12.2017



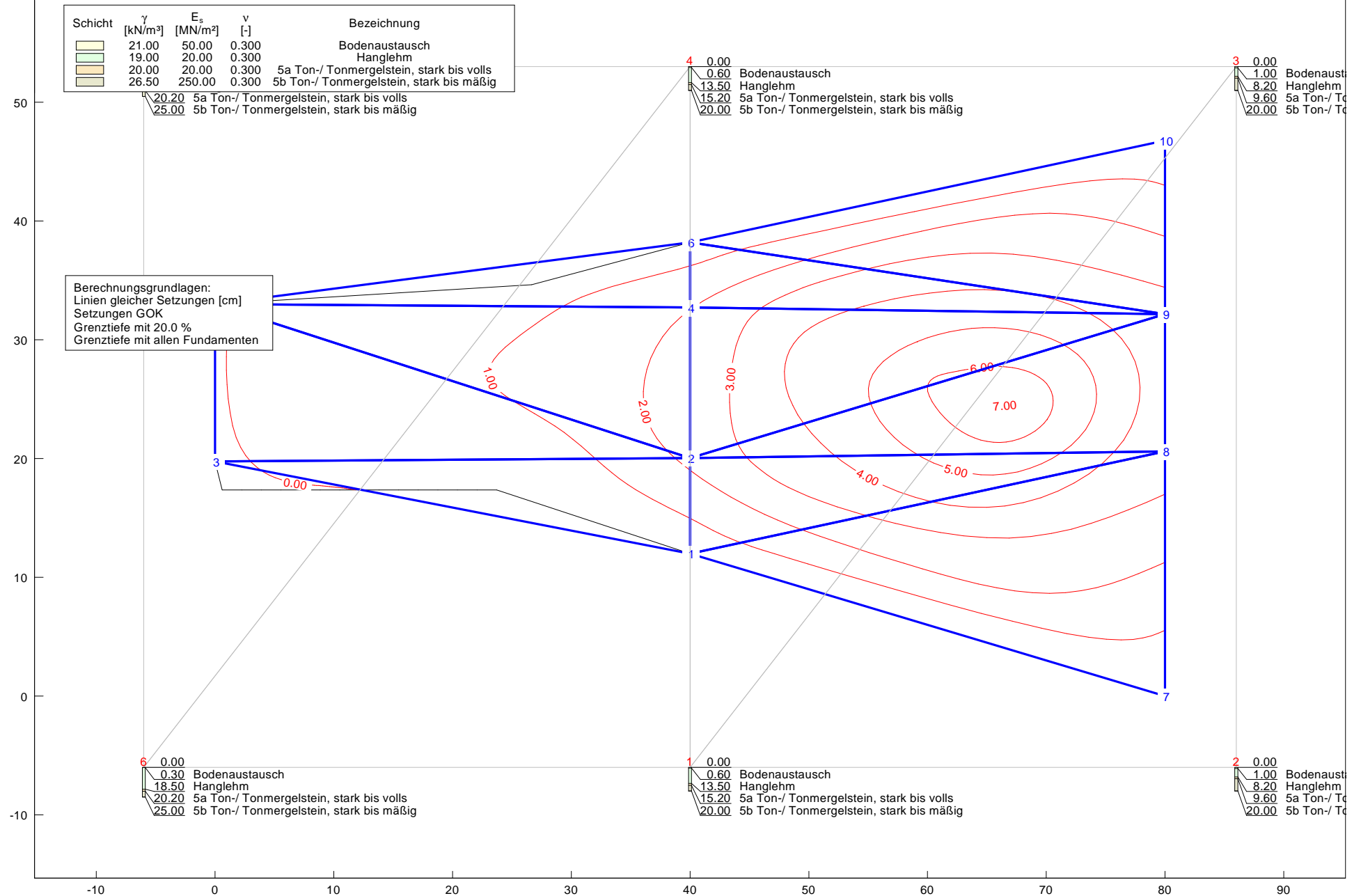
# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 2 Schnitt 3 - km 2+860, Konventionelle Schüttung \_ BS-P

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.3.1.1  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 21.12.2017



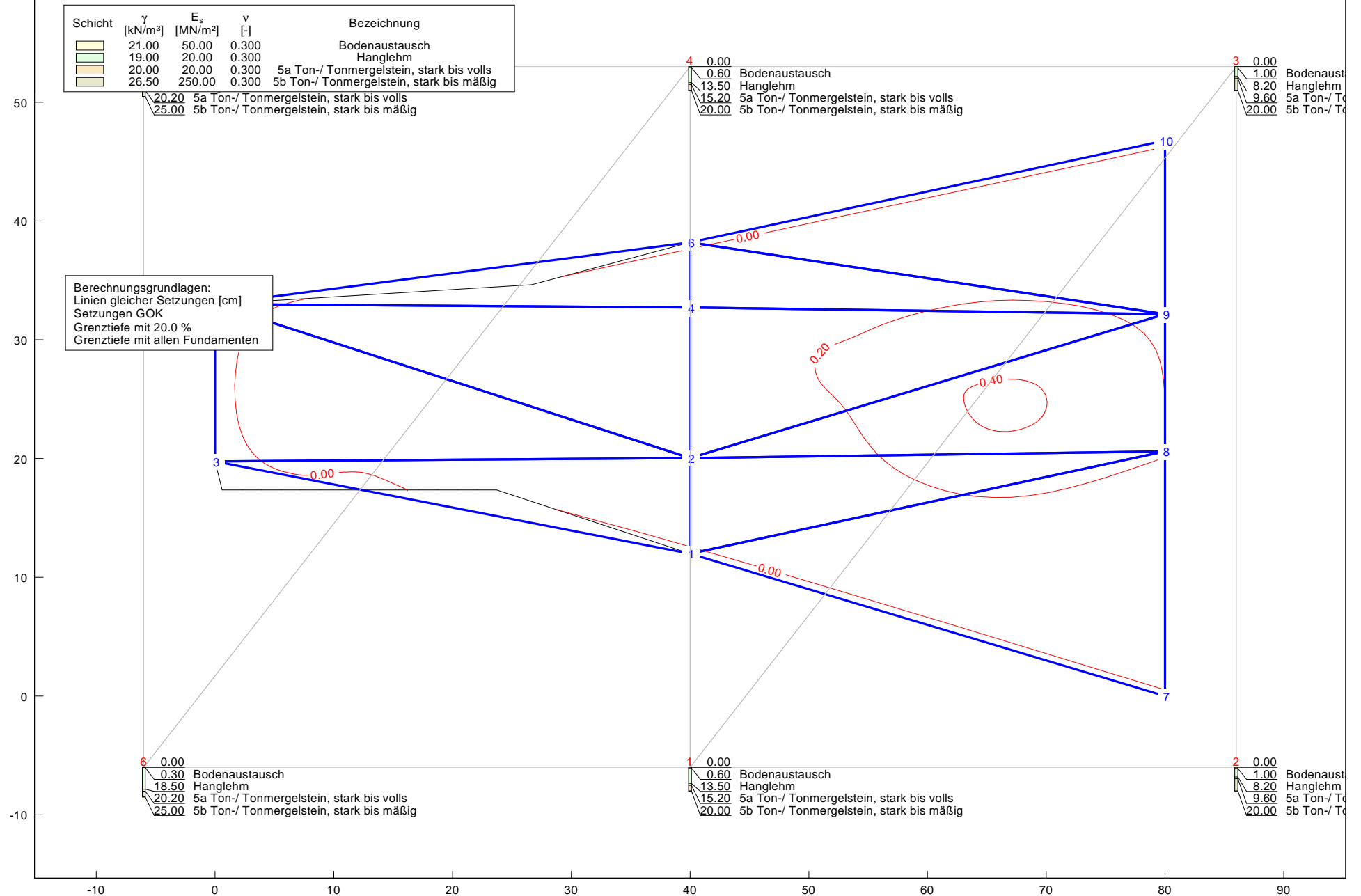
# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 2 Schnitt 3 - km 2+860, Grobkörnige Schüttung \_ BS-P

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.3.2.1  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 21.12.2017



# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 2 Schnitt 3 - km 2+860, Glasschaumschotter \_ BS-P

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.3.3.1  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

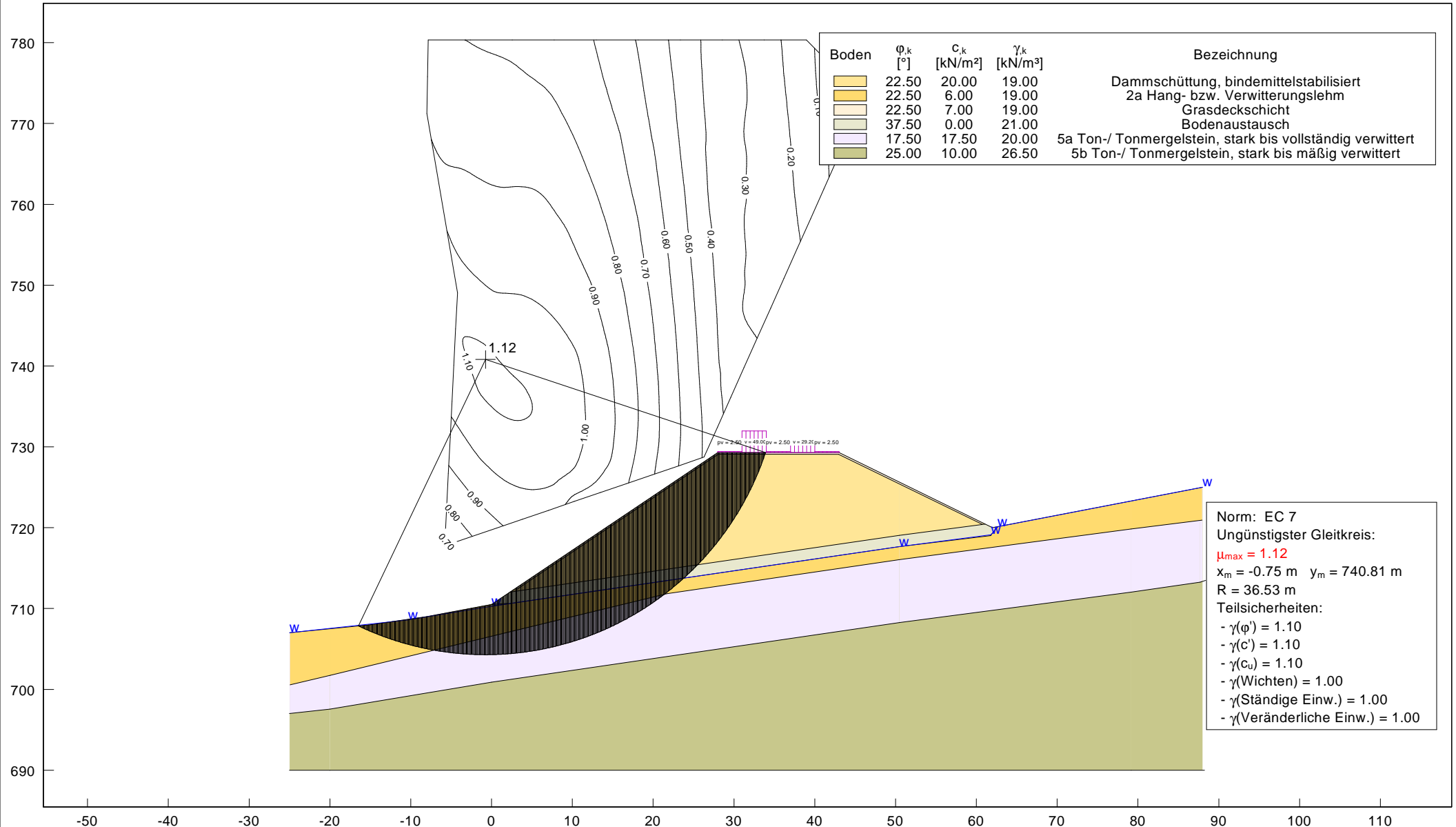
Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallrichtung, Bindemittelstabilisierung BS-A

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.4.1.1

Bearbeiter: Mö

Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

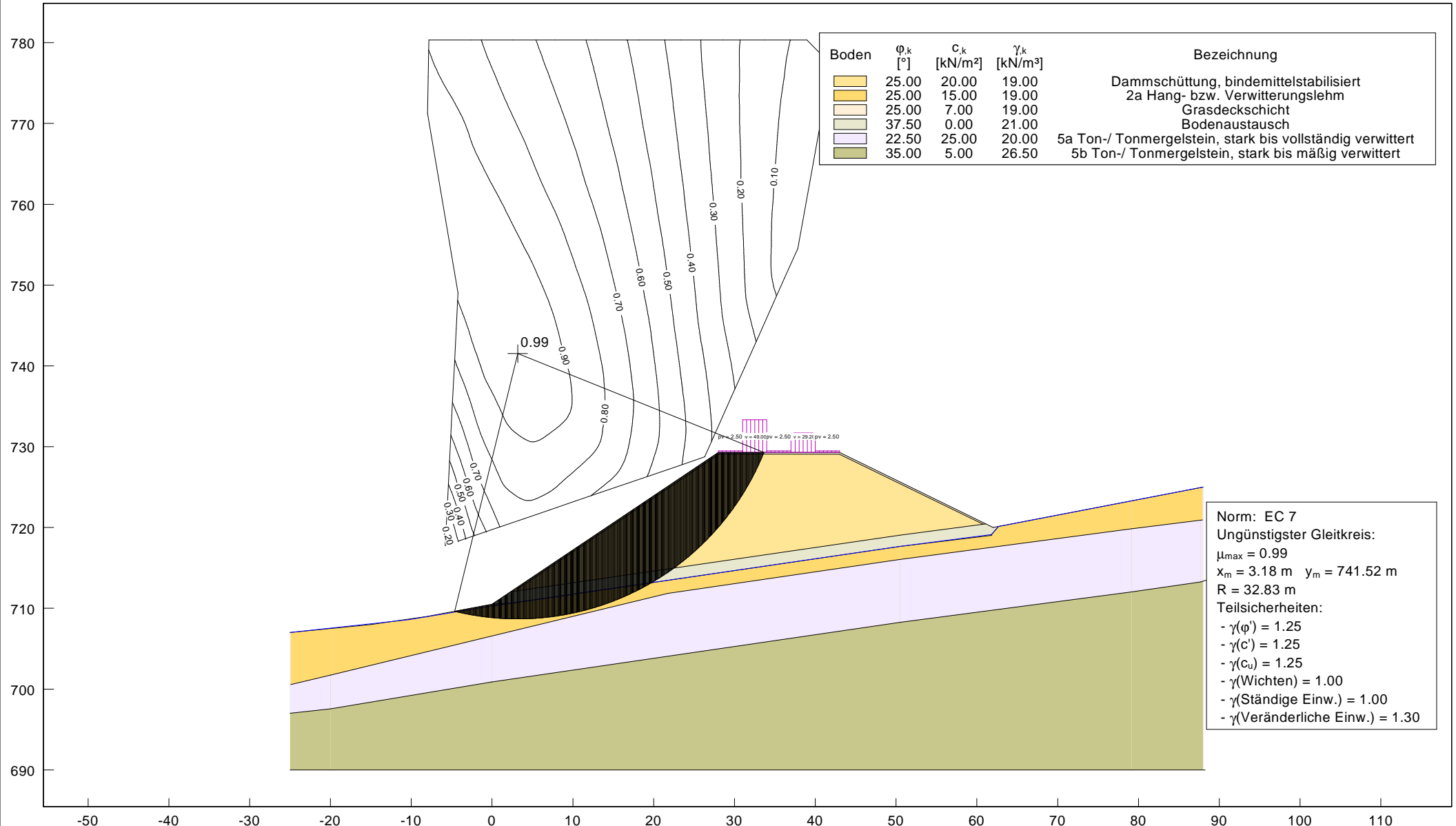
Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallrichtung, Bindemittelstabilisierung BS-P

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.4.1.2

Bearbeiter: Mö

Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

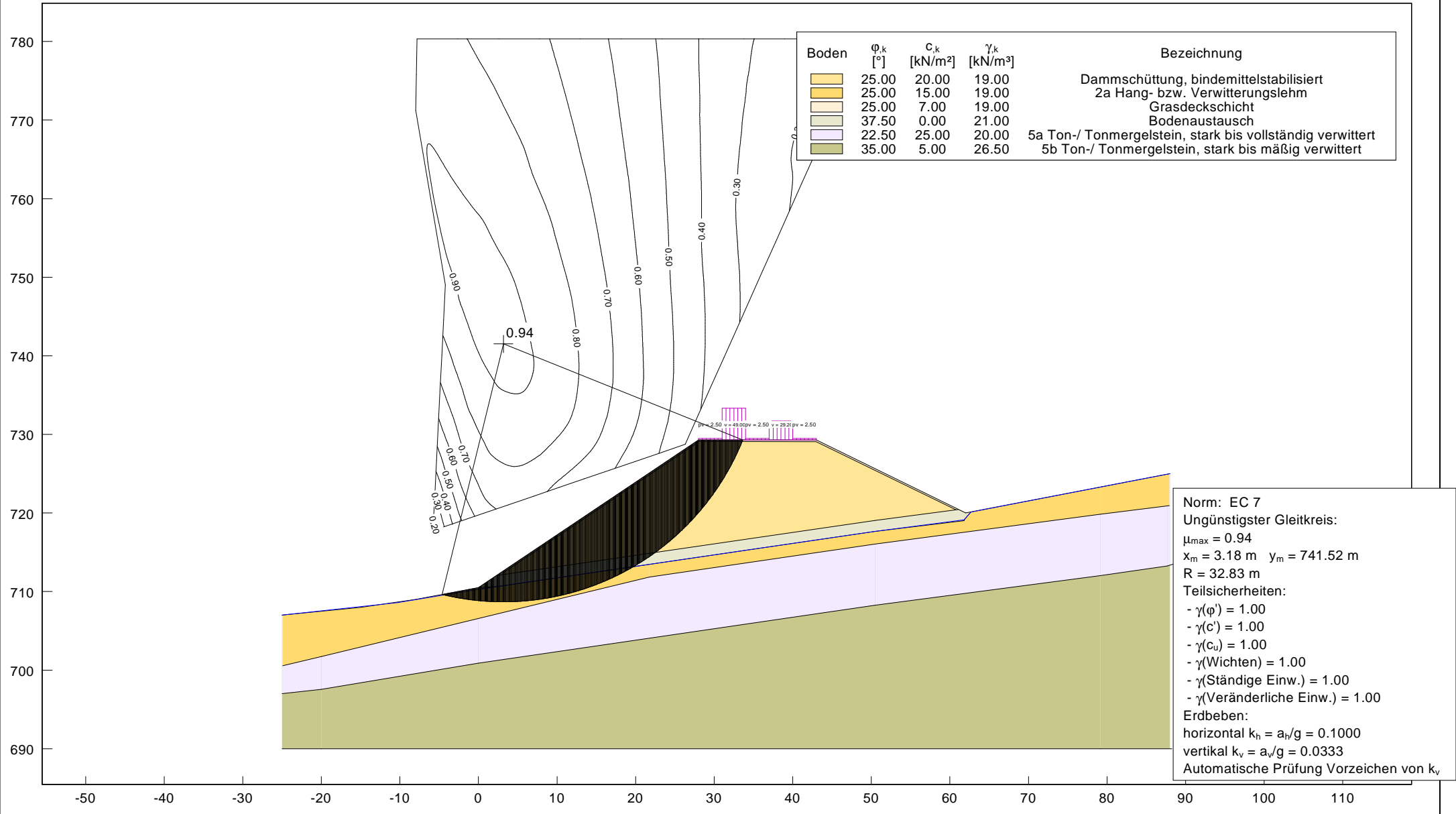
Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallrichtung, Bindemittelstabilisierung BS-E

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.4.1.3

Bearbeiter: Mö

Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

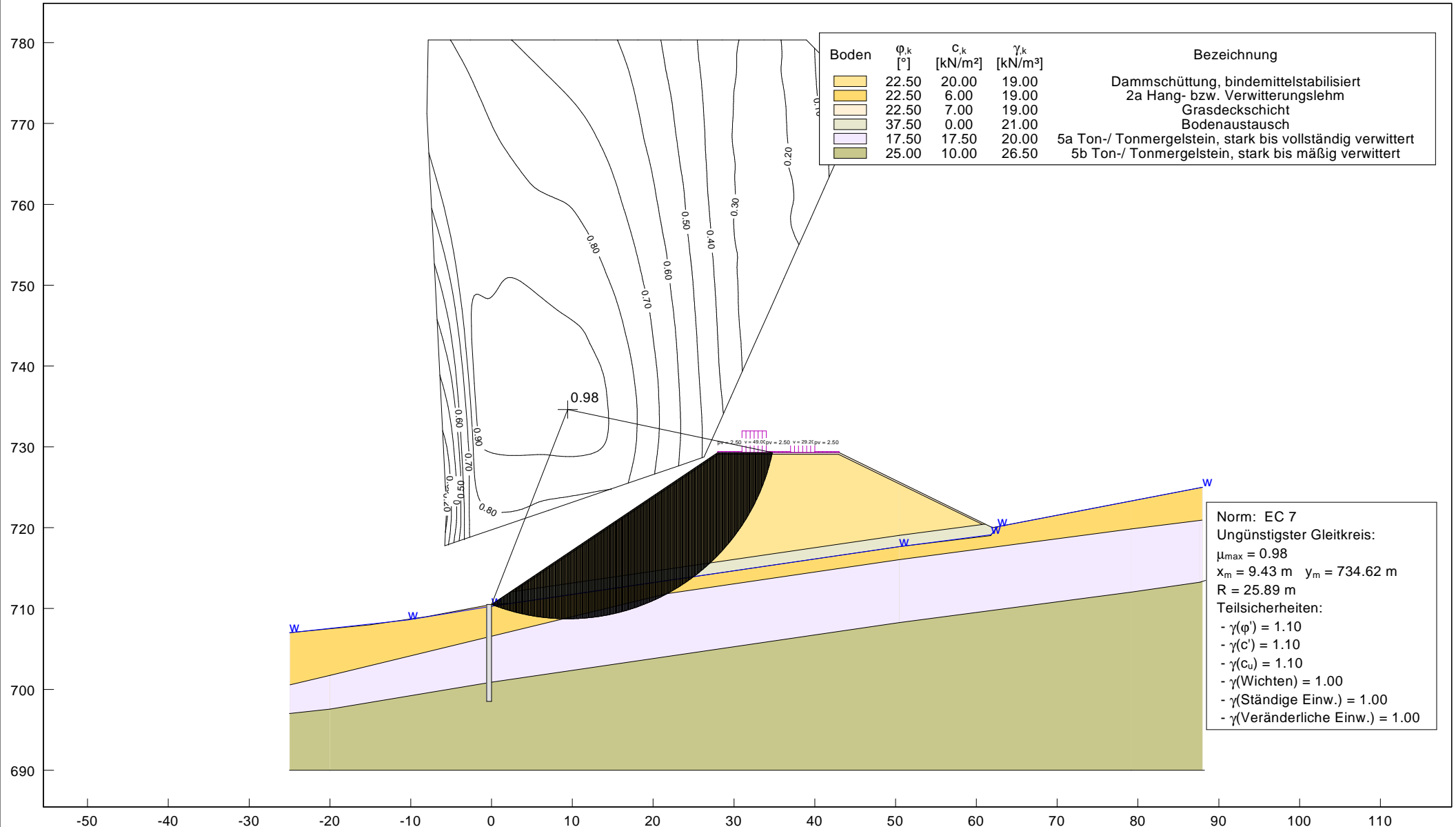
Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallrichtung, Bindem. + Bohrpfähle BS-A

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.4.2.1

Bearbeiter: Mö

Datum: 21.12.2017





DR. SPANG

Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1

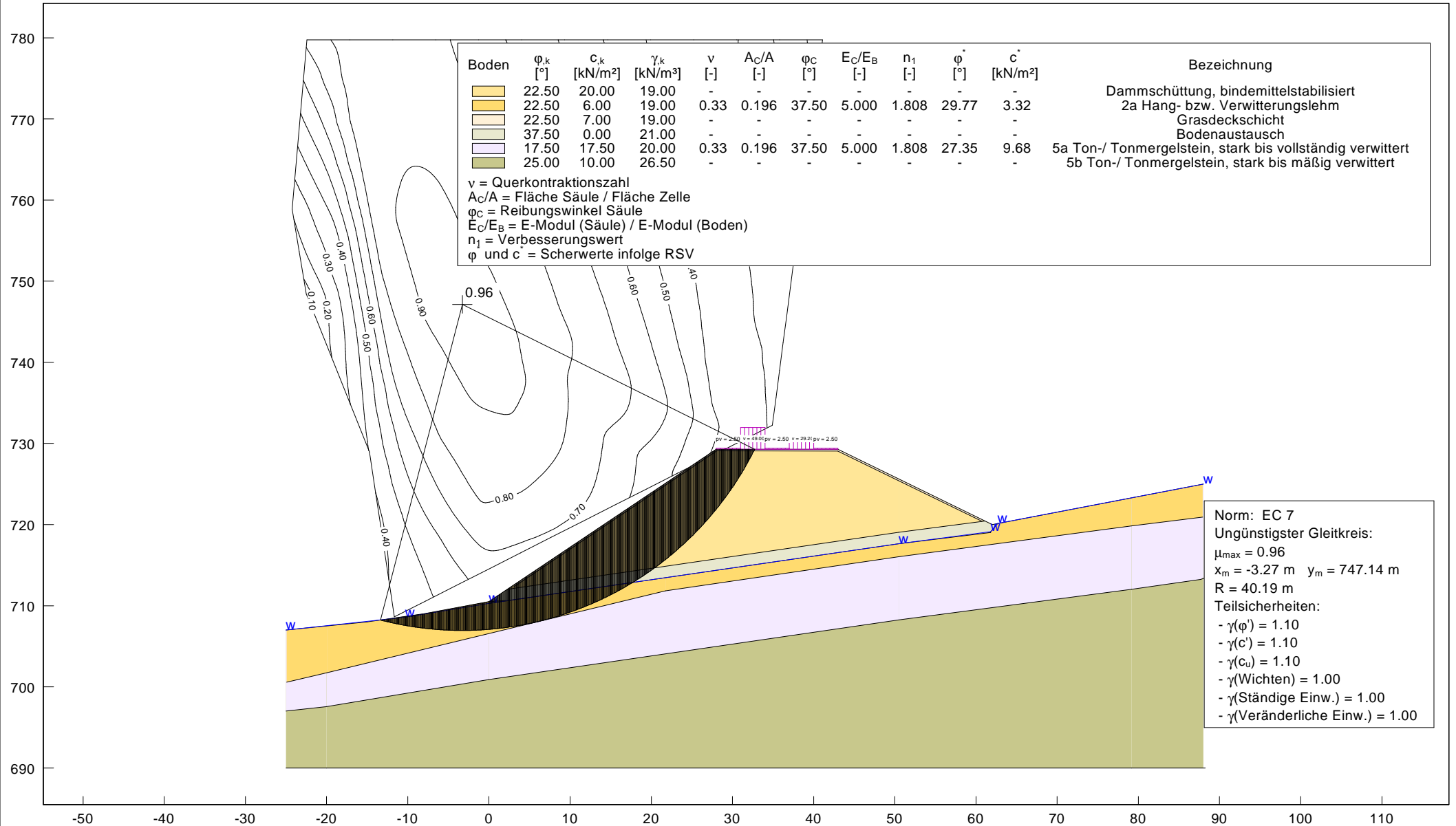
Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallr., Bindem. + Rüttelstopfsäulen BS-A

Projekt: P 38.5387

Anlage: 3.4.3.1

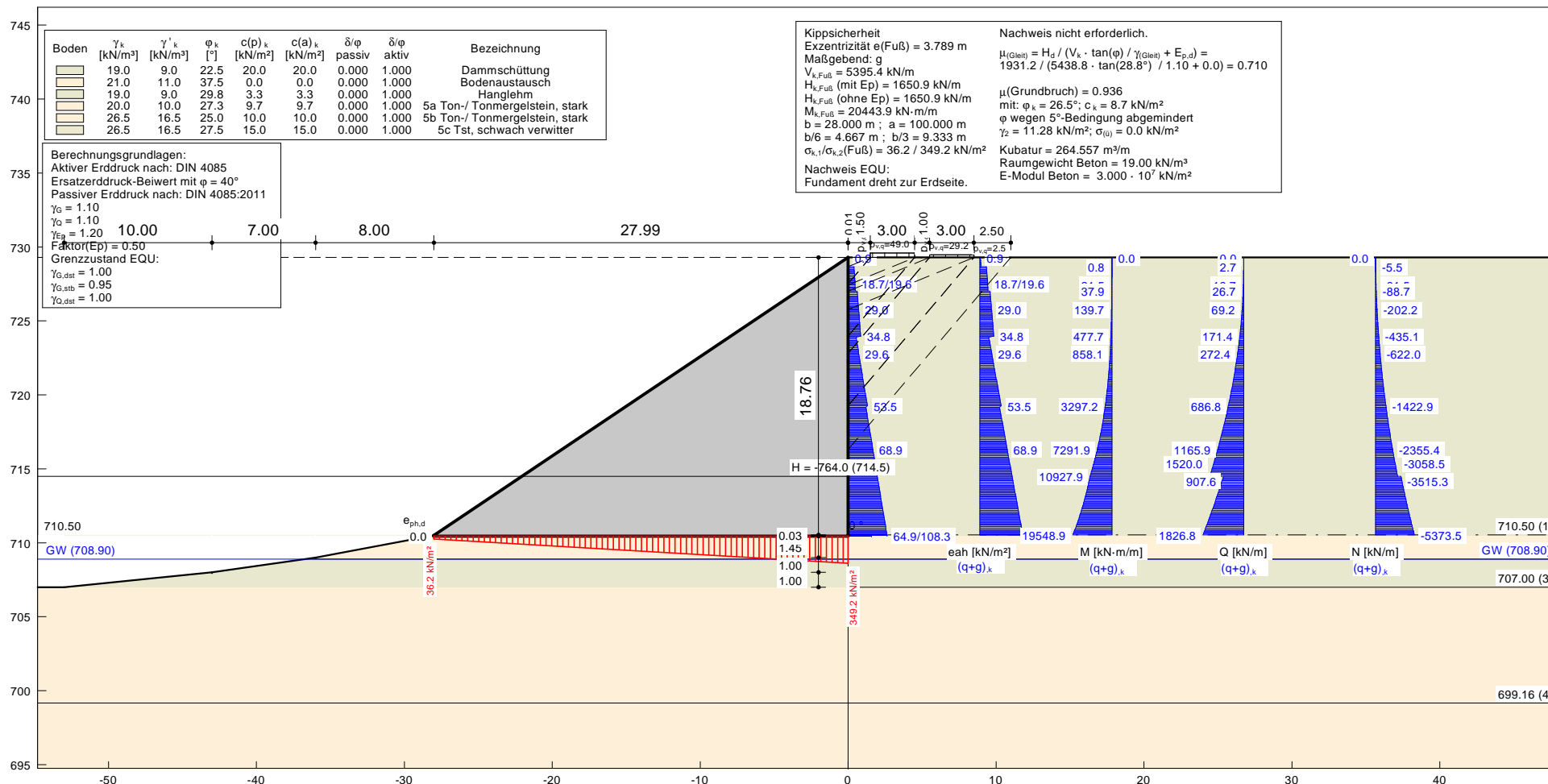
Bearbeiter: Mö

Datum: 29.01.2018



# Projekt: Ortsumfahrung Lautlingen, Damm Nr. 1 Schnitt 4 - km 2+480 - 2+520 Hangfallr., Bindem. + Rüttelstopfsäulen BS-A

Projekt: P 38.5387  
 Anlage: 3.4.3.2  
 Bearbeiter: Mö  
 Datum: 29.01.2018





DR. SPANG

Projekt: 38.5387

30.01.2018

---

## **Anlage 4: Baugrundaufschlüsse**

### INHALT

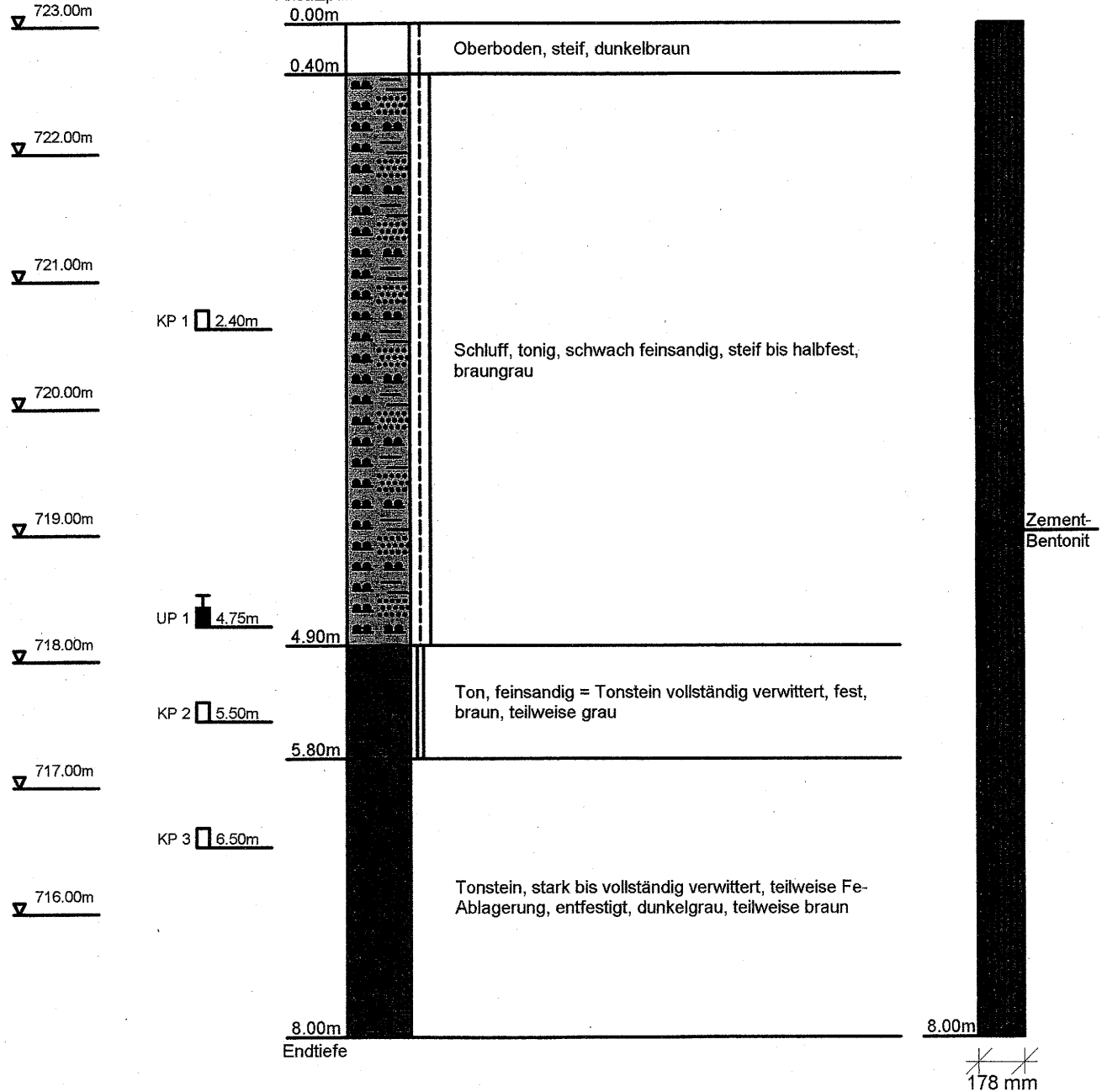
4.0	Titelblatt	(1)
4.1	Baugrundaufschlüsse	(28)

Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 03.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50 / 25
	Rechtswert: 3496991.569
	Hochwert: 5341401.325

Anlage 3.10

## BK 10

Ansatzpunkt: 723.030 mNN



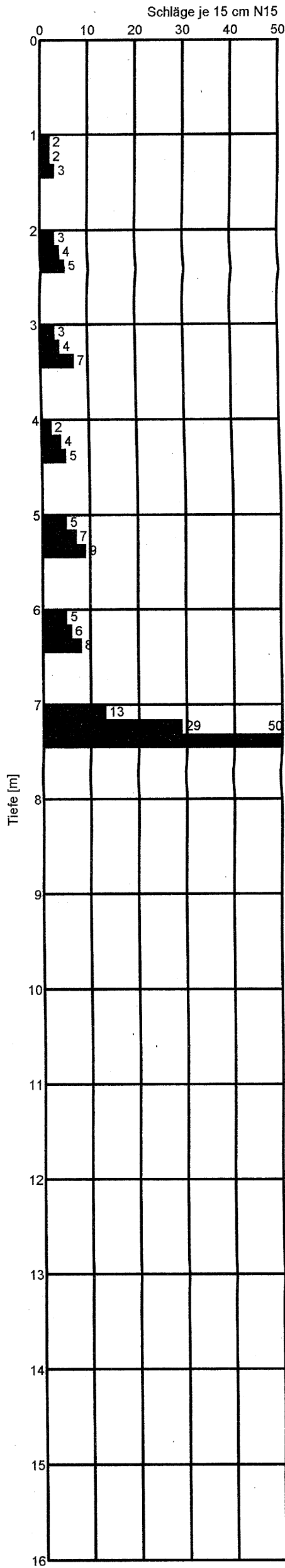
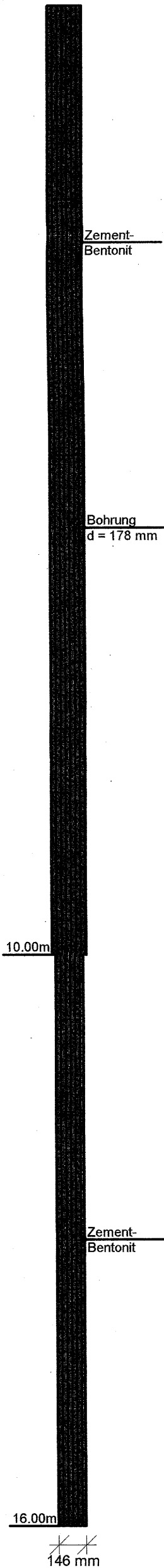
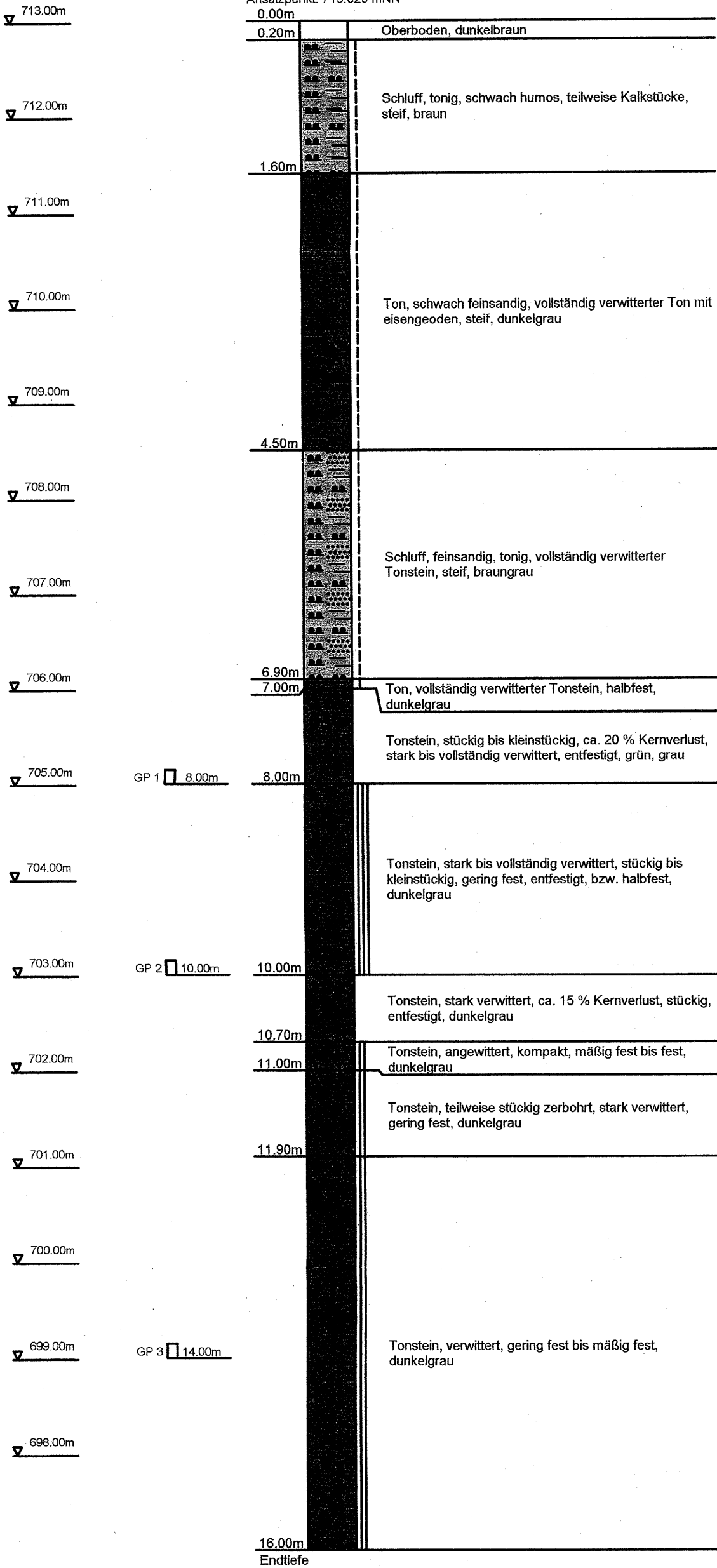
Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH  
Kreuzweg 3  
84332 Hebertsfelden  
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230

Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen  
AG Regierungspräsidium Tübingen  
Datum: 13. - 14.05.2008  
Maßstab: 1:50 / 25  
Rechtswert: 3497162.522  
Hochwert: 5341201.963

Anlage 3.AA  
SPT

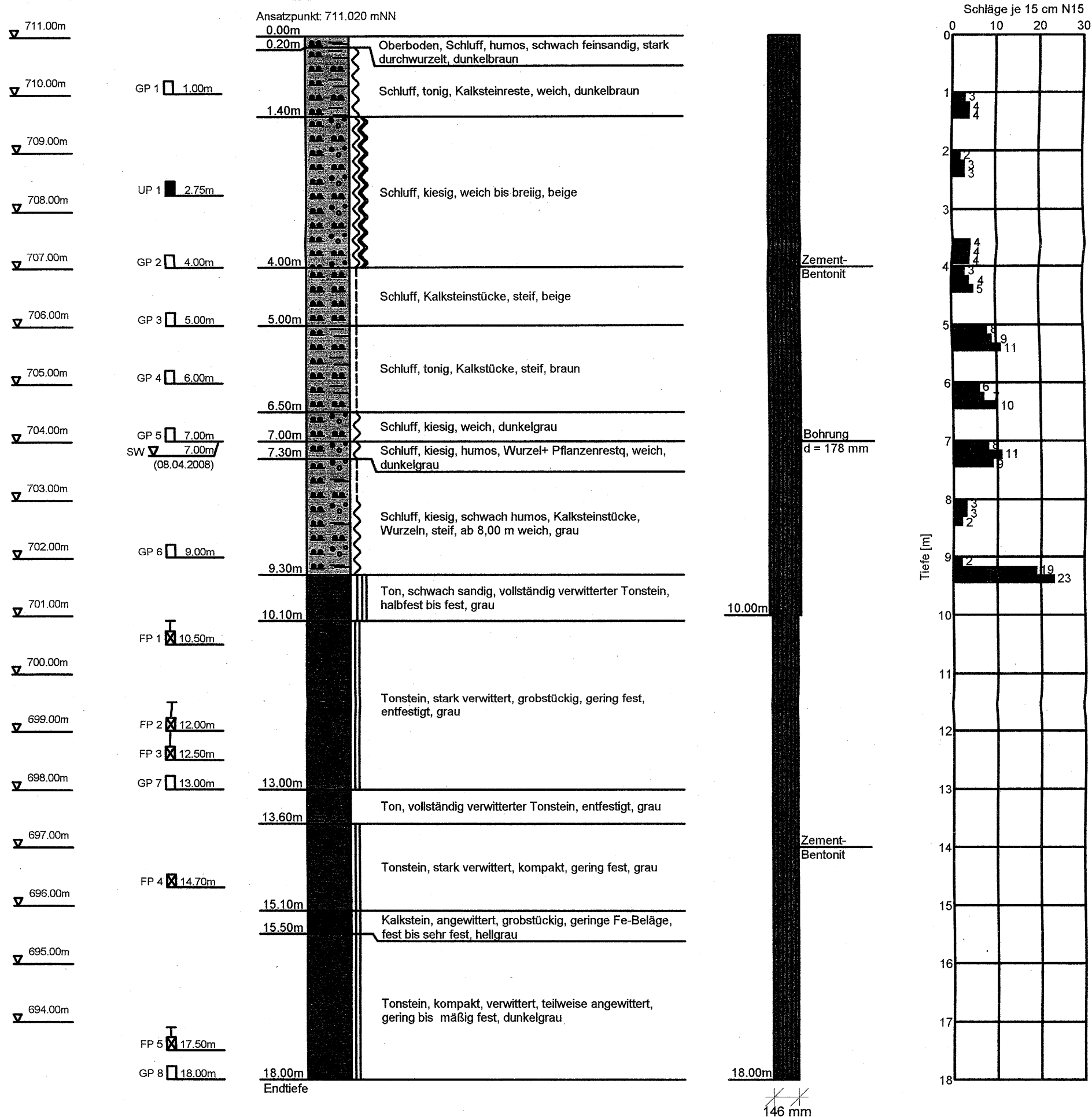
BK 11

Ansatzpunkt: 713.020 mNN



Anlage 3.12

SPT



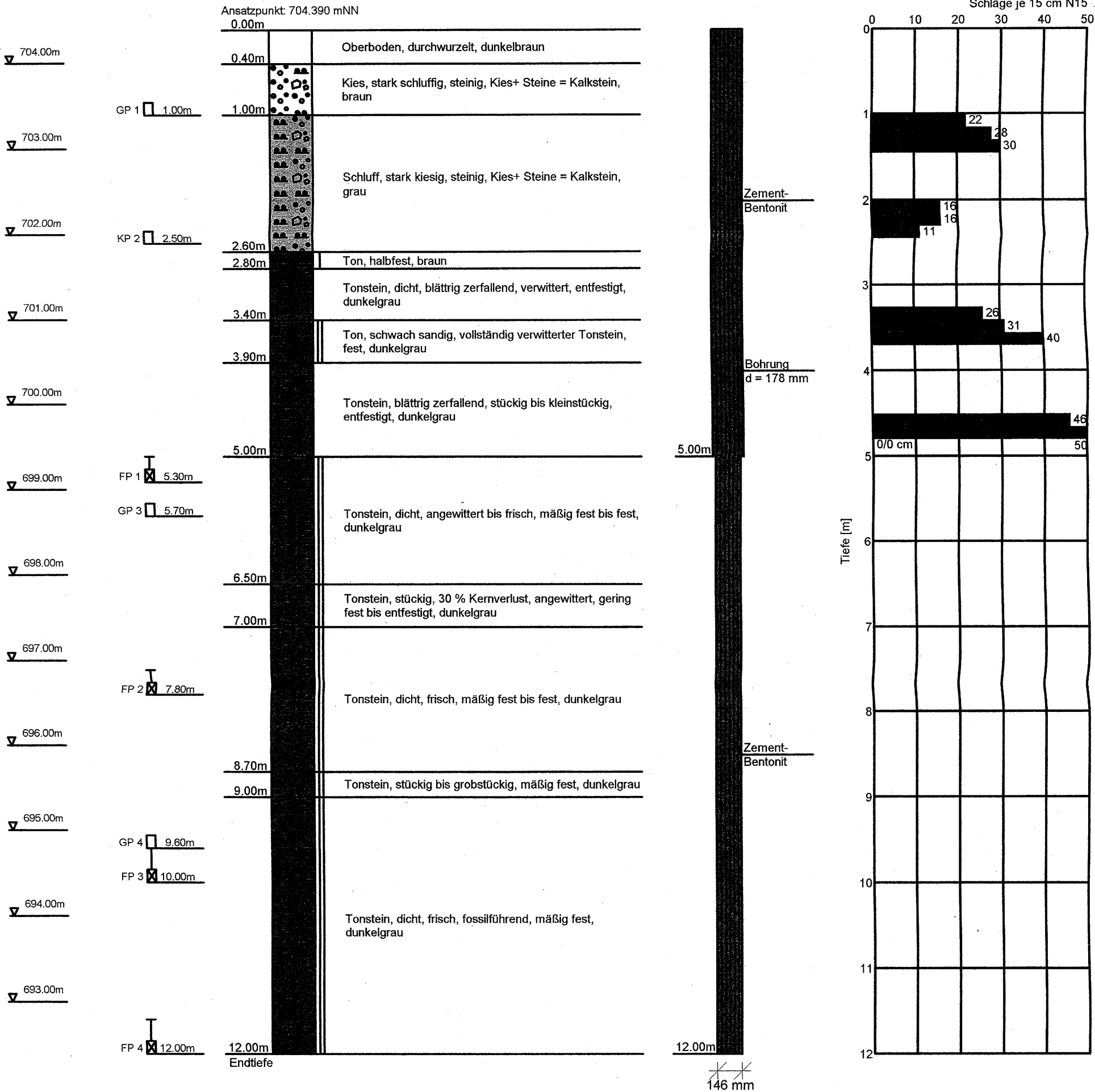
Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Ort: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG: Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 10.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50 / 25
	Rechtswert: 3497236.416
	Hochwert: 5341153.832

Anlage 3.13

BK 13

SPT

Schläge je 15 cm N15



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH  
Kreuzweg 3  
84332 Hebertsfelden  
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230

Obj : Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen  
AG : Regierungspräsidium Tübingen  
Datum: 09.04.2008  
Maßstab: 1:50 / 25  
Rechtswert: 3497276.682  
Hochwert: 5341121.465

Anlage 3.14

### BK 14

Ansatzpunkt: 703.760 mNN  
0.00m

703.00m

702.00m

701.00m

700.00m

699.00m

698.00m

697.00m

696.00m

695.00m

694.00m

693.00m

692.00m

GP 1 1.00m

KP 2 2.00m

GP 3 3.00m

UP 1 4.25m

FP 1 6.90m  
GP 4 7.00m

FP 2 8.30m

FP 3 9.40m

FP 4 11.00m

FP 5 11.90m  
GP 5 12.00m

0.50m	Oberboden, Schluff, feinsandig, kiesig, schwach humos, dunkelbraun
1.00m	Schluff, kiesig, braun
2.70m	Kies, stark schluffig, sandig, beige, grau
3.50m	Schluff, tonig, kiesig, steif, grau
6.00m	Tonstein, stark verwittert, blättrig zerfallend, grobstückig, gering fest bis entfestigt, dunkelgrau
7.30m	Tonstein, angewittert, kompakt, mäßig fest bis fest, dunkelgrau
8.20m	Tonstein, stark verwittert, kompakt, gering fest, dunkelgrau
9.40m	Tonstein, stark bis vollständig verwittert, stückig, entfestigt, dunkelgrau
9.60m	Kalkstein, frisch, kompakt, sehr fest, dunkelgrau
12.00m	Tonstein, verwittert, kompakt, gering fest, dunkelgrau

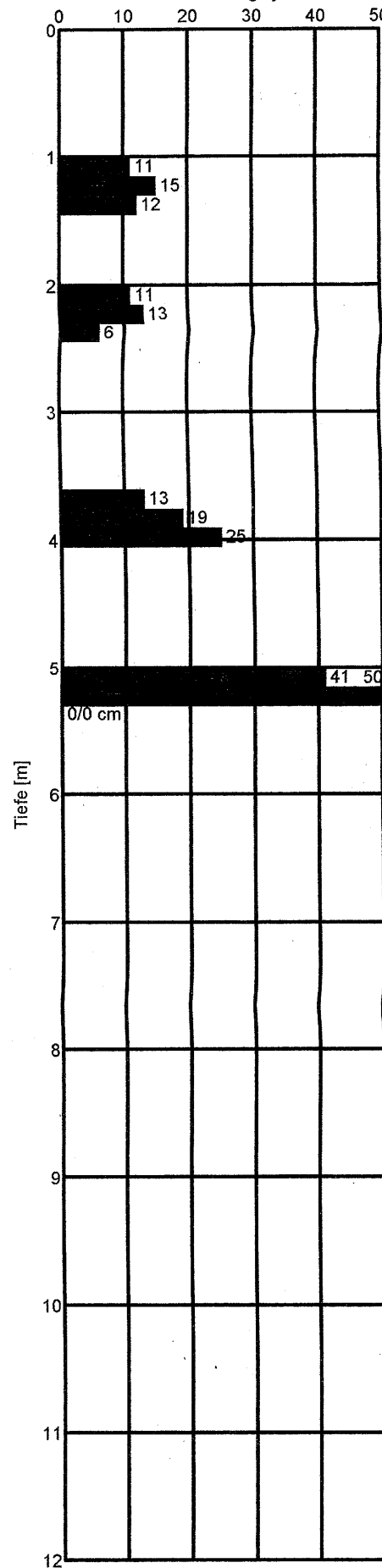
Endtiefe



146 mm

### SPT

Schläge je 15 cm N15

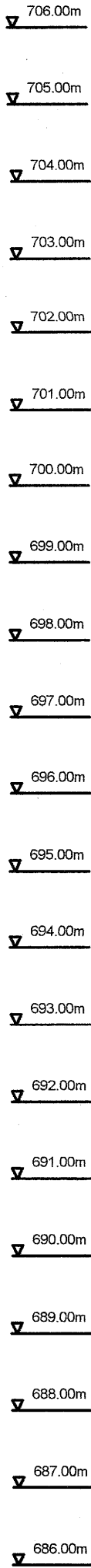


Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Ob: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG: Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 11. - 15.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:75 / 25
	Rechtswert: 3497328.744
	Hochwert: 5341127.486

AWAG 3.15

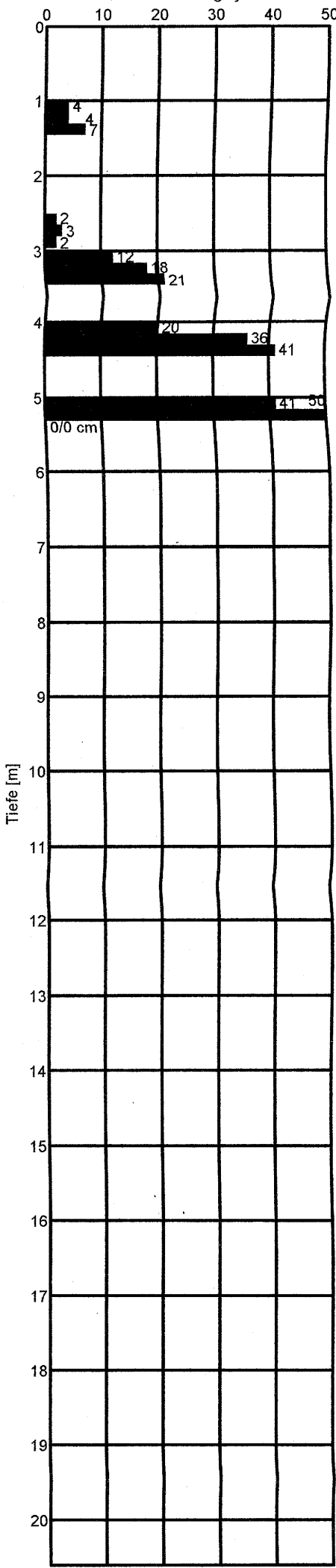
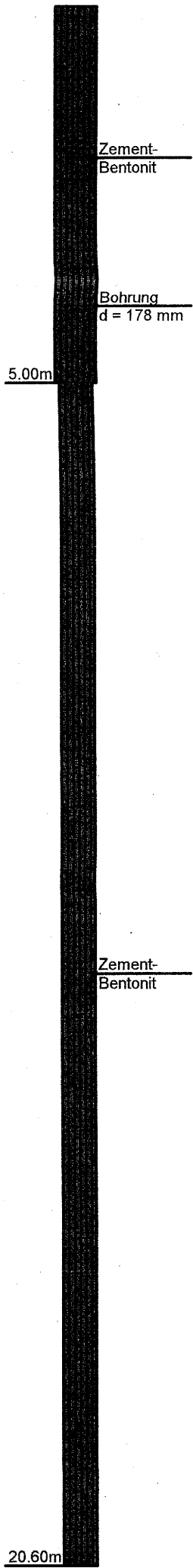
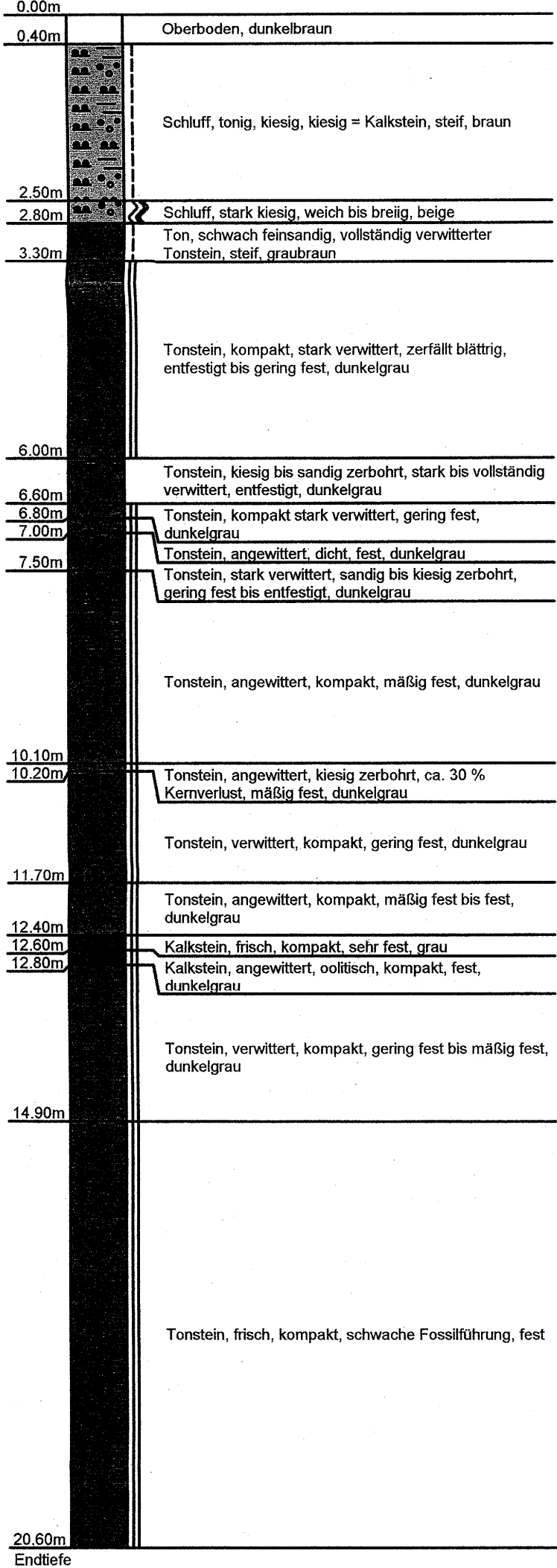
SPT

Schläge je 15 cm N15



BK 15

Ansatzpunkt: 706.150 mNN



146 mm

Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH  
Kreuzweg 3  
84332 Hebertsfelden  
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230

Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen  
AG: Regierungspräsidium Tübingen  
Datum: 16. - 17.04.2008  
Maßstab: 1:75 / 25  
Rechtswert: 3497378.160  
Hochwert: 5341109.968

Anlage 3.16  
SPT

## BK 16

Ansatzpunkt: 715.500 mNN  
0.00m

715.00m

714.00m

713.00m

712.00m

711.00m

710.00m

709.00m

708.00m

707.00m

706.00m

705.00m

704.00m

703.00m

702.00m

701.00m

700.00m

699.00m

698.00m

697.00m

696.00m

GP 1 2.00m

UP 1 2.75m

SW 8.50m

(17.04.2008)

GP 2 9.00m

GP 3 11.00m

FP 1 17.00m

GP 4 17.50m

0.30m Oberboden, dunkelbraun

7.80m

9.60m

12.60m

13.10m

14.00m

15.50m

16.50m

18.40m

18.70m

20.00m

Endtiefe

Schluff, kiesig, teilweise steinig, steif, beige, braun

Schluff, kiesig, teilweise steinig, weich, beige, braun

Tonstein, kleinstückig bis stückig, verwittert, entfestigt bis gering fest, dunkelgrau

Tonstein, dicht, angewittert, gering bis mäßig fest, dunkelgrau

Tonstein, stückig bis grobstückig, angewittert, gering fest, dunkelgrau

Tonstein, dicht, angewittert bis frisch, gering fest

Tonstein, dicht, angewittert, entfestigt

Tonstein, dicht, frisch, mäßig fest, dunkelgrau

Tonstein, kleinstückig bis kiesig, entfestigt bis gering fest, dunkelgrau

Tonstein, dicht, mäßig fest, dunkelgrau

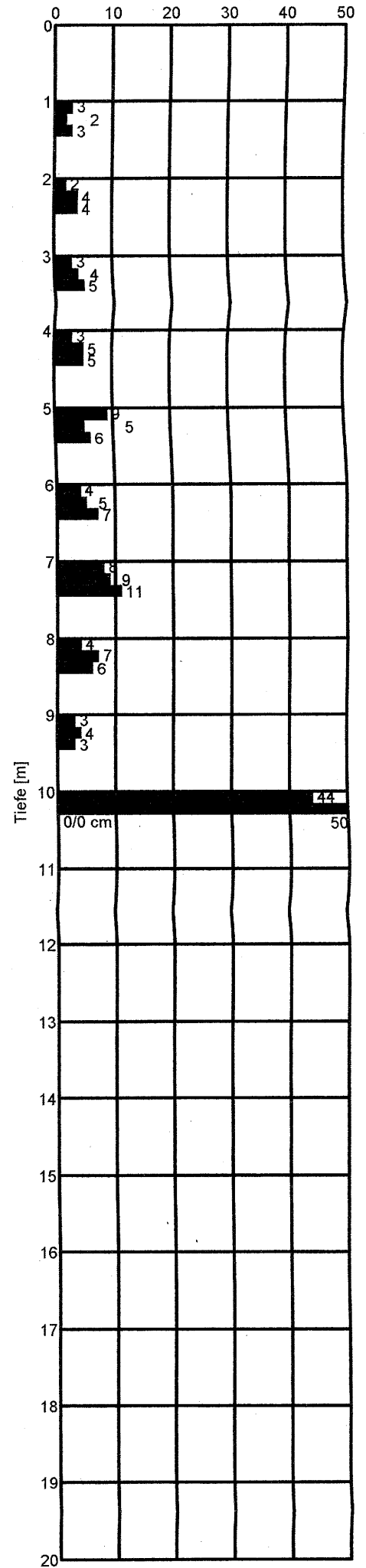
Zement-Bentonit

Bohrung  
d = 178 mm

Zement-Bentonit

20.00m  
146 mm

Schläge je 15 cm N15



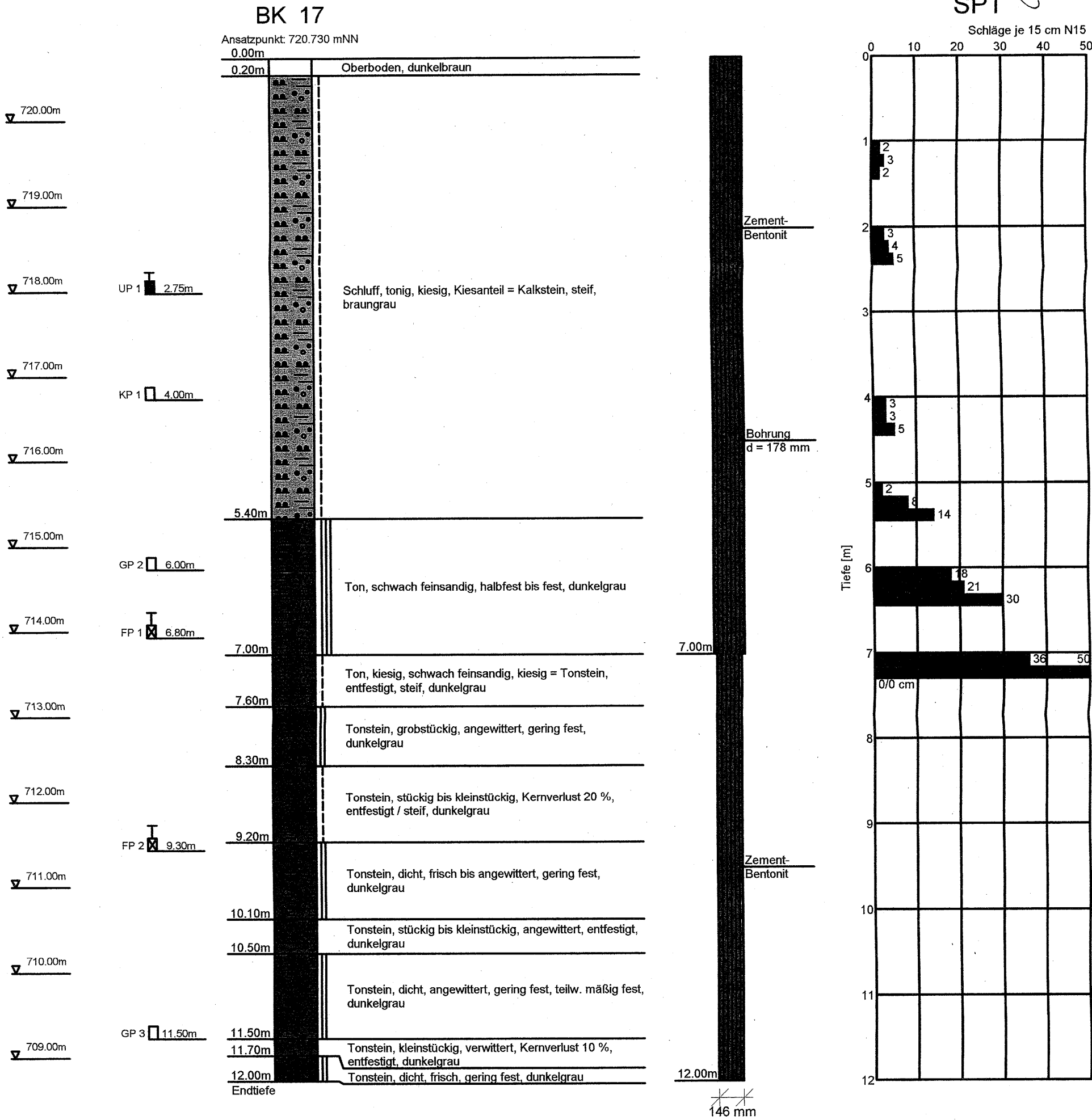
Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH  
Kreuzweg 3  
84332 Hebertsfelden  
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230

Ort: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen  
AG: Regierungspräsidium Tübingen  
Datum: 17. - 21.04.2008  
Maßstab: 1:50 / 25  
Rechtswert: 3497425.601  
Hochwert: 5341132.289

Anlage 3.17

SPT

Schläge je 15 cm N15



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG: Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 21. - 22.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50 / 25
	Rechtswert: 3497468.414
	Hochwert: 5341127.854

Anlage 3.18

BK 18

SPT

Ansatzpunkt: 728.730 mNN  
0.00m

Schläge je 15 cm N15

728.00m

727.00m

726.00m

725.00m

724.00m

723.00m

722.00m

721.00m

720.00m

719.00m

718.00m

717.00m

GP 1 2.00m

UP 1 2.75m

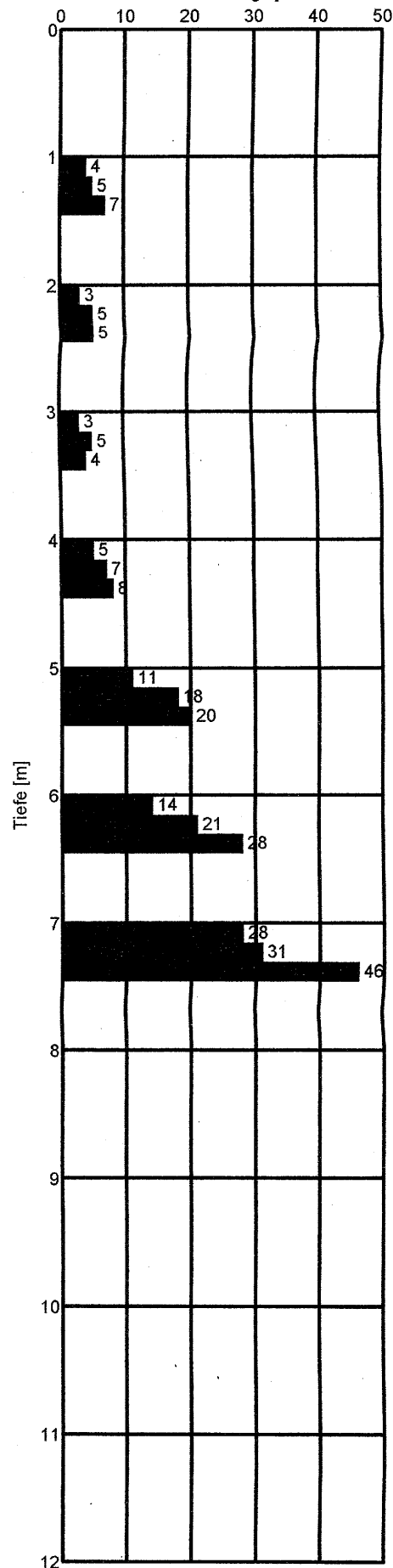
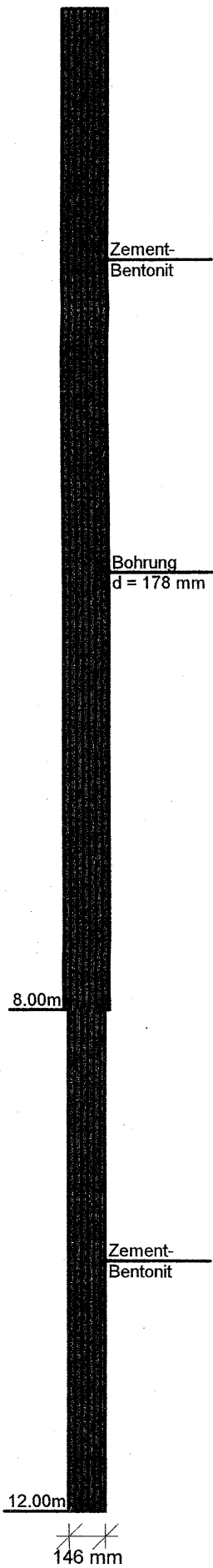
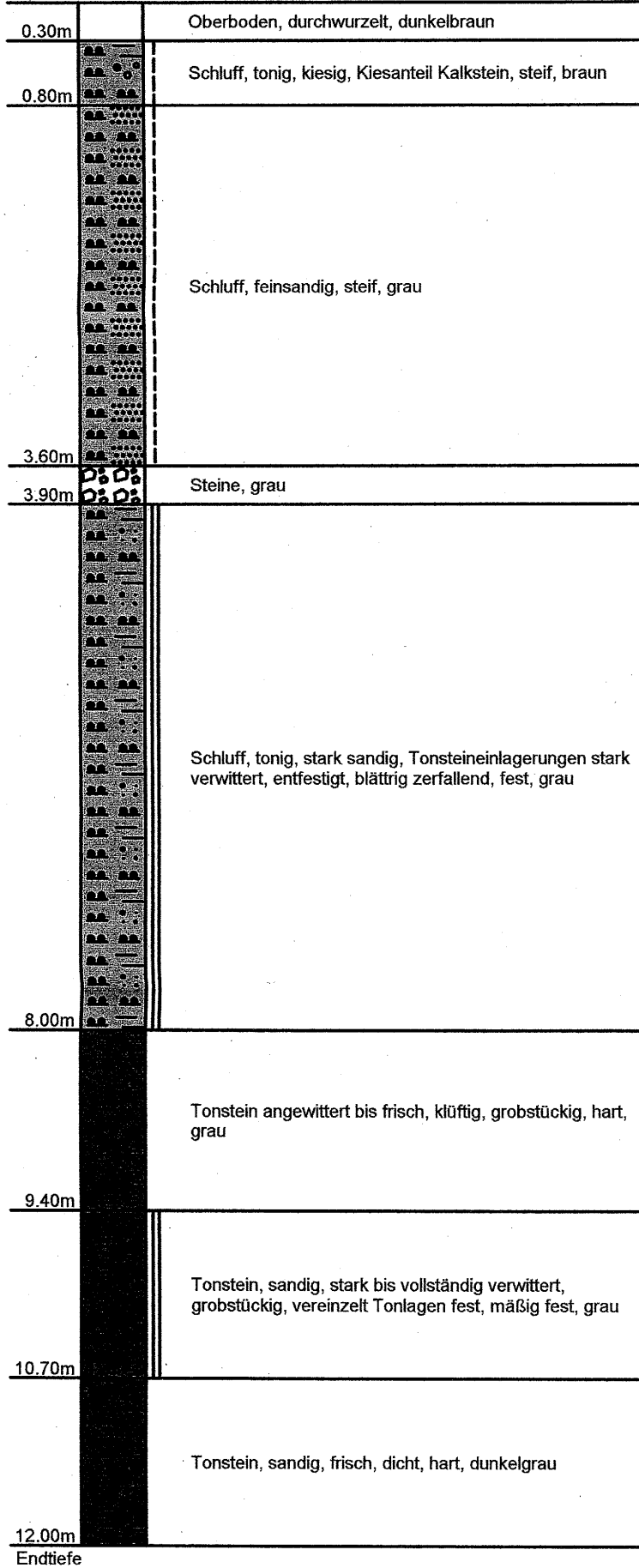
GP 2 5.00m

GP 3 9.00m

GP 4 10.00m

FP 1 11.00m

FP 2 11.50m



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH  
Kreuzweg 3  
84332 Hebertsfelden  
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230

Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen  
AG: Regierungspräsidium Tübingen  
Datum: 23. - 24.04.2008  
Maßstab: 1:75 / 25  
Rechtswert: 3497561.476  
Hochwert: 5341218.399

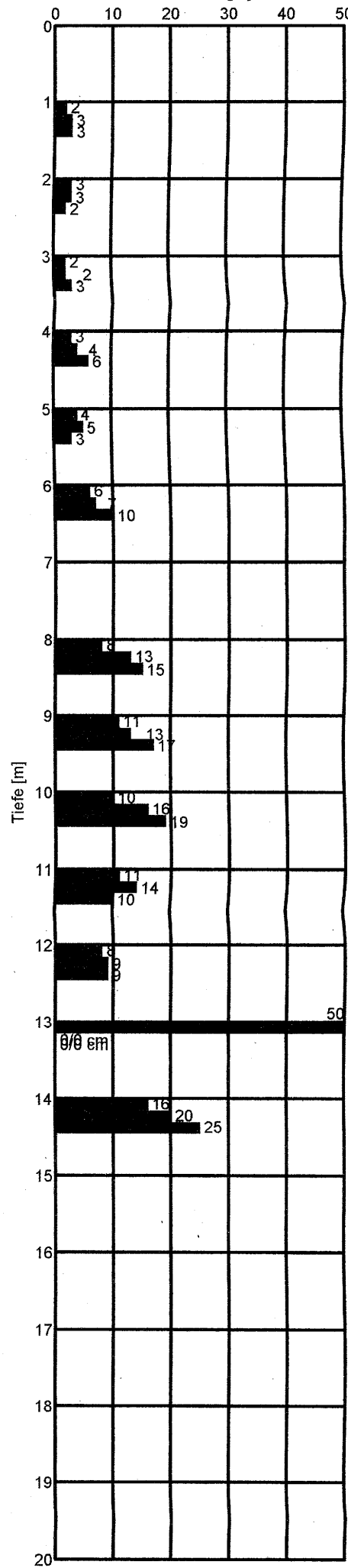
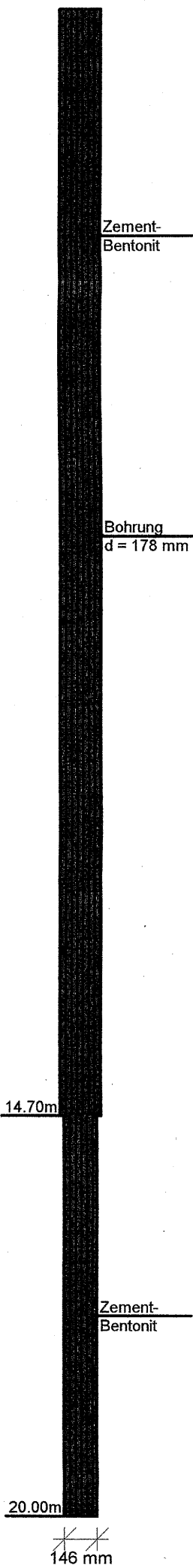
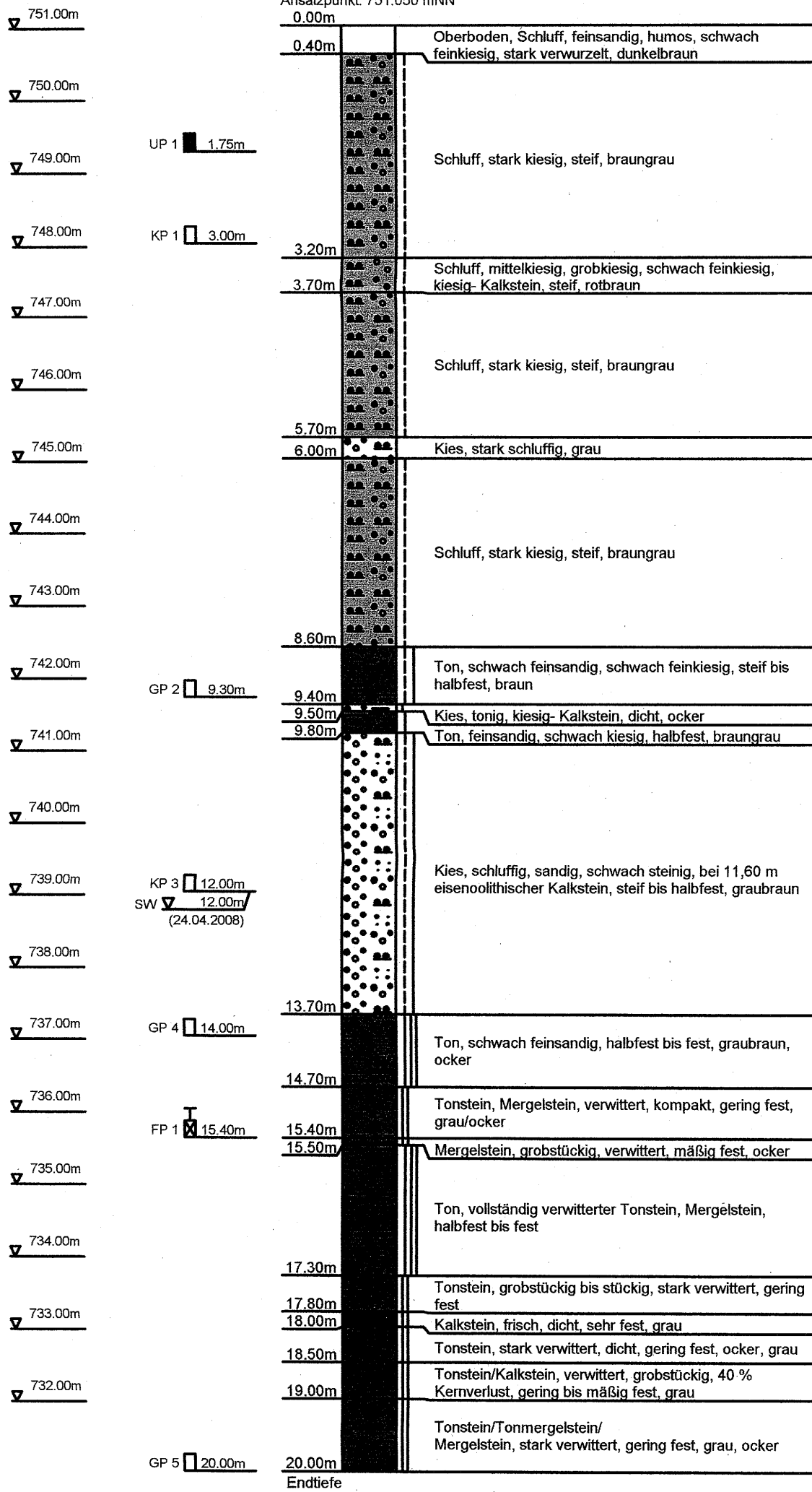
Anlage 3.19

### BK 19

### SPT

Ansatzpunkt: 751.050 mNN

Schläge je 15 cm N15

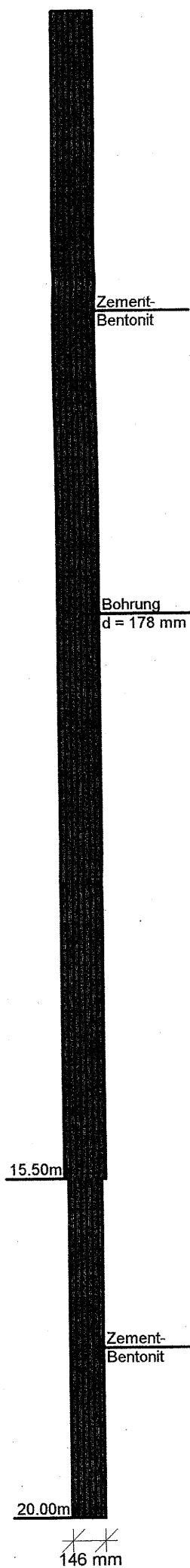
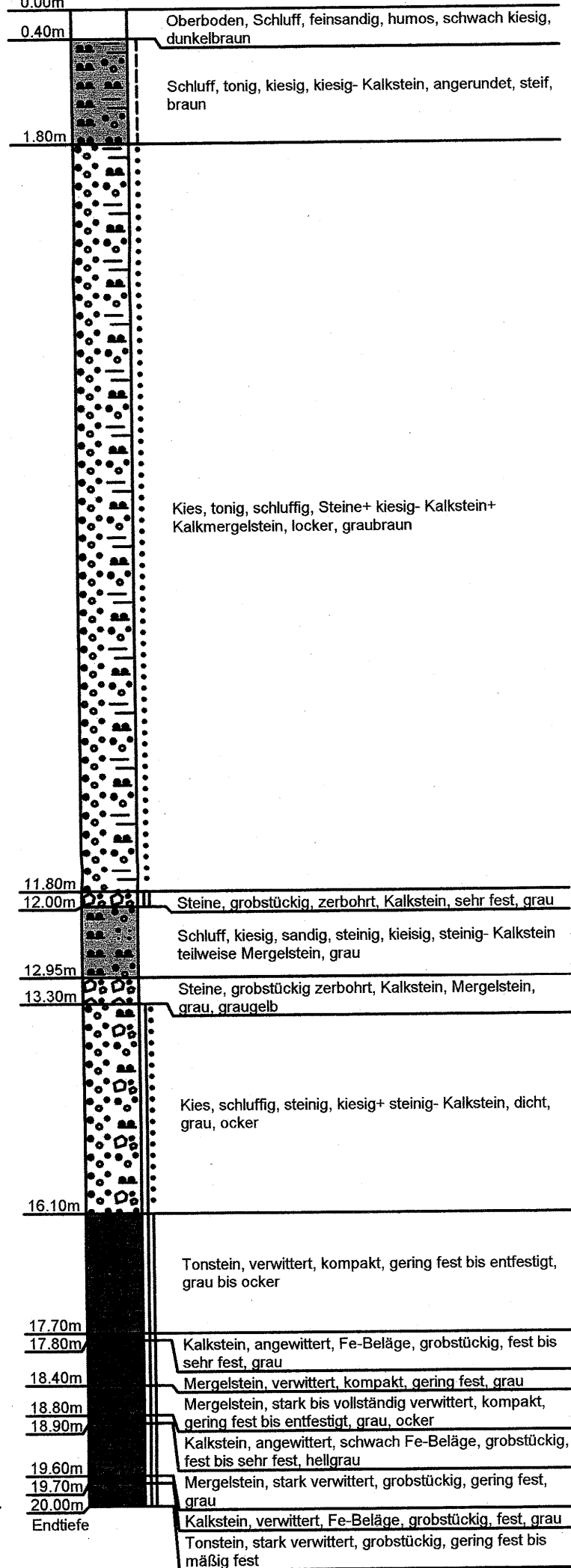
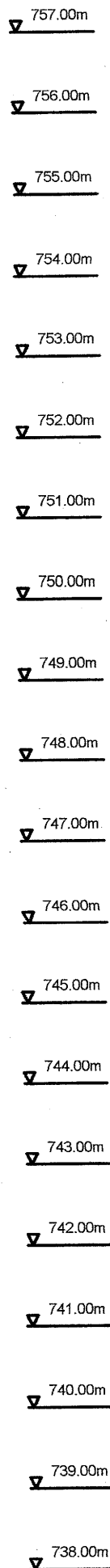


Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Ort: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG: Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 27. - 29.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:75 / 25
	Rechtswert: 3497589.951
	Hochwert: 5341187.526

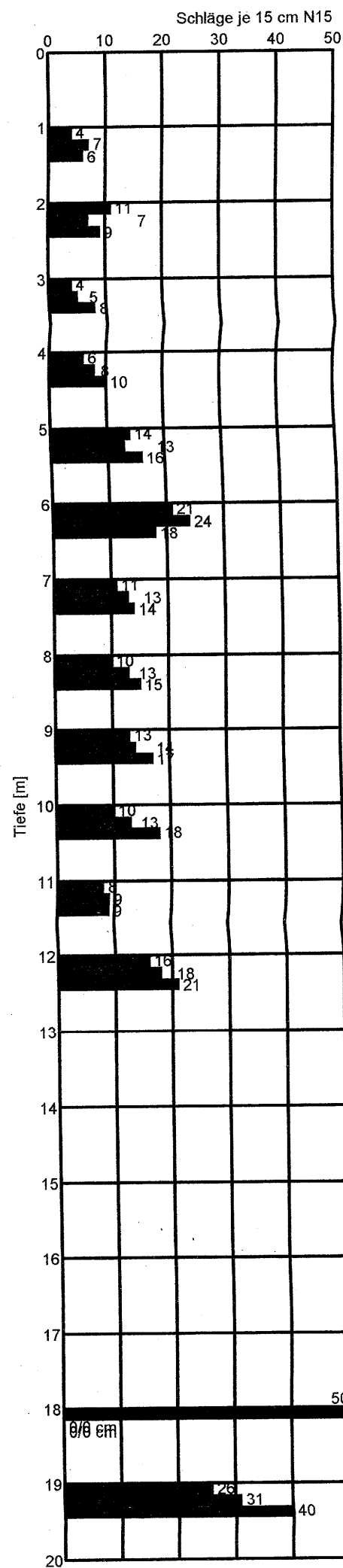
Anlage 320

# BK 20

Ansatzpunkt: 757.450 mNN  
0.00m



## SPT



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 14.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497075.832
	Hochwert: 5341410.493

*unterstage 4/12*

## BS 12

Ansatzpunkt: 712.030 mNN

▽ 712.00m

0.00m

0.20m

Mutterboden, OU

Mutterboden, OU

▽ 711.00m

Ton, feinsandig, halbfest, hellbraun, TL

▽ 710.00m

▽ 709.00m

GP 1 3.10m

3.10m

▽ 708.00m

GP 2 4.20m

Ton, halbfest bis fest, olivgrau, TM

GP 3 5.00m

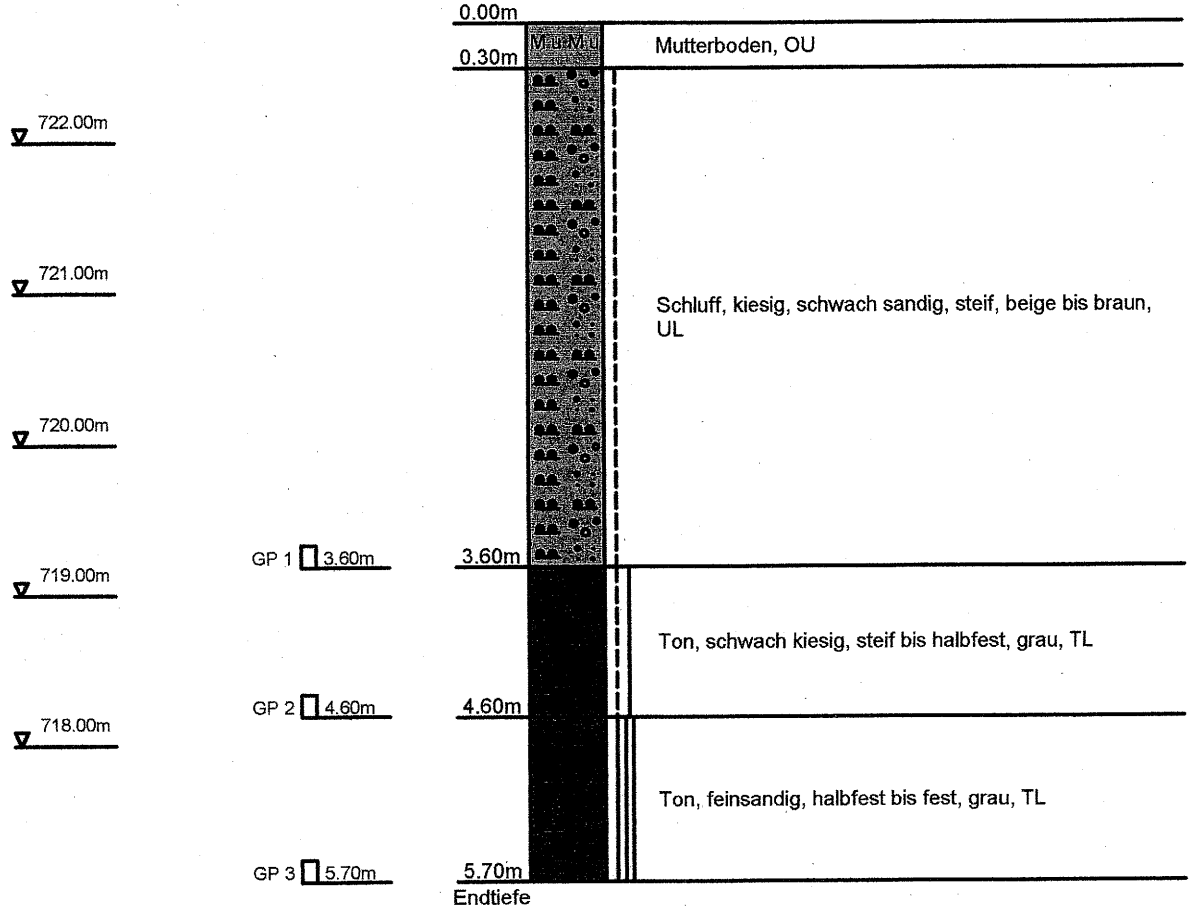
5.00m

Endtiefe

Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 14.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497075.090
	Hochwert: 5341302.502 <i>Hubstage 4.13</i>

## BS 13

Ansatzpunkt: 722.780 mNN



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 14.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497151.856
	Hochwert: 5341190.037

*Werktag 4.14*

## BS 14

Ansatzpunkt: 714.290 mNN

0.00m

▽ 714.00m

Ton, kiesig, schwach sandig, steif, braun, TL

▽ 713.00m

GP 1 ☐ 1.60m

1.60m

▽ 712.00m

▽ 711.00m

GP 2 ☐ 3.20m

Ton, steif, grau, TM

▽ 710.00m

▽ 709.00m

▽ 708.00m

GP 3 ☐ 6.30m

6.30m

Ton, halbfest, olivgrün bis grau, TM

GP 4 ☐ 7.00m

7.00m

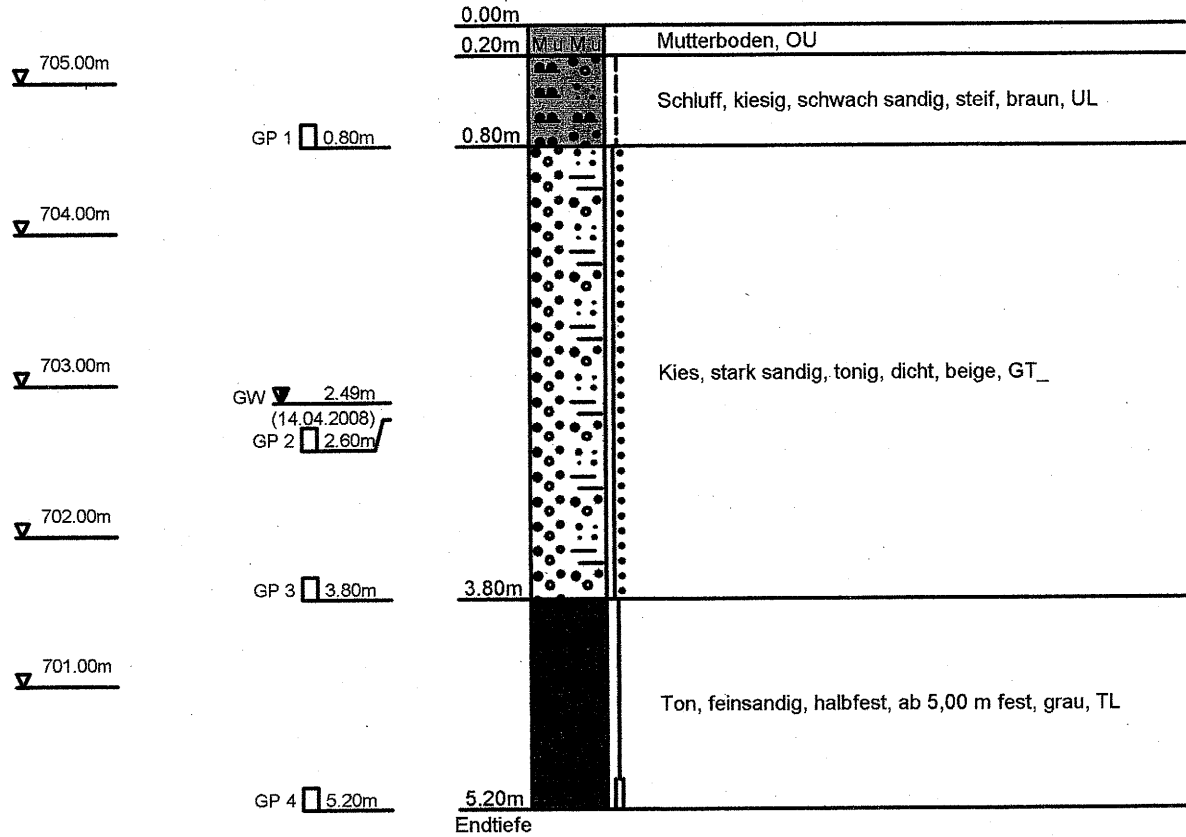
Endtiefe

Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 14.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497228.638
	Hochwert: 5341139.339

*Werkstage 4. AS*

## BS 15

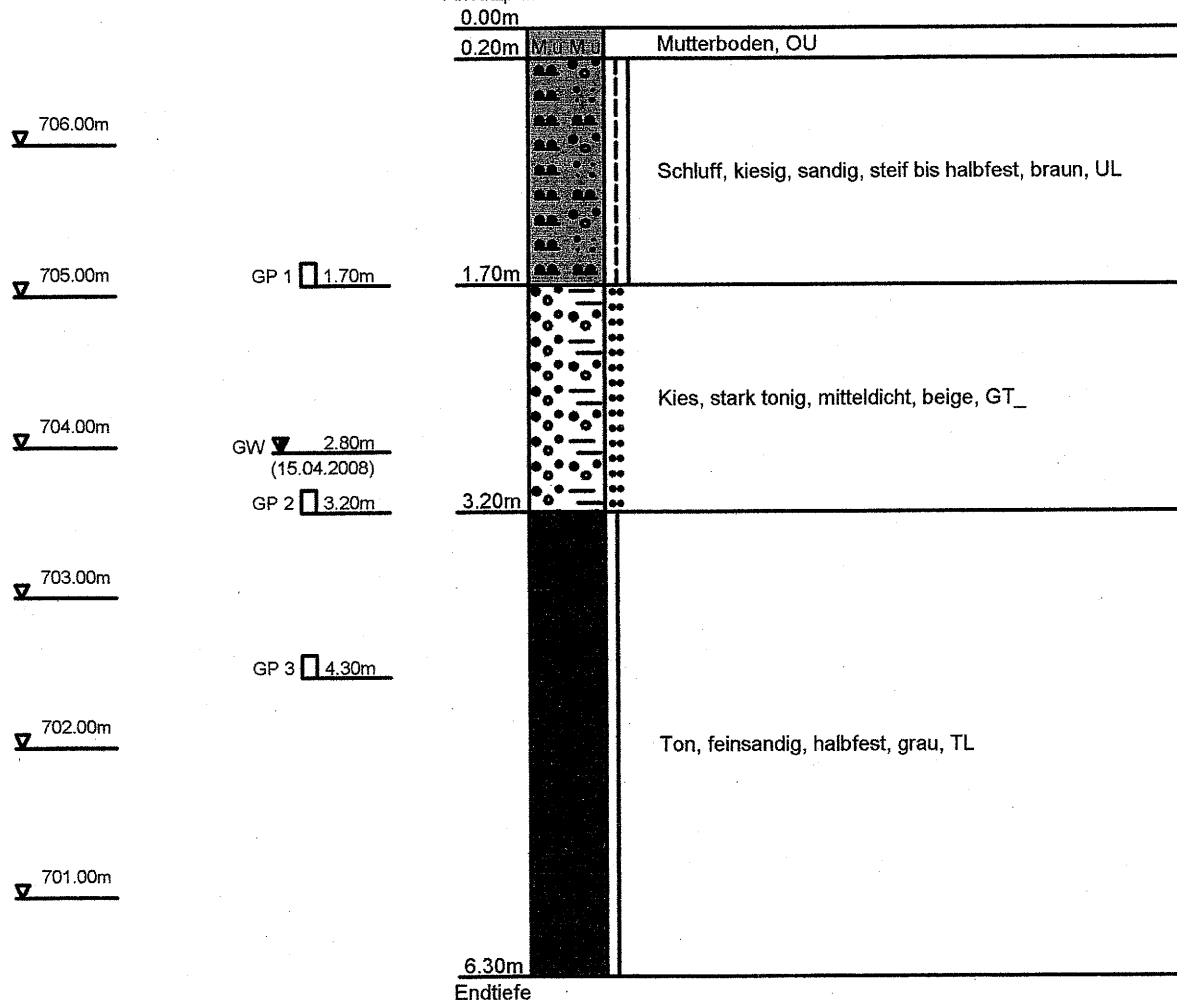
Ansatzpunkt: 705.370 mNN



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG: Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 15.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497326.944
	Hochwert: 5341111.588

## BS 16

Ansatzpunkt: 706.760 mNN

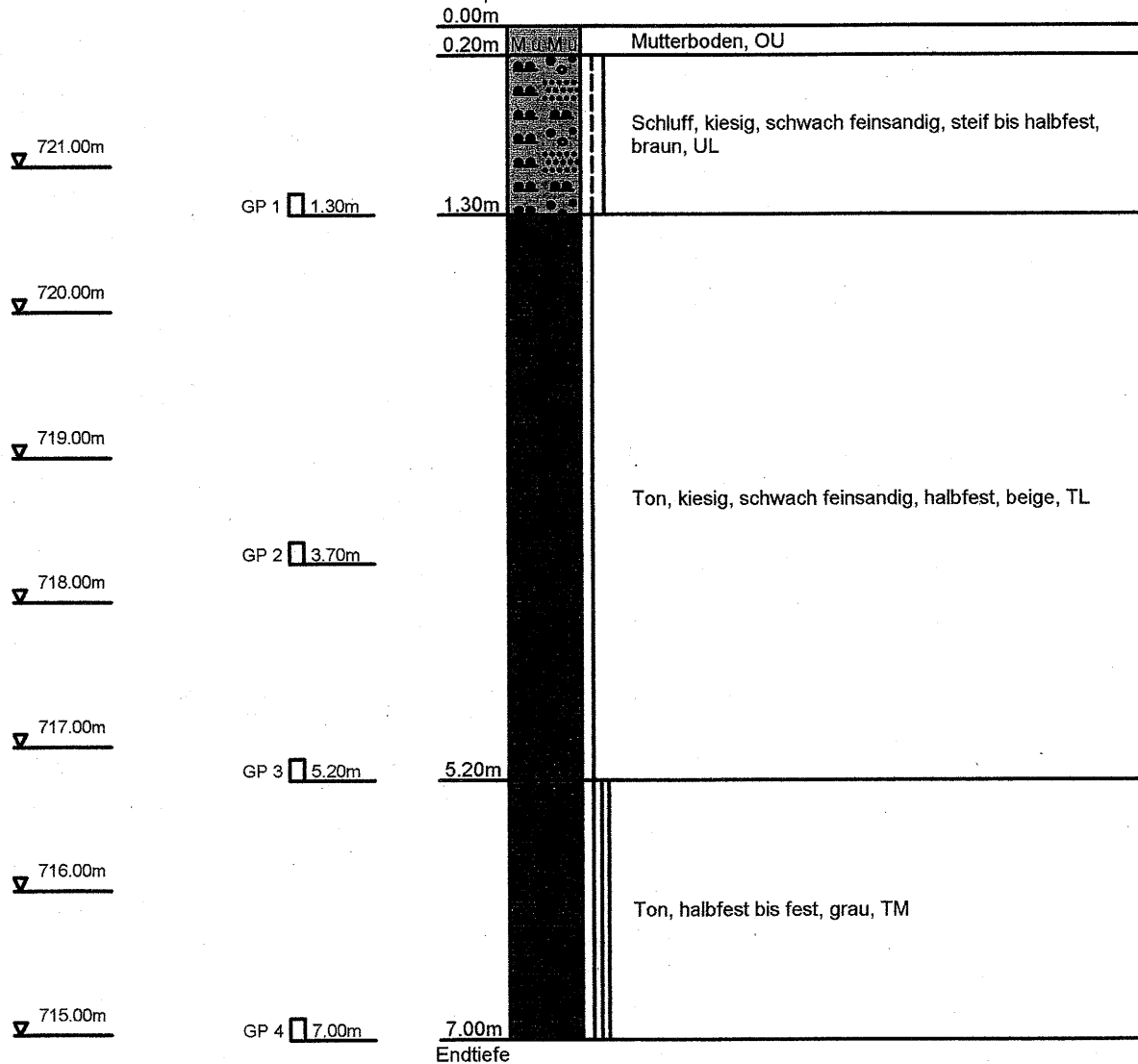


Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 14.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497428.965
	Hochwert: 5341116.646

*Werklage 4.17*

## BS 17

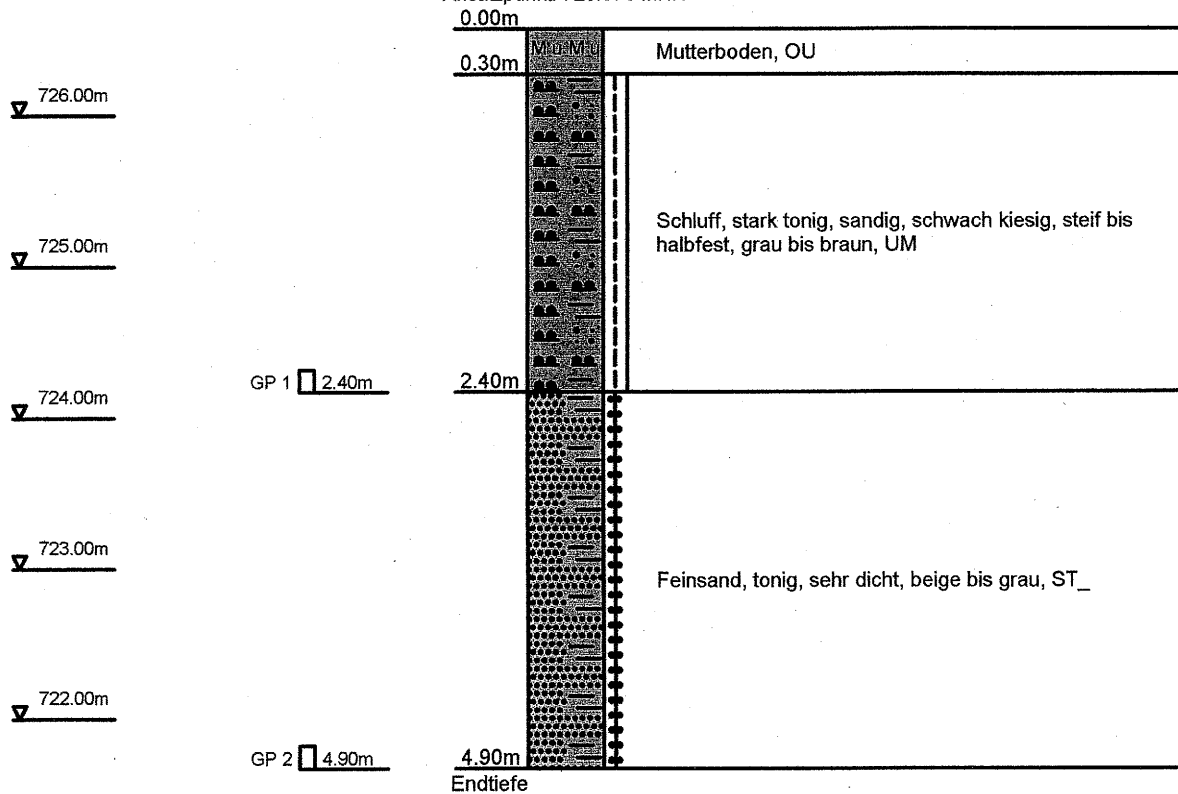
Ansatzpunkt: 721.960 mNN



Eder Brunnenbau in Deutschland GmbH	Objekt: Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen
Kreuzweg 3	AG : Regierungspräsidium Tübingen
84332 Hebertsfelden	Datum: 17.04.2008
Tel. 08721 50809-0 Fax: 08721 507230	Maßstab: 1:50
	Rechtswert: 3497463.052
	Hochwert: 5341142.929

## BS 18

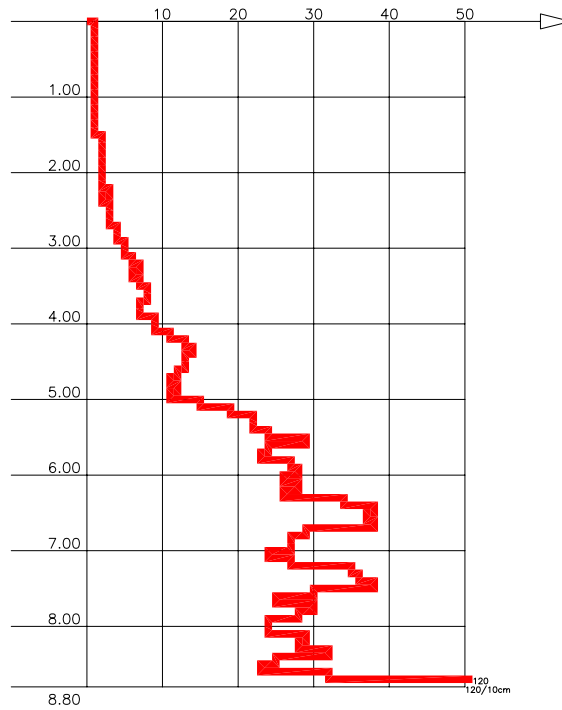
Ansatzpunkt: 726.570 mNN



# DPH 15

Profil 2+290  
65,00m li.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.14

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

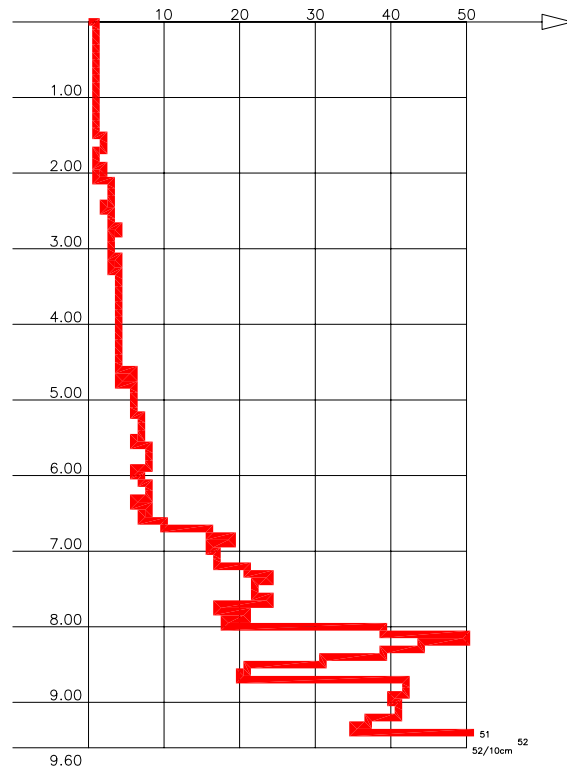
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 16

Profil 2+370  
Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.: 0711/3513049-0  
Fax: 0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**  
Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**  
Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.15

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

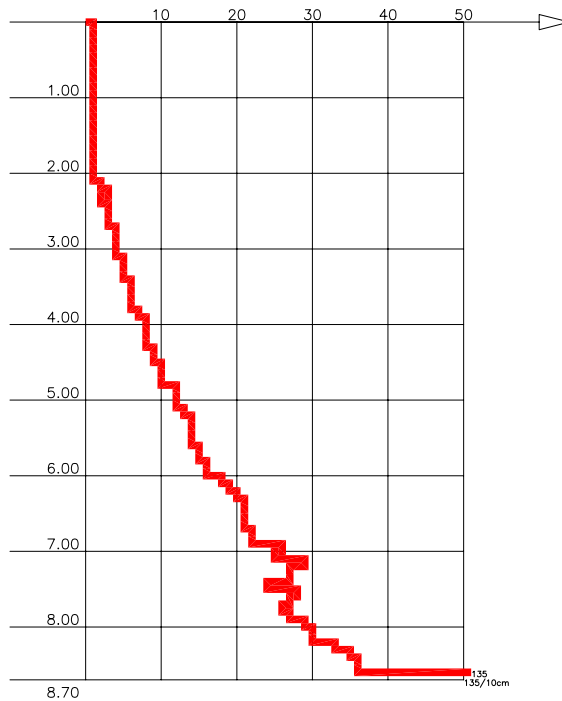
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 17

Profil 2+505  
8,00m re.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.: 0711/3513049-0  
Fax: 0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.16

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

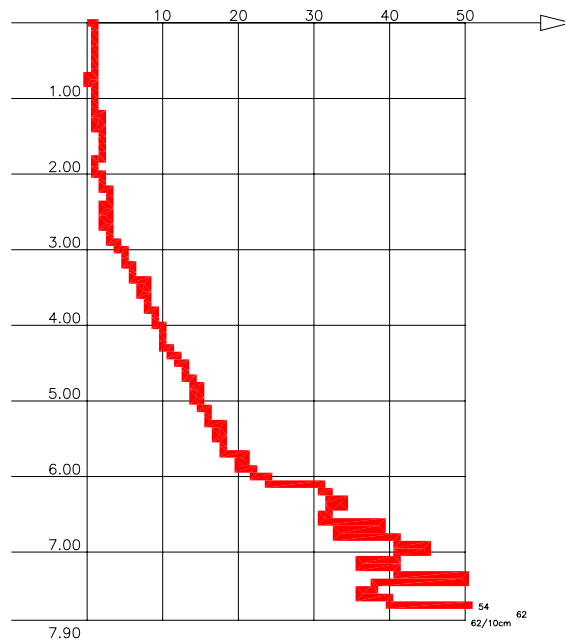
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 18

Profil 2+545  
8,00m li.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.17

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

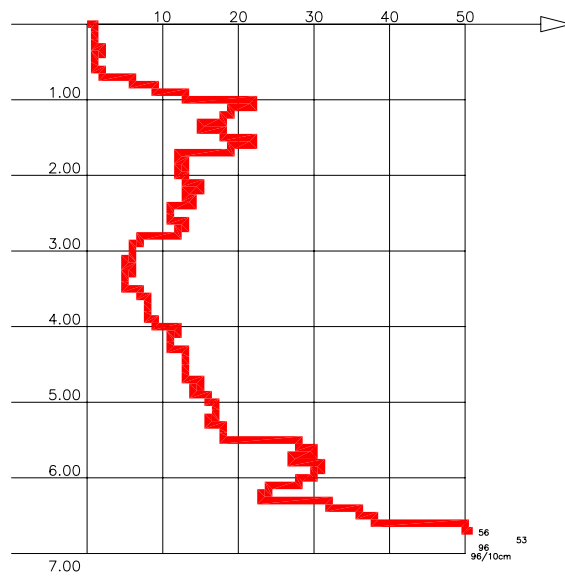
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 19

Profil 2+595  
8,00m re.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.18

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

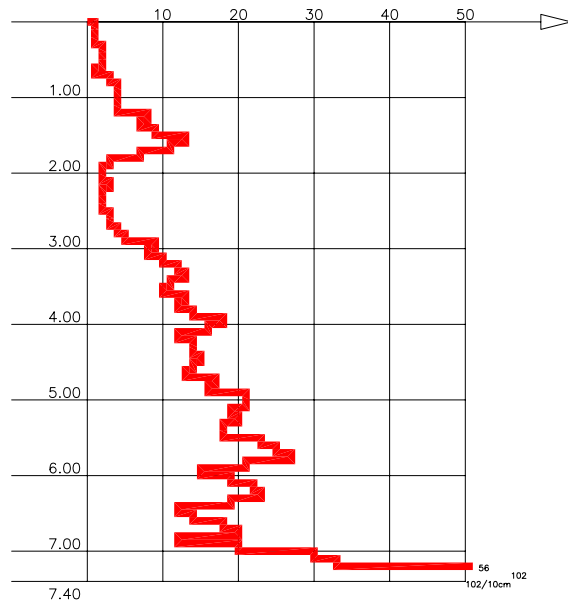
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 20

Profil 2+645  
8,00m li.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.: 0711/3513049-0  
Fax: 0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.19

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

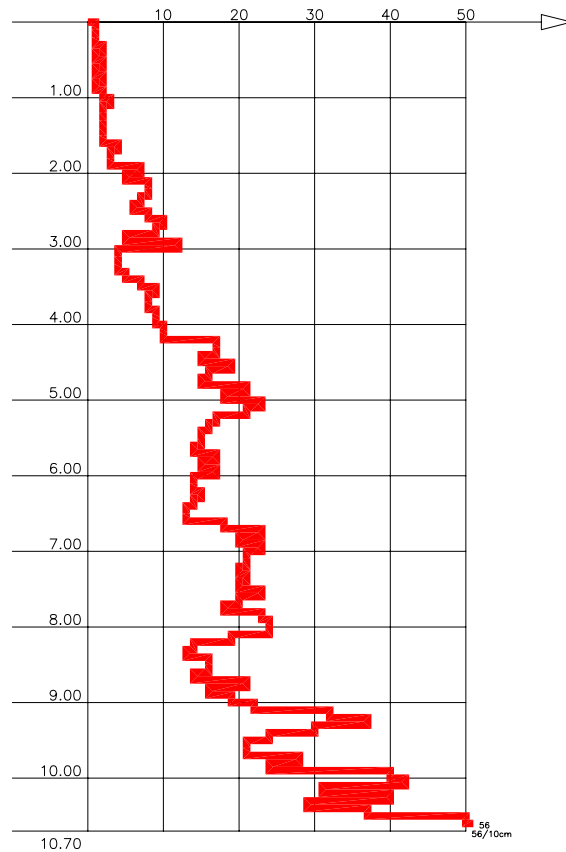
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 21

Profil 2+695  
8,00m re.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**  
Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**  
Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.20

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

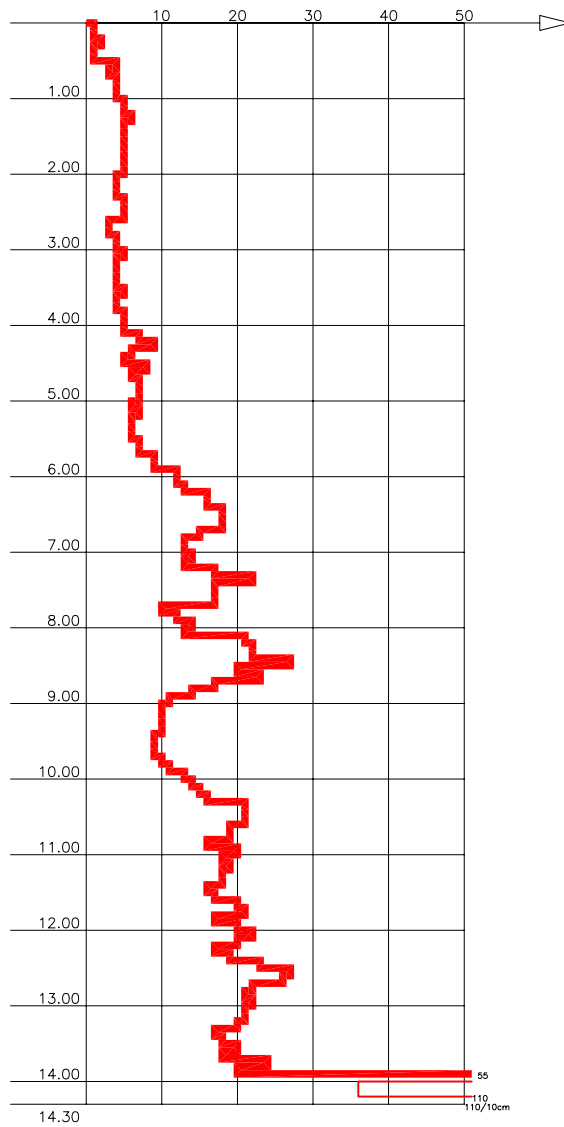
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 22

Profil 2+745  
8,00m li.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.21

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

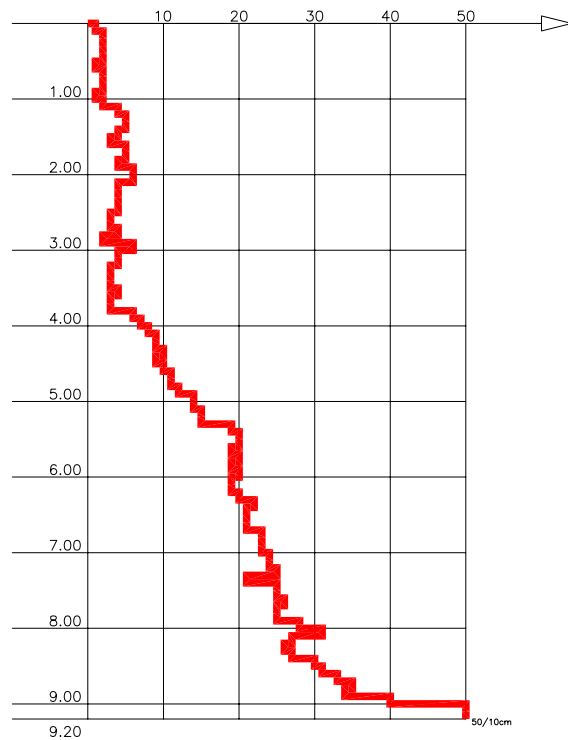
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 23

Profil 2+795  
8,00m re.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.22

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

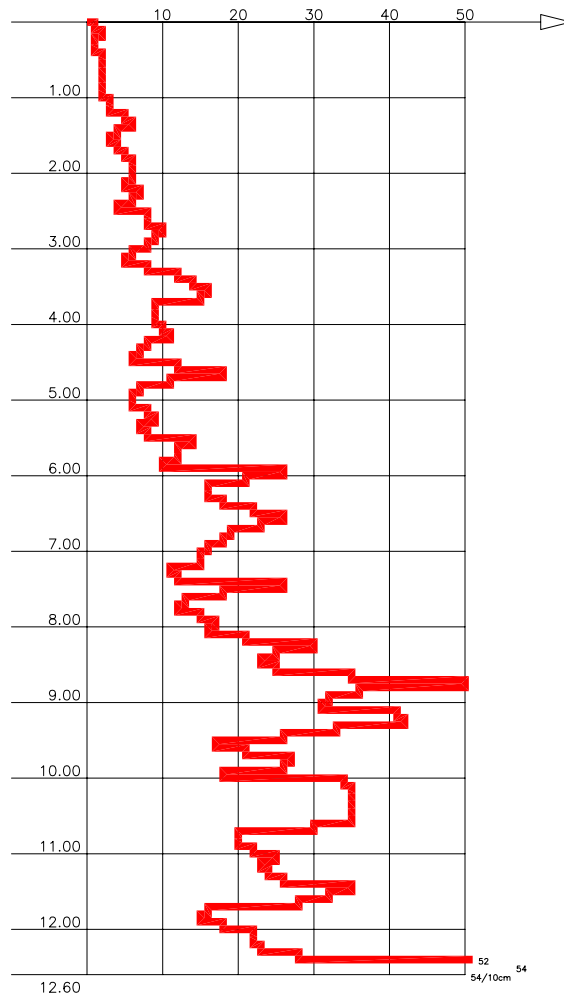
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her

# DPH 24

Profil 2+835  
8,00m li.d.Achse

GOK



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft f. Bauwesen  
Geologie und Umwelttechnik mbH  
Weilstr. 29, 73734 Esslingen  
Tel.:0711/3513049-0  
Fax:0711/3513049-19

**Bauvorhaben:**

Albstadt, B 463 Ortsumfahrung Lautlingen

**Auftraggeber:**

Regierungspräsidium Tübingen

**SCHWERE RAMMSONDIERUNG**

Anlage: 5.23

Projekt-Nr.: 28.2193

Datum: 22.10.2008

Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Le/Her