

## ERWEITERUNG DER ZENTRALDEPONIE ALTENBERGE UM DIE DEPONIEABSCHNITTE ZDA II.3 UND ZDA III

### Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standesicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)

- Projekt-Nr. 22.0900 -

**Auftraggeber:** EGST  
Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH  
Im Bioenergiepark 3  
48369 Saerbeck

**Auftragnehmer:** INGENUM GmbH  
Industriestraße 17  
46240 Bottrop

**Stand:** 26.01.2023

**Version:** 1.1

**Index:** 22.0900-Stas-01\_230126 V1.1 korrigiert

#### INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR GEO+ENERGIE+UMWELT

Hauptsitz Bottrop

INGENUM GmbH  
Industriestraße 17  
46240 Bottrop

Tel.: +49 (0) 20 41 / 7 71 88-0  
Fax: +49 (0) 20 41 / 7 71 88-19  
E-Mail: mail@ingenum.de

[www.ingenum.de](http://www.ingenum.de)

Zweigniederlassung  
Mülheim an der Ruhr

INGENUM GmbH  
Otto-Pankok-Straße 45  
45481 Mülheim a. d. R.

Tel.: +49 (0) 208 / 38 55 40 63  
Fax: +49 (0) 208 / 38 55 58 59  
E-Mail: muelheim-a-d-R@ingenum.de

#### GESCHÄFTSFÜHRUNG

Dipl.-Ing. Thorsten Rath

Sitz der Gesellschaft: Bottrop  
USt-ID-Nr.: DE 296012431  
Handelsregister HRB 12632  
Amtsgericht Gelsenkirchen

#### BANKVERBINDUNG

Hypovereinsbank Rostock

IBAN: DE74 2003 0000 0015 9506 34  
BIC: HYVEDEMM300

#### PROJEKTANGABEN

Projekt-Nr.  
22.0900

Projekt-Kurztitel:  
Erweiterung Zentraldeponie Altenberge

Datei-Index:  
22.0900-Stas-01\_220824 V1.0

Stand / Version  
24.08.2022 / V 1.0

## **Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standsicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)**

### **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
Inhaltsverzeichnis.....	2
Anlagenverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	6
1      Veranlassung und Aufgabenstellung.....	8
2      Geologische Standortverhältnisse.....	9
2.1    Geologie .....	9
2.2    Baugrundeigenschaften .....	10
3      Setzungsberechnung .....	12
3.1    Berechnungsmethode.....	12
3.2    Baugrundmodelle und Lastannahmen.....	12
3.2.1    Baugrundmodell ZDA II.3.....	12
3.2.2    Baugrundmodell ZDA III.....	17
4      Ergebnisse Baugrundsetzungen .....	22
4.1    Baugrundsetzungen ZDA II.3.....	22
4.2    Baugrundsetzungen ZDA III.....	25
4.3    Einfluss des Steifemoduls auf das Setzungsverhalten .....	27
4.3.1    Steifemodulvariationen .....	27
4.3.2    Ergebnisse der Steifemodulvariationen im Bereich der ZDA II.3 .....	27
4.3.3    Ergebnisse der Steifemodulvariationen im Bereich der ZDA III .....	31
4.3.4    Zusammenfassung der Setzungsprognosen .....	33
5      Kompressionsverformungen in den Altkörpern.....	34
5.1    Kompression des Altkörpers im Bereich ZDA II.3.....	34
5.2    Kompression des Altkörpers ZDA I unter der Erweiterung ZDA III .....	38
5.3    Ermittlung der Krümmungsradien in den Multifunktionalenabdichtungen .....	40
5.4    Zusammenfassende Beurteilung der Böschungsverformungen .....	41
6      Standsicherheitsberechnungen.....	42
6.1    Sicherheit gegen Spreizen .....	42
6.2    Temporäre Standsicherheit gegen Gleiten der Multifunktionalenabdichtung .....	44
6.2.1    Grundlagen und Erläuterungen zum Nachweis .....	44
6.2.2    Eingangswerte .....	47
6.2.2.1    Geometrie und grundlegende Ansätze der vorhandenen Böschungen.....	47

6.2.2.2	Einbau der mineralischen Schichten .....	48
6.2.3	Scherparameter .....	49
6.2.4	Kräfte .....	49
6.2.4.1	Allgemeines .....	49
6.2.4.2	Einwirkungen .....	50
6.2.4.3	Widerstände.....	51
6.2.5	Ermittlung des Auslastungsgrades im LF 2 – BS-T .....	52
6.2.6	Kurzzeichen .....	53
6.2.7	Bestimmung der erforderlichen Scherparameter .....	54
6.2.8	Ergebnisse.....	58
6.3	Böschungsbruch .....	59
7	Zusammenfassung der Setzungs- und Standsicherheitsberechnungen .....	60
	Quellenverzeichnis .....	62
	Literaturverzeichnis .....	63

## **Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standsicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)**

### **Anlagenverzeichnis**

#### Anlage

- 1 Lagepläne der Zentraldeponie Altenberge
  - 1.1 Lageplan Rekultivierung ZDA II.3
  - 1.2 Lageplan Rekultivierung ZDA III
  
- 2 Setzungsberechnungen
  - 2.1 Erweiterungsfläche ZDA II.3
    - 2.1.1 Bodennetz mit Schichtenaufbau
    - 2.1.2 Anordnung der Dreiecksfundamente
    - 2.1.3 Verteilung der Auflastspannungen
    - 2.1.4 Baugrundmodell: Unterkante Mergel verwittert
    - 2.1.5 Baugrundmodell: Unterkante Mergelstein fest
    - 2.1.6 Baugrundmodell: Unterkante Mergel hart
    - 2.1.7 Setzungsmulde konservativer Ansatz
    - 2.1.8 Setzungsmulde Variation A
    - 2.1.9 Setzungsmulde Variation B
    - 2.1.10 Setzungsmulde Variation C
    - 2.1.11 Setzungsmulde Variation D
    - 2.1.12 Setzungsmulde Variation E
    - 2.1.13 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd
    - 2.1.14 Setzungsmulde Schnitt Nordwest-Südost
    - 2.1.15 Setzungsmulde West-Ost
    - 2.1.16 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd in der Nordböschung
    - 2.1.17 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Nordböschung  $E_{sAbfall} = 15 \text{ MN/m}^2$
    - 2.1.18 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Nordböschung  $E_{sAbfall} = 40 \text{ MN/m}^2$
  - 2.2 Erweiterungsfläche ZDA III
    - 2.2.1 Bodennetz mit Schichtenaufbau
    - 2.2.2 Anordnung der Dreiecksfundamente
    - 2.2.3 Verteilung der Auflastspannungen
    - 2.2.4 Baugrundmodell: Unterkante Mergel verwittert
    - 2.2.5 Baugrundmodell: Unterkante Mergel hart
    - 2.2.6 Setzungsmulde konservativer Ansatz
    - 2.2.7 Setzungsmulde Variation A
    - 2.2.8 Setzungsmulde Variation B
    - 2.2.9 Setzungsmulde Variation C
    - 2.2.10 Setzungsmulde Schnitt West-Ost
    - 2.2.11 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd
    - 2.2.12 Setzungsmulde Schnitt West-Ost in der Ostböschung

## 2.2.13 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Ostböschung $E_{sAbfall} = 2,24 \text{ MN/m}^2$

### 3 Standsicherheitsberechnungen

#### 3.1 Spreizsicherheit der Basisabdichtung in ZDA II.3 und ZDA III

#### 3.2 Berechnung der Aufstauhöhe in den Altböschungen

##### 3.2.1 Aufstauhöhe bei einer 1 : 2,7 geneigten Böschung (ZDA III Ost)

#### 3.3 Gleitsicherheit der temporär offen liegenden Altböschung ZDA III Ost

##### 3.3.1 Gleitsicherheit in der mineralischen Dichtung, Einbau Dränschicht mit Bagger

##### 3.3.2 Gleitsicherheit in der Fuge mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn

##### 3.3.3 Gleitsicherheit in der Fuge Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies

##### 3.3.4 Gleitsicherheit in der Fuge Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht

##### 3.3.5 Gleitsicherheit in der Fuge Entwässerungsschicht vs. Trenn-/Filtervlies

##### 3.3.6 Gleitsicherheit in der Fuge Trenn-/Filtervlies vs. Frostschuttschicht

#### 3.4 Scherversuche

##### 3.4.1 Innere Scherparameter des Mergels der ZDA

##### 3.4.2 Mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn

##### 3.4.3 Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies

##### 3.4.4 Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht

##### 3.4.5 Entwässerungsschicht vs. Trenn- und Filtervlies

#### 3.5 Böschungsbruch

##### 3.5.1 Böschungsbruch am Böschungsfuß ZDA II.3

##### 3.5.2 Böschungsbruch der Gesamtböschung ZDA II.3

##### 3.5.3 Böschungsbruch bei Ansatz minimaler Scherparameter ZDA II.3

##### 3.5.4 Böschungsbruch bei Ansatz min. Scherparameter der Gesamtböschung ZDA III

##### 3.5.5 Böschungsbruch am Böschungsfuß ZDA III

##### 3.5.6 Böschungsbruch der Gesamtböschung ZDA III

##### 3.5.7 Böschungsbruch bei Ansatz minimaler Scherparameter ZDA III

##### 3.5.8 Böschungsbruch bei Ansatz min. Scherparameter der Gesamtböschung ZDA III

## Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standsicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)

### Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Lastabhängige Steifemodule [MN/m <sup>2</sup> ] des Untergrundes [U1].....	11
Tabelle 2: Parameterkombinationen des Steifemoduls der Bodenschichten der ZDA II.3 und III.....	27
Tabelle 3: Zusammenfassung der steifemodulabhängigen Setzungen der ZDA II.3 und III.....	33
Tabelle 4: Vorhandene Krümmungsradien und mögliche Setzungen in den Multifunktionalen-abdichtungen .....	40
Tabelle 5: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises in der Bemessungssituation BS-T (Fall A: Neigung in der Ebene 1,5 % bzw. $\epsilon_d = 0,86^\circ$ ; längs zur Dränageleitung).....	44
Tabelle 6: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises in der Bemessungssituation BS-T (Fall B: Neigung in der Ebene 5,0 % bzw. $\epsilon_d = 2,86^\circ$ ; quer zur Dränageleitung) .....	44
Tabelle 7: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach [U9], GEO3 .....	46
Tabelle 8: Zusammenstellung der Scherparameter für den geplanten Aufbau des Dichtungssystems mit einer Böschungsneigung von 1 : 2,7 und erf. Mindestreibungswinkel MRW .....	55
Tabelle 9: Zusammenstellung der Ergebnisse (Böschungsbereich: max. Neigung 1 : 2,7) .....	58

### Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Geologische Einheiten im Untersuchungsgebiet der Zentraldeponie Altenberge mit den geologischen Einheiten qh: Quartär, Holozän; qg: Quartär, Grundmoräne; krcau2: oberes Untercampan (Oberkreide) /4/ .....	9
Abbildung 2: Bodennetz mit Angabe der Steifemodulprofile ZDA II.3 .....	13
Abbildung 3: Dreiecksfundamentnetz ZDA II.3 .....	14
Abbildung 4: Unterkante verwitterte Mergelschicht ZDA II.3 .....	14
Abbildung 5: Unterkante Mergelstein, fest ZDA II.3 .....	15
Abbildung 6: Unterkante Mergelstein, hart ZDA II.3.....	15
Abbildung 7: Setzungswirksame Auflastspannungen ZDA II.3.....	16
Abbildung 8: Bodennetz mit Angabe der Steifemodulprofile ZDA III .....	18

Abbildung 9:	Dreiecksfundamentnetz ZDA III .....	18
Abbildung 10:	Unterkante verwitterte Mergelschicht ZDA III .....	19
Abbildung 11:	Unterkante Mergelstein, hart ZDA III.....	19
Abbildung 12:	Setzungswirksame Auflastspannungen ZDA III.....	20
Abbildung 13:	Setzungsmulde ZDA II.3.....	22
Abbildung 14:	Setzungen entlang Schnitt Nord-Süd ZDA II.3 .....	23
Abbildung 15:	Setzungen entlang Schnitt Nord-West nach Süd-Ost ZDA II.3.....	24
Abbildung 16:	Setzungen entlang Schnitt Nord-West nach Süd-Ost ZDA II.3.....	24
Abbildung 17:	Setzungsmulde ZDA III .....	25
Abbildung 18:	Setzungen entlang Schnitt Nord-Süd ZDA III .....	26
Abbildung 19:	Setzungen entlang Schnitt West-Ost ZDA III .....	26
Abbildung 20:	Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung A .....	28
Abbildung 21:	Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung B .....	28
Abbildung 22:	Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung C .....	29
Abbildung 23:	Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung D .....	30
Abbildung 24:	Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung E .....	30

## **Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standsicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)**

### **1 Veranlassung und Aufgabenstellung**

Die Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH (EGST) betreibt zur Entsorgung der im Kreisgebiet Steinfurt anfallenden Abfälle die Zentraldeponie in Altenberge. Da die genehmigte Deponiekapazität in einigen Jahren erreicht sein wird, soll die bestehende Zentraldeponie Altenberge (ZDA) zur Gewährleistung der zukünftigen Entsorgungssicherheit unter Einhaltung der Vorgaben der DepV /1/ um zwei weitere Deponieabschnitte (ZDA II.3 und ZDA III) erweitert werden.

Im Rahmen der Erweiterungsmaßnahmen soll der Deponieabschnitt ZDA II.3 mit einer Flächengröße von rund 3,5 ha, der direkt südwestlich an den aktuellen in Betrieb befindlichen Deponieabschnitt ZDA II.2 angrenzt, errichtet und betrieben werden. Der neue Deponieabschnitt lehnt sich hierbei auf den Deponieabschnitt ZDA II.2 auf und überschüttet die aktuelle südliche Betriebsböschung. Der weitere Betrieb erfolgt analog zu den zeitlich vorhergehenden Deponieabschnitten als DK II - Deponie mit einem Ablagerungsfortschritt von Osten in Richtung Westen. Auf einer Teilfläche befindet sich derzeit das genehmigte und aktuell betriebene Bodenlager.

Westlich des bereits rekultivierten Deponieabschnitts ZDA I befindet sich die Erweiterungsfläche ZDA III mit einer Flächengröße von rund 2,4 ha. Die Erweiterungsfläche wird derzeit als Weide genutzt, die westliche Begrenzung stellt die asphaltierte Betriebsstraße dar. Dieser Deponieabschnitt soll als Monobereich ausschließlich zur Ablagerung von asbesthaltigen Abfällen betrieben werden. Der neu herzustellende Deponieabschnitt lehnt sich auf den bestehenden Deponieabschnitt ZDA I auf.

Die INGENUM GmbH wurde basierend auf dem in 2020 / 2021 durchgeführten Scoping-Verfahren und den daraus resultierenden behördlichen Festlegungen von der EGST beauftragt, ein Konzept zur Baugrunderkundung und -untersuchung aufzustellen.

Die auf diesem Konzept der INGENUM GmbH durchgeführte geologische und hydrogeologische Erkundung des Untergrundes /2/ resultierte in dem Bericht über die Untergrundbeschaffenheit hinsichtlich der Eignung des Deponiestandortes /3/. In Verbindung mit den vorhandenen Baugrunderkundungen von Hinz Geotechnik [U1] konnte so eine entsprechende mechanische Beschreibung der Baugrundeigenschaften erstellt werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt das Setzungsverhalten der Deponiebasis der ZDA II.3 und ZDA III und beurteilt das Standsicherheitsverhalten sowohl der neu zu erstellenden Erweiterungsflächen als auch der Überschneidungsbereiche zu den bestehenden Deponieabschnitten.



## 2 Geologische Standortverhältnisse

### 2.1 Geologie

Im Untersuchungsgebiet stehen bis in eine Tiefe von rund 15 m schwach glaukonitische, schwach sandige Tonmergelsteine und untergeordnet Kalkmergelsteine des oberen Untercampan (obere Osterwicker Schichten) an. Diese geologische Einheit ist petrografisch wenig differenziert und kann überschlägig als homogen angenommen werden. Das anstehende Gestein ist überwiegend als Tonmergelstein ausgebildet und verwittert oberflächennah zu einem ausgeprägt plastischen Mergel. Der Mergel wird nördlich der Deponie von Ablagerungen einer pleistozänen Grundmoräne der Saalekaltzeit überdeckt. Südlich der Deponie werden die Mergel von einer Zunge holozäner Fließerden (Lehm, Steine) der Weichselkaltzeit überdeckt. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den entsprechenden Kartenausschnitt der geologischen Karte GK 25m /4/.

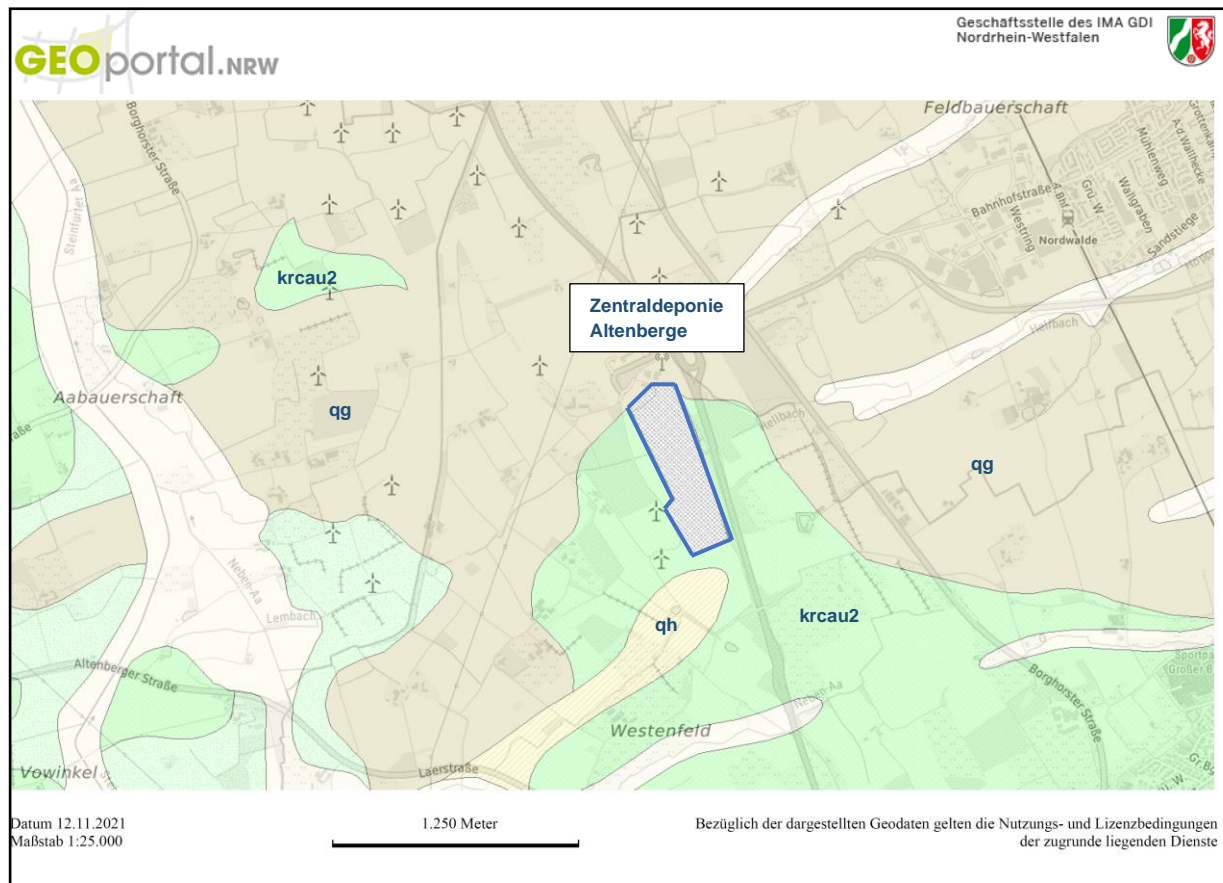


Abbildung 1: Geologische Einheiten im Untersuchungsgebiet der Zentraldeponie Altenberge mit den geologischen Einheiten qh: Quartär, Holozän; qg: Quartär, Grundmoräne; krcau2: oberes Untercampan (Oberkreide) /4/

## 2.2 Baugrundeigenschaften

Die Erkenntnisse aus der Baggerschurfkampagne bestätigen die beschriebene geologische Situation des Gutachtens

- [U1] Geotechnischer Bericht zur Erweiterung der Zentraldeponie für Siedlungsabfälle Altenberge, Geotechnisches Laboratorium und Ingenieurbüro Dipl.-Ing. H. J. Hinz, Münster, Stand: 01.03.1991.

Demnach stehen im gesamten Bereich der Zentraldeponie Altenberge die oberen Osterwicker Schichten des oberen Untercampan (Oberkreide) an. Diese sind vorrangig als graue Ton- / Kalkmergelsteine ausgebildet und verwittern oberflächennah in ausgeprägt plastische, hellgraue bis graue Mergel. Zum Teil weisen die Mergel eine gelbliche bis ockerfarbene Marmorierung auf, die auf natürliche Verwitterungsprozesse sowie Oxidationsprozesse im Boden zurückgehen.

Oberhalb des kreidezeitlichen Verwitterungshorizontes steht im Erweiterungsbereich ZDA II.3 ein dunkelbrauner, lehmiger Oberboden an, der landwirtschaftlich genutzt wird. Gemäß geologischer Karte /4/ steht in einem Teilbereich quartärer Lehm (Fließerde) an. Dieser Lehm wurde im Rahmen der Baggerschurfkampagne nicht angetroffen. Es ist nicht auszuschließen, dass der quartäre Lehm durch die landwirtschaftliche Nutzung zusammen mit dem anstehenden Oberboden vermischt wurde.

Im Erweiterungsbereich ZDA III wurde der ursprünglich anstehende lehmige Oberboden mit einem Boden-Ziegelbruchgemisch überdeckt. Aufgrund der im Boden verbliebenen Pflanzenreste und einhergehenden Fäulnisprozessen ist der ursprüngliche Oberbodenhorizont heute durch eine dunkelbraune bis schwarze Farbe mit hohem Anteil an Pflanzenresten charakterisiert.

Die bodenmechanische Beschreibung des Untergrundes kann für die Setzungsberechnungen in beiden Erweiterungsflächen auf die Steifemodule der anstehenden oberen verwitterten Mergelschicht und den darunter liegenden Mergelstein beschränkt werden. Gemäß den vorhandenen Untersuchungen /3/ und [U1] zeigen die angegebenen Sondierungen, Bohrprotokolle der Grundwassermessstellen und Schürfe, dass die Bodenschichtung als großflächig homogen mit geringen Abweichungen in den Höhen der Schichtgrenzen beschrieben werden kann.

Im Übergangsbereich vom verwitterten zum unverwitterten Tonmergelstein können zwei Homogenbereiche in Form des stark verwitterten, steif und halbfesten Mergels und des verwitterten halbfesten und festen Tonmergelsteins beschrieben werden, wobei sich letzterer jedoch nicht bzw. nur in sehr geringer Mächtigkeit in allen Aufschlüssen finden lässt. Gemäß [U1] ist aufgrund des kontinuierlichen Übergangs von der Verwitterungszone zum bergfrischen Festgestein eine genaue Angabe über die Mächtigkeit der Verwitterungszone nicht möglich. Somit sind die in den unterschiedlichen Sondierungen und Schürfen festgestellten Schichtgrenzen immer mit einer Abweichung behaftet, die zuletzt auch durch den jeweiligen

Probenehmer bzw. Begutachter variiert. Unter dem Übergangsbereich folgt der unverwitterte, harte Mergelstein.

Folgende durchschnittliche Steifemodule wurden für die anstehenden Boden mit Kompressionsversuchen bestimmt bzw. abgeschätzt [U1] und können durch Literaturwerte in ihren Größenordnungen bestätigt werden:

Tabelle 1: Lastabhängige Steifemodule [MN/m<sup>2</sup>] des Untergrundes [U1]

Schicht		Laststufen [kN/m <sup>2</sup> ]			
		100-200	200-400	400-800	800-1200
Mergel, verwittert steif - halbfest	Steifemodul [MN/m <sup>2</sup> ]		10,97	<u>16.8</u>	<u>24.0</u>
Mergelstein, halbfest - fest		50 - 100			
Mergelstein, hart		100 - 200			

Die Ergebnisse zeigen, dass der wesentliche Setzungsanteil in dem verwitterten Mergel zu erwarten ist. Die beschriebene halbfeste Mergelsteinschicht ist nur teilweise in einigen Sondierungen bzw. Brunnenprofilen angetroffen worden. Somit wird in weiten Teilen der Erweiterungsflächen der Mergel und der feste Mergelstein für die Berechnungen berücksichtigt. Es zeigt sich, dass erst ab einer Laststufe von 400 – 800 kN/m<sup>2</sup> eine nennenswerte Zunahme des Steifemoduls zu beobachten ist. Dies entspricht vom Lastniveau der endgültigen Spannungssituation zum Zeitpunkt des Endes der Betriebsphase bzw. Aufbringen der Oberflächenabdichtung in beiden Erweiterungsbereichen. Auf der sicheren Seite liegend wird deshalb nur die Laststufe von 100 – 200 kN/m<sup>2</sup> als Rechenwert des Steifemoduls mit  $E_s = 9 \text{ MN/m}^2$  für den verwitterten Mergel angesetzt.

Der halbfeste bis feste Mergelstein wird in der Literatur vergleichbar als Geschiebemergel im Bereich von  $E_s = 30 - 100 \text{ MN/m}^2$  angegeben. Insgesamt werden für den Mergelstein jeweils die unteren Steifemodule von 50 MN/m<sup>2</sup> (halbfest) bzw. 100 MN/m<sup>2</sup> (hart) auf der sicheren Seite liegend angesetzt.

In Kapitel 4.3 erfolgt eine ergänzende Bewertung des Einflusses der Bandbreite der Steifemodule auf das Setzungsverhalten der Basisabdichtung.

### 3 Setzungsberechnung

#### 3.1 Berechnungsmethode

Die Setzungsberechnung erfolgt mit der Software GGU-Settle in der Version 6.20 (30.03.2022). Mit dem Programm können grundlegend Fundamentsetzung einschließlich gegenseitiger Beeinflussung von Rechteck- oder Dreiecksfundamenten nach DIN 4019 [U2] berechnet werden. Durch die Verwendung von Dreiecksfundamenten kann die Geometrie der Belastung auch an die Verhältnisse von großräumigen Erdbauwerken und Deponiekörpern angepasst werden. Durch mosaikartiges Zusammenfügen der Einzelfundamente bzw. deren Belastungsgrößen kann jede beliebige Belastungsform nachgebildet werden. Durch die Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der Fundamente/Belastung kann eine großflächig homogene Setzungsermittlung erfolgen. Die Setzungen können für beliebige Schichten oder über den gesamten Baugrund in Form von vertikalen Schnitten als auch Isolinien im Grundriss bestimmt und dargestellt werden. Weitere Grundlagen zu der Software können aus [U3] entnommen werden.

#### 3.2 Baugrundmodelle und Lastannahmen

Für beide Bereiche werden jeweils getrennt Baugrundmodelle erstellt. Sie basieren auf den zur Verfügung stehenden Schichtenverzeichnissen aus den örtlichen Grundwassermessstellen, Bohrsondierungen, Schürfen und CPT-Versuchen.

Die zu erwartenden setzungswirksamen Spannungen können für die beiden Bereiche aus der Differenz der derzeitigen Geländehöhe und der geplanten Endhöhe inkl. Rekuschicht bestimmt werden. Der Abtrag von vorhandenem Oberboden und ungeeigneten Auffüllungen sowie Mergelmaterial zur Profilierung führt zu einer Entlastung, die jedoch kaum bis keine Hebungen zur Folge haben wird. Der anschließende Einbau von geeigneten Böden und dem Basisabdichtungssystem wird erst ab Überschreiten der ursprünglichen Geländeoberkante zu Setzungen führen, weil es erst dann zu einer Spannungserhöhung auf den vorhandenen Bodenschichten kommt.

##### 3.2.1 Baugrundmodell ZDA II.3

Im Bereich der Erweiterungsfläche ZDA II.3 wurden folgende Bodenaufschlüsse für den Schichtenaufbau herangezogen:

Grundwassermessstellen:	GMS 4, GMS 5 [U1]
Baggerschürfe:	S3, S4 /3/ S8, S9 [U1]
CPT-Versuche:	F, G, H, I, J /3/

Viele der in [U1] angegebenen Bohrungen in diesem Bereich können nicht berücksichtigt werden, weil sie nur bis in den verwitterten Mergel reichen und somit keine zusätzliche Information zu den Schichtstärken bzw. Schichtgrenzen Mergel/Mergelstein liefern. Hier

wurden ergänzende Bodenprofile auf Basis des in [U1] dargestellten Plans zu Schichtgrenze zwischen Mergel und Mergelstein festgelegt.

In Abbildung 2 (Anlage 2.1.1) ist das Bodennetz für ZDA II.3 mit den Höhenlagen der einzelnen Schichten in Bezug auf eine mittlere Geländehöhe von 77,0 mNN dargestellt. Abbildung 3 (Anlage 2.1.2) zeigt entsprechend die festgelegten Dreiecksfundamente, welche der Geometrie der geplanten Aufschüttung folgen. Die Knotenpunkte wurden entsprechend an markanten Stellen der Endkubatur gesetzt bzw. berücksichtigen den Überschüttungsbereich des vorhandenen Abfallkörpers der Felder 7 bis 9.

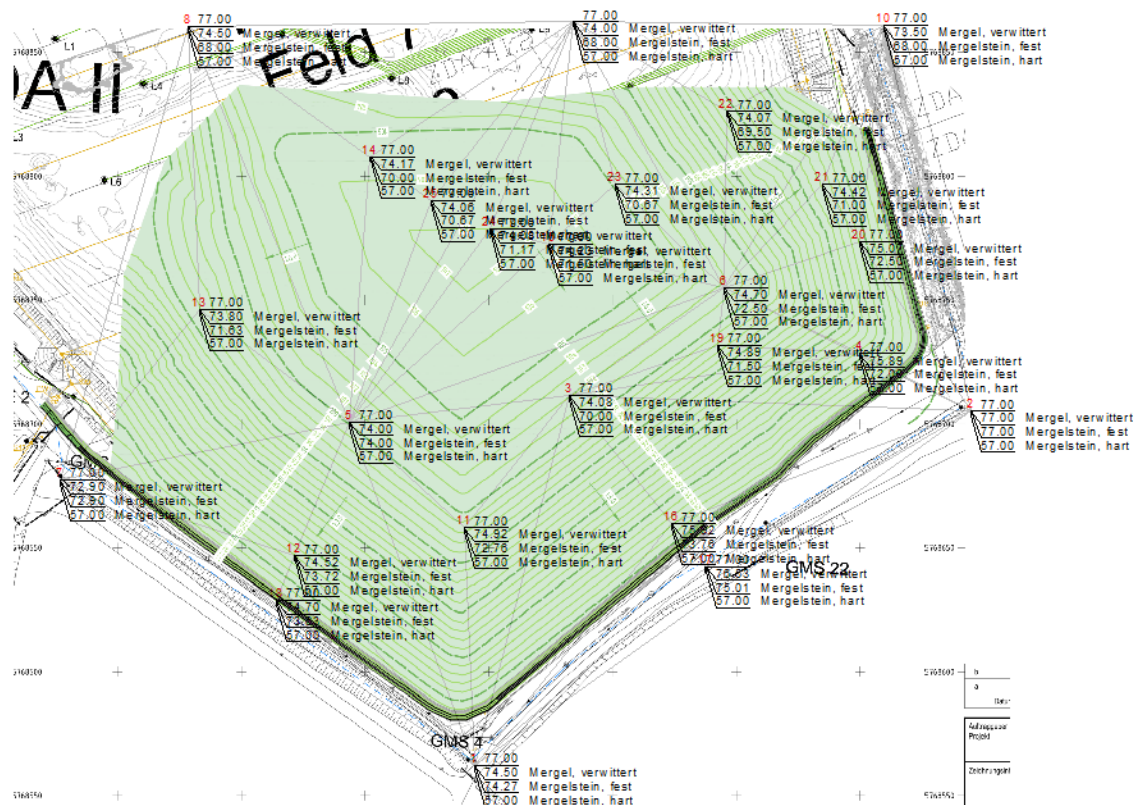


Abbildung 2: Bodennetz mit Angabe der Steifemodulprofile ZDA II.3

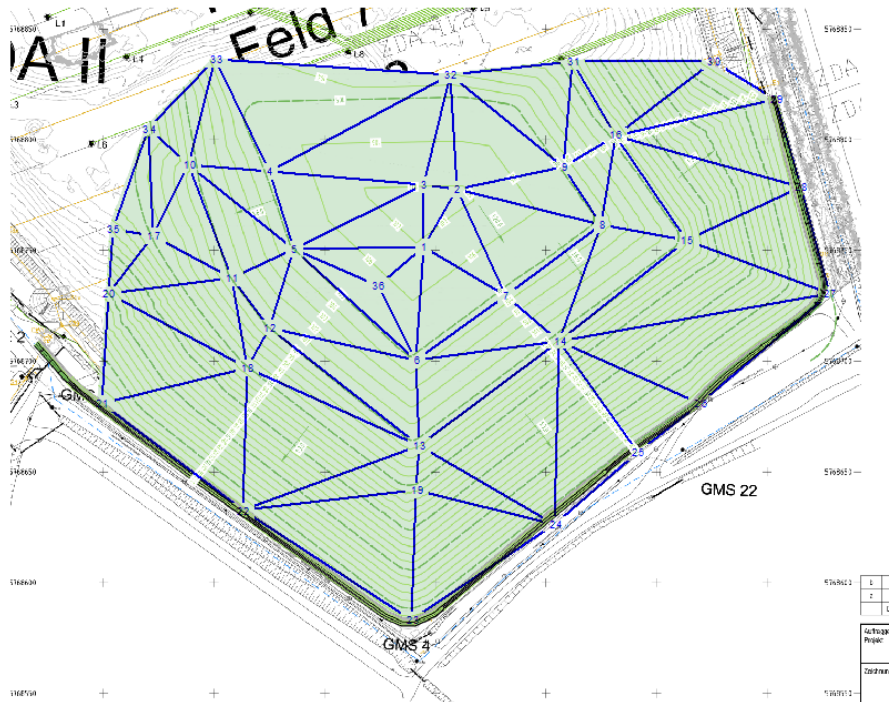


Abbildung 3: Dreiecksfundamentnetz ZDA II.3

Der Höhenverlauf der Unterkante der verwitterten Mergelschicht ist in Abbildung 4 (Anlage 2.1.4) dargestellt. Durch Interpolation der einzelnen Bodenknotenpunkte kann eine flächendeckende Darstellung der Schicht erstellt werden. Die Tiefenlage liegt zwischen ca. 74,0 und 76,0 mNN bzw. die Mächtigkeit variiert im Baufeld im Bereich von ca. 2,0 m (GMS 5) im östlichen Bereich bis zu 4 m im Westbereich bei GMS 3.

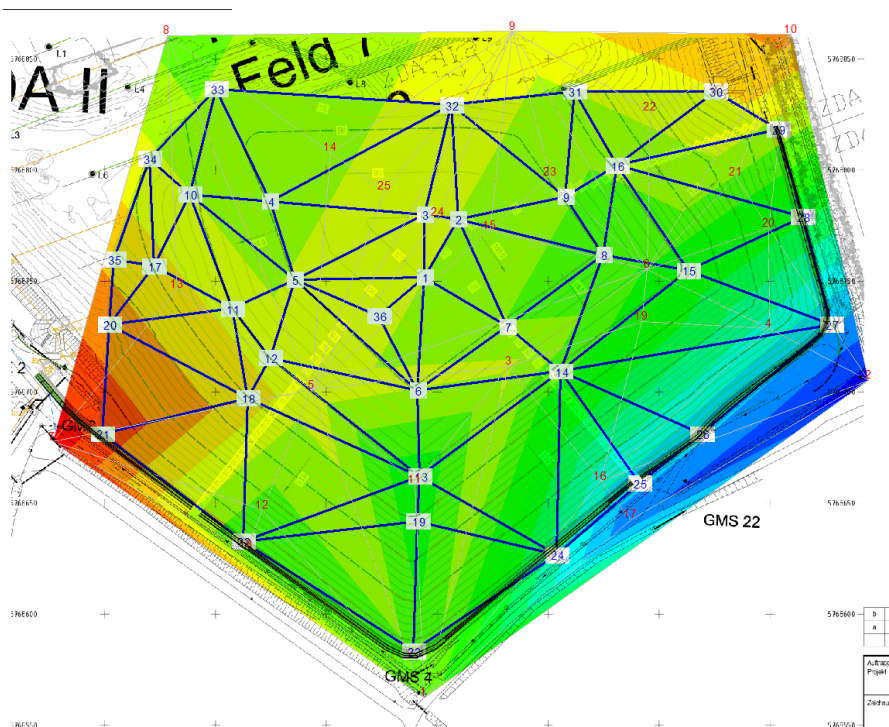


Abbildung 4: Unterkante verwitterte Mergelschicht ZDA II.3

Wie bereits beschrieben, ist der in den Unterlagen [U1] nur teilweise beschriebene feste Mergelstein nicht flächendeckend anzutreffen. Somit ergibt sich eine abweichende Verteilung der Unterkante dieser Schicht, die in Abbildung 5 (Anlage 2.1.5) dargestellt ist. Wenn vorhanden, liegt das Niveau des festen Mergelsteins zwischen 69,5 bis 75 mNN, wodurch Schichtstärken zwischen 0 bis ca. 4 m vorhanden sind.

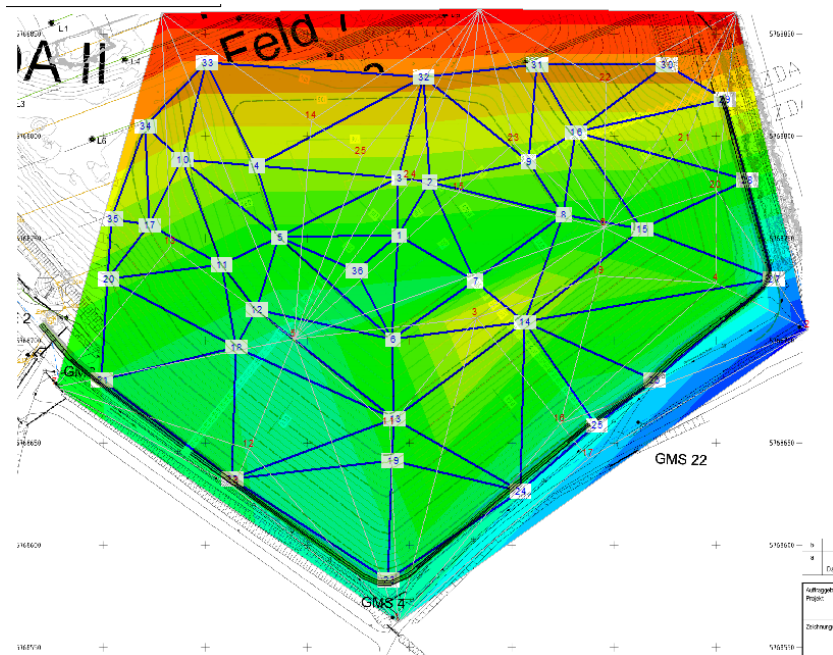


Abbildung 5: Unterkante Mergelstein, fest ZDA II.3

Der unterhalb anstehende harte Mergelstein in Abbildung 6 (Anlage 2.1.6) mit einem konservativen Steifemodul von  $100 \text{ MN/m}^2$ , der gemäß [U1] als nicht mehr setzungsrelevant eingestuft wird, liegt auf einem Niveau von 57,0 mNN. Somit hat das gesamte Untergrundmodell eine Mächtigkeit von 20,0 m unter Geländeoberkante.

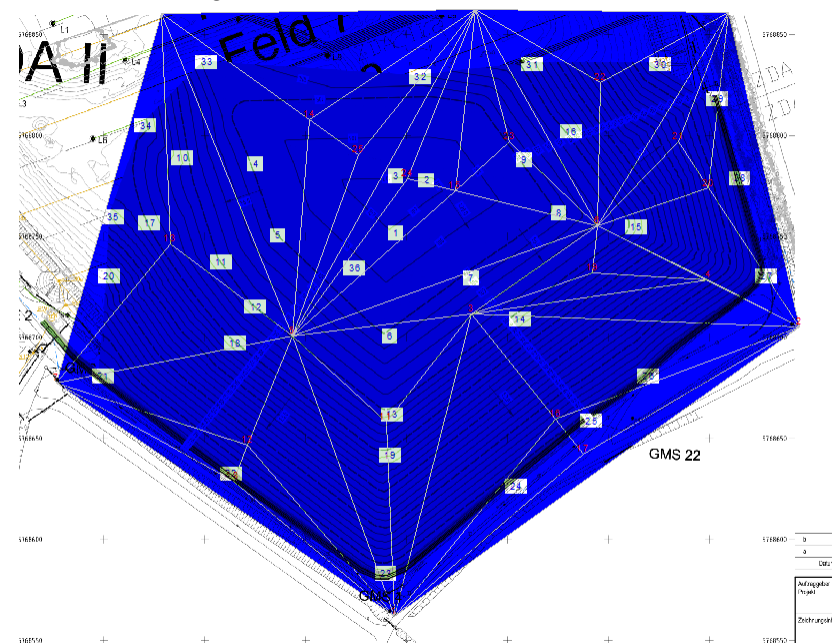


Abbildung 6: Unterkante Mergelstein, hart ZDA II.3

In Abbildung 7 (Anlage 2.1.3) sind die Isolinien der setzungswirksamen Auflastspannungen durch Interpolation der einzelnen Werte der Knoten der Dreiecksfundamente dargestellt. Die Isolinien liegen in guter Übereinstimmung mit den dargestellten Höhenlinien des Geländemodells.

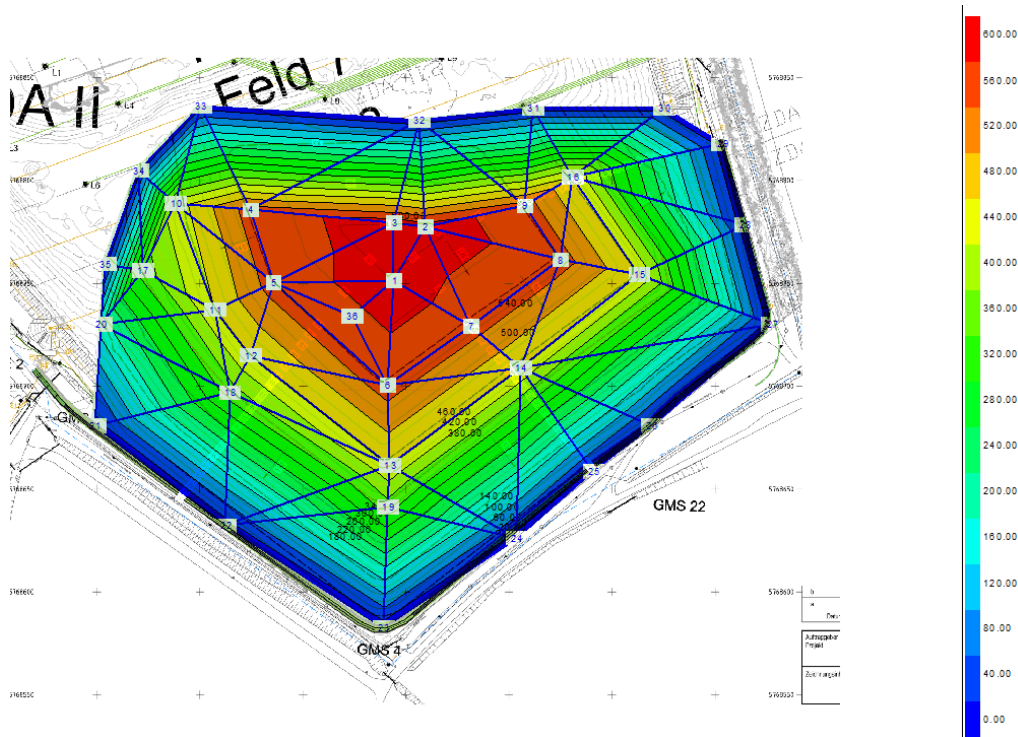


Abbildung 7: Setzungswirksame Auflastspannungen ZDA II.3

Die Auflastspannungen wurden an den markanten Geländepunkten als Produkt aus dem Höhenunterschied zwischen der geplanten Oberflächenprofilierung und der derzeitigen Geländeprofilierung und einer durchschnittlichen Wichte von  $20 \text{ kN/m}^3$  bestimmt. Im südöstlichen, südwestlichen und östlichen Bereich steigen die Auflastspannungen entsprechend vom Rand ( $0 \text{ kN/m}^2$ ) zur Mitte ( $600 \text{ kN/m}^2$ ) bei einer maximalen Höhendifferenz von  $30,0 \text{ m}$  an und folgen damit der geplanten Aufschüttung mit einer Böschungsneigung von  $1:3$  gegenüber dem derzeitigen Gelände.

Der nördliche und nordwestliche Randbereich weist ebenfalls eine vom Rand nach innen zunehmende Auflastspannung auf, obwohl der Höhenunterschied des Deponiekörper ZDA II.3 sich nicht wesentlich von der Endhöhe der Felder 7 bis 9 unterscheidet. Dies erklärt sich damit, dass hier der Untergrund in Form der vorhandenen Böschung der Felder 7 – 9 aufsteigt und somit der Höhenunterschied zwischen Basis und Endhöhe reduziert wird und die zusätzlich wirksame Auflastspannung zum Rand hin abnimmt. Die vorhandene Böschung, auf die sich die Erweiterungsfläche ZDA II.3 auflegt, wird mit ihrem Eigengewicht nicht berücksichtigt, weil in diesem Bereich die Setzungen schon weitgehend abgeklungen sind.



### 3.2.2 Baugrundmodell ZDA III

Im Bereich der Erweiterungsfläche ZDA III wurden folgende Bodenaufschlüsse für den Schichtenaufbau herangezogen:

Grundwassermessstellen: GMS 10, GMS 11 [U1]  
Baggerschürfe: S1, S2 /3/  
CPT-Versuche: A, B, C, D, E /3/

Auch hier gilt, dass die in [U1] angegebenen Bohrungen in diesem Bereich nicht berücksichtigt werden können und ergänzende Bodenprofile auf Basis des in [U1] dargestellten Plans zu Schichtgrenze zwischen Mergel und Mergelstein erstellt werden.

In Abbildung 8 (Anlage 2.2.1) ist das Bodennetz für ZDA III mit den Höhenlagen der einzelnen Schichten in Bezug auf eine mittlere Geländehöhe von 76,5 mNN dargestellt. Im Inneren des Bereiches ZDA III wurden die bekannten Schürfe und CPTs berücksichtigt. Im westlichen Teil konnten außerhalb der ZDA III die Schichtungen der GMS 10 und 11 angesetzt werden. Die Schwankungen der jeweiligen Schichtgrenzen stellen sich als gering heraus, sodass vereinfachte ergänzende Bodenprofile mit gleichen Schichttiefen um den Bereich der ZDA III im System implementiert wurden.

Abbildung 9 (Anlage 2.2.2) zeigt entsprechend die festgelegten Dreiecksfundamente, welche der Geometrie der geplanten Aufschüttung folgen. Die Knotenpunkte wurden entsprechend an markanten Stellen der Endkubatur gesetzt bzw. berücksichtigen den Überschüttungsbereich des vorhandenen Abfallkörpers des im Osten vorhandenen Altkörpers ZDA I. Auch hier folgen die Knotenpunkte dem markanten Geländeprofil der endgültigen Höhenlinien der Rekultivierungsschicht und dem Übergang von dem derzeitigen Geländeprofil zur Böschung des Altkörpers ZDA I.

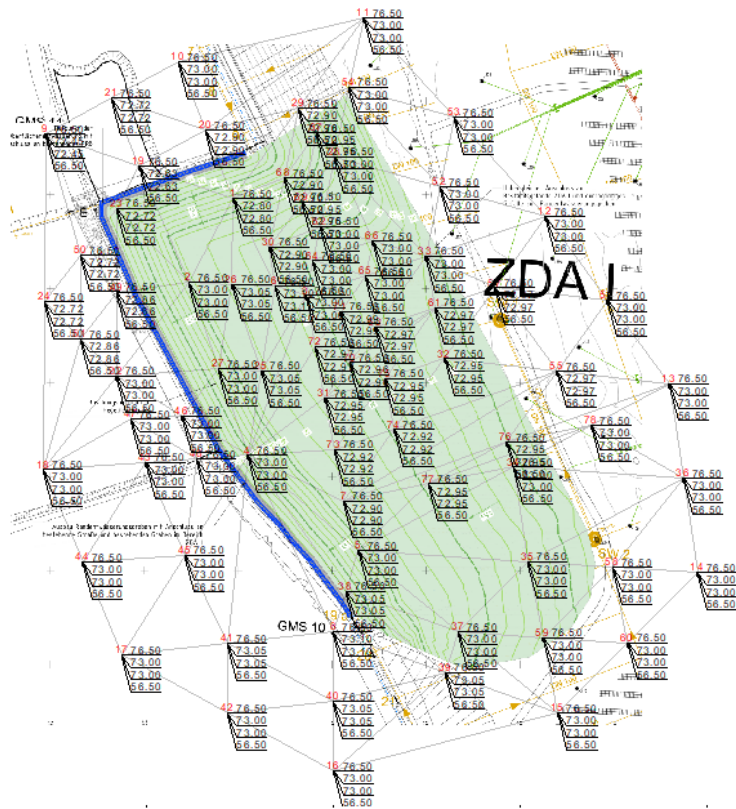


Abbildung 8: Bodennetz mit Angabe der Steifemodulprofile ZDA III

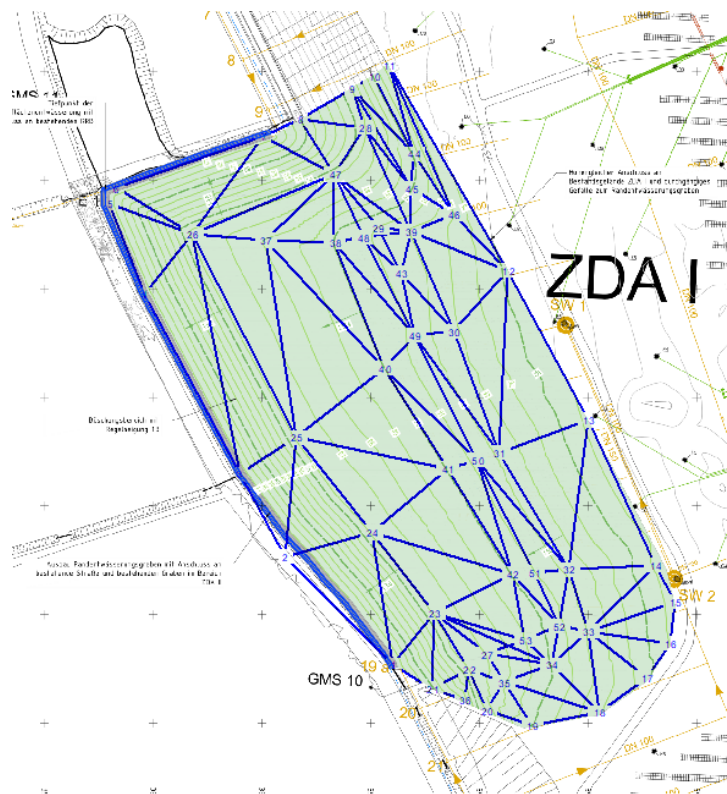


Abbildung 9: Dreiecksfundamentnetz ZDA III

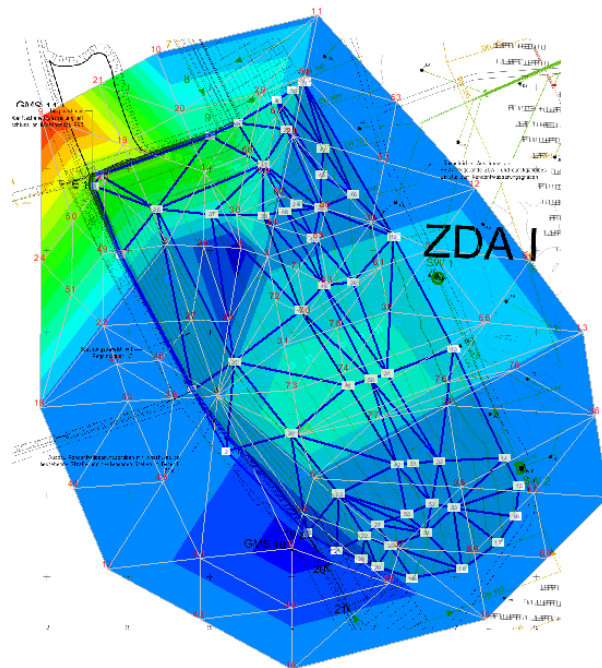


Abbildung 10: Unterkante verwitterte Mergelschicht ZDA III

Die Unterkante der verwitterten, gering durchlässigen Mergelschicht ist in Abbildung 10 (Anlage 2.2.4) dargestellt. Im Großteil des blau dargestellten Bereiches liegt die Mächtigkeit unter GOK bei ca. 3,4 – 3,6 m, wie in den Schürfen und CPTs der Schurfkampagne festgestellt wurde und auch in guter Übereinstimmung mit GMS 10 liegen. Nahe Nordwesten nimmt die Tiefenlage im Bereich der GMS 11 minimal bis auf 4 m zu. Insgesamt ist hier ein recht homogen ausgeprägtes Schichtenniveau vorhanden.

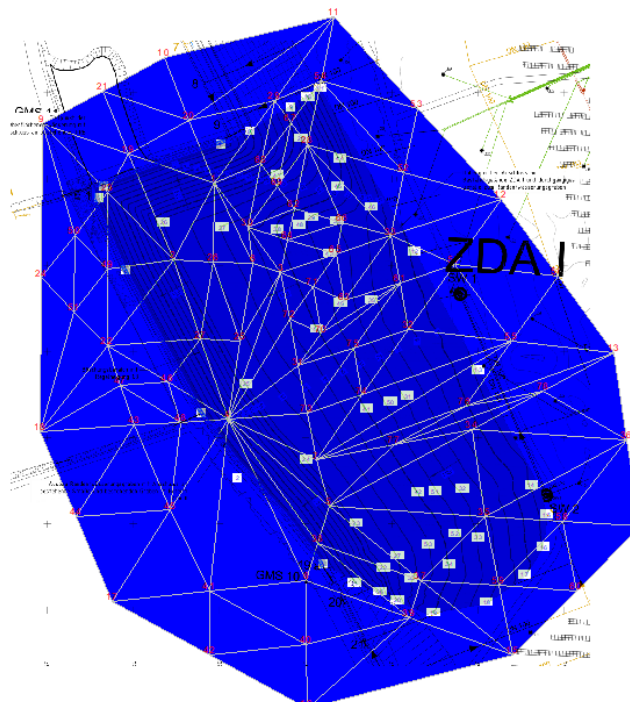


Abbildung 11: Unterkante Mergelstein, hart ZDA III

Der noch im Bereich ZDA II.3 beschriebene halbfest bis feste verwitterte Mergelstein konnte in den Unterlagen für die Erweiterung der ZDA III [U1] nicht wieder gefunden werden. Entsprechend wurde unter dem verwitterten Mergel direkt der harte Mergelstein angesetzt und bis in eine Tiefe von 56,5 mNN profiliert. In Abbildung 11 (Anlage 2.2.5) ist die entsprechende UK des harten Mergelsteins dargestellt.

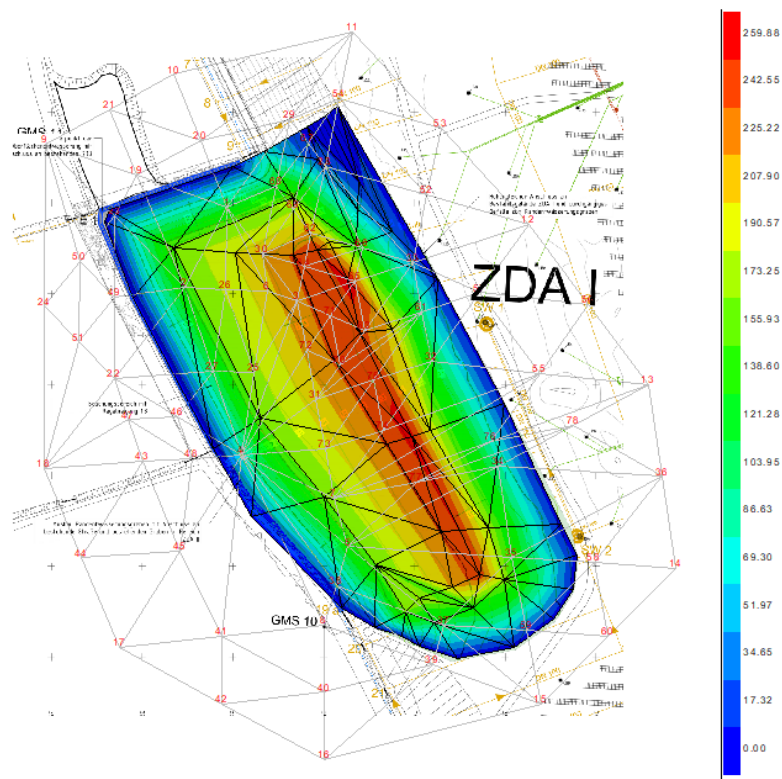


Abbildung 12: Setzungswirksame Auflastspannungen ZDA III

In Abbildung 12 (Anlage 2.2.3) sind die Isolinien der setzungswirksamen Auflastspannungen durch Interpolation der einzelnen Werte der Knoten der Dreiecksfundamente dargestellt. Die Isolinien liegen auch im Bereich der ZDA III in guter Übereinstimmung mit den dargestellten Höhenlinien des Geländemodells.

Die Auflastspannungen wurden an den markanten Geländepunkten als Produkt aus dem Höhenunterschied zwischen der geplanten Oberflächenprofilierung und der derzeitigen Geländeprofilierung und einer durchschnittlichen Wichte von 17,5 kN/m<sup>3</sup> bestimmt. Die Wichte wurde auf der sicheren Seite liegend konservativ angenommen. Grundlage ist hierbei zum einen die Dichte von typischen Asbestprodukten, die im Bereich von  $\rho \approx 1,0\text{-}1,5 \text{ t/m}^3$  liegt, zum anderen der Mischeinbau mit Füllböden, welche die verpackten Asbestabfälle umhüllen und abdecken. Im nördlichen und westlichen Bereich steigen die Auflastspannungen entsprechend vom Rand (0 kN/m<sup>2</sup>) zur Mitte (260 kN/m<sup>2</sup>) an und folgen damit der geplanten Aufschüttung mit einer Böschungsneigung von 1:3 gegenüber dem derzeitigen Gelände.

Der östliche und südliche Randbereich weist ebenfalls eine vom Rand nach innen zunehmende Auflastspannung auf, obwohl der Höhenunterschied des Deponiekörper ZDA III

sich nicht von der Endhöhe des Altkörpers ZDA I unterscheidet. Dies erklärt sich damit, dass der Untergrund in Form der vorhandenen Böschung der ZDA I aufsteigt und somit der Höhenunterschied zwischen Basis und Endhöhe reduziert wird und die zusätzlich wirksame Auflastspannung zum Rand hin abnimmt. Die vorhandene Böschung, auf die sich die Erweiterungsfläche ZDA III auflegt, wird mit ihrem Eigengewicht nicht berücksichtigt, weil in diesem Bereich die Setzungen aus der Auflast der ZDA I schon weitgehend abgeklungen sein dürften.

Die setzungswirksamen Auflastspannungen sind im Bereich ZDA III im Vergleich zu ZDA II.3 wesentlich geringer, weil zum einen die angenommene Wichte des Abfallkörpers geringer ist, zum anderen die geplante Endhöhe des Erweiterungsbereiches gegenüber dem vorhandenen Gelände maximal nur ca. 15,0 m beträgt.

## 4 Ergebnisse Baugrundsetzungen

Die Ergebnisse der Baugrundsetzungen beschreiben nur die Verformungen, die im bestehenden Baugrund aufgrund der im Rahmen der Baumaßnahmen zusätzlich oberhalb der derzeit vorhandenen Geländehöhe aufgebracht werden, die aus den eingebauten Boden- und Abfallmassen zu erwarten sind.

### 4.1 Baugrundsetzungen ZDA II.3

Die Baugrundsetzungen im Bereich der Erweiterungsfläche ZDA II.3 ergeben sich analog der zusätzlichen Auflastspannungen, wie in Abbildung 7 dargestellt. In den Bereichen mit den höchsten Spannungen sind die größten Setzungen zu erwarten. Diese liegen bei Maximalwerten von ca. 31,2 cm. Abbildung 13 (Anlage 2.1.7) zeigt die Setzungsmulde in Form von Isolinen gleicher Setzungen.

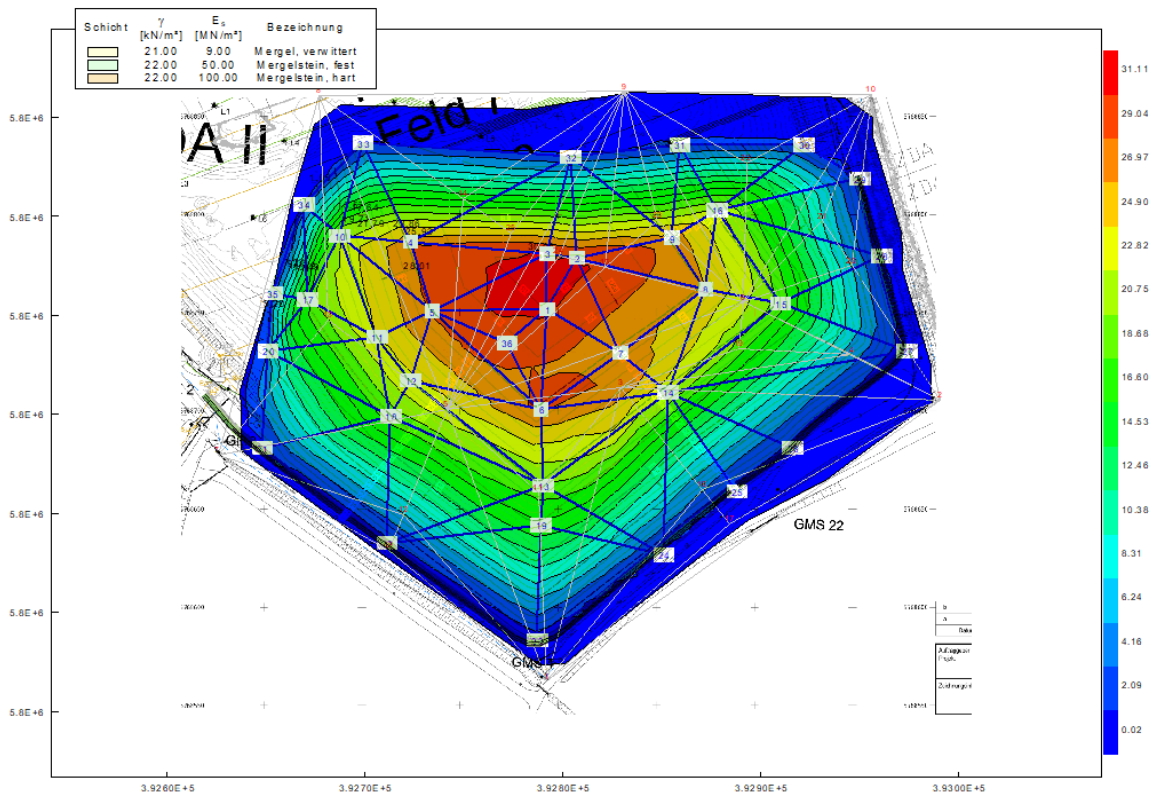


Abbildung 13: Setzungsmulde ZDA II.3

Der Bereich der größten Setzungen liegt im Zentrum der Erweiterungsfläche ZDA II.3 unterhalb des Hochpunktes des Deponiekörpers. Bis zum Randbereich fallen die Werte auf null ab. Es sind außerhalb der Belastungszone geringfügige Mitnahmesetzungen zu erwarten, die im Bereich von 1,0 bis 2,0 cm liegen können.

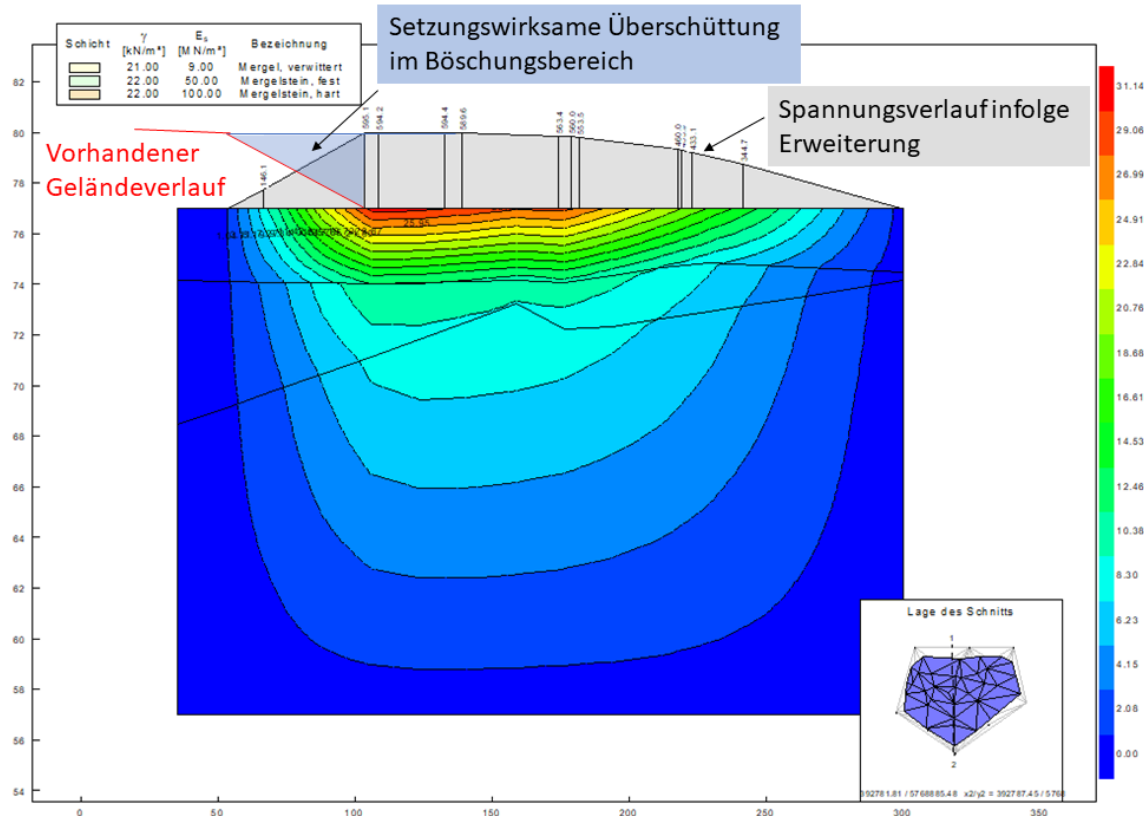


Abbildung 14: Setzungen entlang Schnitt Nord-Süd ZDA II.3

In Abbildung 14 (Anlage 2.1.13) werden die Setzungen entlang eines durch den Mittelpunkt des Bereiches ZDA II.3 von Nord nach Süd verlaufenden Schnittes dargestellt. Der hellgraue Bereich beschreibt die Auflastspannungen infolge der Aufschüttung auf der Erweiterungsfläche, die auf den Baugrund einwirken. Sie folgen im Verlauf von Süd nach Nord annähernd der Geometrie des Deponiekörpers. Im Norden, in der Abbildung links, erreicht die Spannung hier ihren Maximalwert von  $\sigma = 600 \text{ kN/m}^2$ , was einer Überschüttungshöhe von 30,0 m mit einer durchschnittlichen Wichte von  $20 \text{ kN/m}^3$  entspricht.

Im weiteren Verlauf nach Norden fällt der Verlauf der Spannung gerade linear bis auf null ab. Dies entspricht dem in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Überschüttungsbereich der Altböschung in den Feldern 7 bis 9. Das Programm GGU-Settle kann nur einen ebenen Baugrund betrachten und nicht den Untergrund entsprechend dem tatsächlichen Verlauf nachbilden. In Abb. 14 ist der vorhandene Geländeverlauf in Rot skizziert und beschreibt die im Feld 7-9 aufgeschüttete 1:2,5 geneigte Böschung der Fläche ZDA II.2. Für diesen Bereich muss in einer separaten Berechnung, die in Form einer Tabelle erfolgen kann, die Setzung innerhalb des Deponiekörpers infolge der Kompression des vorhandenen Abfalls bestimmt werden. Durch Überlagerung mit den Ergebnissen aus dem Schnitt in Abb. 14 kann dann die Setzung der vorhandenen Böschung durch Überlagerung prognostiziert werden. Dies erfolgt in Kapitel 5.

Abbildung 15 (Anlage 2.1.14) zeigt den Setzungsverlauf entlang eines von Nord-West nach Süd-Ost gezogenen Schnittes. Entsprechend ergänzt Abbildung 16 (Anlage 2.1.15) die Darstellung mit einem Schnitt von West nach Ost. Die Schnitte bestätigen die bei der

Beurteilung der Steifemodule getätigte Annahme, dass der Großteil der Setzungen im Bereich des Mergels stattfinden wird. Ungefähr zwei Drittel der Setzungen sind in der oberen verwitterten Mergelschicht zu beobachten.

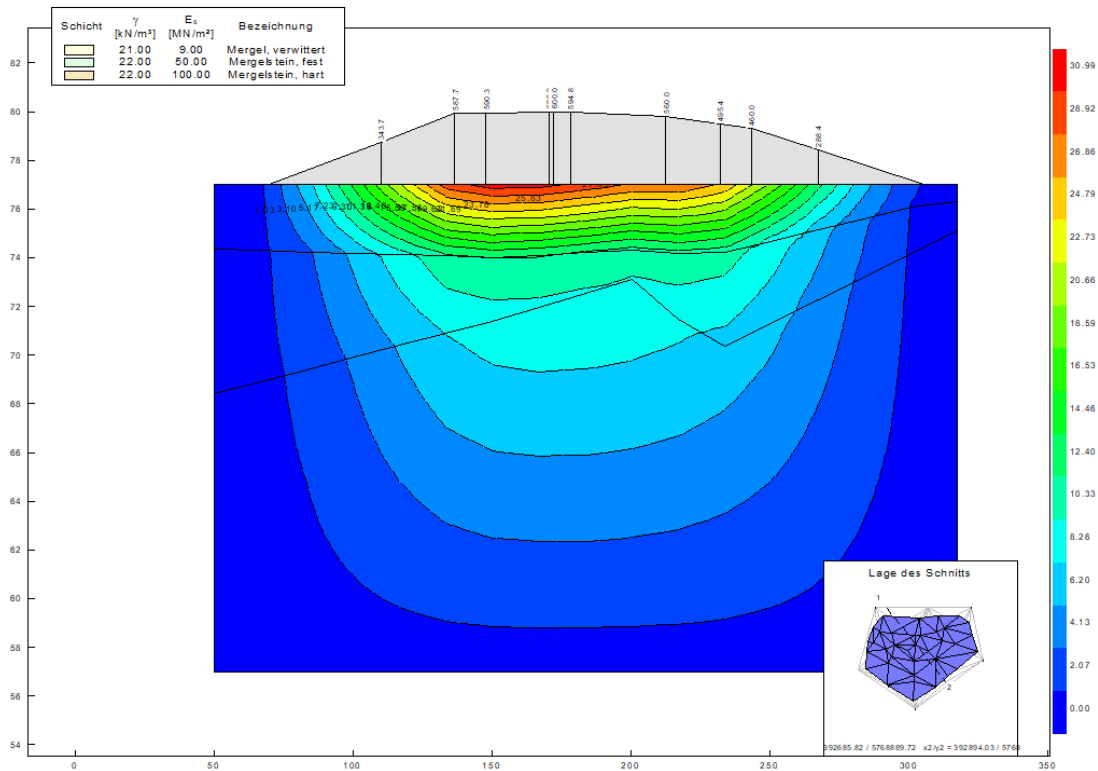


Abbildung 15: Setzungen entlang Schnitt Nord-West nach Süd-Ost ZDA II.3

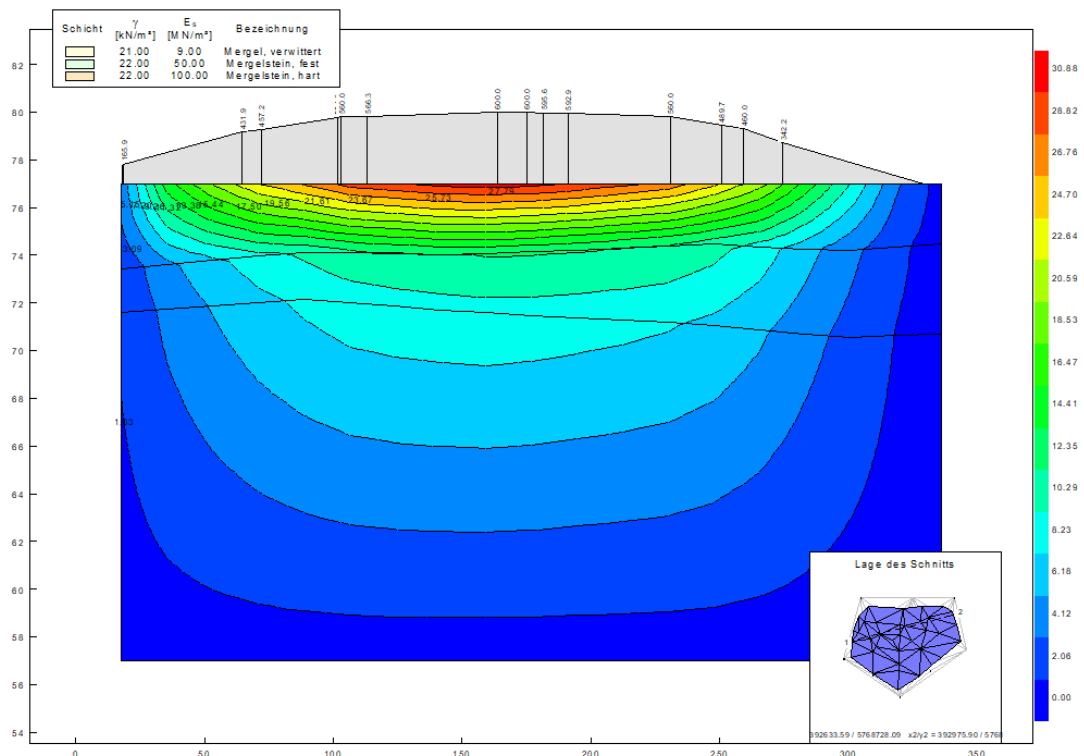


Abbildung 16: Setzungen entlang Schnitt Nord-West nach Süd-Ost ZDA II.3



## 4.2 Baugrundsetzungen ZDA III

Die Setzungen des Baugrunds im Bereich der ZDA III fallen entsprechend der geringeren Auflastspannungen erwartungsgemäß geringer aus als im Bereich der ZDA II.3. Abbildung 17 (Anlage 2.2.6) stellt die entsprechende Setzungsmulde des Baufeldes dar. Die maximalen Setzungen im Untergrund sind ebenfalls unterhalb der höchsten Aufschüttung mit ca. 14,7 cm zu erwarten.

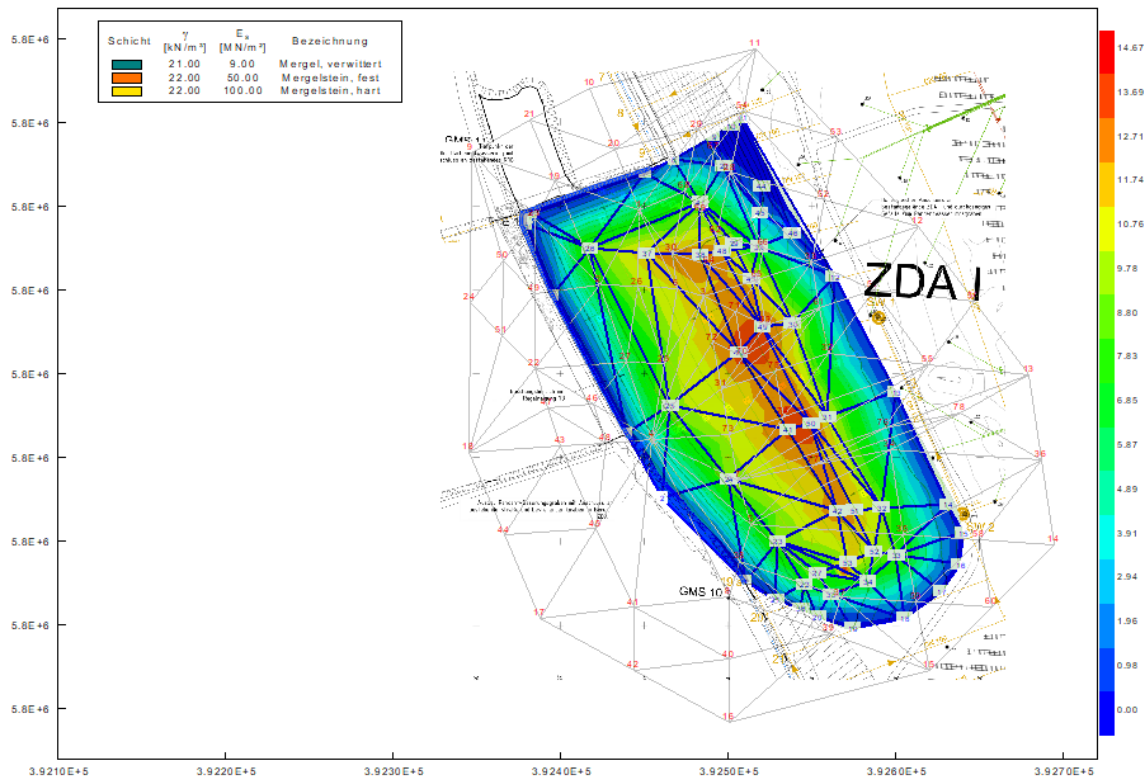


Abbildung 17: Setzungsmulde ZDA III

Es wurden zwei Schnitte im Bereich der ZDA III angelegt, um die Setzungsprofile darzustellen. Abbildung 18 (Anlage 2.2.11) zeigt den Schnitt längs des Baufeldes annähernd von Nord nach Süd. In Abbildung 19 (Anlage 2.2.10) ist der entsprechende Verlauf von West nach Ost zu erkennen.

Wie bereits in den Schnitten bei ZDA II.3 erläutert, gilt hier analog, dass der grau markierte Verlauf das Spannungsniveau des auf der jetzt vorhandenen Geländeoberkante zusätzlich aufgebrachten Boden- und Abfallmengen darstellt. Hier ist im östlichen und südlichen Bereich der entsprechend den dort vorhandenen Böschungen der ZDA I linear abfallende Spannungsverlauf zu erkennen. Der vorhandene Geländeverlauf ist in Rot skizziert.

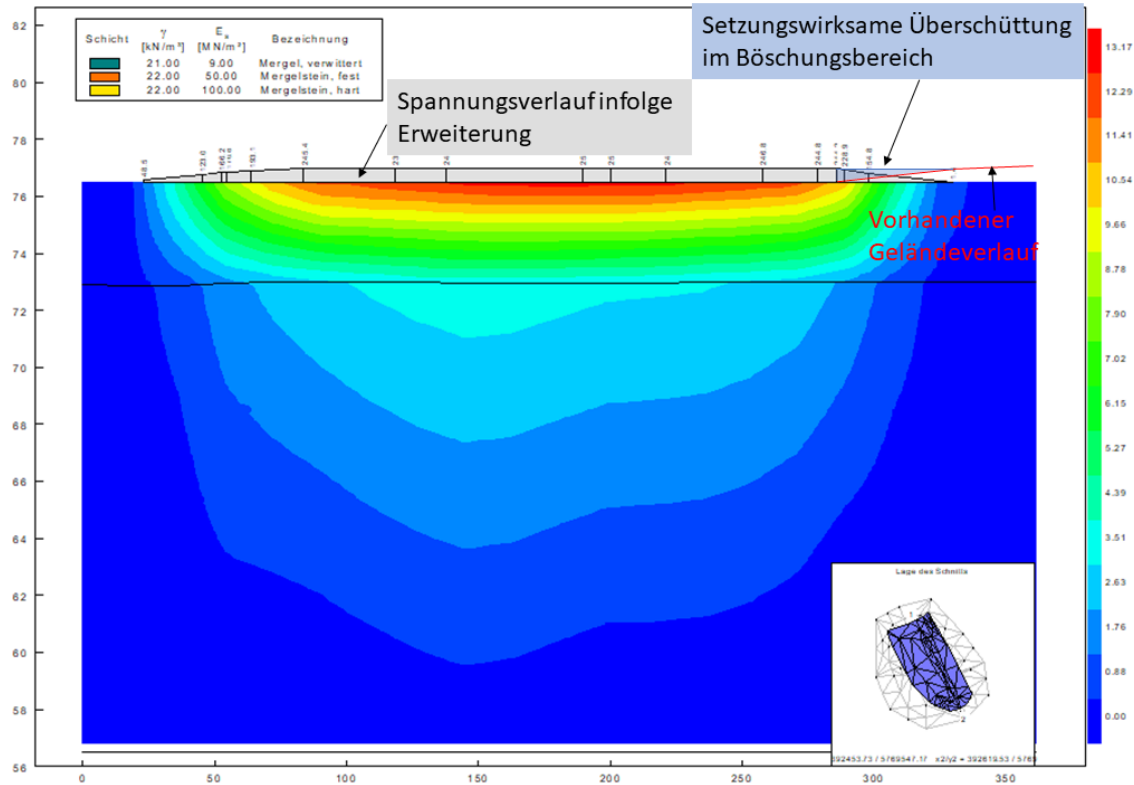


Abbildung 18: Setzungen entlang Schnitt Nord-Süd ZDA III

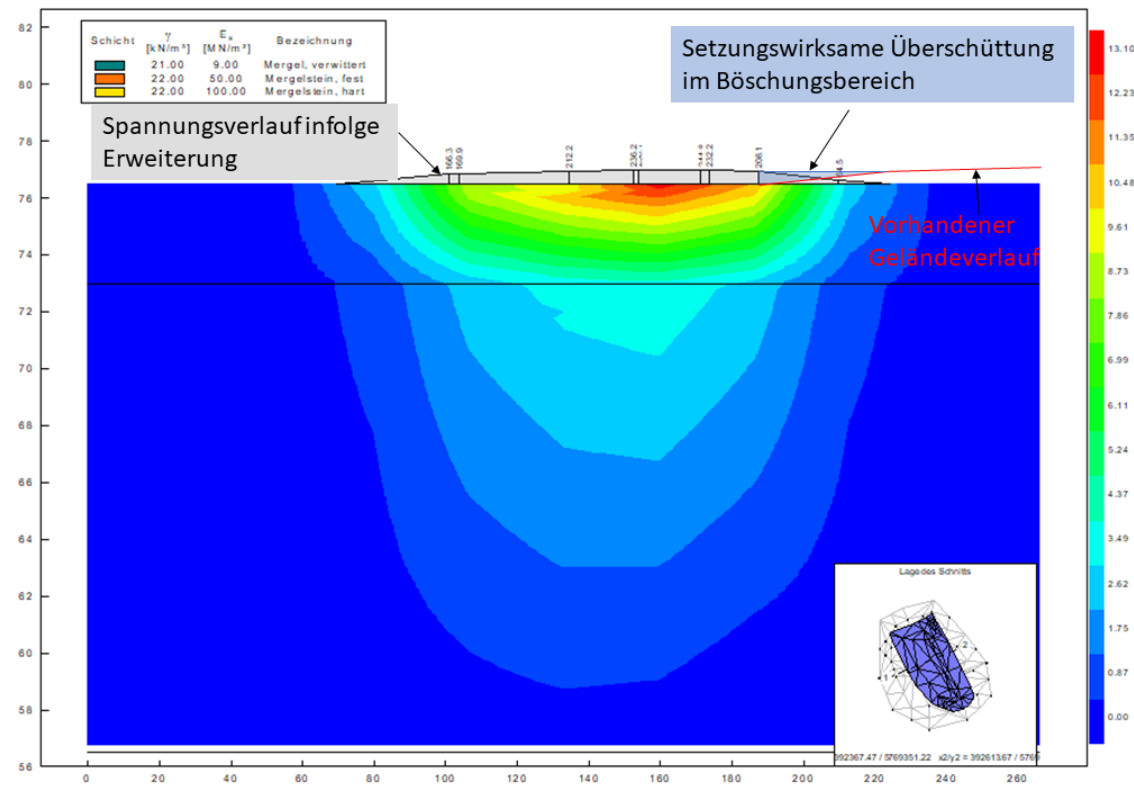


Abbildung 19: Setzungen entlang Schnitt West-Ost ZDA III

### 4.3 Einfluss des Steifemoduls auf das Setzungsverhalten

Wie in Kapitel 2.2 Baugrundeigenschaften beschrieben, ist der Steifemodul der maßgebende Parameter für das Setzungsverhalten. Er wurde für alle Schicht konservativ am unteren Rand der angegebenen Bandbreite angesetzt. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von Steifemodulvariationen der einzelnen Schichten und deren Einfluss auf das Setzungsverhalten dargestellt. Als Bezugsgröße dienen die in Kapitel 4.1 und 4.2 jeweils bestimmten maximalen Setzungen von 31,2 cm (ZDA II.3) bzw. 14,7 cm (ZDA III).

#### 4.3.1 Steifemodulvariationen

Für die drei Bodenschichten werden jeweils die in [U1] angegebenen Werte in verschiedenen Kombinationen angesetzt und entsprechend die Setzungsmulden berechnet. In Tabelle 2 sind die Parameterkombinationen für die durchgeführten Berechnungen angegeben. Im Bereich der ZDA III wird der feste Mergelstein nicht variiert, weil er in den Aufschlüssen nicht anzutreffen war (s.a. Kap. 3.2.2).

Tabelle 2: Parameterkombinationen des Steifemoduls der Bodenschichten der ZDA II.3 und III

Berechnung	Steifemodul nach Bodenart [MN/m <sup>2</sup> ]		
	Mergel	Mergelstein fest	Mergelstein hart
Erweiterungsfläche ZDA II.3			
ZDA II.3 A	9,0	100	200
ZDA II.3 B	9,0	50	200
ZDA II.3 C	16,0	50	100
ZDA II.3 D	16,0	50	200
ZDA II.3 E	16,0	100	200
Erweiterungsfläche ZDA III			
ZDA III A	9,0	-	200
ZDA III B	16,0	-	100
ZDA III C	16,0	-	200

#### 4.3.2 Ergebnisse der Steifemodulvariationen im Bereich der ZDA II.3

Die Berechnungen nach Kombination A prognostizieren bei gleichstifem Mergel ( $E_s = 9$  MN/m<sup>2</sup>) und steiferen Mergelsteinschichten ( $E_s = 100$  bzw.  $200$  MN/m<sup>2</sup>) maximale Setzungen im Bereich von ca. 25,5 cm. In Abbildung 20 (Anlage 2.1.8) ist die entsprechende Setzungsmulde dargestellt. Die Setzungen reduzieren sich um einen Anteil von ca. 19 %.

Diese Änderung ist klein und bedingt durch den großen Unterschied in den Steifemodul zwischen Mergelstein und verwittertem Mergel, in dem der Großteil der Setzungen stattfindet.

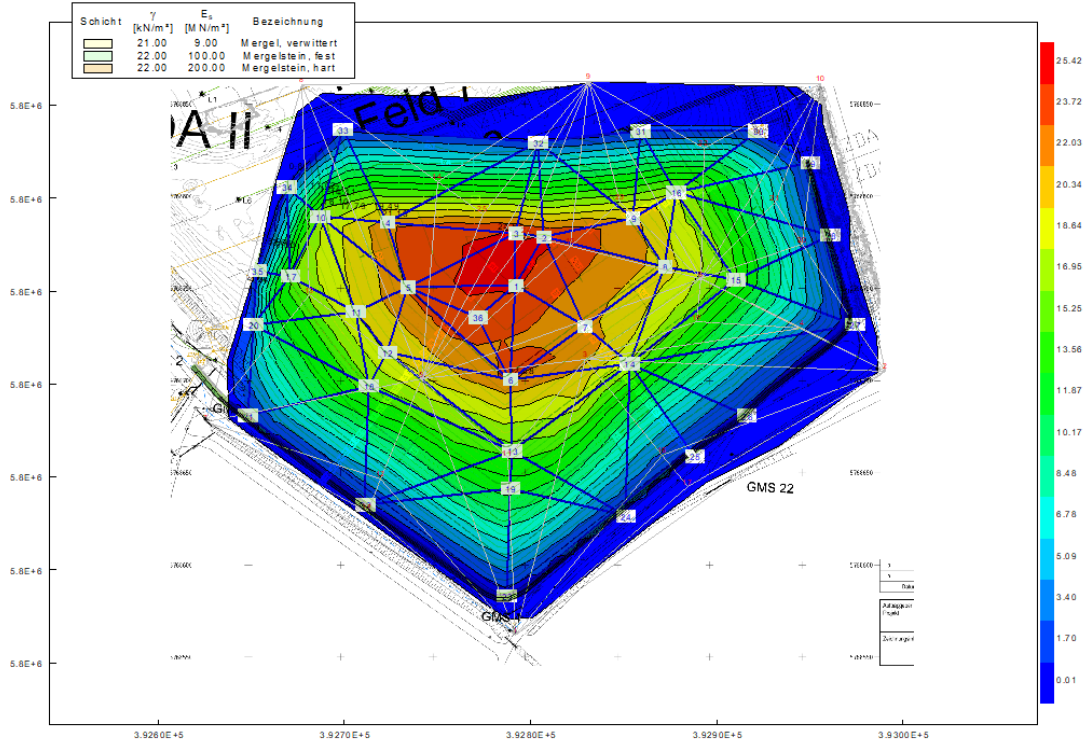


Abbildung 20: Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung A

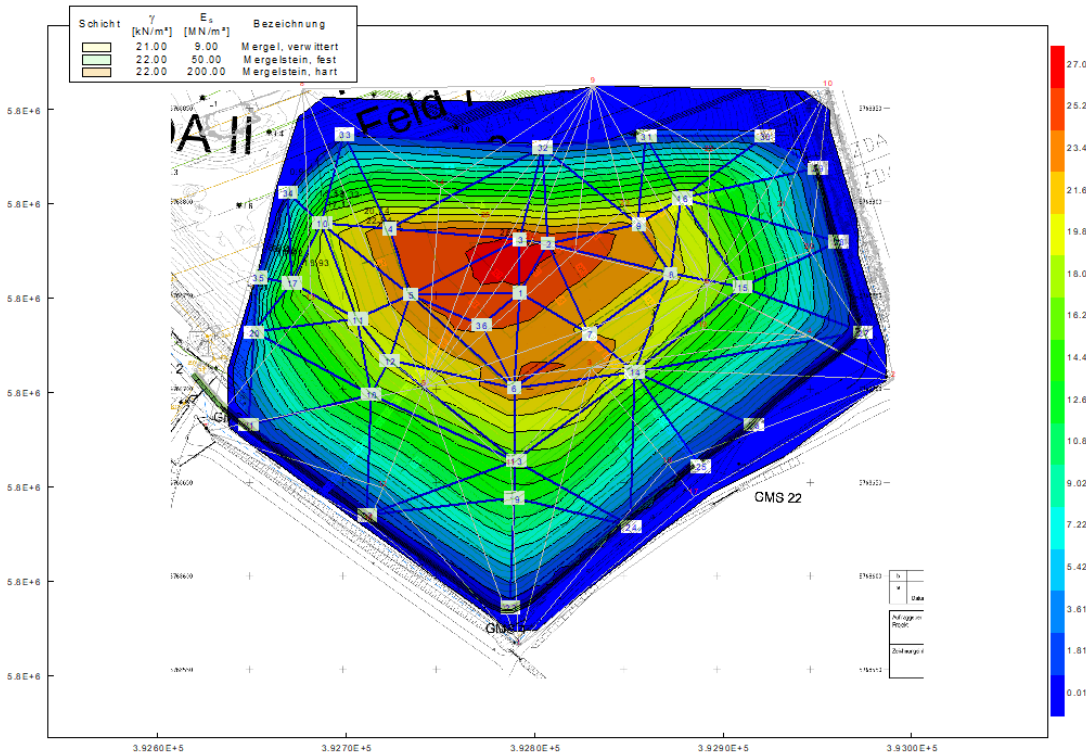


Abbildung 21: Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung B

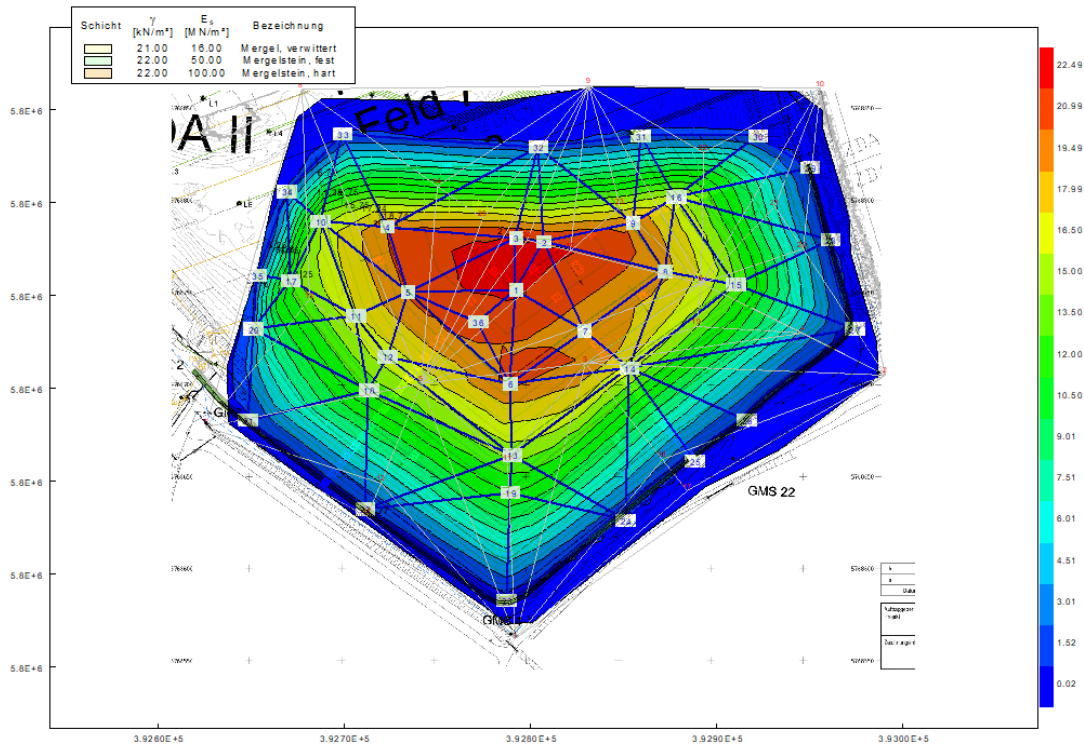


Abbildung 22: Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung C

Erwartungsgemäß kann, wie in Variation B in Abbildung 21 (Anlage 2.1.9) berechnet, bei einer Steifemodulerhöhung lediglich im harten Mergelstein von  $E_s = 100,0 \text{ MN/m}^2$  auf  $E_s = 200,0 \text{ MN/m}^2$ , bei gleichbleibend niedrigen Werten für Mergel  $E_s = 9,0 \text{ MN/m}^2$  und festen Mergelstein  $E_s = 50,0 \text{ MN/m}^2$ , eine noch geringere Veränderung gegenüber der Grundannahme beobachtet werden. Die maximalen Setzungen liegen bei 27 cm, was einer Verringerung von ca. 13,5 % entspricht.

Wird die Steifigkeit des verwitterten Mergels von  $E_s = 9,0 \text{ MN/m}^2$  auf  $E_s = 16,0 \text{ MN/m}^2$  erhöht und die Mergelsteinlagen bleiben bei den konservativ niedrigen Werten von  $E_s = 50,0 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $E_s = 100,0 \text{ MN/m}^2$  entsprechend Variation C, so ergeben sich maximale Setzungen im Bereich von 22,5 cm (Abbildung 22 (Anlage 2.1.10)). Dies entspricht einer Verringerung der mit konservativen Annahmen berechneten Setzung von ca. 28,6 %.

Bei weiterer Erhöhung der Steifigkeit des unteren Mergelsteins auf einen Wert von  $E_s = 200,0 \text{ MN/m}^2$  gemäß Variation D ergeben sich maximale Setzungen im Bereich von ca. 18,5 cm gemäß Abbildung 23 (Anlage 2.1.11). Gegenüber der Ursprungsberechnung entspricht dies einer Abnahme der Setzungen um ca. 41,3 %.

Die Variation E mit den in allen Schichten höchsten Steifemodulen ergibt erwartungsgemäß die kleinste Setzungsprognose (Abbildung 24 (Anlage 2.1.12)). Die maximale Setzung beträgt nur noch 16,8 cm. Dies entspricht einer Verringerung von ca. 46,2 % gegenüber der konservativen Ausgangsannahme.

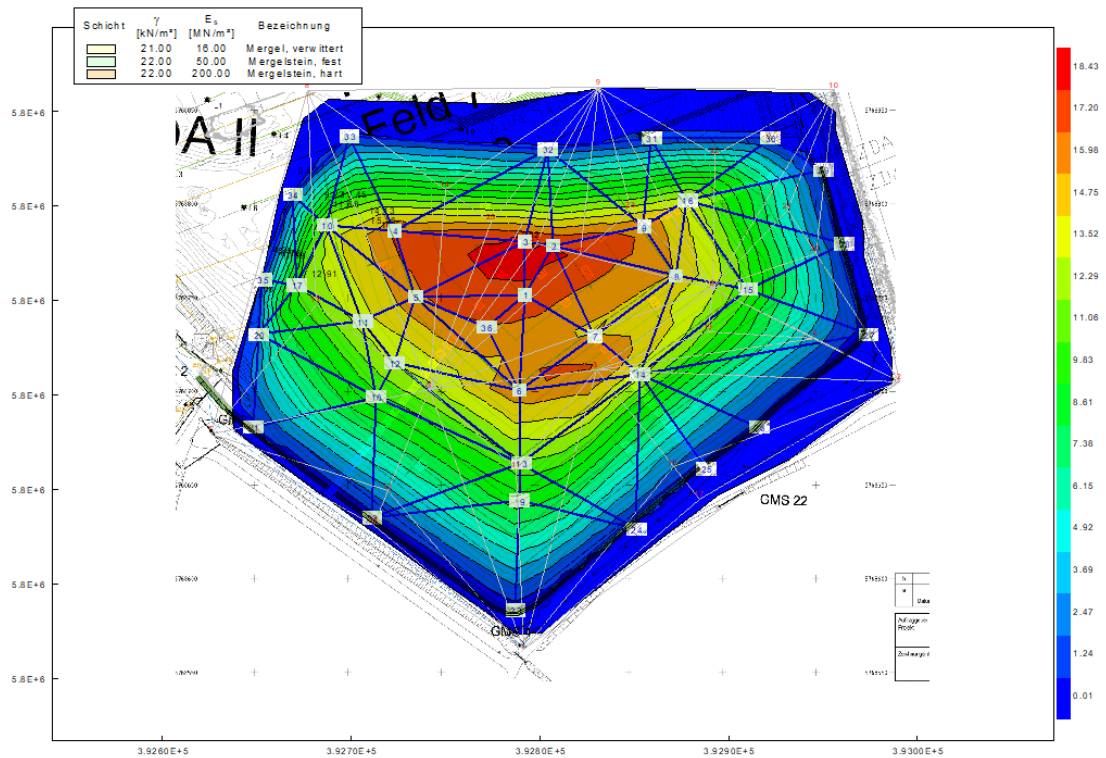


Abbildung 23: Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung D

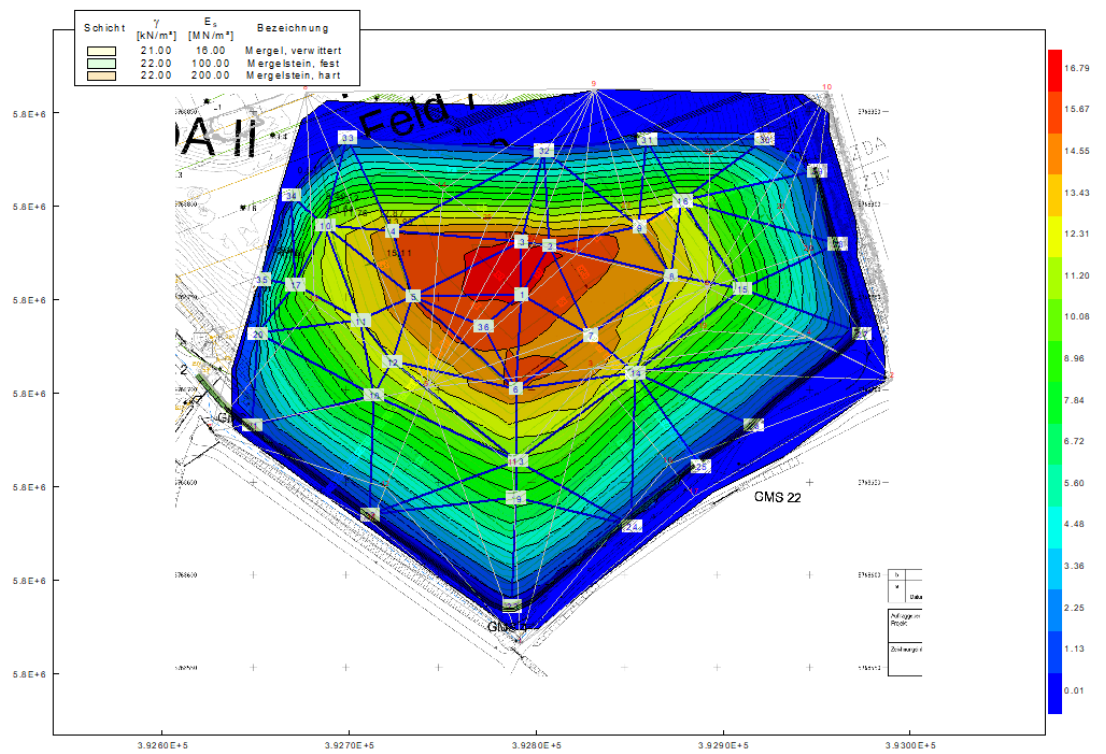


Abbildung 24: Setzungsmulde im Bereich der ZDA II.3 nach Berechnung E

### 4.3.3 Ergebnisse der Steifemodulvariationen im Bereich der ZDA III

Die Berechnungen nach Kombination ZDA III A prognostizieren bei gleichsteifem Mergel ( $E_s = 9 \text{ MN/m}^2$ ) und steiferer Mergelsteinschicht ( $E_s = 200,0 \text{ MN/m}^2$ ) maximale Setzungen im Bereich von ca. 13,6 cm. In Abbildung 25 (Anlage 2.2.7) ist die entsprechende Setzungsmulde dargestellt. Die Setzungen reduzieren sich um einen Anteil von ca. 7,5 %. Diese Änderung ist klein und bedingt sich durch den großen Unterschied in den Steifemoduln zwischen Mergelstein und verwittertem Mergel, in dem der Großteil der Setzungen stattfindet.

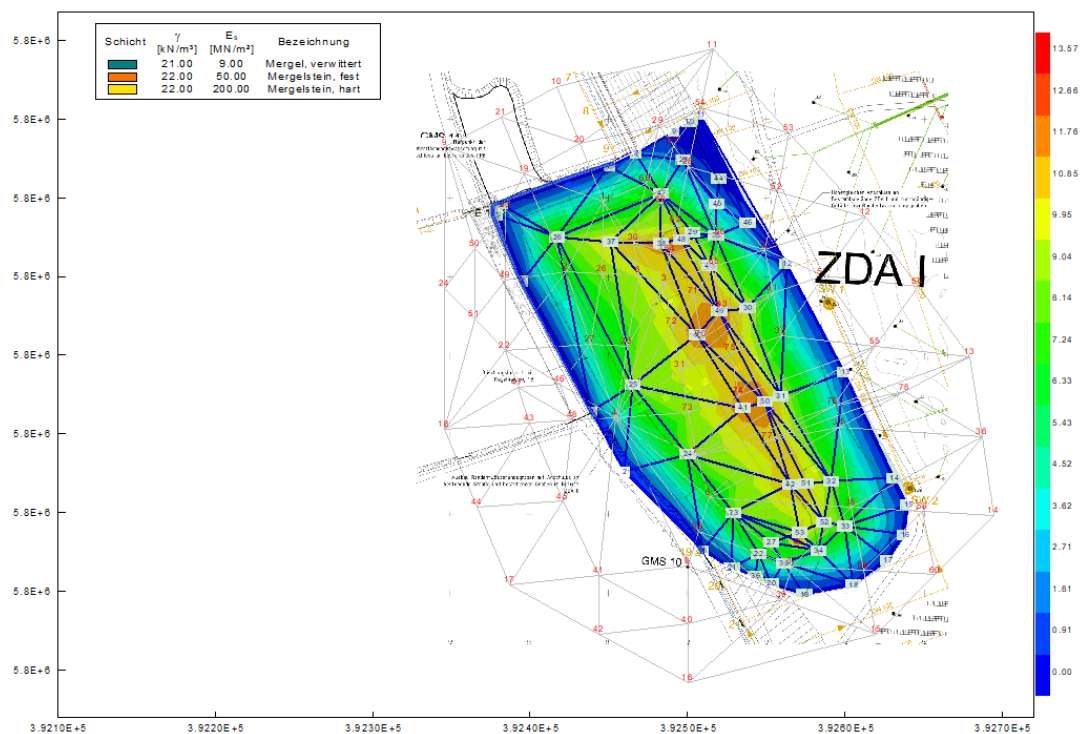


Abbildung 25: Setzungsmulde im Bereich der ZDA III nach Berechnung A

Bei Erhöhung der Steifigkeit des verwitterten Mergels von  $E_s = 9,0 \text{ MN/m}^2$  auf  $E_s = 16,0 \text{ MN/m}^2$  und bleibt die harte Mergelsteinschicht bei dem konservativ niedrigen Wert von  $E_s = 100,0 \text{ MN/m}^2$  entsprechend Variation B, so ergeben sich maximale Setzungen im Bereich von 9,5 cm gemäß Abbildung 26 (Anlage 2.2.8). Dies entspricht einer Verringerung der mit konservativen Annahmen berechneten Setzung von ca. 35,4 %.

Bei weiterer Erhöhung der Steifigkeit des harten Mergelsteins auf einen Wert von  $E_s = 200,0 \text{ MN/m}^2$  und einem steiferen Mergel mit  $E_s = 16,0 \text{ MN/m}^2$  gemäß Variation C ergeben sich maximale Setzungen im Bereich von ca. 8,1 cm gemäß Abbildung 27 (Anlage 2.2.9). Gegenüber der Ursprungsberechnung entspricht dies einer Abnahme der Setzungen um ca. 44,9 %.

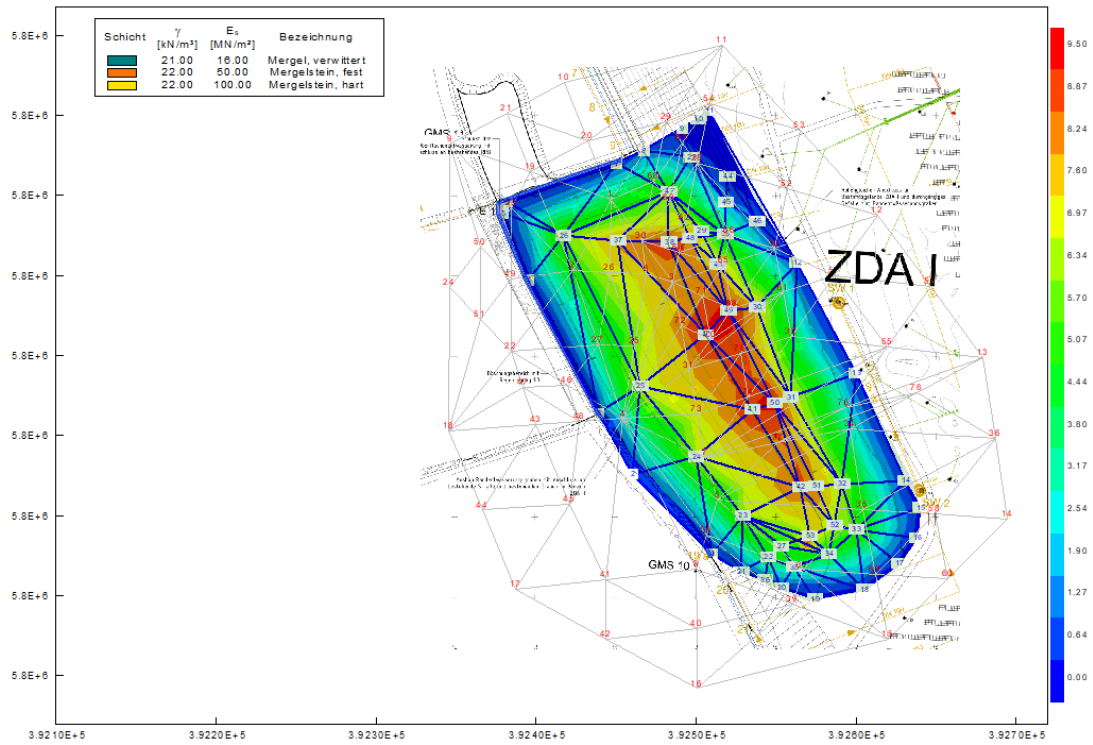


Abbildung 26: Setzungsmulde im Bereich der ZDA III nach Berechnung B

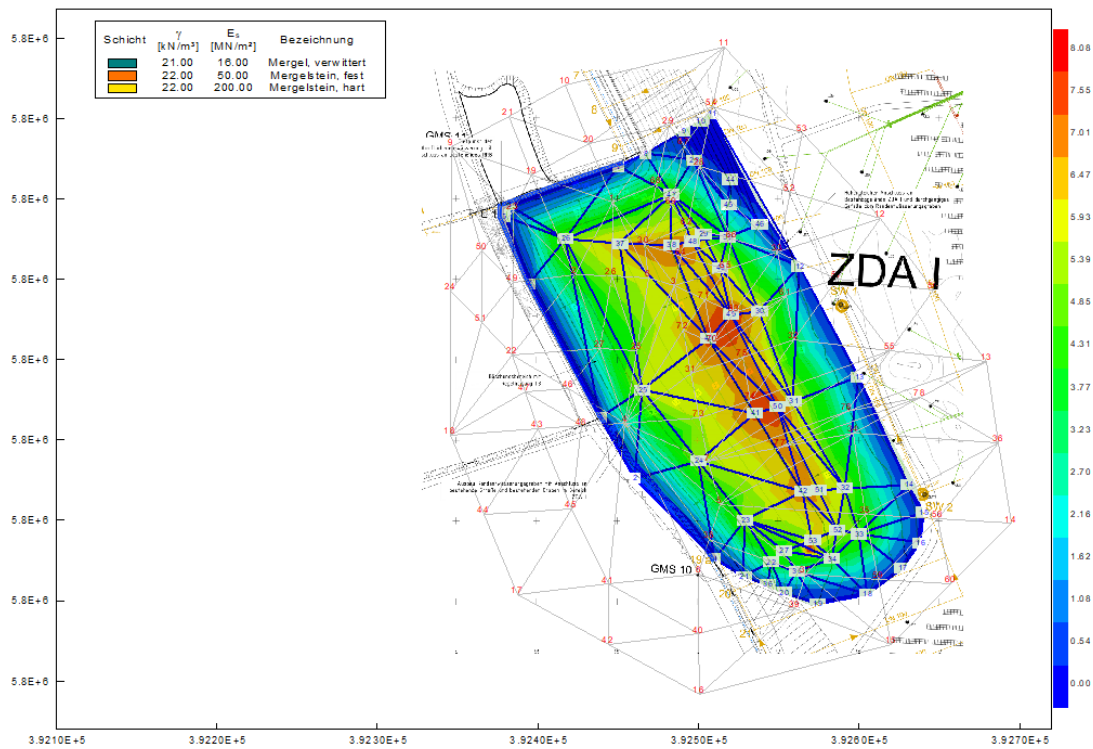


Abbildung 27: Setzungsmulde im Bereich der ZDA III nach Berechnung C



#### 4.3.4 Zusammenfassung der Setzungsprognosen

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Setzungsberechnungen der konservativen Grundannahme und der Steifemodulvariationen dargestellt. In Abhängigkeit der Steifemodulansätze je Schicht werden die maximalen Setzungen als auch die Reduzierung der Setzungsprognose der einzelnen Variationen im Vergleich zur Grundannahme aufgezeigt.

Tabelle 3: Zusammenfassung der steifemodulabhängigen Setzungen der ZDA II.3 und III

Berechnung	Steifemodul nach Bodenart [MN/m <sup>2</sup> ]			Max. Setzung S [cm]
	Mergel	Mergelstein fest	Mergelstein hart	( $\Delta S$ Abnahme in %)
<b>Erweiterungsfläche ZDA II.3</b>				
ZDA II.3	9,0	50	100	31,2
ZDA II.3 A	9,0	100	200	25,5 (-19,0 %)
ZDA II.3 B	9,0	50	200	27,0 (-13,5%)
ZDA II.3 C	16,0	50	100	22,5 (-28,6 %)
ZDA II.3 D	16,0	50	200	18,5 (-41,3 %)
ZDA II.3 E	16,0	100	200	16,8 (-46,2 %)
<b>Erweiterungsfläche ZDA III</b>				
ZDA III	9,0	-	100	14,7
ZDA III A	9,0	-	200	13,6 (-7,5 %)
ZDA III B	16,0	-	100	9,5 (-35,4 %)
ZDA III C	16,0	-	200	8,1 (-44,9 %)

Wie bereits beschrieben, liegen die konservativ berechneten maximalen Setzungen im Bereich der ZDA II.3 bei ca. 31,2 cm und im Bereich der ZDA III bei ca. 14,7 cm. Erwartungsgemäß führt jede Steifigkeitserhöhung zu einer Verringerung der Setzung. In beiden Erweiterungsbereichen ist hierbei klar zu erkennen, dass bei Annahme der Steifemodule im oberen Bereich, entsprechend einer optimistischen Annahme, die maximalen Setzungen um bis zu ca. 45 % gegenüber der konservativen Annahme reduziert werden.

Die Variationen zeigen auf, dass unter Berücksichtigung möglicher Streuungen der Bodenparameter die Setzungen für ZDA II.3 in einem Bereich von ca. 17,0 cm bis 31,0 cm, für ZDA III in einem Bereich von ca. 8,0 cm bis 15,0 cm prognostiziert werden können. Die tatsächlichen Werte werden erfahrungsgemäß zwischen diesen Extremwerten liegen. Die konservative Annahme am unteren Rand der Bandbreite der Steifemodulangaben liegt somit auf der sicheren Seite.

Bei Ansatz der hier als größte Setzungen berechneten Werte im Rahmen des überhöhten Einbaus der Profilierung der Basisabdichtung und der Dränschicht sollten die geforderten Mindestneigungen langfristig eingehalten werden können.

## 5 Kompressionsverformungen in den Altkörpern

Durch die Erweiterung der Flächen ZDA II.3 und ZDA III kommt es zu Überlagerungen der neuen Deponiekörper auf Teilen der alten Deponiekörper. Dies führt zum einen, wie in Kapitel 4 dargestellt, zu Setzungen des Untergrundes im bisher unbebauten Feld aber auch zu zusätzlichen Setzungen im Bereich der vorhandenen Ablagerungen. Im Bereich der Anschulterung von ZDA III zu ZDA I wird die vorhandene Oberflächenabdichtung des Altkörpers ZDA I zur Multifunktionalenabdichtung umfunktioniert, wodurch sie gleichzeitig die Funktion der Basisabdichtung des Erweiterungsbereichs ZDA III übernimmt. Im Bereich des Übergangs von ZDA II.3 zum Bereich ZDA II.2 wird die neue Basisabdichtung an das bestehende Feld 9 angeschlossen. Hier wird keine Multifunktionaleabdichtung erstellt. Es erfolgt eine kontinuierliche Aufschüttung der Felder 7-9 mit anschließender Anlehnung des im Bereich ZDA II.3 verfüllten Abfalls an den Bereich ZDA II.2.

Um die gesamte Verformungsbeanspruchung dieses Systems berechnen und kontrollieren zu können, sind die Kompressionsverformungen bzw. -setzungen des Altkörpers durch die Neubelastung zu prognostizieren und zu den Setzungen des Untergrundes aufzuaddieren. Anhand der sich daraus ergebenden Kurvenverläufe können Angaben zu dem sich wahrscheinlich einstellenden Krümmungsradius in dem Abdichtungssystem gemacht werden. Grundlage für die berücksichtigten Untergrundsetzungen sind die Ergebnisse der konservativen Grundannahme gemäß Kapitel 2.2.

Das Programm GGU-Settle kann nur begrenzt Oberflächenprofile nachbilden. Aus diesem Grund werden für beide Erweiterungsbereiche jeweils ein Schnitt mit dem Profil entlang der vorhandenen Altböschungen erstellt. Für den abgelagerten Abfall müssen Annahmen über deren Steifemodule getroffen werden, was nur anhand von Literaturwerten [U5] erfolgen kann, weil hierfür keine Untersuchungen vorliegen. Für neuere Deponiebereiche, die in der Regel seit 2005 nur noch Abfälle ohne organische Bestandteile beinhalten, können bodenähnliche Werte angenommen werden. Für Abfälle, die noch den klassischen, organikhaltigen Siedlungsabfällen von vor 2005 entsprechen, werden Werte aus entsprechenden Forschungsvorhaben übernommen und in einer gewissen Bandbreite betrachtet. Die Berechnungen erfolgen vereinfacht in Form von Tabellenkalkulationsprogrammen.

### 5.1 Kompression des Altkörpers im Bereich ZDA II.3

Die hier vorliegenden bestehenden Deponieabschnitte der Felder 7 bis 9 sind im Wesentlichen mit mineralischen bzw. bodenähnlichen Abfällen verfüllt worden bzw. werden noch verfüllt. Somit können hier vereinfacht Steifemodule vergleichbar zu einem locker gelagerten Sand bzw. im Bereich der Bandbreite von Auffüllungen als Schätzung angesetzt werden, um den Einfluss auf das Verformungsverhalten der Altböschung abschätzen zu können. Es werden die Setzungen des Untergrundes gemäß Schnittführung im Übergangsbereich von ZDA II.3 zu den nördlich anschließenden Böschungen der Felder 7-9 im Untergrund gemäß GGU-Settle ermittelt (Abbildung 28). Wie bereits erläutert, ist die vorhandene Böschungsgeometrie in GGU-Settle nicht nachbildbar, so dass stattdessen die in der Verfüllphase von der

Böschungsoberkante bis zum Böschungsfuß zunehmende Überdeckungshöhe durch eine entsprechende Spannungszunahme (von links nach rechts in Abbildung 26, (Anlage 2.1.16)) simuliert wird.

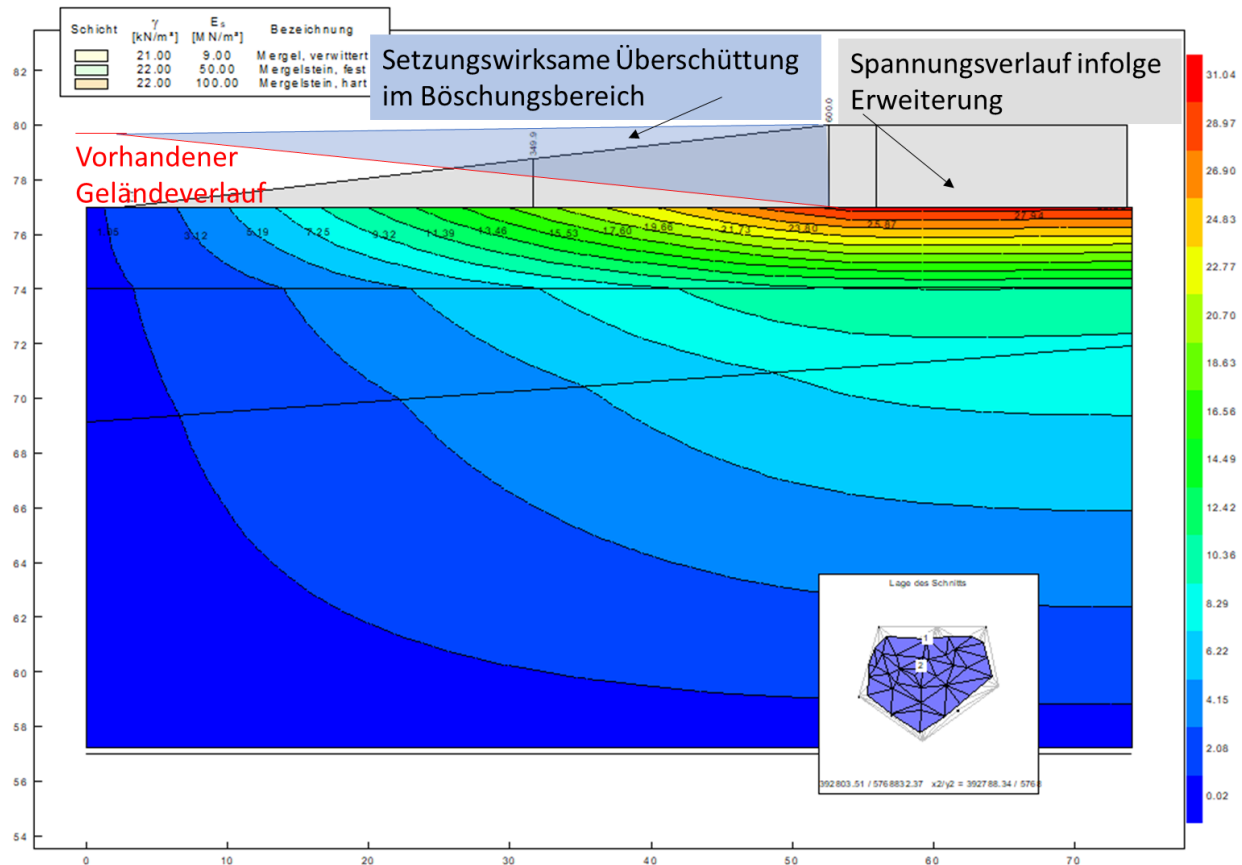


Abbildung 28: Setzungen entlang Schnitt N-S im Bereich der ZDA II.3 nach Norden

Die Setzungen entlang des Schnittes werden als Untergrundsetzungen in die Berechnung übernommen und zur Ermittlung der Gesamtverformung genutzt. Untersucht wurde der Verformungseinfluß eines mineralischen Abfallkörpers mit folgenden durchschnittlichen Steifemoduln:

- Locker gelagert, unverdichtet:  $E_{s1} = 15 \text{ MN/m}^2$  (Anlage 2.1.17)
- Mitteldichte Lagerung, leicht verdichtet:  $E_{sm} = 40 \text{ MN/m}^2$  (Anlage 2.1.18)
- Zwischenabdeckung, 1 m mächtig:  $E_s = 20 \text{ MN/m}^2$

Die Ergebnisse der Setzungen sind in Abbildung 29 dargestellt. In dem Diagramm sind die jeweiligen Setzungsanteile aus dem Untergrund, der Kompression des Abfallkörpers und der Böschungsoberkante aufgetragen. Die Summe der drei Setzungsanteile ergibt die Schätzung der Gesamtsetzung der Altböschung. Der Nullpunkt auf der Rechtsachse beschreibt den Ort der Böschungsoberkante, ca. Station 64 m beschreibt den Böschungsfußpunkt auf derzeitigem Geländeniveau, weshalb in diesem Bereich die Setzungen im Abfallkörper abgeklungen sind, und im Untergrund ein konstantes Niveau erreichen. Die größten Verformungen des Abfallkörpers treten ungefähr in der Mitte der Böschung auf. In der

Gesamtsumme liegen die größten Setzungen im Bereich des unteren Drittels ab Station 37 m und laufen bis in den Neukörper hinein.

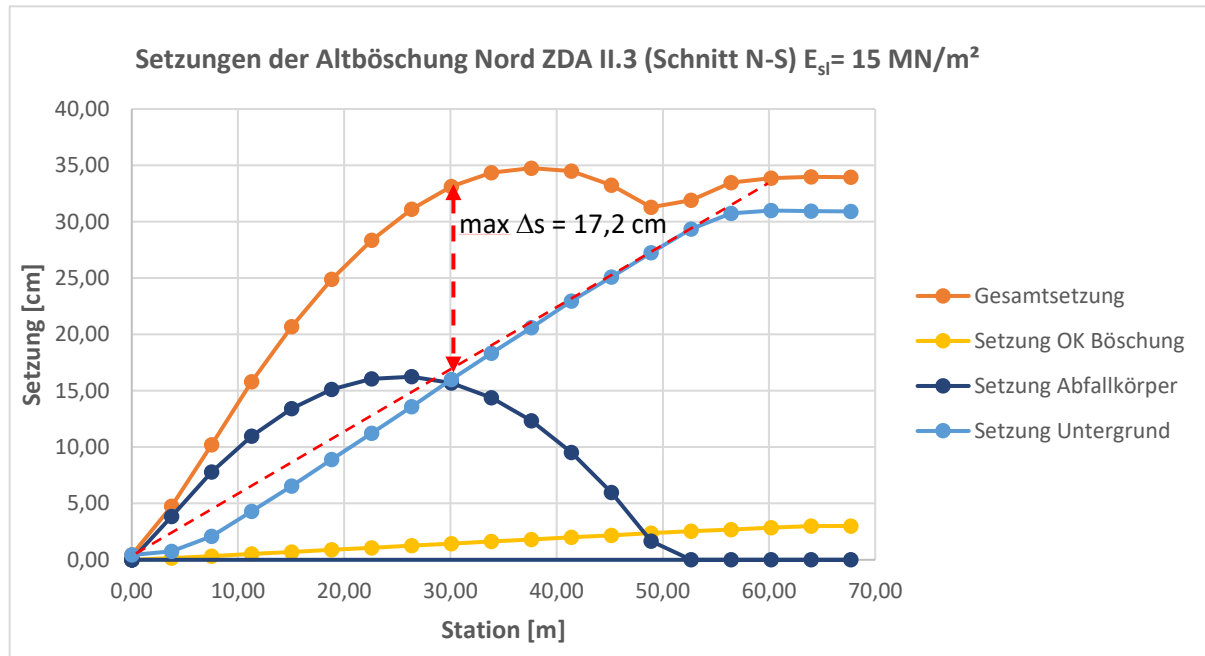


Abbildung 29: Setzungen der Altböschung Nord der ZDA II.3  $E_{s1} = 15 \text{ MN/m}^2$

Eingetragen ist ebenfalls die maximale Setzungsdifferenz bzw. der Durchhang der Oberkante der Altböschung. Er beträgt ca.  $\max. \Delta s = 17,2 \text{ cm}$ . Dieser Wert kann in Relation zur Aufstandslänge der Böschung von ca. 64 m über eine Parabelgleichung (Gleichung 1) genutzt werden, um näherungsweise die Dehnung der Böschungsoberkante zu bestimmen. Hierbei entspricht der Stich  $f$  der maximalen Setzungsdifferenz und  $L$  der Aufstandslänge.

$$\epsilon = \frac{100 \cdot 8}{3} \cdot \left(\frac{f}{L}\right)^2 \quad [\%] \quad (1)$$

Die Dehnung beträgt somit  $\epsilon_{11,3,15} = 0,0019 \%$  gegenüber der ursprünglichen Länge.

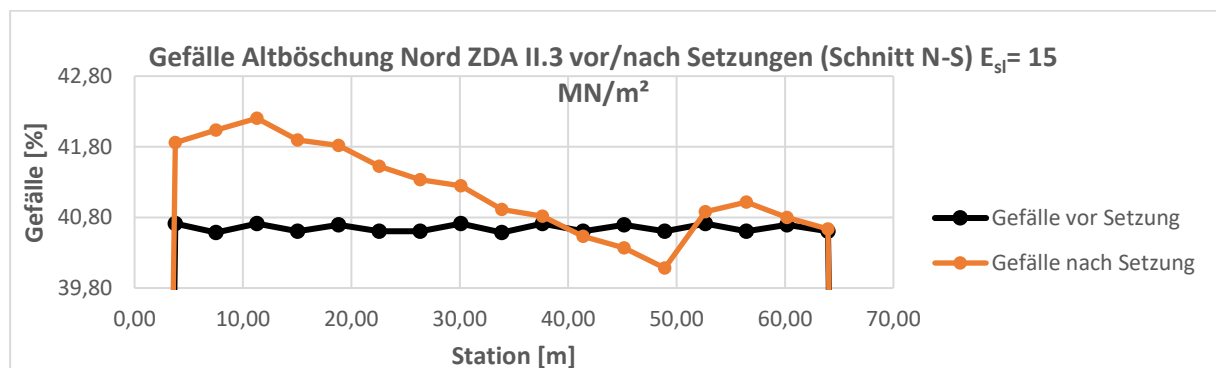


Abbildung 30: Gefälle der Nordböschung nach Verfüllung der ZDA II.3  $E_{s1} = 15 \text{ MN/m}^2$

Abbildung 30 beschreibt die Veränderung des Gefälles infolge der Setzungen im Bereich der Nordböschung. Während im Ausgangszustand das Gefälle gemäß Planung bei einer Neigung von ca. 1:2,5 bei 40,8 % liegt, kommt es durch die Gesamtsetzung zu geringfügigen Abweichungen um maximal ca. 1,5 %-Punkte nach oben bzw. 0,4 %-Punkte nach unten.

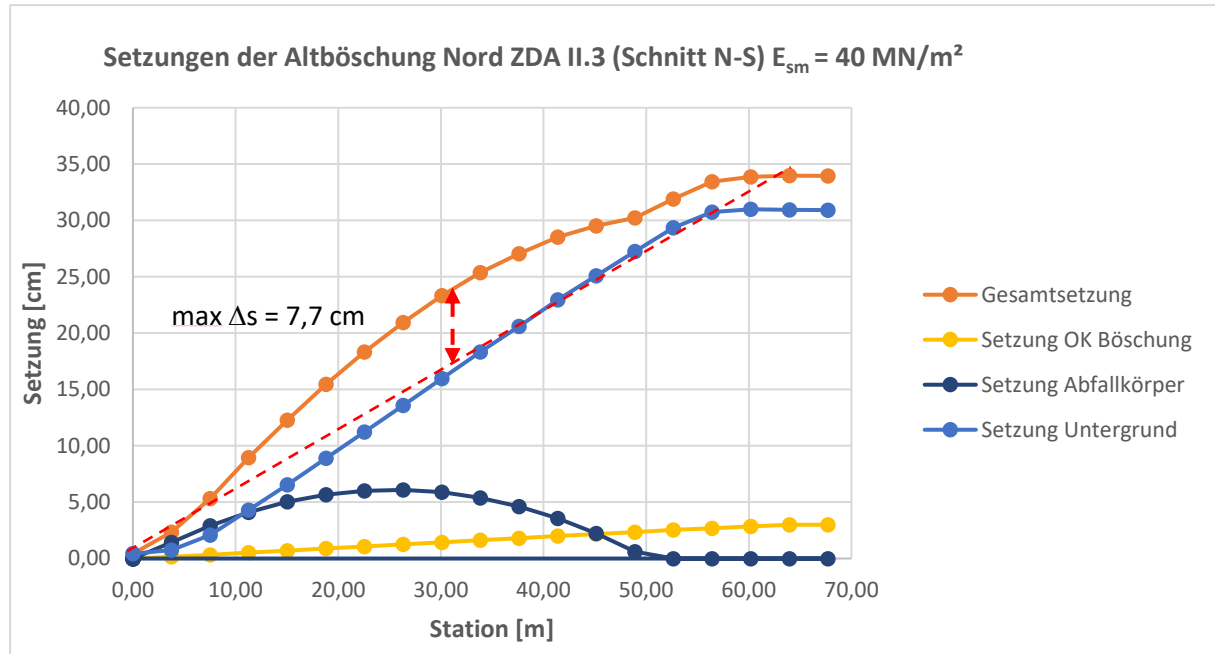


Abbildung 31: Setzungen der Altböschung Nord der ZDA II.3  $E_{sm} = 40 \text{ MN/m}^2$

Der Ansatz eines höheren Steifemoduls von  $E_{sm} = 40 \text{ MN/m}^2$  (Abbildung 31) führt entsprechend zu unwesentlichen geringeren Gesamtsetzungen im unteren Böschungsbereich, weil hier der Einfluss der Untergrundsetzungen überwiegt. Jedoch werden die Verformungen durch Kompression des Abfallkörpers stark verringert und liegen nur noch in einem Bereich von ca.  $\max. \Delta s = 7,7 \text{ cm}$ . Die entsprechende Dehnung beträgt ca.  $\epsilon_{II.3, 40} = 0,0004 \%$  gegenüber der ursprünglichen Länge.

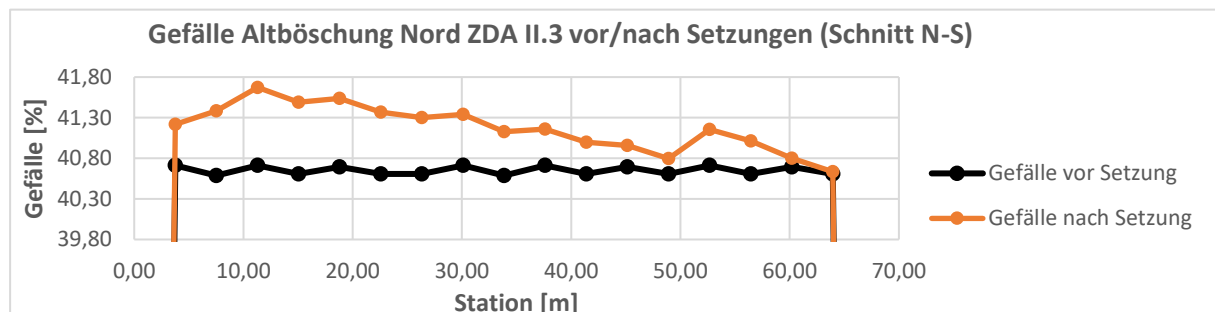


Abbildung 32: Gefälle der Nordböschung nach Verfüllung der ZDA II.3  $E_{sm} = 40 \text{ MN/m}^2$

Bei der entsprechenden Betrachtung des Einflusses auf das Gefälle (Abbildung 32) ist hier mit noch geringeren Abweichungen zu rechnen. Es kommt zu maximalen Erhöhungen des Gefälles um ca. 0,9 %-Punkte im oberen Böschungsbereich.

## 5.2 Kompression des Altkörpers ZDA I unter der Erweiterung ZDA III

Die im Altbereich der ZDA I abgelagerten Abfälle können nach GDA-Empfehlung E 1-8 [U4] als nicht bodenähnliche Abfälle oder Mischablagerungen beschrieben werden. Ihr geotechnisches Verhalten unterscheidet sich von den in anderen Bereichen abgelagerten bzw. abzulagernden mineralischen, bodenähnlichen Abfällen. Gemäß GDA-Empfehlung E 2-19 [U5] können die gleichen bodenmechanischen Berechnungsverfahren genutzt werden, jedoch können sich die abfallmechanischen Parameter wesentlich unterscheiden. Die auflastabhängige Zusammendrückung erfolgt hier infolge von Umlagerung der Bestandteile und Zersetzung von Inhaltsstoffen. Die Größenordnung der Setzungen ist abhängig von Faktoren wie Zusammensetzung, Spannungszustand, Wassergehalt, Einbaudichte, Zeit, Zersetzungsgrad und Geometrie des Deponiekörpers. Aufgrund der hierzu am Projekt ZD Altenberge nicht vorhandenen Datenlage können für die Erweiterungen ZDA II.3 und ZDA III nur Setzungsschätzungen mit Erkenntnissen aus anderen Deponien bzw. Literaturwerten erstellt werden. Die Setzungsschätzung kann nur durch nachlaufend erfolgende Beobachtungen, in diesem Fall z.B. Setzungsmessungen während der Kamerabefahrung in Sickerwasserleitungen unterhalb der Baufelder verifiziert bzw. angepasst werden (Stichwort Beobachtungsmethode).

Der Steifemodul  $E_s$  eines Mischabfalls kann gemäß GDA E 2-24 [U6] auf der Basis von Untersuchungen an Abfällen von verschiedenen Betriebs- und Altdeponien näherungsweise linear nach Gleichung 2 für Spannungen  $\sigma > 50 \text{ kN/m}^2$  näherungsweise ermittelt werden:

$$E_s = a + b \cdot \sigma \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2)$$

Tabelle 2-24.1 in GDA E 2-24 [U6] gibt entsprechende Werte für die Variablen a und b vor. Die Auflastspannung ergibt sich aus der Überschüttungshöhe und der Wichte, der neu abzulagernden Abfälle im Bereich ZDA III.

Für einen länger abgelagerten Mischabfall können die Parameter a und b mit  $a = -100 \text{ kN/m}^2$  und  $b = 12$  angesetzt werden. Die wirksame Auflastspannung an der höchsten Überschüttungsstelle von ca. 19,5 m ermittelt sich zu:

$$\sigma = \gamma \cdot h = 17,5 \cdot 19,5 = 341,25 \text{ kN/m}^2$$

Entsprechend ergibt sich ein maximaler Steifemodul in einer Größenordnung von

$$E_s \text{ [kN/m}^2\text{]} = -100 + 12 \cdot 341,25 = 3985 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Für Spannungen ab  $50 \text{ kN/m}^2$  ergibt sich ein Steifemodul von:

$$E_s \text{ [kN/m}^2\text{]} = -100 + 12 \cdot 50 = 500 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Unter der Annahme, dass aufgrund der unbekanntenen Datenlage über die gesamte Höhe ein mittlerer Steifemodul für die Berechnungen (Anlage 2.2.13) eine ausreichende Genauigkeit bietet, wird ein mittlerer Steifemodul des Mischabfalls gebildet. Er beträgt:

$$E_s [kN/m^2] = \frac{3985 + 500}{2} = 2242,5 [kN/m^2]$$

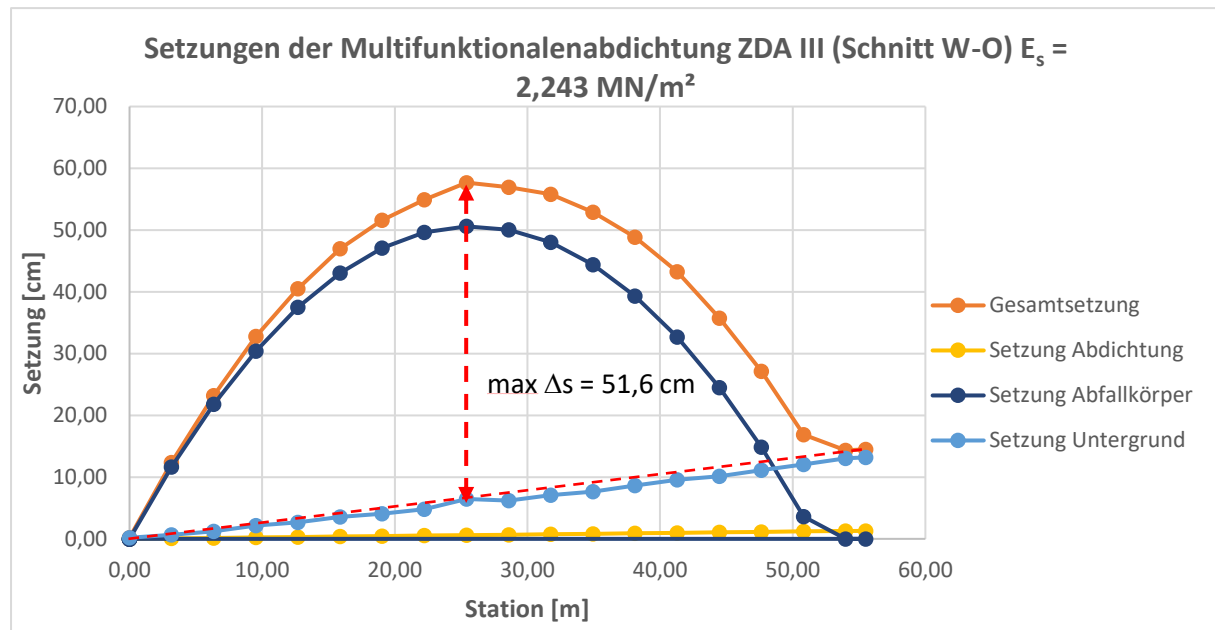


Abbildung 33: Ergebnisse der Setzungsberechnungen Altböschung Ost der ZDA III

Wie Abbildung 33 entnommen werden kann, ergibt sich aufgrund des geringen Steifemoduls des Mischabfalls eine maximale Setzungsabschätzung von ca. 58 cm. Die entsprechende größte Setzungsdifferenz liegt bei max.  $\Delta s = 51,6 \text{ cm}$ . Die entsprechende Dehnung bezogen auf eine Aufstandslänge der Böschung von  $L = 55,5 \text{ m}$  beträgt ca.  $\epsilon_{III, 2,4} = 0,0231 \%$  gegenüber der ursprünglichen Länge.

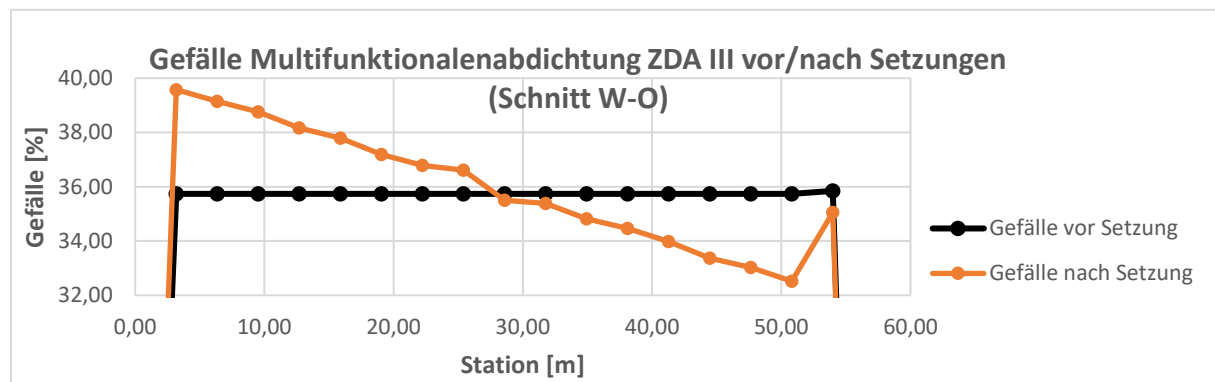


Abbildung 34: Gefälle der Ostböschung nach Verfüllung der ZDA III  $E_{sm} = 2,243 \text{ MN/m}^2$

Die großen Vertikalverformungen führen entsprechend zu stärkeren Veränderungen der lokalen Gefälle der Multifunktionalenabdichtung, wie in Abbildung 34 zu erkennen ist. Die

Abweichungen betragen gegenüber der in diesem Bereich angesetzten Ursprungsneigung von 1:2,8 (35,71 %) im oberen Böschungsbereich maximal ca. 3,8 %-Punkte zum steileren (1:2,53) und im unteren Bereich ca. 3,2 %-Punkte zum flacheren (1:3,07). Diese Abweichungen beeinträchtigen jedoch nicht das Ableitvermögen der Dränschicht bzw. verursachen keine Senkenbildung innerhalb der Böschung.

### 5.3 Ermittlung der Krümmungsradien in den Multifunktionalenabdichtungen

Der Krümmungsradius ist als Maß der Durchbiegung und den daraus resultierenden Randdehnungen einer mineralischen Abdichtung gemäß LANUV-Arbeitsblatt 33 [U8] in der Regel auf ein kleinstes Maß von  $r = 200$  m zu begrenzen. Für die in den Kapiteln 5.1 und 5.2 berechneten Setzungsmulden können die Krümmungsradien näherungsweise gemäß Gleichung 3 bei Kenntnis des Stichts  $h$  und der Kreissehne  $s$  (Basislänge der Böschung) eines Kreissegmentes berechnet werden.

$$r = \left( \frac{s^2}{4} + h^2 \right) / (2h) \text{ [m]} \quad (3)$$

Tabelle 4: Vorhandene Krümmungsradien und mögliche Setzungen in den Multifunktionalenabdichtungen

Erweiterung	Steifemodul [MN/m <sup>2</sup> ]	Stich max. $\Delta s$ [m]	Basislänge [m]	Dehnung [%]	Krümmungsradius [m]
ZDA II.3	15,0	0,172	64,0	0,0019	<u>2976,8</u>
ZDA II.3	40,0	0,077	64,0	0,0004	<u>6649,4</u>
ZDA III	2,2425	0,516	55,5	0,0231	<u>746,4</u>
ZDA II.3 max $\Delta s$	76,75	<u>2,58</u>	64	<u>0,433</u>	200,0
ZDA III max $\Delta s$	76,87	<u>1,94</u>	55,5	<u>0,326</u>	200,0

Tabelle 4 fasst in den ersten drei Zeilen die Ergebnisse der Verformungsberechnungen der Altböschungen zusammen. Die hierzu ermittelten Krümmungsradien liegen mit  $r_{III} = 746$  m für ZDA III über dem geforderten Minimum. Im Gegenzug wurde in den Zeilen 4 und 5 für einen Krümmungsradius von  $r = 200$  m die zugehörigen Setzungsdifferenzen und Dehnungen in der Multifunktionalenabdichtung berechnet. Die erforderlichen Setzungen liegen im Bereich von  $\Delta s_{II.3} = 2,58$  m bzw.  $\Delta s_{III} = 1,94$  m. Auch diese Abschätzung zeigt, dass, verglichen mit zulässigen Dehnungen bei Kunststoffdichtungsbahnen in der Regel von  $\varepsilon_{zul.} = 2,5$  % und bei mineralischen Dichtungen in der Größenordnung von  $\varepsilon_{zul.} = 3$  % - 6 %, die Dehnungen der Abdichtungskomponenten immer noch in einem unkritischen Bereich liegen. Die Angaben zu den Bereichen ZDA II.3 mit  $r_{II.3} = 2977$  m bzw.  $r_{II.3} = 6649,4$  m dienen nur zur Information über die voraussichtliche Verformung der Altböschung ZDA II.2, in der jedoch keine Multifunktionaleabdichtung eingebaut wird.



## 5.4 Zusammenfassende Beurteilung der Böschungsverformungen

Für den Bereich ZDA II.3 im Übergang zu Feld 9 ist davon auszugehen, dass die prognostizierten Krümmungsradien und Dehnungen in der Altböschung keinen negativen Einfluss auf den vorhandenen bzw. neu aufzuschüttenden Deponiekörper haben werden. Die angesetzten Steifemodulvariationen liegen in einem realistischen bis konservativen Bereich für mineralische Abfälle. Die Böschungen in den Bereichen der Felder 7 - 9 nördlich der ZDA II.3 werden nach Stand der Technik hergestellt, so dass davon auszugehen ist, dass höhere Steifemodule und entsprechend geringere Setzungen zu erwarten sind. Diese Verformungen haben nur informativen Charakter, weil in diesem Bereich keine Multifunktionaleabdichtung eingebaut wird.

Der Bereich der Ostböschung der ZDA III ist geprägt durch den in der ZDA I abgelagerten Mischabfall, dessen bodenmechanische Kennwerte nur sehr schwer und in Anlehnung an GDA 2-24 abgeschätzt werden können. Auch hier kann aufgezeigt werden, dass das zu erwartende mögliche Setzungsverhalten die Anforderungen an Dehnung und Krümmungsradius in Bezug auf die in der ZDA I vorhandenen Abdichtungselemente nicht überschreitet und Reserven vorhanden sind. Bei den vorhandenen Werten wäre eine Abminderung des durchschnittlichen Steifemoduls des Mischabfalls von  $E_s = 2,25 \text{ MN/m}^2$  bis auf ca.  $E_s = 0,6 \text{ MN/m}^2$  möglich, bis die Grenzbedingungen nicht mehr eingehalten werden. Dieser Schwankungsbereich wird aufgrund des langjährig zurückliegenden Ablagerungszeitraums auch ausreichend sein, um noch auftretende Abbauprozesse und deren Folgen auf die Setzungen kompensieren zu können.

## 6 Standsicherheitsberechnungen

Für die Standsicherheit der Erweiterungsflächen ZDA II.3 und ZDA III werden folgende relevante statischen Berechnungen durchgeführt:

- Spreizsicherheit der Basisabdichtung
- Temporäre Sicherheit gegen Gleiten der abgedichteten Altböschungen

### 6.1 Sicherheit gegen Spreizen

Als Spreizsicherheit wird das Ausweichen des Böschungsfußes infolge nicht ausreichender Aufnahmefähigkeit von Spreizspannungen in der Aufstandsfläche bezeichnet. Mit dem Ansatz von BRAUNS lässt sich der Einfluss der Neigung der Aufstandsfläche erfassen, wobei der erforderliche Sohlreibungswinkel wie folgt ermittelt wird:

$$\tan\delta_{erf,d} = \frac{\sin\varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi} * \sin\left[\arcsin\left(\frac{\sin\beta_d}{\sin\varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi}}\right) - \beta_d + 2 * \varepsilon_d\right]}{1 + \sin\varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi} * \cos\left[\arcsin\left(\frac{\sin\beta_d}{\sin\varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi}}\right) - \beta_d + 2 * \varepsilon_d\right]} \quad (4)$$

mit	$\beta_d$	Böschungswinkel Deponiekörper
	$\varepsilon_d$	Geländeneigung Basis
	$\varphi_k$	Reibungswinkel Deponiematerial
	$\gamma_\varphi$	Teilsicherheitsbeiwert Scherfestigkeit ( $\gamma_\varphi = 1,25$ für BS-P und $\gamma_\varphi = 1,15$ für BS-T, vgl. Tab. 1)

Die Sicherheit gegen Spreizen kann für beide Erweiterungsflächen in einer Berechnung durchgeführt werden, weil die maßgebenden geometrischen Randbedingungen und einzusetzenden Abdichtungskomponenten gleich sind. Es wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

Aufbau des Basisabdichtungssystems (Abbildung 35):

- Anstehender Untergrund
- Geotechnische Barriere  $d_{ges} \geq 1,00$  m (Einbau in vier Lagen  $d \geq 0,25$  m)
- Mineralische Abdichtung  $d \geq 0,5$  m (Einbau in zwei Lagen  $d \geq 0,25$  m)
- Kunststoffdichtungsbahn  $d \geq 2,5$  mm, glatt/ glatt, mit gültiger BAM-Zulassung
- Schutzvlies
- Mineralische Entwässerungsschicht  $d \geq 0,50$  m

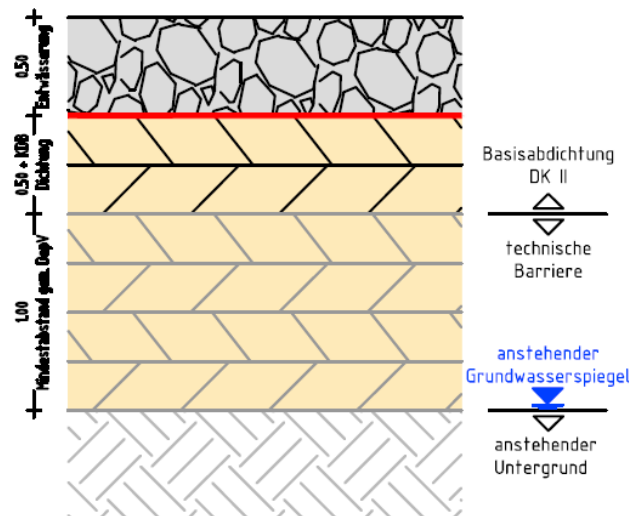


Abbildung 35: Regelaufbau Basisabdichtung in der Deponieaufstandsfläche

Geometrische Randbedingungen:

- maximale Böschungsneigung:  $1 : n = 1 : 3,0$

Spreizen ist lediglich im Flachbereich möglich. Die maximale Neigung der Basisabdichtung in der Ebene beträgt 3,5 % (quer zur Drainageleitung) und 1,5 % (längs zur Drainageleitung). Weiterhin wird ein charakteristischer Reibungswinkel des Schüttkörpers (zukünftiges Deponat) von  $\varphi_k = 32,5^\circ$  angesetzt. Dies ist für einen Deponiekörper der Klasse II mit überwiegend gemischtkörnigen inerten Abfallstoffen ein plausibler Wert.

Eine ausreichende Spreizsicherheit ist gegeben, wenn das folgende Kriterium für den Ausnutzungsgrad erfüllt ist:

$$\mu = \frac{\tan \delta_{erf,k}}{\tan \delta_{vorh,k}} \leq 1,00 \quad (5)$$

Die Berechnung für den Endzustand unter Ansatz eines Böschungswinkels des Deponiekörpers von  $\beta_d = 18,43^\circ$  (Neigung 1 : 3) sowie einer Neigung der Ebene von 5 % (konservativer Ansatz) ist in der Anlage 3.1 enthalten. Im Ergebnis ist festzustellen, dass für den Nachweis der Spreizsicherheit ein charakteristischer Sohlreibungswinkel von  $\delta_{erf,k} \geq 8,2^\circ$  vorliegen muss. D. h. der Nachweis ist unter Verwendung des „vorhandenen“ Reibungswinkels von  $\delta_k \approx 10^\circ$  gemäß Angaben aus der Fachliteratur (nach Witt/ Werth [U8]) mit einem Ausnutzungsgrad von  $\mu = 0,82 \leq 1,00$  unter den gewählten konservativen Randbedingungen erbracht.

Für den Betriebszustand in der Bemessungssituation BS-T wurde unter Variation des Böschungswinkels  $\beta$  eine Fallunterscheidung hinsichtlich der anzusetzenden Neigung in der Ebene vorgenommen. Die Berechnungen erfolgten unter Anwendung des v. g.

Berechnungsalgorithmus (Gleichung 4 und 5). Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises in der Bemessungssituation BS-T (Fall A: Neigung in der Ebene 1,5 % bzw.  $\epsilon_d = 0,86^\circ$ ; längs zur Drainageleitung)

$\beta$ [°]	$\epsilon_d$ [°]	$\delta_{\text{erf},k}$ [°]	$\delta_{\text{vorh},k}$ [°]	$\mu$
18,43	0,86	7,1	10,0	0,71
20,00	0,86	7,9	10,0	0,79
22,50	0,86	9,4	10,0	0,93
25,00	0,86	11,3	10,0	1,13

Tabelle 6: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises in der Bemessungssituation BS-T (Fall B: Neigung in der Ebene 5,0 % bzw.  $\epsilon_d = 2,86^\circ$ ; quer zur Drainageleitung)

$\beta$ [°]	$\epsilon_d$ [°]	$\delta_{\text{erf},k}$ [°]	$\delta_{\text{vorh},k}$ [°]	$\mu$
18,43	2,86	8,2	10,0	0,82
20,00	2,86	9,0	10,0	0,90
22,50	2,86	10,4	10,0	1,04

Der Nachweis der Spreizsicherheit ist somit für beide Bemessungssituationen und die untersuchten Variationen erfüllt. Im Betriebszustand sind die Schüttwinkel des zukünftigen Abfallkörpers auf 20° (bei 5 % Neigung der Ebene) bzw. 22,5° (bei 1,5 % Neigung der Ebene) zu begrenzen, um die Spreizsicherheit zu gewährleisten. Steilere Schüttböschungen können erstellt werden, wenn die Reibungswinkel der in den Schüttkörper eingebauten mineralischen Abfälle entsprechend größer ausfallen.

## 6.2 Temporäre Standsicherheit gegen Gleiten der Multifunktionalabdichtung

### 6.2.1 Grundlagen und Erläuterungen zum Nachweis

Die nachfolgende Methodik zur Nachweisführung entspricht dem aktuellen Stand der Technik. Die für die vorliegende Standsicherheitsbetrachtung maßgebenden Regelwerke sind dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

Abdichtungen von Abfalldeponien sollen über sehr lange Zeiträume die Infiltration von Niederschlagswasser in den Abfallkörper und/oder den Austritt von Deponiegas und Deponiesickerwasser aus dem Abfallkörper kontrollieren. Es handelt sich um geschichtete Systeme aus verschiedenen Erdstoffen und Geokunststoffen. Auf den geneigten Flächen und steilen Böschungen ist das Schichtsystem permanent auf Schub beansprucht. Mit der Planung des Abdichtungssystems ist die Standsicherheit für den Bauzustand, den Betriebszustand und für den Endzustand nachzuweisen.

Die Standsicherheit von Abdichtungen auf Böschungen von Altlasten ist nach aktuellen nationalen und europäischen Normen mit dem Teilsicherheitskonzept zu führen. Der Nachweis wird in Anlehnung an den der Gesamtstandsicherheit im Grenzzustand GEO 3

geführt. Betrachtet wird der Nachweis gegen Böschungs- oder Geländebruch nach [U10] – hier Nachweis der Gleitsicherheit in potenziellen Gleitflächen innerhalb des Abdichtungssystems (böschungsparalleles Gleiten). Das Abdichtungssystem wird hierbei nicht als Bauteil, sondern vielmehr als ganzheitliches Bauwerk interpretiert, wodurch ein Nachweis nach Grenzzustand GEO-2/ STR entsprechend [U9] bzw. [U10] nicht relevant ist. Untersucht wird vorliegend der Bauzustand mit Befahrung (BS-T/ vormals LF 2) mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach [U9].

Für ein Dichtungssystem aus Geokunststoffen muss gewährleistet werden, dass die an der Oberseite auftretenden Schubkräfte aus dem Eigengewicht der mineralischen Schichten oder aus Lasten im Bauzustand mit der geforderten Sicherheit über Reibung zwischen den Komponenten in den Untergrund abgetragen werden können. Die in den Schichtgrenzen zwischen den verschiedenen Geokunststoffen und zwischen den Geokunststoffen und Erdstoffen wirksamen Reibungskräfte werden auf der physikalischen Grundlage des Reibungsgesetzes von Coulomb bestimmt. Danach ist die Reibungskraft in der Ebene der Schichtgrenze proportional zu der Normalkraft, mit der die beiden Schichten gegeneinandergedrückt werden. Der Proportionalitätsfaktor  $\mu = \tan \delta$  heißt Reibungszahl oder Reibungskoeffizient.

Der Reibungswinkel  $\delta$  hängt dabei von den Materialien und deren Oberflächenbeschaffenheit ab. Wenn für den Fall ohne äußere Normalkraft eine „Reibungskraft“ vorhanden ist, so wird diese „spannungsunabhängige“ Kraft infolge andersartiger Kraftwirkungen Adhäsion genannt.

Für geotechnische Standsicherheitsuntersuchungen von geschichteten Systemen aus Geokunststoffen und Erdstoffen kann die Reibung zwischen zwei Schichten durch eine nach Spannungsbereichen aufgeteilte, abschnittsweise Anwendung der *Coulombschen* Grenzbedingung näherungsweise beschrieben werden:

$$\tau = a + \sigma \cdot \tan \delta \quad (6)$$

Bei einer Ausführung der Böschung mit der hier vorgegebenen maximalen Neigung wird für diesen Nachweis die ausreichende Standsicherheit der Böschung gegen Geländebruch ebenso wie eine ausreichende Standsicherheit der mineralischen Schichten vorausgesetzt. Damit wird auch eine für die vorgesehene Neigung ausreichende innere Scherfestigkeit der eingesetzten Böden vorausgesetzt.

Zum Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten der Komponenten des Dichtungssystems untereinander muss die Grenzzustandsgleichung  $R_d - E_d \geq 0$  gelten.

Beim Nachweis sind entsprechend der für den Grenzzustand gültigen Annahmen die Bemessungswerte der Einwirkungen  $E_d$  (hangabwärts gerichtete Kräfte) den Bemessungswerten der Widerstände  $R_d$  (Reibungskräfte in den Schichtgrenzen) gegenüberzustellen. Aus der Gegenüberstellung ergibt sich für die ungünstigsten Randbedingungen der Auslastungsgrad  $\mu$  und es gilt:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0$$

(7)

Die für den vorliegenden Nachweis relevanten Teilsicherheitsbeiwerte nach [U9] sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach [U9], GEO3

Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054:2010-12	BS-P	BS-T
<b>Einwirkungen</b>		
ständige Einwirkungen $\gamma_G$	1,00	
ungünstige veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q$	1,30	1,20
<b>Widerstände</b>		
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des Bodens $\gamma_\varphi$	1,25	1,15
Reibungsbeiwert $\tan \delta'$ in Kontaktfuge zu Geokunststoffen $\gamma_\delta$		
Kohäsion $c'$ des Bodens $\gamma_c$		
Adhäsion $a'$ in Kontaktfuge zu Geokunststoff $\gamma_a$		

Quelle: [U1]

## 6.2.2 Eingangswerte

### 6.2.2.1 Geometrie und grundlegende Ansätze der vorhandenen Böschungen

Es werden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

#### Allgemein:

Bodenwichten:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

Wasserwichte:  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

#### Multifunktionaleabdichtung:

- Mineralische Abdichtung  $d \geq 0,5 \text{ m}$
- KDB GSE 2,5 mm BAM DRS
- Geotechnische Schutzlage (z.B. Schutzvlies BAM mit Schutzwirksamkeitsnachweis, oder Mineralische-Deponie-Dichtungs-Schutzbahn (MDDS))
- Mineralische Entwässerungsschicht  $d = 0,3 - 0,5 \text{ m}$
- ggf. Trenn-/Filtervlies  $\geq 300 \text{ g/m}^2$  BAM
- Frostschuttschicht (Deponie-Ersatzbaustoffe, qualifizierte Abfälle)  
 $d = 0,5 \text{ m}$
- Ansatz von Baugeräten (Kettenbagger) oberhalb der KDB/Schutzlage mit einer Mindestüberdeckung von 0,5 m (bedarfswise Schaffung von temporären Fahrdämmen)  
 $d = 0,5 \text{ m}$
- Böschungsneigungen der Altböschungen:  
ZDA III Ost (genehmigt)  $\beta = 20,3^\circ (1 : 2,7)$
- Böschungslängen:  
ZDA III Ost  $L_{\max} = 48 \text{ m}$
- Aufstauhöhe im Bauzustand (Ansatz: Dränspende von  $q_s = 25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 25 \text{ mm/d}$ ), siehe Anlage 3.2.1), aufgerundet:  
ZDA III Ost  $h_w = 0,04 \text{ m} (1 : 2,7)$

### 6.2.2.2 Einbau der mineralischen Schichten

Durch den stufen- und lagenweisen Einbau des Deponats gegen bzw. auf der basisabdichteten Fläche (Böschungsbereich bzw. Ebene) wird die fertigestellte Multifunktionaleabdichtung im Zuge der weiteren Verfüllung der Deponie sukzessive eingespannt bzw. von unten gestützt. Die maßgebende Bemessungssituation für den Nachweis der Gleitsicherheit ist somit im Bauzustand während der Errichtung des multifunktionalen Abdichtungssystems im Böschungsbereich zu sehen.

Der Einbau der mineralischen Schichten (Dränageschicht und Frostschutzschicht) oberhalb der bereits vorhandenen Oberflächenabdichtung der ZDA I erfolgt mit mindestens 0,5 m mineralischer Überdeckung als Fahrdamm und mit Befahrung durch einen Raupenbagger.

Für den Einbau der Schichten oberhalb der KDB wird beispielhaft der Kettenbagger vom **Typ Liebherr 926** angesetzt, welcher die Materialien auf einem Fahrdamm mit einer Mindestüberdeckung von  $d_1 = 0,5$  m vorlegt. Folgende Fahrparameter werden zu Grunde gelegt:

Eigengewicht:	$G_R = 30,0$ t (300 kN)
Kettenbreite:	$b_R = 0,6$ m
Kettenlänge:	$l_R = 3,83$ m
Fahrgeschwindigkeit:	$v = 1,0$ m/s (3,4 km/h)
Bremsverzögerung:	$t = 2,0$ s

Unter Ansatz der o. g. Kenndaten errechnet sich die Bodenauflagerfläche zu

$$A = 2 \cdot 0,60 \text{ m} \cdot 3,83 \text{ m} = 4,60 \text{ m}^2$$

und somit der Bodendruck zu

$$300 \text{ kN} / 4,60 \text{ m}^2 = \\ \mathbf{65,22 \text{ kN/m}^2 = 65,22 \text{ kPa.}}$$

Die maßgeblichen Belastungssituationen stellen somit der Einbau der mineralischen Schichten oberhalb der KDB (vorhanden in ZDA III) durch einen Kettenbagger dar.



### 6.2.3 Scherparameter

Im Rahmen der vorliegenden Berechnung sind die charakteristischen Kontaktreibungswinkel für die zu betrachtenden Scherfugen anzusetzen.

Nach GDA-Empfehlung E 2-7 (2015) [U12] sind die Laborwerte aus Scherversuchen entsprechend der Gleichungen 8 und 9 abzumindern:

$$\tan \delta_k' = \tan \delta_0 / 1,1 \quad (8)$$

$$a_k' = a' / 2,0 \quad (9)$$

Zur Verdeutlichung der Scherfestigkeiten der einzelnen Baustoffe und Schichten bzw. Grenzflächen (Kontaktscherfestigkeit) werden nachfolgend in den Tabellen 8 bzw. 9 unter Berücksichtigung einer Böschungsneigung von 1 : 2,5 die entsprechenden Rechenwerte dargestellt und bewertet.

Für die Scherparameter in den Fugen aufeinandertreffender Bodenschichten sind generell die niedrigeren Werte aus dem Vergleich der beiden Schichten für die Berechnung anzusetzen.

### 6.2.4 Kräfte

#### 6.2.4.1 Allgemeines

Für den hier behandelten Nachweis ist es ausreichend, 1 m breite, böschungsparelle Scherebenen (potenzielle Gleitflächen) zu untersuchen (vgl. GDA E2-7 [U12] i. V. m. DIN 1054 [U9]). Die in der Berechnung grundsätzlich anzusetzenden Kräfte sind in der schematischen Darstellung in Abbildung 36 enthalten.

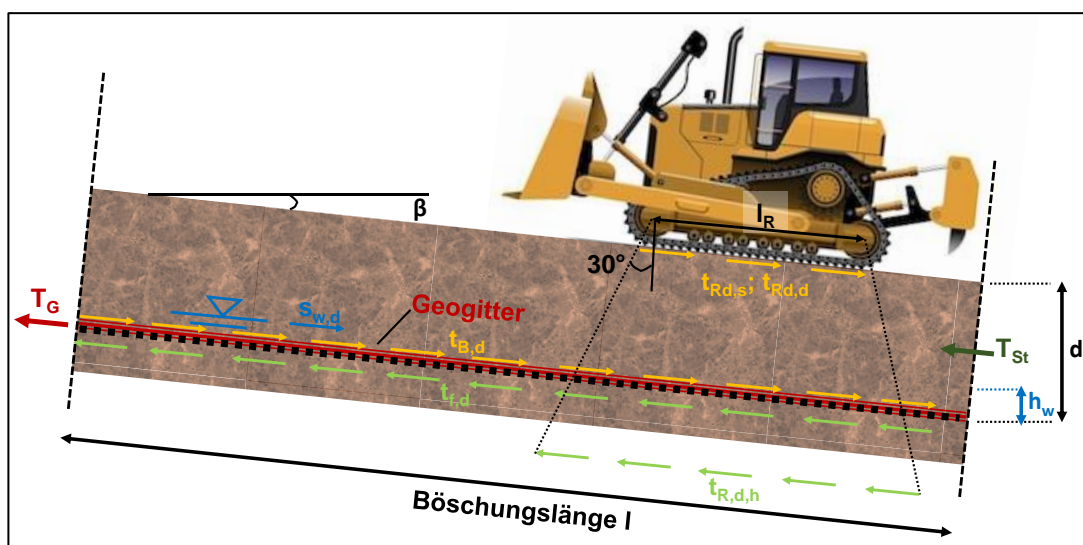


Abbildung 36: schematische Darstellung für den Kräfteansatz zum Nachweis der Deponieabdichtung

## 6.2.4.2 Einwirkungen

### **Schubkraft $t_{B,d}$**

Die aus dem Eigengewicht der Deckschichten resultierende Schubkraft  $t_{B,d}$  pro lfd. Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung lässt sich berechnen zu:

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad (10)$$

### **Schubkraft $t_{s,d}$**

Für den Endzustand ist eine Schneelast  $s_k$  (kN/m<sup>2</sup>) auf der Oberflächenabdichtung als treibende Kraft zu berücksichtigen. Pro lfd. Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung ergibt sich:

$$t_{s,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad (11)$$

### **Strömungskraft $s_{w,d}$**

Je nach Abflussverhalten im Deponiekörper kann es zu einem Aufstau in der Dränschicht kommen. Die infolgedessen auftretenden zusätzlich treibenden Kräfte werden als Strömungskraft bezeichnet. Die Strömungskraft pro lfd. Meter Böschungslänge berechnet sich zu:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad (12)$$

### **Zusätzliche Schubkräfte $t_{Rd,s}$ und $t_{Rd,d}$**

Im Einbauzustand ist eine Befahrung des Dichtungssystems zu erwarten. Hierdurch treten zusätzliche aufzunehmende Schubkräfte in der kritischen Scherfuge auf. Diese setzen sich nach [U5] aus statischen ( $t_{Rd,s}$ ) und dynamischen ( $t_{Rd,d}$ ) Anteilen zusammen:

### **Schubkraft $t_{Rd,s}$ aus statischer Belastung**

Die Schubkraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges in Böschungsfallrichtung (Bauzustände) ergibt sich:

$$t_{Rd,s} = (G_R/A) \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad (13)$$

In Anlehnung an [U14], Abschnitt 4.4 (6), darf bei Überschüttung ein Lastausbreitungswinkel von 30° gewählt werden. Es ergibt sich daraus für die effektive Aufstandsfläche A:

$$A = (2 \cdot l_R \cdot b_R) + (4 \cdot (l_R + b_R) \cdot d_i \cdot \tan 30^\circ) \quad (14)$$

### **Schubkraft $t_{R,d}$ aus dynamischer Belastung**

Die auftretenden Schubkräfte aus einer Vollbremsung der Fahrzeuge (Bauzustände) ergeben sich nach:

$$t_{R,d} = ((G_R / g) \cdot a_v) \cdot \gamma_Q / A \quad (15)$$

Die Bremsverzögerung ergibt sich aus:

$$a_v = v / t \quad (15.1)$$

### **6.2.4.3 Widerstände**

#### **Reibungskraft $t_{r,d}$**

Die in der kritischen Scherfuge wirksam werdende Reibungskraft  $t_{r,d}$  aus der Bodenauflast ergibt sich auf Grundlage der Gleichung 1 im Lastfall 1 pro lfd. Meter Böschungslänge zu:

$$t_{r,d} = (\gamma \cdot d_i) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \quad (16)$$

#### **Schneelast $t_{s,h,d}$**

Aus der im Endzustand zu berücksichtigenden Schneelast  $s_k$  (kN/m<sup>2</sup>) auf dem Oberboden ergibt sich eine Erhöhung der haltenden Kräfte in der Schichtgrenze pro lfd. Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung zu:

$$t_{s,h,d} = s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \quad (17)$$

#### **Stützkraft $S_{T,d}$ im Böschungsfußbereich**

Für kurze Böschungen und bei einem Einbau des Bodens von unten nach oben (nicht gegeben bei der Anordnung von Bewehrungselementen!) kann eine haltende Kraft aus dem im Böschungsfußbereich eingebauten Boden als Stützkraft  $S_{T,d}$  in die Berechnung eingehen. Im vorliegenden Fall wird diese nicht berücksichtigt.

$$S_{T,d} = 0,5 \cdot \gamma \cdot h_s^2 \cdot K_{ph,d} \cdot \cos \beta \quad (18)$$

#### **Zusätzliche Reibungskraft $t_{R,h,d}$ aus Eigengewicht des Fahrzeuges**

Die haltende Kraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges ergibt sich nach [U13] zu:

$$t_{R,h,d} = (G_R / A) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \quad (19)$$

## 6.2.5 Ermittlung des Auslastungsgrades im LF 2 – BS-T

Die haltenden Kräfte einer eventuell erforderlich werdenden Zugbewehrung  $T_{G,d}$  werden zunächst zu Null gesetzt. Für den Endzustand ergibt sich aus der Integration der treibenden und haltenden Kräfte über die Böschungslänge der Nachweis:

$$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times l_R}{t_{f,d} \times l_R + t_{Rd,h} \times l_R + T_{G,d} + S_{t,d}} \quad (20)$$

Für den Einbauzustand ergibt sich aus der Integration der treibenden und haltenden Kräfte über die Böschungslänge der Nachweis:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0 \quad (21)$$

Der Reibungswiderstand des Dichtungssystems muss höher sein als die im Einbauzustand durch die Befahrung der Böschung zusätzlich auf das Dichtungssystem wirkende Belastung. Die Fahrzeuge fahren dabei auf Schüttlagen mit den Dicken  $d$ . Die Berechnung ist hierbei für alle im Einbauzustand zu erwartenden Schüttstärken  $d_i$  durchzuführen, im Wesentlichen der ersten Schüttstärke  $d_1$ .

Für die Berechnung ist weiterhin von entscheidender Bedeutung, ob für das Dichtungssystem im Lastfall 2 (d. h. unter Berücksichtigung der Schütthöhen) das Verhältnis  $\kappa$  der aus dem Eigengewicht der Bodenauflast wirkenden haltenden und treibenden Kräfte größer oder kleiner 1,0 wird. Für die Berechnung werden die haltenden Kräfte des Stützfußes  $T_{St,d}$  und einer eventuell erforderlich werdenden Zugbewehrung  $T_{G,d}$  zu Null gesetzt, um die Auslastung  $\kappa$  (treibende Kräfte / haltende Kräfte) zu ermitteln.

Das Verhältnis  $\kappa$  ergibt sich infolge der aus der Bodenauflast wirkenden Einzelkomponenten zu:

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l + T_{G,d} + T_{St,d}) \quad (22)$$

## 6.2.6 Kurzzeichen

$a_k$	charakteristische Adhäsion ( $\text{kN/m}^2$ ), wird sicherheitshalber zu Null gesetzt
$d$	Dicke der Bodenschichten (m)
$d_i$	Dicke $d_1$ (bzw. $d_{\text{ges}}$ ) der Bodenschicht, auf der die Befahrung erfolgt (m)
$h_w$	mittlere Aufstauhöhe (m)
$h_s$	Höhe des Stützfußes (m)
$K_{\text{ph},d}$	Erddruckbeiwert (-)
$l$	Böschungslänge (m)
$s_{w,d}$	Strömungskraft ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{B,d}$	Schubkraft in Böschungsfallrichtung ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{f,d}$	mobilisierte Reibungskraft in der kritischen Scherfuge ( $\text{kN/m}^2$ )
$T_{G,d}$	Zugkraft im Bewehrungselement ( $\text{kN/m}$ )
$S_{T,d}$	Stützkraft am Böschungsfuß ( $\text{kN/m}$ )
$\beta$	Böschungsneigung ( $^\circ$ )
$\gamma$	Wichte des Bodens ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_w$	Wichte des Wassers ( $10 \text{ kN/m}^3$ )
$\delta_k$	charakteristischer Reibungswinkel der maßgebenden Kontaktfläche ( $^\circ$ )
$\mu$	Auslastungsgrad (-)
$\gamma_G$	Teilsicherheitsbeiwert (ständige Einwirkungen)
$\gamma_Q$	Teilsicherheitsbeiwert (veränderliche Einwirkungen)
$\gamma_\delta$	Teilsicherheitsbeiwert Kontaktreibungswinkel (Widerstand)
$\gamma_a$	Teilsicherheitsbeiwert Adhäsion (Widerstand)
$\varphi_k$	charakteristischer Reibungswinkel (Boden)
$A$	effektive Aufstandsfläche des Fahrzeuges unter Lastausbreitung
$a_v$	Bremsverzögerung ( $\text{m/s}^2$ )
$b_R$	Breite der Raupenkette (m)
$g$	Erdbeschleunigung ( $10 \text{ m/s}^2$ )
$G_R$	Eigengewicht des Fahrzeuges (kN)
$h_{\ddot{u}}$	Überschüttungshöhe (m)
$l_R$	Länge der Raupenkette (m)
$s_k$	Schneelast ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{s,d}$	Schubkraft aus Schneelast in Böschungsfallrichtung ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{s,h,d}$	Mobilisierte Reibungskraft aus Schneelast ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{R,d,d}$	Schubkräfte infolge einer Vollbremsung des Fahrzeuges (kN)
$t_{R,d,s}$	Schubkraft aus Eigengewicht des Fahrzeuges ( $\text{kN/m}^2$ )
$t_{R,d,h}$	Reibungskraft in der kritischen Scherfuge aus Eigengewicht des Fahrzeuges ( $\text{kN/m}^2$ )
$t$	Zeit, die das Fahrzeug bis zum Stillstand benötigt (s)
$v$	maximale Geschwindigkeit des Fahrzeuges (m/s)

## 6.2.7 Bestimmung der erforderlichen Scherparameter

Im Rahmen der vorliegenden Berechnung sind die charakteristischen Kontaktreibungswinkel für die zu betrachtenden Scherfugen anzusetzen.

Nach GDA-Empfehlung E 2-7 (2015) [U12] sind die Laborwerte aus Scherversuchen entsprechend der Gleichungen 23 und 24 abzumindern:

$$\tan \delta'_k = \tan \delta_0 / 1,1 \quad (23)$$

$$a'_{k=} = a' / 2,0 \quad (24)$$

Der Nachweis der Standsicherheit gegen Gleiten erfolgt für die 1:2,7 geneigte Böschung im Bereich der ZDA III im Übergang zur ZDA I.

Zur Verdeutlichung der Scherfestigkeiten der einzelnen Baustoffe und Schichten bzw. Grenzugen (Kontaktscherfestigkeit) werden nachfolgend in der Tabelle 8 unter Berücksichtigung einer Böschungsneigung von 1 : 2,7 die entsprechenden erforderlichen und typischerweise vorhandenen Rechenwerte dargestellt und bewertet. Es handelt sich hierbei um Werte vergleichbarer Geokunststoffe bzw. z.T. vorhandener Baustoffe. Für die Scherparameter in den Fugen aufeinandertreffender Bodenschichten sind generell die niedrigeren Werte aus dem Vergleich der beiden Schichten für die Berechnung anzusetzen.

### **Fuge 1 „Ausgleichsschicht vs. Mineralische Dichtung“**

Für die Fuge 1 „Ausgleichsschicht vs. Mineralische Dichtung“ wurden die inneren Scherparameter für den örtlich vorhandenen Mergel (siehe Anlage 3.4.1) angesetzt. Die „Ausgleichsschicht“ wird als standsicher angenommen.

### **Fuge 2 „Mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn“**

Für die Fuge 2 „Mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn“ wurde ein bereits vorhandener vergleichbarer Scherversuch der MFPA Weimar übernommen (siehe Anlage 3.4.2).

### **Fuge 3 „Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies“**

Für den Nachweis der Fuge 3 wurde ein bereits vorhandener vergleichbarer Scherversuch der MFPA Weimar übernommen (siehe Anlage 3.4.3).

### **Fuge 4 „Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht“**

Für den Nachweis wurde ein bereits vorhandener Scherversuch der MFPA Weimar mit einem Kies 8/32 mm als „exemplarischer Scherversuch“ herangezogen (siehe Anlage 3.4.4).

### Fuge 5 „Entwässerungsschicht vs. Trenn-/Filtervlies“

Für den Nachweis der Fuge 5 wurde ein bereits vorhandener vergleichbarer Scherversuch der MFPA Weimar übernommen (siehe Anlage 3.4.5).

### Fuge 6 „Trenn-/Filtervlies vs. Frostschuttschicht“

Für den Nachweis wurde in Anlehnung an Anlage 3.4.5 auf der sicheren Seite liegend ein Reibungswinkel von  $\delta_0 = 34^\circ$  ( $\delta_k = 31,5^\circ$ ) angesetzt.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Scherparameter für den geplanten Aufbau des Dichtungssystems mit einer Böschungsneigung von 1 : 2,7 und erf. Mindestreibungswinkel MRW

Fuge Nr.	durch den Schichtenaufbau vorgegebene böschungsparelle Scherfuge	$\delta_0$ [°]	$\delta_k$ [°]	a <sub>0</sub>	a <sub>k</sub>
				[kN/m <sup>2</sup> ]	
1	Planum/Ausgleichsschicht vs. Mineralische Abdichtung (Mergel, siehe Anlage 3.4.1)	21,0	19,24	31,0	15,5
		<b>MRW: 5,5</b>	<b>MRW: 5,0</b>	<b>31,0</b>	<b>15,5</b>
2	Mineralische Abdichtung (Mergel) vs. Kunststoffdichtungsbahn (KDB) (KDB PE-HD 2,5 mm BAM DRS, GSE) (siehe Anlage 3.4.2)	29,1	26,84	8,5	4,25
		<b>MRW: 25,6</b>	<b>MRW: 23,5</b>	<b>8,5</b>	<b>4,25</b>
3	Kunststoffdichtungsbahn (KDB) (KDB PE-HD 2,5 mm BAM DRS, GSE) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 "O" II, HUESKER) (siehe Anlage 3.4.3)	$\delta_{ers}$ : 34,9	$\delta_{ers}$ : 32,4	-	-
		<b>MRW: 31,1</b>	<b>MRW: 28,7</b>	-	-
4	Schutzvlies (HV 47120, HUESKER) vs. Entwässerungsschicht (EWS) (Kies 8/32 mm) (siehe Anlage 3.4.4)	38,2	35,6	8,1	4,05
		<b>MRW: 31,1</b>	<b>MRW: 28,7</b>	-	-
5	Entwässerungsschicht (EWS) (Schotter 16/32 mm) vs. Trenn-/Filtervlies (HaTe B 300 "O" II BAM, HUESKER) (siehe Anlage 3.4.5)	40,5	37,8	11,28	5,65
		<b>MRW: 31,1</b>	<b>MRW: 28,7</b>	-	-
6	Trenn-/Filtervlies (HaTe B 300 "O" II BAM, HUESKER) vs. Frostschuttschicht (FSS) (Ansatz der Scherparameter auf der sicheren Seite in Anlehnung an Anlage 3.4.5)	34,0	31,5	0	0
		<b>MRW: 31,1</b>	<b>MRW: 28,7</b>	-	-

Für den Nachweis gegen Gleiten des Dichtungssystems wurden die Scherfugen mit der jeweiligen Belastungssituation aus Baugerät und jeweiliger Schichtstärke der über ihnen

liegenden Bodenschichten im Bauzustand BS-T in der entsprechenden Berechnung untersucht. Somit können für jede potenzielle Scherfuge Scherparameter angegeben werden, die für die Sicherheit gegen Gleiten mindestens erforderlich sind.

Für den Einbau der mineralischen Schichten (Entwässerungsschicht und Frostschuttschicht) wird in der ZDA III der Einsatz eines Kettenbaggers auf einem mindestens 0,5 m mächtigen Fahrdamm im Vor-Kopf-Betrieb betrachtet.

Der erforderliche Mindestreibungswinkel der Fuge 1 unter dem Ansatz einer Kohäsion von  $c_k = 15,5 \text{ kN/m}^2$  wird in Anlage 3.3.1 „Ausgleichsschicht vs. Mineralische Dichtung Baggerbefahrung“ zu.

$$\varphi_{\min,k} = 5,0^\circ \text{ und} \\ a_k = 15,5 \text{ kN/m}^2$$

bzw.

$$\varphi_{0,\min} = 5,5^\circ \text{ und} \\ a_0 = 31 \text{ kN/m}^2$$

ermittelt.

Der erforderliche Mindestreibungswinkel der Fuge 2 unter dem Ansatz einer Kohäsion von  $c_k = 4,25 \text{ kN/m}^2$  wird in Anlage 3.3.2 „Mineralische Dichtung vs. KDB mit Baggerbefahrung“ zu

$$\varphi_{\min,k} = 23,5^\circ \text{ und} \\ a_k = 4,25 \text{ kN/m}^2$$

bzw.

$$\varphi_{0,\min} = 25,6^\circ \text{ und} \\ a_0 = 8,5 \text{ kN/m}^2$$

ermittelt.

Aus Tabelle 8 geht hervor, dass die Fuge Nr. 3 (KDB vs. Schutzvlies mit Baggerbefahrung) des Multifunktionalenabdichtungssystems bei einer Böschungsneigung von 1 : 2,7 ohne rechnerischen Ansatz einer Adhäsion die folgenden Mindestparameter

$$\delta_{\min,k} = 28,7^\circ \text{ und} \\ a_k = 0 \text{ kN/m}^2$$

bzw.

$$\delta_{0,\min} = 31,1^\circ \text{ und} \\ a_0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

erforderlich sind (s. Anlage 3.3.3). Bei den beiden Scherpartnern handelt es sich um Geokunststoffe, sodass gemäß GDA 2-7 [U12] der Ansatz der Adhäsion möglich ist und durch die konservative Ermittlung des Ersatzreibungswinkels bei der höchsten geprüften Auflaststufe des Scherversuchs berücksichtigt wurde.



Die Fugen 4 bis 6 befinden sich jeweils 0,5 m unterhalb des befahrenden Baugerätes, so dass hier ebenfalls einheitlich die bereits für Fuge 3 bestimmten Scherparameter gültig sind.

$$\delta_{\min,k} = 28,7^\circ \text{ und} \\ a_k = 0 \text{ kN/m}^2$$

bzw.

$$\delta_{0,\min} = 31,1^\circ \text{ und} \\ a_0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Für das System mit der Böschungsneigung 1 : 2,7 sind demzufolge mindestens die o. g. Scherfestigkeiten bzw. die o. g. Reibungswinkel anzusetzen, damit das System unter den gewählten Randbedingungen im betrachteten Bauzustand standsicher ist. Die in den Fugen bzw. an den Materialien untersuchten bzw. annehmbaren Scherparameter liegen oberhalb der in Anlage 3.3 bestimmten Mindestparameter.

## 6.2.8 Ergebnisse

Die Berechnungen zur Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die untersuchten Randbedingungen sind für die betrachteten Bauzustände (BS-T) in Anlage 3.3 aufgeführt und in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 9: Zusammenstellung der Ergebnisse (Böschungsbereich: max. Neigung 1 : 2,7)

Lastfall	Geo- metrie	Kennwerte Baugerät						Schichtdicke		Ergebnisse Ausnutzungsgrad $\mu$ für	
		L	1 : n	$G_R$	$l_R$	$b_R$	v	t	$d_1$	$d_{ges}$	BS-T
		[m]	-	[kN]					[m]	[m]	[-]
BS-T / Bauzustand (Anlage 3.3.1)	48	1 : 2,7	300	3,830	0,60	1,0	2,0	1,0	-	<b>1,00</b>	
BS-T / Bauzustand (Anlage 3.3.2)	48	1 : 2,7	300	3,830	0,60	1,0	2,0	0,5	-	<b>1,00</b>	
BS-T / Bauzustand (Anlage 3.3.3)	48	1 : 2,7	300	3,830	0,60	1,0	2,0	0,5	-	<b>1,00</b>	
BS-T / Bauzustand (Anlage 3.3.4 bis 3.3.7)	48	1 : 2,7	300	3,830	0,60	1,0	2,0	0,5	-	<b>1,00</b>	

Im Ergebnis ist festzustellen, dass in allen Berechnungen zur Gleitsicherheit bei Ansatz der Mindestscherparameter, welche alle unterhalb der geprüften bzw. annehmbaren Produktwerte liegen, der erforderliche Nachweis  $E_d \leq R_d$  erbracht wurde, so dass ein ausreichender Ausnutzungsgrad von  $\mu \leq 1,0$  in allen Fällen gegeben ist.

### 6.3 Böschungsbruch

Die Sicherheit gegen Böschungsbruch des Gesamtkörpers der Deponieerweiterungen wird mit der Software GGU-Stability auf Basis des EC-7 und DIN 40894 [U10] berechnet.

Das Oberflächenabdichtungssystem wurde dazu als „Schichtenpaket“ unter Ansatz durchschnittlicher Scherparameter für Rekultivierungsboden und Abdichtungslagen simuliert. Für die mineralischen bindigen Anteile der Basisabdichtung und des Untergrundes wurden die Kennwerte aus der Eignungsuntersuchung des verwitterten Mergels und aus /U1/ für den Mergelstein herangezogen. Der Abfallkörper wurde mit einem mittleren charakteristischen Reibungswinkel von  $\varphi_k = 32,5^\circ$  angesetzt.

Es wurde das Verfahren nach Bishop (Kreise/Lamellen) für den Endzustand des Deponiekörpers in der Bemessungssituation BS-P verwendet.

Berechnet wurden die ungünstigsten Schnitte der beiden Erweiterungsbereiche. Für den ZDA II.3 ist dies die nach Südosten ausgerichtete Böschung. Die Ergebnisse sind den Anlagen 3.5.1 und 3.5.2 zu entnehmen. Für die ZDA III wurde die westliche Böschung untersucht. Die Ergebnisse sind den Anlagen 3.5.5 und 3.5.6 zu entnehmen.

Der zulässige Ausnutzungsgrad von  $\mu \leq 1,0$  wird in allen Fällen mit  $\mu = 0,69 - 0,75$  für ZDA II.3 und mit  $\mu = 0,61 - 0,70$  für ZDA III sicher eingehalten.

Zusätzlich wurde der für diese Schnitte minimale Reibungswinkel im Abfallkörper ermittelt, bei der ein Auslastungsgrad  $\leq 1,0$  eingehalten werden kann. Hierfür wurde der statisch maßgebende untere, mit 1:3 steiler geneigte Böschungsbereich untersucht, und mit diesem Wert zusätzlich die Auslastung des gesamten Böschungsschnittes bestimmt.

Für die ZDA II.3 liegt der minimal erforderliche Reibungswinkel im Abfallkörper bei  $\varphi_{\min,k} = 20,5^\circ$  bzw.  $\varphi_{\min,0} = 22,4^\circ$ . Die Berechnungen sind in den Anlagen 3.5.3 und 3.5.4 dargestellt. Für die ZDA III liegt der minimal erforderliche Reibungswinkel im Abfallkörper bei  $\varphi_{\min,k} = 15^\circ$  bzw.  $\varphi_{\min,0} = 16,4^\circ$ . Die Berechnungen sind in den Anlagen 3.5.7 und 3.5.8 dargestellt.

## 7 Zusammenfassung der Setzungs- und Standsicherheitsberechnungen

Die Setzungsabschätzung ergibt, bei einem konservativen Ansatz der Steifigkeitsverhältnisse im Untergrund, der sich im Rahmen der zugrundeliegenden Unterlagen [U1] und /3/ bewegt, Maximalwerte von ca. 31 cm im Bereich der ZDA II.3 und ca. 15 cm im Bereich der ZDA III. Die entsprechend berechneten Setzungsmulden müssen bei der Profilierung der Basisabdichtungskomponenten entsprechend berücksichtigt werden, um die geforderten Langzeitgefälle des Entwässerungssystems auch nach Ende der Deponierungsphase einhalten zu können.

Die Untersuchung des Verformungsverhaltens der durch die Erweiterungsflächen entstehenden Multifunktionalenabdichtung im Bereich der bereits vorhandenen Ablagerung der ZDA I berücksichtigt zusätzlich die Kompression des vorhandenen Abfalls durch die hinzukommende Überschüttung mit neuen Abfällen. Im Bereich der ZDA II.3 sind nur mineralische Abfälle im nördlich liegenden Unterlagerungsbereich ZDA II.2 anzutreffen, welche bodenmechanisch wie rollige Böden beschrieben werden können. Im Bereich der ZDA III hingegen liegen in dem anschließenden Altbereich ZDA I auch Mischabfälle aus Siedlungsabfällen und mineralischen Abfällen vor, die entsprechend vor 2005 mit z.T. entsprechenden Organikanteilen abgelagert wurden. Für die ZDA III wurde anhand entsprechender Literatur zu den Abfalleigenschaften organikhaltiger Siedlungsabfälle eine konservative Abschätzung des Steifemoduls durchgeführt. Durch Überlagerung der Untergrundsetzungen mit den Kompressionssetzungen des Abfallkörpers und der mineralischen Komponente der Abdichtung wurden entsprechende Setzungsverläufe der Multifunktionaleabdichtung (ZDA III) bzw. Altböschung (ZDA II.3) in beiden Erweiterungsbereichen ermittelt. Die hieraus ermittelnden Dehnungswerte und Krümmungsradien halten die Grenzwerte mit ausreichend großen Reserven ein. Es kann nach Sicht der Gutachter davon ausgegangen werden, dass die Multifunktionaleabdichtung langfristig nicht beschädigt werden. Es wird empfohlen, das Setzungsverhalten in den Multifunktionalenabdichtungen und den Basisabdichtungen durch Höhenmessungen im Rahmen der Kamerabefahrungen in den Dränrohren zu erfassen und zu kontrollieren.

Mit den Standsicherheitsberechnungen wurde das Spreizverhalten, die Gleitsicherheit der neu zu bauenden und temporär freistehenden Multifunktionalenabdichtungen sowie die Böschungsstabilität der Endkubatur untersucht.

Entsprechend der mit einer Standardneigung von 1:3 geplanten Böschungen, kann der Nachweis der Spreizsicherheit mit den klassischen Geokunststoffen an der Deponiebasis einer DK II-Deponie in Form einer glatten Kunststoffdichtungsbahn mit darüber liegender Schutzlage eingehalten werden.

Die Böschungen der Multifunktionalenabdichtungen, welche mit Neigungen von 1:2,7 bzw. 1:2,8 geplant werden, weisen ebenfalls für den Bauzustand bis zur endgültigen Überlagerung in der Bemessungssituation BS-T unter den genommenen Annahmen für typische Scherparameter der Abdichtungskomponenten eine ausreichende Standsicherheit auf.

Die abschließende Betrachtung eines möglichen Böschungsbruchs zeigt unter der Annahme, dass die einzulagernden Abfälle i.d.R. hohe Scherfestigkeiten aufweisen, dass der gesamte Deponiekörper in beiden Erweiterungsbereichen als langfristig stabil angesehen werden kann. Je nach Geometrie der betrachteten Querschnitte sind Reserven in den möglichen Mindestscherwinkeln der Abfälle vorhanden.

Der vorliegende Bericht zur Setzungsabschätzung und Standsicherheitsbetrachtung zeigt auf, dass aus Sicht der Gutachter sowohl das Verformungsverhalten des Baugrundes und der Deponiekörper als auch die Stabilität der Erweiterungsflächen als unkritisch für die Deponiebauwerke und ihre Abdichtungskomponenten unter den getätigten Annahmen und vorhandenen Planunterlagen betrachtet werden können.

Bottrop, 26.01.2023

Projektleiter: Dipl.-Ing. T. Rath  
Projektingenieur: Dipl.-Ing. O. Syllwasschy



Dipl.-Ing. Thorsten Rath  
(Geschäftsführer)  
INGENUM GmbH



Dipl.-Ing. O. Syllwasschy  
(Projektingenieur)  
INGENUM GmbH

## **Bericht zum Setzungsverhalten des Untergrundes und der Standsicherheit der Deponieabschnitte ZDA II.3 und ZDA III (Stas-01)**

### **Quellenverzeichnis**

- /1/ Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), Letzte Änderung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533)
- /2/ Ingenieurleistungen zur Baugrunderkundung im Rahmen der Erweiterung der Zentraldeponie Altenberge zum Weiterbetrieb als DK II-Deponie in den Deponieabschnitten ZDA II.3 und ZDA III - Konzept zur geologischen und hydrogeologischen Erkundung des Untergrundes vor dem Hintergrund der Standsicherheit und des Grundwassermonitorings, INGENUM GmbH, Stand: 05.08.2021
- /3/ Bericht zur geologischen und hydrogeologischen Erkundung des Untergrundes vor dem Hintergrund der Bewertung der Eignung des Deponiestandortes und des Grundwassermonitorings, INGENUM GmbH, Stand: 22.03.2022
- /4/ <https://www.geoportal.nrw>
- /5/ Grundbau-Taschenbuch - Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 7. Auflage, Ernst & Sohn, 2008

## Literaturverzeichnis

- [U1] Geotechnischer Bericht zur Erweiterung der Zentraldeponie für Siedlungsabfälle Altenberge, Geotechnisches Laboratorium und Ingenieurbüro Dipl.-Ing. H. J. Hinz, Münster, Stand: 01.03.1991.
- [U2] DIN 4019:2015-05: Baugrund – Setzungsberechnungen, Beuth Verlag, Berlin, 2015
- [U3] Dr.-Ing. Johann Buß „Setzungen und Spannungen unter "Dreiecksfundamenten", Geotechnik 22 (1999) Nr. 1
- [U4] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 1-8 „Geotechnische Klassifizierung von Abfällen“, 1997
- [U5] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 2-19 „Abfallmechanische Berechnungen für nicht bodenähnliche Abfälle“, 1997
- [U6] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 2-24 „Setzungsprognosen für nicht bodenähnliche Abfälle“, 1997
- [U7] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 2-21 „Spreizsicherheitsnachweis und Verformungsabschätzung für die Deponiebasis“, 1997
- [U8] Feststellung des Abschlusses der Nachsorgephase bei Deponien, Prüfkriterien und Hinweise für Behörden und Betreiber von Deponien, LANUV-Arbeitsblatt 33, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2017
- [U9] DIN 1054:2021-04: Zulässige Belastung des Baugrundes, 2021
- [U10] DIN 4084:2009-1: Geländebruchberechnungen, 2009
- [U11] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“, Bautechnik 82 (2005), Heft 9, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [U12] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der DGGT e.V.: E 2-7 „Standicherheit von Dichtungssystemen“, Entwurf, Bautechnik 9/2008
- [U13] Saathoff, F., Werth, K. (2005): Standsicherheitsnachweise für Oberflächendichtungssysteme - Anmerkungen zum Lastfall Einbau geschichteter Systeme mit Geokunststoffen, Fachtagung "Die sichere Deponie", SKZ, Würzburg
- [U14] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken, Lastannahmen

[U15] WITT, K. J.; WERTH, K.: Mobilisierbare Scherwiderstände in geneigten Schichtgrenzen, 8. Naue Geokunststoff-Kolloquium, Rostock, 2013



Projekt-Nr.  
22.0900

Projekt-Kurztitel:  
Erweiterung Zentraldeponie Altenberge

Stand / Version  
26.01.2023 / V 1.1

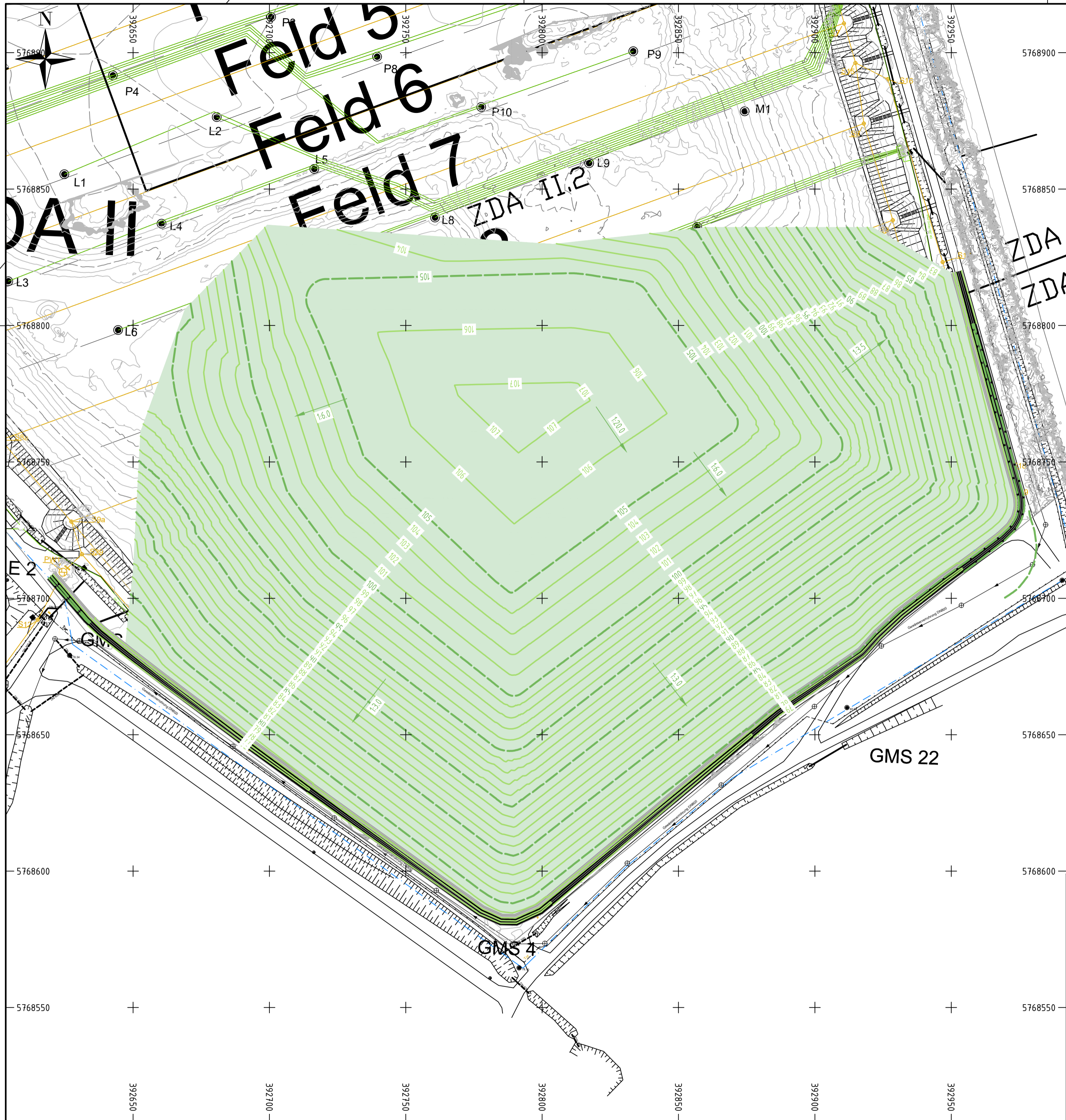
# ANLAGEN

# Anlage 1

## Lagepläne der Zentraldeponie Altenberge

## **Anlage 1.1**

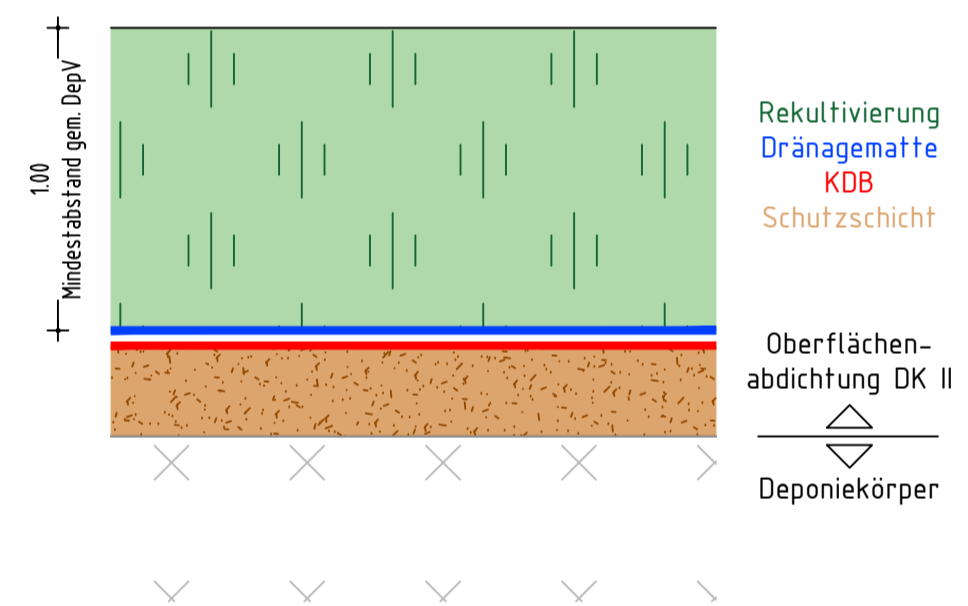
### **Lagepläne Rekultivierung ZDA II.3**



**Legende**

- Höhenlinien Bestand, 5 m Abstand
- Höhenlinien Bestand, 1 m Abstand
- - - Höhenlinien OK Endgestaltung/ OK Rekultivierung, 5 m Abstand
- Höhenlinien OK Endgestaltung/ OK Rekultivierung, 1 m Abstand

**Regelaufbau Oberflächenabdichtung  
M 1:25**



b			
a			
Datum	gez.	gepr.	Änderung

Auftraggeber	<b>EGST</b>	Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH Im Bioenergiepark 3 48349 Steinfurt Deutschland
--------------	-------------	--

Projekt: Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH  
Zentraldeponie Altenberge

Zeichnungsinhalt: Deponieerweiterung ZDA II.3  
Lageplan Rekultivierung

Datum	Name	Planungsstand / Maßstab
gez. 12.08.2020	Haßlinger	
gepr. 12.08.2020	Töhne	1:1.000
Projekt-Nr.	0931-20-015	Zeichnung-Nr. LP-03.1
Datei-Nr.	0931-20-015_LP202 dwg	

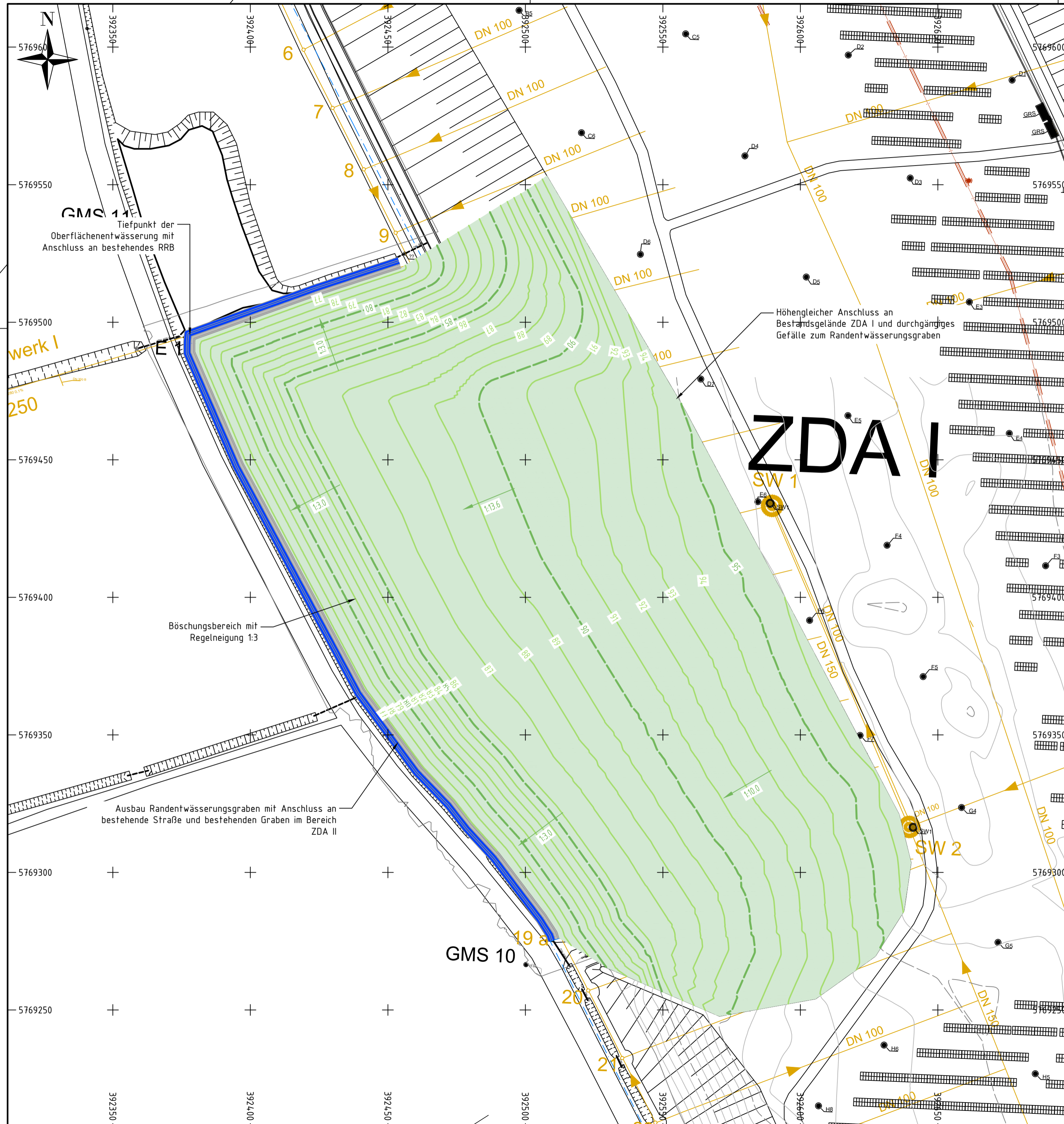
Ingenieurgesellschaft für Geo+Energie+Umwelt  
Planung und Beratung  
Industriestraße 17  
46240 Bottrop

**INGENUM**  
GEOENERGIEUMWELT GMBH

T +49 (0)2041 77188-0  
F +49 (0)2041 77188-19  
E info@ingenum.de

## **Anlage 1.2**

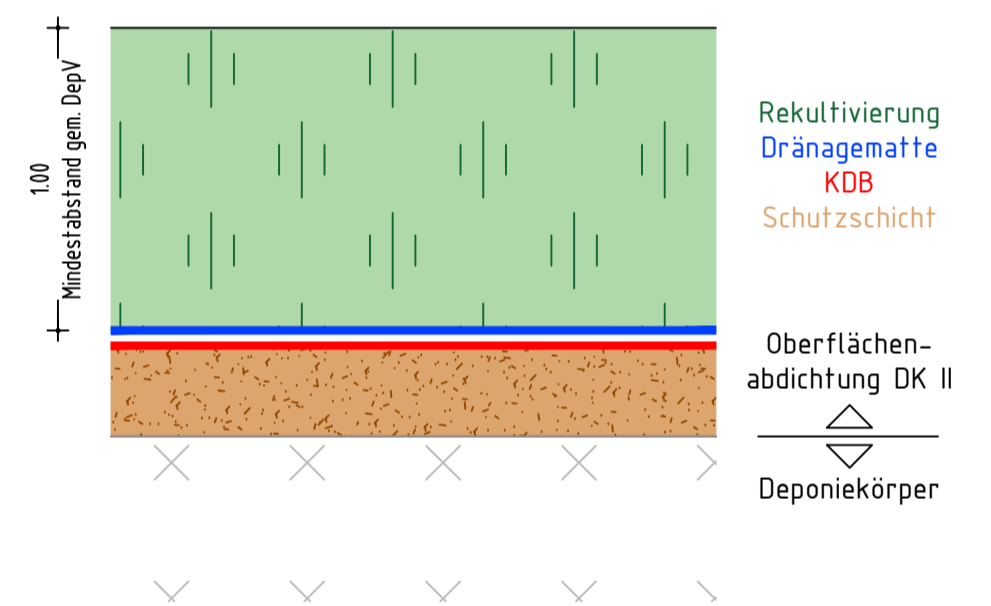
### **Lageplan Rekultivierung ZDA III**



**Legende**

- Höhenlinien Bestand, 5 m Abstand
- Höhenlinien Bestand, 1 m Abstand
- - - Höhenlinien OK Endgestaltung/ OK Rekultivierung, 5 m Abstand
- Höhenlinien OK Endgestaltung/ OK Rekultivierung, 1 m Abstand

**Regelaufbau Oberflächenabdichtung  
M 1:25**



GMS 11  
Tiefpunkt der  
Oberflächenentwässerung mit  
Anschluss an bestehendes RRB

werk I  
250

Böschungsbereich mit  
Regelneigung 1:3

Ausbau Randentwässerungsgraben mit Anschluss an  
bestehende Straße und bestehenden Graben im Bereich  
ZDA II

Höhengleicher Anschluss an  
Bestandsgelände ZDA I und durchgängiges  
Gefälle zum Randentwässerungsgraben

**ZDA I**

GMS 10

b				
a				
Datum	gez.	gepr.	Änderung	

Auftraggeber **EGST**  
 Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH  
 Im Bioenergiepark 3  
 48349 Steinfurt  
 Deutschland

Projekt **Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH  
Zentraldeponie Altenberge**

Zeichnungsinhalt **Deponieerweiterung ZDA III  
Lageplan Rekultivierung**

Datum	Name	Planungsstand / Maßstab
gez. 12.08.2020	Haßlinger	
gepr. 12.08.2020	Töhne	1:1.000
Projekt-Nr.	0931-20-015	Zeichnung-Nr. LP-03.2
Datei-Nr.	0931-20-015_LP201.dwg	

Ingenieurgesellschaft für Geo+Energie+Umwelt  
 Planung und Beratung  
 Industriestraße 17  
 46240 Bottrop  
 T +49 (0)2041 77188-0  
 F +49 (0)2041 77188-19  
 E info@ingenum.de

**INGENUM**  
 GEOENERGIEUMWELT GMBH

# **Anlage 2**

## **Setzungsberechnungen**

## Anlage 2.1

### Setzungsberechnungen Erweiterungsfläche ZDA II.3

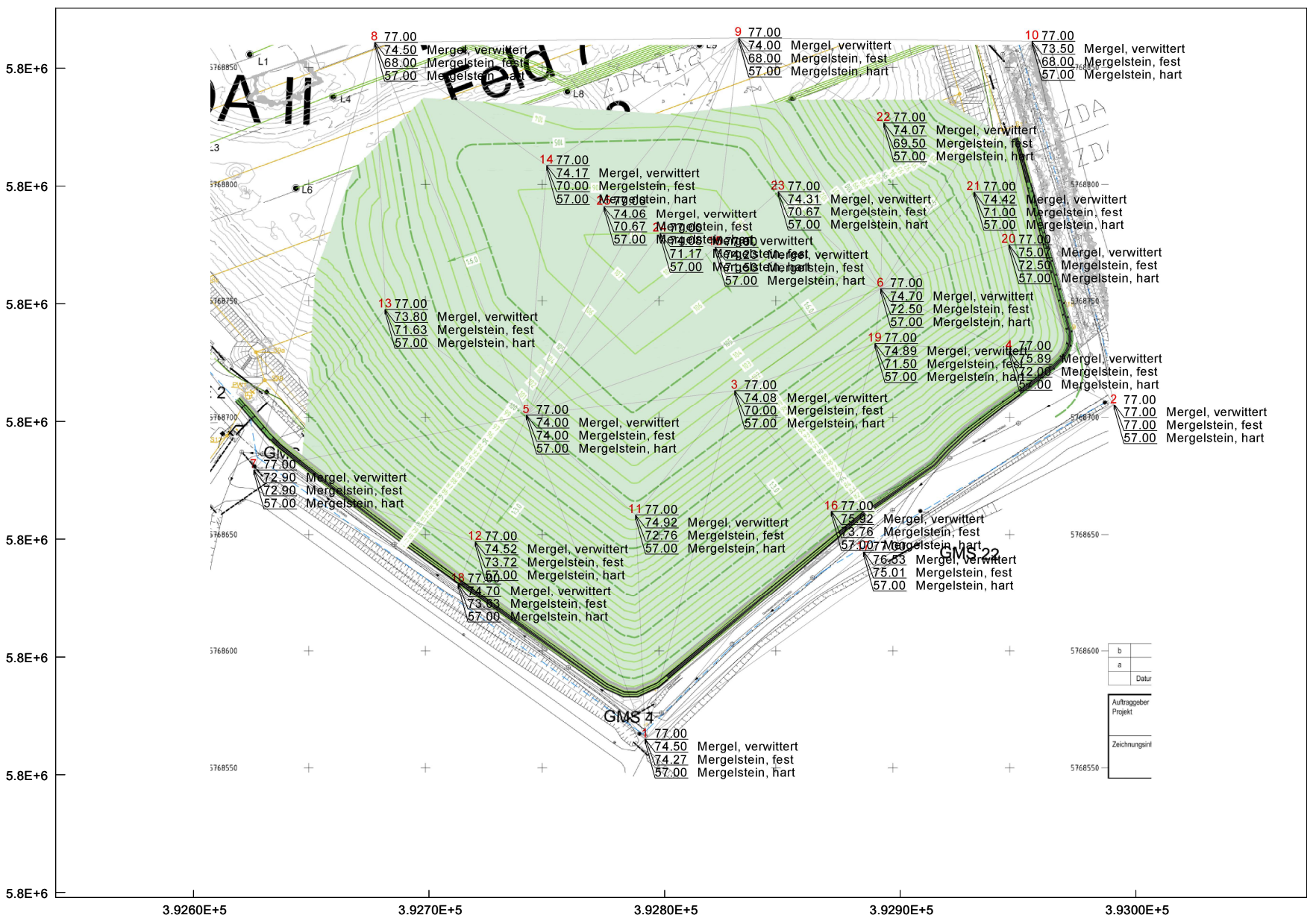
- 2.1.1 Bodennetz mit Schichtenaufbau
- 2.1.2 Anordnung der Dreiecksfundamente
- 2.1.3 Verteilung der Auflastspannungen
- 2.1.4 Baugrundmodell: Unterkante Mergel verwittert
- 2.1.5 Baugrundmodell: Unterkante Mergelstein fest
- 2.1.6 Baugrundmodell: Unterkante Mergel hart
- 2.1.7 Setzungsmulde konservativer Ansatz
- 2.1.8 Setzungsmulde Variation A
- 2.1.9 Setzungsmulde Variation B
- 2.1.10 Setzungsmulde Variation C
- 2.1.11 Setzungsmulde Variation D
- 2.1.12 Setzungsmulde Variation E
- 2.1.13 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd
- 2.1.14 Setzungsmulde Schnitt Nordwest-Südost
- 2.1.15 Setzungsmulde West-Ost
- 2.1.16 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd in der Nordböschung
- 2.1.17 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Nordböschung  $E_{sAbfall} = 15$  MN/m<sup>2</sup>
- 2.1.18 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Nordböschung  $E_{sAbfall} = 40$  MN/m<sup>2</sup>



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsrechnungen

Bodennetz mit Schichtenaufbau



Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.1



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsberechnungen

Anordnung Dreiecksfundamente



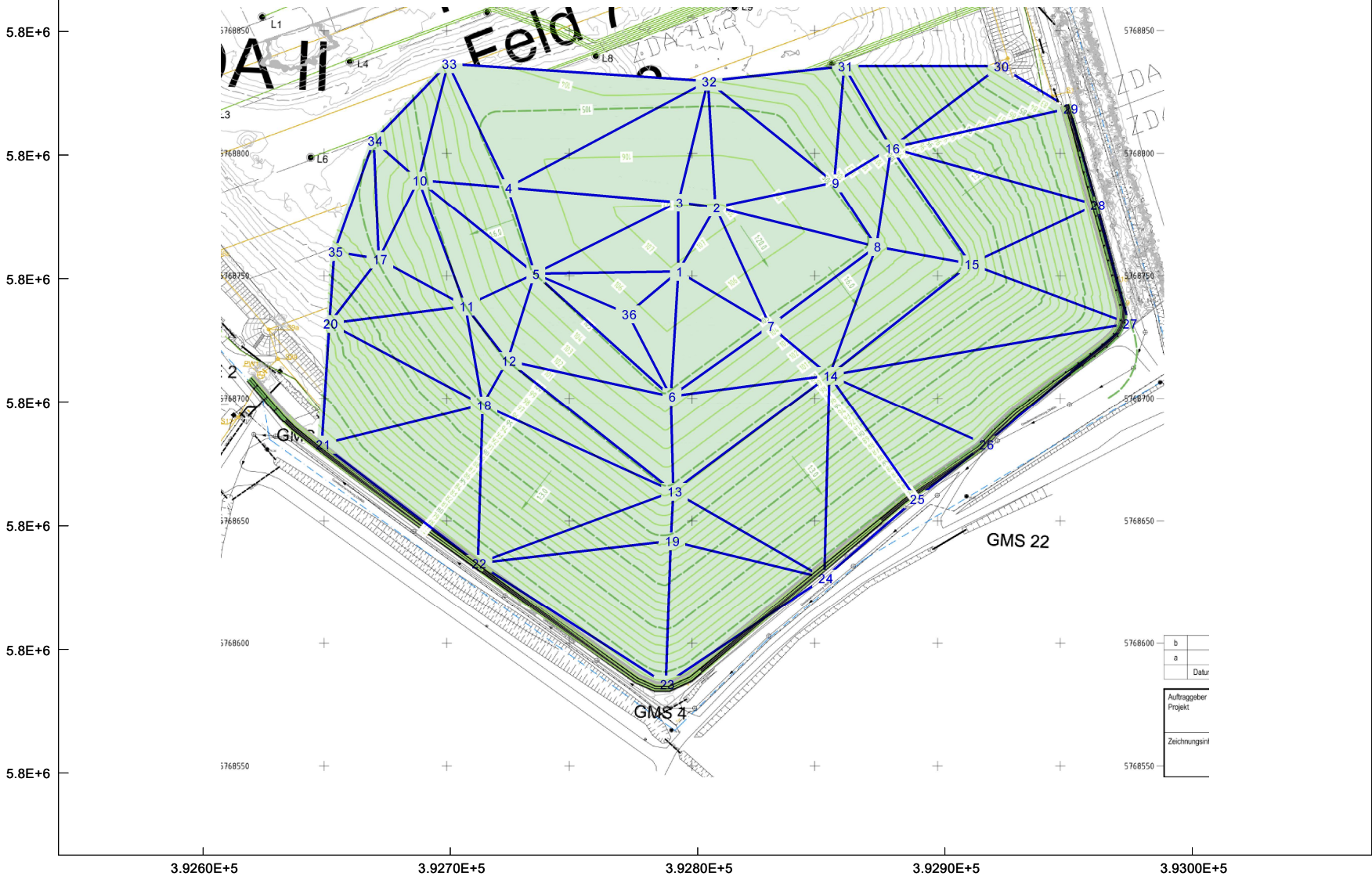
Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.2

GGU-SETTLE / Version 6.20 / 30.03.2022  
 Berechnungsgrundlagen:  
 Setzungen GOK  
 Grenztiefe mit 20.0 %

Grenztiefe mit allen Fundamenten  
 Datei: ZDA II3 V2 9 50 100 Dreiecksfundamente.fda  
 Datum: 01.07.2022  
 Uhrzeit: 08:42:27

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	9.00	Mergel, verwittert
	22.00	50.00	Mergelstein, fest
	22.00	100.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

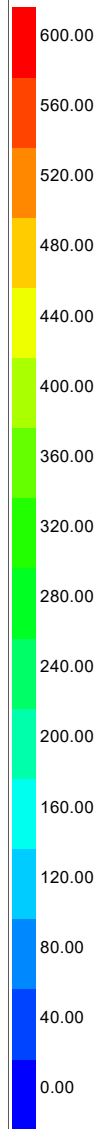
## Setzungsrechnungen

Verteilung der Auflastspannungen

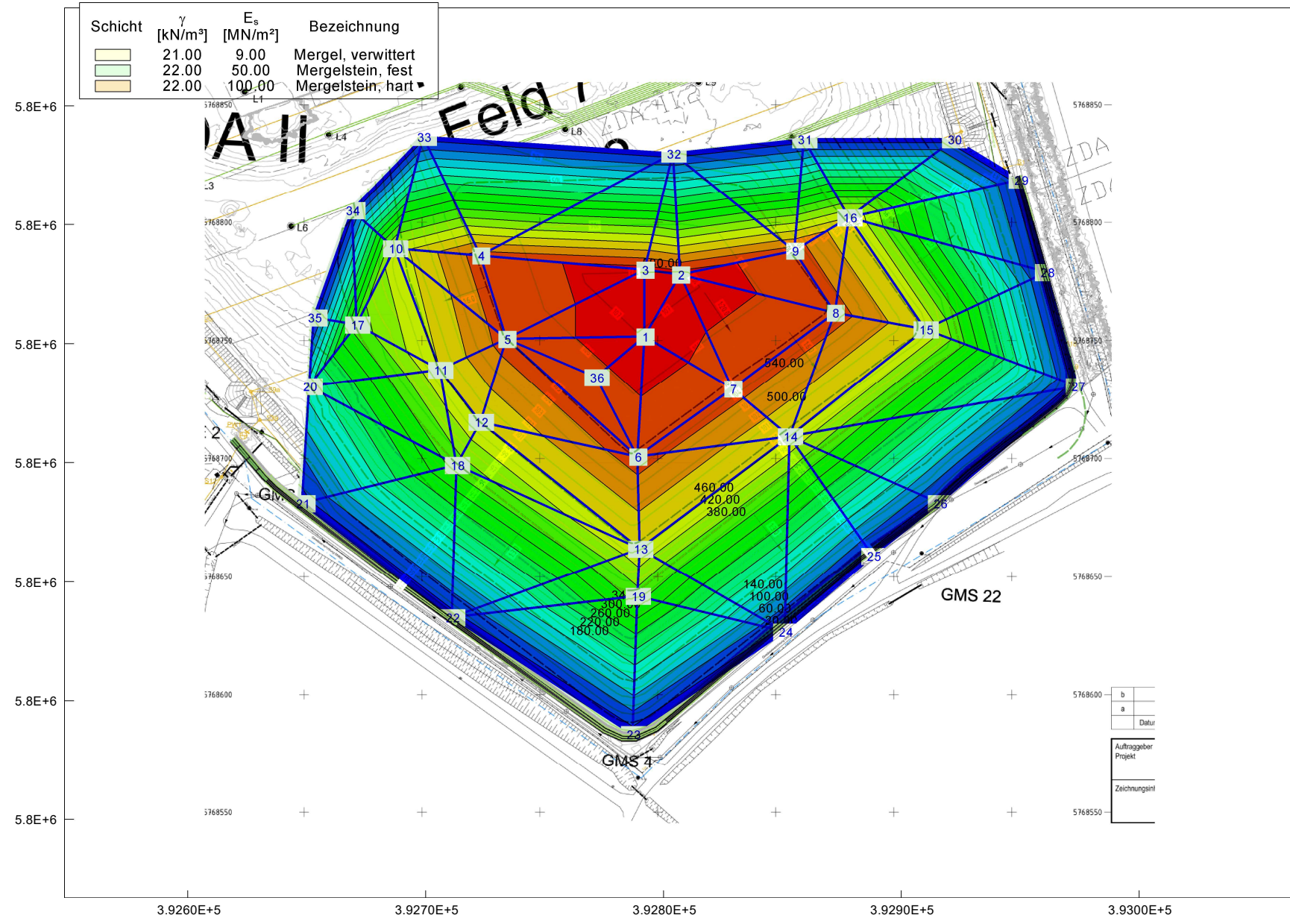


Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.3



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	9.00	Mergel, verwittert
	22.00	50.00	Mergelstein, fest
	22.00	100.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsrechnungen

Baugrundmodell UK Mergel, verwittert



Proj. Nr.:  
22.0900

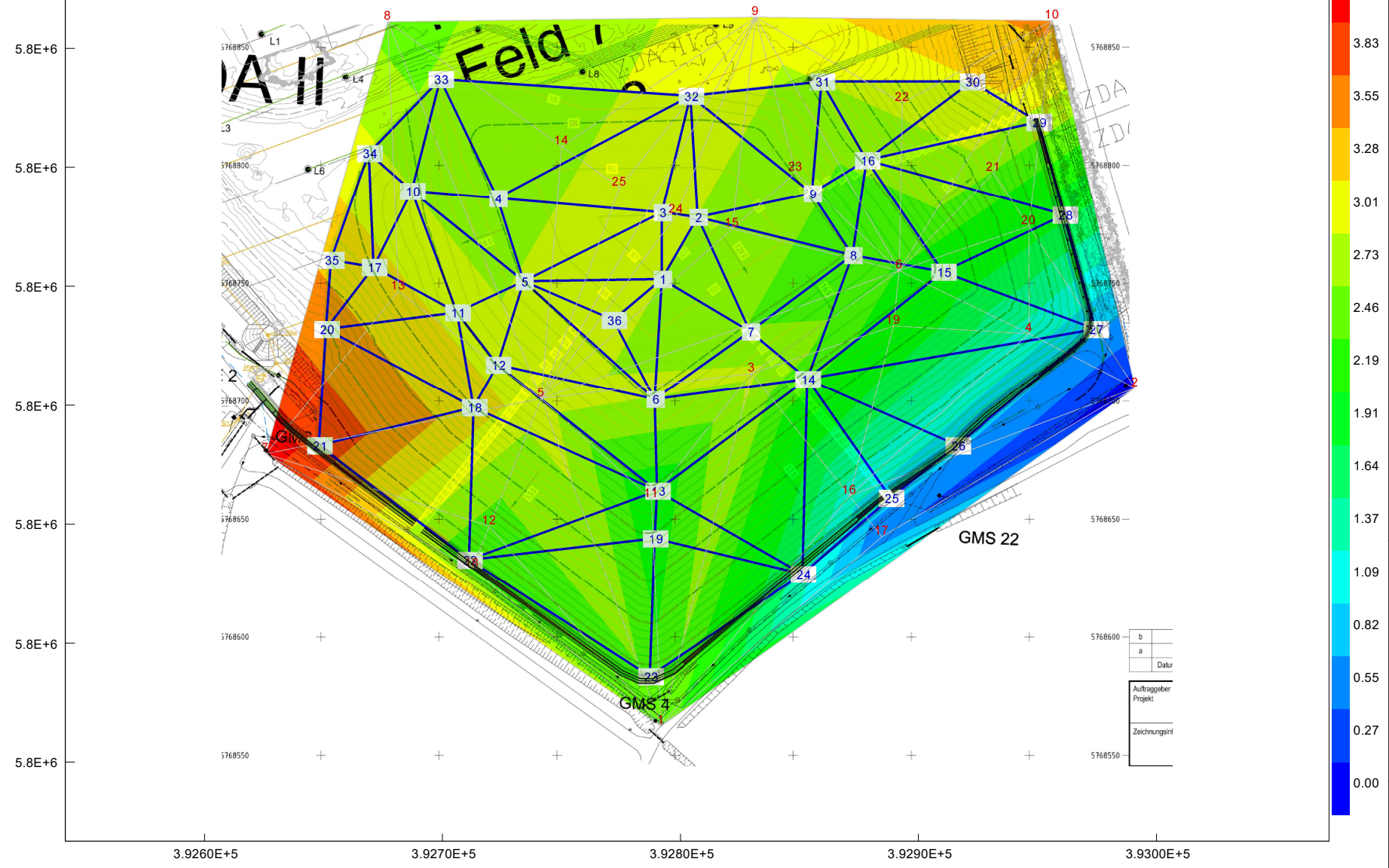
Anlage:  
2.1.4

Uhrzeit: 08:45:52

GGU-SETTLE / Version 6.20 / 30.03.2022  
 Berechnungsgrundlagen:  
 UK Schicht 1  
 Setzungen GOK

Grenztiefe mit 20.0 %  
 Grenztiefe mit allen Fundamenten  
 Datei: ZDA II3 V2 9 50 100 Grafik UK Mergel.fda  
 Datum: 01.07.2022

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	9.00	Mergel, verwittert
	22.00	50.00	Mergelstein, fest
	22.00	100.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsrechnungen

Baugrundmodell UK Mergelstein fest

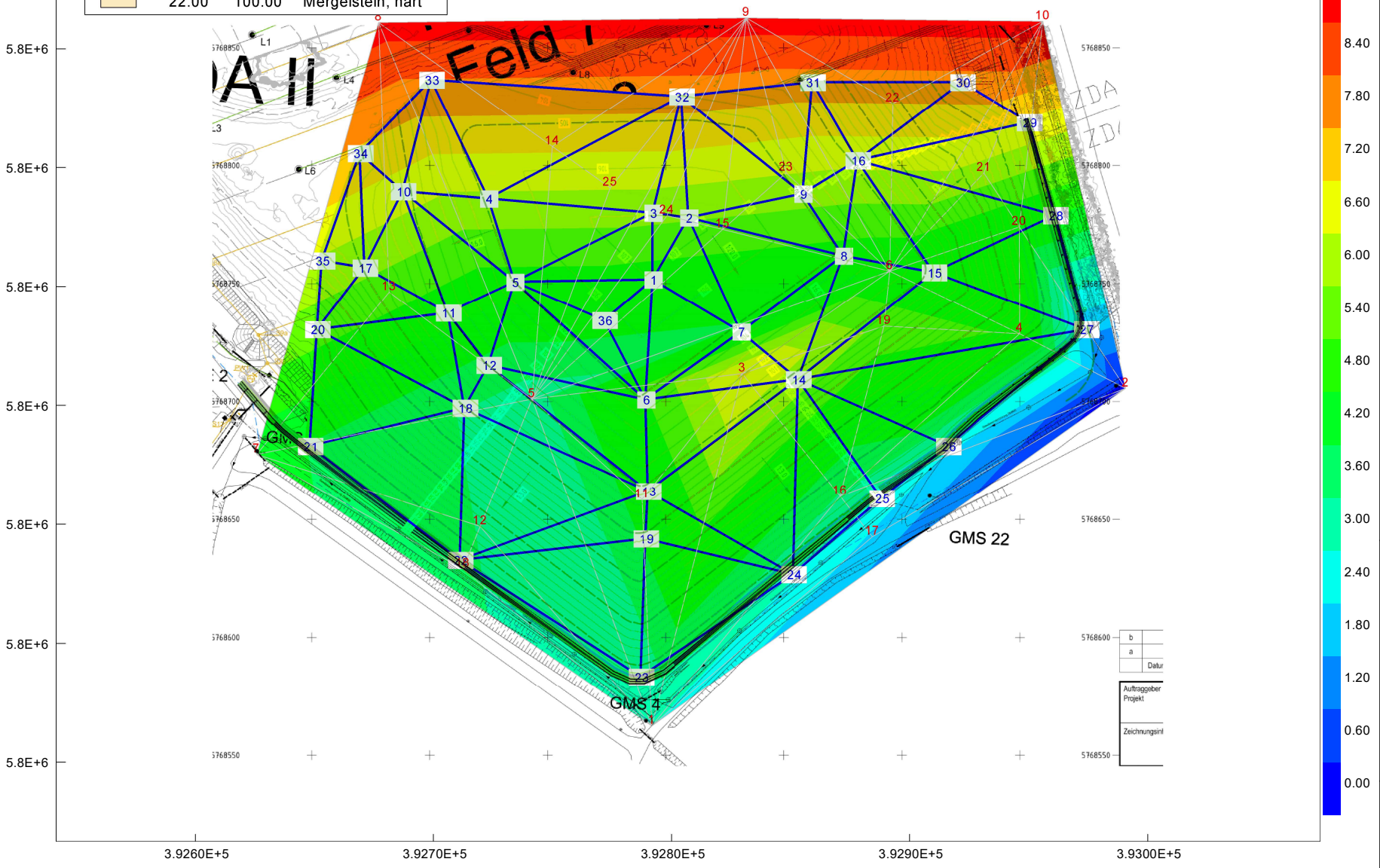


Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.5

Berechnungsgrundlagen: Grenztiefe mit allen Fundamenten  
 UK Schicht 2  
 Setzungen GOK  
 Grenztiefe mit 20.0 %  
 Datei: ZDA II3 V2 9 50 100 Grafik UK Mergelstein fest.fda

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	9.00	Mergel, verwittert
	22.00	50.00	Mergelstein, fest
	22.00	100.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsrechnungen

Baugrundmodell UK Mergelstein hart, Grenztiefe

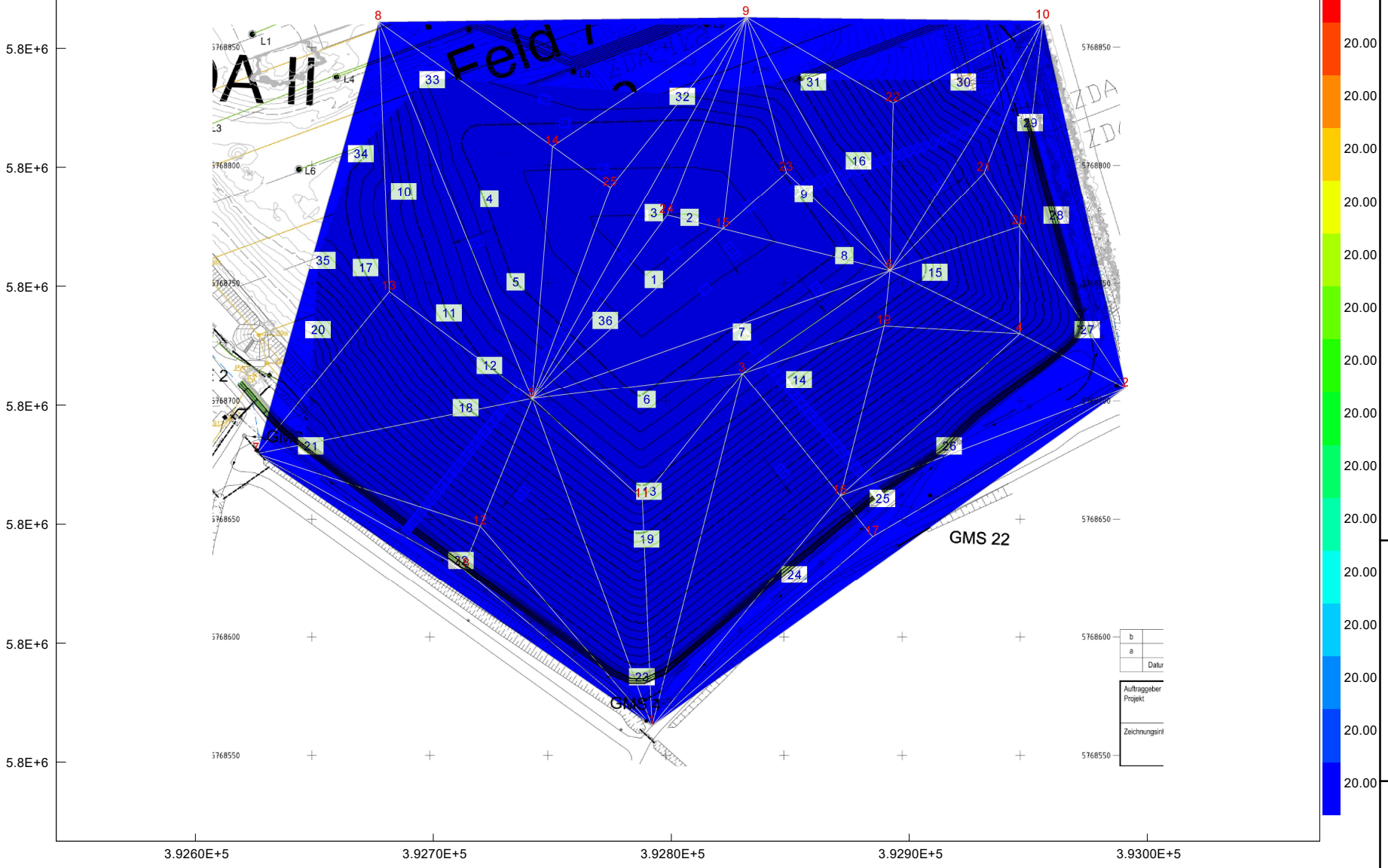


Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.6

Berechnungsgrundlagen: Grenztiefe mit allen Fundamenten  
 UK Schicht 3 Datei: ZDA II3 V2 9 50 100 Grafik UK Mergelstein hart.fda  
 Setzungen GOK Datum: 01.07.2022  
 Grenztiefe mit 20.0 % Uhrzeit: 08:49:23

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#ffffcc;"></span>	21.00	9.00	Mergel, verwittert
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#c8e6c9;"></span>	22.00	50.00	Mergelstein, fest
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#ffe0b2;"></span>	22.00	100.00	Mergelstein, hart



b	
a	
Datum	
Auftraggeber	
Projekt	
Zeichnungsart	

# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

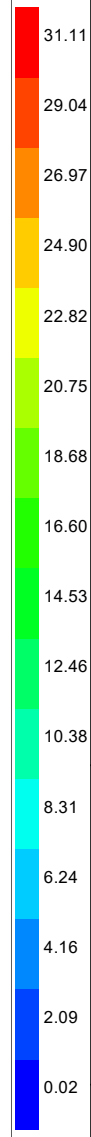
## Setzungsberechnungen



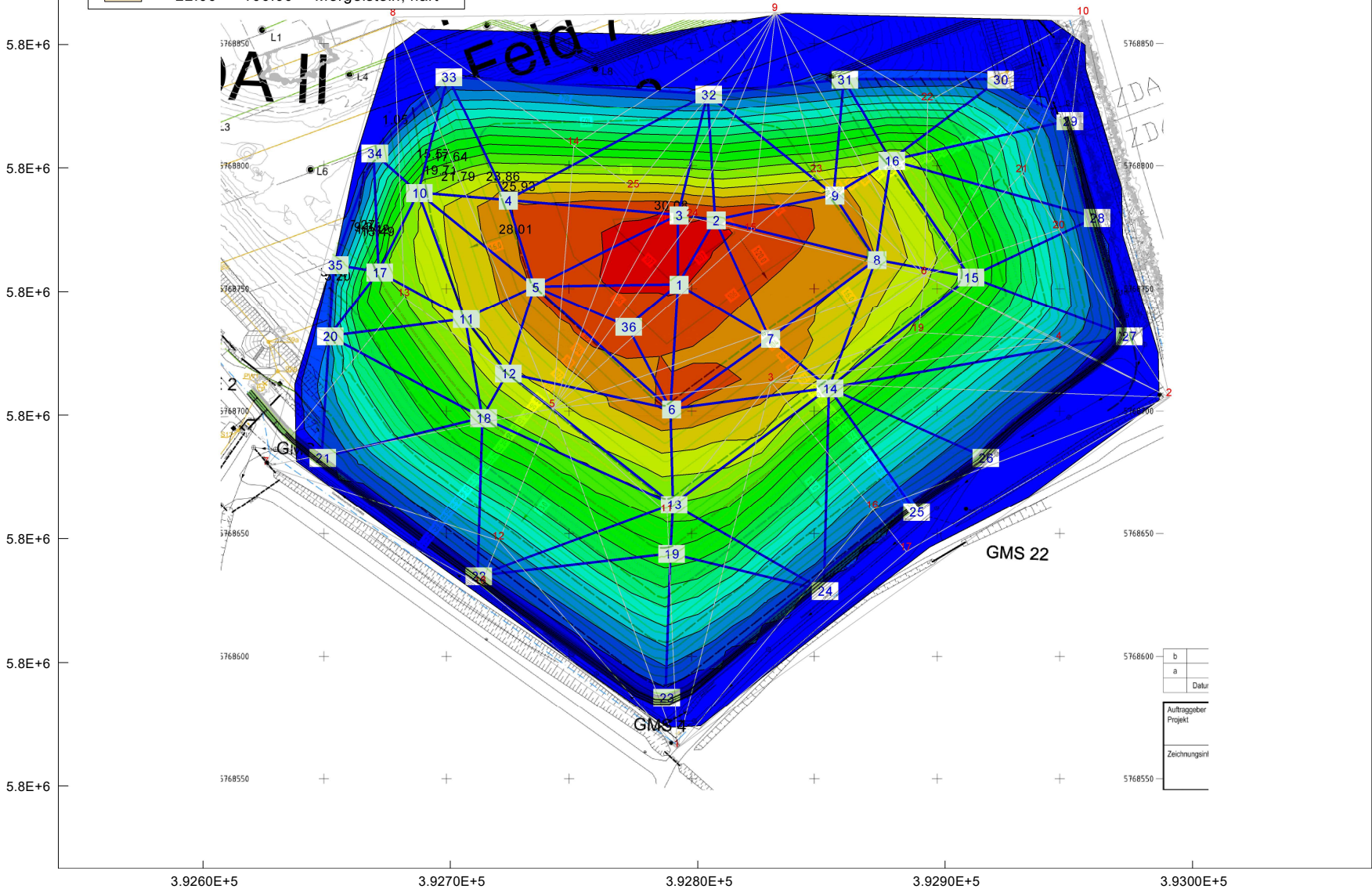
Setzungsmulde, Isolinen gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Ansatz konservativ

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.7



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#f0e68c;"></span>	21.00	9.00	Mergel, verwittert
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#c8e6c9;"></span>	22.00	50.00	Mergelstein, fest
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:#ffe0b2;"></span>	22.00	100.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

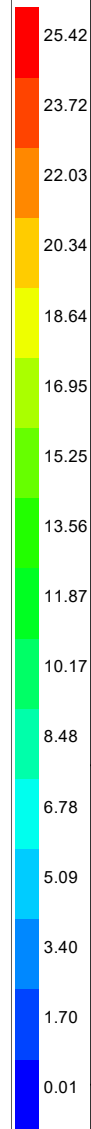
## Setzungsberechnungen



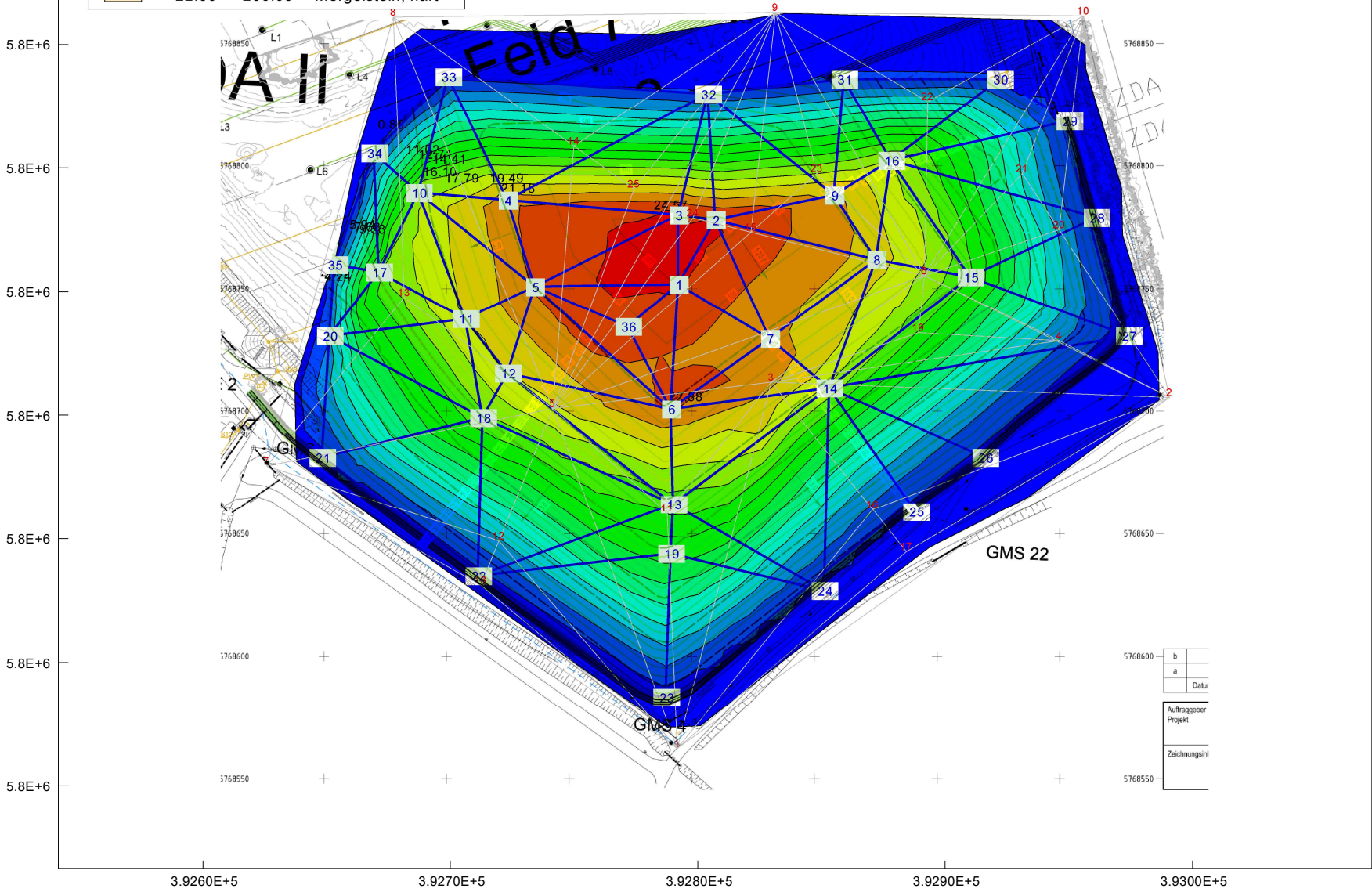
Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation A

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.8



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	9.00	Mergel, verwittert
	22.00	100.00	Mergelstein, fest
	22.00	200.00	Mergelstein, hart



b
a
Datum
Auftraggeber
Projekt
Zeichnungsart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

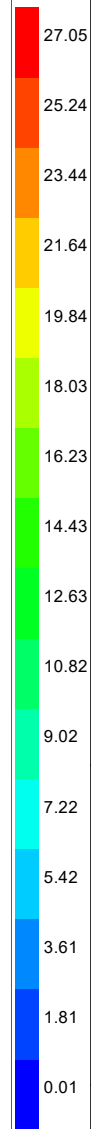
## Setzungsberechnungen



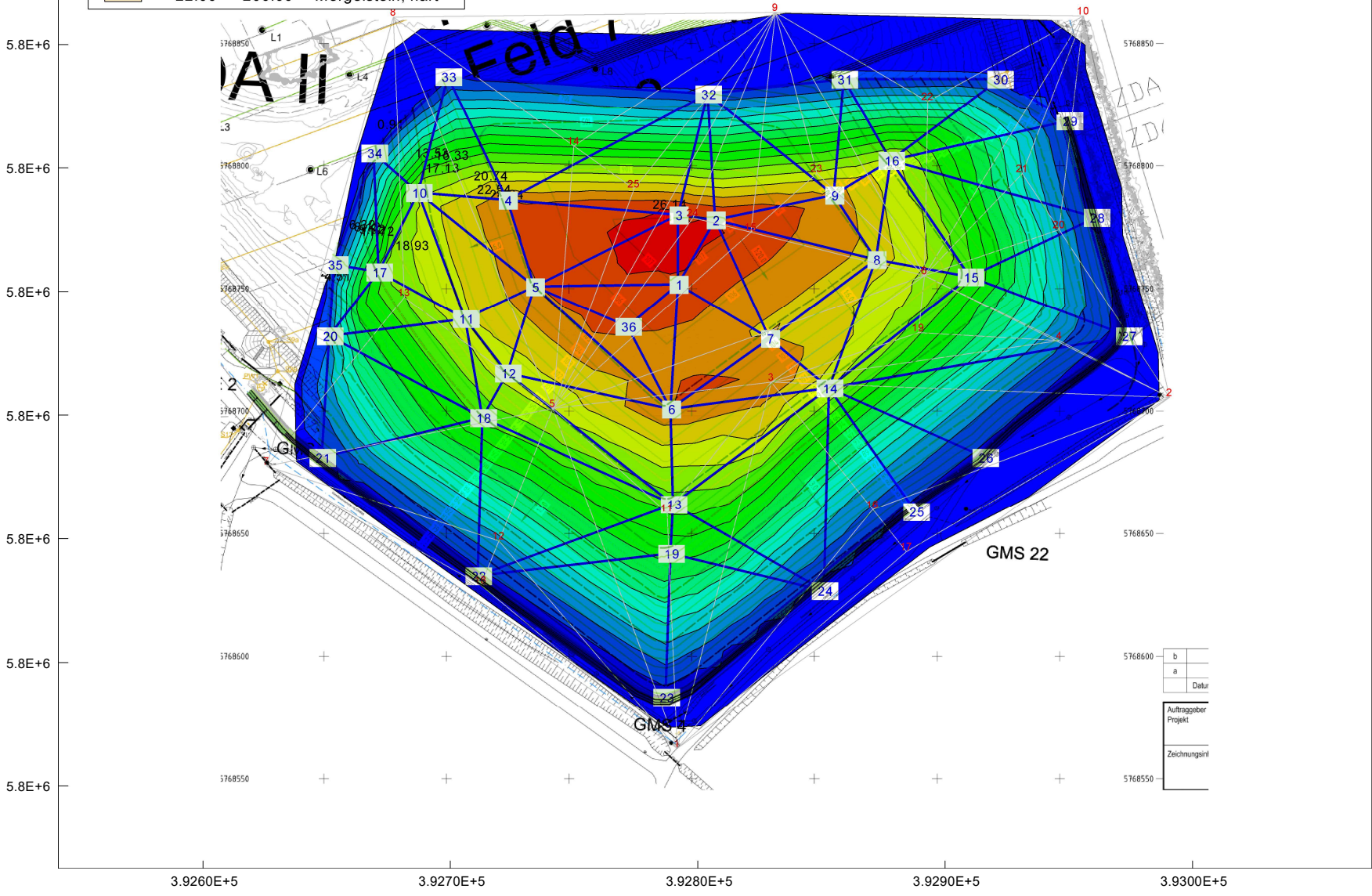
Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation B

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.9



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
[Light Green Box]	21.00	9.00	Mergel, verwittert
[Medium Green Box]	22.00	50.00	Mergelstein, fest
[Orange Box]	22.00	200.00	Mergelstein, hart



# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

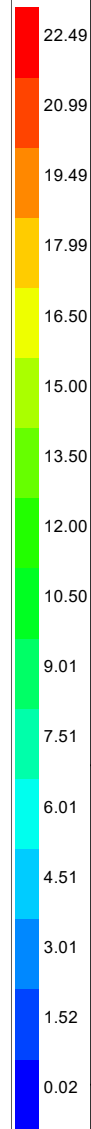
## Setzungsberechnungen



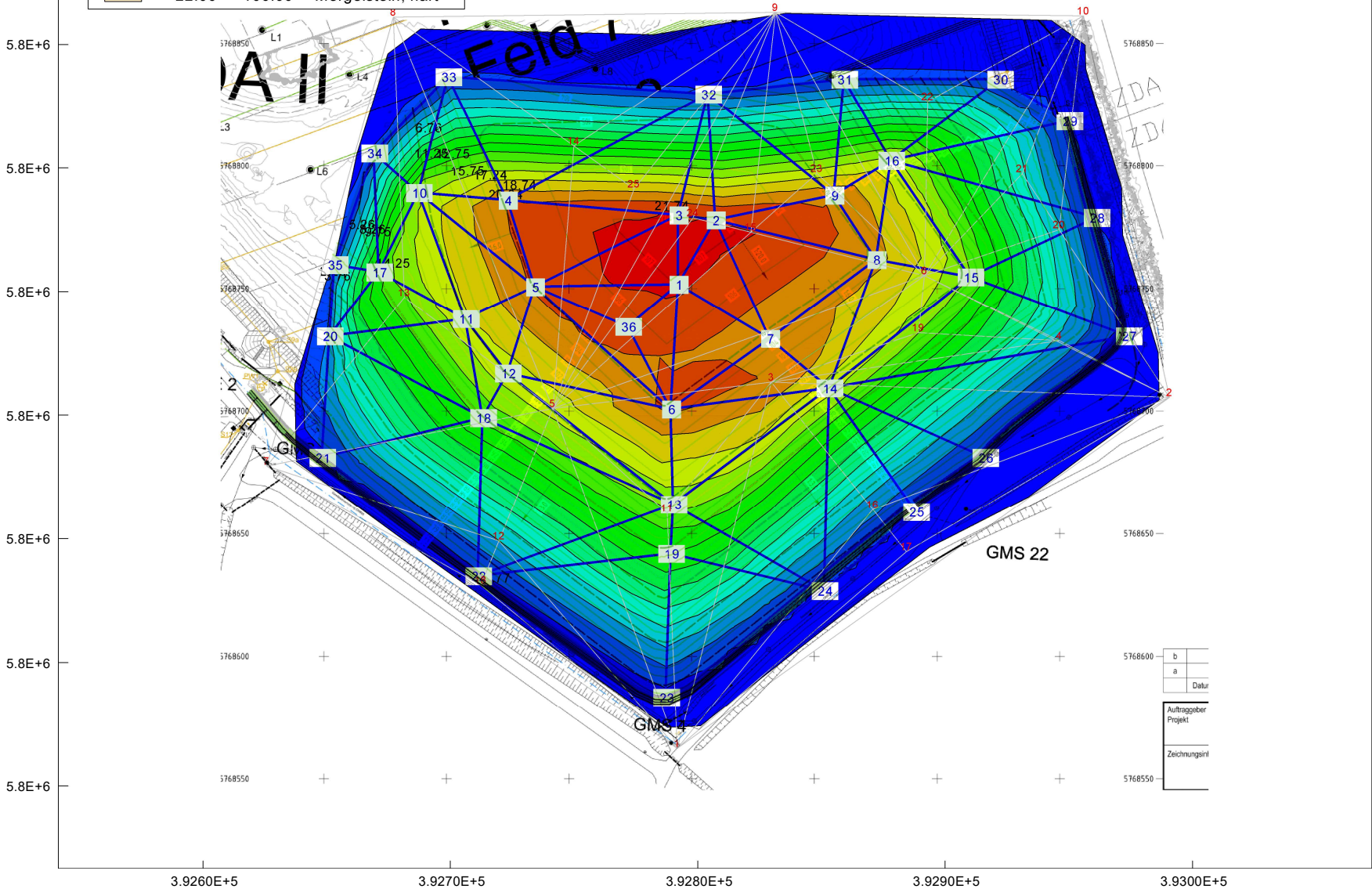
Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation C

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.10



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
[Light Green Box]	21.00	16.00	Mergel, verwittert
[Light Blue Box]	22.00	50.00	Mergelstein, fest
[Light Orange Box]	22.00	100.00	Mergelstein, hart



b	
a	
Datum	
Auftraggeber	
Projekt	
Zeichnungsart	

# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsberechnungen

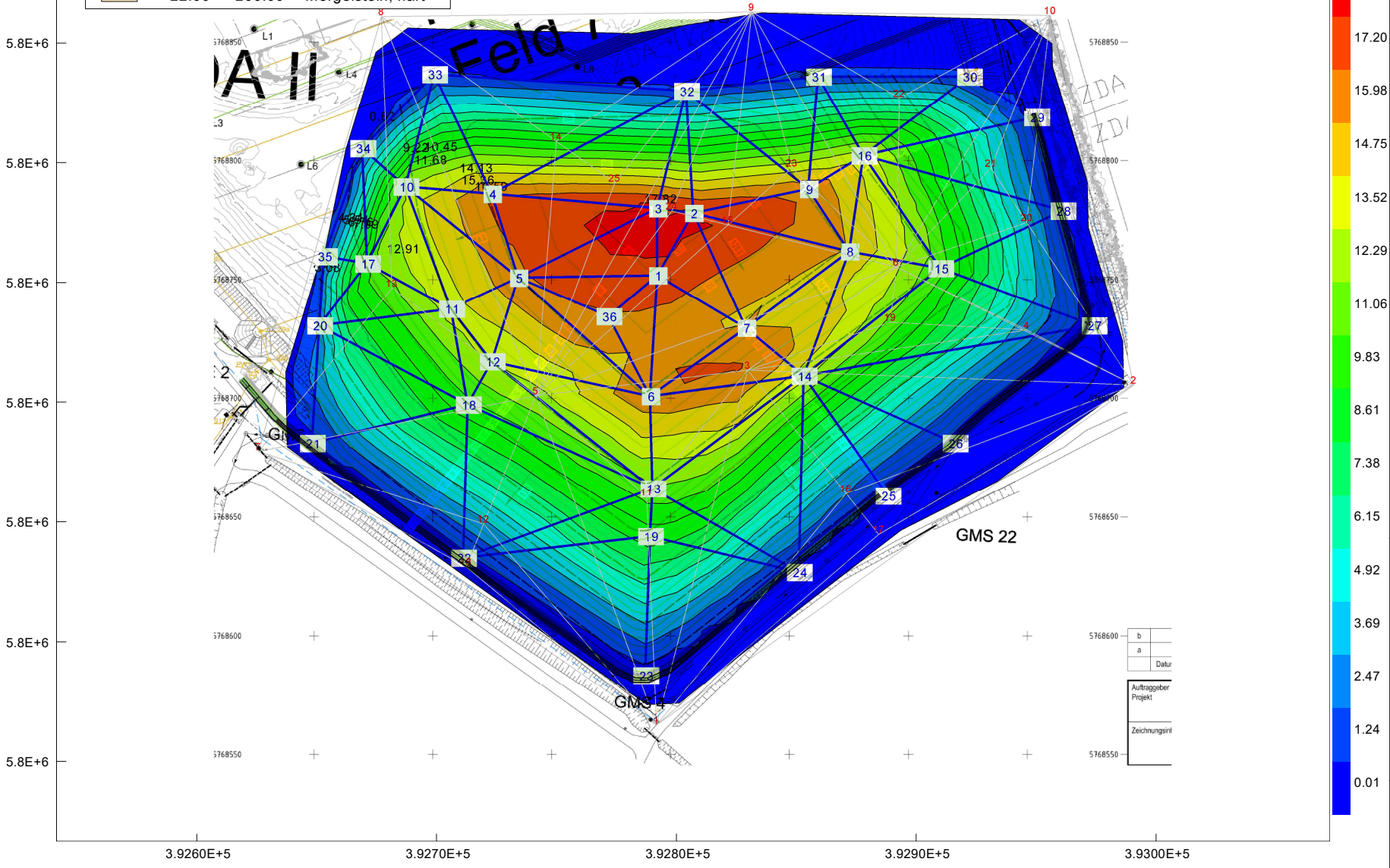


Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation D

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.11

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	16.00	Mergel, verwittert
	22.00	50.00	Mergelstein, fest
	22.00	200.00	Mergelstein, hart



b	
a	
Datum	
Auftraggeber	
Projekt	
Zeichnungsart	

# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

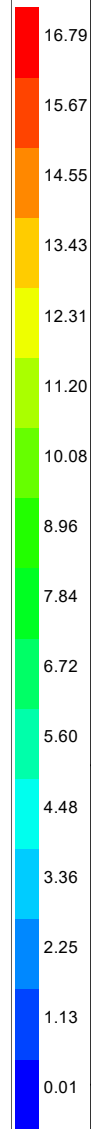
## Setzungsberechnungen



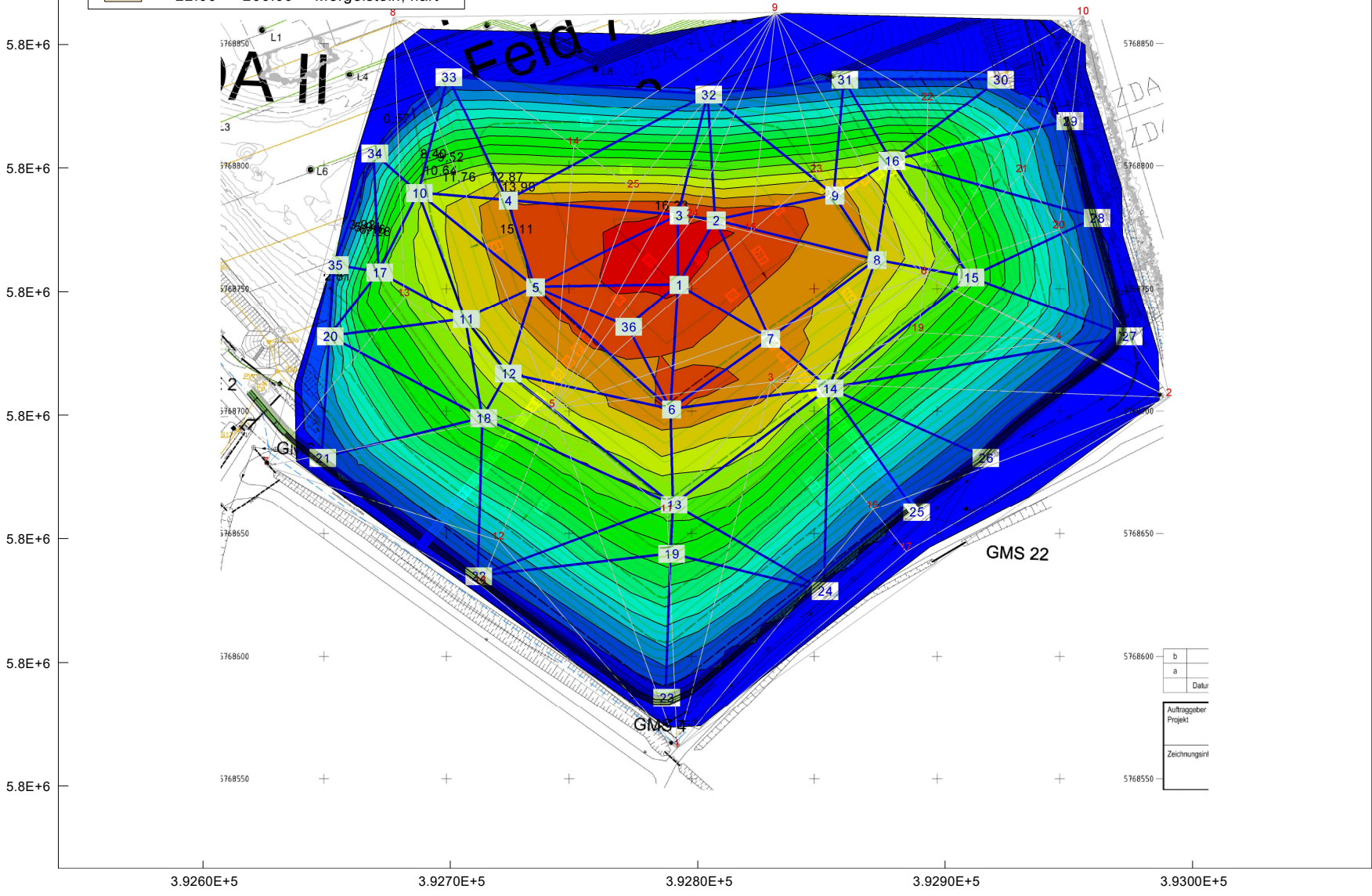
Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation E

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.12



Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung
	21.00	16.00	Mergel, verwittert
	22.00	100.00	Mergelstein, fest
	22.00	200.00	Mergelstein, hart





# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

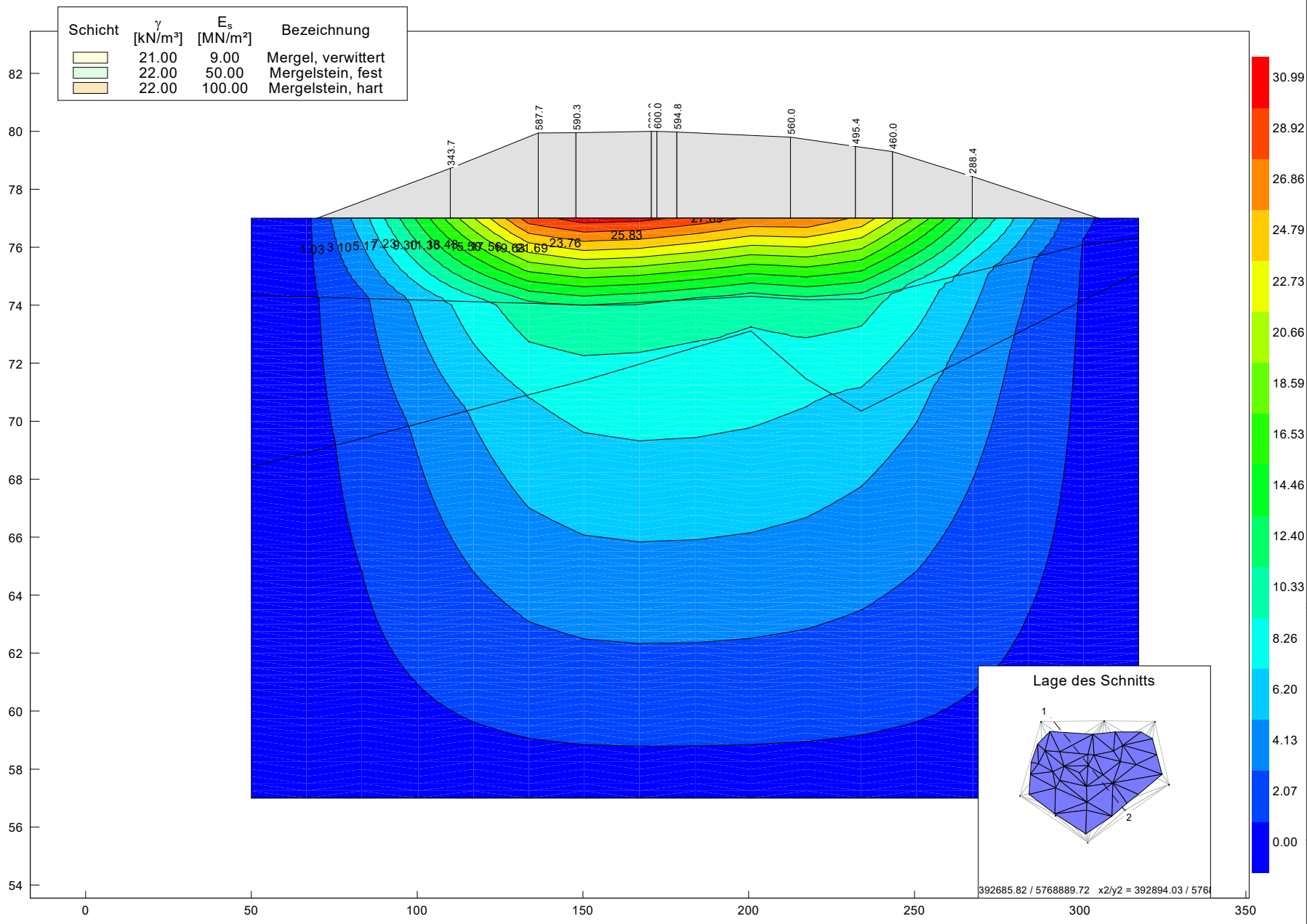
## Setzungsrechnungen



Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen Schnitt NW-SO, konservativer Ansatz

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.14



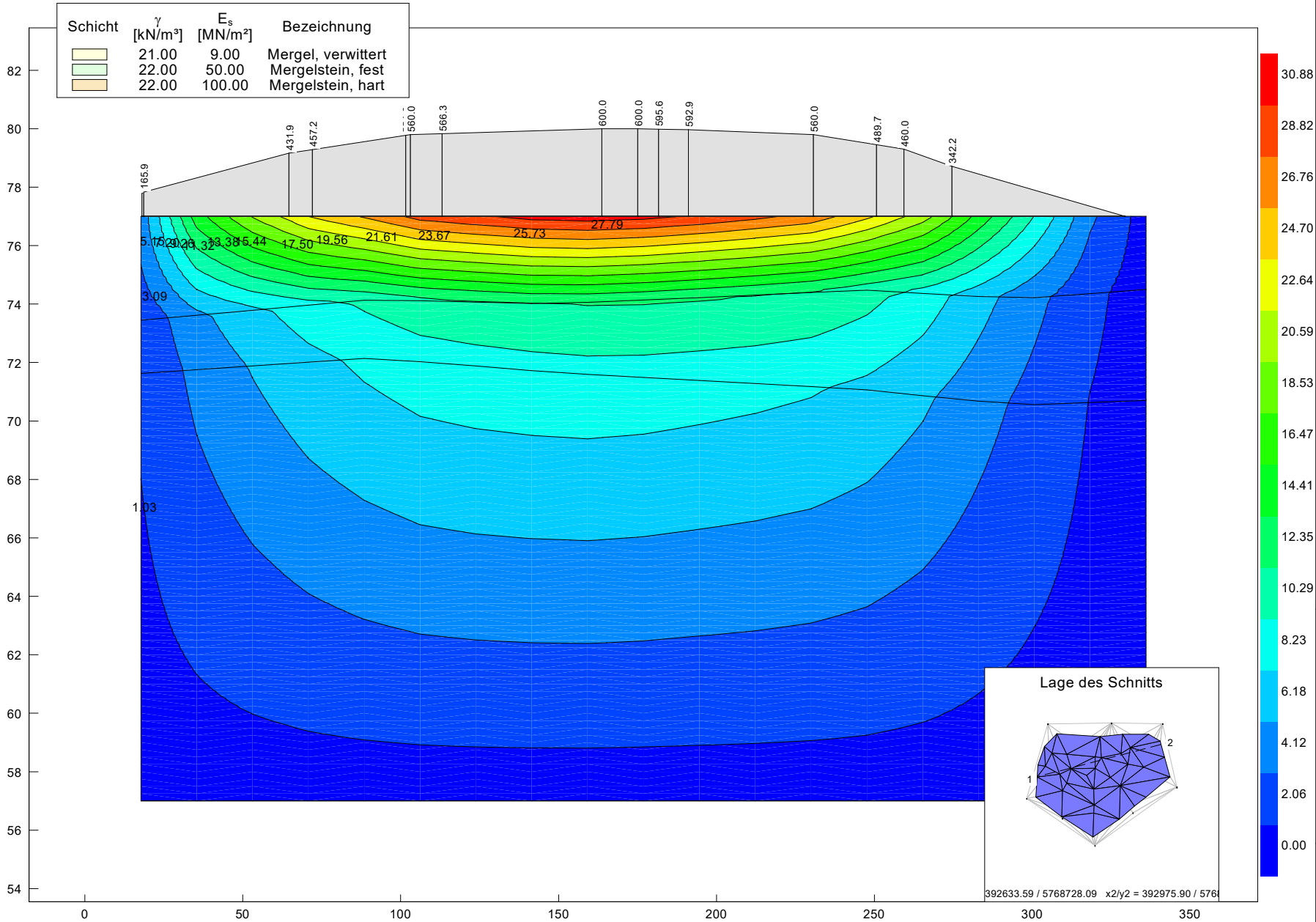
# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsberechnungen

Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen Schnitt West-Ost, konservativer Ansatz

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2.1.15



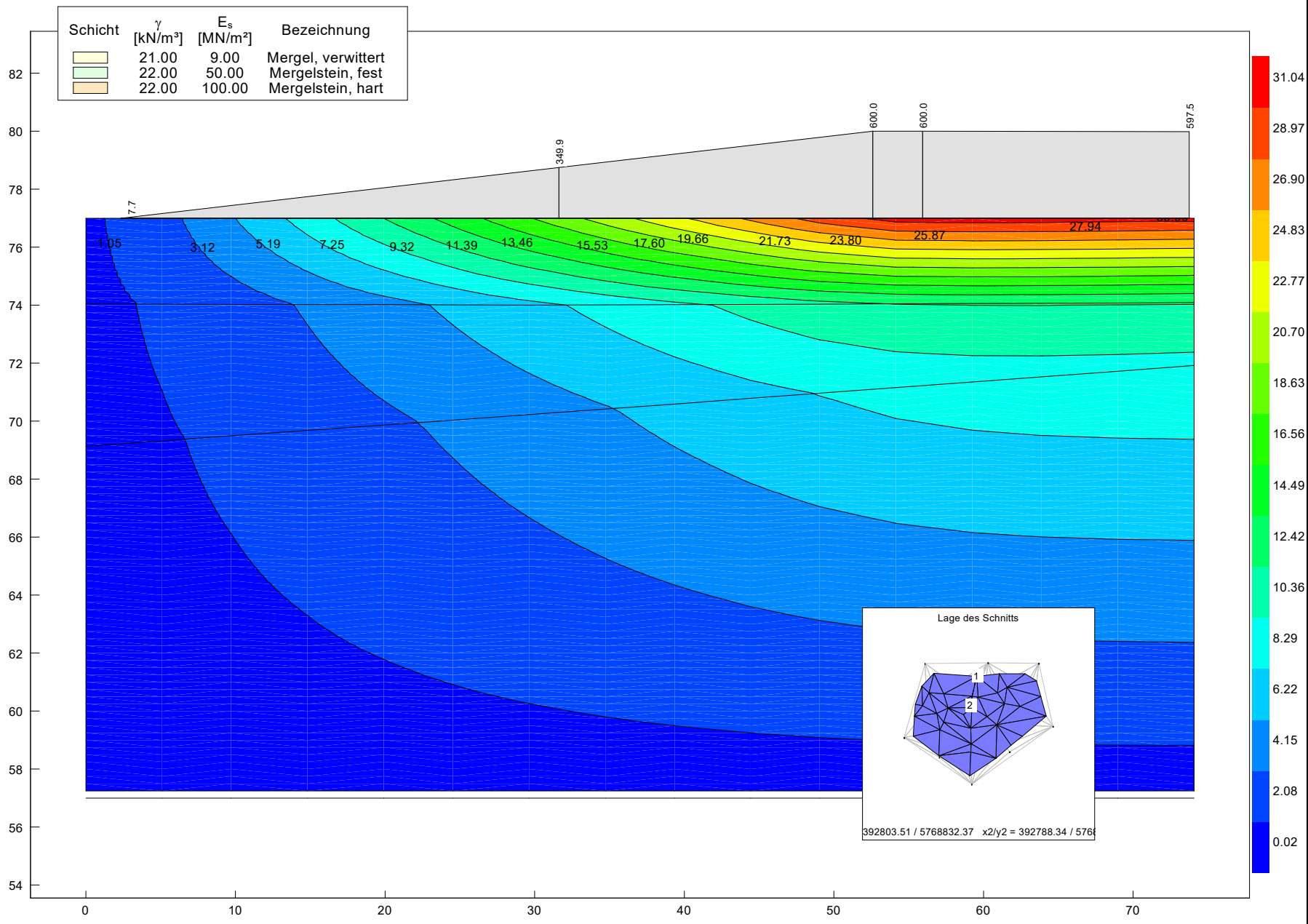
# Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

## Setzungsberechnungen

Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
Setzungen Schnitt Nord-Süd, Detail Nordböschung, konservativ

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.1.16





Projekt 22.0900

Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

Kompression der Altböschung Nord, ehemals ZDA II.2

Setzung gemäß:

Bezeichnungen:

Schicht: Beschreibung:

$$S_i = \sigma_s * \frac{h_i}{E_{Si}}$$

$h_i$  = Mächtigkeit der setzungsempfindlichen Schicht

$E_{Si}$  = Steifemodul der setzungsempfindlichen Schicht

$S_i$  = Setzung der setzungsempfindlichen Schicht

0 Abfallschüttung

1 technische Barriere h1

2 rollige Abfälle h2

3 Untergrund n.a.

4 Untergrund n.a.

Grundannahme

Steifezahl  
[MN/m<sup>2</sup>]

Dicke  
[m]

20 1

15 variabel

500 0,1

500 0,1

Wichte Deponat

20 [kN/m<sup>3</sup>]



Schnitt	Station	OK Reku III	OK Zwi	$\sigma_s$	$h_1$	$E_{S1}$	$S_1$	$h_2$	$E_{S2}$	$S_2$	$h_3$	$E_{S3}$	$S_3$	$h_4$	$E_{S4}$	$S_4$	S Untergrund	vor Setzung		nach Setzung	
																		$\Sigma S_i$	Gefälle 1	OK Zwi S	Gefälle 2
	[m]	[mNN]	[mNN]	kN/m <sup>2</sup>	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	MN/m <sup>2</sup>	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]	[%]	[mNN]	[%]
Nord-Süd Nordböschung	0,00	103,00	103,00	0,0	1,0	20,0	0,0	20,4	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,43	0,4	0,00	103,00	
	3,76	103,00	101,47	30,6	1,0	20,0	0,2	18,9	15,0	3,9	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,74	4,7	40,71	101,42	41,86
	7,52	103,31	99,94	67,3	1,0	20,0	0,3	17,4	15,0	7,8	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	2,08	10,2	40,59	99,84	42,04
	11,28	103,62	98,41	104,1	1,0	20,0	0,5	15,8	15,0	11,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	4,31	15,8	40,71	98,25	42,20
	15,05	103,92	96,88	140,8	1,0	20,0	0,7	14,3	15,0	13,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	6,55	20,7	40,61	96,68	41,90
	18,81	104,23	95,35	177,6	1,0	20,0	0,9	12,8	15,0	15,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	8,90	24,9	40,69	95,10	41,82
	22,57	104,54	93,82	214,3	1,0	20,0	1,1	11,2	15,0	16,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	11,23	28,4	40,61	93,54	41,52
	26,34	104,85	92,29	251,0	1,0	20,0	1,3	9,7	15,0	16,2	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	13,60	31,1	40,61	91,98	41,33
	30,10	105,15	90,76	287,8	1,0	20,0	1,4	8,2	15,0	15,7	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	15,99	33,1	40,71	90,43	41,25
	33,86	105,46	89,24	324,5	1,0	20,0	1,6	6,6	15,0	14,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	18,34	34,4	40,59	88,89	40,91
	37,62	105,77	87,71	361,3	1,0	20,0	1,8	5,1	15,0	12,3	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	20,61	34,8	40,71	87,36	40,82
	41,39	106,08	86,18	398,0	1,0	20,0	2,0	3,6	15,0	9,5	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	22,95	34,5	40,61	85,83	40,53
	45,15	106,38	84,65	434,7	1,0	20,0	2,2	2,1	15,0	6,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	25,09	33,2	40,69	84,31	40,37
	48,91	106,69	83,12	471,5	1,0	20,0	2,4	0,5	15,0	1,7	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	27,24	31,3	40,61	82,80	40,08
	52,67	107,00	81,59	508,2	1,0	20,0	2,5	0,0	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	29,35	31,9	40,71	81,27	40,88
	56,44	107,00	80,06	538,8	1,0	20,0	2,7	0,0	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,74	33,5	40,61	79,72	41,02
60,19	107,00	78,53	569,4	1,0	20,0	2,8	0,0	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,99	33,9	40,69	78,19	40,80	
63,96	107,00	77,00	600,0	1,0	20,0	3,0	0,0	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,95	34,0	40,61	76,66	40,64	
67,72	107,00	77,00	600,0	1,0	20,0	3,0	0,0	15,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,92	33,9	0,01	76,66	0,00	

Projekt 22.0900  
Zentraldeponie Altenberge ZDA II.3

Kompression der Altböschung Nord, ehemals ZDA II.2

Setzung gemäß:

Bezeichnungen:

$$S_i = \sigma_s * \frac{h_i}{E_{si}}$$

$h_i$  = Mächtigkeit der setzungsempfindlichen Schicht  
 $E_{si}$  = Steifemodul der setzungsempfindlichen Schicht  
 $S_i$  = Setzung der setzungsempfindlichen Schicht

Schicht: Beschreibung:

0 Abfallschüttung  
1 technische Barriere h1  
2 rollige Abfälle h2  
3 Untergrund n.a.  
4 Untergrund n.a.

Grundannahme

Steifezahl Dicke  
[MN/m<sup>2</sup>] [m]

20	1
40 variabel	
500	0,1
500	0,1



Wichte Deponat 20 [kN/m<sup>3</sup>]

Schnitt	Station	OK Reku III	OK Zwi	$\sigma_s$	$h_1$	$E_{s1}$	$S_1$	$h_2$	$E_{s2}$	$S_2$	$h_3$	$E_{s3}$	$S_3$	$h_4$	$E_{s4}$	$S_4$	S Untergrund	vor Setzung		nach Setzung	
																		$\Sigma S_i$	Gefälle 1	OK Zwi S	Gefälle 2
	[m]	[mNN]	[mNN]	kN/m <sup>2</sup>	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	MN/m <sup>2</sup>	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]	[%]	[mNN]	[%]
Nord-Süd	0,00	103,00	103,00	0,0	1,0	20,0	0,0	20,4	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,43	0,4	0,00	103,00	
Nordböschung	3,76	103,00	101,47	30,6	1,0	20,0	0,2	18,9	40,0	1,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,74	2,3	40,71	101,45	41,22
	7,52	103,31	99,94	67,3	1,0	20,0	0,3	17,4	40,0	2,9	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	2,08	5,3	40,59	99,89	41,38
	11,28	103,62	98,41	104,1	1,0	20,0	0,5	15,8	40,0	4,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	4,31	9,0	40,71	98,32	41,67
	15,05	103,92	96,88	140,8	1,0	20,0	0,7	14,3	40,0	5,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	6,55	12,3	40,61	96,76	41,49
	18,81	104,23	95,35	177,6	1,0	20,0	0,9	12,8	40,0	5,7	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	8,90	15,5	40,69	95,20	41,54
	22,57	104,54	93,82	214,3	1,0	20,0	1,1	11,2	40,0	6,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	11,23	18,3	40,61	93,64	41,37
	26,34	104,85	92,29	251,0	1,0	20,0	1,3	9,7	40,0	6,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	13,60	21,0	40,61	92,08	41,30
	30,10	105,15	90,76	287,8	1,0	20,0	1,4	8,2	40,0	5,9	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	15,99	23,3	40,71	90,53	41,34
	33,86	105,46	89,24	324,5	1,0	20,0	1,6	6,6	40,0	5,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	18,34	25,4	40,59	88,98	41,13
	37,62	105,77	87,71	361,3	1,0	20,0	1,8	5,1	40,0	4,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	20,61	27,1	40,71	87,44	41,16
	41,39	106,08	86,18	398,0	1,0	20,0	2,0	3,6	40,0	3,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	22,95	28,5	40,61	85,89	41,00
	45,15	106,38	84,65	434,7	1,0	20,0	2,2	2,1	40,0	2,2	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	25,09	29,5	40,69	84,35	40,96
	48,91	106,69	83,12	471,5	1,0	20,0	2,4	0,5	40,0	0,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	27,24	30,2	40,61	82,82	40,80
	52,67	107,00	81,59	508,2	1,0	20,0	2,5	0,0	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	29,35	31,9	40,71	81,27	41,16
	56,44	107,00	80,06	538,8	1,0	20,0	2,7	0,0	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,74	33,5	40,61	79,72	41,02
	60,19	107,00	78,53	569,4	1,0	20,0	2,8	0,0	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,99	33,9	40,69	78,19	40,80
	63,96	107,00	77,00	600,0	1,0	20,0	3,0	0,0	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,95	34,0	40,61	76,66	40,64
	67,72	107,00	77,00	600,0	1,0	20,0	3,0	0,0	40,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	30,92	33,9	0,01	76,66	0,00

## Anlage 2.2

### Setzungsberechnungen Erweiterungsfläche ZDA III

- 2.2.1 Bodennetz mit Schichtenaufbau
- 2.2.2 Anordnung der Dreiecksfundamente
- 2.2.3 Verteilung der Auflastspannungen
- 2.2.4 Baugrundmodell: Unterkante Mergel verwittert
- 2.2.5 Baugrundmodell: Unterkante Mergel hart
- 2.2.6 Setzungsmulde konservativer Ansatz
- 2.2.7 Setzungsmulde Variation A
- 2.2.8 Setzungsmulde Variation B
- 2.2.9 Setzungsmulde Variation C
- 2.2.10 Setzungsmulde Schnitt West-Ost
- 2.2.11 Setzungsmulde Schnitt Nord-Süd
- 2.2.12 Setzungsmulde Schnitt West-Ost in der Ostböschung
- 2.2.13 Berechnung Kompression und Gesamtsetzungen Ostböschung  $E_{sAbfall} = 2,24$   
MN/m<sup>2</sup>

# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

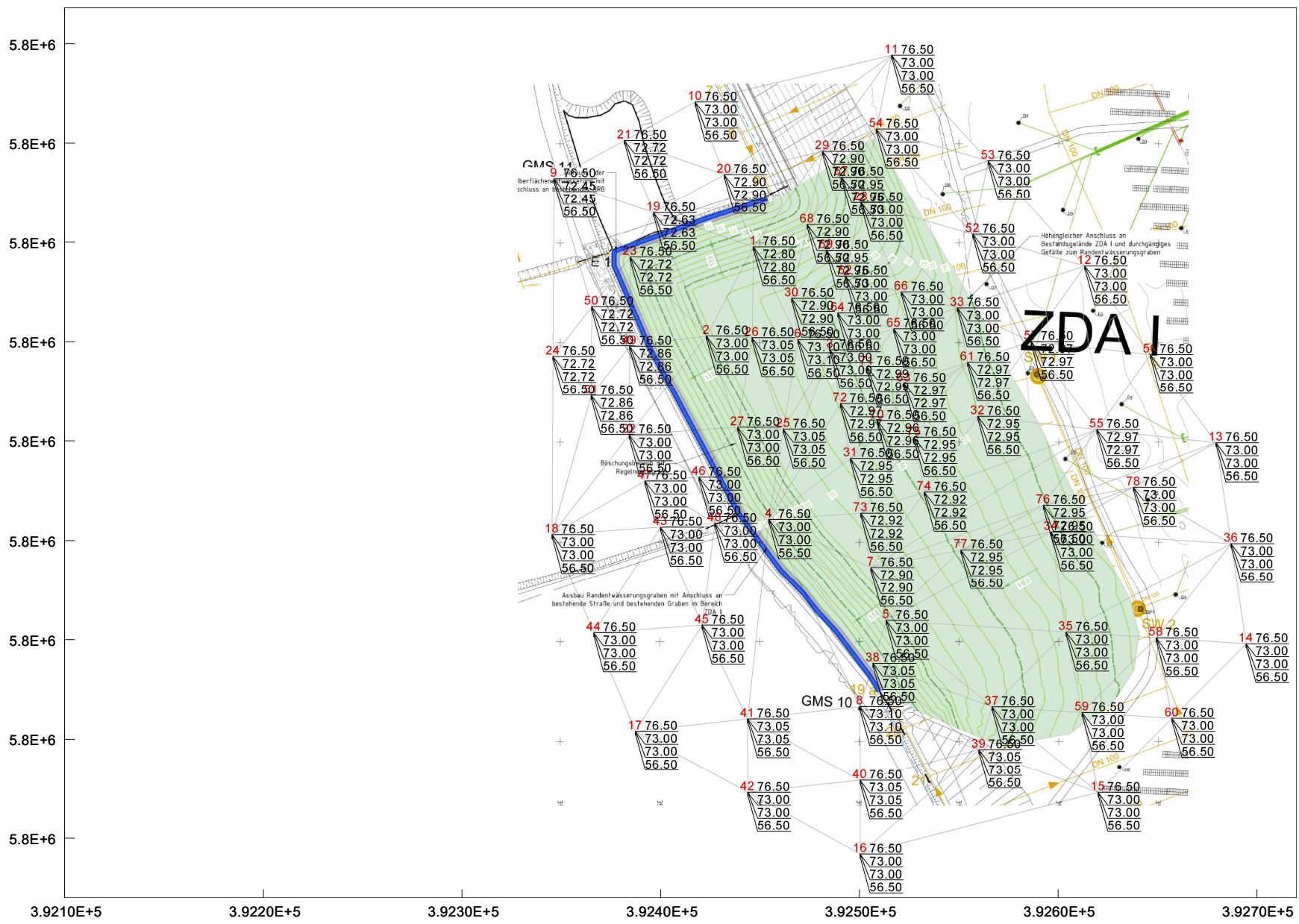
## Setzungsrechnungen

Bodennetz mit Schichtenaufbau



Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.1



5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6  
5.8E+6

3.9210E+5      3.9220E+5      3.9230E+5      3.9240E+5      3.9250E+5      3.9260E+5      3.9270E+5

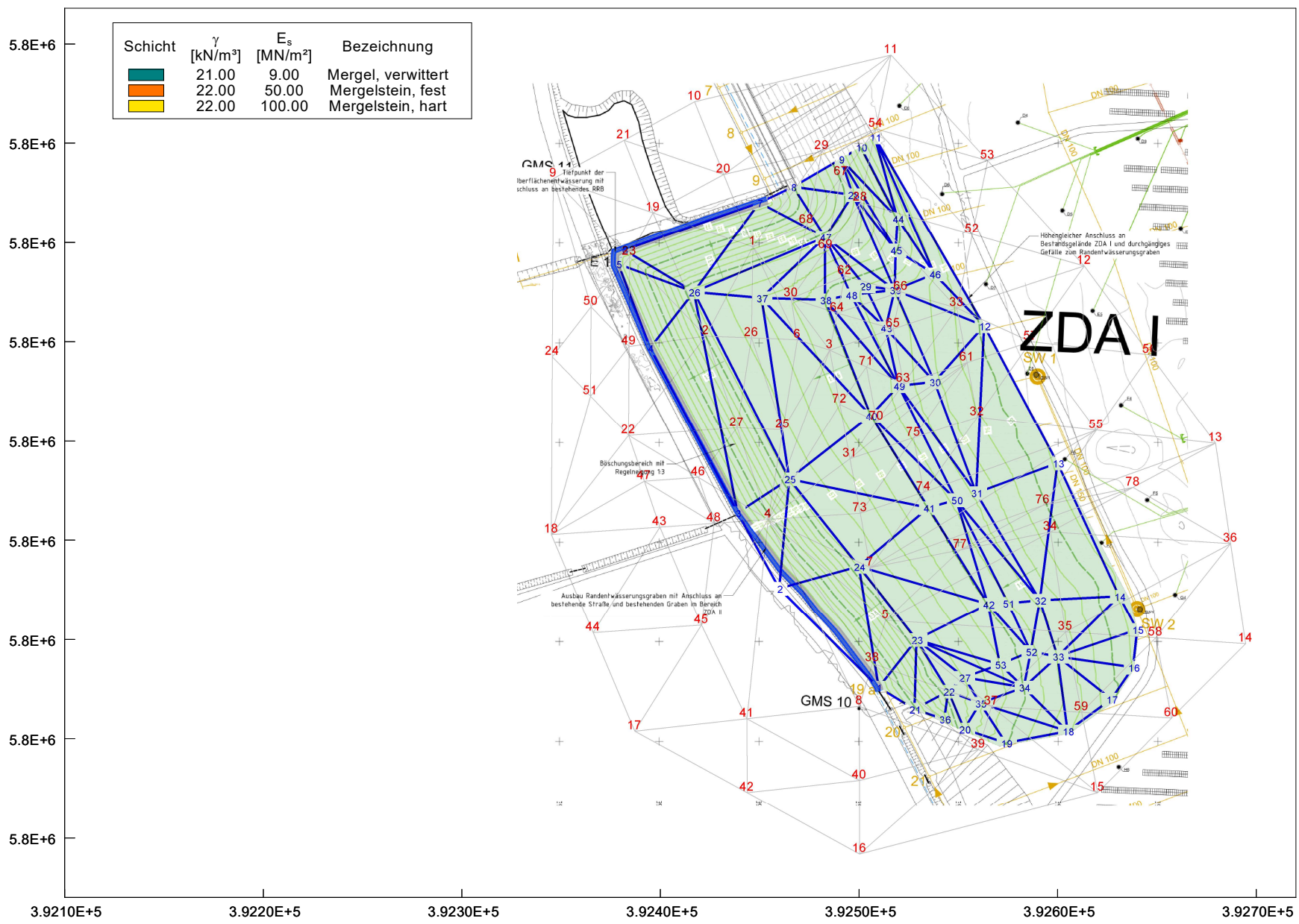
# Zentraldeponie Altenberge ZDA III Setzungsrechnungen

Anordnung der Dreiecksfundamente



Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.2



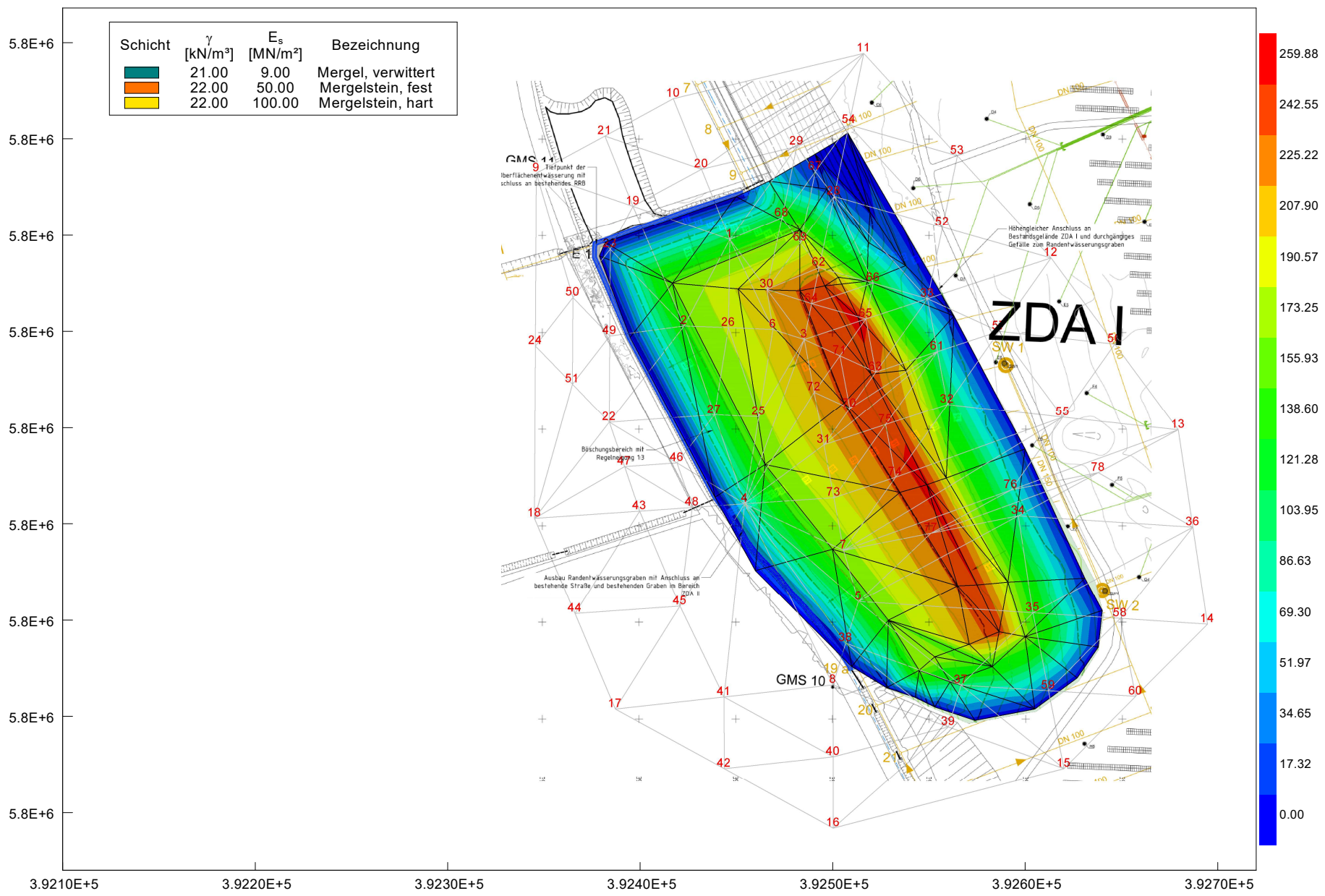
# Zentraldeponie Altenberge ZDA III Setzungsrechnungen



Isolinien Auflastspannungen Dreiecksfundamente

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
A X



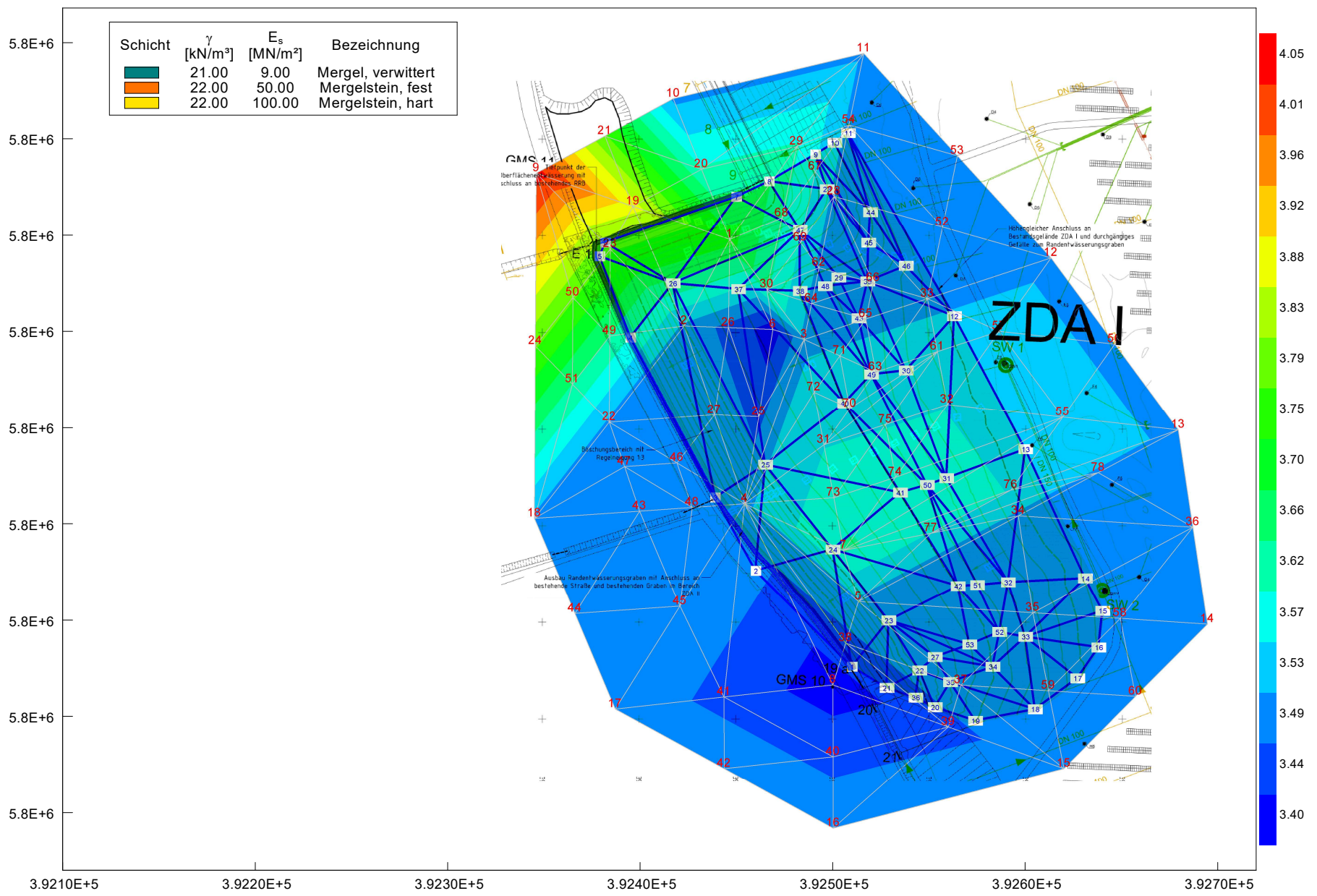
# Zentraldeponie Altenberge ZDA III Setzungsrechnungen

Baugrundmodell UK Mergel verwittert



Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.4



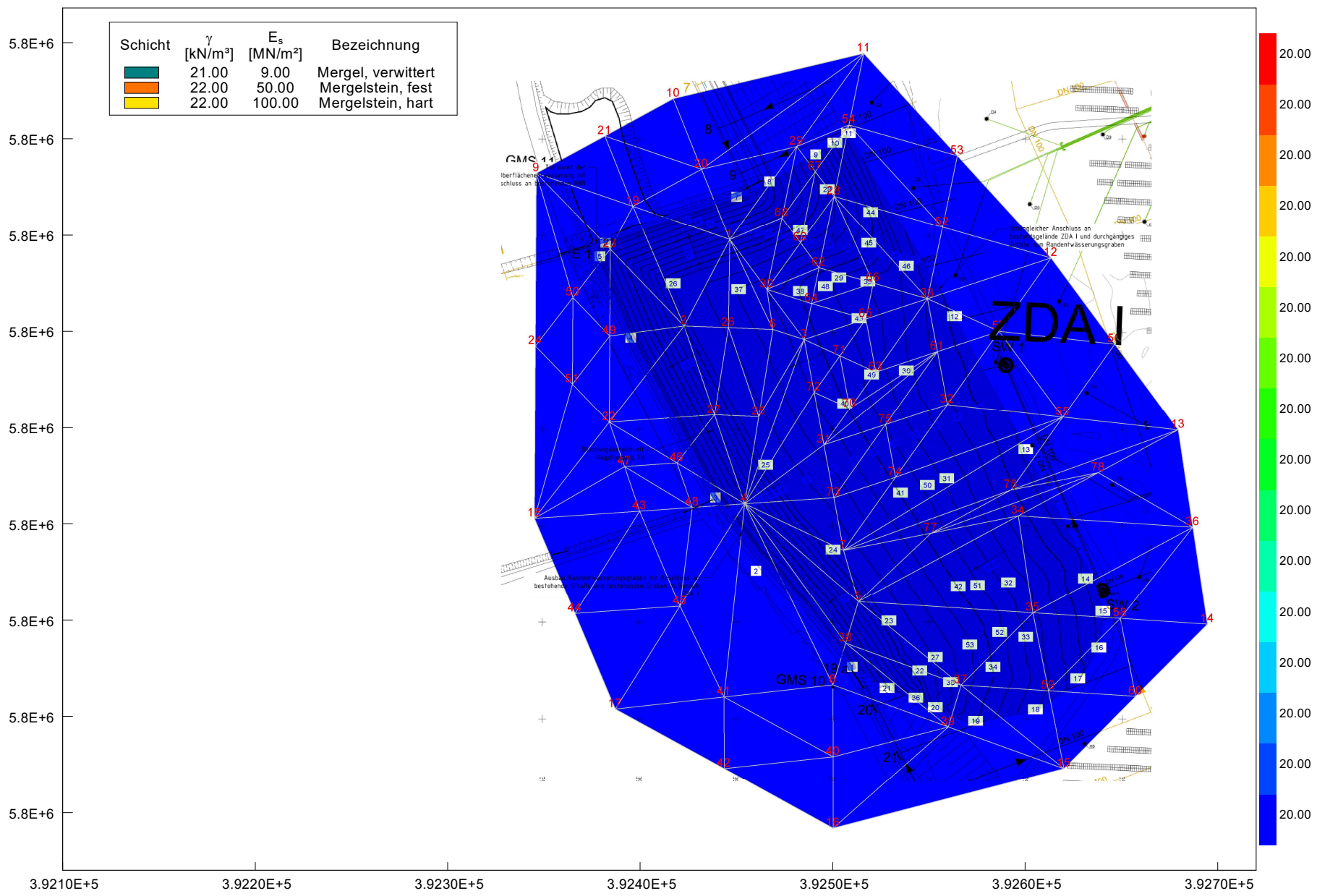
# Zentraldeponie Altenberge ZDA III Setzungsrechnungen

Baugrundmodell UK Mergelstein hart Grenztiefe



Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.5





# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

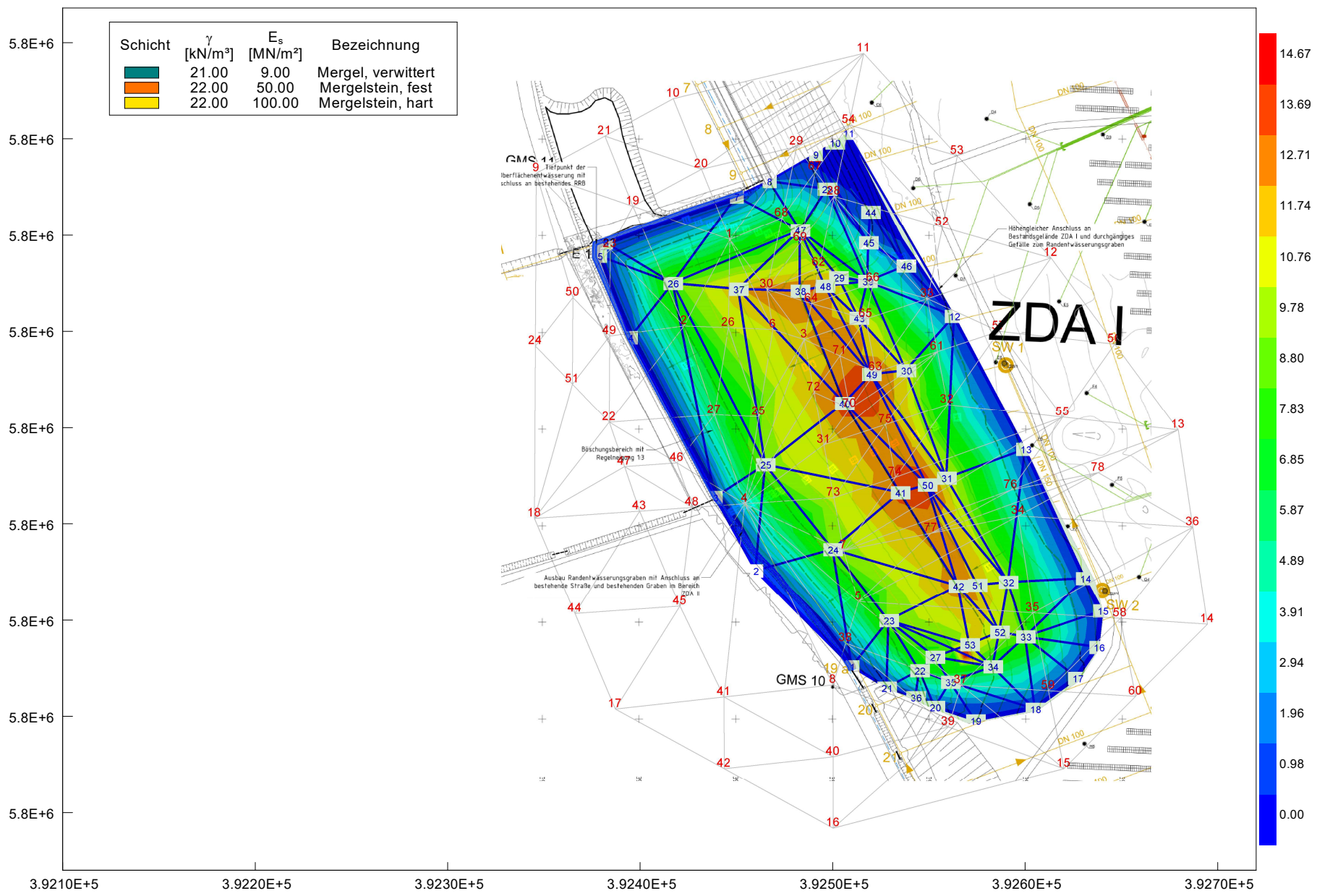
## Setzungsberechnungen



Setzungsmulde  
Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Ansatz konservativ

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.6



# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

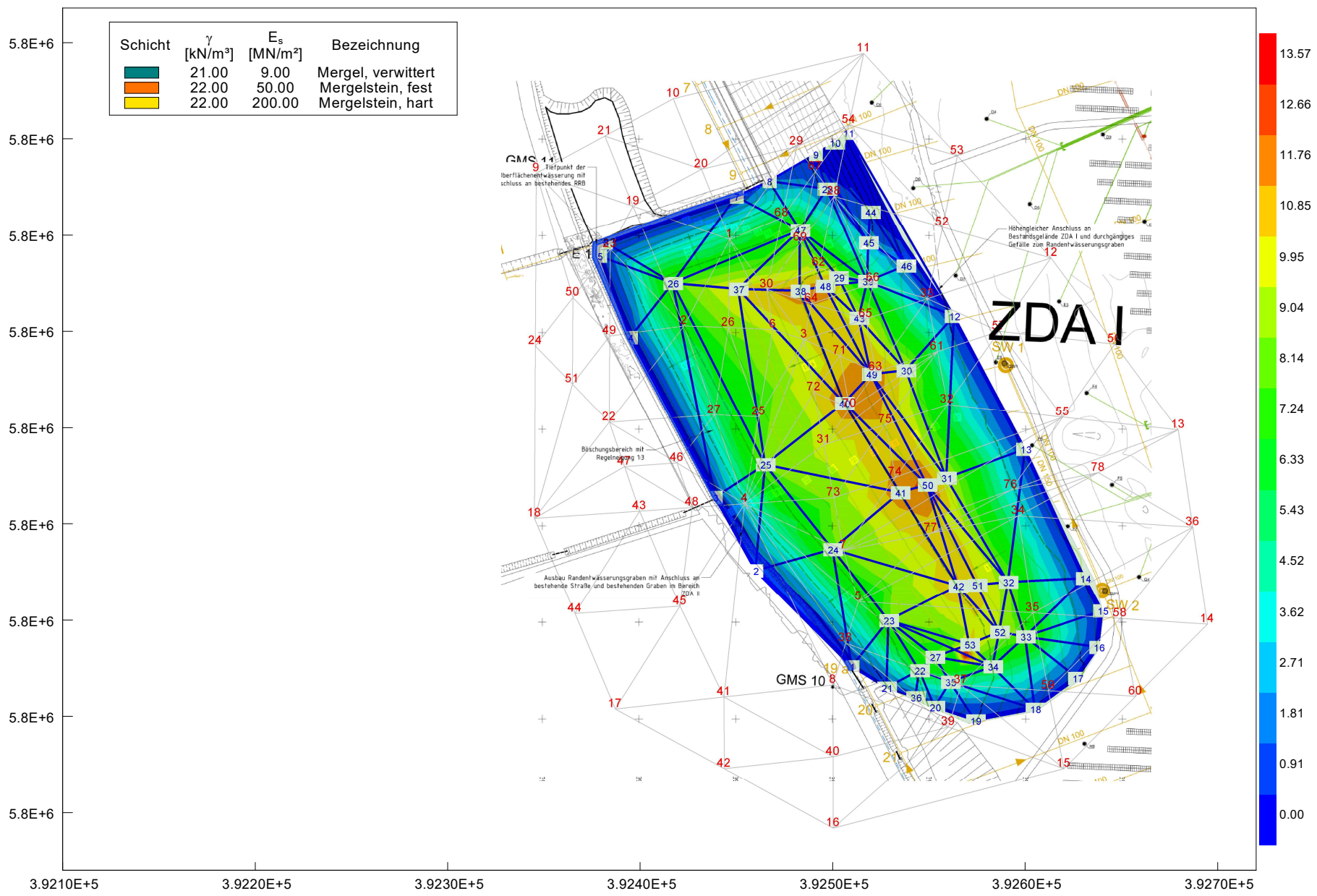
## Setzungsberechnungen



Setzungsmulde  
Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation A

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.7



# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

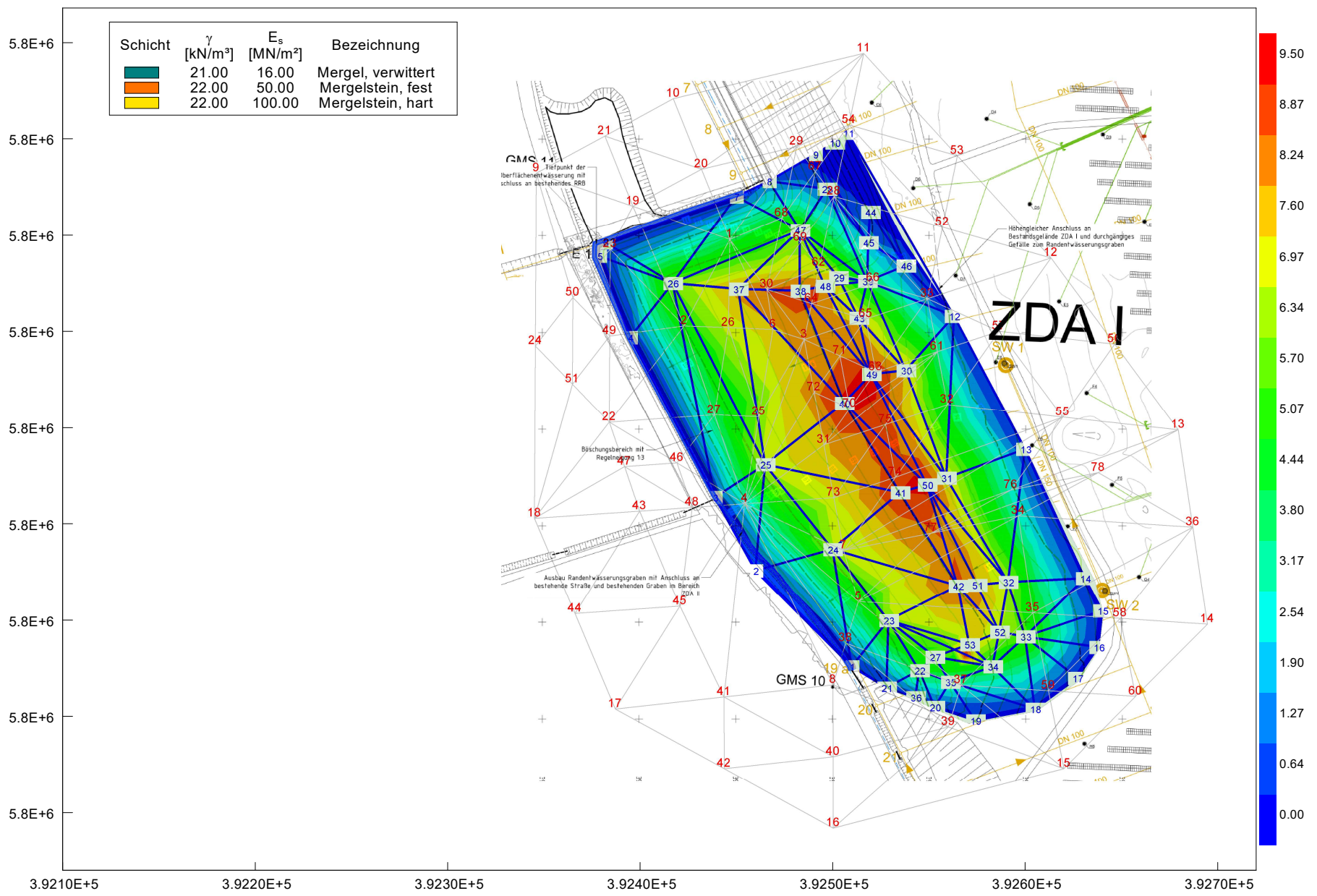
## Setzungsberechnungen



Setzungsmulde  
Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation B

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.8



# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

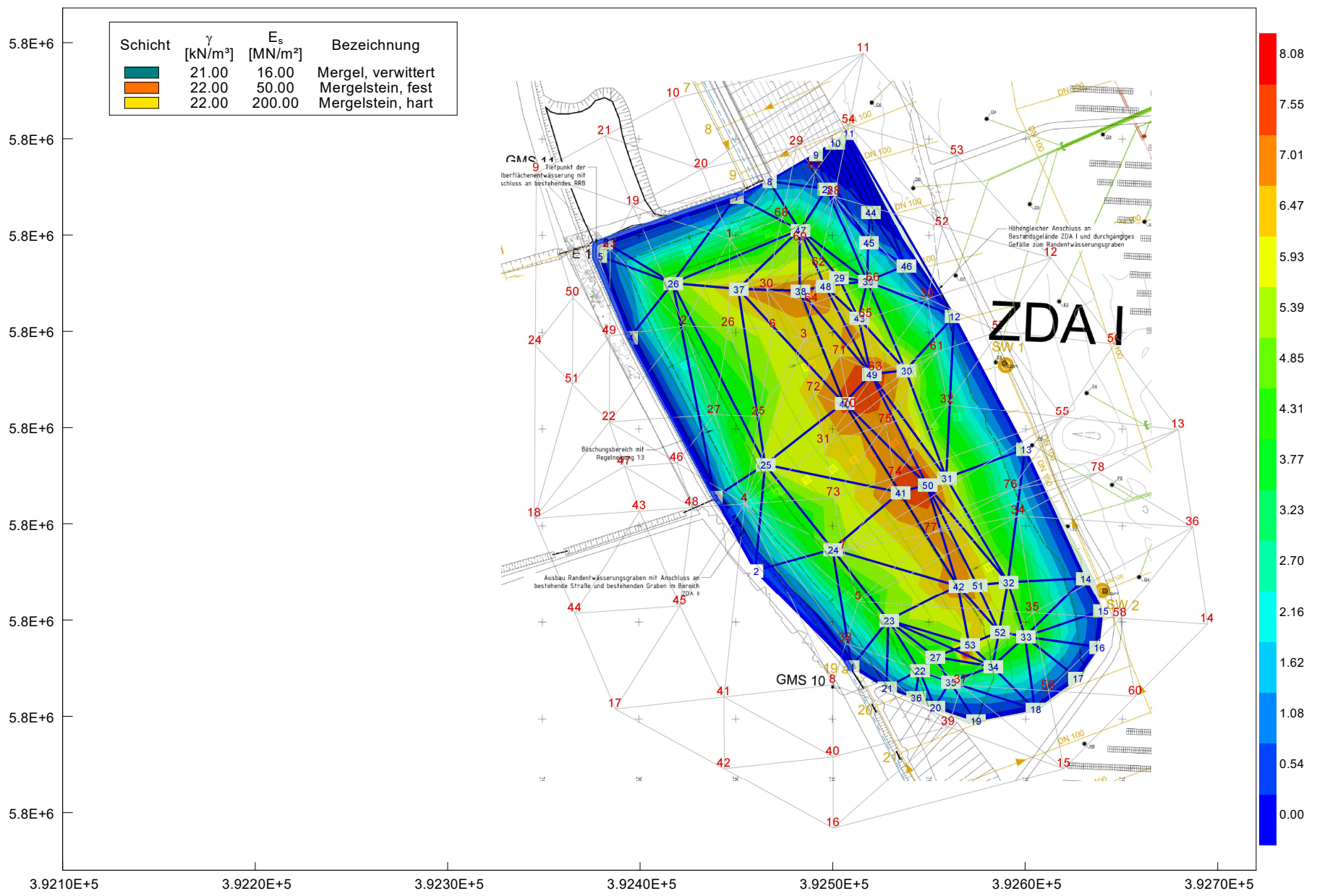
## Setzungsberechnungen



Setzungsmulde  
Setzungen in der Aufsicht über das Baufeld, Variation C

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.9



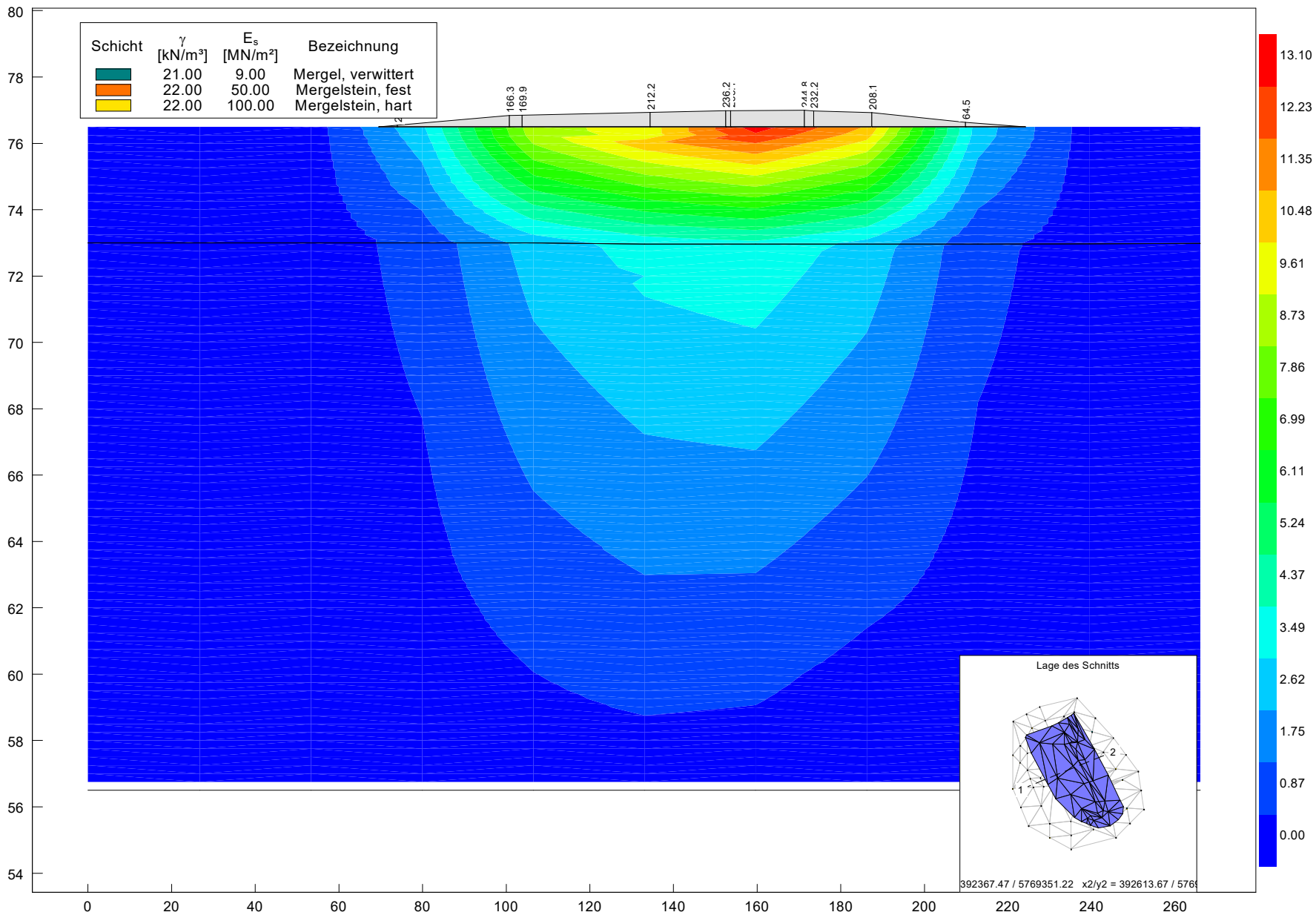
# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

## Setzungsberechnungen

Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
Setzungen Schnitt West-Ost, konservativer Ansatz

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.10



# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

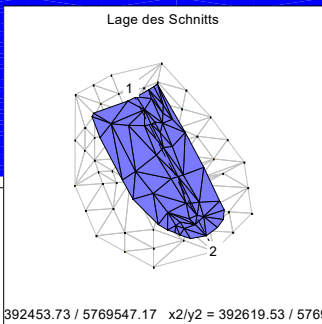
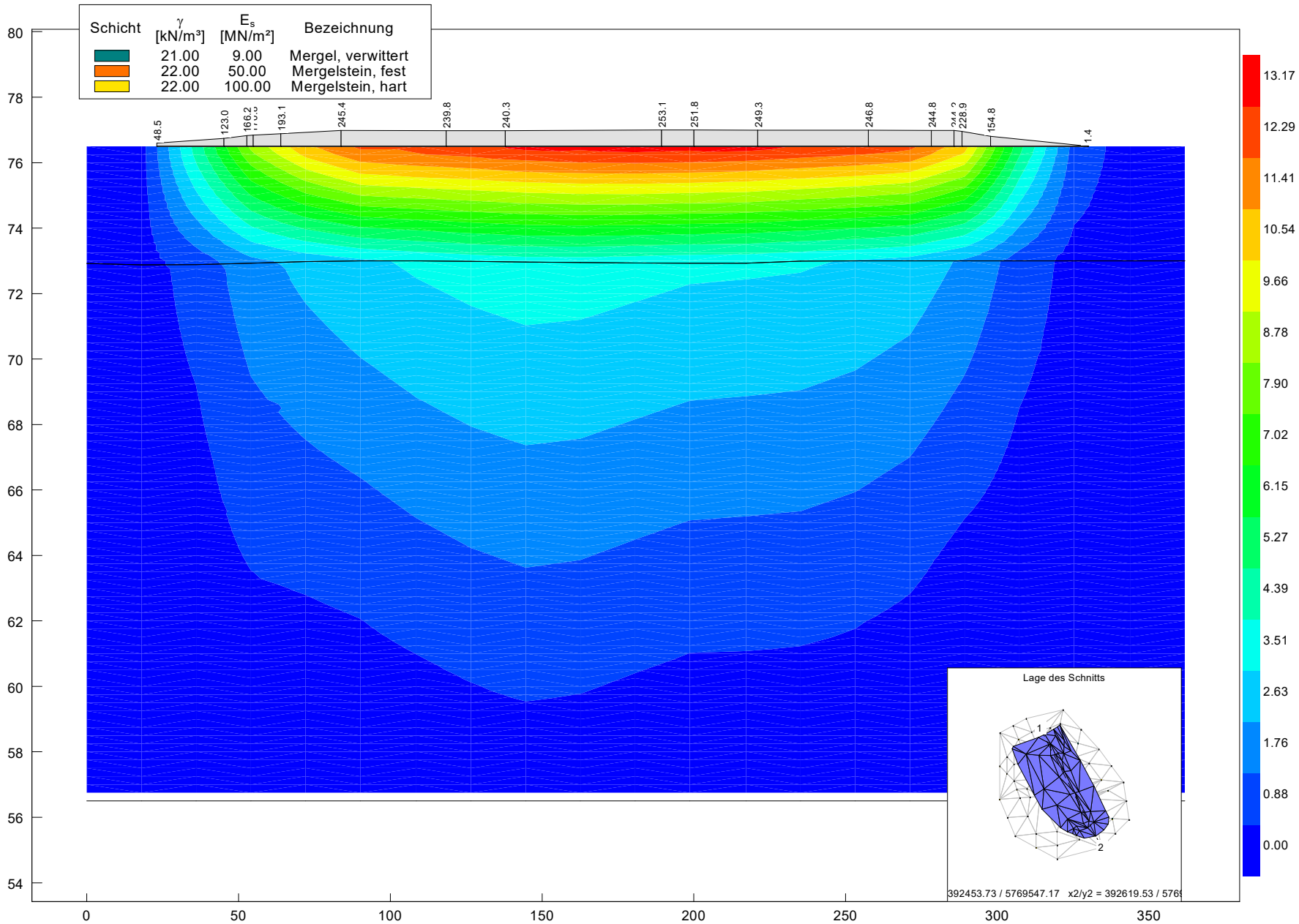
## Setzungsrechnungen



Setzungsmulde, Isolinien gleicher Setzungen  
 Setzungen Schnitt Nord-Süd, konservativer Ansatz

Proj. Nr.:  
 22.0900

Anlage:  
 2..2.11



# Zentraldeponie Altenberge ZDA III

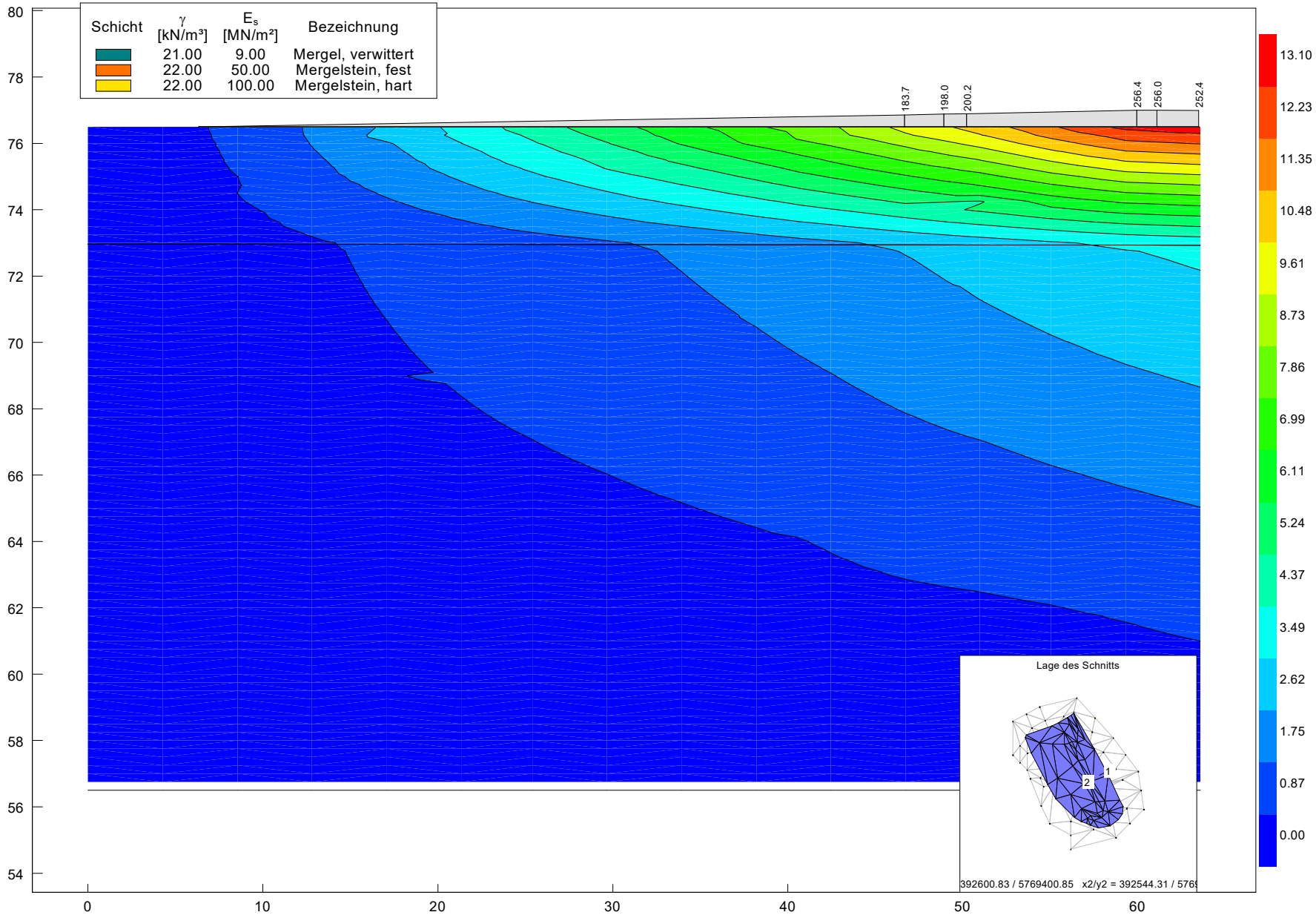
## Setzungsberechnungen



Setzungsmulde  
Setzungen in Schnitt West Ost, Detail Ostböschung, konservativ

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
2.2.12



Projekt 22.0900  
Zentraldeponie Altenberge ZDA III

Kompression der Altböschung Ost, ehemals ZDA I

Setzung gemäß:

$$S_i = \sigma_s * \frac{h_i}{E_{si}}$$

Bezeichnungen:

$h_i$  = Mächtigkeit der setzungsempfindlichen Schicht  
 $E_{si}$  = Steifemodul der setzungsempfindlichen Schicht  
 $S_i$  = Setzung der setzungsempfindlichen Schicht

Schicht: Beschreibung:

0 Abfallschüttung  
1 technische Barriere h1  
2 Siedlungsabfall h2  
3 Untergrund n.a.  
4 Untergrund n.a.

Grundannahme

Steifzahl [MN/m<sup>2</sup>] Dicke [m]

20	1
2,2425 variabel	
500	0,1
500	0,1

Wichte Deponat 17,5 [kN/m<sup>3</sup>]



Schnitt	Station	OK Reku III	OK Zwi	$\sigma_s$	$h_1$	$E_{s1}$	$S_1$	$h_2$	$E_{s2}$	$S_2$	$h_3$	$E_{s3}$	$S_3$	$h_4$	$E_{s4}$	$S_4$	S Untergrund	vor Setzung		nach Setzung	
																		$\Sigma S_i$	Gefälle 1	OK Zwi S	Gefälle 2
	[m]	[mNN]	[mNN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[m]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]	[%]	[mNN]	[%]
West-Ost Ostböschung	0,00	96,00	96,00	0,0	1,0	20,0	0,0	18,5	2,2	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,18	0,2	0,00	96,00	
	3,17	95,73	94,87	15,0	1,0	20,0	0,1	17,4	2,2	11,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	0,63	12,4	35,74	94,74	39,58
	6,36	95,45	93,73	30,1	1,0	20,0	0,2	16,2	2,2	21,8	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	1,23	23,2	35,74	93,50	39,14
	9,53	95,18	92,59	45,2	1,0	20,0	0,2	15,1	2,2	30,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	2,14	32,8	35,74	92,27	38,76
	12,71	94,90	91,46	60,2	1,0	20,0	0,3	14,0	2,2	37,5	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	2,69	40,5	35,74	91,05	38,17
	15,88	94,63	90,32	75,3	1,0	20,0	0,4	12,8	2,2	43,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	3,55	47,0	35,74	89,86	37,79
	19,05	94,35	89,19	90,3	1,0	20,0	0,5	11,7	2,2	47,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	4,05	51,6	35,74	88,67	37,19
	22,23	94,08	88,05	105,4	1,0	20,0	0,5	10,6	2,2	49,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	4,79	54,9	35,74	87,50	36,79
	25,41	93,80	86,92	120,4	1,0	20,0	0,6	9,4	2,2	50,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	6,48	57,7	35,74	86,34	36,61
	28,59	93,53	85,78	135,5	1,0	20,0	0,7	8,3	2,2	50,1	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	6,20	56,9	35,74	85,21	35,51
	31,76	93,25	84,65	150,6	1,0	20,0	0,8	7,1	2,2	48,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	7,06	55,8	35,74	84,09	35,39
	34,94	92,98	83,51	165,6	1,0	20,0	0,8	6,0	2,2	44,4	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	7,65	52,9	35,74	82,98	34,82
	38,11	92,70	82,38	180,7	1,0	20,0	0,9	4,9	2,2	39,3	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	8,63	48,8	35,74	81,89	34,46
	41,29	92,43	81,24	195,7	1,0	20,0	1,0	3,7	2,2	32,7	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	9,59	43,3	35,74	80,81	33,98
	44,47	92,15	80,11	210,8	1,0	20,0	1,1	2,6	2,2	24,5	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	10,15	35,7	35,74	79,75	33,37
	47,64	91,88	78,97	225,9	1,0	20,0	1,1	1,5	2,2	14,8	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	11,14	27,1	35,74	78,70	33,03
	50,82	91,60	77,84	240,9	1,0	20,0	1,2	0,3	2,2	3,6	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	12,03	16,9	35,74	77,67	32,52
	53,99	91,33	76,70	256,0	1,0	20,0	1,3	-0,8	2,2	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	13,06	14,4	35,85	76,56	35,05
	55,50	91,20	76,50	257,3	1,0	20,0	1,3	-1,0	2,2	0,0	0,1	500,0	0,0	0,1	500,0	0,0	13,20	14,5	13,26	76,36	13,36



## **Anlage 3**

# **Stand sicherheitsberechnungen**

## **Anlage 3.1**

# **Spreizsicherheit der Basisabdichtung in ZDA II.3 und ZDA III**

## Berechnungen der Spreizsicherheit nach Brauns

**Erläuterung:** Berechnung in der Ebene

### Grunddaten zur Bemessung

Böschungswinkel Deponiekörper $\beta_d =$	18,4 °	1:n= 1:3
Geländeneigung Basis $\varepsilon_d =$	2,86 ° (5 %)	
Reibungswinkel Deponiematerial $\varphi_k =$	32,50 °	
Teilsicherheitsbeiwerte		
Scherfestigkeit $\gamma_\varphi =$	1,25	

### 1. Berechnung des erforderlichen Sohlreibungswinkels

$$\tan \delta_{erf,d} = \frac{\sin \varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi} * \sin[\arcsin\left(\frac{\sin \beta_d}{\sin \varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi}}\right) - \beta_d + 2 * \varepsilon_d]}{1 + \sin \varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi} * \cos[\arcsin\left(\frac{\sin \beta_d}{\sin \varphi_k * \frac{1}{\gamma_\varphi}}\right) - \beta_d + 2 * \varepsilon_d]}$$

$$\tan \delta_{erf,d} = 0,180$$

$$\tan \delta_{erf,k} = \tan \delta_{erf,d} * \frac{1}{\gamma_\varphi}$$

$$\delta_{erf,k} = 8,2 °$$

### 2. Berechnung des Ausnutzungsgrades

$$\mu = \frac{\tan \delta_{erf,k}}{\tan \delta_{vorh,k}} \leq 1,00 \quad \text{mit } \delta_{vorh,k} = 10 ° \quad \text{Reibungswinkel Schutzvlies / KDB glatt}$$

$$\mu = 0,82 \leq 1,00$$

**Nachweis erbracht!**

## **Anlage 3.2**

# **Berechnung der Aufstauhöhen in den Altböschungen**

## **Anlage 3.2.1**

### **Aufstauhöhe bei einer 1:2,7 geneigten Böschung (ZDA III Ost)**

**Projekt:** Zentraldeponie Altenberge, Zwischenabdichtung  
Ostböschung Altbestand ZDA III  
**Bestimmung der Wasseranstauhöhe in Dränageschichten**  
**Berechnung nach LESAFFRE (GDA E 2-20)**



Projekt-Nr. 22.0900 Anlage 3.2.1 (V 1.0)  
Stand: 23.06.2022 Seite 1 von 1

### Grunddaten zur Bemessung

maximale Böschungslänge L [m] = 48  
Dränspende auf der Entwässerungsschicht qs [m/s] = 2,89E-07  
(maßgebliche Dränspende qs = 25 mm/d gem. GDA E 2-20)  
Wasserdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht k<sub>2</sub> [m/s] = 1,00E-03  
(Anforderung gemäß QMP bzw. DepV)  
Böschungswinkel β [°] = 20,3  
(Böschungsneigung 1:n = 1:2,7)

### Berechnung

Die Wasseranstauhöhe in der Dränageschicht d<sub>w</sub> errechnet sich wie folgt:

$$d_w = \frac{L}{\sqrt{\frac{4 \cdot k_2}{k_1} + \left(\frac{k_2}{k_1} - 1\right)^2 \cdot (\tan \beta)^2}}$$

d<sub>w</sub> = 0,0374 m

Die bezogene Mächtigkeit des Wasseranstaus h<sub>w</sub> ergibt sich aus dem Quotienten:

$$h_w = \frac{d_w}{\cos \beta}$$

h<sub>w</sub> = 0,0398 m

=> gewählt:

h<sub>w</sub> = 0,04 m

## **Anlage 3.3**

# **Gleitsicherheit der temporär offen liegenden Altböschung ZDA III Ost**

- 3.3.1 Gleitsicherheit in der mineralischen Dichtung, Einbau Dränschicht mit Bagger
- 3.3.2 Gleitsicherheit in der Fuge mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn
- 3.3.3 Gleitsicherheit in der Fuge Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies
- 3.3.4 Gleitsicherheit in der Fuge Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht
- 3.3.5 Gleitsicherheit in der Fuge Entwässerungsschicht vs. Trenn-/Filtervlies
- 3.3.6 Gleitsicherheit in der Fuge Trenn-/Filtervlies vs. Frostschutzschicht

**Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III**

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.  
Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

**Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)**

Gleitfuge:	Mineralische Dichtung vs. Ausgleichsschicht		
Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	1,00 m	Min. Dichtung + Entwässerungsschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	5,00 °	
Adhäsion:	$a_k$	15,50 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

**1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Entwässerungsschicht (Dicke  $d_1 = 1,0$  m)**

**1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):**

Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{6,59 \text{ kN/m}^2}}$$

Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{8,42 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{14,83 \text{ kN/m}^2}}$$

dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,24 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$



**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{14,83 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s = \underline{\underline{1,44 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,45$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

Die Ausnutzung für  $d_1 = 1,0 \text{ m}$  wird eingehalten!

### Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.

Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

#### Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)

Gleitfuge:	Mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn		
Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	0,50 m	Entwässerungsschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	23,50 °	
Adhäsion:	$a_k$	4,25 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

#### **1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Entwässerungsschicht (Dicke $d_1 = 0,5$ m)**

##### 1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):

###### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{3,30 \text{ kN/m}^2}}$$

###### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

###### statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{12,86 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{9,71 \text{ kN/m}^2}}$$

###### dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,89 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$

**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{7,06 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s = \underline{\underline{10,95 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,47$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

Die Ausnutzung für  $d_1 = 0,5 \text{ m}$  wird eingehalten!

**Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III**

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.  
Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

**Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)**

Gleitfuge:	Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies		
Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	0,50 m	Entwässerungsschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	28,70 °	Ansatz Ersatzreibungswinkel
Adhäsion:	$a_k$	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

**1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Entwässerungsschicht (Dicke  $d_1 = 0,5$  m)****1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):**Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{3,30 \text{ kN/m}^2}}$$

Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{12,86 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{9,71 \text{ kN/m}^2}}$$

dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,89 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$

**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{4,24 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta = \underline{\underline{13,79 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,79$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

Die Ausnutzung für  $d_1 = 0,5 \text{ m}$  wird eingehalten!

**Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III**

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.  
Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

**Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)**

Gleitfuge: Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht

Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	0,50 m	Entwässerungsschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	28,70 °	
Adhäsion:	$a_k$	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

**1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Entwässerungsschicht (Dicke  $d_1 = 0,5$  m)****1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):**Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{3,30 \text{ kN/m}^2}}$$

Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{12,86 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{9,71 \text{ kN/m}^2}}$$

dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,89 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$

**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{4,24 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta = \underline{\underline{13,79 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,79$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

Die Ausnutzung für  $d_1 = 0,5 \text{ m}$  wird eingehalten!

### Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.  
Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

#### Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)

Gleitfuge:	Entwässerungsschicht vs. Trenn-/Filtervlies		
Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	0,50 m	Frostschuttschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	28,70 °	
Adhäsion:	$a_k$	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

#### 1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Frostschuttschicht (Dicke $d_1 = d_{ges}$ )

##### 1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):

###### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{3,30 \text{ kN/m}^2}}$$

###### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

###### statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{12,86 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{9,71 \text{ kN/m}^2}}$$

###### dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,89 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$



**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{4,24 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_s = \underline{\underline{13,79 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,79$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

Die Ausnutzung für  $d_1 = 0,5 \text{ m}$  wird eingehalten!

**Bemessung der Standsicherheit im Bauzustand GZ 1C (LF 2 - BS-T) Bereich ZDA III**

**Erläuterung:** Bei der Herstellung der Entwässerungsschicht wird der Einbau der Entwässerungsschicht durch einen Kettenbagger, welcher sich auf einem Fahrdamm von 0,5 m unterhalb der Raupenkette bewegt, betrachtet.

Zum Einbau kommt beispielhaft ein Kettenbagger vom Typ Liebherr 926 zum Einsatz.

**Grunddaten zur Bemessung im GZ1C (LF2 - BS-T)**

Gleitfuge: Trenn-/Filtervlies vs. Frostschuttschicht

Böschungneigung:	$\beta$	20,3 °	1:n= 1:2,7
Böschungslänge:	$l$	48 m	
Dicke der Bodenschichten:	$d_1$	0,50 m	Frostschuttschicht
	$d_2$	0,00 m	
	$d_{ges}$	- m	
Bodenwichte:	$\gamma$	19,00 kN/m <sup>3</sup>	
Aufstauhöhe:	$h_w$	0,01 m	
Wasserwichte:	$\gamma_w$	10,00 kN/m <sup>3</sup>	
Gewicht des Baggers:	$G_R$	300,00 kN	
Länge der Baggerkette:	$l_R$	3,830 m	
Breite der Baggerkette:	$b_R$	0,60 m	
Baggergeschwindigkeit:	$v$	1,00 m/s	
Zeit bis zum Stillstand:	$t$	2,00 s	
Lastausbreitungswinkel:		30,00 °	
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k$	28,70 °	
Adhäsion:	$a_k$	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen:	$\gamma_G$	1,00 (ständig LF 2)
	Einwirkungen:	$\gamma_Q$	1,20 (vorübergehend LF 2)
	Widerstände:	$\gamma_\delta / \gamma_a$	1,15 (Scherfestigkeiten LF 2)

**1. Berechnung des Ausnutzungsgrades für den Einbau der Frostschuttschicht (Dicke  $d_1 = 0,5$  m)****1.1 Einwirkungen (treibende Kräfte):**Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_1 * \sin \beta = \underline{\underline{3,30 \text{ kN/m}^2}}$$

Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = \underline{\underline{0,03 \text{ kN/m}^2}}$$

statische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,s} = (G_R / A) * \gamma_Q * \sin \beta = \underline{\underline{12,86 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } A = (2 * l_R * b_R) + [4 * d_1 * \tan 30^\circ * (l_R + b_R)] = \underline{\underline{9,71 \text{ kN/m}^2}}$$

dynamische Belastung der Raupe:

$$t_{Rd,d} = ((G_R / g) * a_v) * \gamma_Q / A = \underline{\underline{1,89 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\text{mit: } a_v = v / t = \underline{\underline{0,5 \text{ m/s}^2}}$$

**1.2 Widerstände:**

Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = \gamma \cdot d_1 \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a = \underline{\underline{4,24 \text{ kN/m}^2}}$$

Reibungskraft aus der stat. Belast. der Raupe:

$$t_{Rd,h} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta_k / \gamma_\delta = \underline{\underline{13,79 \text{ kN/m}^2}}$$

**2 Berechnung des Verhältnis  $\kappa$**

$$\kappa = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l) = 0,79$$

$$\kappa < 1,0$$

**3 Berechnung des Ausnutzungsgrades  $\mu$  für  $d_1$ :**

$$\mu = ((t_{B,d} + s_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R) / (t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R) = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$\mu < 1,0$$

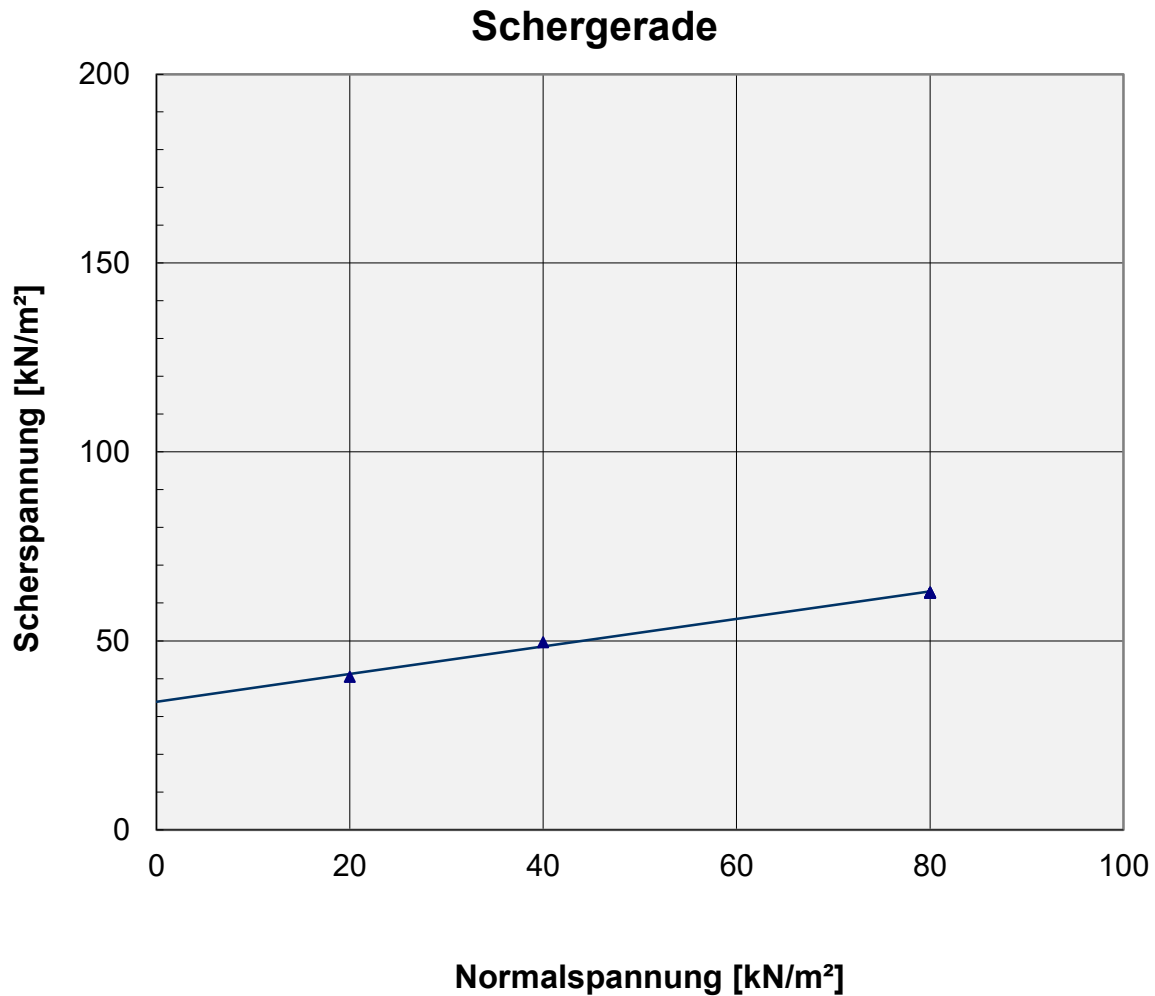
Die Ausnutzung für  $d_1 = 0,5 \text{ m}$  wird eingehalten!

## **Anlage 3.4**

### **Scherversuche**

- 3.4.1 Innere Scherparameter des Mergels der ZDA
- 3.4.2 Mineralische Dichtung vs. Kunststoffdichtungsbahn
- 3.4.3 Kunststoffdichtungsbahn vs. Schutzvlies
- 3.4.4 Schutzvlies vs. Entwässerungsschicht
- 3.4.5 Entwässerungsschicht vs. Trenn- und Filtervlies

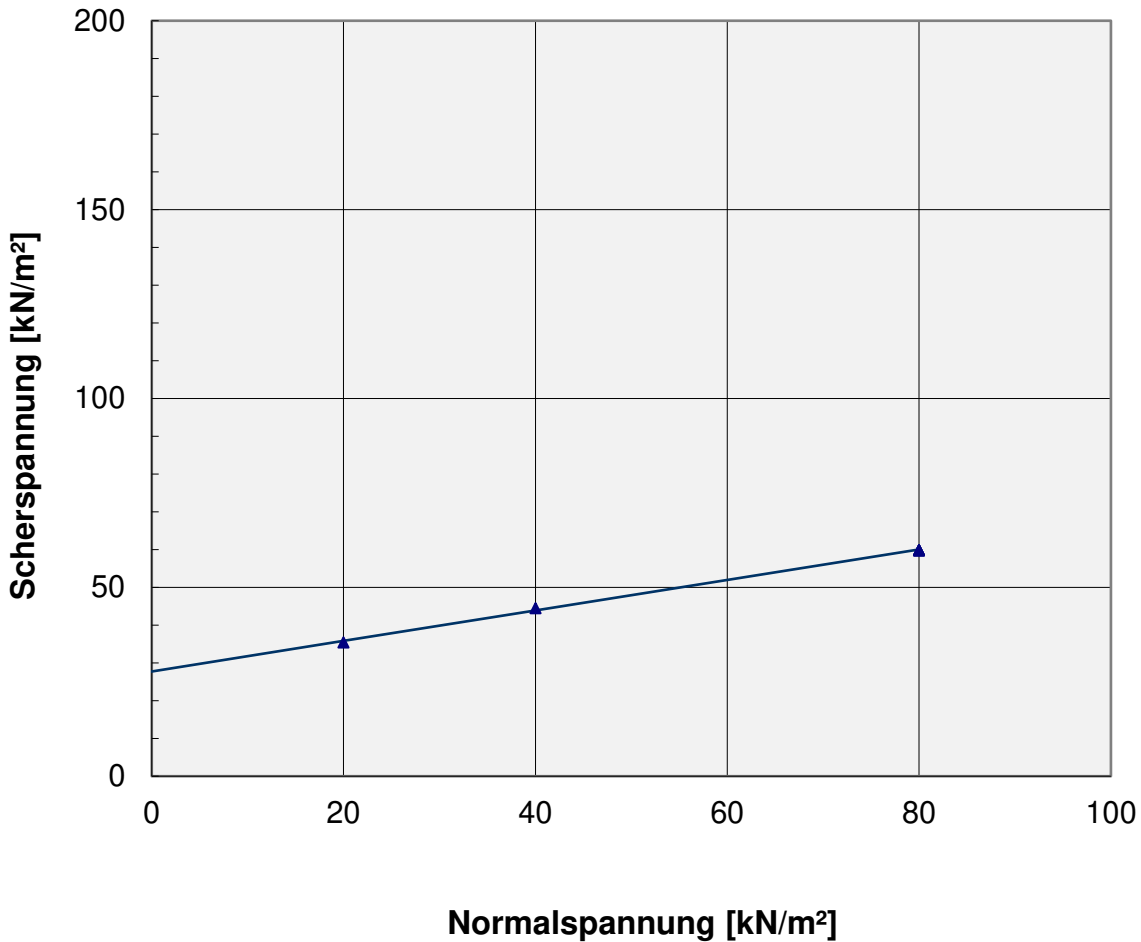
**Scherversuch nach DIN EN ISO 17892-10**



Standardabweichung	$S_{\tau}$	0,9638	Reibungswinkel	$\phi'$	<b>20,07 °</b>
Korrelationskoeffizient	$r_{\tau\sigma}$	0,9963	Kohäsion	$c'$	<b>33,92 kN/m²</b>
Einbau- wassergehalt:	22,0 %	Bodenart:	T,U	<b>Probe-Nr.:</b>	<b>MP 09/21</b>
Einbau- trockendichte:	1,537 g/cm³	Scher- geschwindigkeit:	0,008 mm/min	Datum:	04.11.2021
Verdichtungsgrad:	95,1 %	Scherkasten:	10 x 10 cm²	Scherfestigkeit	

**Scherversuch nach DIN EN ISO 17892-10**

**Schergerade**



Standardabweichung	$S_{\tau}$	0,5310	Reibungswinkel	$\phi'$	<b>21,99 °</b>
Korrelationskoeffizient	$r_{\tau\sigma}$	0,9991	Kohäsion	$c'$	<b>27,73 kN/m²</b>
Einbau- wassergehalt:	21,9 %	Bodenart:	T,U	<b>Probe-Nr.:</b>	<b>MP 14/21</b>
Einbau- trockendichte:	1,529 g/cm³	Scher- geschwindigkeit:	0,008 mm/min	Datum:	04.11.2021
Verdichtungsgrad:	94,9 %	Scherkasten:	10 x 10 cm²	Scherfestigkeit	

Fachgebiet: Geotechnik  
Fachgebietsleiter: Univ. Prof. Dr.-Ing. K.J. Witt  
Betriebsleiter: Dipl.-Ing. J. Köditz

MFA Weimar  
Coudraystraße 4  
99423 Weimar  
Tel. 0 36 43 / 56 4 - 347  
Fax. 0 36 43 / 56 4 - 203  
geotechnik@mfa.de

## Prüfbericht B 50.11.107.02

Auftrag: **Sicherung und Rekultivierung Deponie Halde 10 Zwickau**  
Durchführung von Großrahmenscherversuchen zur Bestimmung der  
Scherparameter in der Fuge Kunststoffdichtungsbahn KDB GSE HD BAM DRS  
2,5 mm / Mineralische Dichtung

Auftraggeber: GSE Lining Technology GmbH  
Normannenweg 28  
20537 Hamburg

Auftrag vom: 09.12.2011

Im Auftrag



Dipl.-Ing. J. Köditz  
Betriebsleiter



digitale Signatur



Dipl.-Geophys. T. Schäfer  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Weimar,  
03.01.2012

## Inhaltsverzeichnis

1	<b>Veranlassung und Gegenstand der Prüfung</b>	2
2	<b>Verwendete Proben</b>	2
3	<b>Verwendete Prüfeinrichtungen</b>	3
4	<b>Durchgeführte Prüfungen</b>	3
4.1	Versuchsrandbedingungen	4
4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	4
5	<b>Ergebnisse der Prüfungen</b>	5
	<b>Verzeichnis der Anlagen</b>	6
	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen</b>	6

## 1 Veranlassung und Gegenstand der Prüfung

Anlass dieser Prüfung war ein Auftrag der Firma GSE Lining Technology GmbH zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge KDB GSE HD BAM DRS 2,5 mm / Mineralische Dichtung im Großrahmenschergerät nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3] und der Empfehlung E 3-8 [U 1] des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Die Beauftragung erfolgte am 09.12.2011.

MFA-intern sind der Gegenstand des Prüfberichtes und die zugehörigen Proben wie folgt gekennzeichnet:

Bezeichnung	Probennummern bis zum Berichtszeitpunkt
Auftrags-Nr.: 50.11.107 GSV Deponie Halde 10	50 11 107 001 bis 50 11 107 004

Tabelle 1: Bezeichnungen

## 2 Verwendete Proben

Die Probenbezeichnungen und -beschreibungen enthält nachfolgende Tabelle:

Bezeichnung durch den AG	Bezeichnung an der MFA	Beschreibung der Probe; Bemerkungen
Mineral. Dichtung	50 11 107 002	bindiges Material, ocker, Größtkorn 1 mm, GP
Kunststoffdichtungsbahn	50 11 107 004	KDB GSE HD BAM DRS 2,5 mm, Rollen-Nr. 401010275

Tabelle 2: Verwendete Proben



### **3        Verwendete Prüfeinrichtungen**

- allgemeine Laborgeräte
- Schichtdickenmessgerät Typ LG 10
- Großrahmenschergerät SP 304 - E

Technische Daten zum Schergerät:

- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| - Scherfläche:                     | 30 cm * 30 cm                  |
| - Vorrichtung für Normalbelastung: | pneumatisch über Druckkissen   |
| - Messbereich Normalkraft:         | max. 600 kN/m <sup>2</sup>     |
| - Vorrichtung für Scherbelastung:  | kontinuierlicher Vorschub      |
| - Messbereich Scherkraft:          | 0 – 5 kN; 5 – 60 kN; max 60 kN |
| - Schergeschwindigkeit:            | 0,00001 – 20,000 mm/min        |
| - max. Scherweg:                   | 100 mm; Auflösung 0,005 mm     |
| - Messbereich Setzung:             | max. 50 mm; Auflösung 0,01 mm  |
| - Scherspalt:                      | variabel bis 35 mm             |

Das Großrahmenschergerät besitzt einen verkippungsfreien, vertikal geführten oberen Scherrahmen und einen verkippungsfreien, parallel geführten, 4-fach gelagerten unteren Scherrahmen. Die direkte horizontale Scherkrafteinleitung erfolgt weggesteuert. Die Auflastspannung wird über eine Spezialmembran im Deckel des oberen Scherrahmens aufgebracht, in Höhe des Scherspalt mit Hilfe von 4 Kraftmessbügeln gemessen und unabhängig von Wandreibungen im oberen Scherrahmen exakt gesteuert. Über 4 elektronische Wegaufnehmer lassen sich die Vertikalverformungen an den Ecken sowie die mittlere Verformung der Probe während des Scherversuches ermitteln.

### **4        Durchgeführte Prüfungen**

Die Aufgabenstellung beinhaltet die Durchführung von Großrahmenscherversuchen nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3] und E 3-8 [U 1] zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge KDB GSE HD BAM DRS 2,5 mm / Mineralische Dichtung.

Zur Festlegung der Höhen der Scherspalt wurden Dickenbestimmungen an der KDB in Anlehnung an die DIN EN ISO 9863-1 [U 2] durchgeführt.

#### 4.1 Versuchsrandbedingungen

Die Bestimmung der Scherparameter erfolgte als konsolidiert drainierte Versuche (CD-Versuch) unter folgenden Randbedingungen:

- Versuchsgerät:	Großrahmenschergerät SP 304 E
- Anzahl der Teilversuche:	3
- Konsolidationsspannung:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 40 \text{ kN/m}^2 / 60 \text{ kN/m}^2$
- Vertikale Auflast beim Scheren:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 40 \text{ kN/m}^2 / 60 \text{ kN/m}^2$
- Konsolidierung:	1440 min
- Schergeschwindigkeit:	0,0167 mm/min
- Flutung der Probe:	Scherfuge unter Wasser
- Scherspalt:	fest

#### 4.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

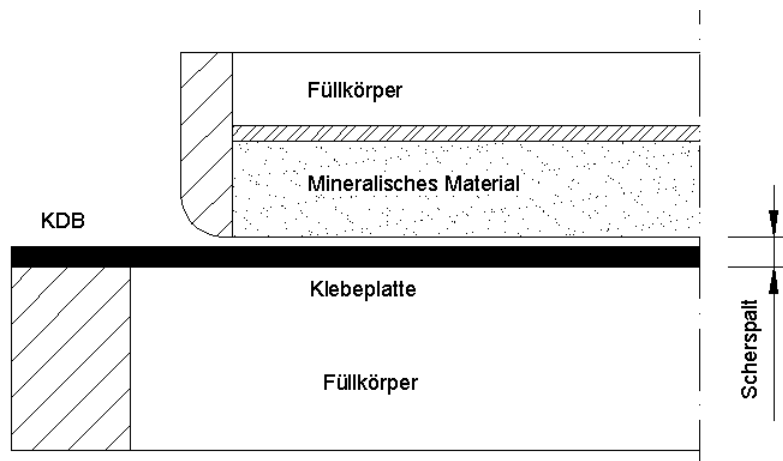


Abbildung 1: Versuchsaufbau Scherversuch KDB / Mineralische Dichtung

Die KDB wurde mittels Klemmleisten in den beweglichen unteren Scherrahmen eingespannt und damit gegen ein Verrutschen gesichert. Das mineralische Material wurde in den oberen Scherrahmen eingebaut und verdichtet. Der Scherspalt wurde so festgelegt, dass zwischen dem oberen Scherrahmen und der KDB ein Scherspalt von 0,5 mm gewährleistet war.

Nach dem Einbau und dem Befestigen der Belastungseinrichtung erfolgte die Einleitung der vertikalen Auflast. Die Bewässerung des Scherspalt es erfolgte nach dem vollständigen Erreichen der Konsolidationsspannung. Nach Erreichen der vorgegebenen Konsolidationszeit von 1440 Minuten wurde die Scherphase automatisch gestartet. Abbruchkriterien zum Beenden der Scherphase waren das eindeutige Überschreiten einer Bruchspannung, das Erreichen einer konstanten bzw. ansteigenden Reibungsspannung bei fortschreitendem Verschiebungsweg (Gleitzustand) oder das Erreichen des maximalen Scherweges.

## 5 Ergebnisse der Prüfungen

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Dickenbestimmungen enthält Tabelle 3. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Scherversuche zusammengefasst, Anlage 1 enthält die grafische Versuchsauswertung.

Auflast		2 kN/m <sup>2</sup>	20 kN/m <sup>2</sup>	50 kN/m <sup>2</sup>	80 kN/m <sup>2</sup>
KDB GSE HD BAM DRS 2,5 mm	[mm]	3,882	3,574	3,407	3,365

Tabelle 3: Dicke unter festgelegten Drücken

Die Festlegung der Bruchpunkte erfolgte nach den ersten Anzeichen des Versagens der Scherkräfte.

Proben-Nr. MFPA 50 11 107 002 / 50 11 107 004; Großrahmenscherversuch KDB / Mineralische Dichtung				
Auflast	[kN/m <sup>2</sup> ]	20	40	60
Einbauwassergehalt	[%]	19,95	19,95	20,25
Einbaudichte $\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,063	2,063	2,068
Trockendichte $\rho_d$	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,720	1,720	1,720
Ausbauwassergehalt	[%]	22,22	22,74	21,11
Bruchparameter				
Reibungswinkel $\delta_f$	[°]	29,06		
Adhäsion $a_f$	[kN/m <sup>2</sup> ]	8,48		

Tabelle 4: Ergebnisse der Scherversuche KDB / Mineralische Dichtung

**Hinweis:** Bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $\sigma$  kann der Ansatz der linearen Coulombschen Grenzbedingung zu große Werte für die Adhäsion ergeben. Die Parameter Reibungswinkel und Adhäsion sind daher immer im Zusammenhang zu betrachten, ggf. kann als Grenzbedingung ein mehrparametrischer oder ein abschnittsweise linearer Ansatz gewählt werden [U 1].

Die ermittelten Versuchswerte sind für Standsicherheitsberechnungen nach den anerkannten Regeln der Technik zu bewerten.

## Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 Prüfprotokolle der Scherversuche KDB GSE HD BAM DRS 2,5 mm / Mineralische Dichtung  
(4 Seiten)

- $\tau - \sigma$  - Diagramm
- Scherspannungs – Weg – Diagramm
- Setzungs – Weg – Diagramm
- Konsolidierungsdiagramm

## Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

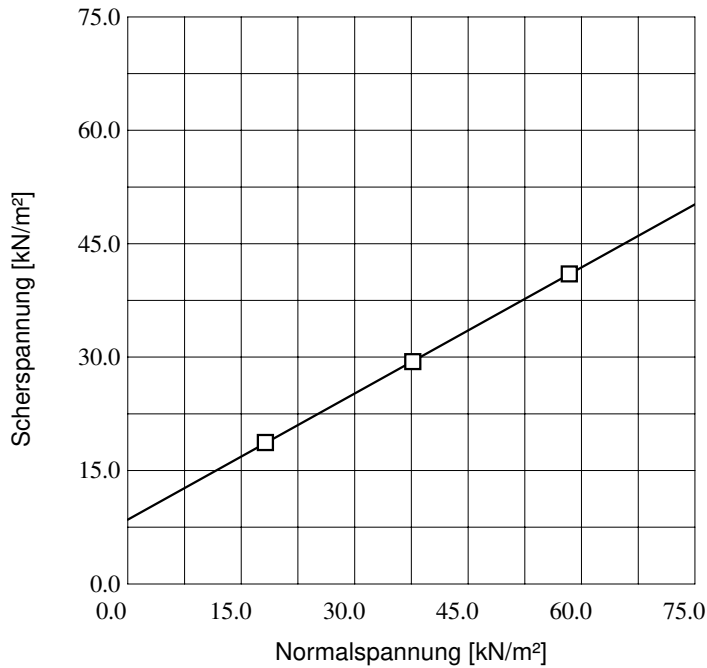
- [U 1] GDA E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“; 2005; AK 6.1 „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT)
- [U 2] DIN EN ISO 9863-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken  
Teil 1: Einzellagen
- [U 3] DIN EN ISO 12957-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1:  
Scherkasten – Versuch
- [U 4] DIN 18121-1; Ausgabe 04/1998;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt Teil 1: Bestimmung durch  
Ofentrocknung
- [U 5] DIN 1054; Ausgabe 12/2010;  
Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau
- [U 6] Proctorkurve IGP mbH Leipzig vom 01.11.2011

X:\Auftragel11 107 GSV Deponie Halde 1015 Prüfbericht\B 50.11.107.02 GSV KDB\_MD\B 50.11.107.02 GSV KDB\_MD.doc

**Ende Prüfbericht B 50.11.107.02**

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Schergeraden

Entnahmestelle Halde 10  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart KDB GSE DRS BAM / Mineralische Dichtung  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 12/2011  
 ausgeführt von Lo



Bruchparameter

Reibungswinkel	29.06 [°]
Kohäsion	8.48 [kN/m²]
Korrelation	1.00

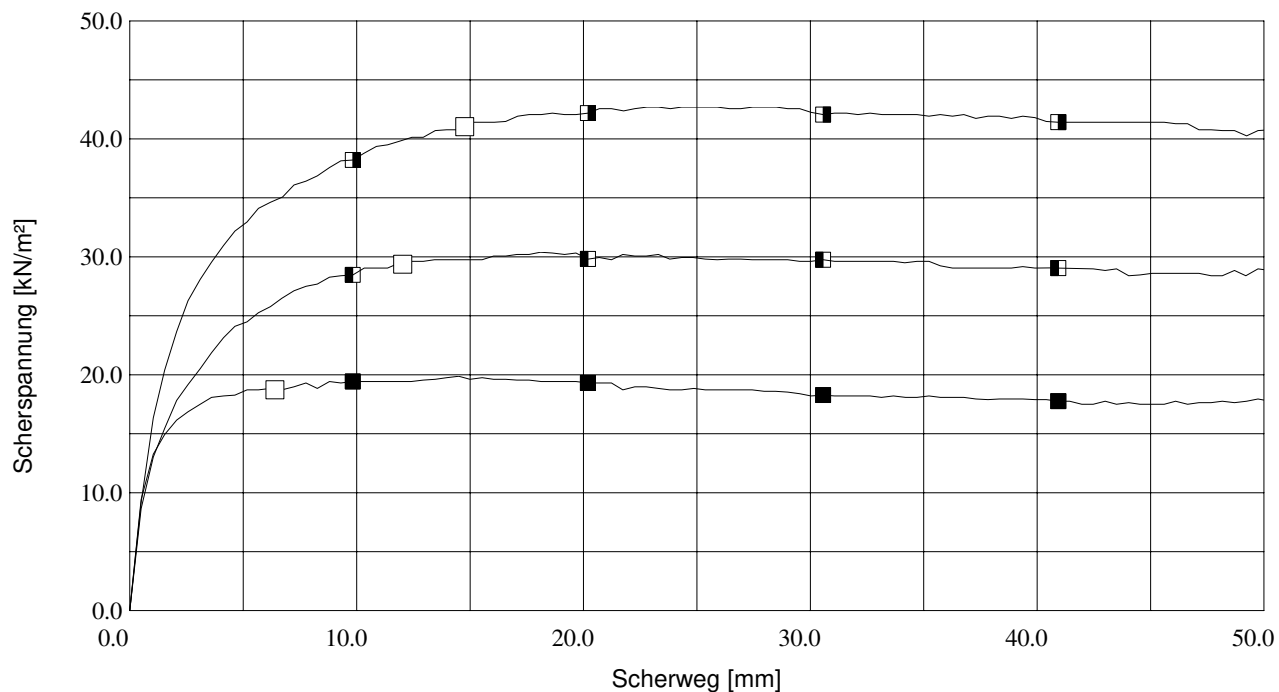
Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	---- [°]
Kohäsion	---- [kN/m²]
Korrelation	----

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	18.2	18.2	18.67	6.41	----	----
2	37.8	37.5	29.33	12.06	----	----
3	58.4	58.2	41.00	14.79	----	----

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenschersversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

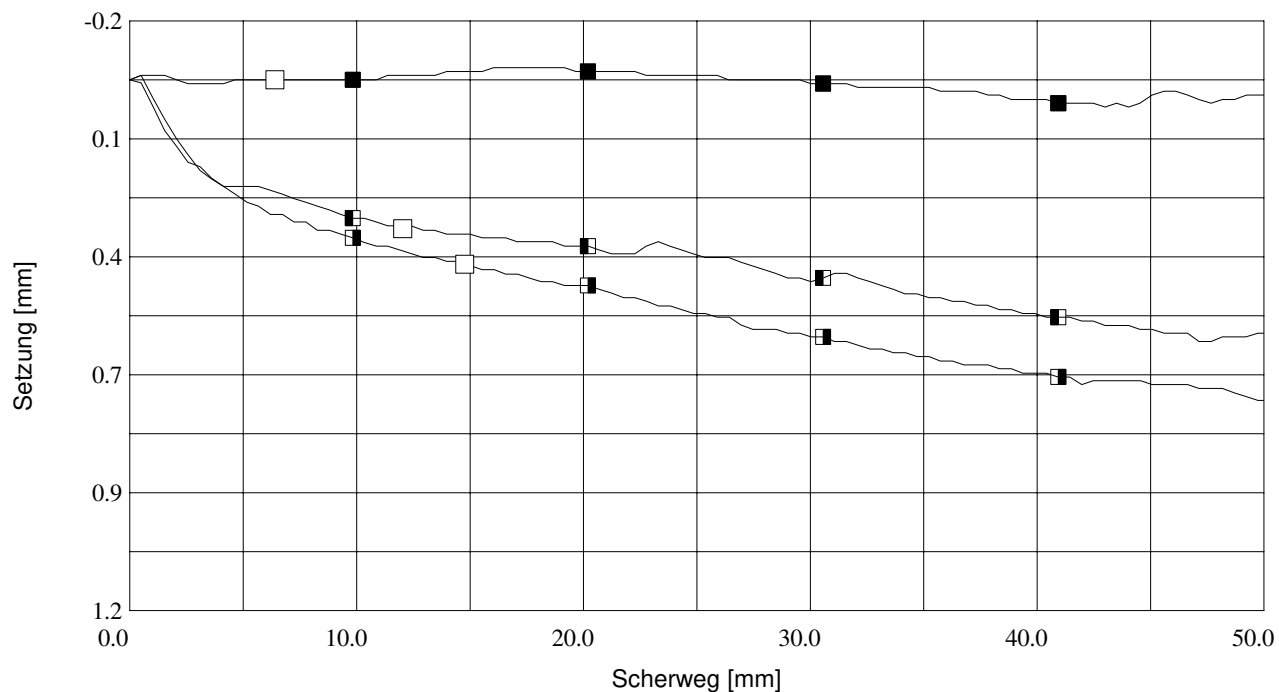
Entnahmestelle Halde 10  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart KDB GSE DRS BAM / Mineralische Dichtung  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 12/2011  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min
	Bruch	Restsf.				
1	■	18.2	18.2	900.00	0.01670	-----
2	■	37.8	37.5	900.00	0.01670	-----
3	■	58.4	58.2	900.00	0.01670	-----

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

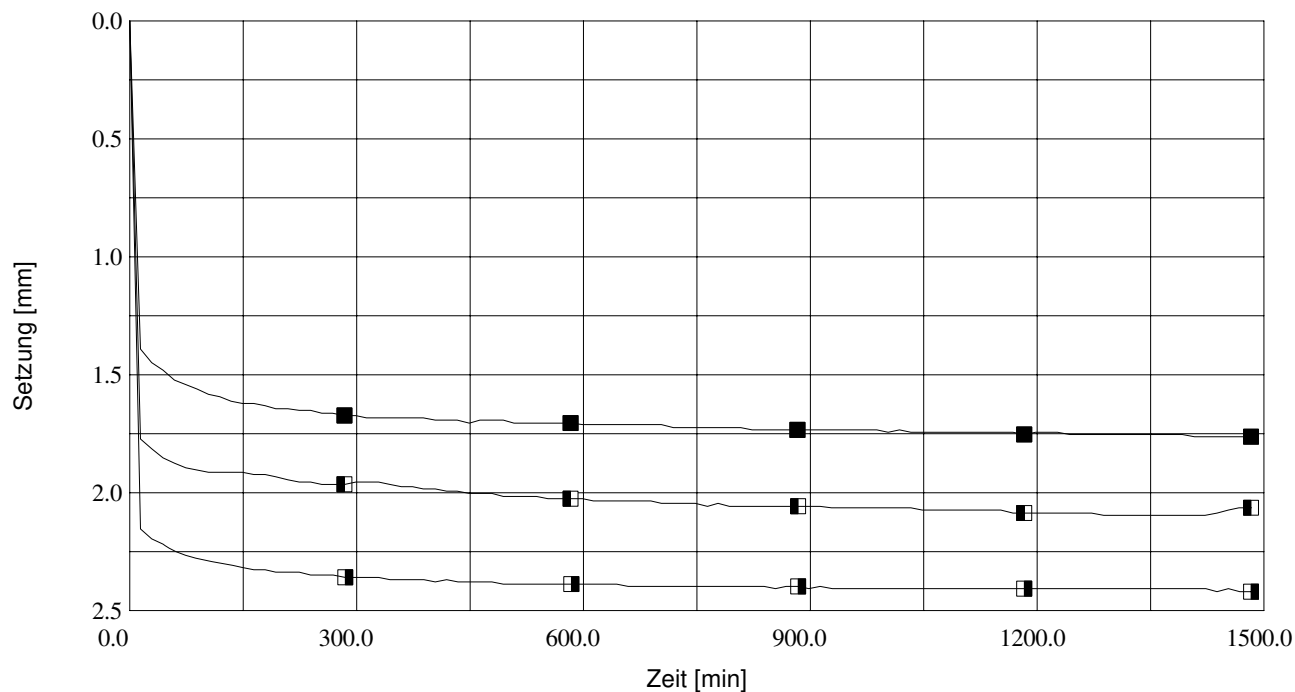
Entnahmestelle Halde 10  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart KDB GSE DRS BAM / Mineralische Dichtung  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 12/2011  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
1	18.2	18.2	0.00	-----	48.45	0.10
2	37.8	37.5	0.38	-----	48.16	0.66
3	58.4	58.2	0.47	-----	47.70	0.83

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle Halde 10  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart KDB GSE DRS BAM / Mineralische Dichtung  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 12/2011  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
1 ■	20	1.75	1440	50.20	48.45
2 ■	40	2.04	1440	50.20	48.16
3 ■	60	2.40	1440	50.10	47.70



Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. C. Könke

Abteilung: Geo- und Umwelttechnik  
Abteilungsleiter: Dipl.-Ing. J. Köditz

MFA Weimar  
Coudraystraße 9  
99423 Weimar  
Frau A. Damaschke  
Tel. 03643 / 564 348  
Fax 03643 / 564 203  
geotechnik@mfa.de

## Prüfbericht Nr. B 51.16.096.03



Auftrag: **BV Hochhalde Schkopau**  
Durchführung von Großrahmenscherversuchen zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge **HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS**

Auftraggeber: GSE Lining Technology GmbH  
Normannenweg 28  
20537 Hamburg


Auftrag vom: 15.09.2016

Im Auftrag

Weimar,  
03.11.2016

  
Dipl.-Ing. J. Köditz  
Abteilungsleiter



  
Dr. rer. nat. A. Damaschke  
Bearbeiter

## Inhaltsverzeichnis

1	<b>Veranlassung und Gegenstand der Prüfung</b>	2
2	<b>Verwendete Proben</b>	2
3	<b>Verwendete Prüfeinrichtungen</b>	3
4	<b>Durchgeführte Prüfungen</b>	3
4.1	Versuchsrandbedingungen	3
4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	4
5	<b>Ergebnisse der Prüfungen</b>	4
	<b>Verzeichnis der Anlagen</b>	5
	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen</b>	5

## 1 Veranlassung und Gegenstand der Prüfung

Anlass dieser Prüfung war ein Auftrag der Firma GSE Lining Technology GmbH zur Durchführung von Großrahmenscherversuchen zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS. Die Prüfungen fanden im Zeitraum vom 05.-12.10.2016 statt.

MFPA-intern ist der Gegenstand des Prüfberichtes wie folgt gekennzeichnet:

Bezeichnung	Probennummern bis zum Berichtszeitpunkt
Auftrags-Nr.: 51.16.096; GSV Hochhalde Schkopau	51 16 096 001 bis 51 16 096 008

Tabelle 1: Bezeichnungen

## 2 Verwendete Proben

Die Probenbezeichnungen und -beschreibungen enthält nachfolgende Tabelle:

Bezeichnung durch den AG	Bezeichnung an der MFPA	Beschreibung der Probe; Bemerkungen
HaTe B 1200 "O" II	51 16 096 003	Vlies, HUESKER Synthetic GmbH, Anlieferung am 15.09.2016
GSE HD BAM DRS	51 16 096 004	Kunststoffdichtungsbahn, Fa. GSE Lining Technology GmbH, beidseitig strukturiert, schwarz, Rollennr.: 402018492

Tabelle 2: Verwendete Proben

### 3 Verwendete Prüfeinrichtungen

- allgemeine Laborgeräte, Schichtdickenmessgerät Typ LG 10
- Großrahmenschergerät SP 304 – E, technische Daten zum Schergerät:
  - Scherfläche: 30 cm \* 30 cm
  - Vorrichtung für Normalbelastung: pneumatisch über Druckkissen
  - Messbereich Normalkraft: max. 600 kN/m<sup>2</sup>
  - Vorrichtung für Scherbelastung: kontinuierlicher Vorschub
  - Messbereich Scherkraft: 0 - 5 kN; 5 - 60 kN; max. 60 kN
  - Schergeschwindigkeit: 0,00001 - 20,000 mm/min
  - max. Scherweg: 100 mm; Auflösung 0,005 mm
  - Messbereich Setzung: max. 50 mm; Auflösung 0,01 mm
  - Scherspalt: variabel bis 35 mm

Das Großrahmenschergerät besitzt einen verkippungsfreien, vertikal geführten oberen Scherrahmen und einen verkippungsfreien, parallel geführten, 4-fach gelagerten unteren Scherrahmen. Die direkte horizontale Scherkrafteinleitung erfolgt weggesteuert. Die Auflastspannung wird über eine Spezialmembran im Deckel des oberen Scherrahmens aufgebracht, in Höhe des Scherspalt mit Hilfe von 4 Kraftmessbügeln gemessen und unabhängig von Wandreibungen im oberen Scherrahmen exakt gesteuert. Über 4 elektronische Wegaufnehmer lassen sich die Vertikalverformungen an den Ecken sowie die mittlere Verformung der Probe während des Scherversuches ermitteln.

### 4 Durchgeführte Prüfungen

Die Aufgabenstellung beinhaltete die Durchführung von Großrahmenscherversuchen nach DIN EN ISO 12957-1 und GDA E 3-8 zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS. Zur Festlegung der Höhen der Scherspalt wurden Dickenbestimmungen an der KDB und dem Vlies in Anlehnung an die DIN EN ISO 9863-1 durchgeführt.

#### 4.1 Versuchsrandbedingungen

Die Bestimmung der Scherparameter erfolgte als konsolidiert drainierte Versuche unter folgenden Bedingungen:

- Versuchsgerät: Großrahmenschergerät SP 304 - E
- Anzahl der Teilversuche: 3
- Konsolidationsspannung:  $\sigma = 20 / 40 / 80 \text{ kN/m}^2$
- Vertikale Auflast beim Scheren:  $\sigma = 20 / 40 / 80 \text{ kN/m}^2$
- Konsolidierung: 15 min
- Schergeschwindigkeit: 1,0 mm/min
- Flutung der Probe: Scherfuge unter Wasser
- Scherspalt: fest

## 4.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

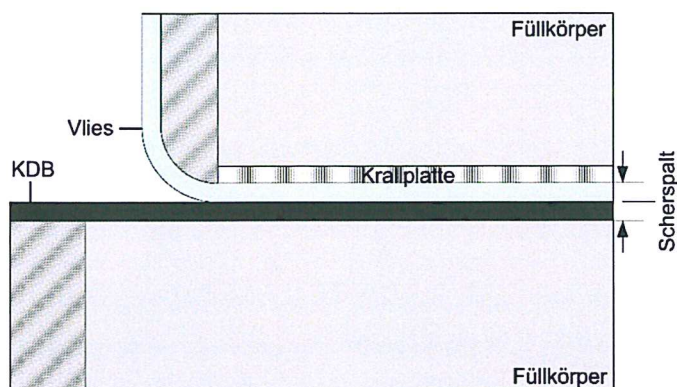


Abbildung 1: Versuchsaufbau Scherversuch

Die KDB wurde mittels Klemmleisten in den beweglichen unteren Scherrahmen eingespannt und damit gegen ein Verrutschen gesichert. Das Vlies wurde mit Klemmleisten am oberen Scherrahmen fixiert und zusätzlich mit einer Krallplatte gegen Verrutschen gesichert. Der Scherspalt wurde so festgelegt, dass zwischen dem oberen Scherrahmen und der KDB ein Scherspalt von 0,5 mm gewährleistet war.

Nach dem Einbau und dem Befestigen der Belastungseinrichtung erfolgte die Einleitung der vertikalen Auflast. Die Bewässerung des Scherspalt erfolgte nach dem vollständigen Erreichen der Konsolidationsspannung. Nach Erreichen der vorgegebenen Konsolidationszeit wurde die Scherphase automatisch gestartet. Abbruchkriterien zum Beenden der Scherphase waren das eindeutige Überschreiten einer Bruchspannung, das Erreichen einer konstanten bzw. ansteigenden Reibungsspannung bei fortschreitendem Verschiebungsweg oder das Erreichen des maximalen Scherweges.

## 5 Ergebnisse der Prüfungen

Die Ergebnisse der Dickenbestimmung zeigt Tabelle 3. Die Ergebnisse der Scherversuche sind in der Tabelle 4 zusammengefasst. Anlage 1 enthält die grafische Versuchsauswertung. Die Festlegung der Bruchpunkte erfolgte nach den ersten Anzeichen des Versagens der Scherkräfte.

Auflast [kPa]		2	20	50	80
GSE HD BAM DRS inkl. Besprühung	[mm]	4,48	4,03	3,82	3,70
HaTe B 1200 "O" II	[mm]	9,83	8,52	7,93	7,52

Tabelle 3: Dicke unter festgelegten Drücken

Proben-Nr. MFPA 51 16 096 003 // 004; GSV HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS				
Auflast	[kN/m <sup>2</sup> ]	20	40	80
Bruchspannung	[kN/m <sup>2</sup> ]	18,97	28,92	53,79
Bruchweg	[mm]	7,09	6,76	9,79
<i>Bruchparameter</i>				
Reibungswinkel $\delta_r$	[°]	31,72		
Adhäsion $a_r$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5,67		

Tabelle 4: Ergebnisse der Scherversuche

**Hinweis:**

Bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $\sigma$  kann der Ansatz der linearen Coulombschen Grenzbedingung zu große Werte für die Adhäsion ergeben. Die Parameter Reibungswinkel und Adhäsion sind daher immer im Zusammenhang zu betrachten, ggf. kann als Grenzbedingung ein mehrparametrischer oder ein abschnittsweise linearer Ansatz gewählt werden. Die ermittelten Versuchswerte sind für Standsicherheitsberechnungen nach den anerkannten Regeln der Technik zu bewerten.

**Verzeichnis der Anlagen**

Anlage 1	Prüfprotokoll: GSV HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS	(4 Seiten)
	- $\tau$ - $\sigma$ - Diagramm	
	- Scherspannungs - Weg - Diagramm	
	- Setzungs - Weg - Diagramm	
	- Konsolidierungsdiagramm	

**Verzeichnis der verwendeten Unterlagen**

[U 1]	DIN EN ISO 9863-1; Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken Teil 1: Einzellagen (2005)
[U 2]	DIN EN ISO 12957-1; Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkasten – Versuch (2005)
[U 3]	DIN 1054; Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau (2010)
[U 4]	E 3-8 Reibungsverhalten von Geokunststoffen; Arbeitskreis 6.1 Geotechnik der Deponiebauwerke der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (2015)

X:\AG 51 Geotechnik\Auftrage\16 096 GSV Hochhalde Schkopau\5 Prüfbericht\B 51.16.096.03 GSV KDB\_Vlies.docx

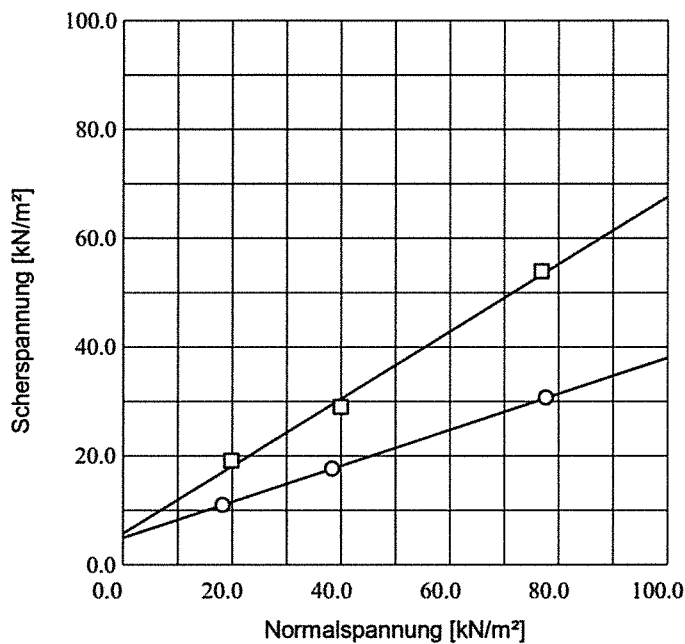
**Ende Prüfbericht Nr. B 51.16.096.03**

MFPA Weimar  
 Abt. Geo- und Umwelttechnik  
 Coudraystraße 4  
 99423 Weimar

Name 16096cd  
 ProjNr. 51.16.096  
 Anlage 1  
 Projekt GSV Hochhalde Schkopau

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Schergeraden

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS  
 Einbau -  
 ausgeführt am 10/2016  
 ausgeführt von Lo



Bruchparameter

Reibungswinkel	31.72 [°]
Kohäsion	5.67 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	18.30 [°]
Kohäsion	4.81 [kN/m²]
Korrelation	1.00

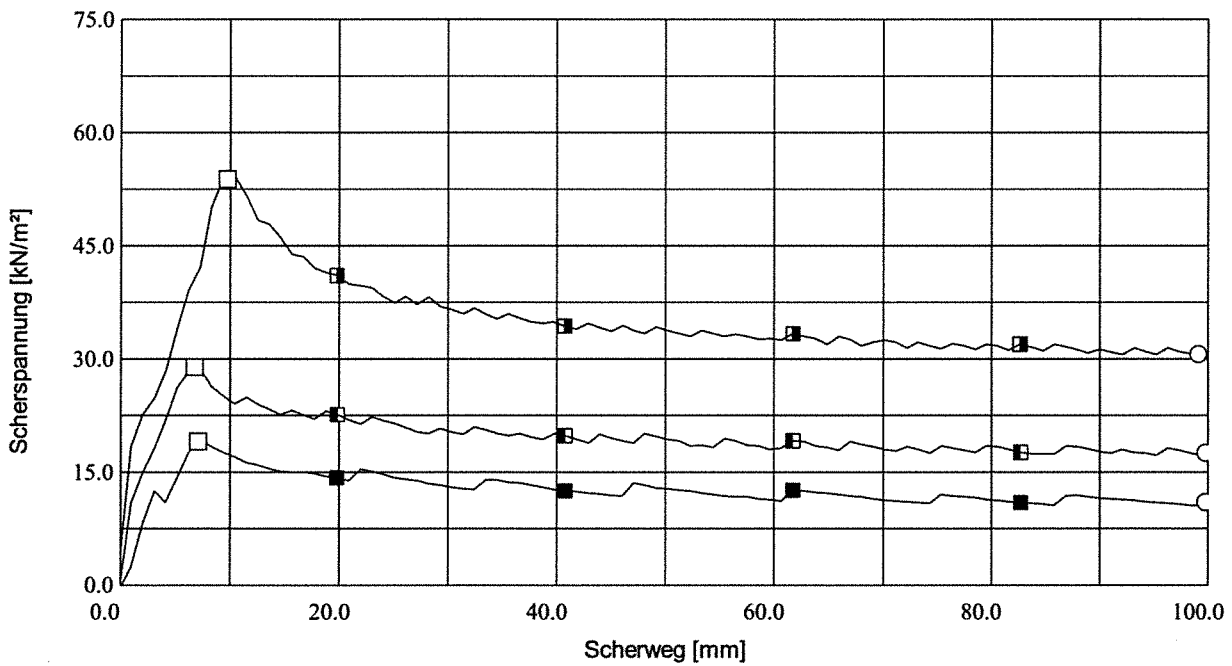
Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	19.9	18.3	18.97	7.09	10.89	99.84
2	40.1	38.4	28.92	6.76	17.50	99.85
3	77.0	77.8	53.79	9.79	30.54	99.16

MFPA Weimar  
 Abt. Geo- und Umwelttechnik  
 Coudraystraße 4  
 99423 Weimar

Name 16096cd  
 ProjNr. 51.16.096  
 Anlage 1  
 Projekt GSV Hochhalde Schkopau

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS  
 Einbau -  
 ausgeführt am 10/2016  
 ausgeführt von Lo



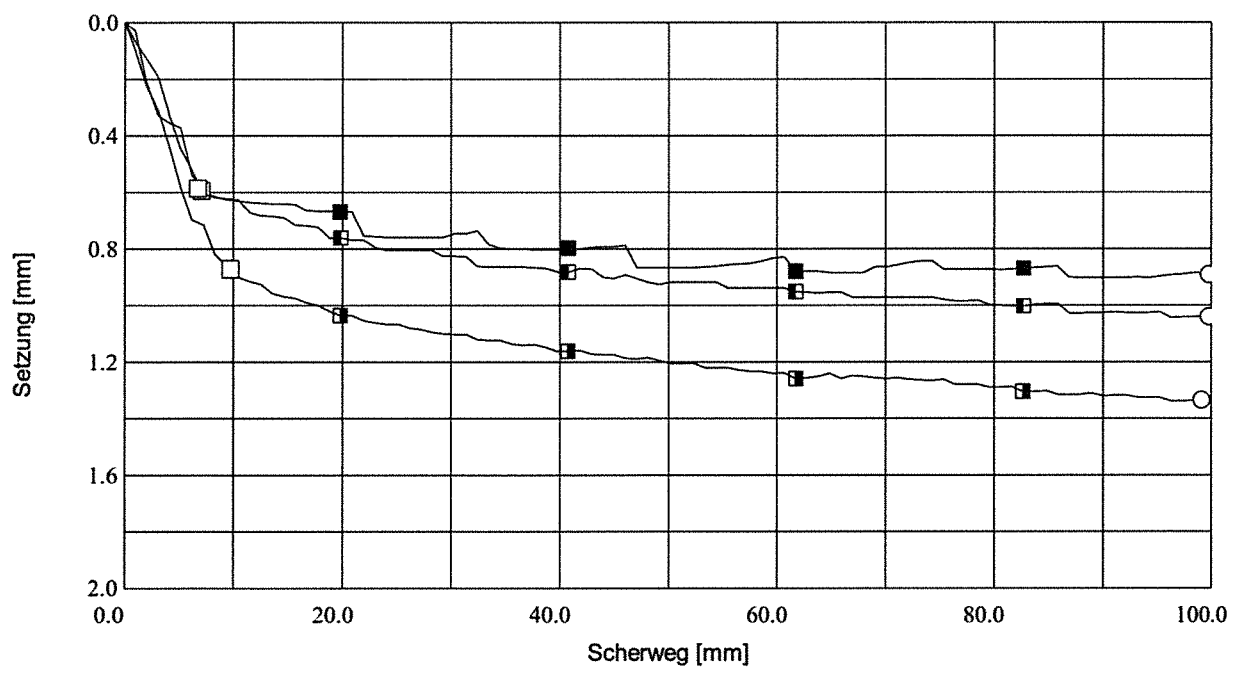
Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min	
	Bruch	Restsf.					
1	■	19.9	18.3	900.00	1.00000	900.00	1.00000
2	▣	40.1	38.4	900.00	1.00000	900.00	1.00000
3	▢	77.0	77.8	900.00	1.00000	900.00	1.00000

MFPA Weimar  
 Abt. Geo- und Umwelttechnik  
 Coudraystraße 4  
 99423 Weimar

Name 16096cd  
 ProjNr. 51.16.096  
 Anlage 1  
 Projekt GSV Hochhalde Schkopau

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS  
 Einbau -  
 ausgeführt am 10/2016  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
1 ■	19.9	18.3	0.60	0.89	11.39	0.90
2 ■	40.1	38.4	0.59	1.04	10.79	1.05
3 ■	77.0	77.8	0.87	1.34	9.77	1.35

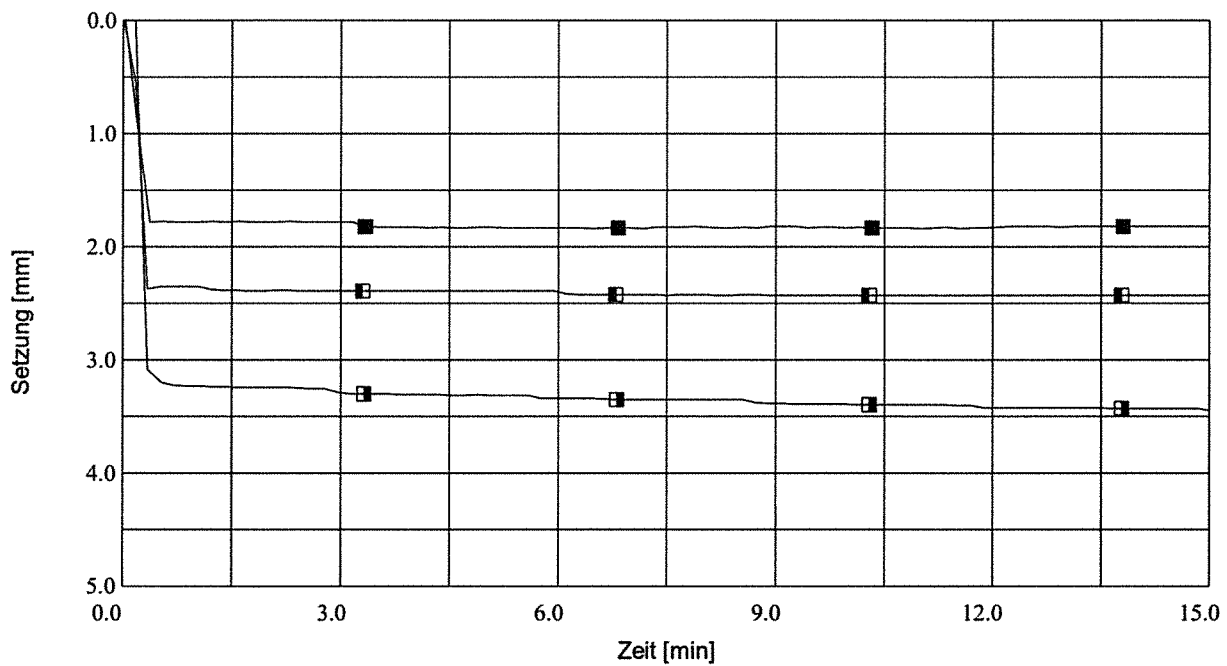


MFPA Weimar  
 Abt. Geo- und Umwelttechnik  
 Coudraystraße 4  
 99423 Weimar

Name 16096cd  
 ProjNr. 51.16.096  
 Anlage I  
 Projekt GSV Hochhalde Schkopau

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart HaTe B 1200 "O" II // GSE HD BAM DRS  
 Einbau -  
 ausgeführt am 10/2016  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m²	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
1 ■	20	1.81	15	13.20	11.39
2 ■	40	2.41	15	13.20	10.79
3 ■	80	3.43	15	13.20	9.77

Fachgebiet: Geotechnik  
Fachgebietsleiter: Univ. Prof. Dr.-Ing. K.J. Witt  
Betriebsleiter: Dipl.-Ing. J. Köditz

MFA Weimar  
Coudraystraße 4  
99423 Weimar  
Tel. 0 36 43 / 56 4 - 347  
Fax. 0 36 43 / 56 4 - 203  
geotechnik@mfa.de

## Prüfbericht B 50.11.093.06

Auftrag: **Systemnachweis Abdichtungsaufbau kunststoffgedichteter Speicherteich**  
Durchführung von Großrahmenscherversuchen zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge Schutzvlies HV 47120 B / Abdeckboden


Auftraggeber: GSE Lining Technology GmbH  
Vertriebsbüro SüdOst  
Orchideengarten 30  
09125 Chemnitz

Auftrag vom: 05.10.2011

Im Auftrag

digitale Signatur

Weimar,  
09.02.2012

  
Dipl.-Ing. J. Köditz  
Betriebsleiter



  
Dipl.-Geophys. T. Schäfer  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Gegenstand der Prüfung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Proben</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Verwendete Prüfeinrichtungen</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen</b>	<b>3</b>
4.1	Versuchsrandbedingungen	4
4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	4
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Prüfungen</b>	<b>5</b>
	<b>Verzeichnis der Anlagen</b>	<b>5</b>
	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen</b>	<b>6</b>

## 1 Veranlassung und Gegenstand der Prüfung

Anlass dieser Prüfung war ein Auftrag der HEILIT Umwelttechnik GmbH zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge Schutzvlies HV 47120 B / Abdeckboden im Großrahmenschergerät nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3], DIN 18137-3 [U 5] und der Empfehlung E 3-8 [U 1] des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Die Auftragserteilung erfolgte am 05.10.2011.

MFA-intern sind der Gegenstand des Prüfberichtes und die zugehörigen Proben wie folgt gekennzeichnet:

Bezeichnung	Probennummern bis zum Berichtszeitpunkt
Auftrags-Nr.: 50.11.093 Komplettaufbau BV Österreich	50 11 093 001 bis 50 11 093 006

Tabelle 1: Bezeichnungen

## 2 Verwendete Proben

Die Probenbezeichnungen und -beschreibungen enthält nachfolgende Tabelle:

Bezeichnung durch den AG	Bezeichnung an der MFA	Beschreibung der Probe; Bemerkungen
Vlies HV 47120 B	50 11 093 004	Vlies, schwarz; Fa. HUESKER
Abdeckboden	50 11 093 006	Kies; ocker, Größtkorn 32 mm, GP; Kornverteilung siehe Anlage 2

Tabelle 2: Verwendete Proben

### 3 Verwendete Prüfeinrichtungen

- allgemeine Laborgeräte
- Schichtdickenmessgerät Typ LG 10
- Großrahmenschergerät SP 304 - E

Technische Daten zum Schergerät:

- |                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| - Scherfläche:                     | 30 cm * 30 cm                 |
| - Vorrichtung für Normalbelastung: | pneumatisch über Druckkissen  |
| - Messbereich Normalkraft:         | max. 600 kN/m <sup>2</sup>    |
| - Vorrichtung für Scherbelastung:  | kontinuierlicher Vorschub     |
| - Messbereich Scherkraft:          | 0 –5 kN; 5 – 60 kN; max 60 kN |
| - Schergeschwindigkeit:            | 0,00001 – 20,000 mm/min       |
| - max. Scherweg:                   | 100 mm; Auflösung 0,005 mm    |
| - Messbereich Setzung:             | max. 50 mm; Auflösung 0,01 mm |
| - Scherspalt:                      | variabel bis 35 mm            |

Das Großrahmenschergerät besitzt einen verkippungsfreien, vertikal geführten oberen Scherrahmen und einen verkippungsfreien, parallel geführten, 4-fach gelagerten unteren Scherrahmen. Die direkte horizontale Scherkrafteinleitung erfolgt weggesteuert. Die Auflastspannung wird über eine Spezialmembran im Deckel des oberen Scherrahmens aufgebracht, in Höhe des Scherspalt mit Hilfe von 4 Kraftmessbügeln gemessen und unabhängig von Wandreibungen im oberen Scherrahmen exakt gesteuert. Über 4 elektronische Wegaufnehmer lassen sich die Vertikalverformungen an den Ecken sowie die mittlere Verformung der Probe während des Scherversuches ermitteln.

### 4 Durchgeführte Prüfungen

Die Aufgabenstellung beinhaltet die Durchführung von Großrahmenscherversuchen nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3] und E 3-8 [U 1] zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge Schutzvlies HV 47120 B / Abdeckboden.

Zur Festlegung der Höhen der Scherspalt wurden Dickenbestimmungen am Vlies in Anlehnung an die DIN EN ISO 9863-1 [U 2] durchgeführt.

## 4.1 Versuchsrandbedingungen

Die Bestimmung der Scherparameter erfolgte als konsolidiert drainierte Versuche (CD-Versuch) unter folgenden Randbedingungen:

- Versuchsgerät:	Großrahmenschergerät SP 304-E
- Anzahl der Teilversuche:	3
- Konsolidationsspannung:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 50 \text{ kN/m}^2 / 100 \text{ kN/m}^2$
- Vertikale Auflast beim Scheren:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 50 \text{ kN/m}^2 / 100 \text{ kN/m}^2$
- Konsolidierung:	30 min
- Schergeschwindigkeit:	0,167 mm/min
- Flutung der Probe:	Scherfuge unter Wasser

## 4.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

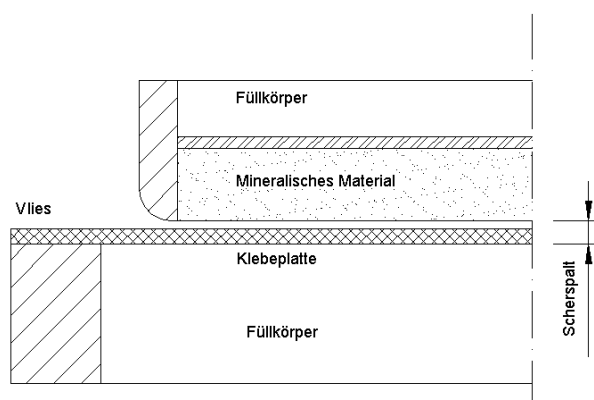


Abbildung 1: Versuchsaufbau Scherversuch Vlies / Abdeckboden

Das Vlies wurde mittels Klemmleisten in den beweglichen unteren Scherrahmen eingespannt und zusätzlich mit einer Klebeplatte gegen Verrutschen gesichert. Das mineralische Material wurde in den oberen Scherrahmen eingebaut und leicht verdichtet. Der Scherspalt wurde so festgelegt, dass zwischen dem oberen Scherrahmen und dem Vlies ein lichter Abstand von 0,5 mm gewährleistet war.

Nach dem Einbau und dem Befestigen der Belastungseinrichtung erfolgte die Einleitung der vertikalen Auflast. Die Bewässerung des Scherspalt es erfolgte nach dem vollständigen Erreichen der Konsolidationsspannung. Nach Erreichen der vorgegebenen Konsolidationszeit von 30 Minuten wurde die Scherphase automatisch gestartet. Abbruchkriterien zum Beenden der Scherphase waren das eindeutige Überschreiten einer Bruchspannung, das Erreichen einer konstanten bzw. ansteigenden Reibungsspannung bei fortschreitendem Verschiebungsweg (Gleitzustand) oder das Erreichen des maximalen Scherweges.

## 5 Ergebnisse der Prüfungen

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Dickenbestimmungen enthält Tabelle 3. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Scherversuche zusammengefasst, Anlage 1 enthält die grafische Versuchsauswertung.

Auflast		2 kN/m <sup>2</sup>	20 kN/m <sup>2</sup>	50 kN/m <sup>2</sup>	80 kN/m <sup>2</sup>	110 kN/m <sup>2</sup>
Vlies HV 47120 B	[mm]	8,018	6,902	6,105	5,476	5,079

Tabelle 3: Dicke unter festgelegten Drücken

Die Festlegung der Bruchpunkte erfolgte nach den ersten Anzeichen des Versagens der Scherkräfte.

Proben-Nr. MFPA 50 11 093 004/006; Großrahmenscherversuch Vlies HV 47120 B / Abdeckboden						
Auflast	[kN/m <sup>2</sup> ]	20	50	100		
Einbauwassergehalt	[%]	0,09	0,09	0,09		
Ausbauwassergehalt	[%]	1,39	1,89	1,19		
Einbaudichte $\rho_d$	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,639	1,639	1,639		
Bruchparameter						
Reibungswinkel $\delta_f$	[°]		38,22			
Adhäsion $a_f$	[kN/m <sup>2</sup> ]		8,10			

Tabelle 5: Ergebnisse der Scherversuche Vlies / Abdeckboden

**Hinweis:** Bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $\sigma$  kann der Ansatz der linearen Coulombschen Grenzbedingung zu große Werte für die Adhäsion ergeben. Die Parameter Reibungswinkel und Adhäsion sind daher immer im Zusammenhang zu betrachten, ggf. kann als Grenzbedingung ein mehrparametrischer oder ein abschnittsweise linearer Ansatz gewählt werden [U 1].

Die ermittelten Versuchswerte sind für Standsicherheitsberechnungen nach den anerkannten Regeln der Technik zu bewerten.

### Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1	Prüfprotokolle der Scherversuche Vlies HV 47120 B / Abdeckboden	(4 Seiten)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\tau</math> - <math>\sigma</math> - Diagramm</li> <li>- Scherspannungs – Weg – Diagramm</li> <li>- Setzungs – Weg – Diagramm</li> <li>- Konsolidierungsdiagramm</li> </ul>	
Anlage 2	Kornverteilungskurve Abdeckboden	(2 Seiten)

## Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

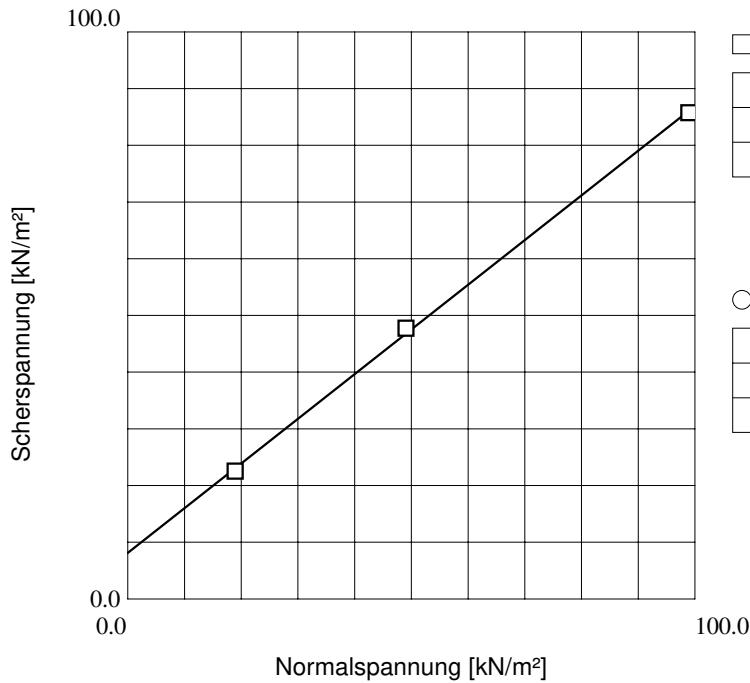
- [U 1] GDA E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“; 1997; AK 5.1 Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau der DGGT
- [U 2] DIN EN ISO 9863-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken  
Teil 1: Einzellagen
- [U 3] DIN EN ISO 12957-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1:  
Scherkasten - Versuch
- [U 4] DIN 18121-1; Ausgabe 04/1998;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt Teil 1: Bestimmung durch  
Ofentrocknung
- [U 5] DIN 18123; Ausgabe 04/2011;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung
- [U 6] DIN 18137-3; Ausgabe 09/2002;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit Teil 3: Direkter  
Scherversuch
- [U 7] DIN 1054; Ausgabe 01/2003;  
Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau

X:\Auftrage\11 093 GSV BV Österreich\5 Prüfbericht\B 50.11.093.06 GSV Vlies\_Boden\B 50.11.093.06 GSV Vlies\_Boden.doc

**Ende Prüfbericht B 50.11.093.06**

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Schergeraden

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart Schutzvlies HV 47120 B // Abdeckboden 8/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 01/2012  
 ausgeführt von Lo



Bruchparameter

Reibungswinkel	38.22 [°]
Kohäsion	8.10 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Restscherfestigkeit

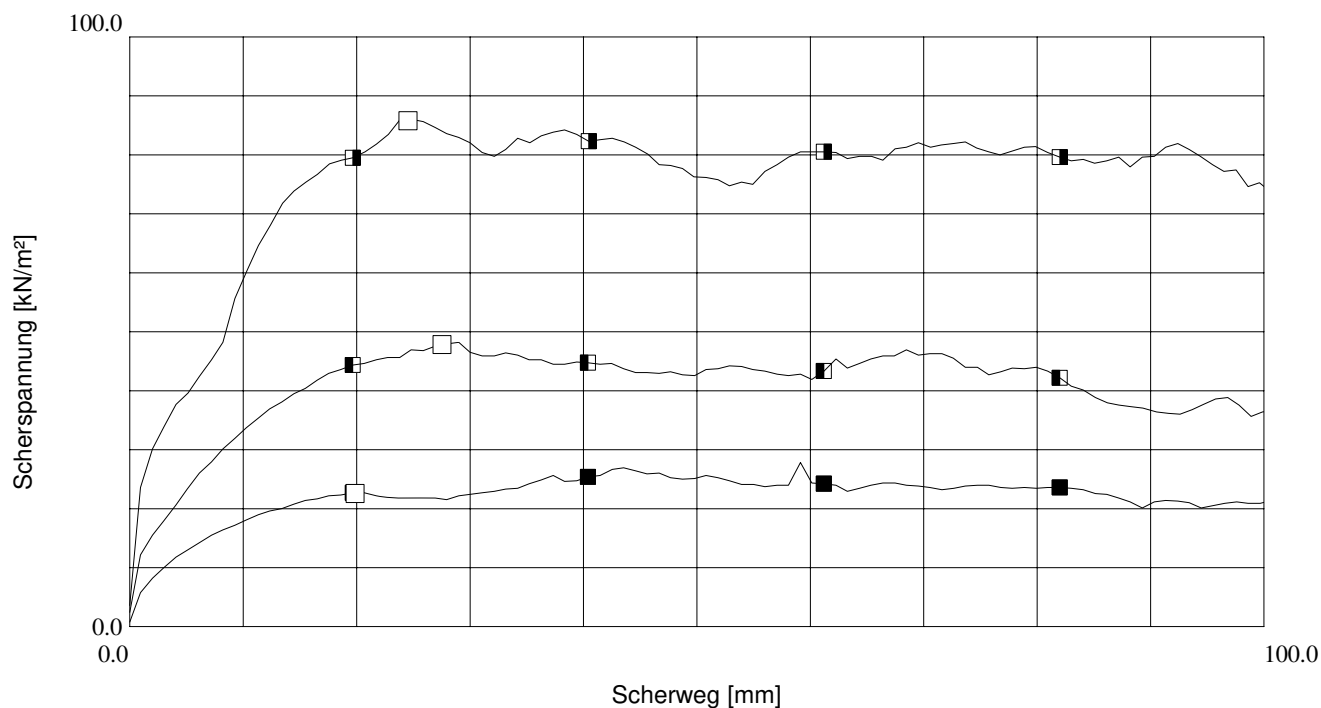
Reibungswinkel	---- [°]
Kohäsion	---- [kN/m²]
Korrelation	----

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	19.0	18.7	22.50	19.87	----	----
2	49.1	47.4	47.71	27.58	----	----
3	99.0	97.7	85.73	24.56	----	----



## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenschersersuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

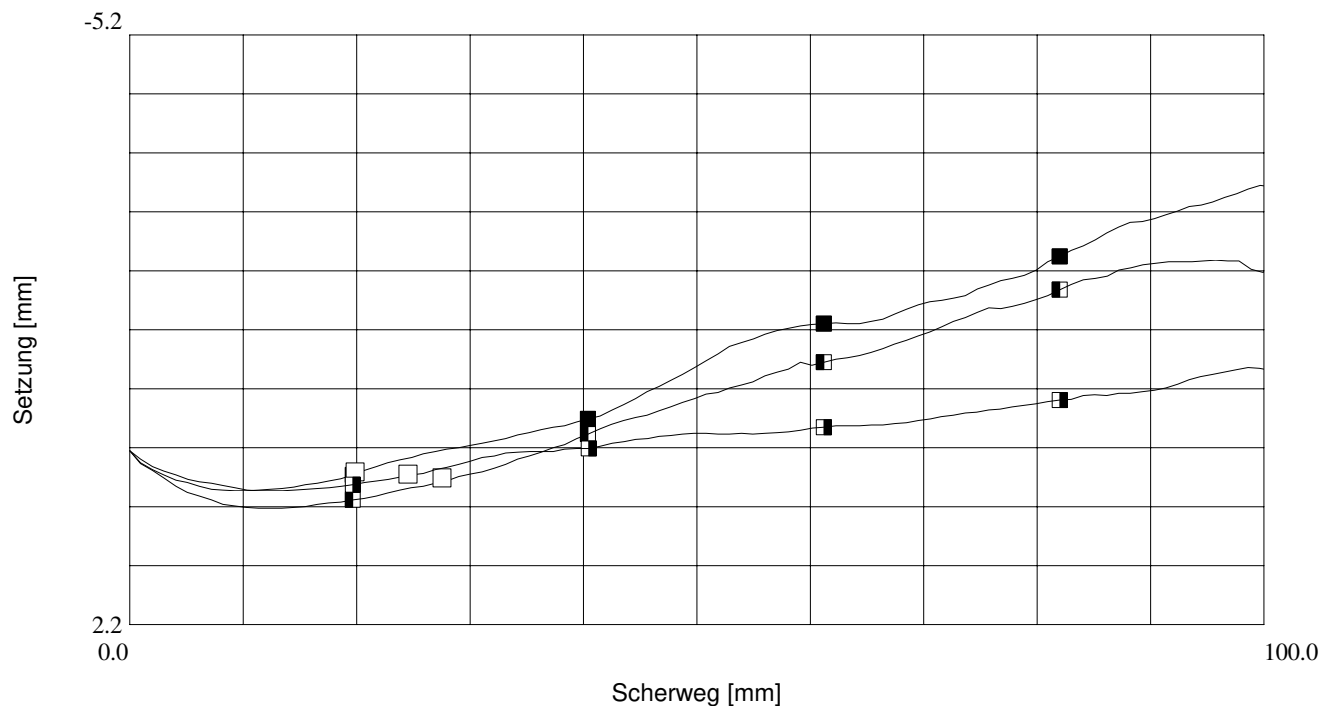
Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart Schutzvlies HV 47120 B // Abdeckboden 8/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 01/2012  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min	
	Bruch	Restsf.					
1	■	19.0	18.7	900.00	0.67000	-----	-----
2	■	49.1	47.4	900.00	0.67000	-----	-----
3	■	99.0	97.7	900.00	0.67000	-----	-----

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

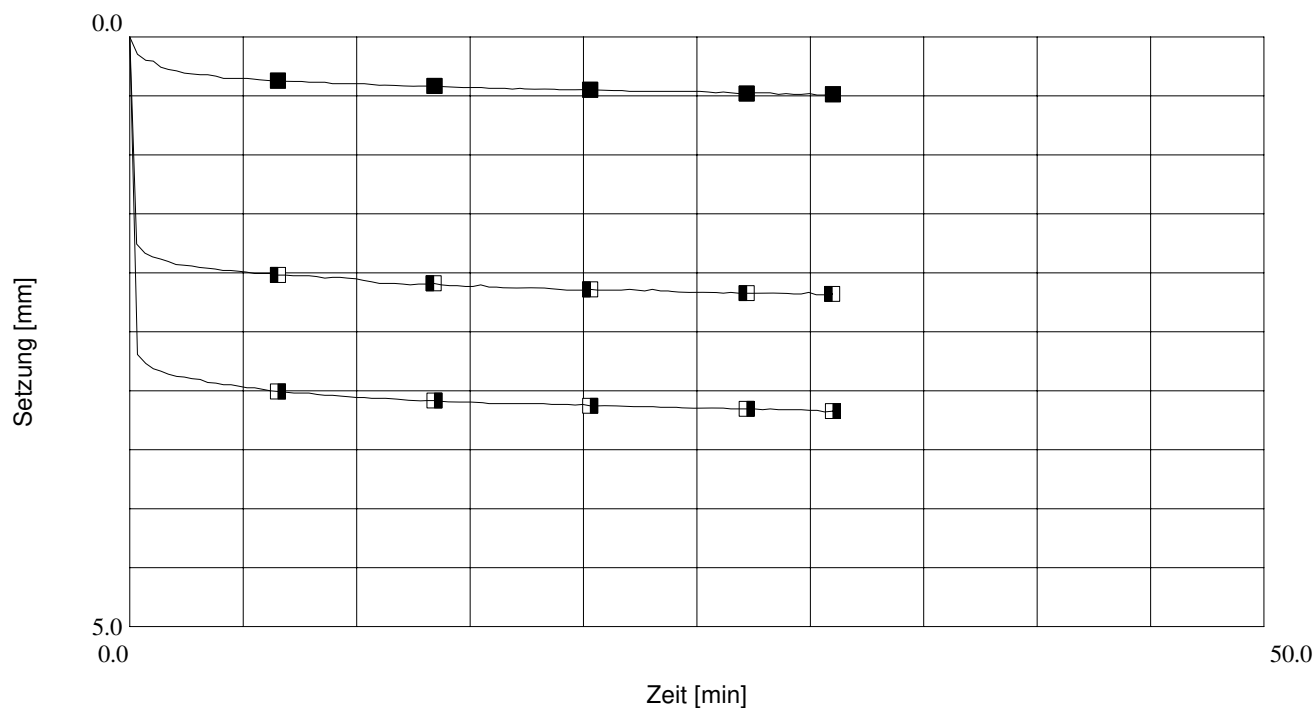
Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart Schutzvlies HV 47120 B // Abdeckboden 8/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 01/2012  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
1	19.0	18.7	0.28	-----	70.96	0.53
2	49.1	47.4	0.36	-----	69.24	0.74
3	99.0	97.7	0.30	-----	68.30	0.52

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag k.A.  
 Bodenart Schutzvlies HV 47120 B // Abdeckboden 8/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 01/2012  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
1 ■	20	0.49	30	71.45	70.96
2 ■	50	2.16	29	71.40	69.24
3 ■	100	3.15	30	71.45	68.30



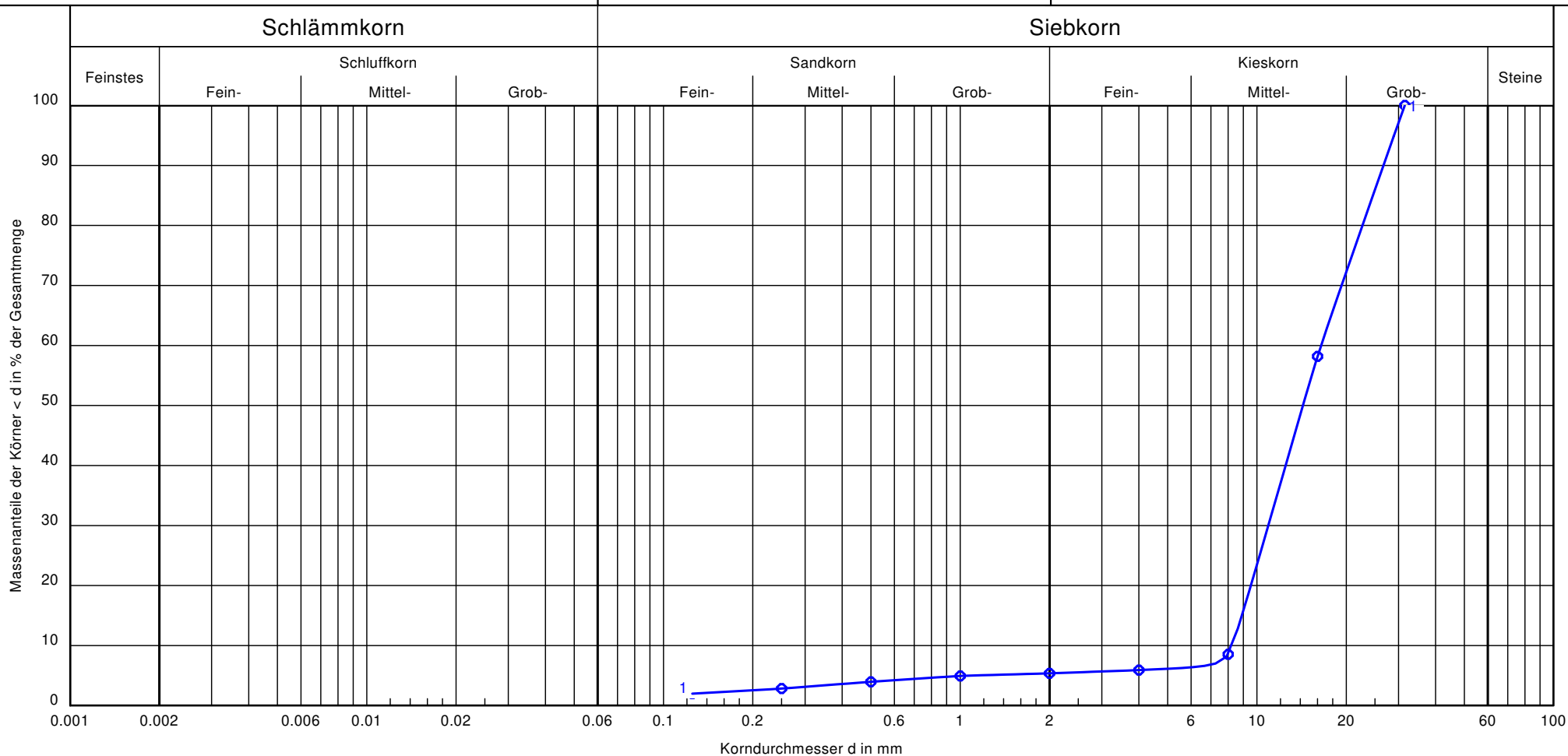
MFPA Weimar  
 FG Geotechnik Tel.: 03643/564347  
 Coudraystraße 4 Fax.: 03643/564203  
 D-99423 Weimar  
 Bearbeiter: Lo Datum: 08.02.2012

# Körnungslinie

## Komplettaufbau BV Österreich

Auftrags- Nr. MFPA: 50.11.093

Probenummer: 50 11 093 006  
 Probe entnommen am: o.A.  
 Art der Entnahme: gestört  
 Arbeitsweise: Nasssiebung



Kurve-Nr.	1
Bezeichnung	50 11 093 005
Entnahmestelle	k.A.
Tiefe	k.A.
Bodenart	mG, gg
Bodengruppe	GE
U/Cc	2.0/0.9
T/U/S/G (%)	- / - / 5.4/94.6
Kornkennzahl (T/U/S/G)	0019
k-Wert (nach Hazen)	$7.8 \cdot 10^{-1}$

Bemerkungen:

Prüfbericht:  
 B 50.11.093.06  
 Anlage:  
 2

# Körnungslinie

Komplettaufbau BV Österreich

Auftrags- Nr. MFPA: 50.11.093

Bearbeiter: Lo

Datum: 08.02.2012

Probenummer: 50 11 093 006

Probe entnommen am: o.A.

Art der Entnahme: gestört

Arbeitsweise: Nasssiebung

Prüfung DIN 18 123 - 5

1

Bezeichnung 50 11 093 005

Entnahmestelle k.A.

Tiefe k.A.

Bodenart mG, gg

Bodengruppe GE

U/Cc 2.0/0.9

T/U/S/G (%) - / - / 5.4 / 94.6

Kornkennzahl (T/U/S/G) 0019

k-Wert (nach Hazen) 7.771E-1

d10/d30/d60 [mm]: 8.185 / 10.932 / 16.479

Siebanalyse:

Trockenmasse [g]: 4312.90

## Siebanalyse

Korngröße [mm]	Rückstand [g]	Rückstand [%]	Siebdurchgänge [%]
31.5	0.00	0.00	100.00
16.0	1803.50	41.82	58.18
8.0	2140.40	49.63	8.56
4.0	113.90	2.64	5.91
2.0	23.21	0.54	5.38
1.0	19.15	0.44	4.93
0.5	41.78	0.97	3.96
0.25	48.76	1.13	2.83
0.125	36.63	0.85	1.98
Schale	85.57	1.98	-
Summe	4312.90		
Siebverlust	0.00		

Fachgebiet: Geotechnik  
Fachgebietsleiter: Univ. Prof. Dr.-Ing. K.J. Witt  
Betriebsleiter: Dipl.-Ing. J. Köditz

MFA Weimar  
Coudraystraße 4  
99423 Weimar  
Tel. 0 36 43 / 56 4 - 347  
Fax. 0 36 43 / 56 4 - 203  
geotechnik@mfa.de

## Prüfbericht B 50.12.069.01

Auftrag: **BV Deponie Staubing**  
Durchführung von Großrahmenscherversuchen zur Bestimmung der  
Scherparameter in der Fuge Vlies HaTe B 300 „O“ II / Ausgleichsschicht 16/32

Auftraggeber: Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH  
Flurstraße 24  
95473 Haag

Auftrag vom: 12.07.2012

Im Auftrag

Weimar,  
25.07.2012

Dipl.-Ing. J. Köditz  
Betriebsleiter

Dipl.-Geophys. T. Schäfer  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Gegenstand der Prüfung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Proben</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Verwendete Prüfeinrichtungen</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen</b>	<b>3</b>
4.1	Versuchsrandbedingungen	4
4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	4
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Prüfungen</b>	<b>5</b>
	<b>Verzeichnis der Anlagen</b>	<b>5</b>
	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen</b>	<b>6</b>

### 1 Veranlassung und Gegenstand der Prüfung

Anlass dieser Prüfung war ein Auftrag der Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge Vlies HaTe B 300 „O“ II / Ausgleichsschicht 16/32 im Großrahmenschergerät nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3], DIN 18137-3 [U 5] und der Empfehlung E 3-8 [U 1] des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Die Auftragserteilung erfolgte auf der Grundlage unseres Angebotes 52059 vom 10.07.2012.

MFA-intern sind der Gegenstand des Prüfberichtes und die zugehörigen Proben wie folgt gekennzeichnet:

Bezeichnung	Probennummern bis zum Berichtszeitpunkt
Auftrags-Nr.: 50.12.069 GSV Deponie Staubing	50 12 069 001 bis 50 12 069 003

Tabelle 1: Bezeichnungen

### 2 Verwendete Proben

Die Probenbezeichnungen und -beschreibungen enthält nachfolgende Tabelle:

Bezeichnung durch den AG	Bezeichnung an der MFA	Beschreibung der Probe; Bemerkungen
Vlies HaTe B 300 „O“ II	50 12 069 001	Vlies 300 g/m <sup>2</sup> , weiß, fabrikneu, Fa. HUESKER Synthetic GmbH
gaswegsame Ausgleichsschicht	50 12 069 003	Schotter 16/32, Größtkorn 32 mm, grau

Tabelle 2: Verwendete Proben

### 3 Verwendete Prüfeinrichtungen

- allgemeine Laborgeräte
- Schichtdickenmessgerät Typ LG 10
- Großrahmenschergerät SL 300 z

Technische Daten zum Schergerät:

- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| - Scherfläche:                     | 30 cm * 30 cm                  |
| - Vorrichtung für Normalbelastung: | pneumatisch über Druckkissen   |
| - Messbereich Normalkraft:         | max. 666 kN/m <sup>2</sup>     |
| - Vorrichtung für Scherbelastung:  | kontinuierlicher Vorschub      |
| - Messbereich Scherkraft:          | 0 –5 kN; 5 – 60 kN; max 60 kN  |
| - Schergeschwindigkeit:            | 0,001 – 6,000 mm/min           |
| - max. Scherweg:                   | 100 mm; Auflösung 0,005 mm     |
| - Messbereich Setzung:             | max. 70 mm; Genauigkeit 0,5 mm |
| - Scherspalt:                      | 0 – 35 mm                      |

Das Großrahmenschergerät besitzt einen festen oberen Scherrahmen und einen parallelgeführten, 4-fach gelagerten unteren Scherrahmen. Die direkte horizontale Scherkrafteinleitung erfolgt weggesteuert. Die Auflastspannung wird über eine Spezialmembran im Deckel des oberen Scherrahmens aufgebracht, in Höhe des Scherspalt mit Hilfe von 4 Kraftmessbügeln gemessen und unabhängig von Wandreibungen im oberen Scherrahmen exakt gesteuert. Über eine Volumenmesseinrichtung in der Belastungseinheit lassen sich die mittleren Setzungen der Probe während des Scherversuches ermitteln.

### 4 Durchgeführte Prüfungen

Die Aufgabenstellung beinhaltet die Durchführung von Großrahmenscherversuchen nach DIN EN ISO 12957-1 [U 3] und E 3-8 [U 1] zur Bestimmung der Scherparameter in der Fuge Vlies HaTe B 300 „O“ II / Schotter 16/32.

Zur Festlegung der Höhen der Scherspalt wurden Dickenbestimmungen am Vlies in Anlehnung an die DIN EN ISO 9863-1 [U 2] durchgeführt.



#### 4.1 Versuchsrandbedingungen

Die Bestimmung der Scherparameter erfolgte als konsolidiert drainierte Versuche (CD-Versuch) unter folgenden Randbedingungen:

- Versuchsgerät:	Großrahmenschergerät SL 300 z
- Anzahl der Teilversuche:	3
- Konsolidationsspannung:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 40 \text{ kN/m}^2 / 60 \text{ kN/m}^2$
- Vertikale Auflast beim Scheren:	$\sigma = 20 \text{ kN/m}^2 / 40 \text{ kN/m}^2 / 60 \text{ kN/m}^2$
- Konsolidierung:	30 min
- Schergeschwindigkeit:	0,67 mm/min
- Flutung der Probe:	Scherfuge unter Wasser
- Scherspalt:	fest

#### 4.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

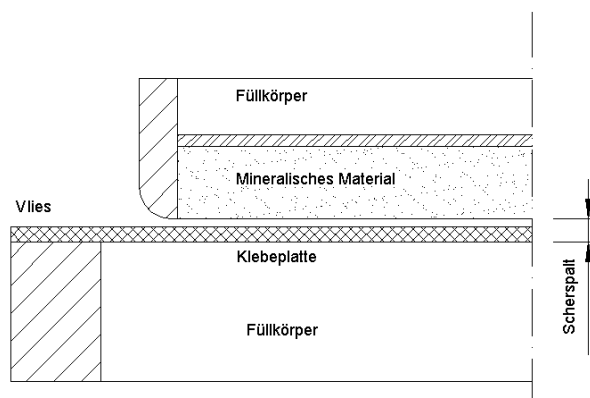


Abbildung 1: Versuchsaufbau Scherversuch Vlies / Mineral

Das Vlies wurde mittels Klemmleisten in den beweglichen unteren Scherrahmen eingespannt und zusätzlich mit einer Klebeplatte gegen Verrutschen gesichert. Das mineralische Material wurde in den oberen Scherrahmen eingebaut und leicht verdichtet. Der Scherspalt wurde so festgelegt, dass zwischen dem oberen Scherrahmen und dem Vlies ein lichter Abstand von 0,5 mm gewährleistet war.

Nach dem Einbau und dem Befestigen der Belastungseinrichtung erfolgte die Einleitung der vertikalen Auflast. Die Bewässerung des Scherspalt es erfolgte nach dem vollständigen Erreichen der Konsolidationsspannung. Nach Erreichen der vorgegebenen Konsolidationszeit von 30 Minuten wurde die Scherphase automatisch gestartet. Abbruchkriterien zum Beenden der Scherphase waren das eindeutige Überschreiten einer Bruchspannung, das Erreichen einer konstanten bzw. ansteigenden Reibungsspannung bei fortschreitendem Verschiebungsweg (Gleitzustand) oder das Erreichen des maximalen Scherweges.

## 5 Ergebnisse der Prüfungen

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Dickenbestimmungen enthält Tabelle 3. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Scherversuche zusammengefasst, Anlage 1 enthält die grafische Versuchsauswertung.

Auflast		2 kN/m <sup>2</sup>	20 kN/m <sup>2</sup>	50 kN/m <sup>2</sup>	80 kN/m <sup>2</sup>
Vlies HaTe B 300 „O“ II	[mm]	4,07	3,22	2,66	2,24

Tabelle 3: Dicke unter festgelegten Drücken

Die Festlegung der Bruchpunkte erfolgte nach den ersten Anzeichen des Versagens der Scherkräfte.

Proben-Nr. MFPA 50 12 069 001/003; Großrahmenscherversuch Vlies HaTe B 300 „O“ II / AS 16/32				
Auflast	[kN/m <sup>2</sup> ]	20	40	60
Einbauwassergehalt	[%]	0,47	0,47	0,47
Einbaudichte $\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,358	1,3658	1,358
Ausbauwassergehalt	[%]	1,17	1,08	1,43
Bruchparameter				
Reibungswinkel $\delta_f$	[°]	40,50		
Adhäsion $a_f$	[kN/m <sup>2</sup> ]	11,28		

Tabelle 5: Ergebnisse der Scherversuche Vlies / Ausgleichsschicht

**Hinweis:** Bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $\sigma$  kann der Ansatz der linearen Coulombschen Grenzbedingung zu große Werte für die Adhäsion ergeben. Die Parameter Reibungswinkel und Adhäsion sind daher immer im Zusammenhang zu betrachten, ggf. kann als Grenzbedingung ein mehrparametrischer oder ein abschnittsweise linearer Ansatz gewählt werden [U 1].

Die ermittelten Versuchswerte sind für Standsicherheitsberechnungen nach den anerkannten Regeln der Technik zu bewerten.

### Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 Prüfprotokolle der Scherversuche Ausgleichsschicht 16/32 / Vlies HaTe B 300 „O“ II (4 Seiten)

- $\tau$  -  $\sigma$  - Diagramm
- Scherspannungs – Weg – Diagramm
- Setzungs – Weg – Diagramm
- Konsolidierungsdiagramm

## Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

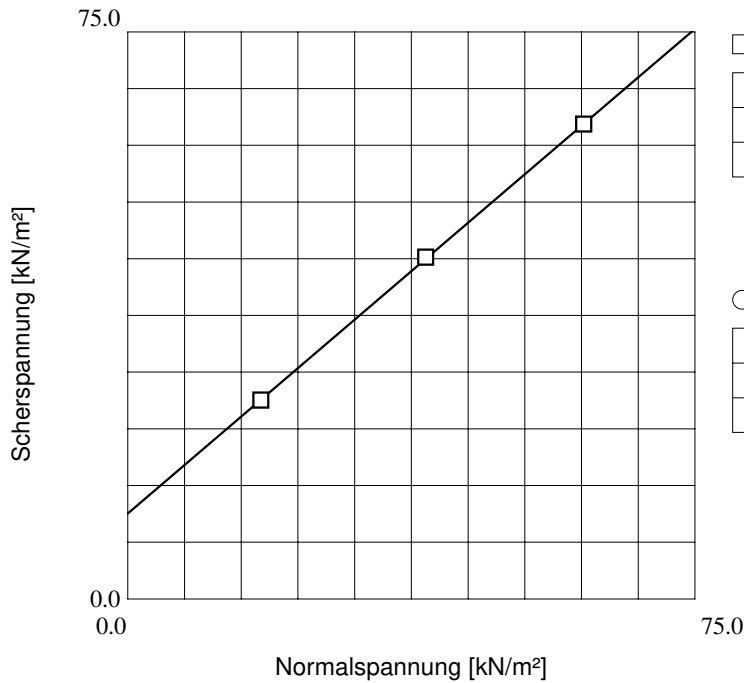
- [U 1] GDA E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“; 1997; AK 5.1 Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau der DGGT
- [U 2] DIN EN ISO 9863-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken  
Teil 1: Einzellagen
- [U 3] DIN EN ISO 12957-1; Ausgabe 05/2005;  
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1:  
Scherkasten - Versuch
- [U 4] DIN 18121-1; Ausgabe 04/1998;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt Teil 1: Bestimmung durch  
Ofentrocknung
- [U 5] DIN 18137-3; Ausgabe 09/2002;  
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit Teil 3: Direkter  
Scherversuch
- [U 6] DIN 1054; Ausgabe 12/2010;  
Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau

X:\Auftraege\12 069 GSV Deponie Straubing\5 Prüfbericht\B 50.12.069.01 GSV Vlies\_AS\B 50.12.069.01 GSV Vlies\_AS.doc

**Ende Prüfbericht B 50.12.069.01**

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Schergeraden

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag 11.07.2012  
 Bodenart Vlies HaTe B 300 O II // AS 16/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 07/2012  
 ausgeführt von Lo



Bruchparameter

Reibungswinkel	40.50 [°]
Kohäsion	11.28 [kN/m²]
Korrelation	1.00

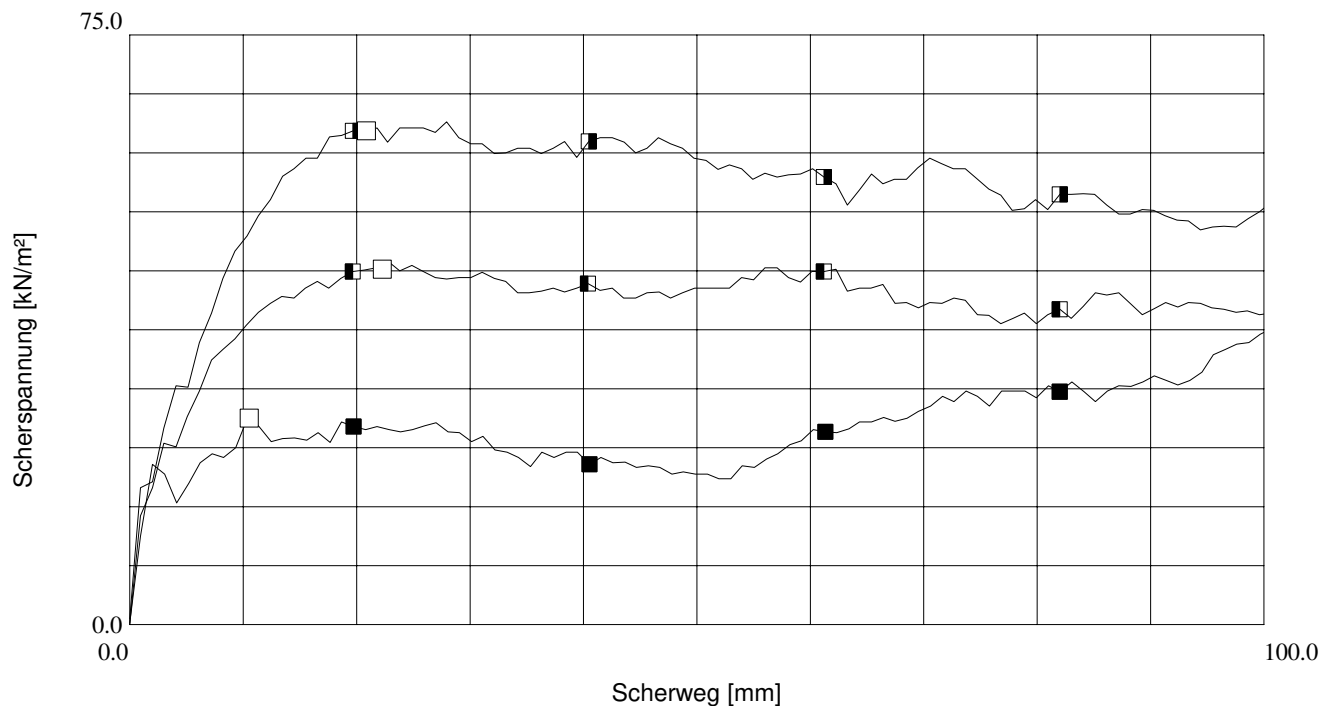
Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	---- [°]
Kohäsion	---- [kN/m²]
Korrelation	----

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	17.6	31.2	26.22	10.58	----	----
2	39.4	38.8	45.11	22.33	----	----
3	60.4	60.3	62.78	20.88	----	----

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenschersversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

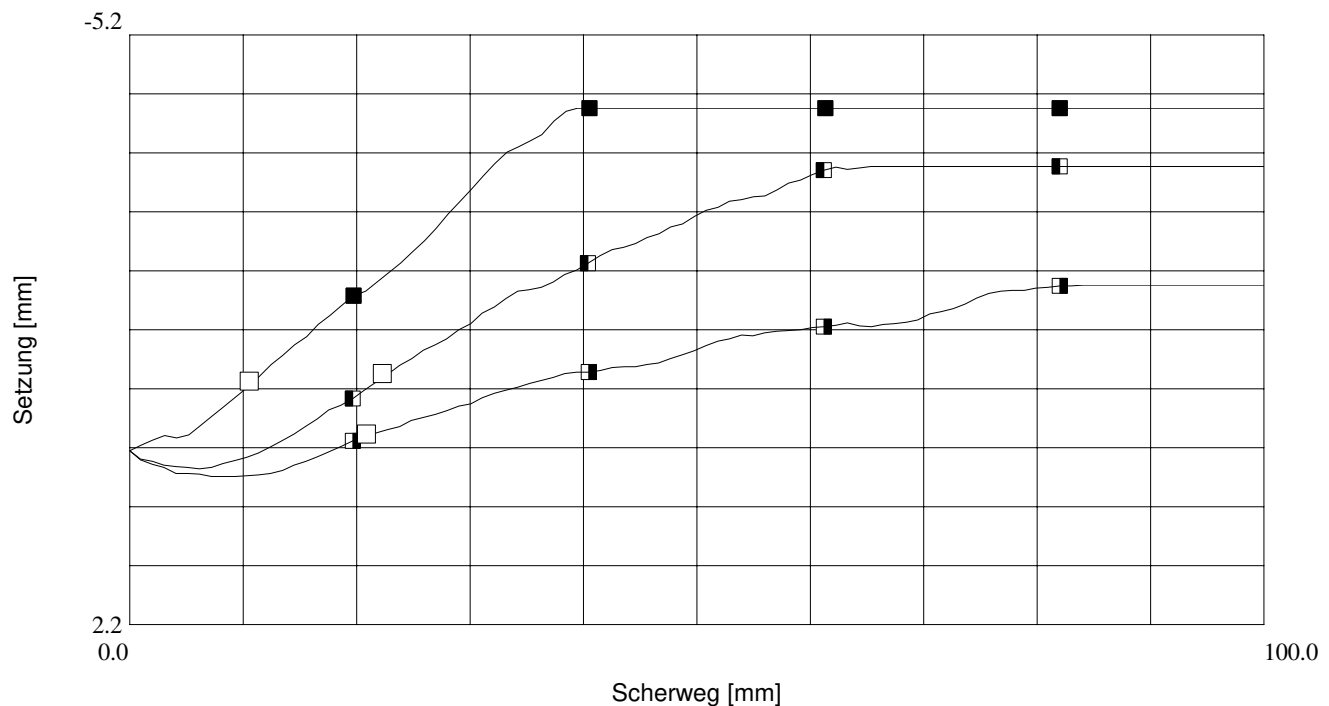
Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag 11.07.2012  
 Bodenart Vlies HaTe B 300 O II // AS 16/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 07/2012  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min
	Bruch	Restsf.				
1	17.6	31.2	900.00	0.67000	----	----
2	39.4	38.8	900.00	0.67000	----	----
3	60.4	60.3	900.00	0.67000	----	----

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag 11.07.2012  
 Bodenart Vlies HaTe B 300 O II // AS 16/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 07/2012  
 ausgeführt von Lo



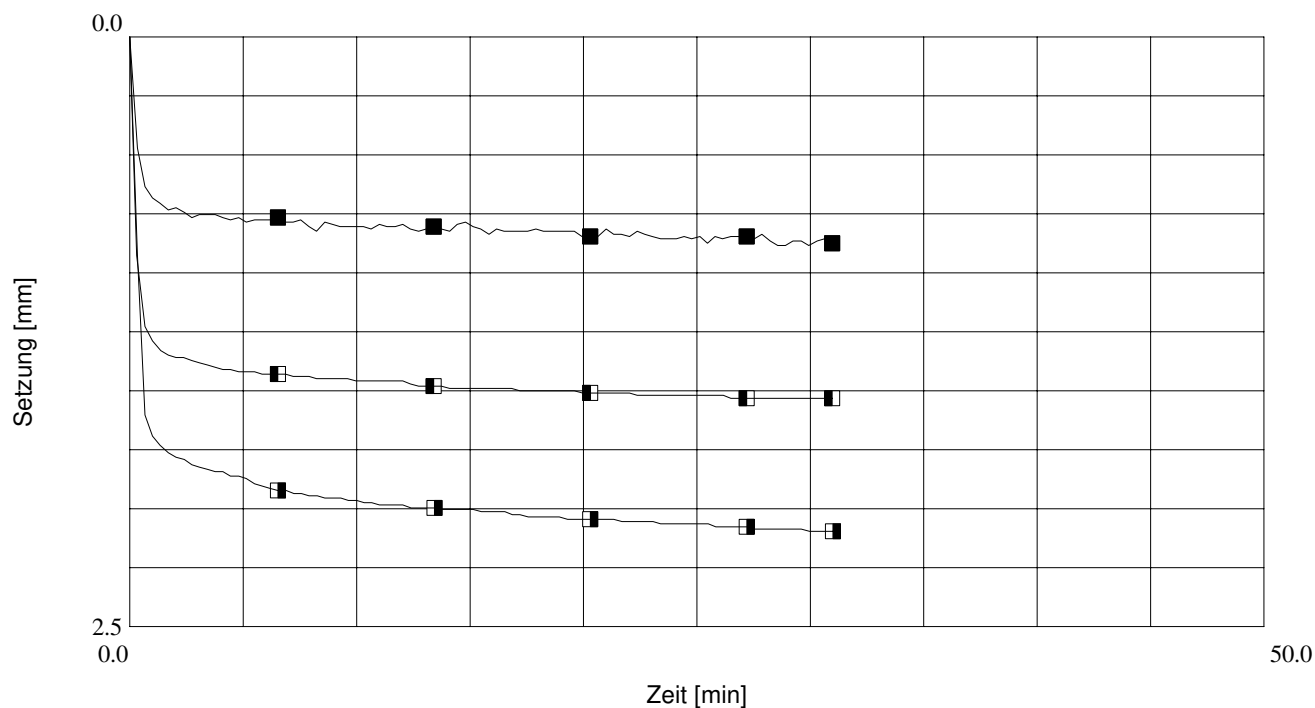
Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
1	17.6	31.2	-0.88	-----	88.39	0.00
2	39.4	38.8	-0.98	-----	87.73	0.24
3	60.4	60.3	-0.21	-----	87.12	0.34

MFPA Weimar  
 FG Geotechnik  
 Coudraystraße 4  
 99423 Weimar

Name 12069ac  
 ProjNr. 50.12.069  
 Anlage 1  
 Projekt GSV Deponie Straubing

## DIREKTER SCHERVERSUCH Rahmenscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle k.A.  
 Entnahmetiefe k.A.  
 Entnahmetag 11.07.2012  
 Bodenart Vlies HaTe B 300 O II // AS 16/32  
 Einbau gestört  
 ausgeführt am 07/2012  
 ausgeführt von Lo



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
1 ■	20	0.86	30	89.25	88.39
2 ■	40	1.52	29	89.25	87.73
3 ■	60	2.08	30	89.20	87.12

## **Anlage 3.5**

### **Böschungsbruch**

- 3.5.1 Böschungsbruch am Böschungsfuß ZDA II.3
- 3.5.2 Böschungsbruch der Gesamtböschung ZDA II.3
- 3.5.3 Böschungsbruch bei Ansatz minimaler Scherparameter ZDA II.3
- 3.5.4 Böschungsbruch bei Ansatz von Mindestscherparameter der Gesamtböschung ZDA III
- 3.5.5 Böschungsbruch am Böschungsfuß ZDA III
- 3.5.6 Böschungsbruch der Gesamtböschung ZDA III
- 3.5.7 Böschungsbruch bei Ansatz minimaler Scherparameter ZDA III
- 3.5.8 Böschungsbruch bei Ansatz von Mindestscherparametern der Gesamtböschung ZDA III



# Erweiterung ZDA II.3

## Standicherheit der Böschungen 1:3

Böschungsbrech Südostböschung

Gleitkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:

22.0900

Anlage:

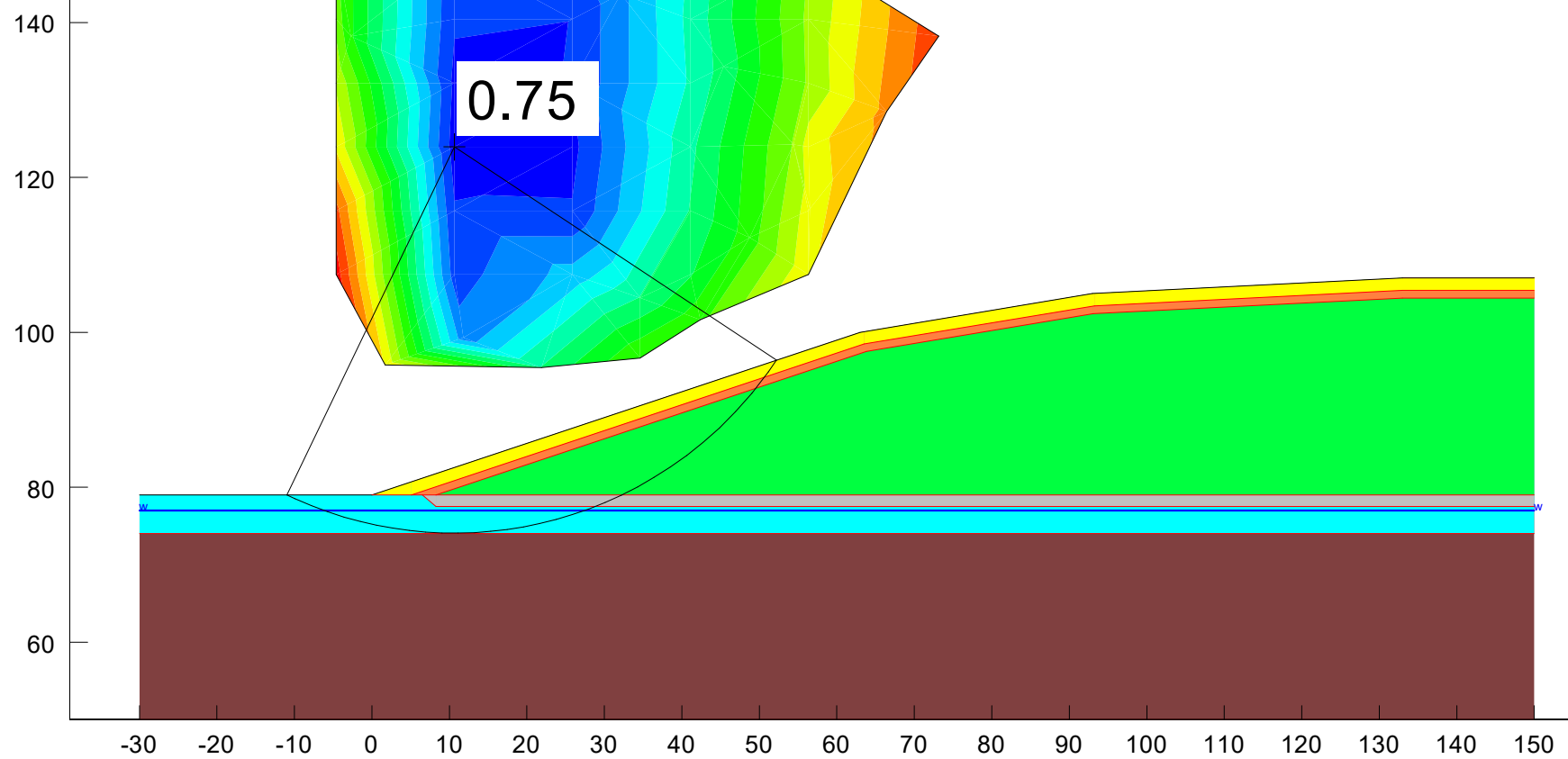
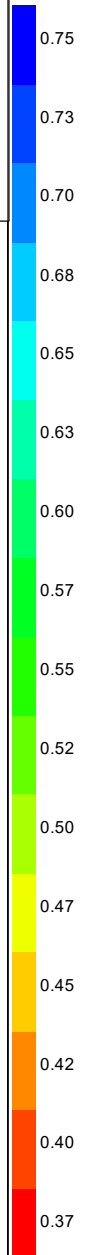
3.5.1



Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	32.50	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest

59 Mittelpunkte definiert.  
638 Gleitkreise untersucht.  
Norm: EC 7  
Ungünstigster Gleitkreis:  
 $\mu_{max} = 0.75$   
 $x_m = 10.63$  m  $y_m = 123.94$  m  
 $R = 49.86$  m  
Teilsicherheiten:  
-  $\gamma(\varphi') = 1.25$   
-  $\gamma(c') = 1.25$   
-  $\gamma(c_u) = 1.25$   
-  $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

200  
180  
160  
140  
120  
100  
80  
60



-30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150

# Erweiterung ZDA II.3

## Standicherheit der Böschungen 1:3

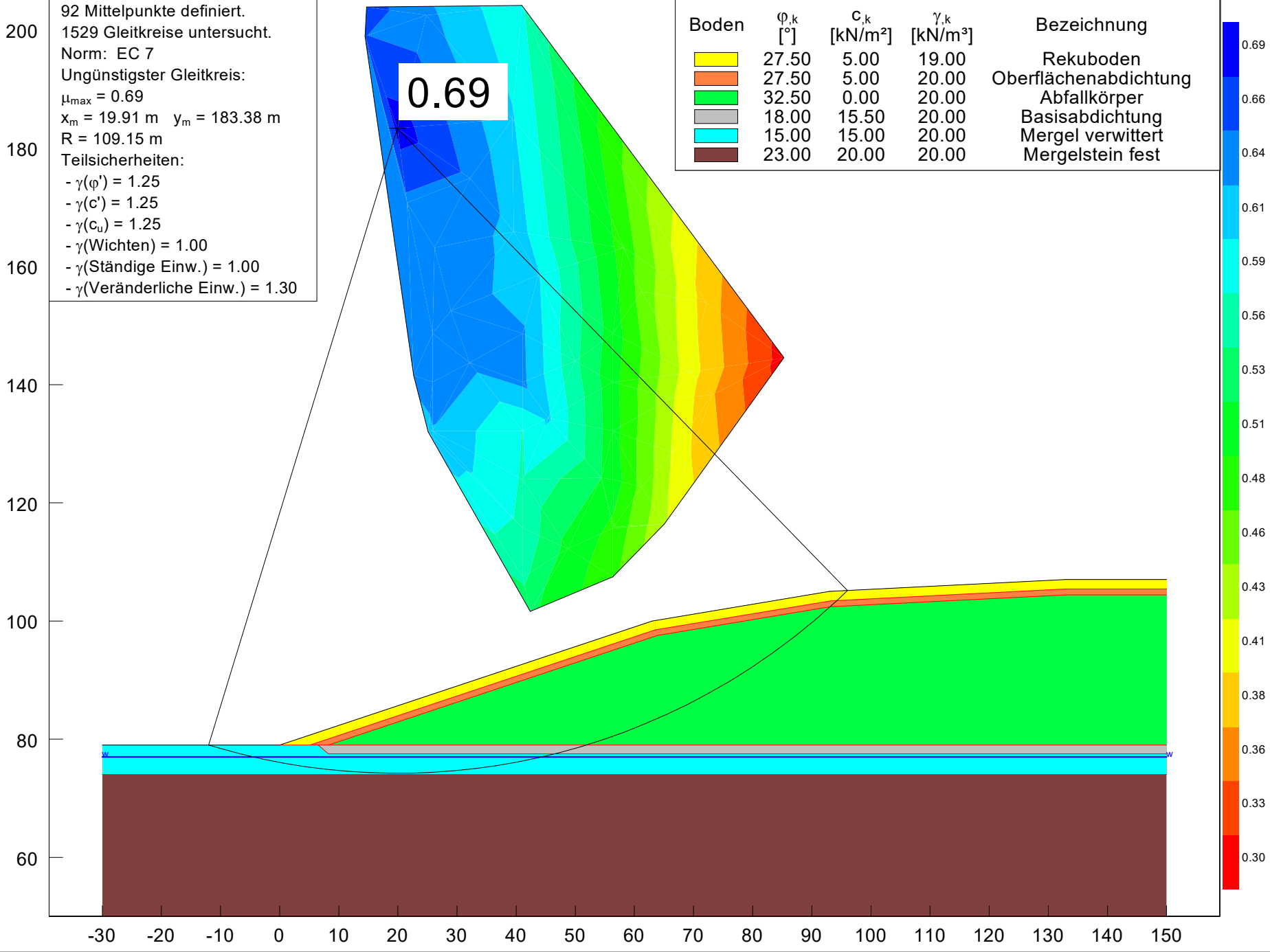
Böschungsbrech Südostböschung  
Gleittkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.2



Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	32.50	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest



92 Mittelpunkte definiert.  
1529 Gleitkreise untersucht.  
Norm: EC 7  
Ungünstigster Gleitkreis:  
 $\mu_{max} = 0.69$   
 $x_m = 19.91 \text{ m}$   $y_m = 183.38 \text{ m}$   
 $R = 109.15 \text{ m}$   
Teilsicherheiten:  
-  $\gamma(\varphi') = 1.25$   
-  $\gamma(c') = 1.25$   
-  $\gamma(c_u) = 1.25$   
-  $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

# Erweiterung ZDA II.3

## Standicherheit der Böschungen 1:3

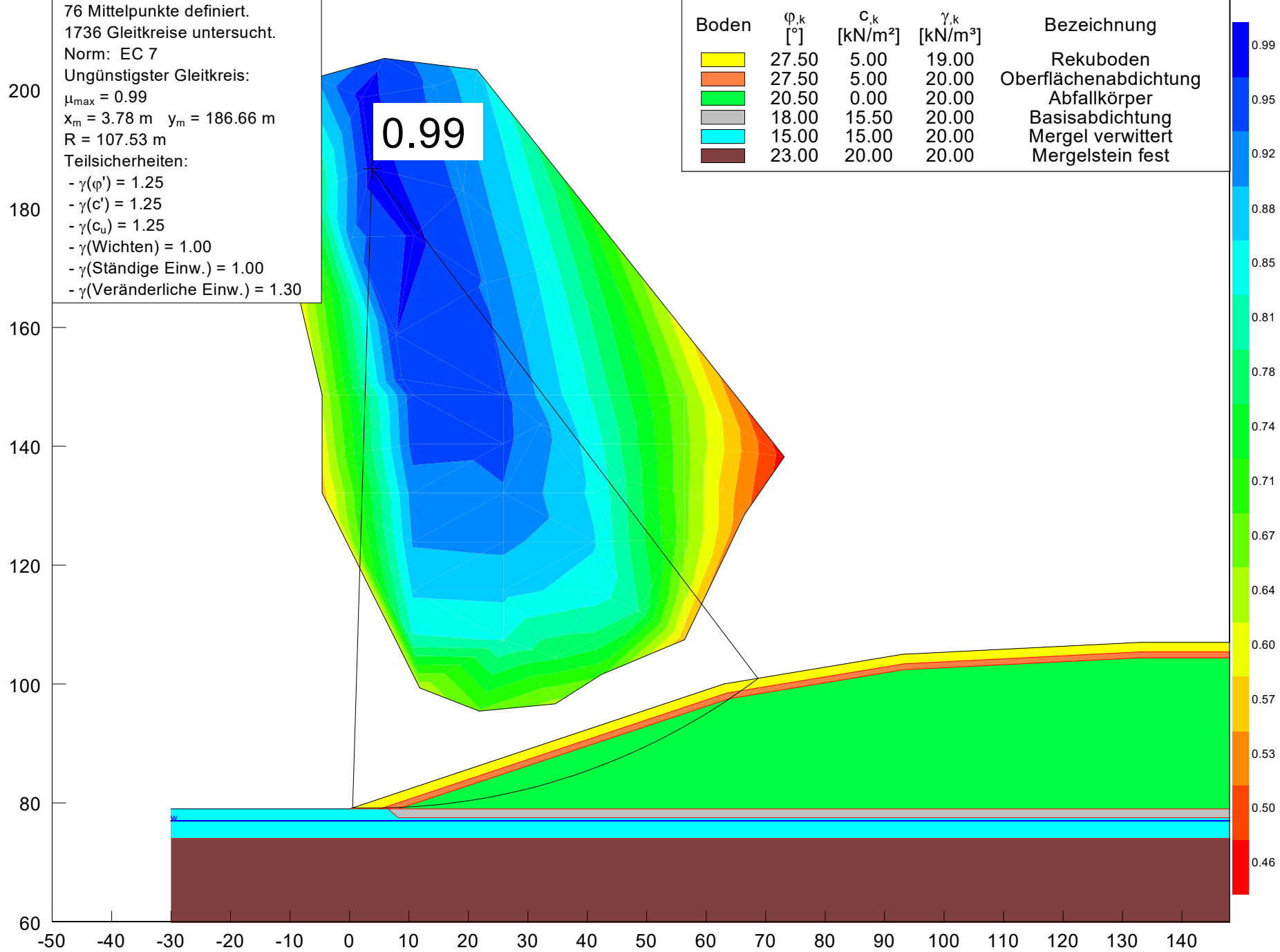
Böschungsbrech Südostböschung min. Scherwinkel Abfallkörper  
Gleittreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.3



Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	20.50	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest



76 Mittelpunkte definiert.  
1736 Gleitkreise untersucht.  
Norm: EC 7  
Ungünstigster Gleitkreis:  
 $\mu_{max} = 0.99$   
 $x_m = 3.78 \text{ m}$   $y_m = 186.66 \text{ m}$   
 $R = 107.53 \text{ m}$   
Teilsicherheiten:  
-  $\gamma(\varphi') = 1.25$   
-  $\gamma(c') = 1.25$   
-  $\gamma(c_u) = 1.25$   
-  $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

0.99

# Erweiterung ZDA II.3

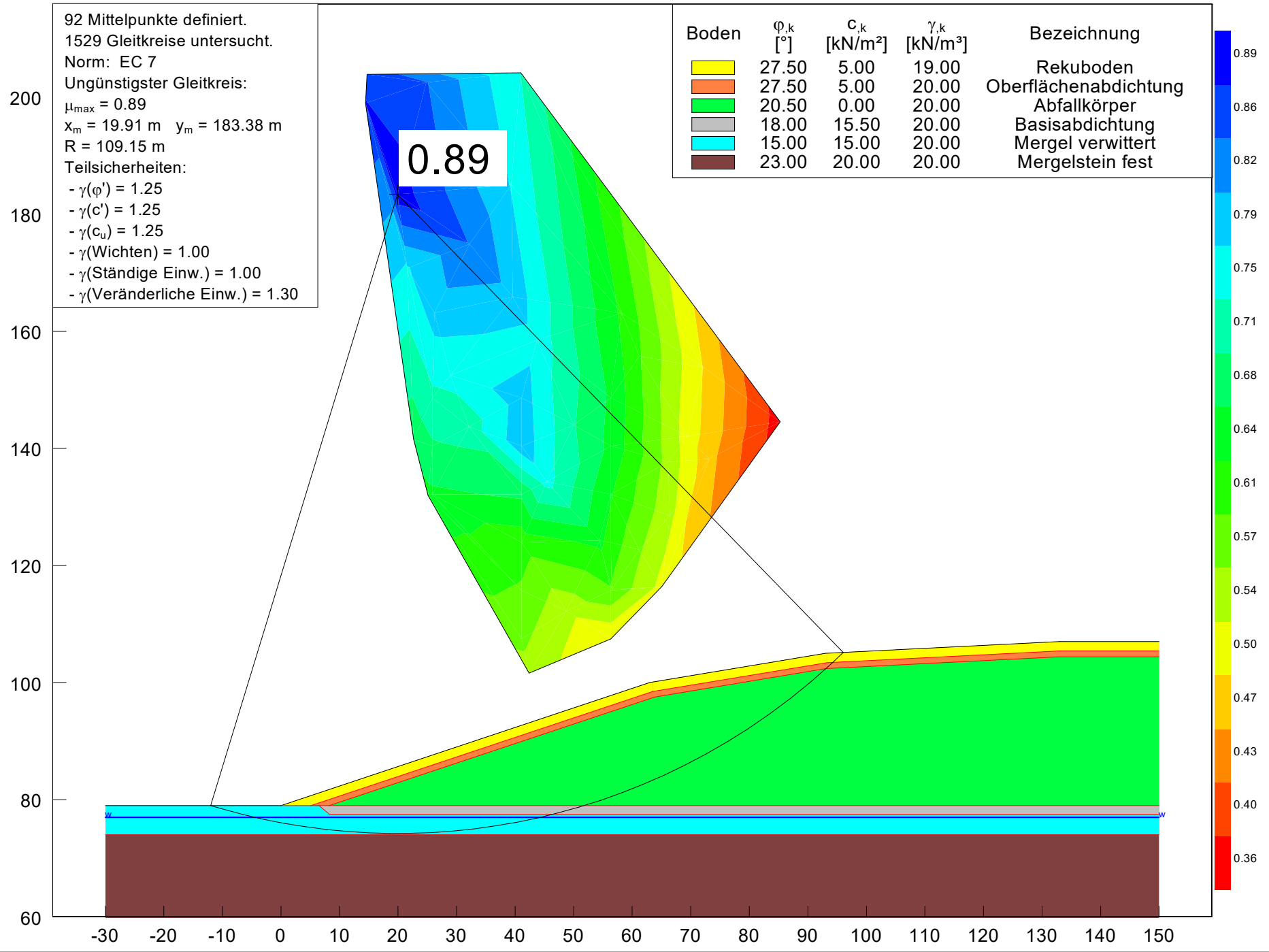
## Standardsicherheit der Böschungen 1:3



Böschungsbrech Südostböschung min. Scherwinkel Abfallkörper  
Gleittreise nach Bishop Bereich Gesamtböschung

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.4



# Erweiterung ZDA III

## Standardsicherheit der Böschungen 1:3

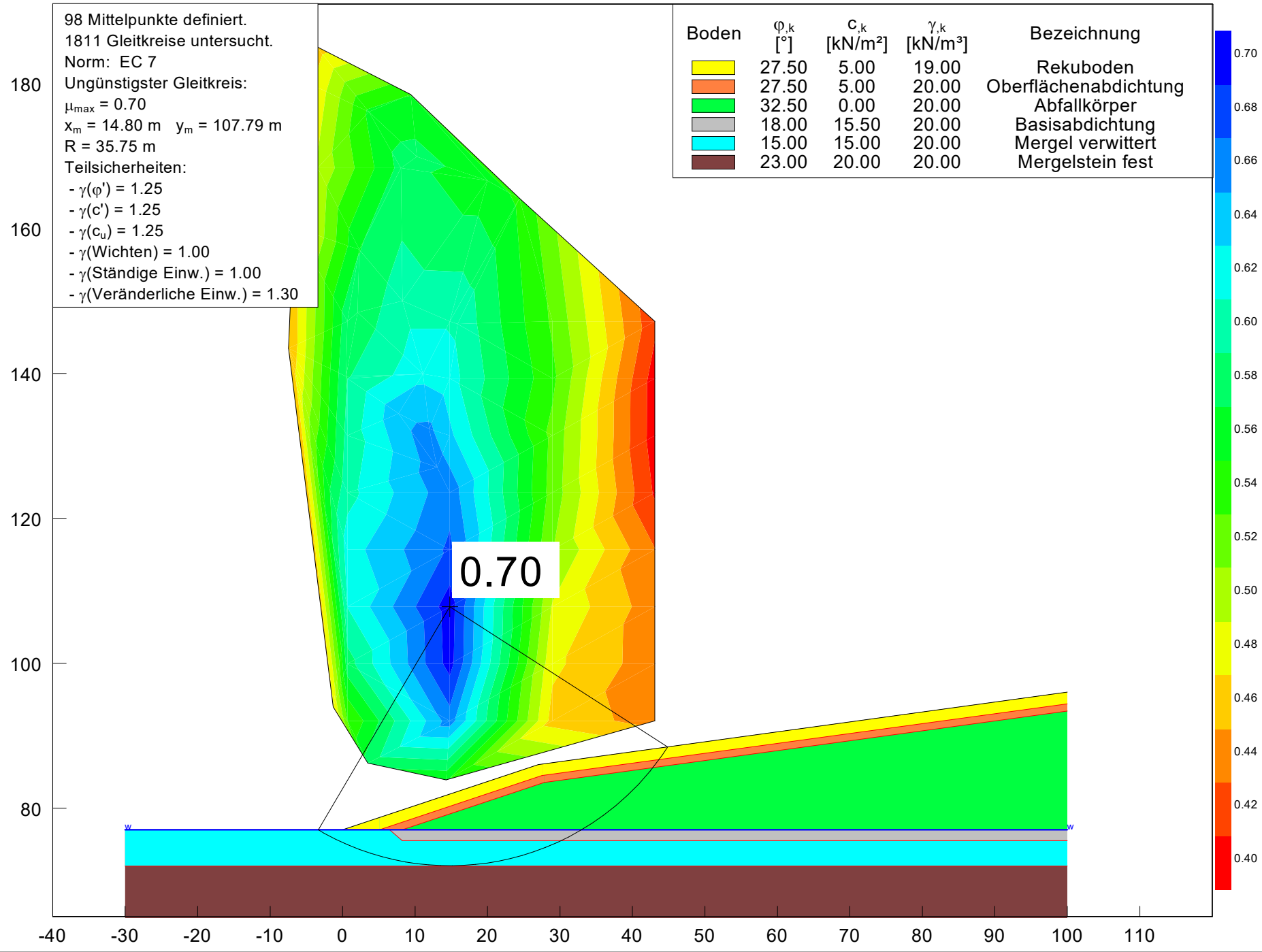


Böschungsbruch Westböschung  
Gleittkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.5

Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	32.50	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest



98 Mittelpunkte definiert.  
1811 Gleitkreise untersucht.  
Norm: EC 7  
Ungünstigster Gleitkreis:  
 $\mu_{max} = 0.70$   
 $x_m = 14.80 \text{ m}$   $y_m = 107.79 \text{ m}$   
 $R = 35.75 \text{ m}$   
Teilsicherheiten:  
-  $\gamma(\varphi') = 1.25$   
-  $\gamma(c') = 1.25$   
-  $\gamma(c_u) = 1.25$   
-  $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

0.70

# Erweiterung ZDA III

## Standicherheit der Böschungen 1:3

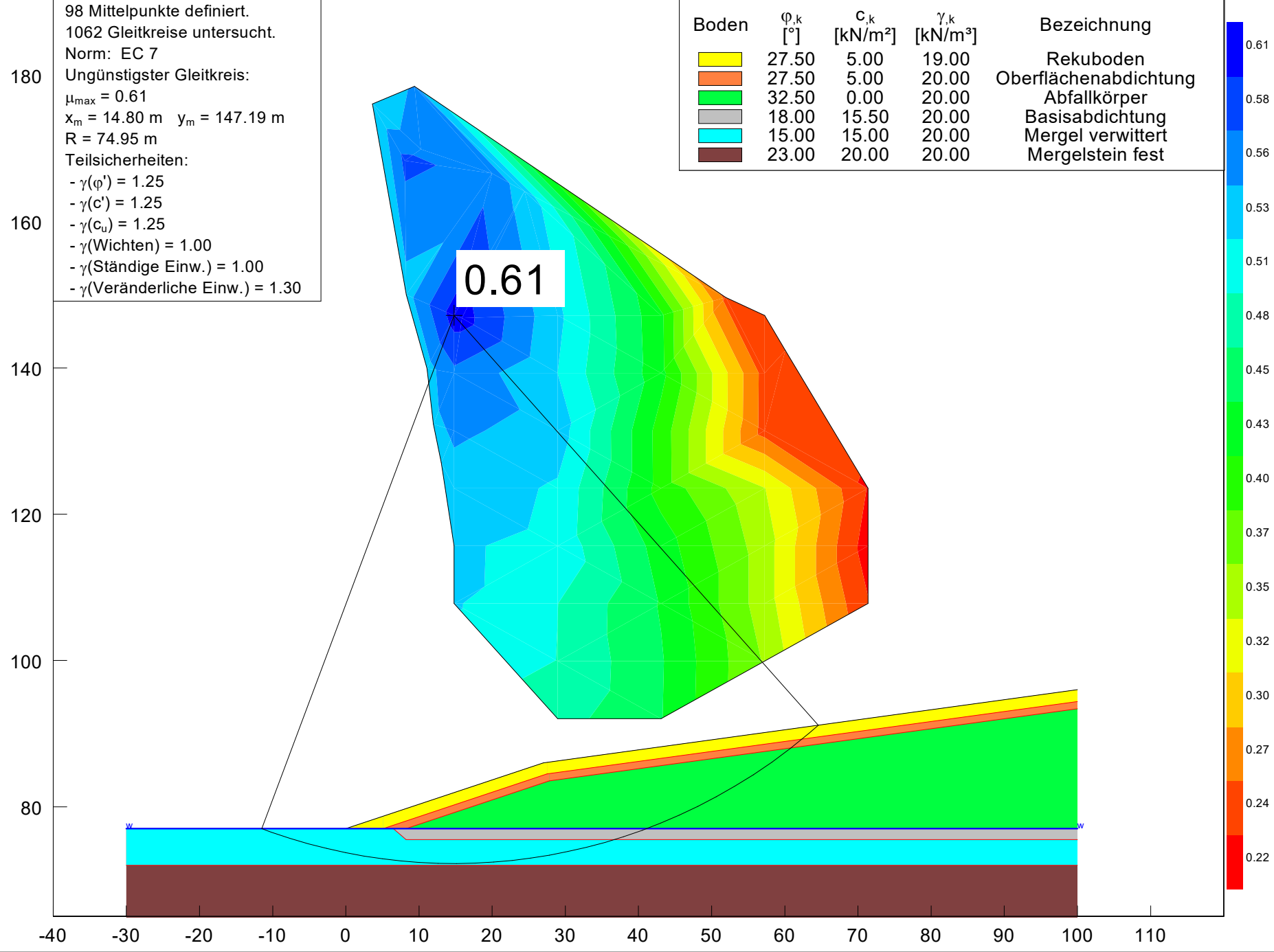


Böschungsbruch Westböschung  
Gleittkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.6

Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	32.50	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest



# Erweiterung ZDA III

## Standardsicherheit der Böschungen 1:3

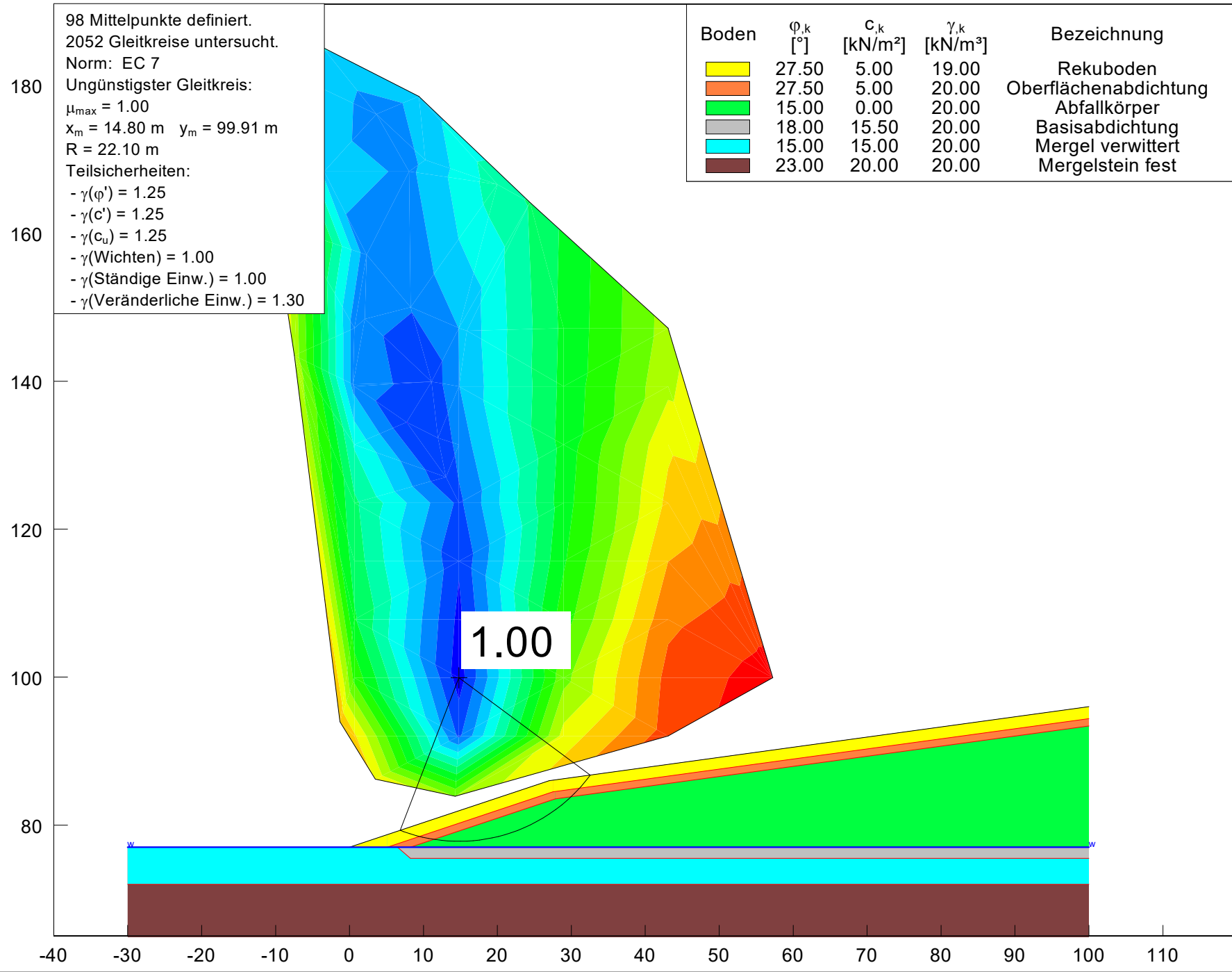
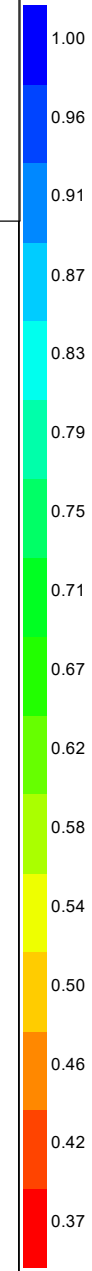


Böschungsbruch Westböschung min. Scherwinkel Abfallkörper  
Gleitkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.7

Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	15.00	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest



1.00

# Erweiterung ZDA III

## Standicherheit der Böschungen 1:3



Böschungsbruch Westböschung min. Scherwinkel Abfallkörper  
Gleittkreise nach Bishop am Böschungsfuß

Proj. Nr.:  
22.0900

Anlage:  
3.5.8

Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Rekuboden
	27.50	5.00	20.00	Oberflächenabdichtung
	15.00	0.00	20.00	Abfallkörper
	18.00	15.50	20.00	Basisabdichtung
	15.00	15.00	20.00	Mergel verwittert
	23.00	20.00	20.00	Mergelstein fest

