

Deponie 6

Errichtung und Betrieb einer Deponie auf dem Werksgelände von ArcelorMittal Bremen

Setzungsberechnungen

Anlage 5 zum Erläuterungsbericht des Antrags auf Planfeststellung

Projekt Nr.
1692

Erstellt im Auftrag von:
ArcelorMittal Bremen GmbH
Carl-Benz-Straße 30
28237 Bremen

02.02.2024

IG Braunschweig GmbH

Berliner Straße 52 J
38104 Braunschweig
Telefon 0531 / 3540460-10
Telefax 0531 / 3540460-99

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Brunswig
Dipl.-Ing. Knut Wichmann

Bankverbindung
Commerzbank
IBAN DE19 2704 0080 0559 9949 00
BIC COBADEFFXXX

Amtsgericht Braunschweig
HRB 200803
St. Nr. 13/209/01759
USt.ID-Nr. DE25 4076 328

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	Veranlassung..... 3
2	Verwendete Unterlagen..... 3
3	Beschreibung der örtlichen Situation..... 4
3.1	Standortbeschreibung 4
3.2	Topographie, Geologie und Hydrogeologie 5
4	Setzungsberechnung..... 6
4.1	System und Belastung 6
4.1.1	Basisabdichtungssystem..... 6
4.1.2	Systemgeometrie..... 6
4.1.3	Bodenmechanische Kennwerte..... 7
4.1.4	Belastung..... 9
4.2	Berechnungen..... 10
4.2.1	Verwendete Software..... 10
4.2.2	Grenztiefe 10
4.2.3	Modellierung des Deponiekörpers für die Setzungsberechnung..... 10
4.2.4	Ergebnisse der Setzungsberechnung 11
5	Bewertung 12

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 5.1: Knoten- und Feldsetzungen, inkl. Ausdruckprotokoll

Anlage 5.2: Setzungsmulde

Anlage 5.3: Setzungsmulde im Schnitt

Anlage 5.4: Setzungen an Deponie 2 im Schnitt

1 Veranlassung

Die ArcelorMittal Bremen GmbH (AMB) plant die Neuerrichtung einer Deponie für Abfälle aus der Stahlproduktion auf dem Werksgelände. Das Werksgelände der AMB liegt im Nordwesten von Bremen am östlichen Ufer der Weser und nördlich der stadtbremischen Häfen. Der vorgesehene Standort der neuen Deponie liegt im Westen des Werksgeländes und grenzt an die bestehende Deponie 2 an.

Für die neue Deponie 6 genannte Deponie steht ein ca. 16 ha großes Areal zwischen der bestehenden Deponie 2 und den östlich davon gelegenen Bahnanlagen zur Verfügung. Die Deponie 6 soll in mehreren Bauabschnitten errichtet werden und langfristig die Entsorgung von Abfällen aus der Stahlproduktion am Werksstandort sichern. Im Auftrage der AMB plant die IG Braunschweig GmbH (IG BS) die Errichtung der neuen Deponie 6 bis einschließlich Erstellung der Genehmigungsplanung.

Die Deponieverordnung (DepV) fordert für die Errichtung neuer Deponien eine Sickerwasserentwässerung im Freigefälle. Gem. GDA-Empfehlung 2-14 [7] darf ein Gefälle längs der Sickerwasserleitungen von 1,0 % zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden. Da durch die Auflast infolge des abgelagerten Deponieinventars Setzungen an der Deponiebasis zu erwarten sind, muss das Gefälle überhöht (> 1,0%) hergestellt werden.

Der vorliegende Bericht umfasst die Setzungsberechnungen zum Vorhaben, aus denen die erforderliche Überhöhung des Basisgefälles hergeleitet wird.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] IGB Ingenieurgesellschaft:
ArcelorMittal Bremen GmbH, Neubau einer Schlacke- und Staubdeponie, geotechnische Standorterkundung, Oldenburg, Juni 2014

- [2] IG Braunschweig GmbH:
Deponie 6, Errichtung und Betrieb einer Deponie auf dem Werksgelände der ArcelorMittal Bremen, 15.01.2024

- [3] ICP Braunschweig GmbH:
Deponie 6, ergänzende Bodenuntersuchungen zur Baugrunderkundung im Rahmen der Genehmigungsplanung, Februar 2017

- [4] Nibis Kartenserver, www.nibis.lbeg.de
ingenieurgeologische Karte, Abruf 10.02.2017

- [5] Umtec Partnerschaft beratender Ingenieure und Geologen:
Polderrandwall Deponie 2, Gutachten zur Baugrundbeurteilung sowie zu Standsicherheitsberechnungen im Bereich der bestehenden Randwälle, Bremen Juli 2008
- [6] Dipl.-Geol. Tilo Nöll, Baugrunduntersuchungen und Gründungsberatung:
Die Deponie 2 der Stahlwerke Bremen GmbH, Hannover Januar 1997
- [7] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT):
GDAOnline - Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke), Empfehlung 2-14: Basis-Entwässerung von Deponien (GDA E 2-14), April 2011
- [8] Normenausschuss Bauwesen (NA Bau) im DIN:
DIN 4019: Baugrund - Setzungsberechnungen, vom Mai 2015 (DIN 4019:2015-05)
- [9] Joachim Drescher:
Deponiebau. Ernst und Sohn, Berlin 1997

3 Beschreibung der örtlichen Situation

3.1 Standortbeschreibung

Das Plangebiet für die geplante Deponie 6 weist eine rechteckige Grundfläche auf und umfasst eine Gesamtareal von ca. 160.000 m². Die Fläche erstreckt sich ca. 440 m in West-Ostrichtung und 390 m in Nord-Südrichtung.

Im Westen grenzt die Deponie an die Randverwallung der bestehenden Deponie 2, einer Deponie für Schlämme aus der Gasreinigung (s. **Abbildung 1**). Die für die Deponie vorgesehene Fläche grenzt im Norden an den sogenannten Rohrdamm. Entlang der südlichen Planungsgrenze verläuft ein mineralisch befestigter Betriebsweg. Die Werksbahn bildet die Abgrenzung der Deponiefläche nach Osten.

Für die Ablagerung von hüttenpezifischen Reststoffen ist die Herrichtung der gesamten o.g. Fläche einschließlich Verkehrswegen und Entwässerungsgräben geplant. Auf die Ablagerung entfällt eine Fläche von ca. 14,3 ha.

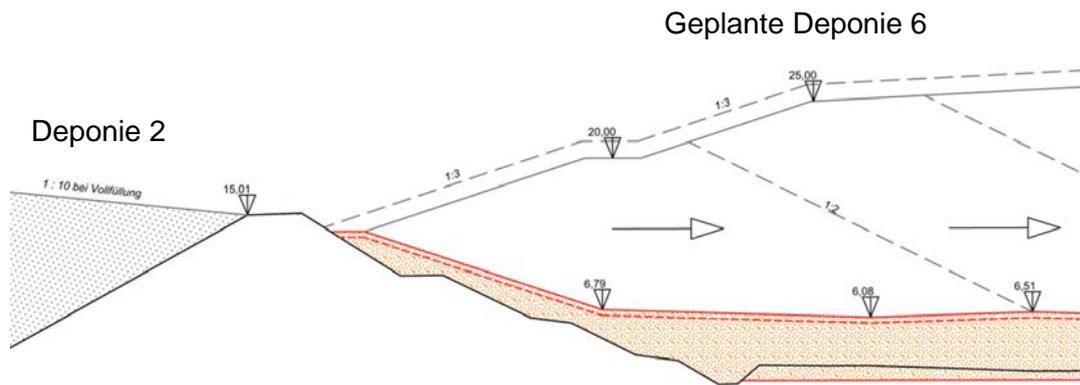


Abbildung 1: Westlicher Deponierand im Verfüllzustand

3.2 Topographie, Geologie und Hydrogeologie

Das Gelände im Standortbereich und im Umfeld ist durchgängig eben ohne natürliche Erhebungen. Die mittlere Geländehöhe liegt nur geringfügig über dem Meeresspiegel, im Mittel bei ca. 1,2 m ü NHN.

Am Standort stehen nach [1], [3] und [4] unter anthropogen geprägten Deckschichten holozäne, fluviatile Gezeitenablagerungen (Klei) überwiegend weicher bis steifer, in oberen Schichten auch breiiger Konsistenz an. Die Mächtigkeit des Kleis kann mit ca. 4 – 6 m beziffert werden. Der Klei wird von Mittelsanden mit z. T. schluffigen sowie fein- und grobsandigen Nebenanteilen (pleistozäne Sande und Kiese, Weserterrasse) unterlagert. Vielfach sind Schlufflinsen und –bänder sowie vereinzelt Holzreste eingelagert. Die Basis der Sande wurde bei den Standorterkundungen nicht erreicht. Die Mächtigkeit der Weserterrasse beträgt 8 – 15 m [5].

Im Liegenden der Weserterrasse folgen bis in größere Tiefen (> 100 m unter GOK) die sogenannten Lauenburger Schichten (Tone und Schluffe).

Der Grundwasserspiegel steht durch den Klei als Grundwasserdeckschicht gespannt an. Das in den Erkundungsbohrungen angeschnittene Grundwasser stieg nach [6] in den Bohrlöchern bis in eine Teufe von ca. 1,0 m unter GOK an.

4 Setzungsberechnung

4.1 System und Belastung

4.1.1 Basisabdichtungssystem

Vorgesehen ist ein Basisabdichtungssystem entsprechend den Anforderungen nach DepV Anhang 1, Deponieklasse II, mit folgenden Systemkomponenten:

- Anstehender Klei, als geologische Barriere, $k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s, $d \geq 1,0$ m
- Geländeaufhöhung und Profilierung in der Qualität einer technischen Barriere
- Mineralische Dichtung (MD) als erste Abdichtungskomponente, $k_f \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s, $d \geq 0,5$ m
- Kunststoffdichtungsbahn (KDB) als zweite Abdichtungskomponente, beidseitig profiliert, PEHD, $d = 2,5$ mm, BAM-zugelassen
- Geotextile Schutzschicht, GRK 5, Mindestflächengewicht $g = 1.200$ g/m²
- Mineralische Entwässerungsschicht, $d = 0,5$ m

4.1.2 Systemgeometrie

Nach dem Abräumen der Vegetation werden aufgeweichte Schichten bis auf ein Niveau von NHN + 0,20 m abgetragen. In der Fläche vorhandene Entwässerungsgräben werden verfüllt. Im Mittel ist ein Abtrag von ca. 1,0 m erforderlich. Die Höhenlage NHN + 0,20 m definiert die OK der geologischen Barriere, sodass eine großflächig ebene Aufstandsfläche für die Deponiebasis geschaffen wird.

Auf der geologischen Barriere wird die technische Barriere in erforderlicher Mächtigkeit errichtet, sodass eine Mindeststärke der technischen Barriere von 1,0 m oberhalb des zu erwartenden höchsten Grundwasserstands an jeder Stelle im Baufeld gegeben ist. Für die genauen Höhen der Deponiebasis sei auf die Planunterlagen [2] verwiesen. Die technische Barriere wird nicht als Systemkomponente modelliert, sondern als Auflast angesetzt. Die in der Berechnung ermittelten Setzungen liegen somit an der Unterkante der technischen Barriere.

Die ebene Aufstandsfläche der Deponie wird über regelmäßig gesetzte Knoten mit gleichem Bodenaufbau modelliert. Die Schichtung ist auf Basis der Erkenntnisse aus den Baugrunduntersuchungen [1], [3] zusammengestellt und wie folgt angesetzt:

- Klei, bis 4,8 m unter Geländeoberkante (u. GOK)
- Weserkies, bis 200 m u. GOK

Wie in **Abbildung 1** dargestellt, wird der östliche Randdamm (Material: Schlacke) der Deponie 2 vom Basisabdichtungssystem der Deponie 6 überbaut und bildet somit den Untergrund für die Westböschung der Deponie 6. Der Randdamm hat seine OK bei ca. NHN + 15,0 m und setzt auf dem Klei auf (bei ca. NHN + 1,0 m). Unter Berücksichtigung des in **Abbildung 1** dargestellten Freibords von $h = 1,5$ m beträgt die Mächtigkeit d der Schlacke an der Westgrenze der Deponie 6 $d = 12,5$ m.

Der Randdamm der Deponie 2 wird ebenfalls von Klei der Mächtigkeit $d = 4,8$ m unterlagert, dieser ist jedoch durch die Auflast der Deponie 2 bereits konsolidiert, was im Steifemodul für die Berechnung berücksichtigt wird. Der Schichtaufbau ab OK Randdamm lautet an der Westgrenze der Deponie 6 somit:

- Schlacke, bis 12,5 m u. GOK
- Klei, konsolidiert, bis 17,3 m u. GOK
- Weserkies, bis 200 m u. GOK

Der Fußpunkt des Randdamms der Deponie 2 liegt ca. 35 m von dessen Krone, an dem sich das westliche Ausbauende der Deponie 6 befindet, entfernt. Dort lautet der Schichtenaufbau:

- Klei, konsolidiert, bis 4,8 m u. GOK
- Weserkies, bis 200 m u. GOK

In Summe sind also 4 Bodenschichten zu modellieren. Diese werden in allen Knoten des Baugrundmodells angezeigt. Falls eine Schicht an einem Knoten nicht vorhanden ist, wird die Dicke d dieser Schicht zu $d = 0$ m angesetzt.

4.1.3 Bodenmechanische Kennwerte

Am Standort ist ein über die gesamte Fläche grundsätzlich gleicher Baugrundaufbau zu finden. Auf Basis der geotechnischen Standorterkundung von Juni 2014 [1] sowie den ergänzenden Bodenuntersuchungen von Oktober 2016 [3] werden für die Setzungsberechnungen die in **Tabelle 1** stehenden Bodenkennwerte für Klei und Weserkiese (Schicht-Nr. 3 und 4) einheitlich für die gesamte ebene Aufstandsfläche angesetzt.

Der Steifemodul wurde in den Untersuchungen von 2016 [3] in insgesamt vier Versuchen in Abhängigkeit der Laststufen ermittelt. Die in der nachstehenden Tabelle angegebenen Steifemoduln sind der rechnerische Mittelwert der in den Einzelversuchen ermittelten Steifemoduln für den Lastbereich 0-800 kN/m². Bei Ermittlung der unten angegebenen Steifemoduln wurde ein Ausreißer-Wert nicht berücksichtigt. Der angegebene Lastbereich wurde abhängig von den im folgenden Kapitel ermittelten Auflasten aus dem Deponiebetrieb gewählt.

Für die Kleischicht wird eine einheitliche Wichte von 7 kN/m^3 gewählt, dies entspricht der höchsten ermittelten Dichte in [3] und liegt somit auf der sicheren Seite.

Durch seinen hohen Wassergehalt (bis zu ca. 200 % nach [3]) ist der angetroffene Klei setzungsempfindlich, da unter Auflast das Porenwasser aus dem Boden gepresst wird, wodurch sich dessen Volumen verringert. Alle untersuchten Proben waren von weicher Konsistenz. Dies entspricht gem. Baugrunderkundungen [1], [3] der mittleren Konsistenz des angetroffenen Kleis.

Die im Randdamm verbaute Schlacke (Schicht-Nr. 1) wurde durch die Fa. Umtec umfangreich untersucht [5]. Der in der **Tabelle 1** angegebene Steifemodul für die Schlacke beruht auf Literaturwerten für vergleichbare Böden.

Der konsolidierte Klei entspricht von der Zusammensetzung dem in den Baugrunderkundungen [1], [3] angetroffenen Klei. Durch die Auflast aus der Deponie 2 ist der Klei jedoch bereits konsolidiert, d.h. das Porenwasser wurde weitgehend aus dem Bodengefüge verdrängt. Für die Wichte werden die Kennwerte aus [1], [5] verwendet. Der Steifemodul ist aus den Versuchen aus [3] hergeleitet: Der konsolidierte Klei ist durch die Deponie 2 bereits durch ca. 300 kN/m^2 belastet ($15 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^2$). Als Steifemodul für den konsolidierten Klei wurde daher der Mittelwert der Laststufe $200\text{-}400 \text{ kN/m}^2$ bei Wiederbelastung gewählt.

Schicht	Schicht-Nr.	Teufenbereich u. GOK	Klassifizierung gemäß DIN 18 196	Steifemodul E_{sk} [MN/m ²]	Wichte und Scherparameter gemäß DIN 1055
Schlacke (Randdamm)	1	0 – 12,5 m	GW	150	$\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$ $\varphi'_k = 40^\circ$
Klei; konsolidiert Schluff, sandig, z.T. Ton, sandig; jeweils mit organi- schen Beimengungen	2	0 – 4,8 m bzw. 12,5 – 17,3 m	OU z. T. OT	Für Lastbereich 200-400 kN/m ² : 14	$\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$ $\varphi'_k = 17,5^\circ$ $c'_k = 18 \text{ kN/m}^2$
Klei; Schluff, sandig, z.T. Ton, sandig; jeweils mit organi- schen Beimengungen	3	0 – 4,8 m	OU z. T. OT	Für Lastbereich 0-800 kN/m ² : 2,56	$\gamma_k = 7 \text{ kN/m}^3$ $\varphi'_k = 17,5^\circ$ $c'_k = 18 \text{ kN/m}^2$
Weserkies	4	bis 200 m		100	$\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ $\varphi'_k = 32,5^\circ$

Tabelle 1: Kennwerte zur bodenmechanischen Bewertung

4.1.4 Belastung

Als Belastung wird angesetzt:

- Auflast resultierend aus der zur Profilierung der Deponiebasis erforderlichen Geländeaufhöhung und dem Basisabdichtungssystem
- Auflast resultierend aus der Kubatur des Deponiekörpers gemäß Planunterlagen inkl. Oberflächenabdichtungssystem

Vorgesehen ist eine Ablagerung vorrangig hüttenspezifischer Abfälle, aber auch von Boden und Bauschutt in geringerem Umfang. Zur Berechnung der Auflast wird für die Geländeaufhöhung sowie die Ablagerung gleichermaßen im Mittel eine Wichte von $\gamma_A = 20,5 \text{ kN/m}^3$ angesetzt. Dies liegt etwas oberhalb der im Mittel erwarteten Wichte des Abfalls von $1,98 \text{ t} (= 19,8 \text{ kN/m}^3)$ [2]. Die Annahme liegt somit auf der sicheren Seite. Für das Oberflächenabdichtungssystem (OFA) wird eine Wichte von $\gamma_{\text{OFA}} = 22,0 \text{ kN/m}^3$ angenommen. Dies entspricht den oberen Grenzen der Bodenwichten von Rekultivierungsböden und Böden für die Trag- und Ausgleichsschicht und liegt somit ebenfalls auf der sicheren Seite.

Die in den Berechnungen berücksichtigten setzungsverursachenden Sohlspannungen entsprechen an den einzelnen Punkten der Auflast, die sich aus der Höhendifferenz zwischen UK technische Barriere und OK Rekultivierungsschicht ergibt. Die maximale Schütthöhe ergibt sich aus den dem Genehmigungsantrag beiliegenden Planunterlagen und beträgt $\text{NHN} + 37,80 \text{ m}$. Die Endhöhe der Deponie ergibt sich unter Berücksichtigung eines Oberflächenabdichtungssystems mit einer Dicke d von $d = 1,5 \text{ m}$ demnach also zu $\text{NHN} + 39,3 \text{ m}$.

Die setzungserzeugende Auflast A ist die Summe aus dem Gewicht der Oberflächenabdichtung und der Geländeaufhöhung inkl. Verfüllung:

$$A = 22,0 \text{ kN/m}^3 \times 1,5 \text{ m} \quad + \quad 20,5 \text{ kN/m}^3 \times h$$

(Anteil OFA) \qquad \qquad \qquad (variabler Anteil aus Schütthöhe Abfall und Basisabdichtung)

Nach dieser Formel beträgt die Auflast A am Punkt bzw. am Grat mit der maximalen Schütthöhe $A = 803,8 \text{ kN/m}^2$. An den Eckpunkten der Berme beträgt die Auflast $A = 443,0 \text{ kN/m}^2$. Somit liegt der überwiegende Teil der durch die Deponie belasteten Fläche – und auch der Bereich mit der größten Auflast und damit der größten zu erwartenden Setzungen - im Lastbereich von $400 - 800 \text{ kN/m}^2$, sodass gem. Tabelle 1 der für eine Belastung bis 800 kN/m^2 gültige Wert für den Steifemodul $E_s = 2,56 \text{ MN/m}^2$ angesetzt wird.

4.2 Berechnungen

4.2.1 Verwendete Software

Die Setzungsberechnungen für die Deponie 6 erfolgten mit dem Programm GGU SETTLE, Version 6.05. Grundlage für die Berechnungen mit diesem Programm ist die DIN 4019 [8].

4.2.2 Grenztiefe

Die DIN 4019 [8] gibt vor, dass die Zusammendrückung des Bodens bis zur sog. Setzungseinflusstiefe t_s berücksichtigt werden muss. Die Setzungseinflusstiefe wird in der Tiefe angenommen, in der die lotrechte Spannung aus setzungserzeugender Last nur noch 20 % der lotrechten Druckspannung aus dem Bodeneigengewicht beträgt.

Davon abweichend empfiehlt DRESCHER [9] für Deponiebauwerke das o.g. Kriterium zur Ermittlung der Setzungseinflusstiefe auf 50 % festzulegen, da andernfalls die Setzungsbeträge oft überschätzt werden. Dieser Empfehlung folgend wird hier die Grenztiefe gem. DRESCHER gewählt.

4.2.3 Modellierung des Deponiekörpers für die Setzungsberechnung

Zur Modellierung des Deponiekörpers wurden im Rechenmodell an den neuralgischen Stellen (Böschungsfuß, Berme, Böschungsschulter, Hochpunkt, Ecken, ...) der Deponie im Endzustand (vollständig verfüllt und mit Oberflächenabdichtungssystem versehen) Knoten erzeugt und miteinander über Dreiecksvermaschung vernetzt. Für jeden Knoten dieses Dreiecksnetzes werden setzungserzeugende Spannungen definiert, die der Spannung resultierend aus der planerischen Schütthöhe zzgl. Oberflächenabdichtungssystem an diesem Punkt entsprechen. Durch das generierte Dreiecksnetz werden sowohl die geplante rechteckig angelegte Deponiegrundfläche als auch die planerische vorgesehene Kubatur der Deponie 6 hinreichend genau abgebildet. Die bestehende Randverwallung der Deponie 2, die überschüttet werden soll, wird in gleicher Art und Weise in der Setzungsberechnung berücksichtigt. Das System ist in Anlage 5.1 dargestellt, aus dem zugehörigen Ausdruckprotokoll können die Annahmen für die Modellierung abgelesen werden.

Da die o.g. planmäßige Endhöhe von NHN + 39,3 m nur erreicht wird, wenn alle 4 Bauabschnitte hergestellt sind und die maximal zu erwartenden Setzungsbeträge relevant sind, wird in der nachfolgenden Setzungsberechnung nur der Endzustand, d.h. die vollständige Verfüllung der Gesamtdeponie, betrachtet:

- Lastfall 1: Endzustand, vollständige Verfüllung der Deponie

4.2.4 Ergebnisse der Setzungsberechnung

Das im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Modell ist in Anlage 5.1 dargestellt und weist ungefähr eine Nordorientierung auf (Deponie 2 grenzt an den linken Rand des Modells). Die in Anlage 5.1 abgebildeten grauen Linien stellen die Dreiecksvermaschung des Baugrunds dar. Die blauen Linien verbinden die Knotenpunkte der setzungserzeugenden Auflast und bilden die Kontur des späteren Deponiekörpers ab. Zu erkennen sind z.B. die Berme, die Böschungen sowie das Plateau. An den Knotenpunkten sowie in Feldmitte sind zudem die dort zu erwartenden Einzelsetzungen angegeben. Die Orte der maximalen Setzung korrespondieren erwartungsgemäß mit dem Bereich der maximalen Schütthöhe/ Überdeckung.

In Anlage 5.2 sind die Setzungen als Setzungsmulde farblich aufbereitet dargestellt. Rote Bereiche markieren Orte hoher Setzungen, blaue Bereiche markieren Orte mit nur geringen Setzungen.

Anlage 5.3 stellt einen Schnitt von Norden nach Süden über eine Feldlänge ($l = 156,0 \text{ m}$ [2]) durch die Setzungsmulde dar. Der dargestellte Schnitt liegt im Bereich der größten zu erwartenden Setzungen und ist so orientiert, dass die Setzungen in Richtung des planmäßigen Längsgefälles vom Hochpunkt zum Tiefpunkt ablesbar sind. Durch den achsensymmetrischen Aufbau der Deponie ist nur die Nordseite im Schnitt dargestellt. Der Schnitt beschränkt sich also auf eine Darstellung der Setzungen vom Hochpunkt in Deponiemitte (dem Ort mit dem größten Setzungen, am rechten Bildrand der Anlage 5.3 dargestellt) zum nördlichen Deponierand. Die zu erwartenden Setzungen sind 1.000-fach überhöht als graue Balken dargestellt und an der y-Achse in cm angegeben, die setzungserzeugenden Spannungen (in kN/m^2) sind oberhalb der Setzungen dargestellt.

Anlage 5.4 zeigt einen Schnitt von West nach Ost im Bereich des Randdamms der Deponie 2. Durch den bereits konsolidierten Untergrund fallen die Setzungen unterhalb des Randdamms deutlich geringer aus als in der restlichen Fläche.

Zur Ermittlung des erforderlichen Gefälles i_{erf} zum Ausgleich der Setzungen ist nicht nur die Setzungsdifferenz Δs interessant, sondern auch der Abstand Δl zwischen den betrachteten Punkten: $i_{\text{erf}} = \Delta s / \Delta l$

Aus den Anlagen ist zu erkennen, dass die Setzungen entlang des Hochpunkts/ Grats der Deponie auf einer Länge von ca. 50 m annähernd gleich groß sind. Bei vergleichbaren Setzungsdifferenzen wird i_{erf} umso größer, je kleiner der betrachtete Abstand Δl ist. Die maßgebliche Setzungsdifferenz baut sich erst auf einer Länge von $\Delta l = 156 \text{ m} - 50 \text{ m} = 106,0 \text{ m}$ kontinuierlich zum Rand ab, sodass die Setzungsdifferenz auf dieser Länge maßgebend für die Festlegung des Mindestgefälles ist. Die Setzungen an diesem Punkt werden nachfolgend s_{res} genannt.

Die maßgebenden Setzungen s ergeben sich wie folgt (vgl. Anlage 5.1):

- $s_{\max} = 191,2$ cm im Zentrum des Deponiekörpers, aber
- $s_{\text{res}} = 187,0$ cm je ca. 50 m nördlich und südlich des Maximums
 $s_{\min} = 7,2$ cm an den Eckpunkten der Deponie.

5 Bewertung

Längsgefälle

Zur Kompensation der zu erwartenden Setzungen ist bei der vorgesehenen Profilierung der Deponiebasis eine entsprechende Überhöhung des Längsgefälles vorzusehen, um das geforderte Mindestgefälle i_{\min} der Entwässerungsstränge in Nord – Süd-Richtung von $i_{\min} = 1,0$ % auch nach Abklingen der Setzungen zu gewährleisten.

Zur Ermittlung der erforderlichen Überhöhung ist die Setzungsdifferenz Δs zwischen dem Setzungsminimum und Setzung am resultierenden Punkt zu ermitteln:

$$\Delta s = s_{\text{res}} - s_{\min} = 187,0 \text{ cm} - 7,2 \text{ cm} = 179,8 \text{ cm} \approx 1,80 \text{ m}$$

Um die erwarteten Setzungen auszugleichen, muss der resultierende Punkt also ca. 1,80 m höher gebaut werden als der Tiefpunkt. Unter Berücksichtigung des Abstands $\Delta l = 106$ m dieser Punkte beträgt das zum Ausgleich der Setzungen erforderliche Gefälle i_{erf} :

$$i_{\text{erf}} = 1,80 \text{ m} / 106 \text{ m} = 1,74 \%$$

Diese Neigung ist erforderlich, um die Setzungsdifferenzen zwischen Tiefpunkt und resultierendem Punkt auszugleichen. Nicht berücksichtigt ist hier bislang, dass nach Abklingen der Setzungen ein Gefälle von min. 1,0 % verbleiben muss. Das planerisch zu berücksichtigende Gesamtgefälle i_{ges} ist daher die Summe aus Mindestgefälle und dem zum Ausgleich der Setzungen erforderlichen Gefälle:

$$i_{\text{ges}} = 1,74 \% + 1,0 \% = 2,74 \%$$

Das Gefälle bei Herstellung der Basis muss demnach mindestens 2,74 % betragen, damit auch während des Deponiebetriebs bzw. nach dessen Abschluss ein Gefälle von min. 1,0 % gewährleistet werden kann.

Sicherheitshalber wird für die Planung ein überhöhtes Gefälle von $i_{\text{ges}} = 2,90$ % gewählt. Dieses ist in den Unterlagen des Antrags [2] bereits berücksichtigt.

Quergefälle

Die Quergefälle der einzelnen Ablagerungsfelder (Quergefälle 3,0 %) sind von diesen Vorgaben nicht betroffen, die Setzungen in Querrichtung sind je Feld etwa identisch, sodass in den Planungen das Mindestgefälle von 3,0 % berücksichtigt wird.

Übergang Deponie 2

Die Setzungen am Übergang zur Deponie 2 betragen nach Anlage 5.4 am Dammfuß ca. 36 cm. Da die Dammkrone der Deponie 2 keine zusätzlichen Belastungen erfährt, ist dies auch der Wert der Setzungsdifferenz zwischen Dammkrone und Dammfuß.

Da der Randdamm jedoch durch den Deponiekörper der Deponie 6 gestützt wird, sind aus den Setzungen resultierende Standsicherheitsprobleme des Randdamms nicht zu besorgen.

Fazit

Die vorliegenden Setzungsberechnungen zeigen, dass das in der Planung vorgesehene Längsgefälle von 2,9 % ausreichend ist, um auch nach Abklingen der Setzungen ein ausreichendes Gefälle zur Entwässerung vorhanden ist.

Braunschweig, den 02.02.2024

IG Braunschweig GmbH

ppa.

Paul Lüneburg, M. Sc.

Setzungsberechnung nach DIN 4019

=====

Setzungen GOK

Grenztiefe mit 50.0 %

"%-Grenztiefe" wurde mit allen Fundamenten bestimmt.

max. Abstand für "%-Grenztiefe" = 500.00 m

Globale Aushubentlastung = 0.00 kN/m²

Grenzabstand = 500.000 m

Bodenkennwerte

Schicht	γ	E_s	$E_s(w)$	ν	Bezeichnung
[-]	[kN/m ³]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[-]	
1	20.00	150.00	150.00	0.000	Schlacke (Randdamm)
2	17.00	14.00	14.00	0.000	Klei, konsolidiert
3	7.00	2.56	11.27	0.000	Klei
4	19.00	100.00	100.00	0.000	Weserkies

Profile

Knoten: 1 x[m] = 0.000 y[m] = 0.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 12.50
2	12.50 - 17.30
3	17.30 - 17.30
4	17.30 - 200.00

Knoten: 2 x[m] = 72.500 y[m] = 0.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 3 x[m] = 143.500 y[m] = 0.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 4 x[m] = 230.500 y[m] = 0.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 5 x[m] = 0.000 y[m] = 162.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 12.50
2	12.50 - 17.30
3	17.30 - 17.30
4	17.30 - 200.00

Knoten: 6 x[m] = 72.500 y[m] = 162.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 7 x[m] = 143.500 y[m] = 162.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 8 $x[m] = 230.500$ $y[m] = 162.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 9 $x[m] = 0.000$ $y[m] = 324.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 12.50
2	12.50 - 17.30
3	17.30 - 17.30
4	17.30 - 200.00

Knoten: 10 $x[m] = 72.500$ $y[m] = 324.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 11 $x[m] = 143.500$ $y[m] = 324.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 12 $x[m] = 230.500$ $y[m] = 324.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 13 $x[m] = 330.000$ $y[m] = 0.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 14 $x[m] = 330.000$ $y[m] = 162.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 15 $x[m] = 330.000$ $y[m] = 324.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 16 $x[m] = 430.000$ $y[m] = 0.000$

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
---------	------------------

1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 17 x[m] = 430.000 y[m] = 162.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 18 x[m] = 430.000 y[m] = 324.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 0.00
3	0.00 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 19 x[m] = 35.000 y[m] = 0.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 4.80
3	4.80 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 20 x[m] = 35.000 y[m] = 162.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 4.80
3	4.80 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Knoten: 21 x[m] = 35.000 y[m] = 324.000

Schicht	Tiefe [m u. GOK]
1	0.00 - 0.00
2	0.00 - 4.80
3	4.80 - 4.80
4	4.80 - 200.00

Inzidenztafel

Dreieck	A	B	C
1	21	9	5
2	21	5	20
3	21	20	6
4	21	6	10
5	10	6	7
6	10	7	11
7	11	7	8
8	11	8	12
9	12	8	14
10	12	14	15
11	15	14	17
12	15	17	18
13	17	14	13
14	17	13	16
15	13	14	8
16	13	8	4
17	4	8	7
18	4	7	3
19	3	7	6
20	3	6	2
21	2	6	20
22	2	20	19

23 19 20 5
 24 19 5 1

Knotenwerte

Nr.	x	y	σ	σ_e	GS	Setzung
[-]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[m]	[cm]
1	0.00	0.00	123.0	0.0	0.00	2.6
2	0.00	324.00	123.0	0.0	0.00	2.8
3	430.00	324.00	123.0	0.0	0.00	7.3
4	430.00	0.00	123.0	0.0	0.00	7.5
5	23.00	47.40	443.0	0.0	0.00	24.7
6	23.00	276.60	443.0	0.0	0.00	25.0
7	380.00	47.40	443.0	0.0	0.00	95.5
8	380.00	276.60	443.0	0.0	0.00	94.8
9	28.00	52.40	443.0	0.0	0.00	27.9
10	28.00	271.60	443.0	0.0	0.00	28.3
11	375.00	52.40	443.0	0.0	0.00	98.9
12	375.00	271.60	443.0	0.0	0.00	98.2
13	50.00	72.40	545.5	0.0	0.00	72.8
14	50.00	251.60	545.5	0.0	0.00	73.1
15	320.00	112.00	803.8	0.0	0.00	187.4
16	320.00	212.00	803.8	0.0	0.00	187.6
17	320.00	162.00	803.8	0.0	0.00	191.8

σ = Spannung

σ_e = Aushubentlastung

GS = Gründungssohle

Dreieckswerte

Nr.	A	B	C	Grenztiefe	Setzung
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[cm]
1	17	15	16	68.05	191.8
2	15	17	13	67.95	174.5
3	13	17	14	65.20	154.8
4	14	17	16	68.06	174.1
5	16	11	12	56.69	133.7
6	11	16	15	62.21	163.1
7	11	13	9	50.07	112.1
8	9	13	14	46.49	56.2
9	15	13	11	59.19	143.2
10	14	10	9	43.21	36.9
11	14	16	10	56.33	141.7
12	12	10	16	56.85	134.1
13	12	11	8	47.66	103.5
14	8	11	7	46.89	102.2
15	7	11	9	47.48	103.8
16	9	5	7	45.65	101.8
17	5	9	10	38.52	31.3
18	10	6	5	37.55	29.9
19	6	10	12	46.62	103.6
20	12	8	6	46.82	102.4
21	8	7	3	36.53	76.0
22	3	7	4	26.08	50.2
23	4	7	5	36.73	76.6
24	5	1	4	26.31	50.5
25	5	6	1	30.60	22.2
26	6	2	1	23.01	14.8
27	6	8	2	36.61	76.6
28	3	2	8	26.21	50.5

Setzungen an selbst gewählten Punkten

x y s
 [m] [m] [cm]

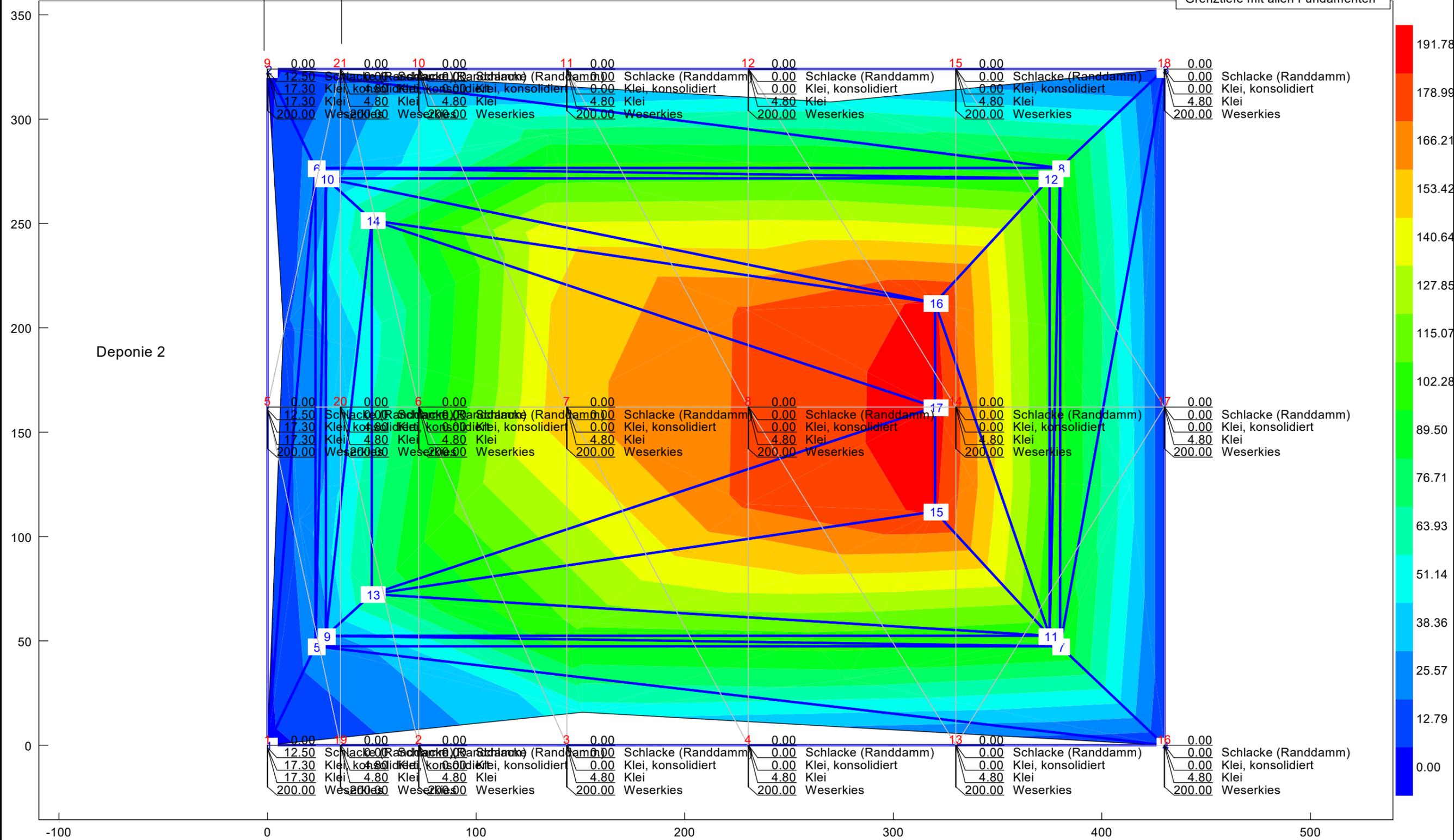
Alle Setzungen

Name	x [m]	y [m]	Setzung [cm]
1	0.000	0.000	2.562
2	0.000	324.000	2.824
3	430.000	324.000	7.282
4	430.000	0.000	7.507
5	23.000	47.400	24.667
6	23.000	276.600	25.020
7	380.000	47.400	95.499
8	380.000	276.600	94.848
9	28.000	52.400	27.906
10	28.000	271.600	28.295
11	375.000	52.400	98.921
12	375.000	271.600	98.218
13	50.000	72.400	72.807
14	50.000	251.600	73.143
15	320.000	112.000	187.377
16	320.000	212.000	187.567
17	320.000	162.000	191.778
1	320.000	162.000	191.779
2	230.000	115.467	174.475
3	140.000	162.000	154.761
4	230.000	208.533	174.116
5	356.667	178.667	133.729
6	338.333	125.467	163.117
7	151.000	59.067	112.144
8	42.667	125.467	56.152
9	248.333	78.933	143.175
10	35.333	191.867	36.927
11	132.667	245.067	141.673
12	241.000	251.733	134.110
13	376.667	200.200	103.499
14	378.333	125.467	102.206
15	261.000	50.733	103.755
16	143.667	49.067	101.836
17	26.333	123.800	31.260
18	24.667	198.533	29.885
19	142.000	273.267	103.585
20	259.333	274.933	102.406
21	396.667	216.000	76.007
22	413.333	123.800	50.168
23	277.667	31.600	76.568
24	151.000	15.800	50.497
25	15.333	108.000	22.200
26	7.667	200.200	14.832
27	134.333	292.400	76.561
28	270.000	308.200	50.497

Lage Dammkrone Deponie 2

Lage Dammfuß Deponie 2

Berechnungsgrundlagen:
 Linien gleicher Setzungen [cm]
 Setzungen GOK
 Grenztiefe mit 50.0 %
 Grenztiefe mit allen Fundamenten



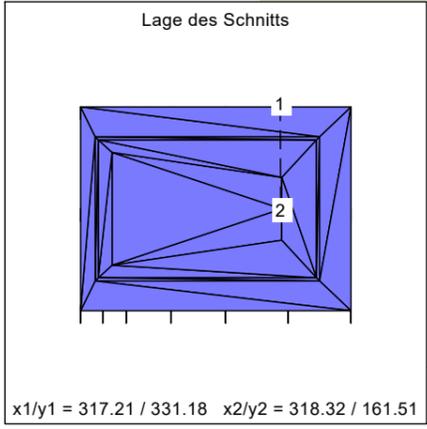
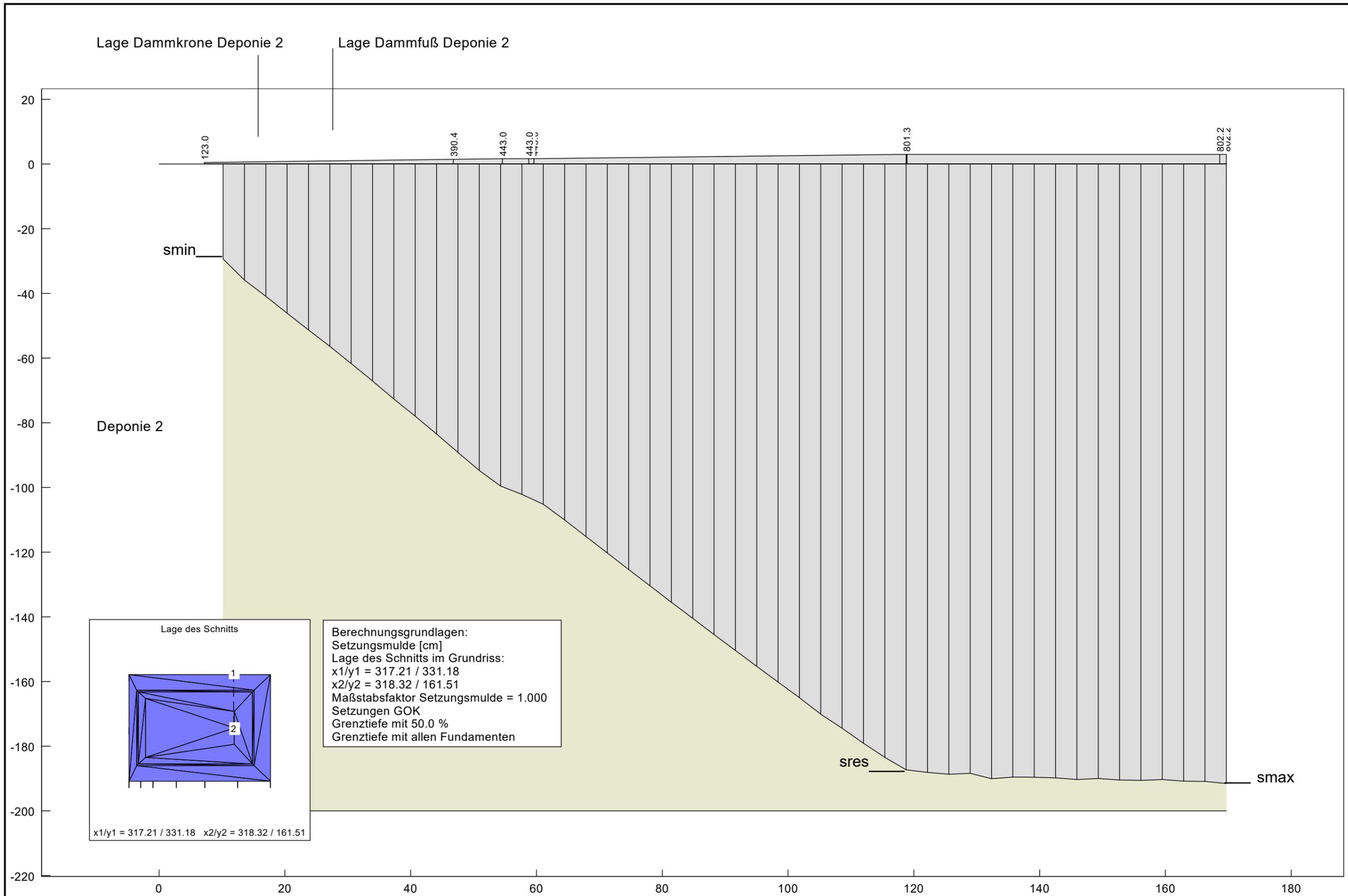
Deponie 2

Schicht	γ [kN/m ³]	E_s [MN/m ²]	$E_{s(w)}$ [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.00	150.00	150.00	0.000	Schlacke (Randdamm)
	17.00	14.00	14.00	0.000	Klei, konsolidiert
	7.00	2.56	11.27	0.000	Klei
	19.00	100.00	100.00	0.000	Weserkies



Projekt: 1692 Neubau Deponie 6
 Setzungsrechnungen

Anlage 5.2 LF 1: Gesamtdeponie
 Verfüllzustand
 Setzungsmulde (farbig)



Berechnungsgrundlagen:
 Setzungsmulde [cm]
 Lage des Schnitts im Grundriss:
 x1/y1 = 317.21 / 331.18
 x2/y2 = 318.32 / 161.51
 Maßstabsfaktor Setzungsmulde = 1.000
 Setzungen GOK
 Grenztiefe mit 50.0 %
 Grenztiefe mit allen Fundamenten

Schicht	γ [kN/m ³]	E_s [MN/m ²]	$E_{s(w)}$ [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.00	150.00	150.00	0.000	Schlacke (Randdamm)
	17.00	14.00	14.00	0.000	Klei, konsolidiert
	7.00	2.56	11.27	0.000	Klei
	19.00	100.00	100.00	0.000	Weserkies

IG Braunschweig GmbH
 Ingenieure und Geologen für
 Geotechnik und Deponietechnik

Projekt: 1692	Neubau Deponie 6 Setzungsberechnungen
Anlage 5.3	LF 1: Gesamtdeponie Verfüllzustand Setzungsmulde im Schnitt