

**Standort/ Vorhaben**  
**Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden**

**Gutachten/ Bericht**  
**Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne**



**Auftraggeber:** ZAK Energie GmbH Dieselstraße 9, 87437 Kempten

**Projekt-Standort:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden

**Auftrag:** Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Auftrag-Nr.:** 2022-02-001

**Bericht-Nr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Umfang:**  
 14 Seiten  
 7 Tabellen  
 1 Abbildungen  
 14 Anlagen

**Erstellt**  
 A. Veigel  
 30.04.2024

**Geprüft**  
 A. Veigel  
 30.04.2024

**Freigegeben**  
 A. Veigel  
 30.04.2024

Inhalt und redaktioneller Aufbau dieses Gutachtens unterliegen urheberrechtlicher Bestimmungen. Die Weitergabe dieses Gutachtens sowie die Verwertung (auch auszugsweise bzw. Anlagen) oder Verwendung für werbliche Zwecke ist nur mit schriftlichem Einverständnis der Geo + Plan Geotechnik GmbH gestattet. Dies gilt auch für Veröffentlichungen (Ausdruck, Internet).

**Information Ablage:** "K:\ZAK Energie GmbH \Steinegaden\Ila\_2022\_02\_001\_Geostatik\B\_Bearbeitung\04\_Berichte\Fachanlagenteil Standsicherheit Deponiewanne.docx

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorhaben, Veranlassung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Vorhaben .....	6
1.2	Veranlassung.....	6
1.3.1	Böschungen aus den Verfüllungen des ehemaligen Kiesabbaus.....	7
1.3.2	Böschungen DK0 Deponie .....	7
1.3.3	Böschungsbereich in natürlich vorkommenden Schichten .....	8
	Planum der Sohlfläche,.....	8
1.3.4	Schichtenaufbau der Basisabdichtung .....	8
<b>2</b>	<b>Böschungshöhen, Böschungsneigungen.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Geotechnischen Kategorie .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Geotechnische Erkundung, Bestimmung von Baugrundkenngößen .</b>	<b>10</b>
4.1	Geotechnische Erkundung.....	10
4.2	Bestimmung der für die Beurteilung und die Berechnung notwendigen Baugrundkenngößen .....	10
<b>5</b>	<b>Standsicherheitsnachweis im Grenzzustand GEO-3 (vormals GZ 1C)</b>	<b>11</b>
5.1	Vorgehen bei der Erstellung des Standsicherheitsnachweises.....	11
5.2	Böschungen der Deponiewanne.....	11
5.3	Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems .....	11
5.4	Bemessungssituationen.....	12
5.5	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände GEO-3.....	13
<b>6</b>	<b>Bodenkennwerte .....</b>	<b>13</b>
6.1	Bodenkennwerte und Scherparameter zur Berechnung der Standsicherheit der Deponiewanne.....	14
6.2	Bodenkennwerte und Scherparameter zur Berechnung der Gleitsicherheit der Schichten untereinander.....	15
<b>7</b>	<b>Kritische Schichtfuge .....</b>	<b>16</b>

<b>8</b>	<b>Kräfte (Einwirkungen und Widerstände)</b> .....	<b>16</b>
8.1	Einwirkungen .....	16
8.1.1	Schubkraft des Bodens durch Eigenlast .....	16
8.1.2	Schubkraft durch Schneelast.....	17
8.1.3	Strömungskraft .....	17
8.1.4	Zusätzliche Schubkräfte durch Befahrung .....	17
8.1.5	Erdbeben.....	18
8.2	Widerstände.....	19
8.2.1	Reibungskraft aus der Bodenauflast.....	19
8.2.2	Reibungskraft aus der Schneeauflast .....	19
8.2.3	Zusätzliche Reibungskraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges.....	19
<b>9</b>	<b>Ermittlung des Auslastungsgrades</b> .....	<b>20</b>
9.1	Bauzustand.....	20
9.2	Zwischenbauzustand (Winter) .....	20
<b>10</b>	<b>Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise</b> .....	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>Bewertung</b> .....	<b>22</b>
<b>12</b>	<b>Hinweise</b> .....	<b>22</b>

## Anlagen

### 1. Lageplan der Deponiewanne mit Darstellung der geologischen Verhältnisse

Anlage 1.1 : Lageplan der Deponiewanne im Maßstab M 1: 1.500

### 2 Standsicherheit der Böschungen der Deponiewanne (Böschungsbruch)

- Anlage 2.1 : Verfüllböschung des Kiesabbaus (Bemessungssituation BS-P, ohne Ansatz Erdbebenlasten) im Maßstab M 1: 500
- Anlage 2.2 : Verfüllböschung des Kiesabbaus (Bemessungssituation BS-P, mit Ansatz Erdbebenlasten) im Maßstab M 1: 500
- Anlage 2.3 : Verfüllböschung des Kiesabbaus (Bemessungssituation BS-T, ohne Ansatz Erdbebenlasten, mit Befahrung) im Maßstab M 1: 500
- Anlage 2.4 : Böschung DK0 (Bemessungssituation BS-P, mit Ansatz Erdbebenlasten) im Maßstab M 1: 750
- Anlage 2.5 : Böschung DK0 (Bemessungssituation BS-T, ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Befahrung) im Maßstab M 1: 750
- Anlage 2.6 : Böschung DK0 (Bemessungssituation BS-T, ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Befahrung, kleinräumig) im Maßstab M 1: 750
- Anlage 2.7 : Böschung DK0 (Bemessungssituation BS-T, ohne Ansatz Erdbebenlasten ohne Verkehrslast) im Maßstab M 1: 750
- Anlage 2.8 : Böschung natürlich anstehende Schichten (Bemessungssituation BS-P, mit Ansatz Erdbebenlasten ohne Verkehrslast) im Maßstab M 1: 500
- Anlage 2.9 : Böschung natürlich anstehende Schichten (Bemessungssituation BS-T, ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Verkehrslast) im Maßstab M 1: 500

### 3. Berechnung der Gleitsicherheit der Schichtkomponenten des Basisabdichtungssystems untereinander

- Anlage 3.1 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere zu Planum
- Anlage 3.1.1 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge 1. Lage ( $\geq 0,25$  m) technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere zu Planum - mit Befahrung
- Anlage 3.1.2 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge 1. Lage + 2. Lage ( $\geq 0,50$  m) technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere zu Planum mit Befahrung
- Anlage 3.1.3 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge 1. Lage + 2. Lage ( $\geq 0,50$  m) technische Ersatzmaßnahme für die Geologische Barriere + Entwässerungsschicht ( $\geq 0,50$  m) zu Planum - mit Befahrung

- Anlage 3.2 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB)
- Anlage 3.2.1 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$  m) ohne Befahrung
- Anlage 3.2.2 : Gleitsicherheitsberechnung Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$  m) mit Befahrung

## Unterlagen

BBG BAUBERATUNG GEOKUNSTSTOFFE GMBH+CO.KG (2012): Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V.

(1997): Geotechnik der Deponien und Altlasten;

(2008): GDA E 2-7 Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen

DIN 1054: 2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

DIN 1055-2:2010-11: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngößen

DIN 4084:2009-01: Gelände- und Böschungsbruchberechnungen

DIN 4149:2005-04: „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“

INGENIEURBÜRO HAAS-KAHLENBERG GMBH

(30.04.2024): Lageplan Deponiewanne im Maßstab M 1: 1.000

(30.04.2024): Längsprofile L1, L2, L3, L4 und L5 im Maßstab M 1: 500

(30.04.2024): Querprofile Q4, Q5 und Q6 im Maßstab M 1: 500

# 1 Vorhaben, Veranlassung

## 1.1 Vorhaben

Der Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) ist der öffentliche Entsorgungsträger (öRE) für die Landkreise Lindau (Bodensee), Oberallgäu und für den Stadtkreis Kempten. Zum öffentlichen Auftrag des ZAK gehört u.a. die Sicherstellung von ausreichendem Deponie-volumen, um nicht verwertbare mineralische Abfälle aus seinem Verbandsgebiet umweltgerecht beseitigen zu können. Die ZAK Energie GmbH, Kempten, ist Genehmigungsinhaberin der Planfeststellung zur Errichtung und Betrieb der DK0-Deponie und der DKI-Deponie Steinegaden. Das verfügbare Volumen der DKI-Deponie Steinegaden wird voraussichtlich im Jahr 2027 erschöpft sein. Zur Absicherung der Entsorgungssicherheit für nicht verwertbaren Boden und Bauschutt sowie asbesthaltigen Abfällen und Mineralfaserabfällen soll die bestehende DKI-Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden nach Süden erweitert und über den Zeitraum 2027 hinaus betrieben werden.

## 1.2 Veranlassung

Für die Böschungen der Deponiewanne ist die Sicherheit gegen Böschungsbruch im Betriebszustand nachzuweisen (Anlage 2). Der vorliegende Fachanlagenteil 10.4.1 umfasst den Standsicherheitsnachweis der Deponiewanne sowie den Nachweis der Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems.

Für das abfallrechtliche Genehmigungsverfahren wurden mit den vorliegenden Unterlagen die notwendigen erdstatischen Nachweise für die Deponiewanne der DK I-Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden erstellt. Dem Gutachten liegen die folgenden Fachanlagenteile zugrunde:

- Nr. 4.1: Lageplan Deponiewanne
- Nr. 5.1-3: Vorhaben in Profilen
- Nr. 7.1: Rekultivierungsplan
- Nr. 12.1: Fachbeitrag Geologie und Hydrogeologie

Daten zu Scherparameter von Schichtfugen sind dem Bericht der geotechnischen Fremdprüfung Nr. 2009-05-03/321-1 zur Standsicherheit der Basisabdichtung der DKI-Deponie, Bauabschnitt IVb1 und IVb2 der Geo + Plan Geotechnik GmbH vom 26.05.2023 entnommen.

## 1.3 Böschungen der Deponiewanne

Zur Herstellung des Planums der Sohlfläche, auf welchem die technische Ersatzmaßnahme aufлагert, erfolgt eine Profilierung. Die Böschungen der Deponiewanne werden in drei Bereiche wie folgt unterteilt:

- Böschungsbereich der Verfüllung des Kiesabbaus (Anlagen 2.1-3)
- Böschungsbereich der DK0-Deponie (Anlagen 2.4-6)
- Böschungsbereich in natürlich vorkommenden Schichten (Anlagen 2.7-9)

### 1.3.1 Böschungen aus den Verfüllungen des ehemaligen Kiesabbaus

Die Böschung im südöstlichen Bereich der Erweiterungsfläche der DKI Deponie Steinegaden sind aus den Auffüllungen des ehemaligen Kiesabbaus und dem darunter liegenden Kies und Geschiebemergel wie folgt aufgebaut (Anlage 2.1-3):

- Auffüllungen des ehemaligen Kiesabbaus (sandiger bis kiesiger, schwach toniger Schluff mit Bauschutt mit Ziegel, Mörtel, Betonbruch, Holzreste, Asphaltbruch)
- Würmeiszeitlicher Kies (sandiger, schwach schluffiger, schwach steiniger Kies)
- Geschiebemergel (feinsandiger bis mittelsandiger, schwach kiesiger Schluff)
- Glazialer Sand / Kies (Feinsand und Kies)

### 1.3.2 Böschungen DK0 Deponie

Die Böschung im nördlichen und westlichen Bereich der Erweiterungsfläche der DKI Deponie Steinegaden sind aus dem Deponat der DK0-Deponie aufgebaut (Anlage 2.4-6). Direkte Aufschlüsse durch den Deponiekörper wurden nicht abgeteuft. Erfahrungen im Rahmen der geotechnischen Fremdprüfung seit 2009 lassen aber darauf schließen, dass es sich bei dem Deponat überwiegend um ein Kies-Sand-Schluffgemisch handelt mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Unterlagert wird die DK0-Deponie von Geschiebemergel und im tieferen Untergrund von glazialen Kies und Sand (Fachanlagenteil 12.1: Anlagen 3 und 4).

### 1.3.3 Böschungsbereich in natürlich vorkommenden Schichten

Die südwestlichen Böschungen der Erweiterungsfläche der DK1 Deponie Steinegaden befinden sich im Bereich von unverritzten Flächen und damit im Bereich von natürlich vorkommenden Schichten. Sie sind wie folgt aufgebaut (Anlage 2.7-9):

- Umgelagertes Verwitterungsmaterial (sandiger, schwach kiesiger bis kiesiger Schluff)
- Würmeiszeitlicher Kies (sandiger, schwach schluffiger, schwach steiniger Kies)
- Geschiebemergel (feinsandiger bis mittelsandiger, schwach kiesiger Schluff)
- Glazialer Sand / Kies (Feinsand und Kies)

### 1.3.4 Planum der Sohlfläche, Schichtenaufbau der Basisabdichtung

Das Planum der Sohlfläche, auf welchem die technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere auflagert, besteht aus mineralischem, qualifiziert eingebautem Profilierungsmaterial (Kies der Bodengruppen GW, GU und gegebenenfalls Geschiebemergel GU\*). Bei entsprechender Eignung kann hierzu auch ertüchtigtes/ nachverdichtetes Deponat der DK0-Deponie verwendet werden. Die Materialien der Kiesabbau-Verfüllung sind im nicht ertüchtigten Zustand hierzu nicht geeignet. Es ist ein Bodenaustausch bis zur ehemaligen Abbausohle notwendig. Alternativ ist nach geotechnischer Prüfung der freigelegten Deponiesohlfläche gegebenenfalls eine Aufwertung von Materialien (Zumischen von Kalk, Zement etc.) und ein lagenweiser Wiedereinbau mit lagenweiser Verdichtung möglich. Zu beachten ist, dass zur Einhaltung der Standsicherheit der Auffüllungsböschung des Kiesabbaus der Bodenaustausch kleinflächig und abschnittsweise (z.B. Breite 2 m) erfolgen muss. Eine breitflächige Freilegung ist nicht möglich. Die Notwendigkeit hierfür im Bereich der DK0-Böschung ist durch die geotechnische Fachaufsicht festzulegen (siehe Abschnitt 12). Bei allen Bodenaustauscharbeiten dürfen die darüber liegenden Böschungsbereiche nicht befahren werden. Die Basisabdichtung ist wie folgt aufgebaut:

Tab. 1: Schichtenaufbau der Basisabdichtung

Benennung der Schicht	Bodenbeschreibung	Schichtdicke
Trennvlies	Filtergewebe (Flächengewicht $\geq 330 \text{ g/m}^2$ )	-
Entwässerungsschicht	Feinkornarmer Grobkies entspr. BQS 3-1	$\geq 0,5 \text{ m}$
Mineralische Schutzschicht/ Sandmatte	siehe Erläuterungsbericht 1.2	$\geq 0,15 \text{ m}$
KDB	beidseitig strukturierte Kunststoffdichtungsbahn mit BAM-Zulassung	2,5 mm
Technische Ersatzmaßnahme für die geologische Barriere	Ton und Schluff entspr. BQS 1-0 Verdichtungsgrad $\geq 95 \%$ der Proctordichte	$\geq 1,0 \text{ m}$ , im Böschungsbereich $\geq 0,5 \text{ m}$

## 2 Böschungshöhen, Böschungsneigungen

### Böschungshöhen und Neigungen

Die Böschungsneigung beträgt  $18,4^\circ$  entsprechend 1:3.

Im Folgenden sind die gerundeten maximalen Böschungshöhen der einzelnen Bereiche zusammengestellt:

- Böschungsbereich der Verfüllung des Kiesabbaus: 10,5 m
- Böschungsbereich der DK0-Deponie: 12,0 m  
unter Berücksichtigung der anschließenden DKI-Deponie: 31,0 m
- Böschungsbereich in natürlich vorkommenden Schichten: 13,5 m

Die für die Gleitsicherheit der technischen Ersatzmassnahme auf dem Untergrund relevante Böschungslänge liegt bei maximal 43 m. Es wird gleichwohl davon ausgegangen, dass der Einbau in mehreren Stufen erfolgt mit dementsprechend kürzeren Längen.

## 3 Geotechnischen Kategorie

Die Deponie ist nach 1054: 2010-12 Tabelle AA.1 Situation 5 (Boden- und Felsdeponien ohne Kontaminationen) der geotechnischen Kategorie GK2 zuzuordnen. Das Deponieplanum der Böschungen ist wegen der Gesamthöhe von bis zu 13 m nach 1054: 2010-12 Tabelle AA.1 Situation 11 (Hänge, Böschungen allgemein bei mehr als 10 m Höhe) der geotechnischen Kategorie GK3 zuzuordnen.

## **4 Geotechnische Erkundung, Bestimmung von Baugrundkenngrößen**

### **4.1 Geotechnische Erkundung**

Entsprechend der Einstufung der geotechnischen Kategorie sind nach DIN EN 1997-2:2010-10 direkte Aufschlüsse erforderlich. Informationen zum geologischen Aufbau des Untergrunds wurden aus dem hydrogeologischen Standortgutachten übernommen. Die Aufschlüsse erfolgten mit Rammkernbohrungen, die bis in den repräsentativen Homogenbereiche der Wechsellagen Geschiebemergel und spätglaziale würmeiszeitliche Kiese abgeteuft wurden. Ebenso konnten über Schurfgruben die Auffüllungen im Bereich des ehemaligen Kiesabbaus im östlichen Teil der Erweiterungsfläche, baugrundgeologisch kartiert werden. Die Sohle der Auffüllungen wurde mit Bohrungen nachgewiesen. Großflächige Aufschlüsse der DK0-Deponie, waren flächenhaft beim Bau der DKI – Deponie im Jahr 2023 vorhanden. Die Nordflanke der DK0-Deponie bis zur Aufstandsfläche (Geschiebemergel) wurde im Jahr 2009, im Rahmen der Errichtung der Basisabdichtung der DKI-Deponie inspiziert. Die DK0 – Deponie besteht demnach überwiegend aus grobkörnigen und gemischtkörnigen Böden.

Die Abweichung der gewählten Bohrabstände von den Beispielen für Empfehlungen von Untersuchungsabständen aus Anhang B.3 DIN EN 1997-2:2010-10 ist aus baugrundgeologischer Sicht entsprechend den nachgewiesenen baugrundgeologischen Verhältnissen gerechtfertigt. Aus diesem Grund wurde auf eine Verfeinerung des Bohrrasters verzichtet. Zur Bestätigung der prognostizierten geotechnischen Verhältnisse ist es zwingend notwendig die spätere Freilegung aller Böschungen der Deponiewanne unter geotechnischer Fachaufsicht mit geotechnischer Aufnahme und Bewertung der anstehenden Schichten durchzuführen.

### **4.2 Bestimmung der für die Beurteilung und die Berechnung notwendigen Baugrundkenngrößen**

Für die Nachweise werden vorläufig Bodenkennwerte der DIN 1055-2 herangezogen. Für die abschließende Berechnung der Standsicherheit bedarf es eines Abgleichs mit den Ergebnissen der geotechnischer Fachaufsicht bei der späteren Freilegung der Böschungen der Deponiewanne (geotechnische Aufnahme und Bewertung der anstehenden Schichten) und der zu späterem Zeitpunkt vorliegenden Eignungsprüfungen für die tatsächlich zur Anwendung kommenden Materialien.

## **5 Standsicherheitsnachweis im Grenzzustand GEO-3 (vormals GZ 1C)**

### **5.1 Vorgehen bei der Erstellung des Standsicherheitsnachweises**

Eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen wird nach DIN 4084:2009-01 eingehalten, wenn die Bedingung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt ist. Der Ausnutzungsgrad  $\mu$  ergibt sich dabei aus dem Verhältnis der Summe der Einwirkungen und der Summe der Widerstände:

$$\mu = \frac{E}{R} < 1$$

Ein Auslastungsgrad von weniger als 1 ist nachzuweisen.

### **5.2 Böschungen der Deponiewanne**

Für die Berechnungen der Sicherheit gegen Geländebruch wurde das Programm DC-Böschung/Win Version 8.42 verwendet. Die Berechnungen erfolgten nach DIN 4084: 2009-1 nach Eurocode 7 mit Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN EN 1997-1, DIN 1054: 2010-12. Der Nachweis erfolgte für den Grenzzustand nach GEO-3 (Gesamtstandsicherheit) mit Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen und Beanspruchungen (DIN 1054: 2010-12: Tabelle A.2.1: GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit) und Teilsicherheitsbeiwerten für geotechnische Kenngrößen (DIN 1054: 2010-12: Tabelle A.2.2: GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit). Die Böschungen treten lediglich während der Bauzeit auf. Nach DIN 1054:2010-12 ist daher die Bemessungssituation BS-T (vorübergehende Bemessungssituation (Bauzustände bei der Herstellung des Bauwerks)) anzusetzen. Gleichwohl wurden wegen der z.T. langen Standzeit der Böschungen auch die Bemessungssituation BS-P bzw. BS-E berechnet. Die Berechnung der Standsicherheit wurde mit Gleitkreisen nach BISHOP als Iterationsverfahren mit variierenden Kreismittelpunkten und Radien durchgeführt.

### **5.3 Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems**

Die Berechnung der Gleitsicherheit der Schichtkomponenten untereinander erfolgte durch Gegenüberstellung der hangabtreibenden Kräfte und der haltenden Kräfte (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V. (2008: GDA E-2-7)) in Anlehnung an DEUTSCHE GE-

SELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V. (2010). Der Nachweis erfolgt in Anlehnung an die Gesamtstandsicherheit im Grenzzustand GEO-3. Beim Nachweis der Gleitsicherheit der Schichtkomponenten in potentiellen Gleitflächen sind die hangabwärts gerichteten Kräfte (Einwirkungen E) den Reibungskräften in der Schichtfuge (Widerstände R) gegenüber zu stellen. Das Abdichtungssystem wird als ganzheitliches Bauwerk interpretiert und nicht als Bauteil. Somit ist der Nachweis entsprechen GEO-3 zu führen. Eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen wird nach DIN 4084:2009-01, Abschnitt 9.1 eingehalten, wenn die Bedingung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt ist.

## 5.4 Bemessungssituationen

Im Rahmen des vorliegenden Nachweises wird von folgender Bemessungssituation ausgegangen (DIN 1054: 2010-12, Seite 19):

### Bemessungssituation BS-T - für den Standsicherheitsnachweis der kurz- und mittelfristigen Standzeit der Deponiewannenböschungen (mit Befahrung):

Vorübergehende Situationen (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen wie z.B.:

- Bauzustände bei der Herstellung eines Bauwerks mit Verkehrslasten
- Bauzustände an einem bestehenden Bauwerk, z.B. Aufgrabungsarbeiten
- Baumaßnahmen für vorübergehende Zwecke, z.B. Baugrubenböschungen

Erdbeben sind bei den vorübergehenden Situationen nicht berücksichtigt.

### Bemessungssituation BS-E:

- Ständige Situationen die den üblichen Nutzungsbedingungen entsprechen unter Berücksichtigung von Erdbeben /angesetzt wegen den langfristig frei stehenden Böschungen)

## 5.5 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände GEO-3

Nach DIN 1054: 2010-12, Tab A.2.1 sind bezogen auf die Bemessungssituationen die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte anzusetzen:

Tab. 2: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen nach DIN 1054: 2010-12: Tab A.2.1:

Einwirkungen bzw. Beanspruchungen		BS-P	BS-T
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G$	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,30	1,20

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände sind DIN 1054: 2010-12, Tab. A.2.2 zu entnehmen.

Tab. 3: Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände nach DIN 1054: 2010-12, Tab. A.2.2:

Einwirkungen bzw. Beanspruchungen		BS-P	BS-T
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens $\gamma_\varphi$	$\gamma_\varphi$	1,25	1,15
Kohäsion $c'$ des Bodens	$\gamma_c$		

## 6 Bodenkennwerte

In folgender Tabelle sind die für die Berechnungen verwendeten Bodenkennwerte und Scherparameter zusammengestellt. Bei den Bodenschichten wurden die Bodenkennwerte nach DIN1055-2 und Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben EAB 2006: Seite 73-79) ermittelt.

## 6.1 Bodenkennwerte und Scherparameter zur Berechnung der Standsicherheit der Deponiewanne

Tab. 4: Angesetzte Bodenkennwerte und Scherparameter zur Berechnung der Standsicherheit der Deponiewanne nach DIN 1055-2

Bodenmaterial	Boden- gruppe  DIN 18196	Boden- klasse  DIN 18300	Lagerungs- dichte/ Kon- sistenz	Wichte erdfeucht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte wasserge- sättigt $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte Unter Auf- trieb $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Reibungs- winkel $\varphi$ [Grad]	Kohäsion  $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Verwitterungs- material	UI, SU*	4	steif	17,0	18,0	18,0	27,5	3
DKI Müllkörper mit techn. Schichten	GW, GU, TA, TM	3, 4	mitteldicht, steif	15,0	16,5	7,0	27,5	1
Müllkörper DK0 Deponie	UL/UM/G U/GU*	3,4	steif bis halbfest	18,5	19,5	9,5	27,5	1
Auffüllungen ehemaliger Kie- sabbau	UL/UM/G U/GU*	3,4	Weich bis steif	17,5	19,0	9,0	24	1
Geschiebe-mer- gel	UL/UM/G U/GU*	4	steif (mittel bis dicht)	19,5	20,5	12,0	27,5	8
Spätglaziale Kiese	GW	3	mittel bis dicht	18,5	21,0	11,0	35,0	1
Spätglaziale Sande	SU, SU*	3, 4	mittel bis dicht	19,0 <sup>1)</sup>	21,0 <sup>1)</sup>	11,0 <sup>1)</sup>	32,5	3

## 6.2 Bodenkennwerte und Scherparameter zur Berechnung der Gleitsicherheit der Schichten untereinander

Auf der Grundlage des Berichtes der geotechnischen Fremdprüfung Nr. 2009-05-03/321-1 vom 26.05.2023 (Bauabschnitt IVb1 und IVb2 der bestehenden DKI-Deponie) wurden die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Bodenkennwerte und Scherparameter zusammengestellt. Die für die Berechnungen angesetzten charakteristischen inneren Reibungswinkel  $\delta_k$  wurden dabei entsprechend GDA 2-7 Seite 5 aus den Reibungswinkeln  $\delta_0$  wie folgt hergeleitet:

$$\tan \delta_k = \frac{\tan \delta_0}{1,1}$$

Die wirksame Kohäsion in der Gleitfuge ergibt sich nach GDA 2-7, Seite 5 zu:

$$c'_k = \frac{c'}{1,3}$$

Tab. 5: Angesetzte Bodenkennwerte und Scherparameter

Bodenmaterial / Schichtübergänge	Boden- gruppe  DIN 18196	Wichte			Reibungs- winkel / Kontaktrei- bungswinkel		Kohäsion	
		erd- feucht	wasser- gesätt.	unt. Auf- trieb	$\varphi_0, \delta_0$ [Grad]	$\delta_k$ [Grad]	$c' ^{1)}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_r$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]				
Entwässerungsschicht	GE	19,0	21,0	11,0	35,0	---	0,2	---
<b>Schichtfuge Entwässerungsschicht zu Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht</b>	---	---	---	---	36,4 - 46,0	33,8 - 43,3	3,5 - 5,4	2,7 - 4,2
Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht <sup>1)</sup>					32,5		0,2	
<b>Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu KDB</b>					26,1 <sup>1)</sup>	24 <sup>1)</sup>	1,95 <sup>1)</sup>	1,5 <sup>1)</sup>
<b>Schichtfuge KDB zu Technische Er- satzmaßnahme betr. die geologi- sche Barriere</b>	---	---	---	---	31,78	29,4	---	---
Technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere	TA/TM	21,0	21,0	11,0	22,95 - 25,6 <b>24,4</b>	<b>22,4</b>	10,5 - 18,19 <b>13,8</b>	<b>10,7</b>
<b>Schichtfuge Planum bzw. Aus- gleichsschicht zu Technische Er- satzmaßnahme betr. die Geologi- sche Barriere</b>	---	---	---	---	24,4	22,4	> 9,0	6,9
Planum bzw. Ausgleichsschicht <sup>2)</sup>	GU/GU*	19,0	21,0	11,0	32,5	30,0	0,2	0,15

- 1) Hinweis: Notwendige Scherparameter in der Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu KDB für eine Böschungsneigung von 1: 3. Die Anforderungen sind wegen der steileren Böschung mit einer Neigung von 1: 3 höher als bei der im BA IVb1 und BA IVb2 (Böschungsneigung maximal 1: 3,5) eingebauten Sandschutzmatte MDDS Fa. G<sup>2</sup>.

## 7 Kritische Schichtfuge

Unter Berücksichtigung der in Tab. 5 aufgelisteten Kontaktreibungswinkel ergeben sich die nachfolgend aufgeführte kritische Schichtfugen:

- **Schichtfuge Planum zu Technischer Ersatzmaßnahme für die Geologische Barriere:**
  - 1. Lage ( $\geq 0,25$  m) technische Ersatzmaßnahme für die Geologische Barriere zum Planum mit Befahrung
  - 1. Lage + 2. Lage ( $\geq 0,50$  m) TEM-GB zum Planum mit Befahrung
- **Schichtfuge mineralische Schutzschicht bzw. Sandschutzmatte zu KDB:**
  - Sandschutzmatte zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$  m) - ohne Befahrung
  - Sandschutzmatte zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$  m) - mit Befahrung

## 8 Kräfte (Einwirkungen und Widerstände)

### 8.1 Einwirkungen

#### 8.1.1 Schubkraft des Bodens durch Eigenlast

Die Schubkraft des Bodens pro laufenden Meter durch Eigenlast errechnet sich aus der Wichte des Bodens  $\gamma$ , der Schichtdicke des Bodens  $d$ , dem Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen  $\gamma_G$  und der Böschungsneigung zu:

$$t_{B,d} = \gamma \cdot d \cdot \gamma_G \cdot \sin\beta$$

### 8.1.2 Schubkraft durch Schneelast

Die Deponie Steinegaden liegt nach DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 in der Schneelastzone 3. Dementsprechend ergibt sich der charakteristische Wert der Schneelast  $s_k$  auf dem Boden nach Bild NA.2 (Geländehöhe ~ 692 m ü. NN bis 703 m ü. NN → Ø 697 m ü. NN) zu 3,84 kN/m<sup>2</sup>. Die Schubkraft der Schneelast errechnet sich pro laufenden Meter aus der Schneelast  $s_k$ , dem Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q$  und der Böschungsneigung  $\beta$  zu:

$$t_{s,d} = s \cdot \gamma_Q \cdot \sin\beta$$

### 8.1.3 Strömungskraft

Aufgrund von Aufstau in der Entwässerungsschicht tritt als zusätzliche hangabtreibende Kraft die Strömungskraft  $s_{w,d}$  auf. Pro Meter Böschungslänge errechnet sich die Strömungskraft aus der Wichte des Wassers  $\gamma_w$ , der mittleren Aufstauhöhe  $h_w$ , dem Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q$  und der Böschungsneigung  $\beta$  zu:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_Q \cdot \sin\beta$$

Eine Aufstauhöhe wird in der undurchlässigen technischen Ersatzmassnahme und in der Schutzschicht rechnerisch nicht angesetzt.

### 8.1.4 Zusätzliche Schubkräfte durch Befahrung

Infolge der Befahrung beim Einbau ergeben sich zusätzliche Schubkräfte. Diese setzen sich aus der statischen Belastung durch die Raupe und die dynamische Belastung durch die Raupe infolge einer Vollbremsung zusammen.

Als Verkehrslast wird eine Kettenraupe mit folgenden Kennwerten angenommen:

- Gewicht  $G_R$ : ..... 20 t
- Kettenbreite  $B_R$ : ..... 0,6 m
- Kettenlänge  $L_R$ : ..... 3,0 m
- Fahrgeschwindigkeit  $v$ : ..... 0,6 m/s (2,2 km/h)
- Bremsverzögerung  $t$ : ..... 2,0 s
- Lastausbreitungswinkel  $\delta$ : ..... 30 °

Die Aufstandsfläche  $A$  errechnet sich aus Kettenbreite  $L_B$ , Kettenlänge  $L_R$ , Schichtdicke des Bodens  $d$  und Lastausbreitungswinkel  $\delta$  zu:

$$A = (2 \cdot L_R \cdot B_R) + (4 \cdot d \cdot \tan 30^\circ \cdot (L_R + B_R))$$

Die Bremsverzögerung  $a_v$  berechnet aus sich aus der Geschwindigkeit der Raupe  $v$  und der Zeit bis zum Stillstand bei Vollbremsung  $t$  zu:

$$a_v = \frac{v}{t}$$

Die Schubkraft aus der statischen Belastung errechnet sich aus dem Eigengewicht der Raupe  $G_R$ , der Aufstandsfläche  $A$ , dem Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q$  und der Böschungsneigung zu:

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

Die Schubkraft aus der dynamischen Belastung (Vollbremsung) errechnet sich aus dem Eigengewicht der Raupe  $G_R$ , der Erdbeschleunigung  $g$ , der Bremsverzögerung  $a_v$ , der Aufstandsfläche  $A$  und dem Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q$  zu:

$$t_{Rd,d} = \frac{((G_R/g) \cdot a_v) \cdot \gamma_Q}{A}$$

### 8.1.5 Erdbeben

Nach DIN 4149:2005-04 liegt der Standort innerhalb der Erdbebenzone 1. Bemessungserdbeben mit Spitzenwerten der Horizontalbeschleunigung treten mit einer Häufigkeit von 475 Jahren auf und sind äußerst selten. Bei der zu beurteilenden Böschungen des Basisabdichtungssystems handelt es sich um einen temporären, kurzfristig existierenden Bauzustand. Aus diesem Grund wird bei der Berechnung beim Bau der Böschung die Erdbeben-Horizontalbeschleunigung nicht angesetzt.

## 8.2 Widerstände

### 8.2.1 Reibungskraft aus der Bodenauflast

Aus der Bodenauflast ( $\gamma \cdot d$ ), der Böschungsneigung  $\beta$ , dem charakteristischen Reibungswinkel der Kontaktfläche  $\delta_k$  sowie dem Teilsicherheitsbeiwert für den Kontaktreibungswinkel  $\gamma_\delta$  ergibt sich die Reibungskraft  $t_{f,d}$  pro laufender Meter Böschungslänge zu:

$$t_{f,d} = \frac{\gamma \cdot d \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta_k}{\gamma_\delta}$$

Entsprechend GDA-Empfehlung 2-7 Seite 5 wird in der kritischen Schichtfuge keine Adhäsion angesetzt. Dies gilt ebenso bei den Berechnungen in den Abschnitten 8.2.2, 8.2.3.

### 8.2.2 Reibungskraft aus der Schneeauflast

Die Schneelast  $t_{s,h,d}$  erhöht die haltenden Kräfte in der Schichtfuge und wird im Endzustand berücksichtigt. Sie errechnet sich aus der Schneelast  $s_k$ , der Böschungsneigung  $\beta$ , dem charakteristischen Reibungswinkel der Kontaktfläche  $\delta_k$  sowie dem Teilsicherheitsbeiwert für den Kontaktreibungswinkel  $\gamma_\delta$  zu:

$$t_{s,h,d} = \frac{s_k \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta_k}{\gamma_\delta}$$

### 8.2.3 Zusätzliche Reibungskraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges

Das Eigengewicht der Raupe führt zu einer Erhöhung der Reibungskraft in der Schichtfuge. Die haltende Kraft errechnet sich aus dem Eigengewicht der Raupe  $G_R$ , der Aufstandfläche  $A$ , der Böschungsneigung  $\beta$ , dem charakteristischen Reibungswinkel der Kontaktfläche  $\delta_k$  sowie dem Teilsicherheitsbeiwert für den Kontaktreibungswinkel  $\gamma_\delta$ :

$$t_{R,h,d} = \frac{(G_R / A) \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta_k}{\gamma_\delta}$$

## 9 Ermittlung des Auslastungsgrades

Zur Ermittlung des Auslastungsgrades werden die Einwirkungen E (Abschnitt 8.1) den Widerständen R (Abschnitt 8.2) gegenübergestellt.

$$\mu = \frac{E}{R} < 1$$

Es wird die Bemessungssituationen BS-T für den Bauzustand und die Bemessungssituationen BS-B für die eingebaute Entwässerungsschicht (Winter mit Schneelast) berechnet.

### 9.1 Bauzustand

Es wird der Auslastungsgrad nach Einbau der ersten Teillage sowie nach Einbau der gesamten Bodenschicht unter Berücksichtigung von Befahrung jedoch ohne Berücksichtigung von Schneelast und ohne Berücksichtigung von Zugbewehrung wie folgt berechnet:

$$\mu = \frac{E}{R} = \frac{(t_{b,d} + s_{w,d}) \cdot L + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot L_R}{t_{f,d} \cdot L + t_{R,h,d} \cdot L_R} < 1$$

### 9.2 Zwischenbauzustand (Winter)

Es wird der Auslastungsgrad nach Einbau der gesamten Bodenschicht mit Berücksichtigung von Schneelast, ohne Berücksichtigung von Befahrung wie folgt berechnet:

$$\mu = \frac{E}{R} = \frac{(t_{b,d} + s_{w,d} + t_{s,d}) \cdot L}{(t_{f,d} + t_{R,h,d}) \cdot L} < 1$$

#### Einwirkungen E

- $t_{b,d}$ : Schubkraft des Bodens durch Eigenlast (Abschnitt 8.1.1)
- $t_{s,d}$ : Schubkraft durch Schneelast (Abschnitt 8.1.2)
- $s_{w,d}$ : Strömungskraft (Abschnitt 8.1.3)
- $t_{Rd,s}$ : Schubkraft aus statischer Belastung der Raupe (Abschnitt 8.1.4)
- $t_{Rd,d}$ : Schubkraft aus dynamischer Belastung der Raupe (Abschnitt 8.1.4)

#### Widerstände R

- $t_{f,d}$ : Reibungskraft aus der Bodenauflast (Abschnitt 8.2.1)
- $t_{s,d}$ : Reibungskraft aus der Schneeauflast (Abschnitt 8.2.2)
- $t_{R,h,d}$ : Zusätzliche Reibungskraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges (Abschnitt 8.2.3)

Beim Standsicherheitsnachweis wird davon ausgegangen, dass die mit Entwässerungsschicht belegte Böschung bei Schneeauflast nicht befahren wird.

## 10 Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise

Die Berechnung der Standsicherheit der Deponiewanne nach BISHOP mit Iteration von Mittelpunkt und Radius unter Ansatz der inneren Reibungswinkel entsprechend Tabelle 5 ergab Auslastungsgrade von < 1 wie folgt:

Tab. 6: Ergebnisse des Standsicherheitsberechnungen zur Sicherheit der Deponiewanne

Bausituation	Bemessungs-situation	Auslastungs-grad $\mu$	Anlage
Verfüllböschung des Kiesabbaus ohne Ansatz Erdbebenlasten	BS-P	0,83	Anlage 2.1
Verfüllböschung des Kiesabbaus mit Ansatz Erdbebenlasten	BS-P	0,99	Anlage 2.2
Verfüllböschung des Kiesabbaus ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Befahrung	BS-T	0,86	Anlage 2.3
Böschung DK0 mit Ansatz Erdbebenlasten	BS-P	0,86	Anlage 2.4
Böschung DK0 ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Befahrung	BS-T	0,73	Anlage 2.5
Böschung DK0 ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Befahrung, kleinräumig	BS-T	0,91	Anlage 2.6
Böschung DK0 ohne Ansatz Erdbebenlasten ohne Verkehrslast	BS-T	0,86	Anlage 2.7
Böschung natürlich anstehende Schichten mit Ansatz Erdbebenlasten ohne Verkehrslast	BS-P	0,59	Anlage 2.8
Böschung natürlich anstehende Schichten ohne Ansatz Erdbebenlasten mit Verkehrslast	BS-T	0,47	Anlage 2.9

Tab. 7: Ergebnisse des Standsicherheitsberechnungen zur Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems

Bausituation	Auslastungs-grad $\mu$	Anlage
Schichtfuge 1. Lage ( $\geq 0,25$ m) technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere zu Planum - mit Befahrung	0,83	Anlage 3.1.1
Schichtfuge 1. Lage + 2. Lage ( $\geq 0,50$ m) technische Ersatzmaßnahme betr. die geologische Barriere zu Planum mit Befahrung	0,77	Anlage 3.1.2
Schichtfuge 1. Lage + 2. Lage ( $\geq 0,50$ m) technische Ersatzmaßnahme für die Geologische Barriere + Entwässerungsschicht ( $\geq 0,50$ m) zu Planum - mit Befahrung	0,73	Anlage 3.1.3
Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$ m) ohne Befahrung	0,86	Anlage 3.2.1
Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineralische Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht ( $\geq 0,5$ m) mit Befahrung	0,97	Anlage 3.2.2

## 11 Bewertung

Der Standsicherheitsnachweis ergab, dass bei allen berechneten Szenarien ein Auslastungsgrad von  $< 1$  nachgewiesen wurde. Die Deponiewanne ist unter Ansatz der o.g. Bodenkennwerte und charakteristischer Scherparameter und bei Verwendung der in Tab. 4 und 5 aufgeführten Materialien entsprechend vorliegenden Planunterlagen als standsicher zu bewerten.

## 12 Hinweise

Zur Bestätigung der prognostizierten geotechnischen Verhältnisse hat die Freilegung der Böschungen der Deponiewanne sowie die Freilegung der Sohlfläche und die notwendigen Bodenaustauscharbeiten zwingend unter geotechnischer Fachaufsicht mit geotechnischer Aufnahme und Bewertung der anstehenden Schichten zu erfolgen. Die Sohlfläche der Deponie ist nach Freilegung im Detail geotechnisch nachzuerkunden. Für die abschließende Berechnung der Standsicherheit bedarf es eines Abgleichs mit den Ergebnissen der geotechnischer Fachaufsicht bei der späteren Freilegung der Böschungen der Deponiewanne (geotechnische Aufnahme und Bewertung der anstehenden Schichten) und der zu späterem Zeitpunkt vorliegenden Eignungsprüfungen für die tatsächlich zur Anwendung kommenden Materialien.

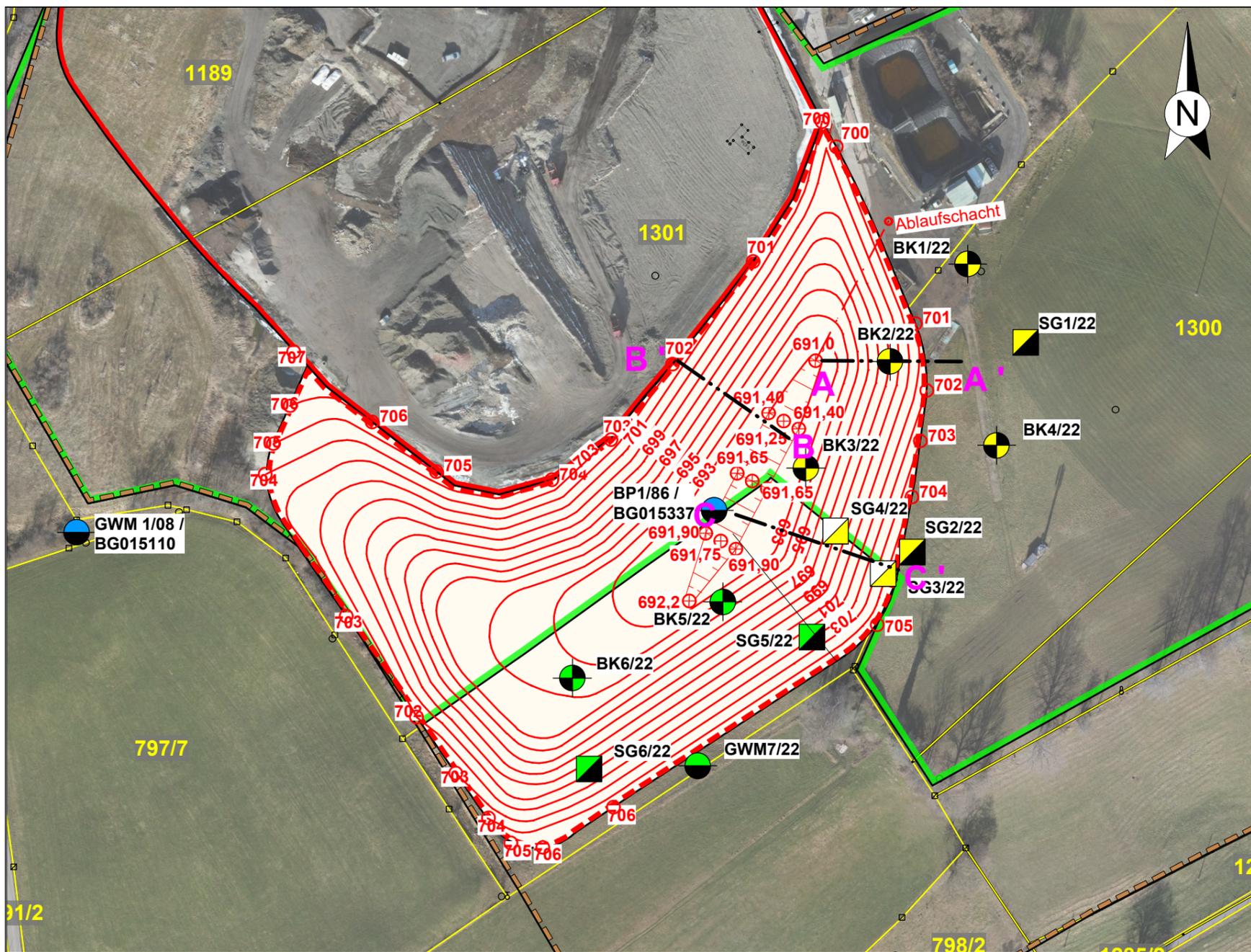
Das Planum der Sohlfläche, auf welchem die technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere auflagert, besteht aus mineralischem, qualifiziert eingebautem Profilierungsmaterial (Kies der Bodengruppen GW, GU und gegebenenfalls Geschiebemergel GU\*). Bei entsprechender Eignung kann für die Errichtung des Planums der Sohlfläche ertüchtigtes/ nachverdichtetes Deponat der DK0-Deponie verwendet werden. Die Materialien der Kiesabbau-Verfüllung sind im nicht ertüchtigten Zustand hierzu nicht geeignet. Es ist ein Bodenaustausch bis zur ehemaligen Abbausohle notwendig. Alternativ ist nach geotechnischer Prüfung der freigelegten Deponiesohlfläche gegebenenfalls eine Aufwertung von Materialien (Zumischen von Kalk, Zement etc.) und ein lagenweiser Wiedereinbau mit lagenweiser Verdichtung möglich. Zu beachten ist, dass zur Einhaltung der Standsicherheit der Auffüllungsböschung des Kiesabbaus der Bodenaustausch kleinflächig und abschnittsweise (z.B. Breite 2 m) erfolgen muss. Eine breitflächige Freilegung ist nicht möglich. Die Notwendigkeit hierfür im Bereich der DK0-Böschung ist durch die geotechnische Fachaufsicht festzulegen. Bei allen Bodenaustauscharbeiten dürfen die darüber liegenden Böschungsbereiche nicht befahren werden.

Die Deponiewannenböschungen werden im Lauf der Deponieverfüllung sukzessive überbaut. Sie sind damit über mehrere Jahre freistehend. Es können sich daher Erosionsrinnen bilden. Bei Bedarf wird ein Schutz der Materialien und eine Erosionssicherung der Böschungen empfohlen. Erfahrungsgemäß ist hierfür eine Spritzbegrünung gut geeignet.

Bad Wörishofen, den 30.04.2024



Geo + Plan Geotechnik GmbH  
Dipl.-Geol. Achim Veigel  
- Geschäftsführer -



**Legende**

- Grenze Planfeststellung, geplante Erweiterung <sup>1)</sup>
- Grenze bestehende DKI-Deponie<sup>1)</sup>
- Grenze geplante Erweiterung DKI-Deponie<sup>1)</sup>
- <sup>1)</sup> Grenzen entsprechend Lageplan Deponiewanne (Plannummer STe01-1-116\_G) vom 22.01.2024 des Ingenieurbüro Haas-Kahlenberg
- Grenze genehmigter Abbau entsprechend Abbauplan, Stand 28.06.1976
- Umgriff ehemaliger Kiesabbau (Oberkante Abbauböschung) mit genehmigter Wiederverfüllung - schematisch
- 1301 Flurstücksnummern gelb
- Flurstücksgrenzen gelb
- Höhengleichen Deponiewanne Erweiterungsfläche [m ü. NHN]



**Datengrundlage**

- Gert Wegner freier Gartenarchitekt BDL
- Abbauplan (Stand 28.06.1976) mit Grundstücksgrenzen und Geländezustand Februar 1974 (übersendet von Fa. Wilhelm Geiger GmbH & Co. KG perE-Mail am 09.02.2022)
- Ingenieurbüro Haas-Kahlenberg GmbH & Co. KG
- Grenzen entsprechend Lageplan Deponiewanne (Plannummer STe01-1-116\_G) vom 22.01.2024 des Ingenieurbüro Haas-Kahlenberg
- Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung:
- Digitale Flurkarte
  - Digitales Orthophoto (Aufnahmedatum 03.07.2022)
- Landesamt für Umwelt:
- Lage und Bezeichnung (Objekt-ID) der Bohrungen aus dem UmweltAtlas Bayern
- Geiger Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG
- Digitales Orthophoto für den Bereich der Bestandsdeponie, der Erweiterungsfläche sowie dem näheren Umfeld (Drohnenbefliegung vom 29.01.2024)
- Anmerkung:
- Koordinatensystem: UTM32
  - Höhenreferenzsystem: DHHN2016 (Meter über Normalhöhennull 2016): m ü.NHN
  - Bohrergebnisse der Aufschlüsse aus dem Bereich und dem engen Umfeld der Deponie siehe auch UmweltAtlasBayern
  - Bohrungen für welche, entsprechend UmweltAtlas Bayern, keine Schichtdaten vorhanden sind, wurden nicht dargestellt.
  - Neben den dargestellten Bohr- und Schurfdaten sind weitere Bodenuntersuchungen durchgeführt worden. Für weitere Bohr- und Schurfdaten siehe Fachanlagenteil Hydrogeologisches Gutachten

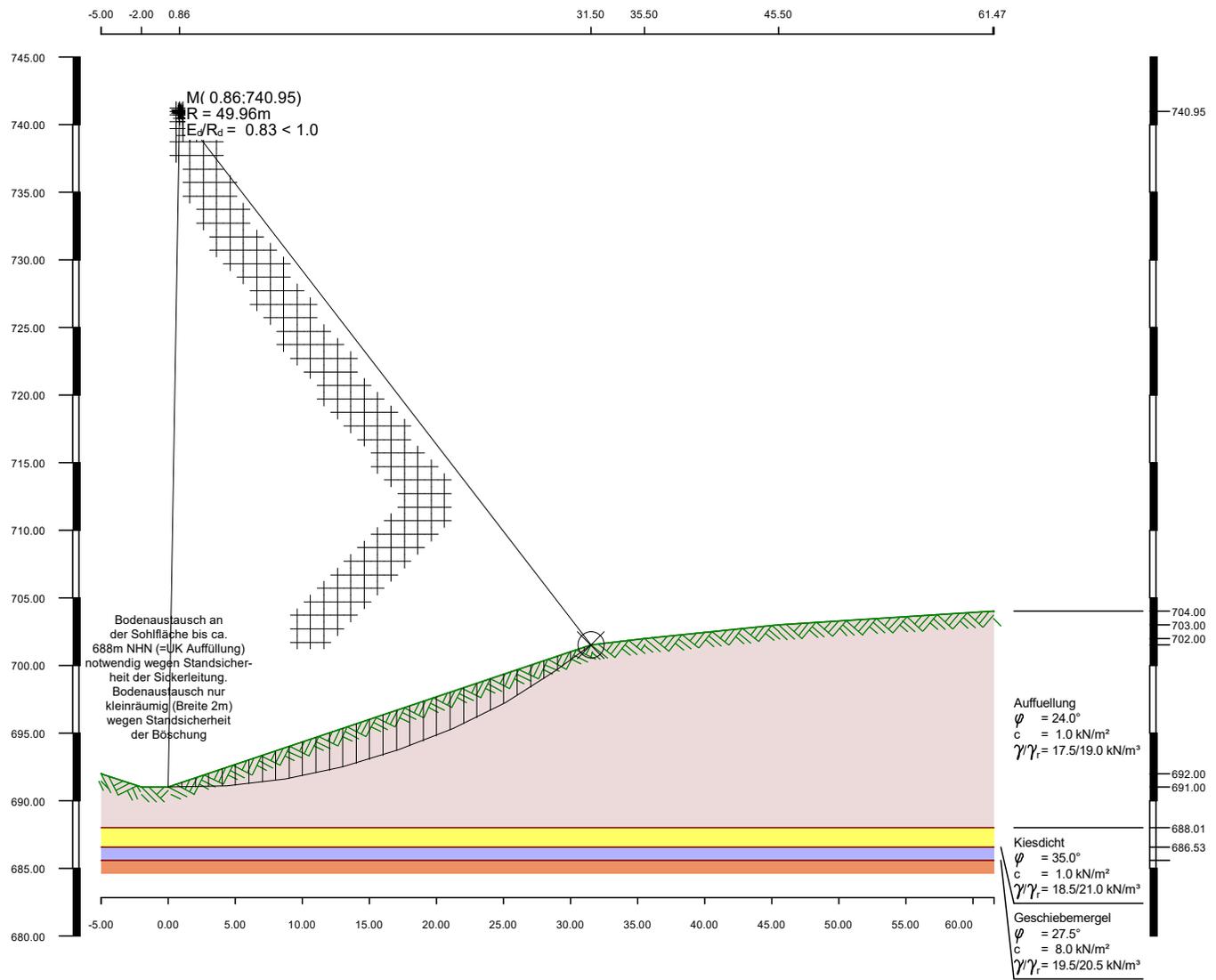
**Aufschlüsse**

- Grundwassermessstelle, errichtet in den Jahren 1986 und 2008
- Grundwassermessstelle, errichtet im Jahr 2022
- GWM 7/22** ← Bezeichnung / Objekt-ID (Objekt ID aus UmweltAtlas Bayern des LfU)
- Bohrung im unverritzten Bereich - abgeteuft im Jahr 2022
- Bohrung im Bereich der Verfüllung - abgeteuft im Jahr 2022
- BK** ← Bezeichnung
- Baggerschurf im unverritzten Bereich - abgeteuft im Jahr 2022
- Baggerschurf im Bereich der Verfüllung - abgeteuft im Jahr 2022
- Baggerschurf im Randbereich des Abbaus - abgeteuft im Jahr 2022
- SG** ← Bezeichnung

**Schnittlagen**

- A** — — — **A'** Berechnungsrelevante Schnitte

<b>PROJEKT-DATEN</b>	PROJEKT: <b>Erweiterung der DKI-Boden- und Bauschutzdeponie Steingaden</b>		PROJEKTNUMMER: 2022-02-001
	AUFTRAG: <b>Standortsicherheitsnachweis der Deponiewanne</b>		
<b>PLAN-INFO</b>	PLANBEZEICHNUNG: <b>Lageplan Deponiewanne mit berechnungsrelevanten Profilschnitten</b>		MAßSTAB: 1:1.500
			ANLAGE: 1.1
<b>LAGE</b>	LANDKREIS: Lindau	GEMEINDE: Röthenbach	GEMARKUNG: Steingaden
	FLURSTÜCK-NR: 779/9, 1300, 1301		
<b>AUFTRAGGEBER / AUFTRAGNEHMER</b>	 <b>Geo + Plan Geotechnik GmbH</b> Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen Tel.: 08247/998-737-0 Fax: 08247/998-737-9 Mobiltel.: 0171/50 10 510 e-mail: a.veigel@geo-planung.de		 <b>ZAK Energie GmbH</b> Dieselstraße 9 87437 Kempten Tel. 0831/25282-0 Fax. 0831/25282-19



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit Böschung Kiesabbau-Auffüllung, Höhe 10,5 m; Böschungsneigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7/ BS-P (permanent)  
 Ohne Ansatz Erdbebenlasten; Bodenaustausch an der Sohlfläche für Rohraufleger wegen Böschungsstandsicherheit nur kleinräumig

**Maßstab :** 1: 500

**Bearbeit.:** 30.04.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

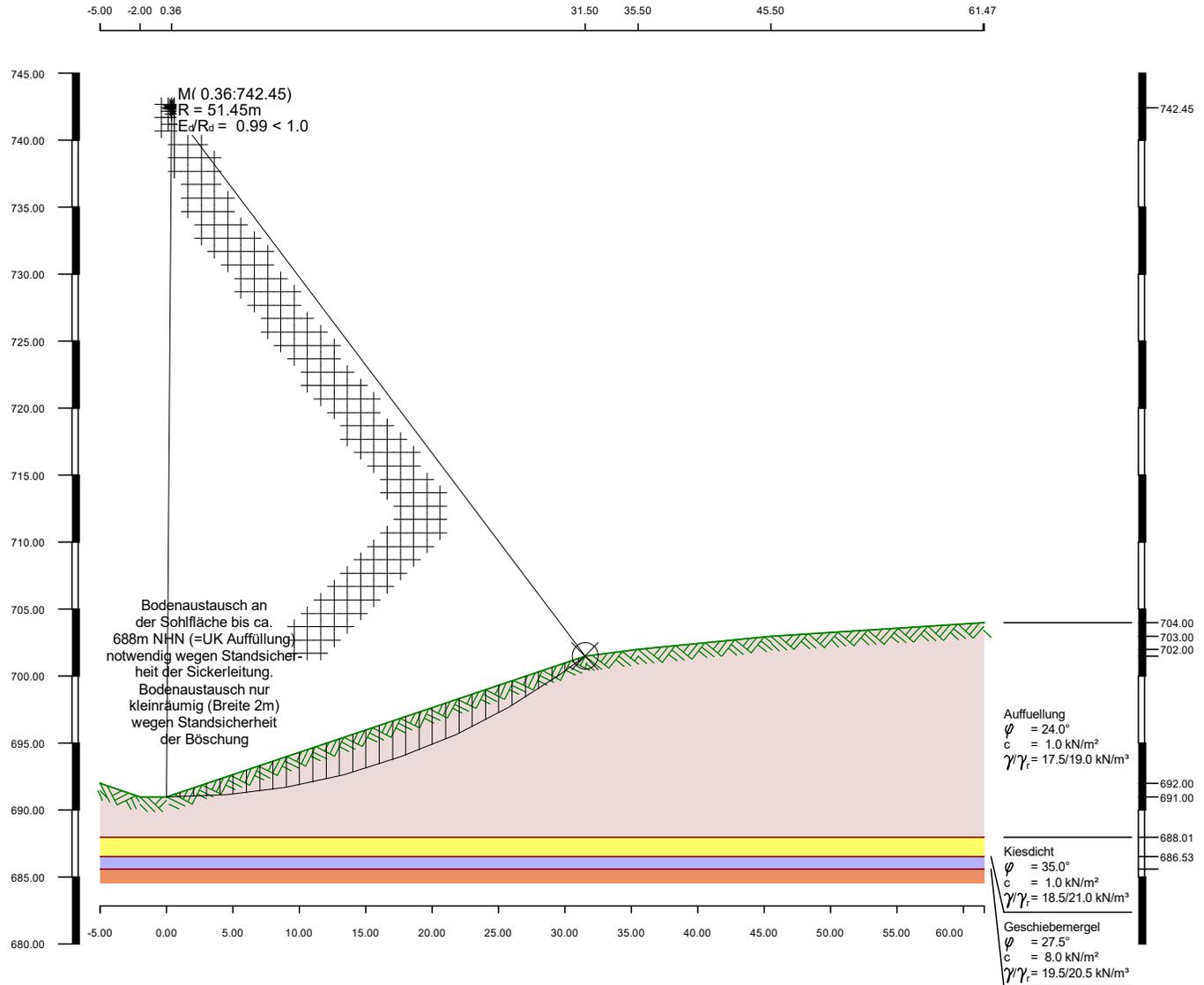
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42



**Anlage: 2.1**



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit Böschung Kiesabbau-Auffüllung, Höhe 10,5 m; Neigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7, BS-P (permanent) mit Ansatz Erdbebenlasten; Bodenaustausch an der Sohlfläche für Rohraufleger wegen Böschungsstandsicherheit nur kleinräumig

**Maßstab :** 1: 500

**Bearbeit.:** 30.04.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

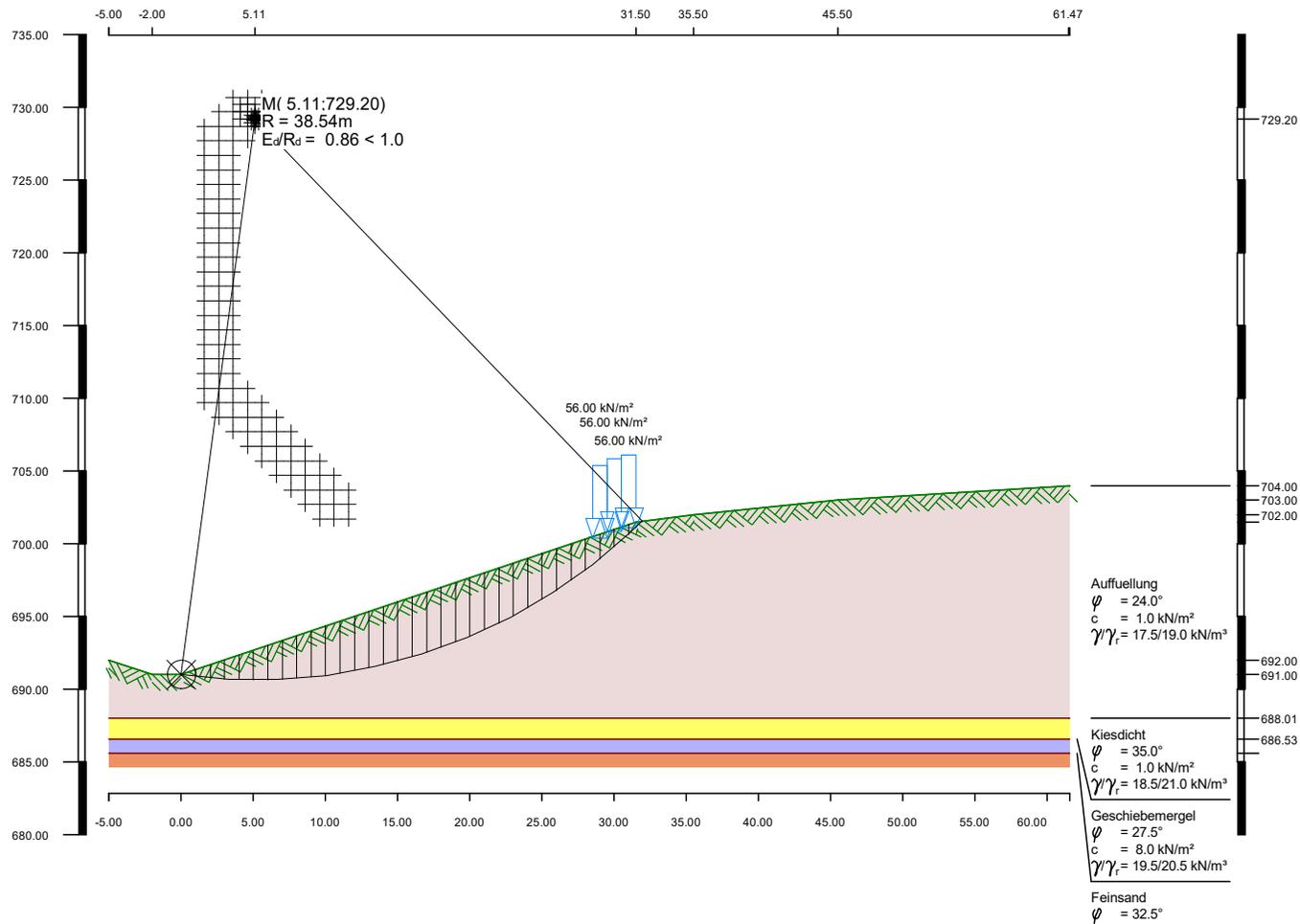
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42



**Anlage: 2.2**



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit Böschung Kiesabbau-Auffüllung, Höhe 10,5 m; Neigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7 , BP-T (temporär)  
 Bodenaustausch an Sohlfäche für Rohraufleger wegen Böschungsstandsicherheit nur kleinräumig, ohne Berücksichtigung von Erdbebenlas

**Maßstab :** 1: 500

**Bearbeit.:** 30.04.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

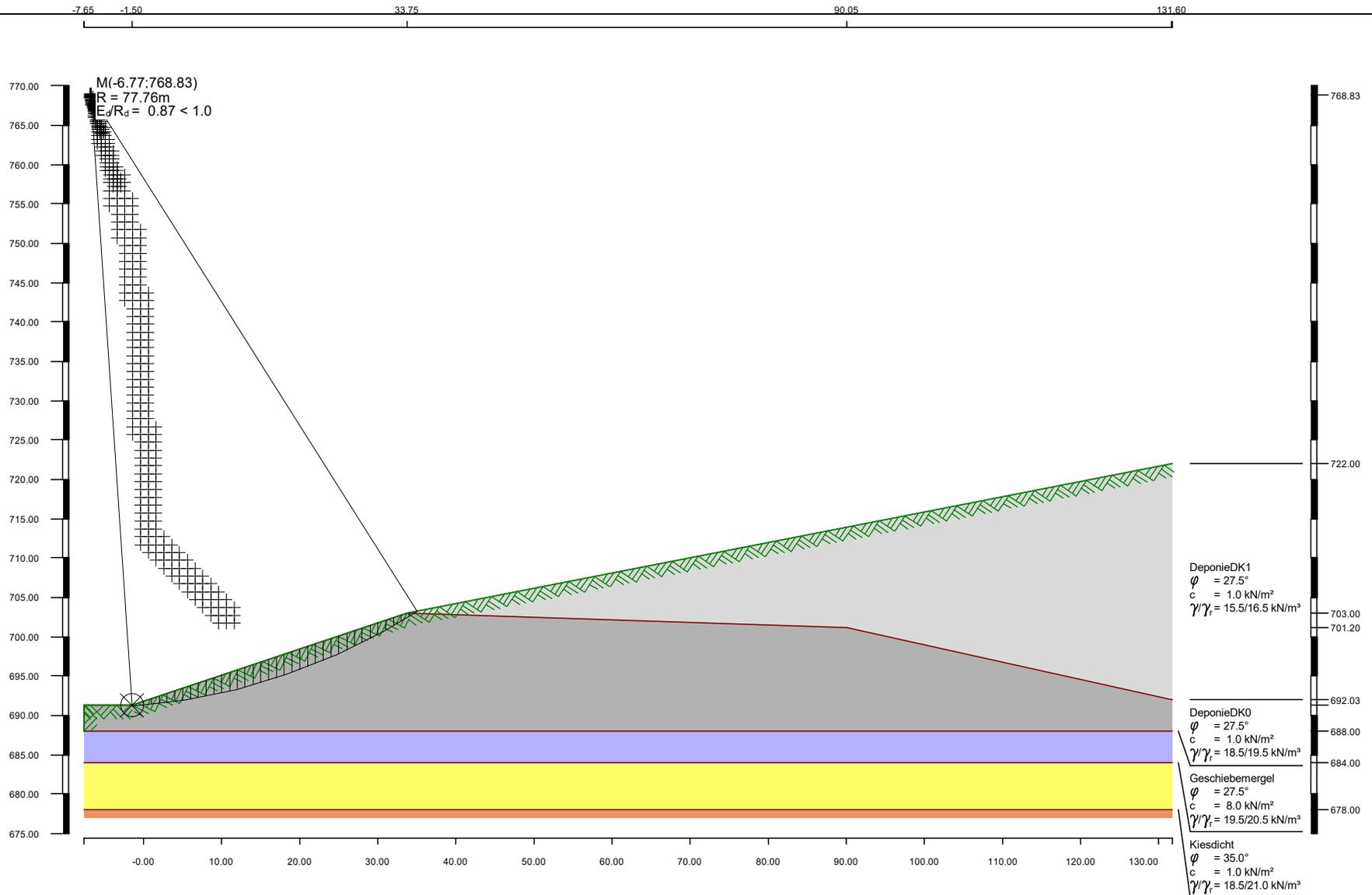
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 2.3



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit der DK0-Böschung, Höhe 11,3 m; Neigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7  
 mit Ansatz Erdbebenlasten, Bodenaustausch an der Sohlfläche für Rohrauflager, Abböschung Böschungsfuss 1:2

**Maßstab :** 1: 750

**Bearbeit.:** 30.06.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

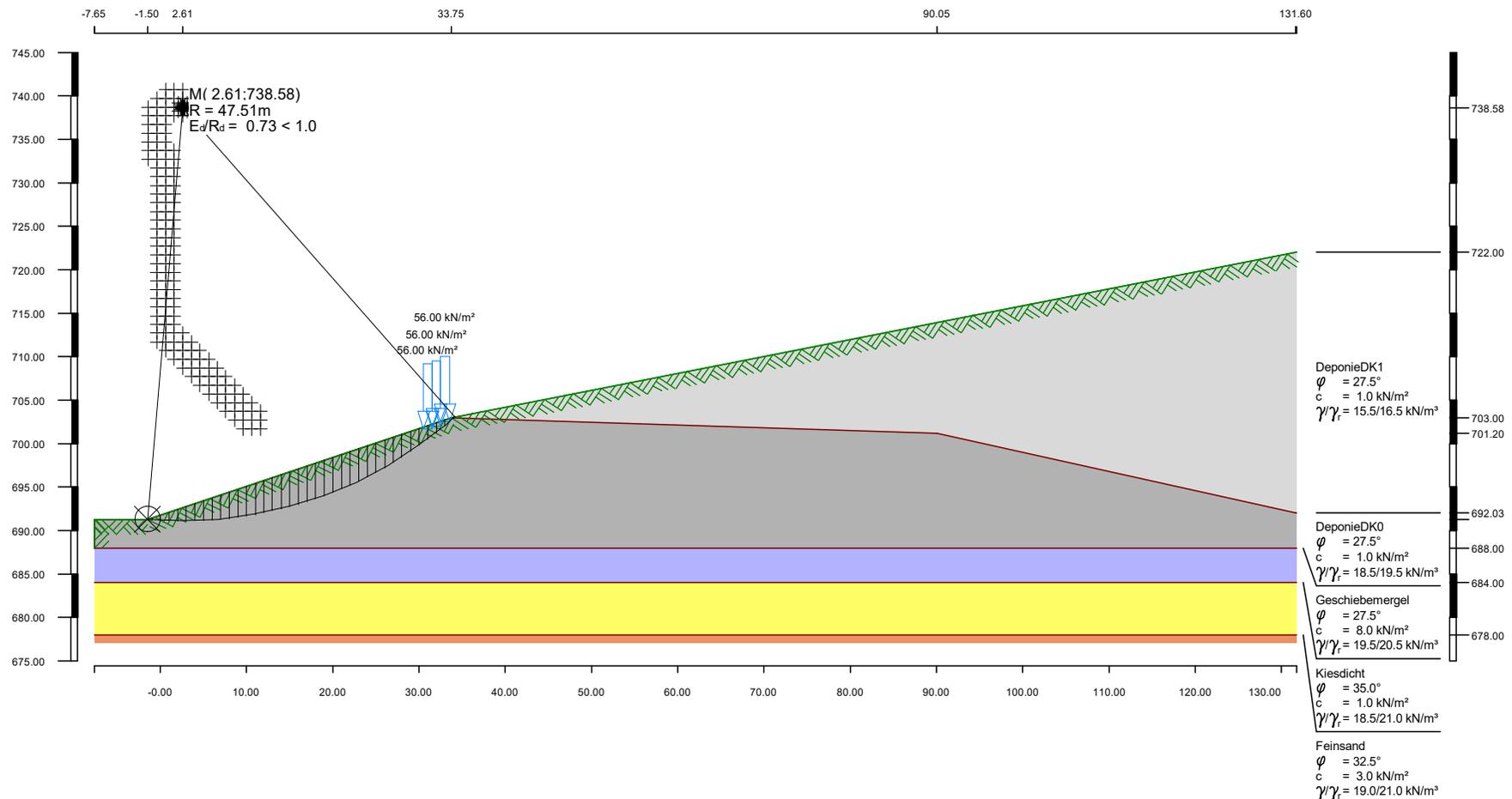
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 2.4



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit der DK0-Böschung, Höhe 11,3 m; Neigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7  
 ohne Ansatz Erdbebenlasten, mit Verkehrslast

**Maßstab :** 1: 750

**Bearbeit.:** 30.06.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

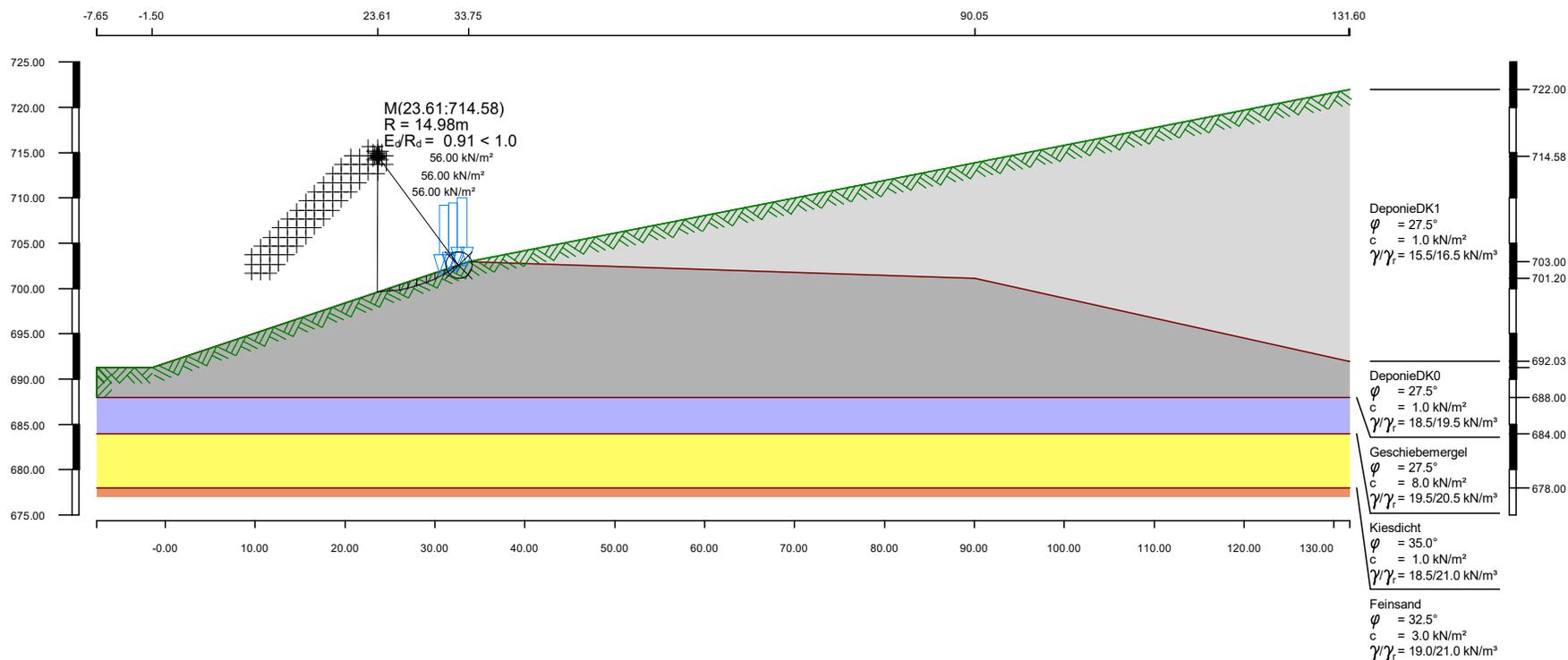
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42



**Anlage: 2.5**



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Standsicherheit der DK0-Böschung, Höhe 11,3 m; Neigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7  
 ohne Ansatz Erdbebenlasten, mit Verkehrslast, Fixpunkt im Bereich der Verkehrslast

**Maßstab :** 1: 750

**Bearbeit.:** 30.06.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

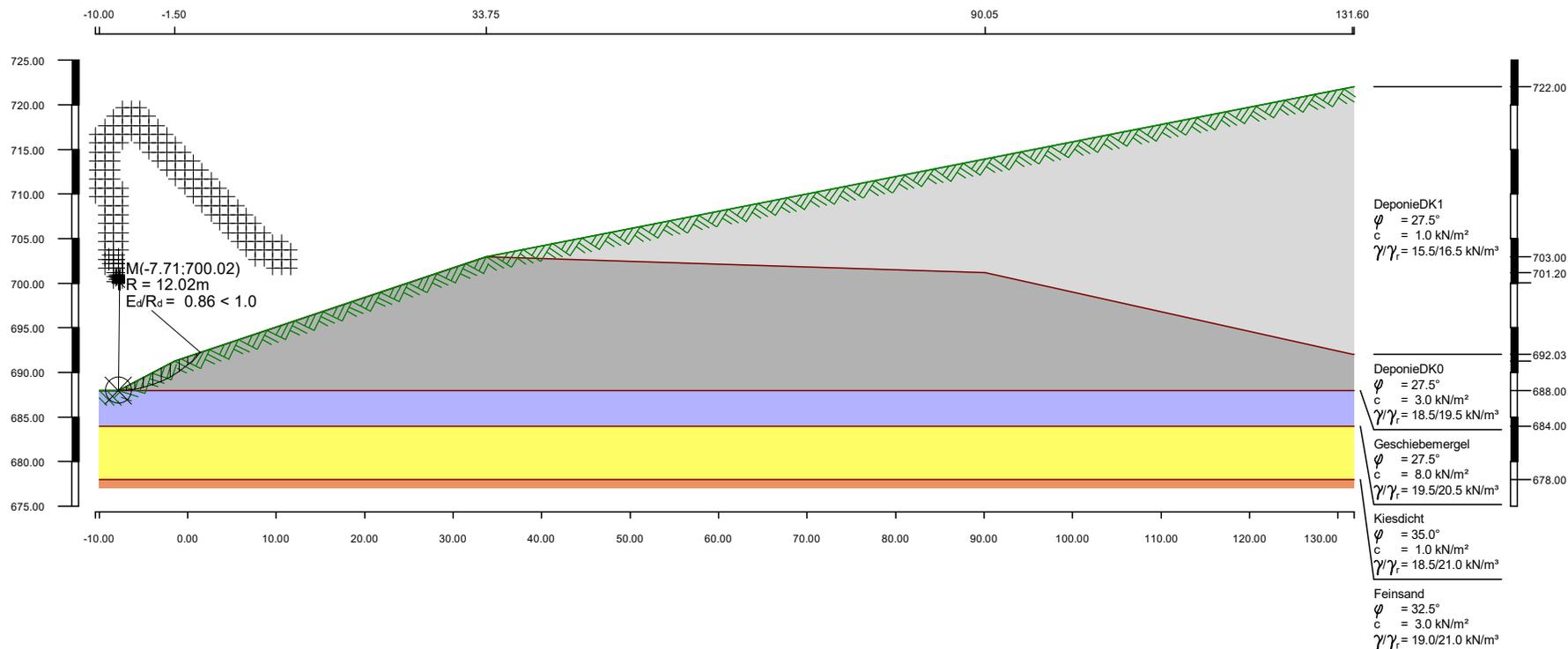
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 2.6



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Berechnung der Standsicherheit der DK0-Böschung, Böschungshöhe 11,3 m; Böschungsneigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7  
 ohne Ansatz Erdbebenlasten, ohne Verkehrslast, Bodenaustausch an der Sohlfläche für Rohraufleger, Abböschung Böschungsfuss 1:2

**Maßstab :** 1: 750

**Bearbeit.:** 30.06.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

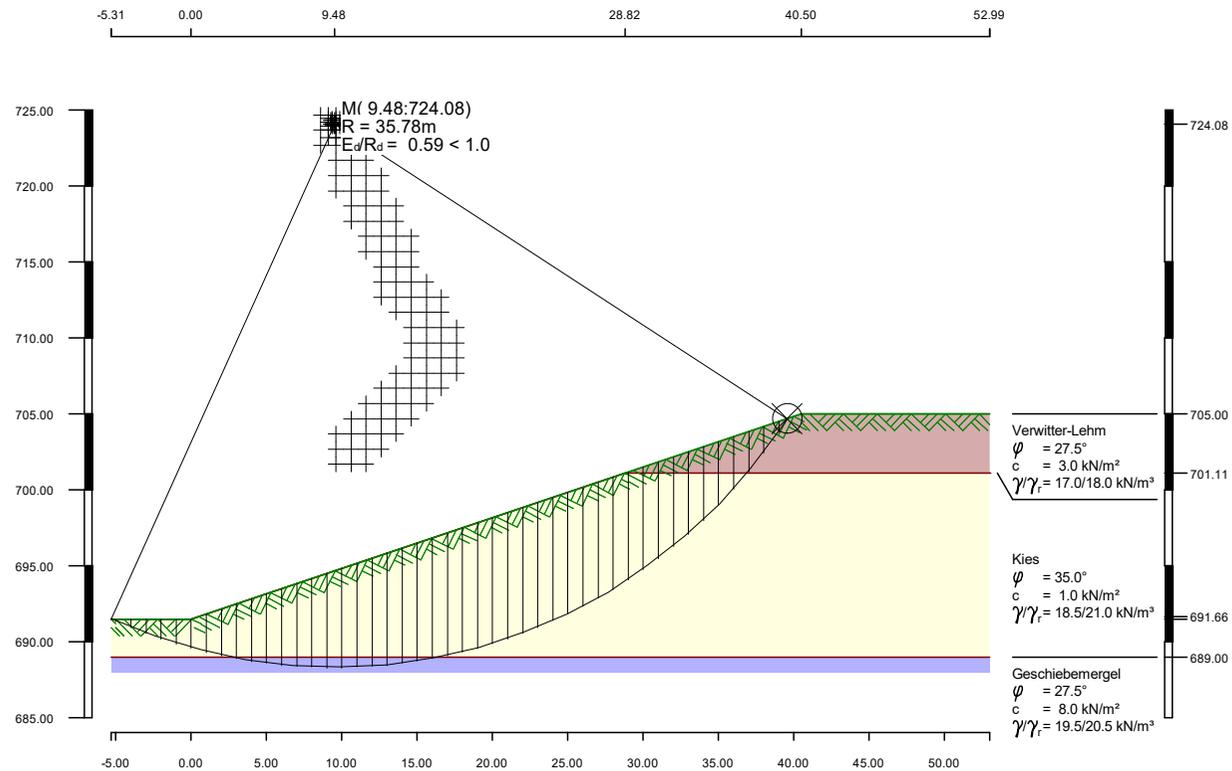
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 2.7



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Berechnung der Standsicherheit der Böschung im natürlich anstehenden Untergrund , Böschungshöhe 13,5 m;  
 Böschungsneigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7, BS-P Ansatz mit Erdbebenlast

**Maßstab :** 1: 500

**Bearbeit.:** 30.04.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

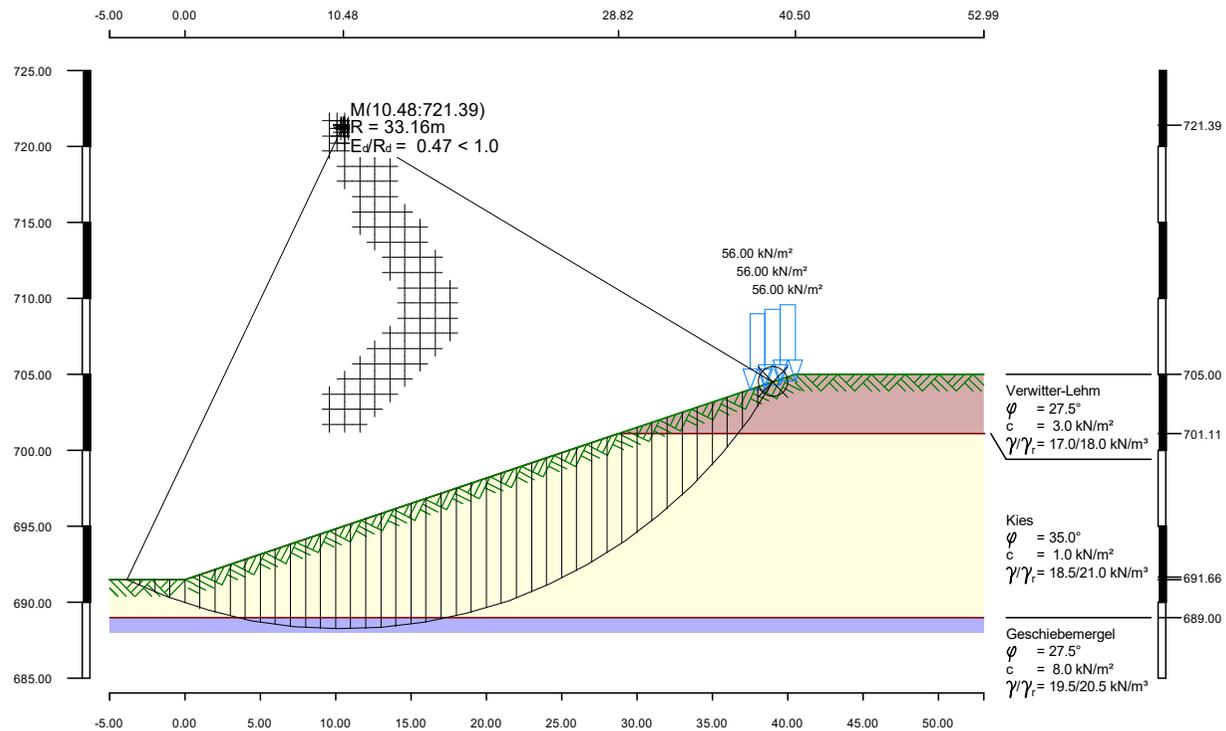
Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

**Anlage: 2.8**



**Projekt:** Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden  
 Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne

**Projektnr.:** 2022-02-001/10.4.1

**Bemerk.:** Berechnung der Standsicherheit der Böschung im natürlich anstehenden Untergrund , Böschungshöhe 13,5 m;  
 Böschungsneigung 1: 3, Berechnung nach Eurocode 7, BS-T ohne Ansatz Erdbebenlast mit Verkehrslast

**Maßstab :** 1: 500

**Bearbeit.:** 30.04.2024

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

Fax: 08247/998-737-9

E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 2.9

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.1.1</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum bzw. Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,25 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	43,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	0,25 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	21,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	22,40 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	6,90 [kN/m <sup>2</sup> ]

Teilsicherheitsbeiwerte ((BS-T)) nach DIN 1054: 2010-12		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Verübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,20
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_{\delta_c} =$	1,15

Lastannahme Raupe		
Eigengewicht der Raupe	$G_R =$	200,00 [kN]
Kettenlänge der Raupe	$L_R =$	3,00 [m]
Kettenbreite der Raupe	$B_R =$	0,60 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	0,70 [m/s] $\approx$ 2,5 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	2,00 [s]
Lastausbreitungswinkel	$\delta =$	30 [°]

Einwirkung: Hangab treibende Käfte pro laufender Meter Böschungslänge		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>1,657 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_{w,d} =$	<b>0,000 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.1.1</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum bzw. Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,25 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,350 [m/s<sup>2</sup>]</b>
Aufstandsfläche $A = (2 \times L_R \times B_R) + (4 \times d \times \tan 30^\circ \times (L_R + B_R))$	$A =$	<b>5,678 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. der Raupe durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>13,342 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. der Raupe bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>1,479 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta + c'_k / \gamma_c$	$t_{f,d} =$	<b>7,785 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Reibungskraft durch Eigengewicht der Raupe $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>11,979 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Berechnung des Verhältnisses $\kappa$		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,213</b> $\kappa < 1$

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$		
Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzstand $\mu = E_p / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{f,d} \times L_R + t_{Rh,d} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,83</b> $\mu < 1$

Ergebnis	
Die Standsicherheit ist nachgewiesen.	

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.1.2</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum / Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage + 2. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	43,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	0,50 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	21,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	22,40 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	6,90 [kN/m <sup>2</sup> ]

Teilsicherheitsbeiwerte ((BS-T)) nach DIN 1054: 2010-12		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Verübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,20
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_{\delta_c} =$	1,15

Lastannahme Raupe		
Eigengewicht der Raupe	$G_R =$	200,00 [kN]
Kettenlänge der Raupe	$L_R =$	3,00 [m]
Kettenbreite der Raupe	$B_R =$	0,60 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	0,70 [m/s] $\approx$ 2,5 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	2,00 [s]
Lastausbreitungswinkel	$\delta =$	30 [°]

Einwirkung: Hangab treibende Käfte pro laufender Meter Böschungslänge		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>3,314</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_{w,d} =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.1.2</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobilitel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum / Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage + 2. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,350</b> [m/s <sup>2</sup> ]
Aufstandsfläche $A = (2 \times L_R \times B_R) + (4 \times d \times \tan 30^\circ \times (L_R + B_R))$	$A =$	<b>7,757</b> [m <sup>2</sup> ]
Statische Belast. der Raupe durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>9,766</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Dynam. Belast. der Raupe bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>1,083</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta + c'_k / \gamma_c$	$t_{f,d} =$	<b>9,571</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Reibungskraft durch Eigengewicht der Raupe $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>8,768</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Berechnung des Verhältnisses $\kappa$		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,346</b> $\kappa < 1$

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$		
Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzstand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{f,d} \times L_R + t_{Rh,d} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,77</b> $\mu < 1$

**Ergebnis**

Die Standsicherheit ist nachgewiesen.

Untersuchung:		Anlage
<b>Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)</b>		<b>3.1.3</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum bzw. Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage + 2. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,5 m) + Entwässerungsschicht (0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

<b>Datengrundlage Böschung</b>		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	43,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	1,00 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	21,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	22,40 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	6,90 [kN/m <sup>2</sup> ]

<b>Teilsicherheitsbeiwerte ((BS-T)) nach DIN 1054: 2010-12</b>		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Verübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,20
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_{\delta_c} =$	1,15

<b>Lastannahme Raupe</b>		
Eigengewicht der Raupe	$G_R =$	200,00 [kN]
Kettenlänge der Raupe	$L_R =$	3,00 [m]
Kettenbreite der Raupe	$B_R =$	0,60 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	0,70 [m/s] ≈ 2,5 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	2,00 [s]
Lastausbreitungswinkel	$\delta =$	30 [°]

<b>Einwirkung: Hangab treibende Käfte pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>6,629</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_{w,d} =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.1.3</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Planum bzw. Ausgleichsschicht zu Technische Ersatzmaßnahme betreffend die geologische Barriere</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, 1. Lage + 2. Lage TEM-GB (Schichtdicke 0,5 m) + Entwässerungsschicht (0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,350 [m/s<sup>2</sup>]</b>
Aufstandsfläche $A = (2 \times L_R \times B_R) + (4 \times d \times \tan 30^\circ \times (L_R + B_R))$	$A =$	<b>11,914 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. der Raupe durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>6,359 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. der Raupe bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>0,705 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{r,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta + c'_k / \gamma_c$	$t_{r,d} =$	<b>13,142 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Reibungskraft durch Eigengewicht der Raupe $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>5,709 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Berechnung des Verhältnisses $\kappa$		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{r,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,504</b> $\kappa < 1$

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$		
Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzstand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{r,d} \times L_R + t_{Rd,h} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,73</b> $\mu < 1$

Ergebnis	
Die Standsicherheit ist nachgewiesen.	

Untersuchung:		Anlage <b>3.2.1</b>
<b>Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)</b>		
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKl- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	  Geo + Plan Geotechnik GmbH Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobilteil.: 0171/ 50 10 510
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu KDB</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht (≥ 0,5 m) - ohne Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	ZAK Energie GmbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2022-02-001	

<b>Datengrundlage Böschung</b>		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$L =$	43,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	0,50 [m]
Wichte Boden	$\gamma =$	19,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Schneelast	$s =$	0,00 [kN/m <sup>2</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	24,00 [°]

<b>Teilsicherheitsbeiwerte (BS-T) nach DIN 1054: 2010-12</b>		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Vorübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,20
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_\delta =$	1,15

<b>Einwirkung Hangab treibende Käfte jeweils pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
Schubkraft Boden durch Eigenlast	$t_{B,d} =$	<b>2,999</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
$t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$		
Schubkraft Schnee	$t_{s,d} =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
$t_{s,d} = s_k \times \gamma_Q \times \sin \beta$		
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht	$s_w =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
$s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$		

<b>Widerstände</b>		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast	$t_{f,d} =$	<b>3,490</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
$t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$		
Reibungskraft Schnee	$t_{s,h,d} =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
$t_{s,h,d} = (s_k \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$		

<b>Berechnung des Auslastungsgrades <math>\mu</math> Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte <math>E_d</math> zu Reibungskräften in der Schichtgrenze <math>R_d</math>; Anforderung Grenz Zustand <math>\mu = E_D / R_d \leq 1</math></b>		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + t_{s,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} + t_{s,h,d}) \times L}$	$\mu =$	<b>0,859</b>

<b>Ergebnis</b>
Die Standsicherheit ist nachgewiesen.

Untersuchung:		Anlage
<b>Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)</b>		<b>3.2.2</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu KDB</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht (≥ 0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Steinegaden Deponie Betriebs GmbH & Co. KG	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2009-05-03	

<b>Datengrundlage Böschung</b>		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	43,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	0,50 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	19,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	24,00 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	1,50 [kN/m <sup>2</sup> ]

<b>Teilsicherheitsbeiwerte ((BS-T)) nach DIN 1054: 2010-12</b>		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Verübergewende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,20
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_{\delta c} =$	1,15

<b>Lastannahme Raupe</b>		
Eigengewicht der Raupe	$G_R =$	200,00 [kN]
Kettenlänge der Raupe	$L_R =$	3,00 [m]
Kettenbreite der Raupe	$B_R =$	0,60 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	0,70 [m/s] ≈ 2,5 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	2,00 [s]
Lastausbreitungswinkel	$\delta =$	30 [°]

<b>Einwirkung: Hangab treibende Käfte pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>2,999</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_{w,d} =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>3.2.2</b>
<b>Projekt:</b>	Erweiterung der DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Steinegaden	  Geo + Plan Geotechnik GmbH Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobiltel.: 0171/ 50 10 510
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.1: Standsicherheitsnachweis Deponiewanne	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu KDB</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand, Sandschutzmatte bzw. mineral. Schutzschicht zu Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit Entwässerungsschichtauflager – Bauzustand Entwässerungsschicht (≥ 0,5 m) - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Steinegaden Deponie Betriebs GmbH & Co. KG	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2009-05-03	

Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,350 [m/s<sup>2</sup>]</b>
Aufstandsfläche $A = (2 \times L_R \times B_R) + (4 \times d \times \tan 30^\circ \times (L_R + B_R))$	$A =$	<b>7,757 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. der Raupe durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>9,766 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. der Raupe bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>1,083 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta + c'_k / \gamma_c$	$t_{f,d} =$	<b>4,794 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Reibungskraft durch Eigengewicht der Raupe $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>9,472 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Berechnung des Verhältnisses $\kappa$		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,626</b> $\kappa < 1$

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzstand $\mu = E_D / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{f,d} \times L_R + t_{Rd,h} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,97</b> $\mu < 1$

**Ergebnis**

Die Standsicherheit ist nachgewiesen.