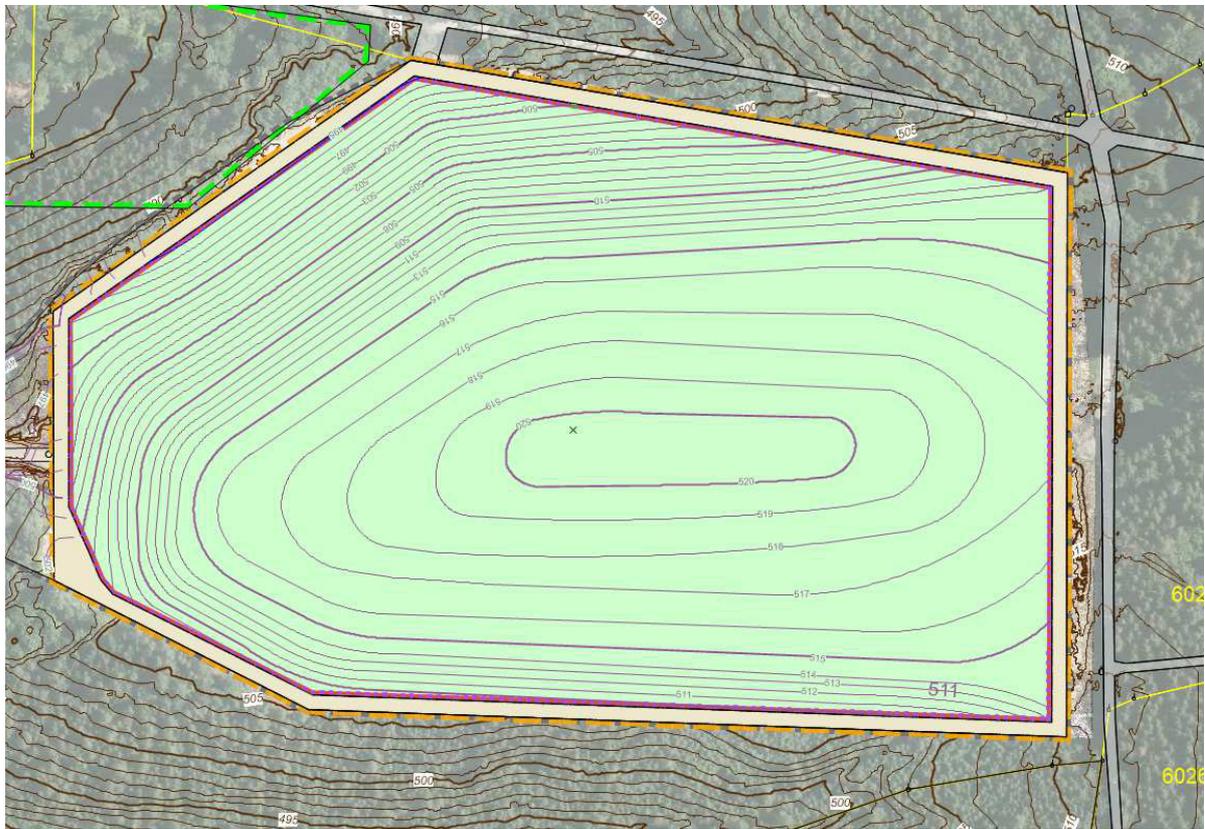


**Standort/ Vorhaben**  
**DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg**

**Gutachten/ Bericht**  
**Fachanlagenteil 10.4.2:**  
**Standortsicherheitsnachweis Rekultivierung**



<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH Lauingerstraße 75 89344 Aislingen			
<b>Projekt-Standort:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg am Standort des Kies- und Sandabbaus Brennborg			
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.2: Standortsicherheitsnachweis der Rekultivierung			
<b>Auftrag-Nr.:</b>	2020-09-003	<b>Bericht-Nr.:</b>	2020-09-003/4.2	
<b>Umfang:</b>	24 Seiten 11 Tabellen 1 Abbildungen 14 Anlagen	<b>Erstellt</b> A. Veigel 16.08.2023	<b>Geprüft</b> A. Veigel 16.08.2023	<b>Freigegeben</b> A. Veigel 16.08.2023
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).				
<b>Information Ablage:</b>	"K:\Rosshaupten\Brennborg\II_Teil K_Deponie\10_4_2 Böschungen Rekultivierung\01_Bericht\Fachanlagenteil 10_04_02_Standortsicherheitsnachweis_Rekultivierung.docx"			

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorhaben, Veranlassung</b> .....	<b>6</b>
1.1	Vorhaben .....	6
1.2	Veranlassung.....	6
<b>2</b>	<b>Schichtenaufbau, berechnungsrelevanter Hangbereich</b> .....	<b>7</b>
2.1	Schichtenaufbau des Oberflächenabdichtungssystems .....	7
2.2	Länge des berechnungsrelevanten Hanges, Böschungsneigung .....	8
<b>3</b>	<b>Bemessung der mineralischen Entwässerungsschicht</b> .....	<b>8</b>
3.1	Dränspende der mineralischen Entwässerungsschicht .....	9
3.2	Dränspende und hydraulische Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht .....	11
<b>4</b>	<b>Standsicherheitsnachweis im Grenzzustand GEO-3 (vormals GZ 1C)</b> .....	<b>12</b>
4.1	Vorgehen bei der Erstellung des Standsicherheitsnachweises.....	12
4.2	Bemessungssituationen (Einwirkungskombinationen, Sicherheitsklassen bei Widerständen, Lastfälle) .....	14
4.3	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände GEO-3.....	14
<b>5</b>	<b>Bodenkennwerte und Scherparameter</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Kritische Schichtfuge</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Kräfte (Einwirkungen und Widerstände)</b> .....	<b>17</b>
7.1	Einwirkungen .....	17
7.2	Widerstände.....	20
<b>8</b>	<b>Ermittlung des Auslastungsgrades</b> .....	<b>21</b>
8.1	Bauzustand.....	22
8.2	Endzustand.....	22
<b>9</b>	<b>Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise</b> .....	<b>23</b>
9.1	Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten.....	23
9.2	Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch.....	23
<b>10</b>	<b>Bewertung</b> .....	<b>24</b>

## Anlagen

### 1. Lageplan der Rekultivierung

Anlage 1.1 : Lageplan der Rekultivierung mit Darstellung des berechnungsrelevanten Schnitts im Maßstab M 1: 1000

### 2 Nachweis der Gleitsicherheit der Schichtkomponenten untereinander des Oberflächenabdichtungssystems

#### Anlage 2.1 Bauzustand Bemessungssituation BS-T

Anlage 2.1.1 : Bauzustand Entwässerungsschicht und Rekultivierungsschicht  
Schichtdicke 1,5 m  
Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe

Anlage 2.1.2 : Bauzustand Entwässerungsschicht (0,2 m) und Rekultivierungsschicht (1,5 m) Schichtdicke 1,7 m  
Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies

Anlage 2.1.3 : Bauzustand Gesamtlage Schichtdicke 3,0 m  
Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe

Anlage 2.1.4 : Bauzustand Gesamtlage Schichtdicke 3,2 m  
Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies

#### Anlage 2.2 Endzustand Bemessungssituation BS-P

Anlage 2.2.1 : Endzustand Gesamtlage – Schichtdicke 3,0 m  
Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe

Anlage 2.2.2 : Endzustand Gesamtlage – Schichtdicke 3,2 m  
Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies

### 3 Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch des Oberflächenabdichtungssystems

Anlage 3.1 : Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Basis der Entwässerungsschicht, Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt (Bemessungssituation BS-P) im Maßstab M 1: 300

Anlage 3.2 : Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Basis der Entwässerungsschicht, Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt, Boden gesättigt (Bemessungssituation BS-P) im Maßstab M 1: 300

Anlage 3.3 : Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-P) und Auflast Schnee und Wald im Maßstab M 1: 600

Anlage 3.4 : Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-P) und vorgegebenem Fixpunkt am Böschungsfuss und Auflast Schnee und Wald im Maßstab M 1: 300

Anlage 3.5 : Bauzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-T) und vorgegebenem Fixpunkt am Böschungsfuss und Verkehrslast im Maßstab M 1: 300

#### 4 Technische Datenblätter, Informationen

- Anlage 4.1 Zusammenstellung von Reibungsparametern  
Anlage 4.2 Kostra-Daten Burgau

#### Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Regeldetail 9 Oberflächenabdichtungssystem..... 7

#### Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Angaben zu dem für die Berechnung der Standsicherheit relevanten Böschungsabschnitt ..... 8  
Tab. 2: Dränspende/ Grundwasserneubildung ..... 9  
Tab. 3: Wasserverbrauch Bäume und Wald ..... 10  
Tab. 4: KOSTRA-Daten für den Standort Brennborg, Dränspenden..... 11  
Tab. 5: Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht und Dränspende..... 12  
Tab. 6: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen nach DIN 1054: 2010-12: Tab A.2.1: ..... 14  
Tab. 7: Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände nach DIN 1054: 2010-12, Tab. A.2.2: ..... 14  
Tab. 8: Angesetzte Bodenkennwerte und Scherparameter..... 16  
Tab. 9: Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise gegen Gleiten ..... 23  
Tab. 10: Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise gegen Böschungsbruch ..... 23

## Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

### BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT

- (04/2022): Grundwasserneubildung in den Bezirken der bayerischen Wasserwirtschaftsämter, hier Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
(2023): Umweltatlas Bayern: Grundwasserneubildung aus Niederschlag am Standort Brennborg (1971-2000)

BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co.KG (2012): Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen anhand von Projektbeispielen

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

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

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

### DWD

- (2023): Jahresniederschlagsdaten der DWD-Messstation Burgau  
(12/ 2022) KOSTRA-Daten („Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung des DWD “ (<https://www.openko.de/>)

### DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V.

- (1997): Geotechnik der Deponien und Altlasten;  
(2008): GDA E 2-7 Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen  
(2005): GDA E 3-8 Reibungsverhalten von Geokunststoffen  
(2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO  
(2015): GDA E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen; Berlin

### LAGA AD-HOC-AG „DEPONIETECHNIK“:

- (02.12.2020): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-1: Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen  
(23.09.2021): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“

### INGENIEURBÜRO HAAS-KAHLENBERG GMBH

- (08.2023): Lageplan Deponiewanne im Maßstab M 1: 1.000  
(08.2023): Längsprofile L1, L2, L3, L4 und L5 im Maßstab M 1: 500  
(08.2023): Querprofile Q1, Q2 und Q3 im Maßstab M 1: 500

WUDKE, R.-B., WERTH, K. WITT, K.-J. (2008): Standsicherheitsnachweis für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien; Bautechnik 9/ 2008

# 1 Vorhaben, Veranlassung

## 1.1 Vorhaben

Die Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH stellt den Antrag auf Planfeststellung für die Boden- und Bauschuttdeponie Brennberg der Deponieklasse DK I nach den Vorgaben der Deponieverordnung (DepV) für die Wiederverfüllung der Hohlform des Kies- und Sandabbaus Brennberg.

## 1.2 Veranlassung

Die nordwestlichen Böschung der rekultivierten Deponie ist die steilste und längste Rekultivierungsböschung der Deponie (siehe Anlage 1.1). Sie besitzt eine Höhe von maximal 28 m und unter Berücksichtigung der unteren Bereiche (3 m Schichtdicke der Rekultivierungsschicht mit Entwässerungsschicht) 25 m. Für diese maßgebende Böschung ist der Standsicherheitsnachweis des Oberflächenabdichtungssystems gegen Gleiten zu führen.

Die rekultivierte Böschung des Oberflächenabdichtungssystems besitzt eine Neigung von maximal 1: 3. Für das abfallrechtliche Genehmigungsverfahren wurden mit den vorliegenden Unterlagen die notwendigen erdstatischen Nachweise für die DK I-Boden- und Bauschuttdeponie Brennberg erstellt. Dem Gutachten liegen die folgenden Fachanlagenteile zugrunde:

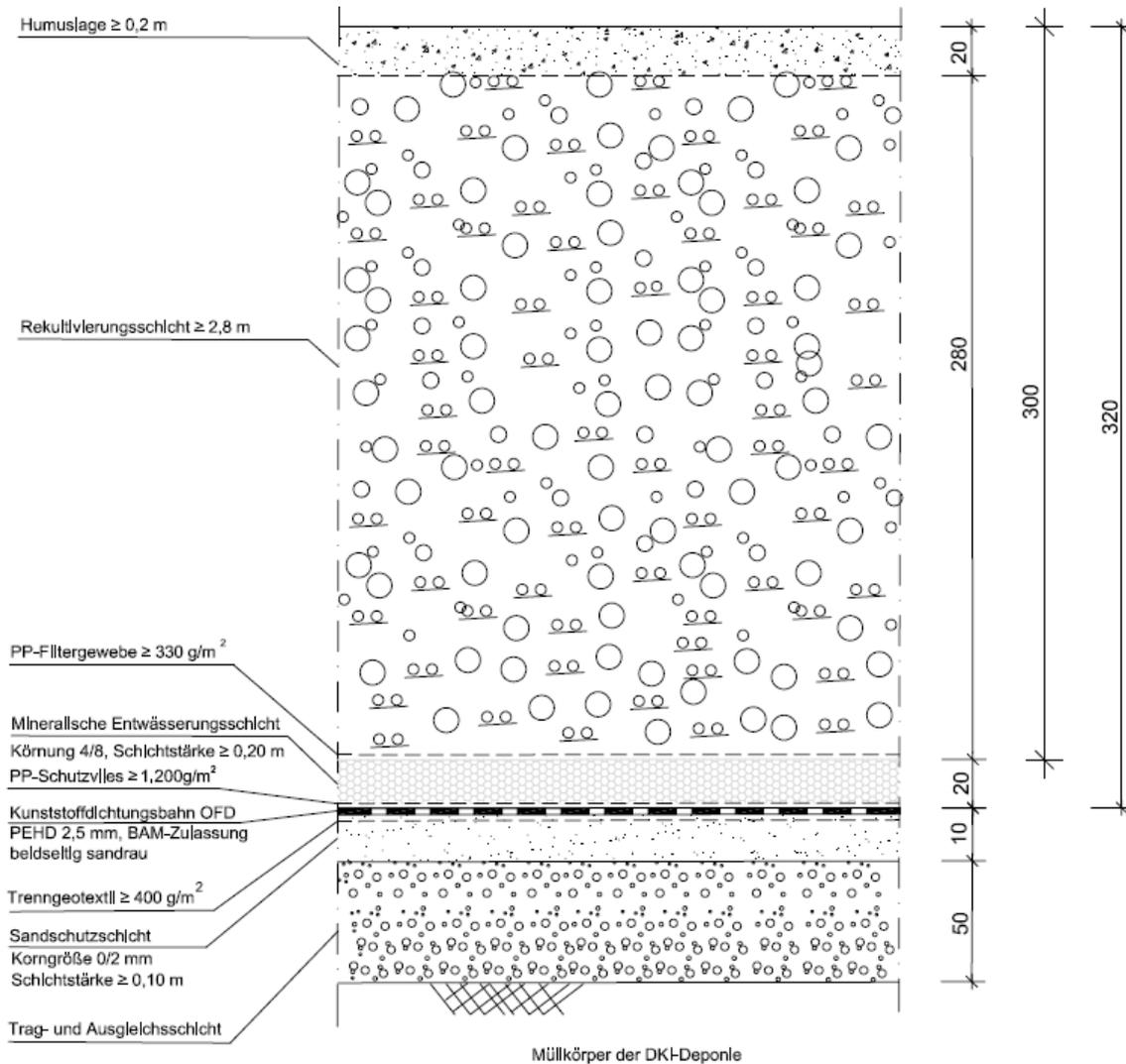
- Nr. 4.1: Lageplan Deponiewanne
- Nr. 5.1-4: Vorhaben in Profilen
- Nr. 6: Regeldetails
- Nr. 7.1: Rekultivierungsplan
- Nr. 12.1: Fachbeitrag Geologie und Hydrogeologie

## 2 Schichtenaufbau, berechnungsrelevanter Hangbereich

### 2.1 Schichtenaufbau des Oberflächenabdichtungssystems

Der Schichtenaufbau des Oberflächenabdichtungssystems ist nachfolgend dargestellt:

Abb. 1: Regeldetail 9 Oberflächenabdichtungssystem  
 (Ingenieurbüro Haas-Kahlenberg GmbH)



## 2.2 Länge des berechnungsrelevanten Hanges, Böschungsneigung

Für den berechnungsrelevanten Bereich des Hanges ergeben sich die folgenden Werte (siehe Anlage 1.1):

Tab. 1: Angaben zu dem für die Berechnung der Standsicherheit relevanten Böschungsabschnitt

Bö- schungs- abschnitte	Höhe (GOK)		Höhen- differenz [m]	Länge		Böschung		
	von [m NHN]	bis [m NHN]		horizontal [m]	Einfallen [m]	Einfallen [°]	Neigung	Gefälle
Oben	515	520	5	56,0	56,2	5,1	1: 11	0,091
Mitte	513	515	2	10,0	10,2	11,3	1: 5	0,200
Unten	495	513	18	54,0	57,0	18,4	1: 3	0,333
Randbe- reich	492	495	3	3,3	4,6	42,0 bis 45,0	1: 1 bis 1: 1,1	0,91

## 3 Bemessung der mineralischen Entwässerungsschicht

Die Anforderungen an mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen sind in Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Nr. 6 DepV für Deponien der Klasse I wie folgt festgelegt:

- Schichtdicke:  $d \geq 0,30$  m
- Durchlässigkeitsbeiwert:  $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$  m/s
- Gefälle  $> 5$  %

Auf Antrag des Deponiebetreibers kann die zuständige Behörde gemäß Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Fußnote 4 DepV Abweichungen von Schichtdicke, Durchlässigkeitsbeiwert und Gefälle der Entwässerungsschicht zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht dauerhaft gewährleistet sind.

Die Schichtmächtigkeit der Entwässerungsschicht wird von 0,30 m auf 0,20 m reduziert. Hierfür erfolgt der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit (Abschnitt 3). Der Nachweis der Standsicherheit der Rekultivierungsschicht erfolgt in den Abschnitten 4 bis 10).

### 3.1 Dränspende der mineralischen Entwässerungsschicht

Die Dränspende (L/pro m<sup>2</sup>) nach Aufbringen der Rekultivierungsschicht entspricht der Grundwasserneubildung, welche unter Ansatz der Daten des Deutschen Wetterdienstes und des LfU wie folgt ermittelt wird.

Tab. 2: Dränspende/ Grundwasserneubildung

<b>Durchschnittlicher Jahresniederschlag</b>	1971-2000 823 mm <sup>1)</sup>	1971-2000 823 mm <sup>1)</sup>	1991-2020 807 mm <sup>1)</sup>
<b>Grundwasserneubildung</b>	1971-2000 144 mm <sup>2)</sup>	1971-2000 50 mm bis 100 mm <sup>3)</sup>	2009-2018 113 mm <sup>2)</sup>
<b>Anteil der Grundwasserneubildung am Gesamtniederschlag</b>	17,4 %	6,0 % bis 12,2 %	14,0 %

1) Daten des Deutschen Wetterdienstes DWD-Messstation Burgau

2) Mittlere Grundwasserneubildung in den Bezirken der bayerischen Wasserwirtschaftsämter (LfU 04/2022: hier Wasserwirtschaftsamt Donauwörth)

3) Grundwasserneubildung Jahresbilanz aus Umweltatlas Grundwasserneubildung aus Niederschlag am Standort Brennborg (1971-2000)

Während der durchschnittliche Jahresniederschlag der Periode 1981 bis 2010 bei 838 mm lag, beträgt er in der Periode 1991 bis 2020 807 mm. In den Jahren 1971 bis 2000 lag die Grundwasserneubildung im gesamten Gebiet des Wasserwirtschaftsamtes Donauwörth im Durchschnitt bei 17,4 % des Niederschlages, die sich vermutlich infolge des Klimawandels auf inzwischen durchschnittlich 14,0 % reduziert hat.

Entsprechend der Jahresbilanz der Grundwasserneubildung am Standort Brennborg (1971-2000) aus dem Umweltatlas Bayern liegt Grundwasserneubildung bezogen auf die Niederschlagsmessung an der DWD-Station Burgau bei 6,0 % bis 12,3 % des Niederschlages (Tab. 2). Dies ist auf die am Standort Brennborg anstehenden Verwitterungsschichten mit Mächtigkeiten von mehreren Meter zurückzuführen. Für die Bemessungsdränspende nach Aufbringen der Rekultivierungsschicht wird als konservativer Ansatz eine Dränspende von 14 % des Niederschlages angesetzt, entsprechend 113 mm/ m<sup>2</sup> und Jahr.

Als Rekultivierungsziel ist die Entwicklung eines trockenheitsresistenten, standorttypischen Laubmischwaldes vorgesehen. Eine möglichst große Rückhaltung von pflanzenverfügbarem Wasser im Boden soll durch eine höhere nutzbare Feldkapazität (nFK) bis 220 mm über die Gesamtdicke ermöglicht werden. Hierfür sollen unter einer humusreichen Oberbodenlage vorwiegend schluffige Sande und Lehme in der Rekultivierungsschicht eingebaut werden. Mit dem angestrebten größtmöglichen Rückhalt von Niederschlagswasser in der Rekultivierungsschicht soll einer

länger anhaltenden und waldschädigenden Bodenaustrocknung infolge der Klimaveränderung entgegengewirkt werden.

Ausgehend von einer nutzbaren Feldkapazität (nFK) von 220 mm/ 1 m Bodenmächtigkeit (220 l / m Schichtdicke und 1 m<sup>2</sup> Fläche), entsprechend 22 % des Bodenvolumens, ergibt sich bezogen auf die Schichtdicke der Rekultivierungsschicht von 3 m eine gesamte nutzbare Feldkapazität von 660 mm. Damit kann die Rekultivierungsschicht 660 l Wasser pflanzenverfügbar speichern. Der Einbauwassergehalt des Bodens liegt bei rund 13 %. Damit ergibt sich ein noch zusätzlich auffüllbares Speichervolumen von rund 9 %. Dies entspricht bei einer Bodenmächtigkeit von 3 m 270 l. Ausgehend von einer Dränspende von 14 % des Niederschlages angesetzt, entsprechend 113 mm/ m<sup>2</sup> und Jahr ergibt sich bei konservativem Ansatz ohne Berücksichtigung von Pflanzenverdunstung eine Aufsättigungszeit des Bodens bis zur Vervollständigung der nutzbaren Feldkapazität eine Dauer von 2,4 Jahren. In dieser Zeit findet kein bzw. kein nennenswerter Abfluß zur Entwässerungsschicht statt.

Bereits ab der Fertigstellung der Rekultivierungsschicht finden Pflanzenaufwuchs, Sukzession und Wiederbewaldung statt, so dass ein relevanter Wasserverbrauch über die Pflanzen stattfindet. Die Pflanzen versorgen sich dabei mit Wasser über die Feinwurzeln aus dem wasserfüllten Porenvolumen des Bodens („Speicherstand“ der nutzbaren Feldkapazität“) und verdunsten es über die Blattflächen (Transpiration). Die folgende Tabelle zeigt den Wasserverbrauch von Bäumen bezogen auf die Wuchshöhe sowie bezogen auf den Waldflächenboden. Gegenüber dem Wasserverbrauch pro m<sup>2</sup> eines Einzelbaumes ergibt sich bei einer Waldfläche eine Erhöhung bis zum doppelten Wert wegen der Überlappung der Kronen- und Wurzelfläche.

Tab. 3: Wasserverbrauch Bäume und Wald

Baumhöhe [m]	Wasserverbrauch [l] pro Baum und Tag <sup>1)</sup>	Kronen- bzw. Wurzelbreite [m]	Kronen- bzw. Wurzelfläche [m <sup>2</sup> ]	Wasserverbrauch pro m <sup>2</sup> und Jahr und Baum	Baumkronenüberlappung [%]	Wasserverbrauch Wald pro m <sup>2</sup> Boden und Jahr
< 2	3 bis 5	4	13	84 bis 140	0	84 bis 140
2 bis 4	5 bis 15	8	50	37 bis 73	50	74 bis 146
4 bis 6 m	10 bis 25	14	154	24 bis 59	50	48 bis 118 m

<sup>1)</sup> Internetrecherche

Der Vergleich der Dränspende (14 % des Niederschlages, entsprechend 113 mm/ m<sup>2</sup> und Jahr) mit dem Wasserverbrauch pro 1 m<sup>2</sup> des Waldbodens zeigt, dass kein nennenswerter Abfluß in der Entwässerungsschicht stattfindet. Der mittlere Abfluß liegt maximal bei 4 % des Niederschlages (828 mm/Jahr).

### 3.2 Dränspende und hydraulische Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht

#### Dränspende

Für die Vorbemessungen von Entwässerungsschichten sollte nach GDA-Empfehlung E 2-20 von einer maßgeblichen Dränspende von  $25 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 25 \text{ mm}/\text{d}$  (Tagesspitzenwert) ausgegangen werden. Dies entspricht einer maßgeblichen Dränspende von  $0,00029 \text{ l}/\text{m}^2 \times \text{s}$ .

Im Folgenden sind die Kostra-Daten des 24-Stunden-Regens für die Wiederkehrzeiten 5 Jahre bis 100 Jahre zusammengestellt mit Berechnung der sich hieraus ergebenden Dränspende

Tab. 4: KOSTRA-Daten für den Standort Brennborg, Dränspenden

Wiederkehrzeit [Jahre]	Niederschlag/ Tag ND [(mm bzw. L/m <sup>2</sup> x d)]	Dränspende			
		[(mm bzw. L/m <sup>2</sup> x d) <sup>1)</sup> (0,14 x ND/Tag)]	[(mm bzw. L/m <sup>2</sup> x s)] 80,14 x ND/Tag/ 86.400 S	Unsicherheit/zuschlag (nach Kostra-Vorgabe DWD)	[(mm bzw. L/m <sup>2</sup> x s) <sup>2)</sup>
5	54,8	7,7	0,000089	17 %	0,000104
10	63,5	8,9	0,000103	18 %	0,000121
20	72,5	10,2	0,000117	18 %	0,000139
30	78,3	11,0	0,000127	18 %	0,000150
50	86,0	12,0	0,000139	19 %	0,000166
100	97,0	13,6	0,000157	19 %	0,000187

#### Hydraulische Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht

Entsprechend der Darcy-Formel ergibt sich die Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht Q aus dem kf-Wert  $k_f$ , dem Durchflussquerschnitt F und dem Gefälle I wie folgt:

$$Q \text{ [l/s]} = 1000 \cdot k_f \text{ [m/s]} \cdot F \text{ [m}^2\text{]} \cdot \frac{h}{l}$$

Im Folgenden ist die Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht der abzuführenden Durchflussrate gegenübergestellt. Als Bemessungsereignis wird entsprechend GDA-Vorgabe ein 24 Stunden-Regen mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren mit einer Dränspende von  $0,000187 \text{ l/s} \times \text{m}^2$  angesetzt.

Tab. 5: Leistungsfähigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht und Dränspende

Böschungsabschnitt	Gefälle	Kf-Wert [m/s]	Fließquerschnitt [m <sup>2</sup> ]	Leistungsfähigkeit (Durchflußkapazität) [l/s]	Länge [m]	Dränspende bezogen auf Hangabschnitt [l/s]	Dränspende summiert bis zum Böschungsfuss [l/s]
Oben	0,09	1 x 10 <sup>-3</sup>	0,2	0,0182	44	0,0082	0,0082
Mitte	0,20	1 x 10 <sup>-3</sup>	0,2	0,0400	10	0,0019	0,0101
Unten	0,33	1 x 10 <sup>-3</sup>	0,2	0,0666	54	0,0101	0,0202
Randbereich	0,33	1 x 10 <sup>-3</sup>	0,2	0,0666	3	0,0006	0,0207

Die Durchflusskapazität der Entwässerungsschicht ist an jeder Stelle 44- bis 110-fach größer als die anfallende Dränspende. Pro laufender Meter Böschungsbreite ergibt sich ein Zufluß zum Randgraben von maximal 0,0207 l/s. Die Entwässerungsschicht ist mit einer Schichtdicke von 0,2 m und einem  $k_f$ -Wert von  $1 \times 10^{-3}$  m/s ausreichend bemessen.

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

### 4.1 Vorgehen bei der Erstellung des Standsicherheitsnachweises

#### 4.1.1 Gleitsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems

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 GESELLSCHAFT 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.

#### 4.1.2 Standsicherheitsnachweis gegen Böschungsbruch

Für die Berechnungen der Sicherheit gegen Geländebruch wurde das Programm DC-Böschung/Win Version 8.4.2 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).

#### 4.1.3 Bewertung der Standsicherheit

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. Der Ausnutzungsgrad  $\mu$  ergibt sich dabei aus dem Verhältnis der Summe der Einwirkungen und der Summe der Widerstände:

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

## 4.2 Bemessungssituationen (Einwirkungskombinationen, Sicherheitsklassen bei Widerständen, Lastfälle)

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

### Bemessungssituation BS-P:

- Ständige Situationen (Persistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen entsprechen
- Ständige und während der Funktionszeit der Oberflächenabdichtung regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen

### Bemessungssituation BS-T:

- vorübergehende Situationen (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen wie z.B.:
  - Bauzustände bei der Herstellung der Oberflächenabdichtung

## 4.3 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. 6: 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. 7: Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände nach DIN 1054: 2010-12, Tab. A.2.2:

Einwirkungen bzw. Beanspruchungen		BS-P	BS-T
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des drainierten Bodens $\gamma_\varphi$	$\gamma_\varphi$	1,25	1,15
Reibungsbeiwert $\tan \delta'$ in Kontaktfuge zu Geokunststoffen	$\gamma_\delta$		
Kohäsion $c'$ des Bodens	$\gamma_C$		
Adhäsion $a'$ in Kontaktfuge zu Geokunststoff	$\gamma_a$		

## 5 Bodenkennwerte und Scherparameter

Auf der Grundlage der DIN 1055-2, GDA 2-7, GDA 3-8 und Literaturangaben, sowie auf Basis eigenen Erfahrungen wurden die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Bodenkennwerte und Scherparameter zusammengestellt. Die Materialauswahl erfolgt im Rahmen der Ausführungsplanung. Für die vorliegenden Standsicherheitsberechnungen wurden daher fachlich belastbare Annahmen getroffen und für die Geokunststoffe Materialien BAM-Zulassung ausgewählt. Die Reibungsparameter sind der Anlage 4.1 entnommen. Bei den angegebenen Wichten aus DIN 1055-2 handelt es sich um Mittelwerte. Die angegebenen Erfahrungswerte DIN 1055-2 für die Scherfestigkeit sind auf der sicheren Seite liegende, untere Werte. Die Vorgaben der GDA 2-7 hinsichtlich der Ermittlung der Scherparameter für die Ausführungsplanung sind im Rahmen des QMP zu berücksichtigen.

Tab. 8: Angesetzte Bodenkenwerte und Scherparameter

Funktionale Schicht / Schichtübergänge	Boden- gruppe  DIN 18196	Wichte			Reibung swinkel Kontaktr eibungs- winkel $\varphi_0, \delta_0$ [Grad]	Kohäsion <sup>1)</sup>  $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
		erd- feucht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	wasser- gesättigt $\gamma_r$ [kN/m <sup>3</sup> ]	unt. Auftrieb $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]		
Rekultivierungsschicht A	UI, SU*	17,0 <sup>2)</sup>	18,5 <sup>2)</sup>	9,5 <sup>2)</sup>	27,5 <sup>2)</sup>	3
Rekultivierungsschicht B	UI, SU*	17,0 <sup>2)</sup>	18,5 <sup>2)</sup>	9,5 <sup>2)</sup>	27,5 <sup>2)</sup>	5
Schichtfuge Rekultivie- rungsschicht zu PP- Filtergewebe					26,0 <sup>4)</sup>	0 <sup>1a)</sup>
Entwässerungsschicht Körnung 4/8	GW	18,0 <sup>2)</sup>	20,5 <sup>2)</sup>	10,5 <sup>2)</sup>	32,5 <sup>2)</sup>	0,1 <sup>3)</sup>
Schichtfuge Entwässe- rungsschicht zu PP- Schutzvlies					30,0 <sup>4)</sup>	0,0 <sup>3)</sup>
PP-Schutzvlies zu KDB					30,0 <sup>4)</sup>	0,0 <sup>1b)</sup>
Schichtfuge KDB Trennvlies					30,0 <sup>4)</sup>	0,0 <sup>1b)</sup>
Schichtfuge Trennvlies zu Sandschutzschicht Körnung 0/2					29,0 <sup>4)</sup>	0,0 <sup>3)</sup>
Sandschutzschicht Körnung 0/2	SW	18,0 <sup>2)</sup>	20,5 <sup>2)</sup>	10,5 <sup>2)</sup>	32,5 <sup>2)</sup>	0,1 <sup>3)</sup>
Schichtfuge Sandschutz- schicht zu Trag- und Ausgleichschicht					32,5 <sup>3)</sup>	0,0 <sup>3)</sup>
Trag- und Ausgleichs- Schicht, DKI Müllkörper	GU, GU*	17 <sup>5)</sup>	19,5 <sup>5)</sup>	9,5 <sup>5)</sup>	22 <sup>5)</sup>	1,0 <sup>5)</sup>
Obere Sande der Unteren fluviatilen Serie der OSM (ungestörter Gebirgszu- stand)	SU/SW	18,0	22,0	12,0	33,23 <sup>6)</sup> 32,21 <sup>6)</sup> 32,2 <sup>7)</sup>	48,3 <sup>6)</sup> 42,83 <sup>6)</sup> 19 <sup>7)</sup>

- <sup>1a)</sup> Nach GDA-Empfehlung 2-7 Seite 5 darf beim Nachweis der Gleitsicherheit in Schichtflächen zwischen Geotextilien und Rekultivierungsschichten bzw. tonmineralischen Abdichtungsschichten keine Adhäsion angesetzt werden
- <sup>1b)</sup> Nach GDA-Empfehlung 2-7 Seite 5 nur nach experimenteller Bestimmung
- <sup>2)</sup> Bodenkenwerte abgeschätzt nach DIN 1055-2
- <sup>3)</sup> Bodenkenwerte abgeschätzt nach Erfahrungswerten
- <sup>4)</sup> Angabe aus Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen (siehe Anlage 4.1)
- <sup>5)</sup> Konservativ angesetzter Erfahrungswert für Boden und Bauschutt nach Erfahrungswerten
- <sup>6)</sup> Bodenkenwerte entsprechend Scherversuche (Fachanlagenteil 10.4.1)
- <sup>7)</sup> Für die Nachweise angesetzten Werte

## 6 Kritische Schichtfuge

Unter Berücksichtigung der in Tab. 5 aufgelisteten Kontaktreibungswinkel ergibt sich als kritische Schichtfugen zur Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten

- die Schichtfuge zwischen Rekultivierungsschicht und PP-Filtergewebe und
- die Schichtfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies

## 7 Kräfte (Einwirkungen und Widerstände)

### 7.1 Einwirkungen

#### 7.1.1 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  $\beta$  zu:

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

#### 7.1.2 Schubkraft durch temporär/ dauerhafte Lasten

##### 7.1.2.1 Schubkraft durch Schneelast

Die Deponie Brennborg liegt nach DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 in der Schneelastzone 1a. Die Geländehöhe der rekultivierten Deponie liegt zwischen rund 495 m NHN bis 520 m NHN. Dementsprechend ergibt sich der charakteristische Wert der Schneelast  $s_k$  auf dem Boden nach Bild NA.2 (durchschnittliche Geländehöhe  $\sim$  510 m NHN) zu 1,07 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:

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

### 7.1.2.2 Schubkraft durch die Auflast der Bäume

Die Gewichtskraft eines durchschnittlichen ausgewachsenen Baumes mit einer Höhe  $h$  von rund 18 m errechnet sich aus dem Baumdurchmesser in der Baummitte  $D$  (rund 1 m) und der Holzdicke von  $0,77 \text{ t/m}^3$  entsprechend  $\gamma_{\text{Baum}}$  ( $7,7 \text{ kN/m}^3$ ):

$$B_K = h \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \gamma_{\text{Baum}} \quad \text{entsprechend } 18 \text{ m} \cdot (0,5 \text{ m})^2 \cdot 3,14 \cdot 7,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 109 \text{ kN}$$

Die Schubkraft der Bäume pro laufenden Meter durch Eigenlast errechnet sich aus der maximalen Gewichtskraft und des Lastabtrags über die Wurzel (Breite ca. 5 m) zu:

$$t_{\text{Baum,d}} = \frac{B_K}{5} \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta$$

### 7.1.3 Strömungskraft

Aufgrund von Aufstau in der Dränschicht tritt als zusätzliche hangab treibende Kraft die Strömungskraft  $s_{w,d}$  auf. Pro Meter Böschungslänge errechnet sich die Strömungskraft aus der Wichte des Wassers  $\gamma_w$ , der angesetzten Aufstauhöhe  $h_w$  von 20 cm, dem Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q$  und der Böschungsneigung  $\beta$  zu:

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

Die Entwässerungsschicht ist hydraulisch entsprechend den örtlichen Gegebenheiten in jedem Bauzustand ausreichend bemessen (Abschnitt3). Ein Rückstau findet nicht statt.

#### 7.1.4 Zusätzliche Schubkräfte durch Befahrung

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

Beim Einbau der funktionalen Schichten des Oberflächenabdichtungssystems kommen schichtenbezogen unterschiedliche Baufahrzeuge (Kettenraupe, Kettenbagger) zum Einsatz. Bei den Gleitsicherheitsnachweisen wurde ein Fahrzeug mit einer maximalen Flächenpressung (Kettenbagger) berücksichtigt. Als Verkehrslast wird ein Kettenbagger mit folgenden Kennwerten angesetzt:

- Gewicht  $G_R$ : ..... 25 t
- Kettenbreite  $B_R$ : ..... 0,75 m
- Kettenlänge  $L_R$ : ..... 3,8 m
- Fahrgeschwindigkeit  $v$ : ..... 1,0 m/s (3,6 km/h)
- Bremsverzögerung  $t$ : ..... 1,5 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:

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

## 7.1.5 Erdbeben

Nach DIN 4149 – Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Ausgabe 2005 gehört Hammerstetten (PLZ: 89358) in Bayern, bezogen auf die Koordinaten der Ortsmitte, keiner Erdbebenzone an (Siehe Erdbebenzonen- und Untergrundklassenabfrage (gfz-potsdam.de), 23.05.2023)

## 7.2 Widerstände

### 7.2.1 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 7.2.2, 7.2.4.

### 7.2.2 Reibungskraft aus der Schneeauflast

Die Reibungskraft  $t_{s,h,d}$  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:

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

### 7.2.3 Reibungskraft aus der Auflast der Bäume

Die Reibungskraft  $t_{Baum,h,d}$  erhöht die haltenden Kräfte in der Schichtfuge und wird im Endzustand berücksichtigt. Sie errechnet sich aus der Flächenlast der Bäume  $B_k/5$  m (Lastabtrag über die Wurzel Breite ca. 5 m), der Böschungsneigung  $\beta$ , dem charakteristischen Reibungswinkel der Kontaktfläche  $\delta_k$  sowie dem Teilsicherheitsbeiwert für den Kontaktreibungswinkel  $\gamma_\delta$  zu:

$$t_{Baum,h,d} = \frac{(B_k/5) \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta_k}{\gamma_\delta}$$

### 7.2.4 Zusätzliche Reibungskraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges

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

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

## 8 Ermittlung des Auslastungsgrades

Zur Ermittlung des Auslastungsgrades werden die Einwirkungen  $E$  (Abschnitt 7.1) den Widerständen  $R$  (Abschnitt 7.2) gegenübergestellt.

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

Es werden die Bemessungssituationen BS-T für den Bauzustand und BS-P für den Endzustand unterschieden.

## 8.1 Bauzustand

Es wird der Auslastungsgrad nach Einbau der von 1,5 über der KDB (Schichtdicke 0,2 m Entwässerungsschicht und 1,3 m Rekultivierungsschicht) sowie nach Einbau der gesamten Bodenschicht (Schichtdicke 3,0 m, bestehend aus 0,2 m Entwässerungsschicht und 2,8 m Rekultivierungsschicht) unter Berücksichtigung von Befahrung jedoch ohne Berücksichtigung von Schneelast und Laten der Bäume wie folgt berechnet:

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

## 8.2 Endzustand

Es wird der Auslastungsgrad nach Einbau der gesamten Bodenschicht der (Schichtdicke 3,0 m, bestehend aus 0,2 m Entwässerungsschicht und 2,8 m Rekultivierungsschicht) mit Berücksichtigung von Schneelast und der Last der Bäume wie folgt berechnet:

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

### Einwirkungen E

$t_{B,d}$ :	Schubkraft des Bodens durch Eigenlast (Abschnitt 7.1.1)
$t_{s,d}$ :	Schubkraft durch Schneelast (Abschnitt 7.1.2.1)
$s_{w,d}$ :	Strömungskraft (Abschnitt 7.1.3)
$t_{Rd,s}$ :	Schubkraft aus statischer Belastung der Raupe (Abschnitt 0)
$t_{Rd,d}$ :	Schubkraft aus dynamischer Belastung der Raupe (Abschnitt 0)
$t_{Baum,d}$ :	Schubkraft durch Auflast der Bäume (Abschnitt 7.1.2.2)

### Widerstände R

$t_{f,d}$ :	Reibungskraft aus der Bodenaufast (Abschnitt 7.2.1)
$t_{s,,h,d}$ :	Reibungskraft aus der Schneeaufast (Abschnitt 7.2.2)
$t_{Baum, h,d}$ :	Reibungskraft aus der Auflast der Bäume (Abschnitt 0)
$t_{R,h,d}$ :	Zusätzliche Reibungskraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges (Abschnitt 7.2.4)

## 9 Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise

### 9.1 Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten

Im Folgenden sind die Ergebnisse des Standsicherheitsnachweises zusammengestellt:

Tab. 9: Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise gegen Gleiten

Bausituation	Schichtdicke	Kontaktreibungswinkel $\delta_k$	Auslastungsgrad $\mu$	Anlage
<b>Nachweis gegen Gleiten Bauzustand (Bemessungssituation BS-T)</b>				
Entwässerungsschicht und Rekus-schicht Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe	1,5 m	26°	0,90	Anlage 2.1.1
Entwässerungsschicht (0,2 m) und Rekultivierungsschicht (1,3 m) Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies	1,7 m	30°	0,78	Anlage 2.1.2
Gesamtlage Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe	3,0 m	26°	0,83	Anlage 2.1.3
Gesamtlage Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies	3,2 m	30°	0,69	Anlage 2.1.4
<b>Nachweis gegen Gleiten Endzustand (Bemessungssituation BS-P)</b>				
Gesamtlage –Gleitfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe	3,0 m	26°	0,93	Anlage 2.2.1
Gesamtlage – Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies	3,2 m	30°	0,77	Anlage 2.2.2

### 9.2 Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise zusammengestellt (Schichtdicken Rekultivierungsschicht 2,8 m, Entwässerungsschicht 0,2 m)

Tab. 10: Ergebnisse der Standsicherheitsnachweise gegen Böschungsbruch

Bausituation	Auslastungsgrad $\mu$	Anlage
Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Basis der Entwässerungsschicht, Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt(Bemessungssituation BS-P)	0,86	Anlage 3.1
Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Basis der	0,85	Anlage 3.2

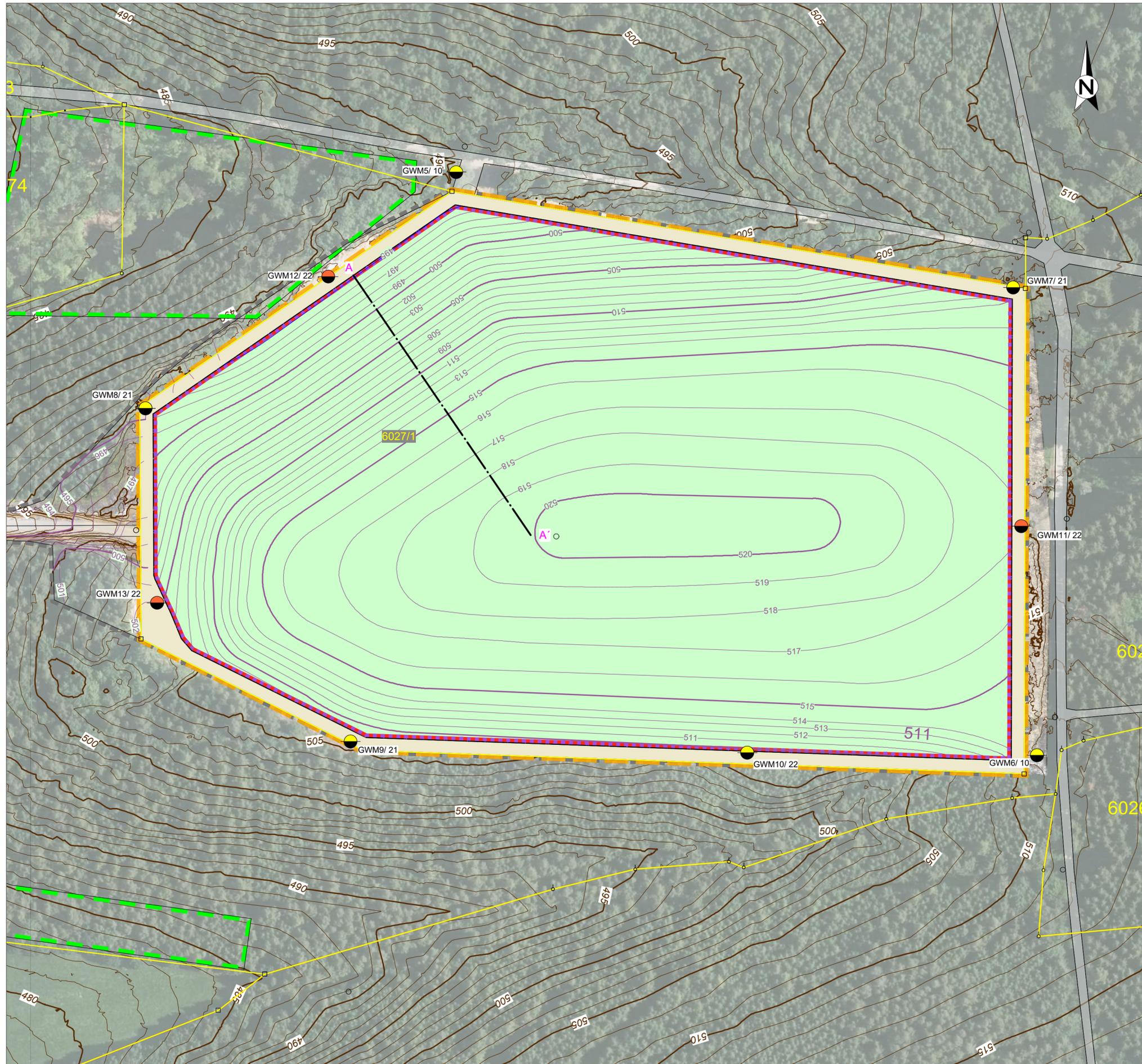
Bausituation	Auslastungsgrad $\mu$	Anlage
Entwässerungsschicht, Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt, Boden gesättigt (Bemessungssituation BS-P)		
Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-P) und Auflast Schnee und Wald	0,94	Anlage 3.3
Endzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-P) und vorgegebenem Fixpunkt am Böschungsfuss und Auflast Schnee und Wald	0,95	Anlage 3.4
Bauzustand Rekultivierungsschicht - Standsicherheitsnachweis mit Gleitkreisberechnung (Bemessungssituation BS-T) und vorgegebenem Fixpunkt am Böschungsfuss und Verkehrslast	0,94	Anlage 3.5

## 10 Bewertung

Die Sicherheit des Oberflächenabdichtungssystems ist sowohl gegen Gleiten als auch Böschungsbruch nachgewiesen. Die rekultivierte Deponie ist unter Ansatz des Schichtaufbaus (Abb. 1), der Bodenkennwerte und charakteristischen Scherparameter (Tab. 8) entsprechend vorliegenden Planunterlagen als standsicher zu bewerten. Vor Baubeginn des Oberflächenabdichtungssystems sind die Standsicherheitsberechnungen unter Ansatz der Boden- und Materialkennwerte der tatsächlich zum Einsatz kommenden Bodenmaterialien und Geokunststoffen im Rahmen der Ausführungsplanung zu aktualisieren. Hierzu sind die Scherparameter mit Reibungsversuchen nachzuweisen und die anzusetzenden Parameter nach GDA E 2-7 zu bestimmen. Dies ist im QMP zu regeln. Zur Verbesserung der geostatischen Situation im Bereich des Böschungsfußes ist die Rekultivierungsschicht hier auf eine Breite von 4 m leicht verdichtet einzubauen um die Kohäsion stärker zu aktivieren.

Bad Wörishofen, den 16.08.2023

Dipl.-Geol. Achim Veigel  
- Geschäftsführer -



**Legende**  
**Topographie / Flurnummern / Geländehöhen**

- Flurstücksgrenze, gelb dargestellt
- 6027/1 Flurstücksnummern, gelb dargestellt
- 505— Höhenlinien Bestand am 15.02.2023 (Abbaubereich und Zufahrtbereich) und 23.11.2017 (Umgebung) [m ü. NHN]

**Abbau**  
**Abbau / Deponie**

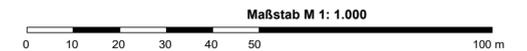
- Grenze Planfeststellung, Linie über Flurstücksgrenze gelb dargestellt
- Grundstück Fa. Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH (Linie gelb dargestellt, Verlauf der Grenze auf Flurgrenze Nr. 6027/1)
- Grenze Sand- und Kiesabbau und Wiederverfüllung (OK Abbauböschung) gem. Genehmigungsplanung Mai 2023
- Umring Deponie Brennborg
- 505— Höhenlinien Bestand am 15.02.2023 (Zufahrtbereich) und 23.11.2017 (Umgebung) [m ü. NHN]
- 515— Höhenlinien [m. NHN] Rekultivierung
- Mit Eintrag in das Grundbuch gesicherte Dienstbarkeit (Urkunde URNr. 2294/2010 vom 29.11.2010) als Ausgleichsmaßnahme für den Sand- und Kiesabbau für Zwecke des Naturschutzes, insbesondere zur Anpflanzung von heimischen autochthonen Bäumen und Sträuchern sowie Anlage von Tümpeln, nicht betroffen ist der Zufahrtsweg

**Grundwassermessstellen**

- Meßstelle (Ausbau in den Oberen Sanden der Unteren fluviatilen Serie)
- Grundwassermessstelle (Ausbau in den Unteren Sanden der Unteren fluviatilen Serie: oberer Grundwasserhauptleiter HGW1 HGW 1a und HGW 1b getrennt mit Dichtung, Vollrohr und temporärem Packereinbau)
- GWM** ◀ Bezeichnung

**Schnittlagen**

- A — A' Berechnungsrelevanter Schnitt



**Datengrundlage**  
 Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung:  
 - Digitales Orthophoto; Aufnahmedatum: 11.06.2022  
 - Digitales Geländemodell DGM 2; Laserscanningbefliegung: 22.11.2017 - 23.11.2017  
 - Digitale Flurkarte: Aktualität: 26.11.2019 und 14.10.2020

Riwa GmbH:  
 Drohnenbefliegung des Abbaus am 13.02.2023  
 Luftbild und DGM vom 15.02.2023 (Datei: 230215-Brennborg 02-2023\_2D.dwg)

**Anmerkung:**  
 - Plan enthält keine Angaben zu Erdleitungen und sonstigen Sparten.  
 - Koordinatensystem: UTM32  
 - Höhenreferenzsystem: DHHN2016 (Meter über Normalhöhennull 1961); m ü. NHN

PROJEKT	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg		PROJEKTNUMMER	2020-09-003
	AUFTRAG: Standsicherheitsnachweis Rekultivierung			
PLAN-INFO	PLANBEZEICHNUNG: Lageplan mit Darstellung der geplanten Rekultivierungshöhen und dem berechnungsrelevanten Profil		MASSSTAB:	1: 1.000
			ANLAGE:	1.1
LAGE	LANDREIS:	Günzburg	GEMEINDE:	Burgau
			GEMARKUNG:	Burgau
AUFTRAGGEBER / AUFTRAGNEHMER	 Geo + Plan Geotechnik GmbH 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		 Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH Lauinger Str. 75 89344 Aislingen Tel.: 09075 95 72 0 Fax: 09075 95 72 23	

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>2.1.1</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Rekussschicht 1,5 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	1,50 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	17,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	26,00 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	0,00 [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 des Kettenfahrzeuges	$G_R =$	250,00 [kN]
Kettenlänge des Kettenfahrzeuges	$L_R =$	3,80 [m]
Kettenbreite des Kettenfahrzeuges	$B_R =$	0,75 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	1,00 [m/s] $\approx$ 3,6 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	1,50 [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>8,049</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>2.1.1</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <p>Geo + Plan Geotechnik GmbH  Max-Planck-Straße 13 86825 Bad Wörishofen  Tel.: 08247/ 998 737 0 Mobilteil.: 0171/ 50 10 510</p>
<b>Auftrag:</b>	Fachanlagenteil 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Rekussschicht 1,5 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

<b>Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung</b>		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,667 [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>21,462 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. Des Baggers durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>4,412 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. Des Baggers bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>0,932 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
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>10,262 [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>4,688 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Berechnung des Verhältnisses <math>\kappa</math></b>		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,784</b> $\kappa < 1$

<b>Berechnung des Auslastungsgrades <math>\mu</math></b>		
Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzustand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{f,d} \times L_R + t_{Rh,d} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,90</b> $\mu < 1$

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

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>2.1.2</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennberg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Entwässerungsschicht 0,2 m Rekuschicht 1,5 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	1,70 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	17,20 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,20 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	30,00 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	0,00 [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 des Kettenfahrzeuges	$G_R =$	250,00 [kN]
Kettenlänge des Kettenfahrzeuges	$L_R =$	3,80 [m]
Kettenbreite des Kettenfahrzeuges	$B_R =$	0,75 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	1,00 [m/s] $\approx$ 3,6 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	1,50 [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>9,230</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>0,758</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>2.1.2</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Entwässerungsschicht 0,2 m Rekuschicht 1,5 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

<b>Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung</b>		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,667</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>23,563</b> [m <sup>2</sup> ]
Statische Belast. Des Baggers durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>4,019</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Dynam. Belast. Des Baggers bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>0,849</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

<b>Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
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>13,929</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Reibungskraft durch Eigengewicht des Baggers $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>5,054</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

<b>Berechnung des Verhältnisses <math>\kappa</math></b>		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,717</b> $\kappa < 1$

<b>Berechnung des Auslastungsgrades <math>\mu</math></b>		
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>0,78</b> $\mu < 1$

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

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)		<b>2.1.3</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Rekussschicht 3,0 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	3,00 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	17,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	26,00 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	0,00 [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 des Kettenfahrzeuges	$G_R =$	250,00 [kN]
Kettenlänge des Kettenfahrzeuges	$L_R =$	3,80 [m]
Kettenbreite des Kettenfahrzeuges	$B_R =$	0,75 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	1,00 [m/s] $\approx$ 3,6 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	1,50 [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>16,098</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>2.1.3</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Rekultivierungsschicht zu PP-Filtergewebe</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Rekuschiht 3,0 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

<b>Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung</b>		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,667 [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>37,223 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. Des Baggers durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>2,544 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. Des Baggers bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>0,538 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
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>20,524 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Reibungskraft durch Eigengewicht des Baggers $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>2,703 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Berechnung des Verhältnisses <math>\kappa</math></b>		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,784</b> $\kappa < 1$

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

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

Untersuchung:		Anlage
<b>Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)</b>		<b>2.1.4</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Entwässerungsschicht 0,2 m Rekuschicht 3,0 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

<b>Datengrundlage Böschung</b>		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$l =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	3,20 [m]
Wichte Boden	$\gamma_B =$	17,10 [kN/m <sup>3</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,20 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Reduzierter Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	30,00 [°]
Wirksame Kohäsion	$c'_k =$	0,00 [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 des Kettenfahrzeuges	$G_R =$	250,00 [kN]
Kettenlänge des Kettenfahrzeuges	$L_R =$	3,80 [m]
Kettenbreite des Kettenfahrzeuges	$B_R =$	0,75 [m]
Maximalgeschwindigkeit	$v =$	1,00 [m/s] $\approx$ 3,6 [km/h]
Zeit bis zum Stillstand	$t =$	1,50 [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>17,272</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>0,758</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Untersuchung:		Anlage
<b>Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Bauzustand (BS-T)</b>		<b>2.1.4</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Schichtfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies</b>	
<b>Zustand:</b>	Bauzustand Schichtdicke Entwässerungsschicht 0,2 m Rekuschicht 3,0 m - mit Befahrung	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

<b>Einwirkung: Schubkraft durch Befahrung</b>		
Bremsverzögerung $a_v = v/t$	$a_v =$	<b>0,667 [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>39,325 [m<sup>2</sup>]</b>
Statische Belast. Des Baggers durch Eigenlast $t_{Rd,s} = (G_R / A) \times \gamma_G \times \sin \beta$	$t_{Rd,s} =$	<b>2,408 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Dynam. Belast. Des Baggers bei Vollbremsung $t_{Rd,d} = \frac{((G_R / g) \times a_v) \times \gamma_Q}{A}$	$t_{Rd,d} =$	<b>0,509 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Widerstände, pro laufender Meter Böschungslänge</b>		
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>26,067 [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Reibungskraft durch Eigengewicht des Baggers $t_{Rd,h} = ((G_R / A) \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{Rd,h} =$	<b>3,028 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Berechnung des Verhältnisses <math>\kappa</math></b>		
$\kappa = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} \times L)}$	$\kappa =$	<b>0,692</b> $\kappa < 1$

<b>Berechnung des Auslastungsgrades <math>\mu</math></b>		
Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzustand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + s_{w,d}) \times L_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \times L_R}{t_{f,d} \times L_R + t_{Rh,d} \times L_R}$	$\mu =$	<b>0,72</b> $\mu < 1$

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

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Endzustand (BS-P)		<b>2.2.1</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Gesamtlage – Gleitfuge Rekuschicht zu PP-Filtergewebe</b>	
<b>Zustand:</b>	Endzustand Schichtdicke Rekuschicht 3,0 m	
<b>Auftraggeber:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH	
<b>Projekt-Nr.:</b>	2020-09-003	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$L =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	3,00 [m]
Wichte Boden	$\gamma =$	17,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Schneelast	$s_k =$	1,07 [kN/m <sup>2</sup> ]
Baumlast	$B_k =$	151,00 [kN/m <sup>2</sup> ]
Wurzellast (Breite 5 m)	$B_k / 5 =$	21,80 [kN/m <sup>2</sup> ]
Schneelast und Baumlast	$s_k + B_k/5 =$	22,87 [kN/m <sup>2</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,00 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	26,00 [°]

Teilsicherheitsbeiwerte (BS-P) nach DIN 1054: 2010-12		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Vorübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,30
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_\delta =$	1,25

Einwirkung Hangab treibende Käfte jeweils pro laufender Meter Böschungslänge		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>16,098</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Schubkraft Schnee und Bäume $t_{s,d} = s_k \times \gamma_Q \times \sin \beta$	$t_{s,d} =$	<b>9,385</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_w =$	<b>0,000</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Widerstände		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{f,d} =$	<b>18,882</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Reibungskraft Schnee und Bäume $t_{s,h,d} = (s_k \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{s,h,d} =$	<b>8,467</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenz Zustand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + t_{s,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} + t_{s,h,d}) \times L}$	$\mu =$	<b>0,932</b>

Ergebnis
Die Standsicherheit ist nachgewiesen.

Untersuchung:		Anlage
Berechnung der Sicherheit gegen Gleiten: Endzustand (BS-P)		<b>2.2.2</b>
<b>Projekt:</b>	DKI- Boden- und Bauschuttdeponie Brennborg	 <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 10.4.2 Standsicherheitsnachweis der Rekultivierungsschicht	
<b>Nachweis für:</b>	<b>Gesamtlage Gleitfuge Entwässerungsschicht zu PP-Schutzvlies</b>	
<b>Zustand:</b>	Endzustand Schichtdicke Entwässerungsschicht 0,2 m Rekussschicht 3,0 m	
<b>Auftraggeber:</b> <b>Projekt-Nr.:</b>	Roßhauptener Kiesgesellschaft mbH 2020-09-003	

Datengrundlage Böschung		
Böschungsneigung	$\beta =$	18,40 [°]
Böschungslänge	$L =$	54,0 [m]
Schichtdicke	$d =$	3,20 [m]
Wichte Boden	$\gamma =$	17,10 [kN/m <sup>3</sup> ]
Schneelast	$s_k =$	1,07 [kN/m <sup>2</sup> ]
Baumlast	$B_k =$	21,80 [kN/m <sup>2</sup> ]
Wurzellast (Breite 5 m)	$B_k / 5 =$	4,36 [kN/m <sup>2</sup> ]
Schneelast und Baumlast	$s_k + B_k/5 =$	5,43 [kN/m <sup>2</sup> ]
Aufstauhöhe	$h_w =$	0,20 [m]
Wasserwichte	$\gamma_w =$	10,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Kontaktreibungswinkel	$\delta_k =$	30,00 [°]

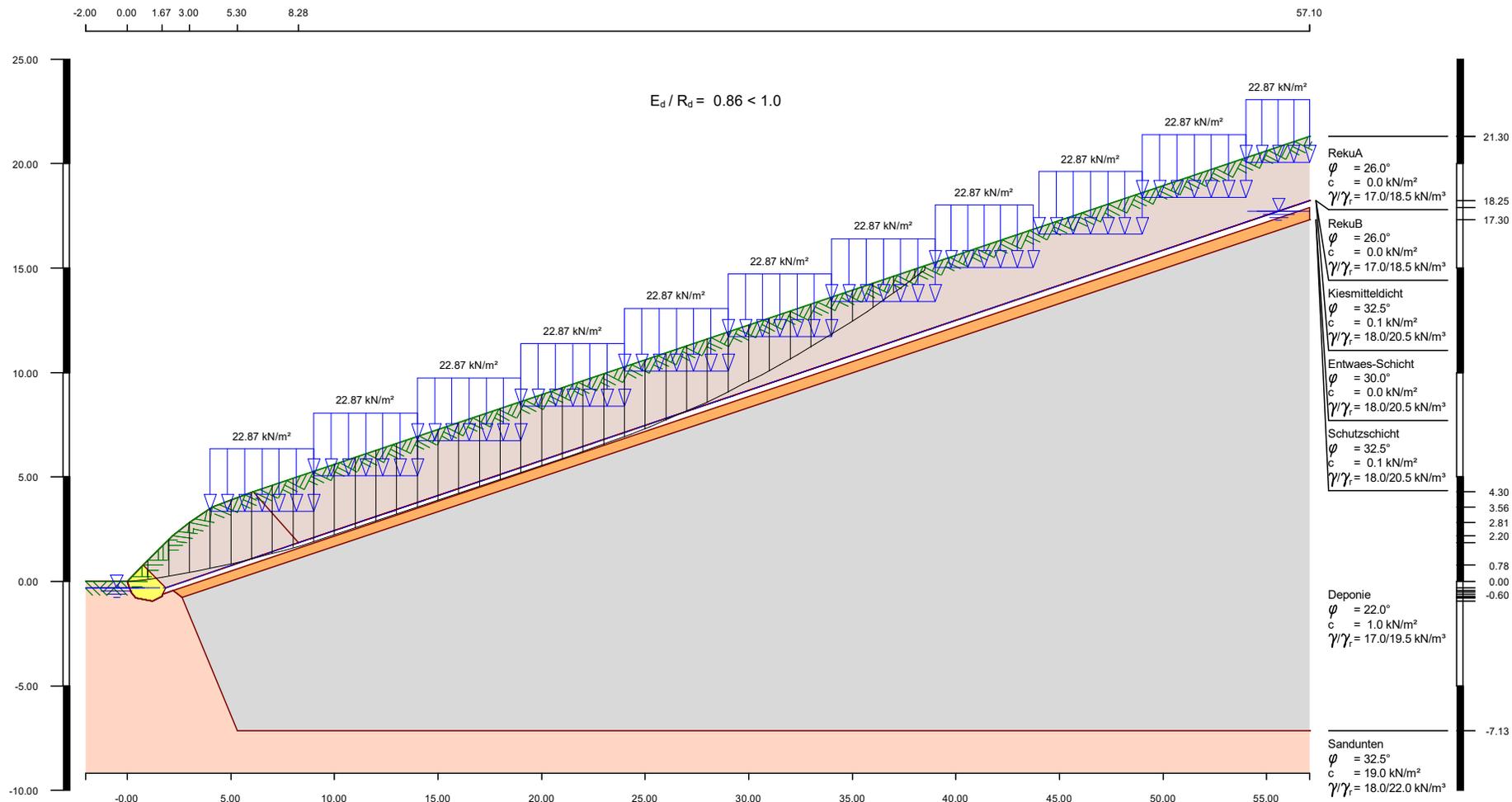
Teilsicherheitsbeiwerte (BS-P) nach DIN 1054: 2010-12		
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G =$	1,00
Vorübergehende Einwirkungen	$\gamma_Q =$	1,30
Widerstände (Scherfestigkeit)	$\gamma_\delta =$	1,25

Einwirkung Hangab treibende Kräfte jeweils pro laufender Meter Böschungslänge		
Schubkraft Boden durch Eigenlast $t_{B,d} = \gamma \times \gamma_G \times d \times \sin \beta$	$t_{B,d} =$	<b>17,272</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Schubkraft Schnee und Bäume $t_{s,d} = s_k \times \gamma_Q \times \sin \beta$	$t_{s,d} =$	<b>2,228</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Strömungskraft durch Einstau in Dränschicht $s_{w,d} = \gamma_w \times \gamma_Q \times h_w \times \sin \beta$	$s_w =$	<b>0,821</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Widerstände		
Reibungskraft des Bodens durch Eigenlast $t_{f,d} = (\gamma \times d \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{f,d} =$	<b>23,982</b> [kN/m <sup>2</sup> ]
Reibungskraft Schnee und Bäume $t_{s,h,d} = (s_k \times \cos \beta \times \tan \delta_k) / \gamma_\delta$	$t_{s,h,d} =$	<b>2,380</b> [kN/m <sup>2</sup> ]

Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ Gegenüberstellung hangabwärts gerichtete Kräfte $E_d$ zu Reibungskräften in der Schichtgrenze $R_d$ ; Anforderung Grenzstand $\mu = E_d / R_d \leq 1$		
$\mu = \frac{(t_{B,d} + t_{s,d} + s_{w,d}) \times L}{(t_{f,d} + t_{s,h,d}) \times L}$	$\mu =$	<b>0,771</b>

Ergebnis	
Die Standsicherheit ist nachgewiesen.	



**Projekt:** DKI-Deponie Brennborg  
 Bericht zum Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch der Oberflächenabdichtung der DKI-Deponie

**Projektnr.:** 2020-09-003

**Bemerk.:** Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Entwässerungsschichtbasis, Auflast Schnee und Wald: 22,87 kN (Bemessungssituation BS-P) : Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt

**Maßstab :** 1: 300

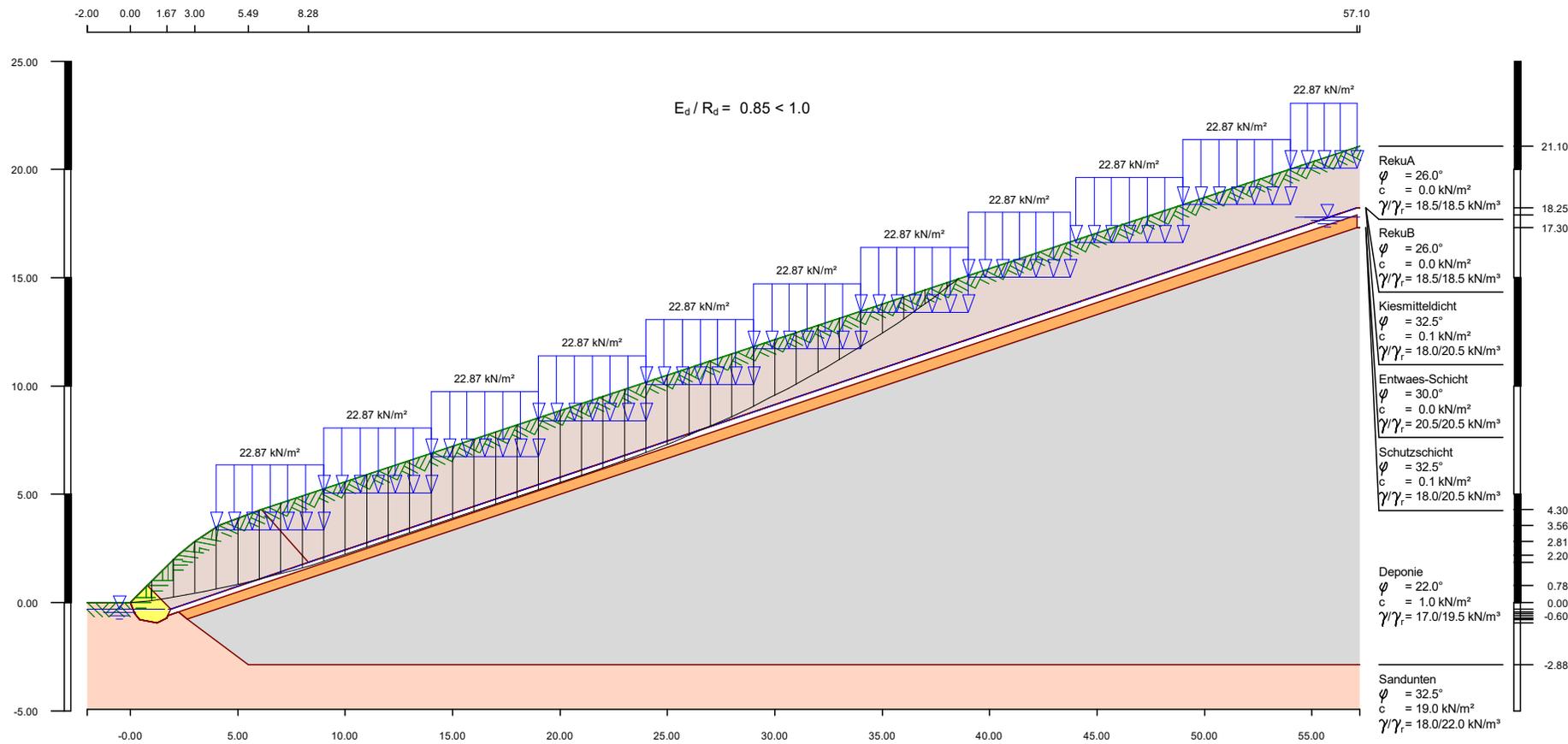
**Bearbeit.:** 13.08.2023

**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: 3.1**



**Projekt:** DKI-Deponie Brennborg  
 Bericht zum Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch der Oberflächenabdichtung der DKI-Deponie

**Projektnr.:** 2020-09-003

**Bemerk.:** Standsicherheitsnachweis nach Janbu mit vorgegebener Gleitfuge an der Entwässerungsschichtbasis, Auflast Schnee und Wald: 22,87 kN (Bemessungssituation BS-P) : Scherparameter entsprechend den Werten der Gleitfugen herabgesetzt, Boden gesättigt

**Maßstab :** 1: 300

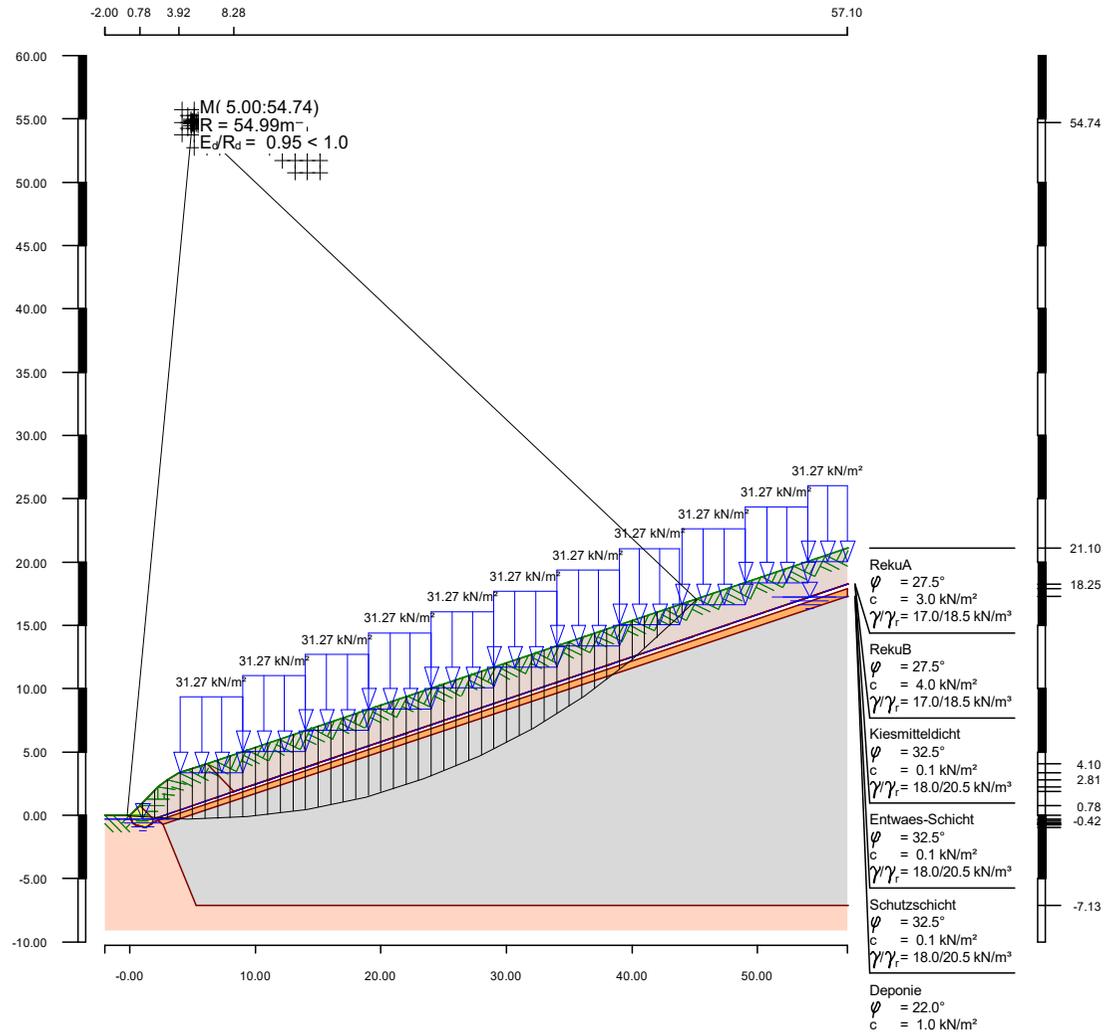
**Bearbeit.:** 13.08.2023

**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: 3.2**



**Projekt:** DKI-Deponie Brennborg  
 Bericht zum Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch der Oberflächenabdichtung der DKI-Deponie

**Projektnr.:** 2020-09-003

**Bemerk.:** Standsicherheitsnachweis Gleitkreisberechnung mit iterierendem Radius und Mittelpunkt, Auflast Schnee und Wald: 31,27 kN/m  
 (Bemessungssituation BS-P)

**Maßstab :** 1: 600

**Bearbeit.:** 13.08.2023

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

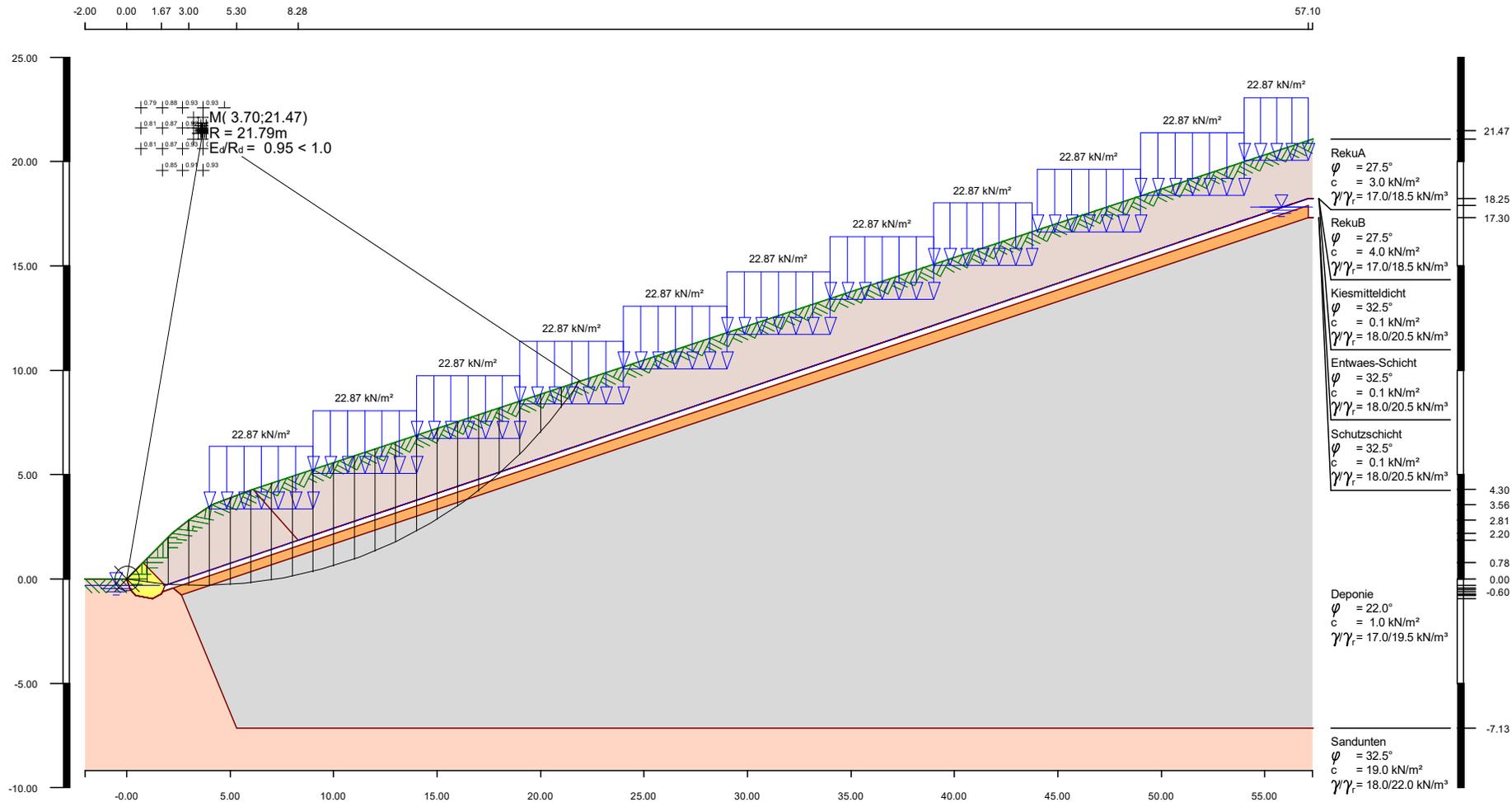
Fax: 08247/998-737-9

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

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 3.3



**Projekt:** DKI-Deponie Brennborg  
 Bericht zum Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch der Oberflächenabdichtung der DKI-Deponie

**Projektnr.:** 2020-09-003

**Bemerk.:** Standsicherheitsnachweis Gleitkreisberechnung mit iterierendem Radius und Mittelpunkt, Auflast Schnee und Wald: 22,87 kN/m  
 (Bemessungssituation BS-P)

**Maßstab :** 1: 300

**Bearbeit.:** 13.08.2023

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

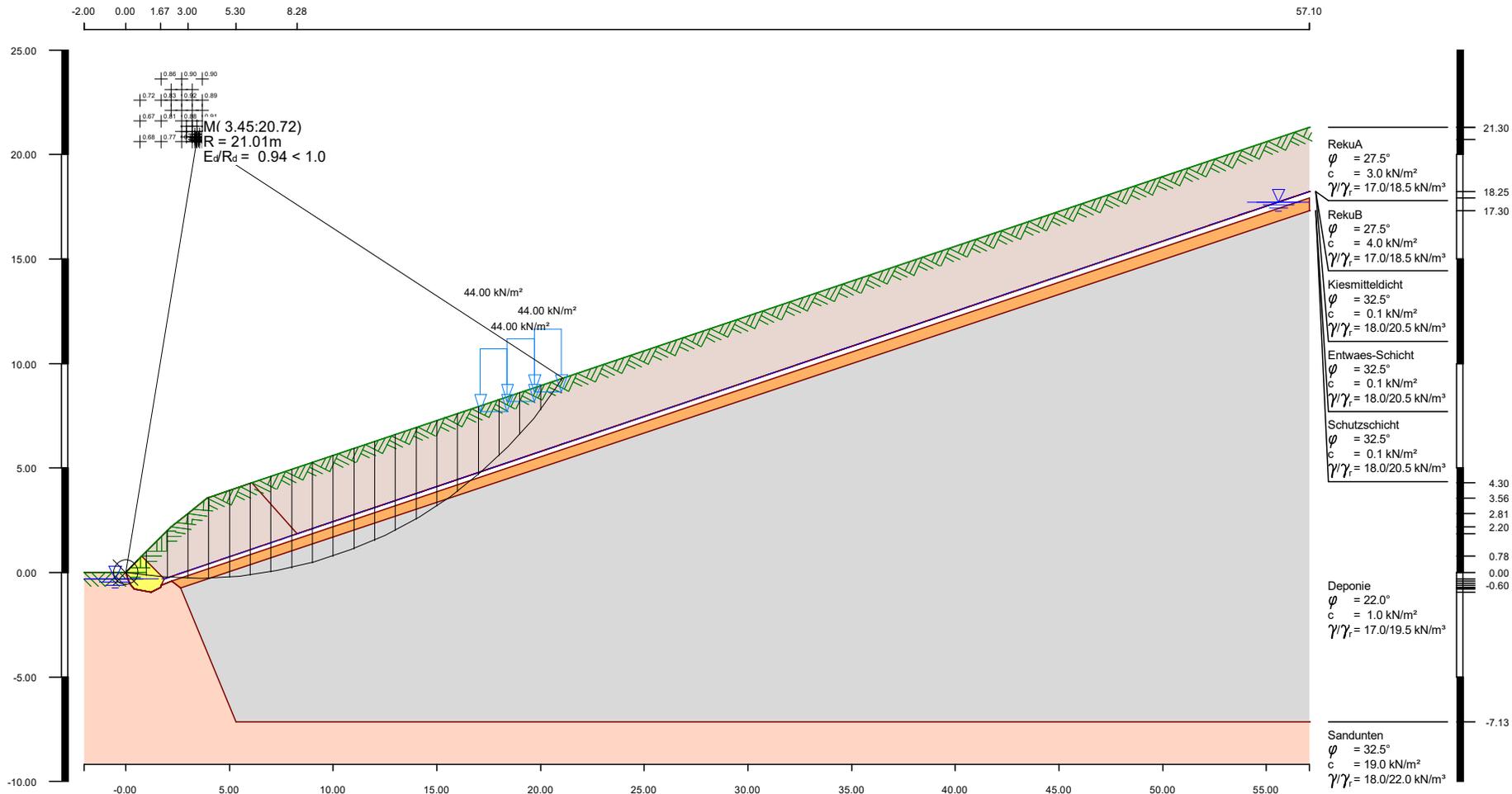
Fax: 08247/998-737-9

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

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42



**Anlage: 3.3**



**Projekt:** DKI-Deponie Brennborg  
Bericht zum Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch der Oberflächenabdichtung der DKI-Deponie

**Projektnr.:** 2020-09-003

**Bemerk.:** Standsicherheitsnachweis Gleitkreisberechnung mit iterierendem Radius und Mittelpunkt, Verkehrslast 44 kN/m<sup>2</sup>  
Fixpunkt am Böschungsfuss (Bemessungssituation BS-T)

**Maßstab :** 1: 300

**Bearbeit.:** 13.08.2023

**Geo + Plan Geotechnik GmbH**

Max-Planck-Strasse 13

86825 Bad Wörishofen

Tel.: 08247/998-737-0

Fax: 08247/998-737-9

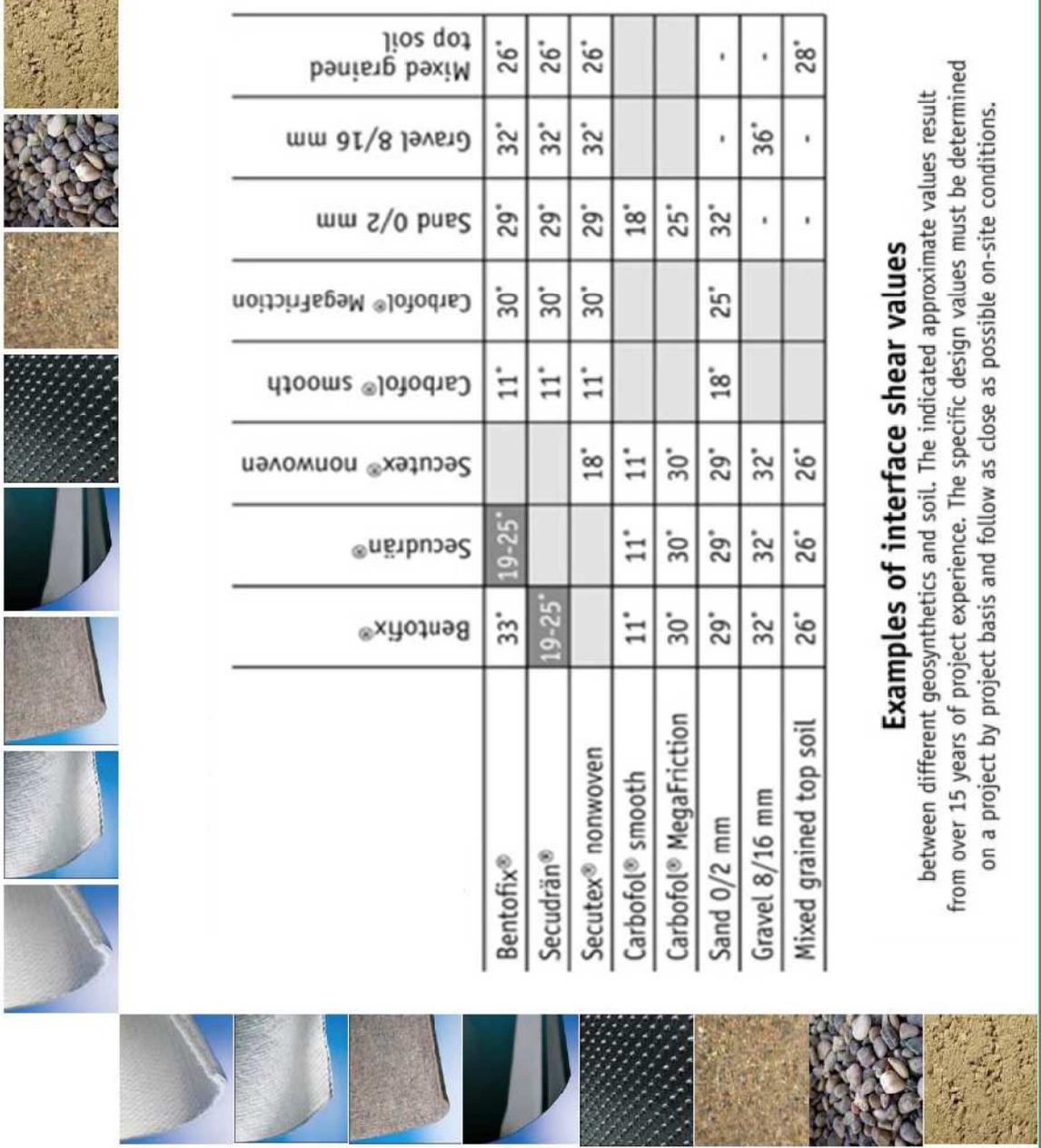
E-Mail: a.veigel@geo-planung.de

Programm DC-Böschung/Win Version 8.42

Geo + Plan

Anlage: 3.5

# Reibungsparameter sind immer produktspezifisch



	Bentofix®	Secudrän®	Secutex® nonwoven	Carbofol® smooth	Carbofol® Megafriktion	Sand 0/2 mm	Gravel 8/16 mm	Mixed grained top soil
Bentofix®	33°	19-25°		11°	30°	29°	32°	26°
Secudrän®	19-25°			11°	30°	29°	32°	26°
Secutex® nonwoven			18°	11°	30°	29°	32°	26°
Carbofol® smooth	11°	11°			18°			
Carbofol® Megafriktion	30°	30°			25°			
Sand 0/2 mm	29°	29°	29°	18°	25°	32°	-	-
Gravel 8/16 mm	32°	32°	32°			-	36°	-
Mixed grained top soil	26°	26°	26°			-	-	28°

## Examples of interface shear values

between different geosynthetics and soil. The indicated approximate values result from over 15 years of project experience. The specific design values must be determined on a project by project basis and follow as close as possible on-site conditions.

## Rasterfeld 197149

(Zeile 197, Spalte 149)

## Regenspende und Bemessungsniederschlagswerte in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit T und Dauerstufe D

Dauerstufe D min Std	Wiederkehrzeit T																	
	1 a mm	2 a mm	3 a mm	5 a mm	10 a mm	20 a mm	30 a mm	50 a mm	100 a mm	I / (s ha)								
5	8,2	273,3	9,9	330,0	10,9	363,3	12,2	406,7	14,2	473,3	16,2	540,0	17,5	583,3	19,2	640,0	21,6	720,0
10	10,7	178,3	12,8	213,3	14,2	236,7	15,9	265,0	18,4	306,7	21,0	350,0	22,8	380,0	25,0	416,7	28,2	470,0
15	12,2	135,6	14,6	162,2	16,1	178,9	18,1	201,1	21,0	233,3	24,0	266,7	25,9	287,8	28,5	316,7	32,1	356,7
20	13,2	110,0	15,9	132,5	17,6	146,7	19,8	165,0	22,9	190,8	26,1	217,5	28,2	235,0	31,0	258,3	35,0	291,7
30	14,8	82,2	17,8	98,9	19,7	109,4	22,1	122,8	25,6	142,2	29,2	162,2	31,6	175,6	34,7	192,8	39,1	217,2
45	16,5	61,1	19,8	73,3	21,8	80,7	24,5	90,7	28,4	105,2	32,5	120,4	35,1	130,0	38,5	142,6	43,5	161,1
60	17,7	49,2	21,3	59,2	23,5	65,3	26,4	73,3	30,5	84,7	34,9	96,9	37,7	104,7	41,4	115,0	46,7	129,7
90	19,5	36,1	23,4	43,3	25,9	48,0	29,1	53,9	33,7	62,4	38,5	71,3	41,6	77,0	45,7	84,6	51,5	95,4
120	20,9	29,0	25,1	34,9	27,7	38,5	31,1	43,2	36,1	50,1	41,2	57,2	44,5	61,8	48,9	67,9	55,1	76,5
180	22,9	21,2	27,6	25,6	30,4	28,1	34,2	31,7	39,6	36,7	45,2	41,9	48,9	45,3	53,7	49,7	60,6	56,1
240	24,5	17,0	29,5	20,5	32,5	22,6	36,5	25,3	42,3	29,4	48,3	33,5	52,2	36,3	57,4	39,9	64,7	44,9
360	26,9	12,5	32,3	15,0	35,7	16,5	40,1	18,6	46,4	21,5	53,0	24,5	57,3	26,5	62,9	29,1	71,0	32,9
540	29,5	9,1	35,4	10,9	39,1	12,1	43,9	13,5	50,9	15,7	58,1	17,9	62,8	19,4	69,0	21,3	77,8	24,0
720	31,4	7,3	37,8	8,8	41,7	9,7	46,9	10,9	54,3	12,6	62,0	14,4	67,0	15,5	73,6	17,0	83,0	19,2
1080	34,4	5,3	41,4	6,4	45,7	7,1	51,4	7,9	59,5	9,2	67,9	10,5	73,4	11,3	80,6	12,4	91,0	14,0
1440	36,7	4,2	44,2	5,1	48,8	5,6	54,8	6,3	63,5	7,3	72,5	8,4	78,3	9,1	86,0	10,0	97,0	11,2
2880	42,9	2,5	51,6	3,0	57,0	3,3	64,0	3,7	74,2	4,3	84,6	4,9	91,5	5,3	100,5	5,8	113,4	6,6
4320	47,0	1,8	56,5	2,2	62,4	2,4	70,1	2,7	81,2	3,1	92,7	3,6	100,2	3,9	110,0	4,2	124,1	4,8
5760	50,1	1,4	60,2	1,7	66,5	1,9	74,7	2,2	86,6	2,5	98,8	2,9	106,8	3,1	117,3	3,4	132,4	3,8
7200	52,7	1,2	63,3	1,5	69,9	1,6	78,6	1,8	91,0	2,1	103,9	2,4	112,3	2,6	123,3	2,9	139,1	3,2
8640	54,9	1,1	66,0	1,3	72,8	1,4	81,8	1,6	94,8	1,8	108,2	2,1	117,0	2,3	128,5	2,5	144,9	2,8
10080	56,8	0,9	68,3	1,1	75,4	1,2	84,7	1,4	98,1	1,6	112,0	1,9	121,1	2,0	133,0	2,2	150,0	2,5

### Rasterfeld 197149

(Zeile 197, Spalte 149)

#### Örtliche Unsicherheiten in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit T und Dauerstufe D

Dauerstufe D min Std	Wiederkehrzeit T									
	1 a ± %	2 a ± %	3 a ± %	5 a ± %	10 a ± %	20 a ± %	30 a ± %	50 a ± %	100 a ± %	
5	15	15	16	16	17	17	17	18	18	
10	18	20	20	21	21	22	22	22	23	
15	20	22	22	23	24	24	24	25	25	
20	21	23	23	24	25	25	26	26	26	
30	22	24	24	25	26	26	27	27	27	
45	23	24	25	25	26	27	27	27	28	
60	22	24	24	25	26	26	27	27	27	
90	22	23	24	24	25	26	26	26	27	
120	21	22	23	24	24	25	25	26	26	
180	20	21	22	23	23	24	24	25	25	
240	19	20	21	22	22	23	23	24	24	
360	18	19	20	20	21	22	22	22	23	
540	17	18	19	19	20	21	21	21	22	
720	16	17	18	18	19	20	20	20	21	
1080	16	17	17	18	18	19	19	19	20	
1440	15	16	17	17	18	18	18	19	19	
2880	15	16	16	16	17	17	17	17	18	
4320	16	16	16	16	16	17	17	17	17	
5760	16	16	16	16	16	17	17	17	17	
7200	16	16	16	17	17	17	17	17	17	
8640	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
10080	17	17	17	17	17	17	17	18	18	

#### Parameter für abweichende T und D

**Lokationsparameter  $\xi$  (Xi)**  
18,09637737

**Skalenparameter  $\alpha$  (Alpha)**  
5,07898141

**Formparameter  $\kappa$  (Kappa)**  
-0,1

**1. Koutsoyiannis-Parameter  $\theta$  (Theta)**  
0,02962023

**2. Koutsoyiannis-Parameter  $\eta$  (Eta)**  
0,77662706

Parameter für dauerstufenübergreifende Extremwertschätzung nach KOUTSOYIANNIS et al. 1998.

Siehe auch Anwendungshilfe zu KOSTRA-DWD-2020 des Deutschen Wetterdienstes.

# Starkniederschlagshöhen und -spenden gemäß KOSTRA-DWD-2020

Anlage 4.2

## Rasterfeld 197149

(Zeile 197, Spalte 149)

Übersichtskarte des Rasterfeldes 197149, M 1 : 100 000

