

**Gutachten**  
**Stand- und Gleitsicherheitsnachweis Basisabdichtung**  
**B2304216**

**Antragsteller:** Landkreis Landshut  
Tiefbauabteilung  
Georg-Pöschl-Straße 25  
84056 Rottenburg a.d. Laaber

**Baumaßnahme:** Erweiterung Deponie, Spitzlberg

**Bauteil:** Basisabdichtung

**Inhalt des Antrages:** Standsicherheitsnachweis zur Basisabdichtung

**Erdstatische Berechnung:** Geoplan GmbH  
Donau-Gewerbepark 5  
94486 Osterhofen

Osterhofen, den 31.10.2023

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>I. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>II. Anlagen.....</b>	<b>II</b>
<b>III. Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>1. Auftrag.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2. Böschungsgeometrie .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>3. Berechnungsansätze.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>3.1 Allgemein .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>3.2 Materialkennwerte .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>4. Nachweis der Gleitsicherheit zur Basisabdichtung.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>4.1 Ansatz der Kräfte.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>4.2 Einwirkungen.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>4.3 Widerstände.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>4.4 Berechnung des Auslastungsgrades <math>\mu</math> für Bemessungssituation BS-P .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>5. Beurteilung des Stand- und Gleitsicherheitsnachweis .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>6. Gesamtstandsicherheitsnachweis.....</b>	<b>- 6 -</b>

**I. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Bodenkennwerte zu den verschiedenen Schichten der Basisabdichtung.....	- 2 -
Tabelle 2: Verbundparameter der Grenzflächen.....	- 3 -
Tabelle 3: Auslastungsgrad $\mu$ für Bemessungssituation BS-P (von unten nach oben) .....	- 5 -

**II. Anlagen**

**Anlage 1:** Ermittlung des Auslastungsgrades für alle relevanten Grenzflächen

**Anlage 2:** Gesamtstandsicherheitsnachweis Basisabdichtung (BS-P)

### III. Abkürzungsverzeichnis

$\beta$	Böschungsneigung ( <i>in °</i> )
$d_{ges}$	Dicke der Bodenschichten gesamt $b_{ges}$ ( <i>in m</i> )
$d_1$	Dicke der Bodenschichten Abschnitt 1 ( <i>in m</i> )
$d_2$	Dicke der Bodenschichten Abschnitt 2 ( <i>in m</i> )
$d_3$	Dicke der Bodenschichten Abschnitt 3 ( <i>in m</i> )
$s_k$	Schneelast ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$\gamma_1$	Bodenwichte $d_1$ ( <i>in kN/m<sup>3</sup></i> )
$\gamma_2$	Bodenwichte $d_2$ ( <i>in kN/m<sup>3</sup></i> )
$\gamma_3$	Bodenwichte $d_3$ ( <i>in kN/m<sup>3</sup></i> )
$\gamma_w$	Wasserwichte ( <i>in kN/m<sup>3</sup></i> )
$h_w$	Mittlere Aufstauhöhe ( <i>in m</i> )
$\varphi_k$	Reibungswinkel ( <i>in °</i> )
$\delta_k$	Kontaktreibungswinkel ( <i>in °</i> )
$c_k/a_k$	Kohäsion/Adhäsion ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$\gamma_G$	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
$\gamma_Q$	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen
$\gamma_{\delta}$	Teilsicherheitsbeiwert für Widerstände
$t_{B,d}$	Schubkraft Boden in Böschungfallrichtung ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$t_{S,d}$	Schubkraft aus Schneelast in Böschungfallrichtung ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$s_{w,d}$	Strömungskraft ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$t_{f,d}$	Mobilisierte Reibungskraft in der kritischen Scherfuge ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$t_{S,h,d}$	Mobilisierte Reibungskraft aus der Schneelast ( <i>in kN/m<sup>2</sup></i> )
$\mu$	Auslastungsgrad $\mu$ für Bemessungssituation BS-P je Grenzfläche

## 1. Auftrag

Unser Büro Geoplan GmbH aus 94486 Osterhofen wurde vom Landkreis Landshut, Tiefbauabteilung, 84056 Rottenburg a.d. Laaber beauftragt, die erdstatistische Bemessung der Gesamtsicherheit der Böschung sowie der Oberflächenabdichtung zur Baumaßnahme eines neuen Deponieabschnittes in Spitzlberg durchzuführen. Bei der geplanten Baumaßnahme handelt es sich um die Erweiterung der Basisabdichtung der Deponie. Für den Nachweis der Stand- und Gleitsicherheit der Basisabdichtung werden Erfahrungswerte sowie die zuvor im Labor und Feld bestimmten bodenmechanischen Kennwerte miteinbezogen.

Die Genehmigungsplanung für die Erweiterung der Deponie in Spitzlberg wurde vom Ingenieurbüro Sehlhoff GmbH angefertigt und Geoplan GmbH am 06.10.2023 für die weitere Verwendung zur Verfügung gestellt.

## 2. Böschungsgeometrie

Aus den vorliegenden Unterlagen zu den verschiedenen Regelabschnitten gehen folgende maßgebenden geometrischen Randbedingungen hervor:

- Böschungsneigung Regelfall:  $1 : 2 = \beta \approx 26,56^\circ$
- Böschungslänge maximal:  $L = \text{ca. } 36 \text{ m}$
- Böschungshöhe maximal:  $H = \text{ca. } 17 \text{ m}$

Der Aufbau des Abdichtungssystems der Basisabdichtung ist nach folgendem Schema (von unten nach oben) geplant, wofür für jedes Einbaumaterial eine Eignungsprüfung vorliegt:

- Untergrund aus Kies der Nördlichen Vollsotter-Abfolge
- Vliesschicht
- Technische Barriere ( $d = 1,00 \text{ m}$ )
- Deponieasphalttragschicht (AC 11 D-DA;  $d = 6 \text{ cm}$ )
- Deponieasphaltdichtungsschicht (AC 11 D-DA;  $d = 4 \text{ cm}$ )
- Drainageschicht aus 16/32 mm Rollkies ( $d = 0,50 \text{ m}$ )

## 3. Berechnungsansätze

Nachfolgend werden die Berechnungsansätze zum Nachweis der Stand- und Gleitsicherheit beschrieben.

### 3.1 Allgemein

Der Stand- und Gleitsicherheitsnachweis erfolgt nach den „Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten“ (GDA) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Im Genaueren wurde dabei der aktuelle Entwurf der Empfehlung E 2-7 herangezogen.

Aus diesen Empfehlungen geht hervor, dass in jeder Grenzfläche zwischen den einzelnen Schichten die Standsicherheit nach BS-P (Planmäßige Nutzung mit regelmäßig auftretenden Einwirkungen) sowie die innere Standsicherheit der mineralischen Schichten nachzuweisen ist.

### 3.2 Materialkennwerte

Der natürliche Untergrund besteht nach Angaben vom bayrischen Landesamt für Umwelt (LfU) überwiegend aus den Kiesen der tertiären Nördlichen Vollsotter-Abfolge.

Die Kiese und Sande der Schotterabfolge lagen in mitteldichter bis sehr dichter Lagerung vor und weisen auf Solniveau eine große Gesamtscherfestigkeit vor.

Für die zu verwendenden Materialien der technischen Barriere und für die geplanten Materialien für die Asphalttrag- und Asphaltabdichtungsschicht sowie die Entwässerungsschicht wurden bodenmechanische Kennwerte aus Erfahrungswerten abgeleitet. Diese bodenmechanischen Kennwerte sind vor dem Einbau mittels Eignungsprüfung zu überprüfen.

Aus der Berechnung der Standsicherheit und unter Einbezug der geprüften bodenmechanischen Kennwerte der einzubauenden Materialien für die verschiedenen Schichten der Basisabdichtung ergeben sich somit insgesamt folgende Bodenkennwerte:

Tabelle 1: Bodenkennwerte zu den verschiedenen Schichten der Basisabdichtung

Material	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Untergrund	20,5	37,6	0,65	35,0	0,5
Technische Barriere	18,5	19,1	10,4	17,5	8,0
Drainageschicht	17,5	41,7	0,0	39,0	0,0

Der Reibungswinkel  $\varphi$  sowie die Kohäsion  $c$  sind gemäß GDA Empfehlung E 2-7 für die Standsicherheitsberechnung entsprechend abzumindern. Der Abminderungsfaktor für den Reibungswinkel  $\varphi$  entspricht  $\tan \varphi_k = \tan \varphi / 1,1$  und für die Kohäsion  $c_k = c / 1,3$ .

Für die Standsicherheitsbetrachtungen an den jeweiligen Grenzflächen werden folgende Verbundparameter angesetzt, die anhand von Scherversuchen labortechnisch projektspezifisch ermittelt wurden.

Tabelle 2: Verbundparameter der Grenzflächen

Grenzfläche	Versuchsergebnisse		Rechenwerte	
	$\delta$ [°]	a [kN/m <sup>2</sup> ]	$\delta_k$ [°]	$a_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Untergrund / Vlies	19,8	11,6	18,1	5,8
Technische Barriere / Vlies	15,4	12,0	14,1	6,0
Asphalttragschicht / Technische Barriere	37,6	0,0	35,0	0,0
Asphaltdichtungsschicht / Asphalttragschicht	37,6	0,0	35,0	0,0
Drainageschicht / Asphaltdichtungsschicht	41,7	0,0	39,0	0,0

Der Kontaktreibungswinkel  $\delta$  sowie die Adhäsion a sind gemäß GDA Empfehlung E 2-7 für die Standsicherheitsberechnung entsprechend abzumindern. Der Abminderungsfaktor für den Kontaktreibungswinkel  $\delta$  entspricht  $\tan \delta_k = \tan \delta / 1,1$ . Für die Adhäsion wird trotz der vorliegenden labortechnischen Untersuchung  $a_k = a / 2,0$  angesetzt werden.

Die Belastung aus Eigengewicht wird entsprechend der Wichten der jeweiligen mineralischen Schichten angesetzt. Das Eigengewicht der KDB, Sandschutzmatte und weiteren Geotextilien wird aufgrund des geringen Schichtdicken nicht berücksichtigt. Für die Kontaktfuge Ausgleichsschicht / Technische Barriere wurden die ungünstigeren Scherparameter der kiesigen Ausgleichsschicht ohne Adhäsion in Ansatz gebracht, wie eine Vergleichsrechnung ergab.

Die Schneelast wurde nach DIN 1055 (Teil 5) aufgrund der Höhe des Standortes von etwa 420,0 m NN und der Lage nördlich des Isartals auf Schneelastzone 1a eingestuft. Dadurch ergibt sich eine Regelschneelast  $s_k = 0,86 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4. Nachweis der Gleitsicherheit zur Basisabdichtung

Nachfolgend werden alle relevanten Einwirkungen sowie Widerstände für die Berechnung der Gleitsicherheit mit der zugehörigen Formel aufgeführt.

##### 4.1 Ansatz der Kräfte

Für den Nachweis der Gleitsicherheit des Abdichtungssystems der Basisabdichtung für die Erweiterung der Deponie in Spitzberg ist es ausreichend die potenzielle Gleitfläche als 1,0 m breite und böschungsparelle Scherebene zu untersuchen.

##### 4.2 Einwirkungen

Schubkraft (Boden)  $t_{B,d}$ :

Die Schubkraft des Bodens ( $t_{B,d}$ ) resultiert aus dem Eigengewicht der Deckschichten. Der Nachweis wird pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung mit folgender Formel berechnet:

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

wobei gilt:  $\sum (\gamma \cdot d) = (\gamma_1 \cdot d_1) + (\gamma_2 \cdot d_2) + (\gamma_3 \cdot d_3)$

#### Schubkraft (Schnee) $t_{S,d}$ :

Die Schubkraft von Schnee ( $t_{S,d}$ ) ergibt sich aus der maximal für diese Standort anzusetzenden Schneelast  $s_k = 0,86 \text{ kN/m}^2$  auf der Deckschicht. Der Nachweis wird pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung mit folgender Formel berechnet:

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

#### Strömungskraft $s_{w,d}$ :

Unter den Auswirkungen eines starken Niederschlagsereignisses kann es unter Umständen zu einem Aufstau von Niederschlagswasser in der Dränschicht der Basisabdichtung kommen. Dadurch kommt es zu zusätzlich auftretenden treibenden Kräften (Strömungskraft  $s_{w,d}$ ).

Nach EBGeo wird die Strömungskraft mit einer mittleren Aufstauhöhe  $h_w$  von 0,25 m entsprechend der Dicke der Dränschicht ( $d = 0,50 \text{ m}$ ) pro laufenden Meter Böschungslänge nachfolgender Formel berechnet:

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

### **4.3 Widerstände**

#### Reibungskraft (Boden) $t_{f,d}$ :

Die in der kritischen Scherfuge wirksam werdende Reibungskraft ( $t_{f,d}$ ) aus der Bodenauflast berechnet sich mit nachfolgender Formel pro laufenden Meter Böschungslänge, wobei keine unter Auftrieb vorliegende Schichten berücksichtigt wurden:

$$t_{f,d} = (\sum (\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta)$$

wobei gilt:  $\sum (\gamma \cdot d) = (\gamma_1 \cdot d_1) + (\gamma_2 \cdot d_2) + (\gamma_3 \cdot d_3)$

#### Reibungskraft (Schnee) $t_{S,h,d}$ :

Aus der zu berücksichtigenden Schneelast  $s_k = 0,86 \text{ kN/m}^2$  auf den Oberboden berechnet sich die Erhöhung der haltenden Kräfte in den Schichtgrenzen pro laufender Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung wie folgt:

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta)$$

### **4.4 Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ für Bemessungssituation BS-P**

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

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0$$

Der Auslastungsgrades  $\mu$  darf die Vorgabe von  $\mu < 1,0$  nicht überschreiten, da ansonsten die Anforderung an den Stand- und Gleitsicherheitsnachweis nicht gewährleistet werden kann.

Die erbrachten Nachweise für die jeweiligen Scherebenen können aus Anlage 1 entnommen werden.

Tabelle 3: Auslastungsgrad  $\mu$  für Bemessungssituation BS-P (von unten nach oben)

Scherebene	Schichtdicke Gesamt [m]	Summe Einwirkungen [kN/m <sup>2</sup> ]	Summe Widerstände [kN/m <sup>2</sup> ]	Auslastungs- grad $\mu$
Untergrund	1,60	13,68	16,00	<b>0,85</b>
Vlies / Untergrund	1,60	13,68	16,37	<b>0,84</b>
Technische Barriere / Vlies	1,60	13,68	15,05	<b>0,91</b>
Technische Barriere	0,60	9,54	17,55	<b>0,54</b>
Asphalttragschicht / Technische Barriere	0,60	5,41	5,93	<b>0,91</b>
Asphaltdichtungsschicht / Asphalttragschicht	0,54	4,79	5,24	<b>0,91</b>
Drainageschicht / Asphaltdichtungsschicht	0,54	5,91	6,06	<b>0,98</b>
Drainageschicht	0,50	5,53	5,57	<b>0,99</b>

Der Nachweis des Auslastungsgrades  $\mu$  nach der Vorgabe  $\mu < 1,0$  ist somit bei allen relevanten Scherebenen erfüllt.

## 5. Beurteilung des Stand- und Gleitsicherheitsnachweis

Aus Erfahrungswerten konnten die in diesem Bericht dargestellten Werte ermittelt und geprüft werden. Die zu verwendenden Materialien sollten die entsprechenden Materialkennwerte aufweisen und unter den erläuterten Rahmenbedingungen eingebaut werden. Für Böschungsneigungen bis zu 1:2 (ca. 26,56 °) kann die Basisabdichtung der Deponieerweiterung Spitzlberg erstellt werden. Sowohl in den jeweiligen Scherflächen, als auch innerhalb der mineralischen Materialien ist eine ausreichende Sicherheit gewährleistet.

Die erbrachten Nachweise für die jeweiligen Scherebenen können aus Anlage 1 entnommen werden.

## 6. Gesamtstandsicherheitsnachweis

Die vorhandenen Böschungen der Basisabdichtung weisen einen Höhenunterschied von bis zu ca. 17,0 m auf und sind mit ca. 1:2 gebösch. Ab Oberkante Böschung sowie auf der Böschungsoberfläche wurde eine allgemeine Verkehrslast von 10,0 kN/m<sup>2</sup> angesetzt auf der Geländeoberkante berücksichtigt wurde. Die genauen Geländegeometrien und Bodenschichten können aus den erdstatischen Bemessungen entnommen werden.

Für den im Lastfall BS-P berechneten Zustand der Böschung (Basisabdichtung) für eine dauerhafte Gebrauchs-Bemessungssituation mit den oben genannten Verkehrslasten wurden die nachfolgend genannten Ausnutzungsgrade für die Böschungen ermittelt:

- Schnitt A Basisabdichtung:  
Gesamthöhe 17,0 m – Neigung 1 : 2 – (siehe Anlage 3)

Ausnutzungsgrad:  $\mu = 0,95 \leq 1,00$

**Die Gesamtstandsicherheit der Böschungen sind hiermit für den dauerhaften bzw. temporären Zustand mit ausreichendem Sicherheitsniveau (Ausnutzungsgrad  $\leq 1,00$ ) nachgewiesen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass Abgrabungen bzw. Versteilerungen an dieser Böschung nicht zulässig sind. Die Böschung gilt mit oben genannten Parametern als in sich standsicher, sofern Schicht- / Stauwasser in der Böschung ausgeschlossen bzw. schadlos aufgenommen und abgeleitet werden kann.**

Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen



Tobias Kufner  
Geschäftsführer  
Dipl.-Geoökologe (Univ.)

**Anlage 1**

## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Innere Scherebene Drainageschicht

Böschungsneigung:		$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:		$d_{ges} =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_2 =$	m
Dicke der Bodenschichten:		$d_3 =$	m
Dicke der Bodenschichten:		$d_4 =$	m
Schneelast:		$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:		$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:		$\gamma_2 =$	kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:		$\gamma_3 =$	kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:		$\gamma_4 =$	kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:		$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:		$h_w =$	0,25 m
Reibungswinkel:		$\varphi_k =$	39,00 °
Kohäsion:		$c_k =$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$	1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$	1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$	1,25 BS-P

### Einwirkungen:

#### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 3,91 \text{ kN/m}^2$$

#### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 1,12 \text{ kN/m}^2$$

### Widerstände:

#### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 5,07 \text{ kN/m}^2$$

#### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,99 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Scherebene Drainageschicht / Deponieasphaltdichtungsschicht

Böschungsneigung:	$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:	$d_{ges} =$	0,54 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_3 =$	m
Dicke der Bodenschichten:	$d_4 =$	m
Schneelast:	$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:	$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:	$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:	$\gamma_3 =$	kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:	$\gamma_4 =$	kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:	$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:	$h_w =$	0,25 m
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k =$	39,00 °
Adhäsion:	$a_k =$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$ 1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$ 1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$ 1,25 BS-P

#### Einwirkungen:

##### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 4,29 \text{ kN/m}^2$$

##### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

##### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 1,12 \text{ kN/m}^2$$

#### Widerstände:

##### Reibungskraft (Boden):

$$t_{r,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 5,56 \text{ kN/m}^2$$

##### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{s,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0$$

$$0,98 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Scherebene Deponieasphaltdichtungsschicht / Deponieasphalttragschicht

Böschungsneigung:	$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:	$d_{ges} =$	0,54 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_3 =$	m
Dicke der Bodenschichten:	$d_4 =$	m
Schneelast:	$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:	$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:	$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:	$\gamma_3 =$	kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:	$\gamma_4 =$	kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:	$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:	$h_w =$	0,00 m
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k =$	35,00 °
Adhäsion:	$a_k =$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$ 1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$ 1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$ 1,25 BS-P

#### Einwirkungen:

##### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 4,29 \text{ kN/m}^2$$

##### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

##### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

#### Widerstände:

##### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 4,81 \text{ kN/m}^2$$

##### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 0,43 \text{ kN/m}^2$$

#### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,91 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Scherebene Deponieasphalttragschicht / Technische Barriere

Böschungsneigung:	$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:	$d_{ges} =$	0,60 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_3 =$	0,06 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_4 =$	m
Schneelast:	$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:	$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:	$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:	$\gamma_3 =$	23,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:	$\gamma_4 =$	kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:	$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:	$h_w =$	0,00 m
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k =$	35,00 °
Adhäsion:	$a_k =$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$ 1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$ 1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$ 1,25 BS-P

#### Einwirkungen:

##### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 4,91 \text{ kN/m}^2$$

##### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

##### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

#### Widerstände:

##### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 5,50 \text{ kN/m}^2$$

##### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 0,43 \text{ kN/m}^2$$

#### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,91 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Innere Scherebene Untergrund

Böschungsneigung:		$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:		$d_{ges} =$	0,60 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_3 =$	0,06 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_4 =$	0,50 m
Schneelast:		$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:		$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:		$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:		$\gamma_3 =$	23,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:		$\gamma_4 =$	18,50 kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:		$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:		$h_w =$	0,00 m
Reibungswinkel:		$\varphi_k =$	17,50 °
Kohäsion:		$c_k =$	8,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$	1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$	1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$	1,25 BS-P

### Einwirkungen:

#### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 9,04 \text{ kN/m}^2$$

#### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

### Widerstände:

#### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 10,96 \text{ kN/m}^2$$

#### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 6,59 \text{ kN/m}^2$$

### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,54 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Scherebene Technische Barriere / Vlies

Böschungsneigung:		$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:		$d_{ges} =$	1,60 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_3 =$	0,06 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_4 =$	1,00 m
Schneelast:		$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:		$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:		$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:		$\gamma_3 =$	23,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:		$\gamma_4 =$	18,50 kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:		$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:		$h_w =$	0,00 m
Kontaktreibungswinkel:		$\delta_k =$	14,10 °
Adhäsion:		$a_k =$	6,00 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$	1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$	1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$	1,25 BS-P

### Einwirkungen:

#### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 13,18 \text{ kN/m}^2$$

#### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

### Widerstände:

#### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 10,10 \text{ kN/m}^2$$

#### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 4,95 \text{ kN/m}^2$$

### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,91 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**



## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Scherebene Geotextile Trennschicht / Untergrund

Böschungsneigung:	$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:	$d_{ges} =$	1,60 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_3 =$	0,06 m
Dicke der Bodenschichten:	$d_4 =$	1,00 m
Schneelast:	$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:	$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:	$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:	$\gamma_3 =$	23,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:	$\gamma_4 =$	18,50 kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:	$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:	$h_w =$	0,00 m
Kontaktreibungswinkel:	$\delta_k =$	18,10 °
Adhäsion:	$a_k =$	5,80 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$ 1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$ 1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$ 1,25 BS-P

#### Einwirkungen:

##### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 13,18 \text{ kN/m}^2$$

##### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

##### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

#### Widerstände:

##### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 11,53 \text{ kN/m}^2$$

##### Reibungskraft (Schnee):

$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta) + (a_k / \gamma_\delta) \quad 4,84 \text{ kN/m}^2$$

#### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,84 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**

## Ermittlung des Auslastungsgrades

### Innere Scherebene Untergrund

Böschungsneigung:		$\beta =$	26,56 °
Dicke der Bodenschichten Gesamt:		$d_{ges} =$	1,60 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_1 =$	0,50 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_2 =$	0,04 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_3 =$	0,06 m
Dicke der Bodenschichten:		$d_4 =$	1,00 m
Schneelast:		$s_k =$	0,86 kN/m <sup>2</sup>
Bodenwichte d1:		$\gamma_1 =$	17,50 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d2:		$\gamma_2 =$	21,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d3:		$\gamma_3 =$	23,00 kN/m <sup>3</sup>
Bodenwichte d4:		$\gamma_4 =$	18,50 kN/m <sup>3</sup>
Wasserwichte:		$\gamma_w =$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Mittlere Aufstauhöhe:		$h_w =$	0,00 m
Reibungswinkel:		$\varphi_k =$	35,00 °
Kohäsion:		$c_k =$	0,50 kN/m <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwerte:	Einwirkungen (ständig)	$\gamma_G =$	1,00 BS-P
	Einwirkung (veränderlich)	$\gamma_Q =$	1,30 BS-P
	Widerstände	$\gamma_\delta =$	1,25 BS-P

### Einwirkungen:

#### Schubkraft (Boden):

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 13,18 \text{ kN/m}^2$$

#### Schubkraft (Schnee):

$$t_{S,d} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad 0,50 \text{ kN/m}^2$$

#### Strömungskraft:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad 0,00 \text{ kN/m}^2$$

### Widerstände:

#### Reibungskraft (Boden):

$$t_{f,d} = ((\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 15,17 \text{ kN/m}^2$$

#### Reibungskraft (Schnee):

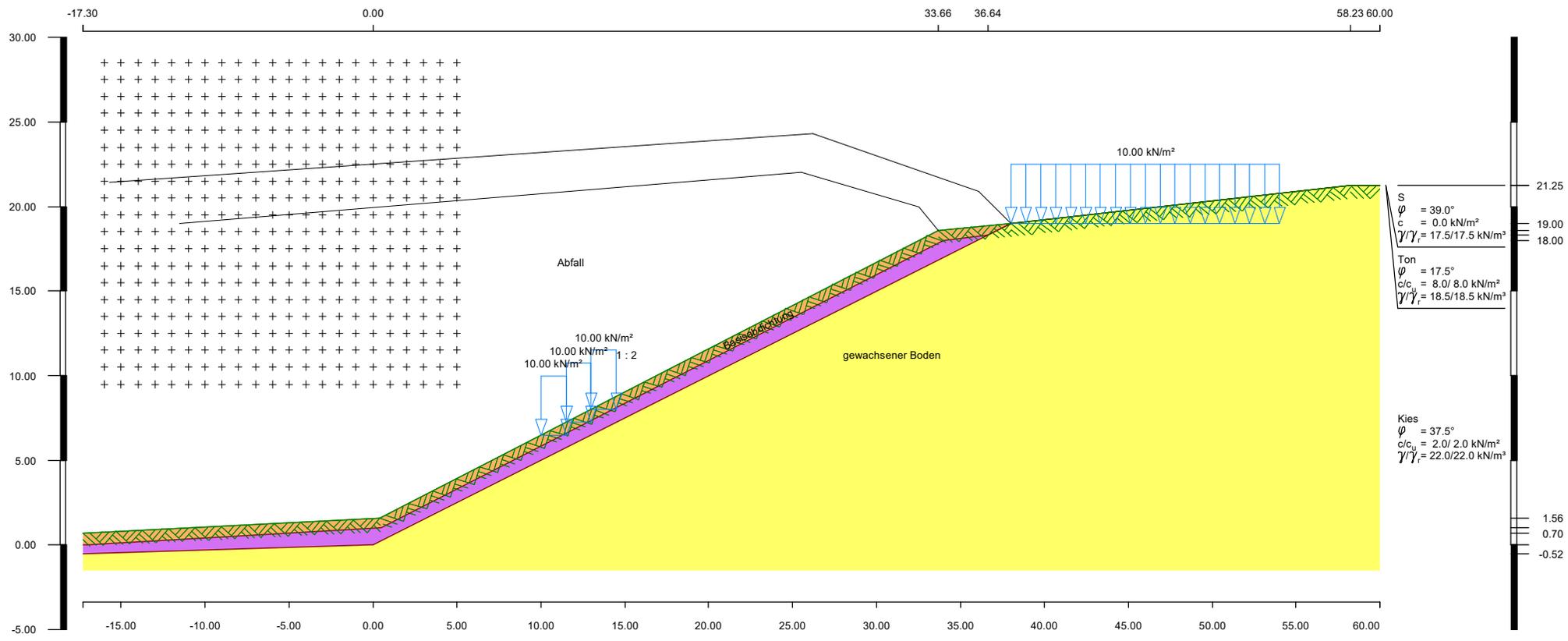
$$t_{S,h,d} = (s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi_k) / \gamma_\delta) + (c_k / \gamma_\delta) \quad 0,83 \text{ kN/m}^2$$

### Berechnung des Auslastungsgrades $\mu$ :

$$\mu = (t_{B,d} + t_{S,d} + s_{w,d}) / (t_{f,d} + t_{S,h,d}) < 1,0 \quad 0,85 < 1,0$$

**Der Nachweis ist somit erfüllt!**

**Anlage 2**





## Berechnung nach: DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) und DIN 1054:2010

Nachweis nach DIN 4084:2009

Berechnung mit Nachweisverfahren 3

Kombination mit Teilsicherheitsbeiwerten der Gruppen A2 + M2 + R3

Schichtdaten		S	Ton	Kies
Innere Reibung $\text{cal } \varphi'$	[Grad]	39.00	17.50	37.50
Kohäsion $\text{cal } c'$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0.0	8.0	2.0
Kohäsion undrainiert $c_u$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0.0	8.0	2.0
Wichte Boden	[kN/m <sup>3</sup> ]	17.5	18.5	22.0
Wichte wassergesättigt	[kN/m <sup>3</sup> ]	17.5	18.5	22.0
Wichte unter Auftrieb	[kN/m <sup>3</sup> ]	7.5	8.5	12.0

### Geländeverlauf und Schichten

x [m]		-17.30	-17.00	0.00	0.40	0.50
		33.66	34.00	36.64	38.00	58.23
		60.00				
z Gelände		0.70	0.71	1.54	1.56	1.61
		18.60	18.63	18.87	19.00	21.25
		21.25				
z Schicht	<b>S</b>	0.00	0.00	0.97	0.99	1.00
		17.83	18.00	18.32	19.00	21.25
		21.25				
z Schicht	<b>Ton</b>	-0.52	-0.51	0.00	0.20	0.25
		16.83	17.00	18.32	19.00	21.25
		21.25				
z Schicht	<b>Kies</b>	-1000.00	-1000.00	-1000.00	-1000.00	-1000.00
		-1000.00	-1000.00	-1000.00	-1000.00	-1000.00
		-1000.00				

### Streckenlasten

Alle Lasten beziehen sich auf 1 m Länge

Lastfall	q	$x_A$	$x_E$	$z_Q$	$\gamma$	$\psi$	
1	Q	10.0	38.0	54.0	19.00	1.30	1.00
	Q	10.0	10.0	11.5	6.48	1.30	1.00
	Q	10.0	11.5	13.0	7.26	1.30	1.00
	Q	10.0	13.0	14.5	8.01	1.30	1.00

### Lamellenbreiten

Von x [m]	bis x [m]	Breite [m]
-10000.00	10000.00	1.00

### Teilsicherheitsbeiwerte (GEO) für NW-Verf. 3

$\gamma$ -	G	Q	W	E	$\varphi$	c	$c_u$	$R_a$	$R_b$
BS-P	1.00	1.30	1.00	1.30	1.25	1.25	1.25	1.10	1.40
BS-T	1.00	1.20	1.00	1.20	1.15	1.15	1.15	1.10	1.30
BS-A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20
BS-T/A	1.00	1.10	1.00	1.10	1.12	1.12	1.12	1.10	1.25

$\gamma$ -	Teilsicherheitsbeiwert für...
G	Ständige Lasten
Q	Veränderliche Lasten
W	Wasserdruck
E	Erdbeben
$\varphi$	Reibungsbeiwert $\tan(\varphi)$
c	Kohäsion c
$c_u$	Kohäsion undränniert $c_u$
$R_a$	Anker
$R_b$	Bauteile

**Bestimmung der Sicherheit nach Krey-Bishop**

Raster mit x von -16.00 m bis 5.00 m, z von 9.50 m bis 28.50 m

$\Delta x = 1.00$  m,  $\Delta z = 1.00$  m,

mit Radius von  $R = 1.00$  m bis 12.00 m,  $\Delta R = 1.00$  m

**Lastfall 1** (Typ: BS-P)

Gleitkörper von x = 5.17 bis 14.42 m

Gleitkreis:  $x_M = 5.38$  m,  $z_M = 15.00$  m,  $R = 11.00$  m

**Bestimmung der Lamellen-Anteile**

$x_M$	Breite b	Eigen- gewicht	Auflast	Wasser- auflast	$\varphi$	c	$\vartheta$
[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[Grad]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[Grad]
5.58	0.83	3.06	0.00	0.00	39.00	0.0	1.08
6.46	0.93	9.87	0.00	0.00	39.00	0.0	5.68
7.39	0.93	15.66	0.00	0.00	17.50	8.0	10.55
8.31	0.93	20.11	0.00	0.00	17.50	8.0	15.50
9.24	0.93	23.06	0.00	0.00	17.50	8.0	20.57
10.17	0.93	24.37	8.05	0.00	17.50	8.0	25.82
11.09	0.93	23.84	11.71	0.00	17.50	8.0	31.31
12.02	0.93	21.14	12.03	0.00	17.50	8.0	37.14
12.94	0.93	15.76	12.11	0.00	17.50	8.0	43.47
13.87	0.93	6.99	12.03	0.00	39.00	0.0	50.54
14.38	0.09	0.07	0.00	0.00	39.00	0.0	54.92
$x_M$						$R \cdot T_i$	$R \cdot G^* \sin(\vartheta)$
[m]						[kNm/m]	[kNm/m]
5.58						21.54	0.64
6.46						66.58	10.73
7.39						105.76	31.53
8.31						117.68	59.10
9.24						126.53	89.10
10.17						154.38	155.30
11.09						167.27	203.18
12.02						166.86	220.32
12.94						159.92	210.89
13.87						121.95	161.59
14.38						0.45	0.61

Summen:

1208.91

1142.99

Einwirkungen  $E_d = 1142.99$  kN

Widerstände  $R_d = 1208.91$  kN

$E_d/R_d = 0.95 < 1.0$

\*\*\* Nachweis erfüllt \*\*\*

