



GEOTECHNISCHER BERICHT

Auftrag Nr. 3190859
Projekt Nr. 16.15.1366

KUNDE: AWG Donau-Wald mbH
Gerhard-Neumüller-Weg 1
94532 Außernzell

BAUMAßNAHME: Deponie Außernzell

GEGENSTAND: Standsicherheitsnachweis

ORT, DATUM: Deggendorf, den 18.06.2019

Dieser Bericht umfasst 14 Seiten, 4 Tabellen und 2 Anlagen.
Die Veröffentlichung, auch auszugsweise, ist ohne unsere Zustimmung nicht zulässig.
Die Proben werden ohne besondere Absprache nicht aufbewahrt.

IFB Eigenschenk GmbH

Mettener Straße 33
DE 94469 Deggendorf
Tel. +49 991 37015-0
Fax +49 991 33918
mail@eigenschenk.de
www.eigenschenk.de

Geschäftsführer:

Dr.-Ing. Bernd Köck
Dipl.-Geol. Dr. Roland Kunz
Dipl.-Ing. Rolf d'Angelo

Registergericht:
Amtsgericht Deggendorf · HRB 1139
Umsatzsteuer-ID: DE131454012

Standorte:

IFB Stuttgart
IFB Landshut
IFB Regensburg
IFB Straubing

IFB München
IFB Eigenschenk
+ Partner GmbH
Pesterwitz



Inhaltsverzeichnis:

1 AUFTRAG	3
2 UNTERLAGEN	3
3 BÖSCHUNGSGEOMETRIE	4
4 BERECHNUNGSANSÄTZE	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Materialkennwerte	5
4.3 Lastannahmen	7
5 NACHWEIS DER GLEITSICHERHEIT DES ABDICHTUNGSSYSTEMS	8
5.1 Ansatz der Kräfte	8
5.1.1 Einwirkungen	8
5.1.2 Widerstände	9
5.2 Ermittlung des Auslastungsgrades für Bemessungssituation BS-P	10
5.3 Ermittlung des Auslastungsgrades für die Bemessungssituation BS-T	12
5.4 Kurzzeichen	13
6 SCHLUSSBEMERKUNGEN	14

Anlagen:

- Anlage 1: Ermittlung des Auslastungsgrades, Bemessungssituation BS-P, max. Böschungsneigung
- Anlage 2: Ermittlung des Auslastungsgrades, Bemessungssituation BS-T max., Böschungsneigung

Tabellen:

Tabelle 1: Bodenkennwerte	6
Tabelle 2: Verbundparameter in den Grenzflächen	7
Tabelle 3: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-P bei maximaler Böschungsneigung	11
Tabelle 4: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-T bei maximaler Böschungsneigung	12



1 AUFTRAG

Die AWG Donau-Wald mbH, beauftragte die IFB Eigenschenk GmbH, Deggendorf, mit der Ausarbeitung eines Stand- und Gleitsicherheitsnachweises für den Neubau einer PV-Anlage auf der bereits hergestellten Oberflächenabdichtung.

Für den vorhandenen Aufbau des Abdichtungssystems ist die Standsicherheit mit der zusätzlichen Last aus der PV-Anlage nachzuweisen.

2 UNTERLAGEN

Für die Ausarbeitung dieses Gutachtens standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] AU Consult GmbH, Augsburg (23.01.2009): Plan Nr. AG 18/5-37, Deponie Außernzell, Oberflächenabdichtung, Wertstoffhof-Schnitt A-A, M 1 : 100
- [2] AU Consult GmbH, Augsburg (15.12.2008): Plan Nr. AG 18/5-08a, Deponie Außernzell, Oberflächenabdichtung, Regelschnitt Oberflächenabdichtungs Aufbau
- [3] LIMES GmbH, Lünen (24.06.2007): Drei Scherversuche MSTplus vs. Enkadrain ZB
- [4] LIMES GmbH, Lünen (10.08.2009): Projekt Nr. L-8147, Prüfbericht NaBento RL-N vs. Ausgleichsschicht/Auflagerschicht
- [5] LIMES GmbH, Lünen (25.08.2009): Projekt Nr. L-8147, Prüfbericht NaBento RL-N vs. KDB PEHD BAM, 2,5 mm, MSB/MICROSPIKE
- [6] LIMES GmbH, Lünen (09.09.2009): Projekt Nr. L-8147, Prüfbericht Enkadrain ZB vs. Rekuboden Deponie Außernzell, bindig
- [7] IFB Eigenschenk GmbH (10.12.2009) Bericht Nr. 16.09.1428-7, Herstellung Oberflächenabdichtung BA 1, 2, 6, 9 und 10 Deponieentgasung, Deponie Außernzell, Standsicherheitsuntersuchung – 1. Änderung
- [8] IFB Eigenschenk GmbH (24.03.2010): Ergänzende Stellungnahme zu Bericht Nr. 16.09.1428-4



3 BÖSCHUNGSGEOMETRIE

Die Geometrie der Böschung wurde aus [1] und [2] entnommen. Es liegen folgende maßgebende geometrische Randbedingungen vor:

- Böschungsneigung maximal: $1 : 2,75 = \beta = 19,98^\circ$
- Böschungslänge maximal: $L = 180 \text{ m}$
- Böschungshöhe maximal: $H = 15 \text{ m}$

Das Abdichtungssystem der Böschung hat folgenden Aufbau (von unten nach oben):

- 0,9 m Ausgleichs- und Tragschicht
- 0,3 m Gasentspannungsschicht
- Geotextile Trennlage
- 0,3 m feinkörnige Ausgleichsschicht
- Bentonitmatte NaBento RL-N
- Kunststoffabdichtungsbahn KDB, PEHD BAB 2,5 mm, MSB/MICROSPIKE
- Dränmatte Enkadrain ZB
- 1,5 m Rekultivierungsboden



4 BERECHNUNGSANSÄTZE

4.1 Allgemeines

In jeder Grenzfläche zwischen den einzelnen Schichten ist die Standsicherheit für folgende Bemessungssituationen (früher Lastfälle) nachzuweisen:

BS-P: Planmäßige Nutzung, regelmäßig auftretende Einwirkungen

BS-T: Temporäre Beanspruchung, selten auftretende Einwirkungen

Darüber hinaus ist die innere Standsicherheit der mineralischen Schichten nachzuweisen.

Die Nachweisführung erfolgt nach den „Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten“ (GDA) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. DGGT. Hierbei wird der aktuell vorliegende Entwurf der Empfehlung E 2-7 (Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen) berücksichtigt.

4.2 Materialkennwerte

Über die verwendeten Materialien liegen Unterlagen und Versuchsergebnisse vor. In [7] ist detailliert beschrieben, wie daraus die bodenmechanischen Kennwerte abgeleitet wurden.

Bei der Bauausführung wurde im Rahmen der Fremdüberwachung festgestellt, dass eine geringere Verdichtung der feinkörnigen Ausgleichsschicht sowie der Trag- und Ausgleichsschicht vorliegt, als ursprünglich vorgegeben wurde. In [8] wurde dazu Stellung genommen und bereits darauf hingewiesen, dass die ursprünglich angesetzten Bodenkennwerte für diese Schichten bereits eher auf der sicheren Seite liegen. Trotzdem wurde auf der sicheren Seite liegend nochmal eine Berechnung mit ungünstigeren Kennwerten zur Berücksichtigung der bereichsweise geringeren Verdichtungsgrade vorgenommen. Dies wird auch in den vorliegenden Berechnungen berücksichtigt.



Für die Berechnung der Standsicherheit werden folgende Bodenkennwerte angesetzt:

Tabelle 1: Bodenkennwerte

Material	γ [kN/m ³]	γ_r [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kN/m ²]
Rekultivierungsschicht (TL/GT*)	18	21	27,5	0 ¹⁾
Feinkörnige Ausgleichsschicht (SU/SU*)	16	20	30 bzw. 27,5 ²⁾	0
Gasentspannungsschicht (GU)	17	21	30	0
Ausgleichs- und Tragschicht (GU/GT*)	19	22	30 bzw. 27,5 ²⁾	2

1) Da der Verdichtungsgrad $D_{pr} < 0,97$ ist, darf nach DIN 1054 eine Kohäsion nur nach besonderen Untersuchungen angesetzt werden.

2) bei bereichsweise geringeren Verdichtungsgraden

Die Scherparameter zwischen Drainmatte und KDB, zwischen KDB und Bentonitmatte, zwischen Rekultivierungsboden und Dränmatte sowie zwischen Bentonitmatte und Ausgleichsschicht wurden labortechnisch ermittelt. Aus den labortechnischen ermittelten Werten wurden Rechenwerte unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren nach den EAU-Empfehlungen gebildet.



Es ergeben sich somit folgende Verbundparameter in den Grenzflächen:

Tabelle 2: Verbundparameter in den Grenzflächen

Grenzfläche	Laborwerte		Rechenwerte	
	φ' [°]	c' [kN/m ²]	φ' [°]	c' [kN/m ²]
Rekultivierungsschicht/ Drainmatte	25,4	10,3	23,3	7,9
Drainmatte/KDB	29,7 30,7 29,7	9,8 7,3 6,5	27,5 ¹⁾	6,1 ¹⁾
Bentonitmatte/KDB	28,3	3,0	26,0	2,3
Bentonitmatte/Ausgleichs- schicht	27,8	3,7	25,6 23,1	2,8
Geotextile Trenn- lage/Ausgleichs- bzw. Gasentspannungsschicht	-	-	25,0 ²⁾	0

1) abgeminderter Mittelwert aus drei Versuchen

2) Da keine Ergebnisse aus Scherversuchen vorliegen, wird der Reibungswinkel in der Kontaktfläche aus dem Reibungswinkel des Bodens bei Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors von 1,25 auf den Tangens des Reibungswinkels ermittelt.

4.3 Lastannahmen

Die Belastung aus Eigengewicht wird entsprechend den Wichten der jeweiligen mineralischen Schichten angesetzt. Das Eigengewicht der KDB sowie der Geotextilien wird aufgrund der geringen Schichtdicke nicht berücksichtigt.

Die Schneelast wird nach DIN 1055, Teil 5 in Ansatz gebracht. Der Standort befindet sich in der Schneelastzone 2 auf einer Höhe von etwa 400,0 m ü. NN. Damit ergibt sich eine Regelschneelast $s_0 = 1,21 \text{ kN/m}^2$.

Auf den rekultivierten Deponieoberflächen soll Photovoltaikanlage errichtet werden. Angaben über die hierbei zu erwartenden Lasten liegen nicht vor. Vergleichbar mit anderen Bauvorhaben wird eine Ersatzflächenlast von 50 kN/m^2 angesetzt.



5 NACHWEIS DER GLEITSICHERHEIT DES ABDICHTUNGSSYSTEMS

5.1 Ansatz der Kräfte

Für den hier behandelten Nachweis ist es ausreichend, 1,0 m breite, böschungsparelle Scherebenen (potenzielle Gleitflächen) zu untersuchen.

5.1.1 Einwirkungen

Schubkraft $t_{B,d}$

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

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

Für Schichten oberhalb der Dichtungselemente und unterhalb der Sickerlinie wird dabei die Wichte γ_r für wassergesättigte Böden angesetzt.

Schneelast $t_{s,d}$

Für den Endzustand ist eine Schneelast s_0 (kN/m²) auf der Deckschicht als treibende Kraft zu berücksichtigen. Pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung ergibt sich:

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

Strömungskraft $s_{w,d}$

Nach einem starken Niederschlagsereignis kann es zu einem Aufstau in der Dränschicht der Oberflächenabdichtung kommen. Die infolge dessen auftretenden zusätzlich treibenden Kräfte werden als Strömungskraft bezeichnet. Nachfolgend wird eine Aufstauhöhe von $h_w = 6$ cm entsprechend der Dicke der Dränmatte angesetzt. Die Strömungskraft pro laufenden Meter Böschungslänge berechnet sich zu:

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



5.1.2 Widerstände

Reibungskraft $t_{r,d}$

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

$$t_r = [(1-m) \cdot d_i \cdot \gamma + m \cdot d_i \cdot \gamma'] \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a$$

Mit m = durchströmter Anteil der Mächtigkeit der Schicht

Schneelast $t_{s,h,d}$

Aus der im Endzustand zu berücksichtigenden Schneelast s_0 (kN/m²) auf dem Oberboden ergibt sich eine Erhöhung der haltenden Kräfte in der Schichtgrenze pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung zu:

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

Stützlast $S_{T,d}$ im Böschungsbereich

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

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

Bemessungsfestigkeit $R_{B,d}$ von Geogittern

Wird in einer Grenzfläche zusätzlich ein Geogitter angeordnet, so kann dessen Zugfestigkeit für den Nachweis der Standsicherheit mitangesetzt werden.

Die Bemessungsfestigkeit von Geogitter wird aus der charakteristischen Kurzzeitfestigkeit wie folgt ermittelt:

$$R_{B,d} = R_{B,k0} / (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5) \cdot \gamma_M$$



mit

$R_{B,k0}$	charakteristischer Wert der Kurzzeitfestigkeit des Geokunststoffes (5 %-Quantil)
$R_{B,k}$	charakteristischer Wert der Langzeitfestigkeit des Geokunststoffes
A_1	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Kriechdehnung bzw. des Zeitstandsverhaltens = 1,52
A_2	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung einer möglichen Beschädigung bei Einbau, Transport und Verdichtung = 1,07
A_3	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verarbeitung (Nahtstellen, Anschlüsse, Verbindungen) = 1,0
A_4	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen = 1,03
A_5	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses von dynamischen Einwirkungen = 1,0
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand flexibler Bewehrungselemente nach DIN 1054

Die oben angegebenen Abminderungsfaktoren wurden den FORTRAC-Typenblättern der Huesker Geokunststoffe entnommen.

5.2 Ermittlung des Auslastungsgrades für Bemessungssituation BS-P

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

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} = \frac{t_{B,d} \cdot l + t_{s,d} \cdot l + s_{W,d} \cdot l}{t_{f,d} \cdot l + t_{s,h,d} \cdot l + T_{G,d} \cdot S_{T,d} + R_{B,d}} \leq 1,0$$

Die Nachweisführung für die jeweiligen Scherebenen ist in der Anlage 1 für den maximalen Böschungswinkel enthalten.



Es ergeben sich folgende Ausnutzungsgrade:

Tabelle 3: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-P bei maximaler Böschungsneigung

Scherebene	Schicht- dicke gesamt [m]	Summe Ein- wirkungen E_d [kN/m ²]	Summe Wieder- stände R_d [kN/m ²]	Aus- nutzu- ngs- grad μ
Rekuschicht „innere Scherebene“	1,5	26,70	30,7	0,87
Rekuschicht/Dränmatte	1,5	26,72	46	0,58
Dränmatte/KDB	1,5	26,70	30,7	0,87
KDB/Betonitmatte	1,5	26,70	34,2	0,78
Bentonitmatte/Ausgleichsschicht	1,5	26,70	31,9	0,84
Ausgleichsschicht „innere Scherebene“	1,8	28,40	32,5	0,87
Ausgleichsschicht/Geotextile Trennlage	1,8	28,40	29,0	0,98
Geotextile Trennlage/ Gasentspannungsschicht	1,8	28,40	29,0	0,98
Gasentspannungsschicht	2,1	30,1	38,2	0,79

Es werden alle Nachweise erfüllt.



5.3 Ermittlung des Auslastungsgrades für die Bemessungssituation BS-T

In diesem Lastfall ist die Standsicherheit für die Beanspruchung bei Starkregenereignissen zu untersuchen. Es ist dabei von einer vollständigen Wassersättigung der Bodenschicht über dem Abdichtungssystem und damit der Rekuschicht auszugehen. Darüber hinaus ist in diesem Lastfall in der Kontaktfläche Rekultivierungsschicht/Dränmatte keine Adhäsion anzusetzen.

Dieser Nachweis ist für die Scherebene Rekuschicht/Dränmatte und die innere Scherebene Rekuschicht maßgebend. Die Nachweisführung für diese Scherebenen ist in der Anlage 2 enthalten. Es ergeben sich folgende Ausnutzungsgrade:

Tabelle 4: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-T bei maximaler Böschungsneigung

Scherebene	Schicht- dicke gesamt [m]	Summe Ein- wirkungen E_d [kN/m ²]	Summe Wieder- stände R_d [kN/m ²]	Ausnutzungs- grad μ
Rekuschicht „innere Scherebene“	1,5	28,3	35,2	0,80
Rekuschicht / Dränmatte	1,5	28,32	29,1	0,97

Es werden alle Nachweise erfüllt.



5.4 Kurzzeichen

a_k	charakteristische Adhäsion (kN/m^2), wird sicherheitshalber zu Null gesetzt
d	Dicke der Bodenschichten (m)
d_i	Dicke d_1 (bzw. d_{ges}) der Bodenschicht, auf der die Befahrung erfolgt (m)
h_w	mittlere Aufstauhöhe (m)
h_s	Höhe des Stützfußes (m)
$K_{\text{ph},d}$	Erddruckbeiwert (-)
l	Böschungslänge (m)
$s_{w,s}$	Strömungskraft (kN/m^2)
$t_{B,d}$	Schubkraft in Böschungsfallrichtung (kN/m^2)
$t_{f,d}$	mobilisierte Reibungskraft in der kritischen Scherfuge (kN/m^2)
$T_{G,d}$	Zugkraft im Bewehrungselement (kN/m)
$S_{T,d}$	Stützkraft am Böschungsfuß (kN/m)
β	Böschungsneigung($^\circ$)
γ	Wichte des Bodens (kN/m^3)
γ_w	Wichte des Wassers (10 kN/m^3)
δ_k	charakteristischer Reibungswinkel der maßgebenden Kontaktfläche ($^\circ$)
μ	Auslastungsgrad (-)
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert (ständige Einwirkungen)
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert (veränderliche Einwirkungen)
γ_δ	Teilsicherheitsbeiwert Kontaktreibungswinkel (Widerstand)
γ_a	Teilsicherheitsbeiwert Adhäsion (Widerstand)
φ_k	charakteristischer Reibungswinkel (Boden)
A	effektive Aufstandsfläche des Fahrzeuges unter Lastausbreitung
a_v	Bremsverzögerung (m/s^2)
b_R	Breite der Raupenkette (m)
g	Erdbeschleunigung (10 m/s^2)
G_R	Eigengewicht des Fahrzeuges (kN)
l_R	Länge der Raupenkette (m)
s_0	Schneelast nach [U5] (kN/m^2)
$t_{S,d}$	Schubkraft aus Schneelast in Böschungsfallrichtung (kN/m^2)
$t_{S,h,d}$	Mobilisierte Reibungskraft aus Schneelast (kN/m^2)
$t_{Rd,d}$	Schubkräfte infolge einer Vollbremsung des Fahrzeuges (kN)
$t_{Rd,s}$	Schubkräfte aus Eigengewicht des Fahrzeuges (kN/m^2)
$t_{Rd,h}$	Reibungskraft in der kritischen Scherfuge aus Eigengewicht des Fahrzeuges (kN/m^2)
t	Zeit, die das Fahrzeug bis zum Stillstand benötigt (s)
v	maximale Geschwindigkeit des Fahrzeuges (m/s)



6 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Für die bereits hergestellte Oberflächenabdichtung der Deponie Außernzell wurden die Standsicherheiten im Abdichtungssystem der Böschung bei Belastung durch eine PV-Anlage untersucht. Es wurden dabei ausreichende Sicherheiten in den jeweiligen Scherflächen sowie innerhalb der mineralischen Materialien ermittelt.

Die IFB Eigenschenk GmbH ist zu verständigen, fall sich Abweichungen vom vorliegenden Gutachten oder planungsbedingte Änderungen ergeben.

IFB Eigenschenk GmbH

Dipl.-Ing. Rolf d'Angelo ^{1) 2)}
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. (FH) Markus Piendl ³⁾
Fachbereichsleiter Grundbau
Sachbearbeiter

- ¹⁾ Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erdbau im Straßenbau
- ²⁾ Leiter der Prüfstelle (Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau RAP Stra 15)
- ³⁾ Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugrunderkundung und Gründung von Hochbauten