

**Deponie Haus Forst
Änderung der Kubatur, Einrichtung und
Betrieb als DK I- und DK II-Deponie
Antrag auf Planfeststellung gemäß §35 Abs. 2 KrWG**

Anlage 9-2

**Gleitsicherheitsberechnung
des Zwischen- und Basisabdichtungssystems
Deponieabschnitt DA 4b
Asmus+Prabucki**

**Gleitsicherheitsberechnung
des Zwischen- und Basisabdichtungssystems
Deponie Haus Forst
Deponieabschnitt DA 4b**

Auftraggeber: HERMANNS HTI-Bau GmbH u. Co. KG
Wilhelm-Speck-Str. 17
34125 Kassel

Büro Essen
Carnaperhof 10
45329 Essen
Fon: 0201 72085-0
Fax: 0201 72085-99
E-mail:
info@ap-ingenieure.de
www.ap-ingenieure.de

Bankverbindung:
Sparkasse Essen
BLZ 360 501 05
Konto 259770
IBAN
DE10 3605 0105 0000 2597 70
BIC SPESDE33XXX

Postbank Dortmund
BLZ 440 100 46
Konto 713 006 464
IBAN
DE09 4401 0046 0713 0064 64
BIC PBNKDEFF

Verwaltungssitz:
Eiland 3
45134 Essen
HRB Essen 13501
Ust-IdNr. DE200038500
Steuer-Nr.
112/5760/1517

Stand: Januar 2022
Dokument: L:\2_Projekte\A-2546 Hermanns_EP Haus Forst\Intern\Gleitsicherheit\DA 4b\A-2546_Gleitsicherheitsberechnung Deponie Haus Forst_BA 4b.docx

Dieser Bericht umfasst 22 Seiten und 10 Anlagen.

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Detlef Asmus
Dr.-Ing. Marc-J. Prabucki
Dipl.-Ing. Carsten Lesny



Inhalt

	Blatt
1	Veranlassung..... 4
2	Bodenmechanische Verhältnisse 4
2.1	Kontaktfugen der Zwischenabdichtung 5
2.2	Kontaktfugen der Basisabdichtung 5
3	Berechnungsmodelle 6
3.1	Böschungsgeometrie des Zwischenabdichtungssystems 6
3.2	Böschungsgeometrie des Basisabdichtungssystems 6
4	Gleitsicherheitsberechnungen..... 7
4.1	Gleitsicherheit des Zwischenabdichtungssystems DA 4b 7
4.1.1	Gleitsicherheit im Endzustand BS-P 7
4.1.2	Gleitsicherheit im Bauzustand BS-T 9
4.1.3	Gleitsicherheit in der Bemessungssituation Erdbeben BS-E 11
4.1.4	Nachweis der ausreichenden Schubkraftübertragung 12
4.2	Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems DA 4b 13
4.2.1	Gleitsicherheit im Endzustand BS-P 13
4.2.2	Gleitsicherheit im Bauzustand BS-T 14
4.2.3	Gleitsicherheit in der Bemessungssituation Erdbeben BS-E 16
4.2.4	Nachweis der ausreichenden Schubkraftübertragung 17
5	Spreizsicherheitsnachweis für das Basisabdichtungssystem DA 4b 18
6	Zusammenfassung 20
	Quellenverzeichnis 22



Tabelle

Zwischenabdichtungssystem:

	Blatt
Tabelle 1: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-P	8
Tabelle 2: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-P	8
Tabelle 3: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-T	10
Tabelle 4: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-T	10
Tabelle 5: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-E	11
Tabelle 6: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-E	12
Tabelle 7: Errechnete Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere	12

Basisabdichtungssystem:

Tabelle 8: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-P	13
Tabelle 9: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-P	14
Tabelle 10: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-T	15
Tabelle 11: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-T ..	15
Tabelle 12: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-E	16
Tabelle 13: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation BS-E ..	17
Tabelle 14: Errechnete Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere ...	17
Tabelle 15: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises für die Basisabdichtung in der Bemessungssituation BS-T (Deponiebetrieb)	20

Anlagen

Anlage	Bezeichnung
1	Mindestreibungswinkel Neigung 1-2.5 Bemessungssituation BSP
2	Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5 Bemessungssituation BST
3	Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Bemessungssituation Erdbeben BSE
4	Ausnutzungsgrade Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere BSP und BST
5	Mindestreibungswinkel Neigung 1-10 Bemessungssituation BSP
6	Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10 Bemessungssituation BST
7	Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Bemessungssituation Erdbeben BSE
8	Ausnutzungsgrad Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere BSP und BST
9	Großrahmenscherversuch Ton vs. KDB strukturiert (Zwischenabdichtung)
10	Großrahmenscherversuch Ton vs. KDB glatt/glatt (Basisabdichtung)



1 Veranlassung

Die HERMANNS HTI-Bau GmbH u. Co. KG (im Folgenden Hermanns) beauftragte die ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH (im Folgenden API), Essen, mit der Durchführung eines Gleitsicherheitsnachweises im Rahmen der Herstellung des Zwischen- und Basisabdichtungssystems der Deponie Haus Forst, Kerpen, im DA 4b. Die Planung des Zwischenabdichtungssystems sieht für die Böschungsbereiche eine maximale Neigung von 1:2,5 (21,8 °) bei einer maximalen Böschungslänge von ca. 70 Metern vor. Für das Basisabdichtungssystem ist eine maximale Neigung von 1:10 (5,71°) geplant. Hierzu ist unter Berücksichtigung der gewählten Dichtungskomponenten der Nachweis der ausreichenden Gleitsicherheit für den Bau- und Endzustand sowie für die Bemessungssituation Erdbeben (BS-E) zu erbringen.

Im vorliegenden Bericht werden die geplanten Geometrien und Böschungslängen, der Schichtenaufbau sowie die bodenmechanischen Kennwerte der zur Verwendung vorgesehenen Materialien berücksichtigt und die Gleitsicherheit im Bau- und Endzustand sowie für die Bemessungssituation Erdbeben rechnerisch nachgewiesen. Der Bauzustand wird bei den maßgebenden Neigungen für den Einbau der Entwässerungsschicht mittels Raupe rechnerisch nachgewiesen.

2 Bodenmechanische Verhältnisse

Der Schichtenaufbau und die bodenmechanischen Kennwerte der potenziellen Gleitfugen der Abdichtungssysteme sind der nachfolgenden Aufstellung zu entnehmen. Die Kennwerte sind als Mindestanforderung für eine standsichere Herstellung des Zwischen- und Basisabdichtungssystems zu verstehen. Diese Mindestanforderungen werden in den nachfolgenden Kapiteln berechnet und den versuchstechnisch ermittelten Scherparametern und Erfahrungswerten des Unterzeichners gegenübergestellt. Betrachtet werden nachfolgend die ungünstigsten potenziellen Kontaktfugen.



2.1 Kontaktfugen der Zwischenabdichtung

Kontaktfuge 1:

- geotechnische Barriere (Ton Grube Bocksloch) vs. Unterseite KDB (AGRU MSB+ Seite)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 29,80^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ (Wichte der KDB)

Kontaktfuge 2:

- Oberseite KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 29,81^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ (Wichte des Vlieses)

Kontaktfuge 3:

- Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzlage (Straßenaufbruch 0/8 mm)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 29,88^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ (Wichte der Entwässerungsschicht)

2.2 Kontaktfugen der Basisabdichtung

Kontaktfuge 1:

- geotechnische Barriere (Ton Grube Bocksloch) vs. KDB (AGRU glatt/glatt)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 10,10^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ (Wichte der KDB)

Kontaktfuge 2:

- KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS (Mineralische-Deponie-Dichtungs-Schutzbahn)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 10,10^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ (Wichte der MDDS)



Kontaktfuge 3:

- MDDS vs. Entwässerungsschicht (Straßenaufbruch 8/32 mm)
Reibungswinkel: $\delta'_k \geq 10,10^\circ$ (errechnete Mindestanforderung)
Adhäsion: $a'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichte: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ (Wichte der Entwässerungsschicht)

3 Berechnungsmodelle

Bei der Berechnung in der Bemessungssituation BS-P werden Strömungskräfte berücksichtigt, die sich innerhalb der Entwässerungsschicht mit einer Aufstauhöhe von 0,05 m einstellen können. Eine Adhäsion in den betrachteten Gleitfugen wurde in den Berechnungen nicht angesetzt. Ergänzend wurde gemäß [4] für die Schneelastzone 1 eine charakteristische Schneelast $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$ für den Endzustand berücksichtigt.

Darüber hinaus wurden für den Nachweis in der Bemessungssituation Erdbeben in der Erdbebenzone 3 [3] mit der Untergrund- und Baugrundklassenkombination C-S die horizontale sowie vertikale Bodenbeschleunigungen in Höhe von $a_h = 0,0612$ und $a_v = 0,0202$ für den Standort der Deponie Haus Forst in der Berechnung angesetzt. Ein mögliche Stützkraft am Böschungsfuß wurde nicht berücksichtigt.

3.1 Böschungsgeometrie des Zwischenabdichtungssystems

Als Modell für die Berechnung der Standsicherheit wurde der ungünstigste und damit maßgebende Böschungsabschnitt mit der steilsten Neigung von 1:2,5 angesetzt. Die Böschungslänge beträgt maximal 70 m. Als Aufstandsfläche wurde der als standsicher angenommene Deponiekörper selbst angesetzt.

3.2 Böschungsgeometrie des Basisabdichtungssystems

Für das Berechnungsmodell der Standsicherheit der Basisabdichtung wurde die Regelneigung von 1:10 angesetzt. Als Aufstandsfläche wurde der als standsicher angenommene Untergrund gewählt.



4 Gleitsicherheitsberechnungen

Maßgebend für den Nachweis der Gleitsicherheit in den Trennflächen eines Schichtsystems sind DIN EN 1997-1 (EC 7) [1], DIN 1054 [2] und DIN 4084 [5]. Als Grenzzustand wird schichtparalleles Gleiten (ebene Gleitflächen) betrachtet, was nach DIN 1054 dem Grenzzustand GEO 3 zugeordnet werden kann.

Das Maß der Sicherheit lässt sich als Ausnutzungsgrad μ , als Verhältnis der Bemessungswerte der Beanspruchung und des Gleitwiderstandes darstellen. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn ein Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1$ nachgewiesen wird.

In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst der charakteristische Mindestreibungswinkel in den potenziellen Gleitfugen ermittelt und unter Berücksichtigung von Unsicherheiten bezüglich der Repräsentativität und der Streuung der Versuchstechnik von Großrahmenscherversuchen gemäß GDA E 2-7 [6] in versuchstechnisch nachzuweisende Mindestreibungswinkel rückgerechnet.

Liegen für Schichtflächen aus geosynthetischen Reibungspartnern mindestens drei abgesicherte Versuchsergebnisse vor, darf auf die pauschale Abminderung gemäß GDA E 2-7 [6] verzichtet werden. Der charakteristische Wert wird dann im Sinne der DIN EN 1997-1 aus den Einzelergebnissen als vorsichtige Schätzung des Mittelwertes festgelegt.

Im Anschluss wird der versuchstechnisch nachzuweisende Mindestreibungswinkel den Ergebnissen von Großrahmenscherversuchen und den Erfahrungswerten des Unterzeichners gegenübergestellt.

4.1 Gleitsicherheit des Zwischenabdichtungssystems DA 4b

4.1.1 Gleitsicherheit im Endzustand BS-P

Für die Berechnung der Gleitsicherheit im Endzustand wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessungssituation BS-P angesetzt.

Die Berechnung der Gleitfugen der Zwischenabdichtung ist als **Anlage 1** beigefügt.



Die Berechnung der Gleitsicherheit bei einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ ergibt folgende Mindestreibungswinkel für die untersuchte Gleitfuge unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter:

Tabelle 1: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-P**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta'_k \geq 28,31^\circ$	$\delta' \geq 30,65^\circ$
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta'_k \geq 28,32^\circ$	$\delta' \geq 30,66^\circ$
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta'_k \geq 28,35^\circ$	$\delta' \geq 30,69^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 1** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.

In der nachfolgenden **Tabelle 2** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.

Tabelle 2: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-P**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta' \geq 30,65^\circ$	$\delta'_{\text{ersatz}} = 38,9^\circ$ ⁽¹⁾
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta' \geq 30,66^\circ$	$\delta' \geq 33,0^\circ$ ⁽²⁾
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. in. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta' \geq 30,69^\circ$	$\delta' \geq 34,8^\circ$ ⁽³⁾

- (1) Ersatzreibungswinkel bei der relevanten Auflastspannung, Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 9**
 (2) Allgemeine Erfahrungswerte
 (3) Erfahrungswerte aus dem DA 4a



Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anforderungen im Hinblick auf die Scherparameter, von den eingesetzten Materialien sicher eingehalten werden.

4.1.2 Gleitsicherheit im Bauzustand BS-T

Der Einbau der geotechnischen Barriere und der polymeren Dichtungskomponenten wird nicht betrachtet. Eine Belastung des Zwischenabdichtungssystems in einer potenziellen Gleitfuge durch Baugeräte erfolgt erst ab der Herstellung der mineralischen Schutzschicht. Diese wird von erhöhten Baustraßen aus eingebaut, so dass als kritischer Bauzustand die Herstellung der mineralischen Entwässerungsschicht betrachtet wird.

Für diesen Nachweis wird eine Baumaschine (Raupe, KOMATSU D61 PXI-24, 19,6 to) angesetzt. Der für die Bemessung maßgebende Bauzustand ist der Einbau der Entwässerungsschicht mit Hilfe dieses Baugerätes. Bei der Berechnung wird davon ausgegangen, dass das Baugerät die Entwässerungsschicht auf der Sollstärke von $d \geq 0,30$ m befährt.

Maßgebende Einwirkungen entstehen aus Eigengewicht und der statischen und dynamischen Belastungen durch das Baugerät.

Für die Berechnung der Gleitsicherheit im Bauzustand wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessungssituation BS-T angesetzt.

Die Berechnung der maßgeblichen Gleitfugen ist als **Anlage 2** beigefügt.

Die Berechnung der Gleitsicherheit bei einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ ergibt folgende Mindestreibungswinkel für die untersuchten Gleitfugen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter:



Tabelle 3: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-T**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta'_k \geq 29,80^\circ$	$\delta' \geq 32,21^\circ$
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta'_k \geq 29,81^\circ$	$\delta' \geq 32,22^\circ$
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta'_k \geq 29,88^\circ$	$\delta' \geq 32,29^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 3** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.

In der nachfolgenden **Tabelle 4** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.

Tabelle 4: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-T**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta' \geq 32,21^\circ$	$\delta' = 38,9^\circ$ ⁽¹⁾
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta' \geq 32,22^\circ$	$\delta' = 33,0^\circ$ ⁽²⁾
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta' \geq 32,29^\circ$	$\delta' = 34,8^\circ$ ⁽³⁾

(1) Ersatzreibungswinkel bei der relevanten Auflastspannung, Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 9**

(2) Allgemeine Erfahrungswerte

(3) Erfahrungswerte aus dem DA 4a

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anforderungen im Hinblick auf die Scherparameter, von den eingesetzten Materialien sicher eingehalten werden.



4.1.3 Gleitsicherheit in der Bemessungssituation Erdbeben BS-E

Der Standort der Deponie Haus Forst, Kerpen ist nach DIN EN 1998-1 [3] der Erdbebenzone 3 und der Untergrund- und Baugrundklassenkombination C-S zuzuordnen. Der Nachweis der Gleitsicherheit in der Bemessungssituation für Erdbeben (BS-E) mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten wurde mithilfe des Programmes Stability von GGU, Version 10.69, durchgeführt (siehe **Anlage 3**).

Die Berechnung der Gleitsicherheit wurde für die potenziell schwächsten Gleitfugen, welche an die einzelnen polymeren Schichten angrenzen, durchgeführt. Auch in dieser Berechnung wurden die Scherparameter soweit reduziert, dass ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ erreicht wird.

Tabelle 5: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-E**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta'_k \geq 27,20^\circ$	$\delta' \geq 29,48^\circ$
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta'_k \geq 27,20^\circ$	$\delta' \geq 29,48^\circ$
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta'_k \geq 27,20^\circ$	$\delta' \geq 29,48^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 5** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.

In der nachfolgenden **Tabelle 6** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.



Tabelle 6: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-E**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU MSB+ Seite)	$\delta' \geq 29,48^\circ$	$\delta' = 38,9^\circ$ ⁽¹⁾
KDB (AGRU MST High Grip Seite) vs. Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II)	$\delta' \geq 29,48^\circ$	$\delta' = 33,0^\circ$ ⁽²⁾
Schutzvlies (HaTe B 1200 „O“ II) vs. min. Schutzschicht (0/8 mm)	$\delta' \geq 29,48^\circ$	$\delta' = 34,8^\circ$ ⁽³⁾

(1) Ersatzreibungswinkel bei der relevanten Auflastspannung, Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 9**

(2) Allgemeine Erfahrungswerte

(3) Erfahrungswerte aus dem DA 4a

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anforderungen im Hinblick auf die Scherparameter von den eingesetzten Materialien auch in dieser Bemessungssituation sicher eingehalten werden.

4.1.4 Nachweis der ausreichenden Schubkraftübertragung

Dieser Nachweis erfolgt gemäß Kapitel 4 der GDA E2-7 [6]. Hierzu wurde der Ausnutzungsgrad in der potenziellen Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T mit den versuchstechnisch ermittelten und gemäß [6] abgeminderten charakteristischen Scherparametern berechnet. Die Berechnungen sind als **Anlage 4** beigefügt. Die Berechnung der Gleitsicherheit ergibt folgende Ausnutzungsgrade für die untersuchte Gleitfuge unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter.

Tabelle 7: Errechnete Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere

Gleitfuge	Ausnutzungsgrad (Bemessungssituation BS-P)	Ausnutzungsgrad (Bemessungssituation BS-T)
Ton Bocksloch vs. KDB MSB+	$\mu = 0,506$	$\mu = 0,804$



Aus der Zusammenstellung wird deutlich, dass der maximal zulässige Ausnutzungsgrad von $\mu \leq 1,0$ unter Berücksichtigung der in der Berechnung angesetzten bodenmechanischen Kennwerte im Bau- und Endzustand bei Böschungsneigungen von 1:2,5 sehr sicher eingehalten wird. Bei geringen Ausnutzungsgraden ($\mu \leq 0,85$) kann ein weiterer Nachweis der schadfreien Ableitung von Schubkräften entfallen. Entsprechend ist der Nachweis erbracht.

4.2 Gleitsicherheit des Basisabdichtungssystems DA 4b

4.2.1 Gleitsicherheit im Endzustand BS-P

Für die Berechnung der Gleitsicherheit im Endzustand wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessungssituation BS-P angesetzt.

Die Berechnung der Gleitfugen des Basisabdichtungssystems ist als **Anlage 5** beigefügt.

Die Berechnung der Gleitsicherheit bei einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ ergibt folgende Mindestreibungswinkel für die untersuchten Gleitfugen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter:

Tabelle 8: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-P**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta'_k \geq 7,63^\circ$	$\delta' \geq 8,38^\circ$
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta'_k \geq 7,62^\circ$	$\delta' \geq 8,37^\circ$
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta'_k \geq 7,62^\circ$	$\delta' \geq 8,37^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 8** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.



In der nachfolgenden **Tabelle 9** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.

Tabelle 9: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-P**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta' \geq 8,38^\circ$	$\delta' = 14,6^\circ$ ⁽¹⁾
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta' \geq 8,37^\circ$	$\delta' \geq 15,0^\circ$ ⁽²⁾
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta' \geq 8,37^\circ$	$\delta' \geq 35,0^\circ$ ⁽²⁾

(1) Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 10**

(2) Allgemeine Erfahrungswerte

4.2.2 Gleitsicherheit im Bauzustand BS-T

Der Einbau der geotechnischen Barriere und der polymeren Dichtungskomponenten wird nicht betrachtet. Eine Belastung des Basisabdichtungssystems in einer potenziellen Gleitfuge durch Baugeräte erfolgt erst ab der Herstellung der Entwässerungsschicht.

Für diesen Nachweis wird eine Baumaschine (Raupe, KOMATSU D61 PXI-24, 19,6 to) angesetzt. Der für die Bemessung maßgebende Bauzustand ist der Einbau der Entwässerungsschicht mit Hilfe dieses Baugerätes. Bei der Berechnung wird davon ausgegangen, dass das Baugerät die Entwässerungsschicht auf der Sollstärke von $d \geq 0,50$ m befährt.

Maßgebende Einwirkungen entstehen aus Eigengewicht und der statischen und dynamischen Belastungen durch das Baugerät.

Für die Berechnung der Gleitsicherheit im Bauzustand wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessungssituation BS-T angesetzt.

Die Berechnung der maßgeblichen Gleitfugen ist als **Anlage 6** beigefügt.



Die Berechnung der Gleitsicherheit bei einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ ergibt folgende Mindestreibungswinkel für die untersuchten Gleitfugen unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter:

Tabelle 10: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-T**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta'_k \geq 9,89^\circ$	$\delta' \geq 10,86^\circ$
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta'_k \geq 9,90^\circ$	$\delta' \geq 10,87^\circ$
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta'_k \geq 9,95^\circ$	$\delta' \geq 10,92^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 10** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.

In der nachfolgenden **Tabelle 11** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.

Tabelle 11: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-T**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta' \geq 10,86^\circ$	$\delta' = 14,6^\circ$ ⁽¹⁾
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta' \geq 10,87^\circ$	$\delta' \geq 15,0^\circ$ ⁽²⁾
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta' \geq 10,92^\circ$	$\delta' \geq 35,0^\circ$ ⁽²⁾

(1) Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 10**

(2) Allgemeine Erfahrungswerte



Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anforderungen im Hinblick auf die Scherparameter, von den eingesetzten Materialien sicher eingehalten werden.

4.2.3 Gleitsicherheit in der Bemessungssituation Erdbeben BS-E

Der Standort der Deponie Haus Forst, Kerpen ist nach DIN EN 1998-1 [3] der Erdbebenzone 3 mit der Untergrund- und Baugrundklassenkombination C-S zuzuordnen. Der Nachweis der Gleitsicherheit in der Bemessungssituation für Erdbeben (BS-E) mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten wurde mithilfe des Programmes Stability von GGU, Version 10.69, durchgeführt (siehe **Anlage 7**).

Die Berechnung der Gleitsicherheit wurde für die potenziell schwächsten Gleitfugen, welche an die einzelnen polymeren Schichten angrenzen, durchgeführt. Auch in dieser Berechnung wurden die Scherparameter soweit reduziert, dass ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 1$ erreicht wird.

Tabelle 12: Errechnete Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-E**

Gleitfuge	charakteristischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta'_k \geq 10,10^\circ$	$\delta' \geq 11,09^\circ$
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta'_k \geq 10,10^\circ$	$\delta' \geq 11,09^\circ$
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta'_k \geq 10,10^\circ$	$\delta' \geq 11,09^\circ$

Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß GDA E2-7 [6] ergeben sich hieraus die ebenfalls in der **Tabelle 12** dargestellten versuchstechnisch nachzuweisenden Mindestreibungswinkel.

In der nachfolgenden **Tabelle 13** sind die versuchstechnischen Mindestreibungswinkel den Erfahrungswerten des Unterzeichners und den im Rahmen dieser Baumaßnahme bereits versuchstechnisch ermittelten Reibungswinkel gegenübergestellt.



Tabelle 13: Soll/Ist Vergleich der Mindestreibungswinkel in der Bemessungssituation **BS-E**

Gleitfuge	versuchstechnischer Mindestreibungswinkel bei $\mu = 1,0$	Ergebnisse aus vergleichbaren Großrahmenscherversuchen bzw. Erfahrungswerten
Geotechnische Barriere vs. KDB (AGRU glatte Oberfläche)	$\delta' \geq 11,09^\circ$	$\delta' = 14,6^\circ$ ⁽²⁾
KDB (AGRU glatte Oberfläche) vs. MDDS	$\delta' \geq 11,09^\circ$	$\delta' \geq 15,0^\circ$ ⁽¹⁾
MDDS vs. Entwässerungsschicht (8/32 mm)	$\delta' \geq 11,09^\circ$	$\delta' \geq 35,0^\circ$ ⁽¹⁾

- (1) Großrahmenscherversuch siehe **Anlage 10**
(2) Allgemeine Erfahrungswerte

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die Anforderungen im Hinblick auf die Scherparameter von den eingesetzten Materialien auch in dieser Bemessungssituation sicher eingehalten werden.

4.2.4 Nachweis der ausreichenden Schubkraftübertragung

Dieser Nachweis erfolgt gemäß Kapitel 4 der GDA E2-7 [6]. Hierzu wurde der Ausnutzungsgrad in der potenziellen Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T mit den versuchstechnisch ermittelten und gemäß [6] abgeminderten charakteristischen Scherparametern berechnet. Die Berechnungen sind als **Anlage 8** beigefügt. Die Berechnung der Gleitsicherheit ergibt folgende Ausnutzungsgrade für die untersuchte Gleitfuge unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter.

Tabelle 14: Errechnete Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere

Gleitfuge	Ausnutzungsgrad (Bemessungssituation BS-P)	Ausnutzungsgrad (Bemessungssituation BS-T)
Ton Bocksloch vs. KDB AGRU glatt/glatt	$\mu = 0,565$	$\mu = 0,737$



Aus der Zusammenstellung wird deutlich, dass der maximal zulässige Ausnutzungsgrad von $\mu \leq 1,0$ unter Berücksichtigung der in der Berechnung angesetzten bodenmechanischen Kennwerte im Bau- und Endzustand bei Böschungsneigungen von 1:10 sehr sicher eingehalten wird. Bei geringen Ausnutzungsgraden ($\mu \leq 0,85$) kann ein weiterer Nachweis der schadfreien Ableitung von Schubkräften entfallen. Entsprechend ist der Nachweis erbracht.

5 Spreizsicherheitsnachweis für das Basisabdichtungssystem DA 4b

Der Nachweis der Spreizsicherheit des Basisabdichtungssystems nach GDA E 2-6 [7] sowie GDA E 2-21 [8] der GDA Empfehlungen (GDA, 1997a und b) wurde nach dem Ansatz von Brauns (1980) [9] (vgl. auch Kockel, 1992[10]) geführt. Dabei ist nachzuweisen, dass die in der Basisabdichtung infolge eines anzunehmenden Schüttkörpers mobilisierten Schubspannungen von dem dort vorhandenen ungünstigsten Reibungsverbund aufgenommen werden können. Nach [9] wird dazu der erforderliche Sohlreibungswinkel δ_{erf} ermittelt und mit dem vorhandenen Sohlreibungswinkel δ_{vorh} in der ungünstigsten Scherfuge des Basisabdichtungssystems verglichen.

Der Bemessungswert des erforderlichen Sohlreibungswinkels $\delta_{\text{erf,d}}$ ergibt sich danach aus:

$$\tan \delta_{\text{erf,d}} = \frac{\tau_{\varepsilon}}{\sigma_{\varepsilon}} = \frac{\sin \varphi_d \cdot \sin \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi_d} \right) - \beta + 2\varepsilon \right]}{1 + \sin \varphi_d \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi_d} \right) - \beta + 2\varepsilon \right]}$$

Darin sind:

φ'_d = Bemessungswert des Reibungswinkels des Schüttkörpers [°]

γ_{φ} = Teilsicherheitsbeiwert auf den Tangens des Reibungswinkels

ε = Neigungswinkel der Aufstandsfläche in der Basis [°]

β = Böschungswinkel des Schüttkörpers im gedachten Schnitt [°]

Entsprechend dem Nachweiskonzept nach Eurocode 7 (DIN EN 1997-1) [1] und DIN 1054:2010-12 [2] erfolgt der Nachweis der Spreizsicherheit im Grenzzustand GEO-3. Damit werden die Teilsicherheitsbeiwerte auf die Materialkennwerte aufgebracht. Dies entspricht hier dem charakteristischen Reibungswinkel des Schüttkörpers φ'_k , der zugehörige Teilsicherheitsbeiwert ist γ_{φ} . Der Bemessungswert des Reibungswinkels des Schüttkörpers ist somit:



$$\varphi_d = \arctan\left(\frac{\tan\varphi_k}{\gamma_c}\right)$$

Es wurde unterschieden zwischen den Böschungsneigungen nach Endverfüllung (1:3 bzw. $\beta = 18,4^\circ$) und dem Deponiebetrieb, für den die Böschungsneigung des Schüttkörpers variiert wurde. Der Ausbauzustand ist demnach der Bemessungssituation BS-P zuzuordnen mit einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_\varphi = 1,25$. Der Betriebszustand entspricht der Bemessungssituation BS-T, der Teilsicherheitsbeiwert ist $\gamma_\varphi = 1,15$.

Der charakteristische Reibungswinkel des Schüttkörpers (zukünftiges Deponat) wurde zu $\varphi_k = 30^\circ$ abgeschätzt. Dies ist für einen Deponiekörper der Klasse I, mit überwiegend gemischtkörnigen inerten Abfallstoffen gemäß [11] und [12] ein plausibler Wert. Die Neigung der Aufstandsfläche wurde gemäß der Planung zu $\tan \varepsilon = 0,1$, also $\varepsilon = 5,71^\circ$ angesetzt und der vorhandene charakteristische Sohlreibungswinkel zu $\delta_{\text{vorh},k} = 14,6^\circ$ (siehe **Anlage 10**). Die Adhäsion in der Aufstandsfläche wurde auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Der Nachweis der Spreizsicherheit ist erfüllt, wenn gilt: $\tan\delta_{\text{erf},d} \leq \tan\delta_{\text{vorh},d} = \tan\delta_{\text{vorh},k} \cdot \gamma_\varphi$

Der zugehörige Ausnutzungsgrad ist:

$$\mu = \frac{\tan\delta_{\text{erf},d}}{\tan\delta_{\text{vorh},d}}$$

Um den vorhandenen Sohlreibungswinkel $\delta_{\text{vorh},k}$ in den Bemessungswert $\delta_{\text{vorh},d}$ umzurechnen, muss dieser entgegen der sonst üblichen Systematik mit dem Teilsicherheitsbeiwert multipliziert werden, um die notwendige Gesamtsicherheit zu gewährleisten. Da es sich ebenfalls um eine Materialkenngröße handelt, wird der Sohlreibungswinkel mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_φ in der jeweiligen Bemessungssituation faktorisiert.

Für den endgültigen Verfüllzustand in der Bemessungssituation BS-P ergibt sich damit folgendes Ergebnis:

Nachweis: $\tan \delta_{\text{erf},d} = 0,19 < 0,33 = \delta_{\text{vorh},d}$

Ausnutzungsgrad: $\mu = 0,59 < 1$



Für den Betriebszustand in der Bemessungssituation BS-T wurde der Böschungswinkel β variiert. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle 15** zusammengestellt.

Tabelle 15: Ergebnisse des Spreizsicherheitsnachweises für die Basisabdichtung in der Bemessungssituation BS-T (Deponiebetrieb)

β [°]	β [rad]	τ_{ε} [kN/m ²]	σ_{ε} [kN/m ²]	$\tan \delta_{\text{erf,d}}$ [-]	$\tan \delta_{\text{vorh,d}}$ [-]	μ [-]
18,43	0,322	0,218	1,472	0,148	0,536	0,276
18,43	0,322	0,263	1,448	0,182	0,300	0,607
20,00	0,349	0,280	1,438	0,194	0,300	0,649
22,50	0,393	0,308	1,419	0,217	0,300	0,724
25,00	0,436	0,340	1,394	0,244	0,300	0,813
27,50	0,480	0,377	1,358	0,278	0,300	0,928
28,70	0,501	0,399	1,333	0,299	0,300	1,000

Der Nachweis der Spreizsicherheit ist damit für beide Bemessungssituationen und alle möglichen Variationen erfüllt und somit unkritisch. Ab einem Böschungswinkel von $\beta > 28,7^\circ$ ist die Gesamtstandsicherheit der Böschung rechnerisch nicht mehr gegeben. Entsprechend ist der Schüttwinkel des neuen Abfallkörpers auf **28,7°** zu begrenzen.

6 Zusammenfassung

Sowohl für die Herstellung des Zwischenabdichtungssystems als auch für die Herstellung des Basisabdichtungssystems des DA 4b der Deponie Haus Forst ist der Nachweis der Gleitsicherheit der zum Einsatz vorgesehenen Dichtungskomponenten im Bau- und Endzustand und der Bemessungssituation Erdbeben erbracht worden.

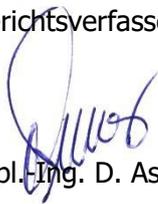
Für den Nachweis der Gleitsicherheit wurden die nach dem jetzigen Kenntnisstand ungünstigsten Querschnitte der Böschungs- und Flachbereiche betrachtet.



Die hier durchgeführten Berechnungen und Ergebnisse besitzen nur Gültigkeit für die zugrunde gelegten geotechnischen Verhältnisse und Geometrien.

Essen, 13. Januar 2022

Berichtsverfasser:



Dipl.-Ing. D. Asmus

ASMUS+PRABUCKI · INGENIEURE
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH



Quellenverzeichnis

- [1] CEN Europäisches Komitee für Normung (2014):
DIN EN 1997-1 „Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2010):
DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitshinweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“
- [3] CEN Europäisches Komitee für Normung (2010):
DIN EN 1998-1 „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Deutsche Fassung“
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2010):
DIN EN 1991-1-3 „Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten; Deutsche Fassung“
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2017):
DIN 4084 „Baugrund – Geländebruchberechnungen“
- [6] DGGT-GDA Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
Fachsektion 6 Umweltgeotechnik (2015)
GDA E 2-7 „Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen“
- [7] DGGT-GDA Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
Fachsektion 6 Umweltgeotechnik (1997a)
GDA E 2-6: Grundsätze der Abfallmechanik.
- [8] DGGT-GDA Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
Fachsektion 6 Umweltgeotechnik (1997b)
GDA E 2-21: Spreizsicherheitsnachweis und Verformungsabschätzung für die Deponiebasis.
- [9] Brauns, J. (1980): Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände. Bauingenieur 55, S. 433-436.
- [10] Kockel, R. (1992): Schubbeanspruchungen im Basisabdichtungssystem von Haldendepo-
nien. Schriftenreihe des Institutes für Grundbau, Heft 20, Ruhr-Universität Bochum. Fest-
schrift Prof.-Dr.-Ing. H. L. Jessberger, Rotterdam, Balkema-Verlag.
- [11] Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt (2018): Grundbau-Taschenbuch Teil 1-3, 8. Auflage, Ernst &
Sohn
- [12] DIN 1055-2: 2010-11 Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 2: Bodenkenngößen, Normen-
ausschuss Bauwesen (NABau) im DIN e.V.



Anlagen



Anlage 1

Mindestreibungswinkel Neigung 1-2.5 Bemessungssituation BSP



Anlage 1_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Endzustand BSP
 Gleitfuge_geot. Barriere vs. KDB

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	70 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.473 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17.59 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21.8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.473 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17.59 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	28.31 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.473 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.31 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.37 [m/m]	
	$F_{Boden, II} = l^*$	3.09 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.186 [kN/m]	
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3.59 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]				
Böschungsparelle Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	251.03 [kN/m]	
				$R_{Gesamt, d} =$	251.03 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				

Anlage 1_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Endzustand BSP
 Gleitfuge_KDB vs. Schutzvlies

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	70 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.470 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17.63 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21.8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.470 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17.63 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	28.32 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.470 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.31 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.37 [m/m]	
	$F_{Boden, II} = l^*$	3.08 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.186 [kN/m]	
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3.58 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]				
Böschungsparelle Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	250.42 [kN/m]	
				$R_{Gesamt, d} =$	250.42 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				

Anlage 1_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Endzustand BSP
 Gleitfuge_Schutzvlies vs. min. Schutzschicht

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	70 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.450 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	18.00 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21.8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.450 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	18.00 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	28.35 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.450 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.31 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.37 [m/m]	
	$F_{Boden, II} = l^*$	3.01 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.186 [kN/m]	
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3.51 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]				
Böschungsparelle Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	245.53 [kN/m]	
				$R_{Gesamt, d} =$	245.53 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				

Anlage 2

Mindestreibungswinkel Neigung 1-2.5 Bemessungssituation BST



Anlage 2_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Bauzustand BST
 Gleitfuge_geot. Barriere vs. KDB

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,71 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,473 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte :	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21,8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,473 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2 :	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	29,80 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,473 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	3,09 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,37 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	9,84 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3,84 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,93 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	9,21 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	7,40 [kN/m]			
Böschungsparallele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	8,88 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	43,42 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,02 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	43,42 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,22 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 2_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Bauzustand BST
Gleitfuge_KDB vs. Schutzvlies

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,71 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,470 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte :	$\gamma =$	17,63 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21,8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,470 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2 :	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,63 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	29,81 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,470 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	3,08 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,37 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	9,81 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3,83 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,97 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerätes, hd} =$	9,24 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	7,42 [kN/m]			
Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	8,90 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	43,45 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,02 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	43,45 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,22 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 2_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-2.5_Bauzustand BST
Gleitfuge_Schutzvlies vs. min. Schutzschicht

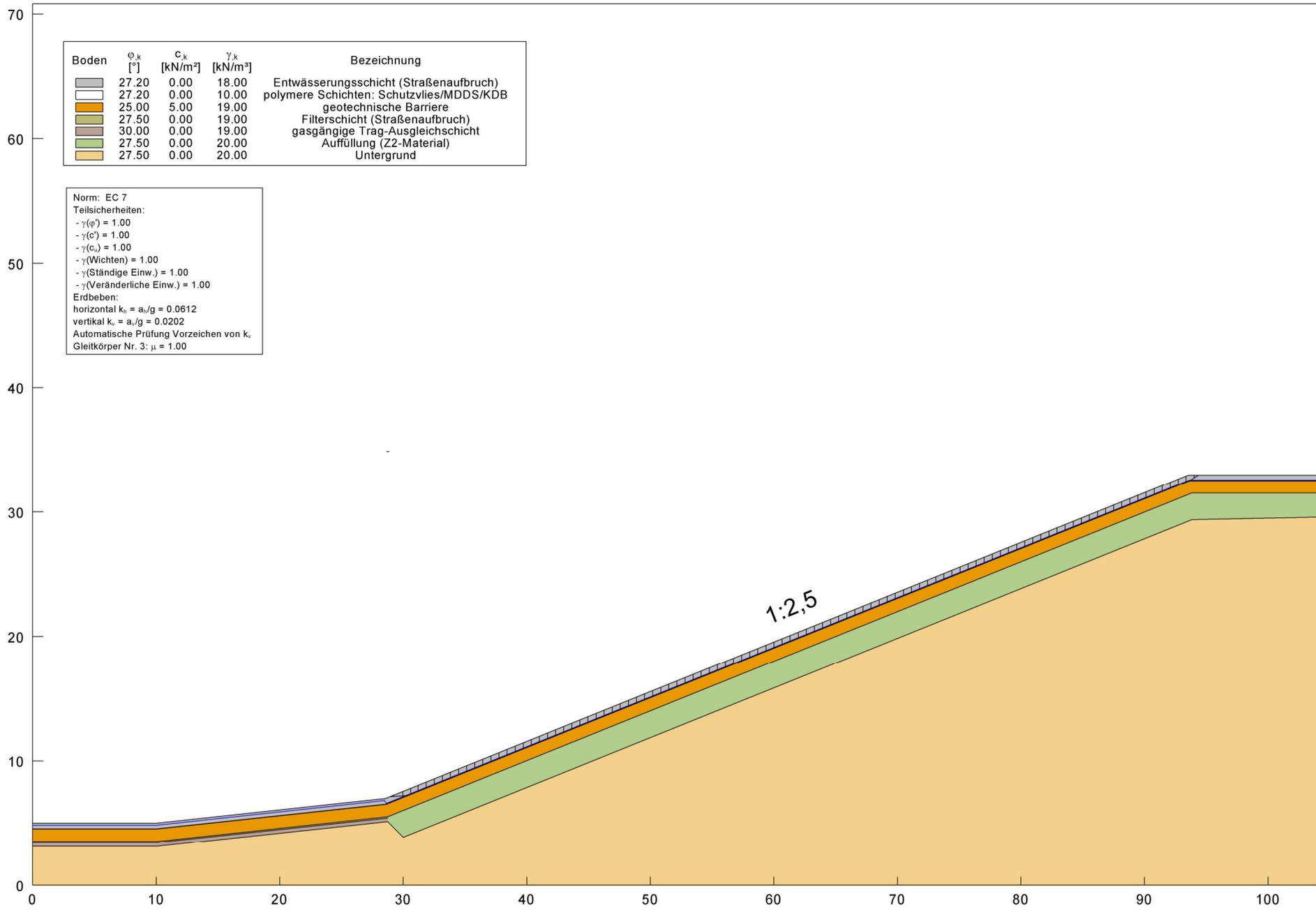
betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,68 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,450 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte:	$\gamma =$	18,00 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21,8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,450 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	18,00 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	29,88 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,450 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden, II} = l^*$	3,01 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,37 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	9,63 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	3,76 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	20,36 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	9,45 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	7,56 [kN/m]			
Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät, II} =$	9,07 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	43,74 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,04 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	43,74 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,25 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 3

Mindestreibungswinkel Neigung 1-2.5 Bemessungssituation BSE





Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Grey]	27.20	0.00	18.00	Entwässerungsschicht (Straßenaufbruch)
[White]	27.20	0.00	10.00	polymere Schichten: Schutzvlies/MDDS/KDB
[Orange]	25.00	5.00	19.00	geotechnische Barriere
[Light Green]	27.50	0.00	19.00	Filterschicht (Straßenaufbruch)
[Brown]	30.00	0.00	19.00	gasgängige Trag-Ausgleichsschicht
[Green]	27.50	0.00	20.00	Auffüllung (Z2-Material)
[Yellow]	27.50	0.00	20.00	Untergrund

Norm: EC 7
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.00$
 - $\gamma(c) = 1.00$
 - $\gamma(G_s) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.00$
 Erdbeben:
 horizontal $k_h = a_h/g = 0.0612$
 vertikal $k_v = a_v/g = 0.0202$
 Automatische Prüfung Vorzeichen von k_v
 Gleitkörper Nr. 3: $\mu = 1.00$

Anlage 4

Ausnutzungsgrade Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere BSP und BST



Anlage 4_Berechnung der Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB_geot. Barriere_Bauzustand

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,71 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,473 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte:	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21,8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,473 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	27,41 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	4,55 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,473 [m]	Teilsicherheitsbeiwert (Reibungswert):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert (Adhäsion):	$\gamma_a =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]	δ in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$\delta_0 =$	29,70 [°]
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Baugerät statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]	a in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$a_0 =$	9,1 [°]
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Baugerät):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	3,09 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,37 [m/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	9,84 [m ²]		$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,93 [kN/m]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	7,44 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	7,40 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	8,34 [kN/m]
Böschungsparallele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	8,88 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	43,42 [kN/m]
	$a_v =$	0,5 [m/s ²]		$R_{Gesamt, d} =$	54,00 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,02 [kN/m]		$\mu =$	0,804
	$F_{dyn, II} =$	1,22 [kN/m]			

Anlage 4_Berechnung der Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB_geot. Barriere_Endzustand

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	70 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0,473 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1,3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	21,8 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,473 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1 :	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17,59 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	27,41 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	4,55 [kN/m ²]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,473 [m]	Teilsicherheitsbeiwert (Reibungswert):	$\gamma_\delta =$	1,25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert (Adhäsion):	$\gamma_a =$	1,25 [-]
Masse des Baggers bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17,7 [to]	δ in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$\delta_0 =$	29,70 [°]
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,3 [-]	a in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$a_0 =$	9,1 [°]
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0,65 [kN/m ²]			
Bewuchs	$dt =$	[kN/m ²]			
Windlast	$qt =$	[kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Bewuchs = I*	0,00 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,37 [m/m]	
	Schneelast = I*	0,31 kN/m		$S_{II} = I^*$	0,186 [kN/m]	
	FBoden II = I*	3,09 [kN/m]				
	Windlast = I*	0,00 kN/m				
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0,00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast und des Bewuchses	$R_{Kontaktfuge, d} = I^*$	7,09 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0,00 [kN/m]				
	(ohne Teilsicherheitsbeiwert): $F_{Baugerät} =$	0,00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Bagger hd} =$	0,00 [kN/m]
	Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$: $F_{Baugerät II} =$	0,00 [kN/m]				
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	251,03 [kN/m]	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	496,41 [kN/m]	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]		$\mu =$	0,506	

Anlage 5

Mindestreibungswinkel Neigung 1-10 Bemessungssituation BSP



Anlage 4_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Endzustand BSP
 Gleitfuge_geot. Barriere vs. KDB

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	20 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.523 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17.64 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5.71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.523 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17.64 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	7.62 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.523 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.08 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.10 [m/m]	
	$F_{Boden, II} = l^*$	0.92 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.050 [kN/m]	
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1.05 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]				
Böschungsparallele Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	21.01 [kN/m]	
				$R_{Gesamt, d} =$	21.01 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				

Anlage 4_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Endzustand BSP
 Gleitfuge_KDB vs. MDDS

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	20 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.520 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17.68 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5.71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.520 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17.68 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	7.62 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.520 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.08 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.10 [m/m]
	$F_{Boden, II} = l^*$	0.91 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.050 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1.05 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]			
Böschungsparelle Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	20.97 [kN/m]
				$R_{Gesamt, d} =$	20.97 [kN/m]
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]			
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]			

Anlage 4_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Endzustand BSP
 Gleitfuge_MDDS vs. Entwässerungsschicht

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	20 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0.500 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0.05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	18.00 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1.3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5.71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0.500 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1:	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	18.00 [kN/m ³]
Breite der Raupenkette:	$b_{Kette} =$	0.6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	7.63 [°]
Länge der Raupenkette:	$l_{Kette} =$	3.26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0.500 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1.25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Adhäsion):	$\gamma_a =$	1.25 [-]
Masse der Raupe bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17.7 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Raupe statisch):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9.81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit der Raupe:	$V_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Raupe):	$\gamma_Q =$	1.3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0.65 [kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Schneelast = l^*	0.08 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0.10 [m/m]	
	$F_{Boden, II} = l^*$	0.90 [kN/m]		$S_{ } = l^*$	0.050 [kN/m]	
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0.00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1.03 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	0.00 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{Baugerät} =$	0.00 [kN/m]				
Böschungsparelle Anteil aus F_{Bagger} :	$F_{Baugerät, II} =$	0.00 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	20.59 [kN/m]	
				$R_{Gesamt, d} =$	20.59 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]		$\mu =$	1.000	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]				

Anlage 6

Mindestreibungswinkel Neigung 1-10 Bemessungssituation BST



Anlage 5_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Bauzustand BST
 Gleitfuge_geot. Barriere vs. KDB

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,77 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,523 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5,71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,523 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	9,89 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,523 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	0,92 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,10 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	10,30 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1,39 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,03 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	2,87 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	1,89 [kN/m]			
Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	2,27 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	14,33 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	0,97 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	14,33 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,16 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 5_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Bauzustand BST
Gleitfuge_KDB vs. MDDS

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,77 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,520 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte:	$\gamma =$	17,68 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5,71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,520 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,68 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	9,90 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,520 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	0,91 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,10 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	10,28 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1,39 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,07 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerätes, hd} =$	2,88 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	1,90 [kN/m]			
Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	2,28 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	14,34 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	0,97 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	14,34 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,17 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 5_Mindestreibungswinkel_Neigung 1-10_Bauzustand BST
Gleitfuge_MDDS vs. Entwässerungsschicht

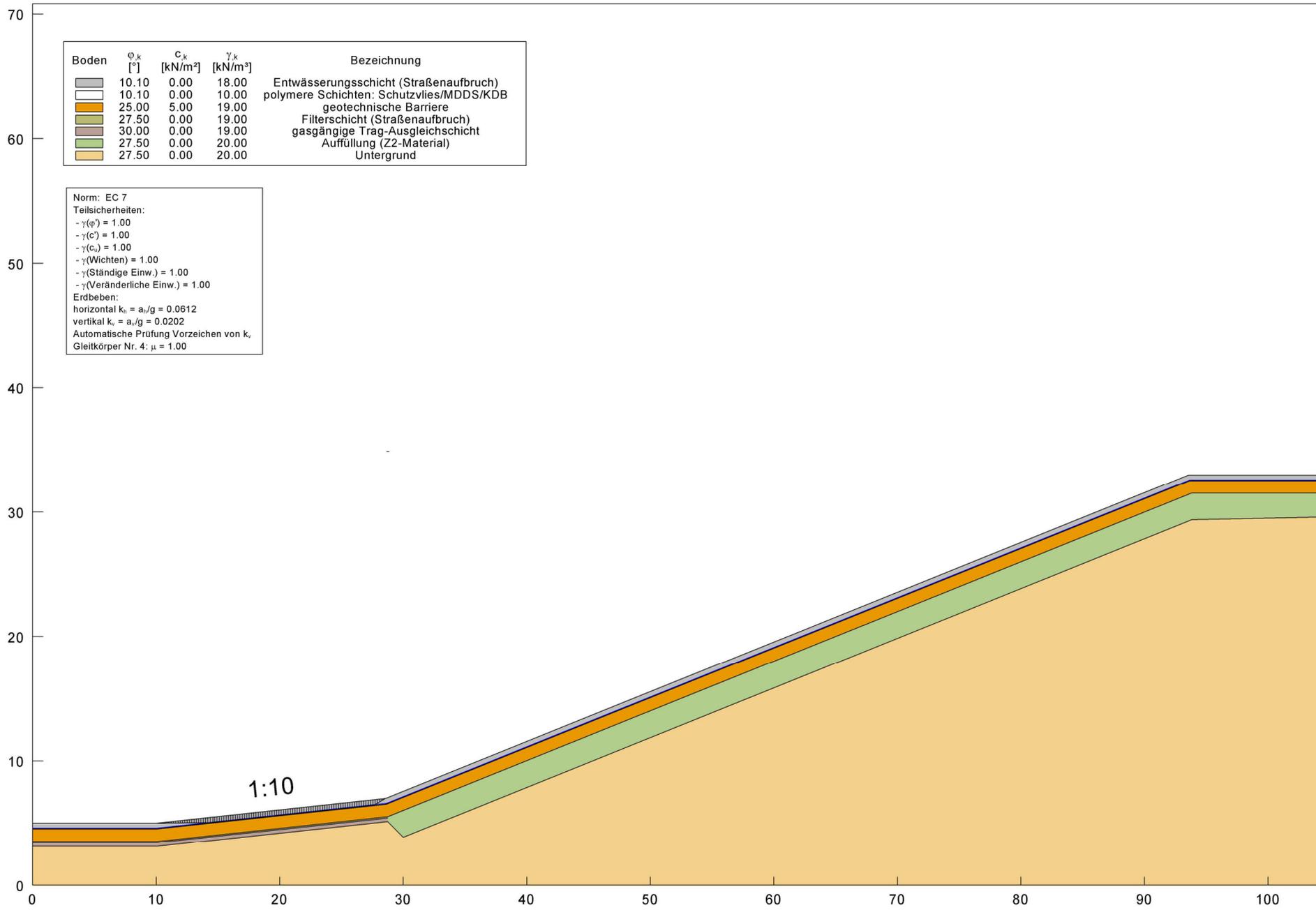
betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,74 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,500 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,00 [m]
Wichte:	$\gamma =$	18,00 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5,71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,500 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	18,00 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,86 [m]	Reibungswinkel:	$\phi_k =$	9,95 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,165 [m]	Kohäsion:	$c_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,500 [m]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 (Reibungswinkel):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert aus Lastfall 1 Kohäsion):	$\gamma_c =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes:	$m_{Baugerät} =$	19,6 [to]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	0,90 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,10 [m/m]
				$S_{II} = l^*$	0,000 [kN/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	10,09 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1,37 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	19,42 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	2,95 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	1,93 [kN/m]			
Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	2,32 [kN/m]			
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät:	$a_v =$	0,5 [m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	14,45 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	0,99 [kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	14,45 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,19 [kN/m]		$\mu =$	1,000

Anlage 7

Mindestreibungswinkel Neigung 1-10 Bemessungssituation BSE





Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Grey]	10.10	0.00	18.00	Entwässerungsschicht (Straßenaufbruch)
[White]	10.10	0.00	10.00	polymere Schichten: Schutzvlies/MDDS/KDB
[Orange]	25.00	5.00	19.00	geotechnische Barriere
[Light Green]	27.50	0.00	19.00	Filterschicht (Straßenaufbruch)
[Brown]	30.00	0.00	19.00	gasgängige Trag-Ausgleichsschicht
[Green]	27.50	0.00	20.00	Auffüllung (Z2-Material)
[Yellow]	27.50	0.00	20.00	Untergrund

Norm: EC 7
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.00$
 - $\gamma(c) = 1.00$
 - $\gamma(G_s) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.00$
 Erdbeben:
 horizontal $k_h = a_h/g = 0.0612$
 vertikal $k_v = a_v/g = 0.0202$
 Automatische Prüfung Vorzeichen von k_v
 Gleitkörper Nr. 4: $\mu = 1.00$

Anlage 8

Ausnutzungsgrad Gleitfuge KDB vs. geotechnische Barriere BSP und BST



Anlage 8_Berechnung der Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB_geot. Barriere_Bauzustand

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	3,86 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke:	$d =$	0,523 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,05 [m]
Wichte:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2:	$\gamma_Q =$	1,2 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5,71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,523 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 2:	$\gamma_G =$	1 [-]	Wichte:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	13,32 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [°]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,523 [m]	Teilsicherheitsbeiwert (Reibungswert):	$\gamma_\delta =$	1,15 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert (Adhäsion):	$\gamma_a =$	1,15 [-]
Masse des Baugerätes bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17,7 [to]	δ in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$\delta_0 =$	14,60 [°]
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (Baugerät statisch):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]	a in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$a_0 =$	0 [°]
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]			
max. Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]			
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dyn. Baugerät):	$\gamma_Q =$	1,2 [-]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	$F_{Boden II} = l^*$	0,92 [kN/m]	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,10 [m/m]
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	8,57 [m ²]		$S_{II} = l^*$	0,050 [kN/m]
	$F_{Baugerät} =$	20,65 [kN/m]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens	$R_{Kontaktfuge, d} = l^*$	1,89 [kN/m]
(ohne Teilsicherheitsbeiwert):	$F_{baugerät} =$	2,05 [kN/m]	Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes	$R_{Baugerät, hd} =$	4,23 [kN/m]
Böschungsparallele Anteil aus $F_{Baugerät}$:	$F_{Baugerät II} =$	2,47 [kN/m]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	15,89 [kN/m]
	$a_v =$	0,5 [m/s ²]		$R_{Gesamt, d} =$	21,09 [kN/m]
	$F_{dyn, II} =$	1,05 [kN/m]		$\mu =$	0,753
	$F_{dyn, II} =$	1,26 [kN/m]			

Anlage 8_Berechnung der Ausnutzungsgrade in der Gleitfuge KDB_geot. Barriere_Endzustand

betrachtete Böschungslänge:	$l =$	20 [m]	Wichte des Wassers:	$\gamma_w =$	10 [kN/m ³]
Schichtstärke gesamt:	$d =$	0,523 [m]	Mächtigkeit der durchströmten Schicht:	$h_w =$	0,05 [m]
gemittelte Wichte gesamt:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]	Teilsicherheitsbeiwert aus LF 1:	$\gamma_Q =$	1,3 [-]
Böschungswinkel:	$\beta =$	5,71 [°]	Schichtstärke:	$d =$	0,523 [m]
Teilsicherheitsbeiwert Lastfall 1 :	$\gamma_G =$	1 [-]	gemittelte Wichte:	$\gamma =$	17,64 [kN/m ³]
Breite der Kette:	$b_{Kette} =$	0,6 [m]	Reibungswert:	$\delta_k =$	13,32 [°]
Länge der Kette:	$l_{Kette} =$	3,26 [m]	Adhäsion:	$a_k =$	0 [kN/m ²]
Schichtdicke der betrachteten unterlagernden Schichten:	$d_{ges} =$	0,523 [m]	Teilsicherheitsbeiwert (Reibungswert):	$\gamma_\delta =$	1,25 [-]
Lastausbreitungswinkel:	$\beta =$	30 [°]	Teilsicherheitsbeiwert (Adhäsion):	$\gamma_a =$	1,25 [-]
Masse des Baggers bezogen auf eine Kette:	$m_{Baugerät} =$	17,7 [to]	δ in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$\delta_0 =$	14,60 [°]
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (statisch):	$\gamma_Q =$	1,3 [-]	a in der Gleitfuge ohne Abminderung:	$a_0 =$	0 [°]
Gewichtskraft:	$g =$	9,81 [m/s ²]	Adhäsion darf in Kontaktfugen zur glatten KDB		
max. Geschwindigkeit des Baugerätes:	$v_{Baugerät} =$	1 [m/s]	nicht berücksichtigt werden		
Zeit für Bremsvorgang:	$t_{Brems} =$	2 [s]			
Teilsicherheitsbeiwert aus LF 2 (dynamisch):	$\gamma_Q =$	1,3 [-]			
Schneelast (Zone 1)	$s_k =$	0,65 [kN/m ²]			
Bewuchs	$dt =$	[kN/m ²]			
Windlast	$qt =$	[kN/m ²]			

Einwirkungen aus Eigengewicht	Bewuchs = I*	0,00 kN/m	Einwirkung aus Strömungskräften	$i =$	0,10 [m/m]	
	Schneelast = I*	0,08 kN/m		$S_{II} = I^*$	0,050 [kN/m]	
	FBoden II = I*	0,92 [kN/m]				
	Windlast = I*	0,00 kN/m				
Einwirkungen aus statischer Belastung durch das Baugerät	$A_{Baugerät} =$	0,00 [m ²]	Widerstand aus Eigengewicht des Bodens und der Schneelast und des Bewuchses	$R_{Kontaktfuge, d} = I^*$	1,86 [kN/m]	
	$F_{Baugerät} =$	0,00 [kN/m]				
	(ohne Teilsicherheitsbeiwert): $F_{Baugerät} =$	0,00 [kN/m]		Widerstand aus dem Eigengewicht des Baugerätes		
	Böschungsparellele Anteil aus $F_{Baugerät}$: $F_{Baugerät, II} =$	0,00 [kN/m]		$R_{Bagger hd} =$	0,00 [kN/m]	
Einwirkung aus dynamischer Belastung durch das Baugerät	$a_v =$	[m/s ²]	Nachweis	$F_{Gesamt, d} =$	21,01 [kN/m]	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]		$R_{Gesamt, d} =$	37,19 [kN/m]	
	$F_{dyn, II} =$	[kN/m]		$\mu =$	0,565	

Anlage 9

Großrahmenscherversuch Ton Bocksloch vs. KDB strukturiert



Prüfbericht

Prüfnummer: 2546 13. 12. 2021 Scher-30 EXT
Ort der Durchführung: Labor



ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH
Carnaperhof 10 D-45329 Essen
Fon: +49 201 72085-0, Fax: +49 201 72085-99

Auftraggeber: **Hermanns AG**

Wilhelm-Speck-Straße 17
34125 Kassel

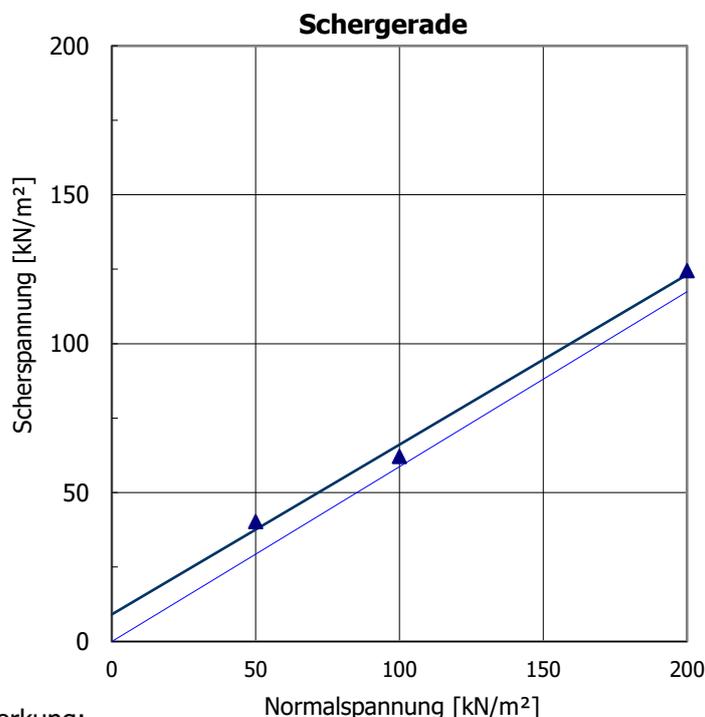
Projekt: **Deponie Haus Forst**

Probenbezeichnung: geotechnische Barriere "Ton Bocksloch" vs KDB AGRU MSB+

Probennummer: A-2546 - 07.09.2021 - EXT - MP02
Projekt - Nr. Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach GDA E 3-08: 2015 im direkten Scherversuch

Bodenart:	gr'sa'Si+CL	Art der Probe:	aufbereitet
Korndichte:	2,76 g/cm ³	Güteklasse der Probe:	2
Konsolidierung:	ohne Wasser	Schergeschwindigkeit:	0,017 mm/min
Scherfuge:	ohne Wasser		
Teilprobe:	1	2	3
Anfangs- zustand Wassergehalt:	15,3 %	16,0 %	15,9 %
Trockendichte:	1,59 g/cm ³	1,59 g/cm ³	1,59 g/cm ³
Porenzahl:	0,54	0,56	0,55
End- zustand Wassergehalt:	15,3 %	15,9 %	15,9 %
Porenzahl:	0,54	0,56	0,55



Bruchzustand
Reibungswinkel φ' **29,7 °**
Adhäsion a' **9,1 kN/m²**
Standardabweichung S_{τ} 3,5551
Korrelationskoeffizient $r_{\tau\sigma}$ 0,9967

Gleitzustand
Reibungswinkel **30,4 °**
Adhäsion **0,0 kN/m²**
Standardabweichung 8,5619
Korrelationskoeffizient 0,9840

Bemerkung:

Dieser elektronisch erstellte Prüfbericht wurde geprüft, freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.

Prüfbericht

Prüfnummer: 2546 13. 12. 2021 Scher-30 EXT
Ort der Durchführung: Labor



ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH
Carnaperhof 10 D-45329 Essen
Fon: +49 201 72085-0, Fax: +49 201 72085-99

Auftraggeber: **Hermanns AG**

Wilhelm-Speck-Straße 17
34125 Kassel

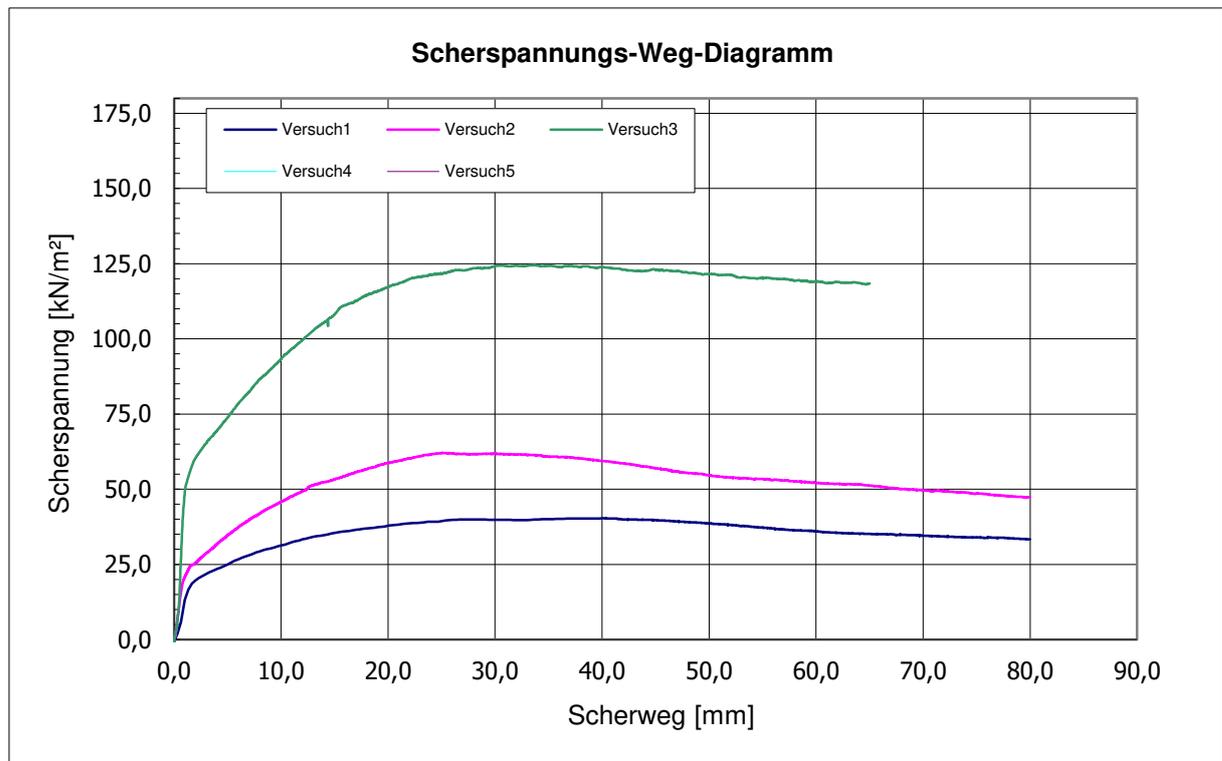
Projekt: **Deponie Haus Forst**

Probenbezeichnung: geotechnische Barriere "Ton Bocksloch" vs KDB AGRU MSB+

Probennummer: A-2546 - 07.09.2021 - EXT - MP02
Projekt - Nr. Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach GDA E 3-08: 2015 im direkten Scherversuch

Teilprobe:	1	2	3
Normalspannung:	50,0 kN/m ²	100,0 kN/m ²	200,0 kN/m ²
Bruchspannung:	40,3 kN/m ²	62,1 kN/m ²	124,5 kN/m ²
Bruchweg:	40,08 mm	25,05 mm	33,66 mm
Gleitspannung:	33,3 kN/m ²	47,3 kN/m ²	118,3 kN/m ²
Gleitweg:	80,00 mm	80,00 mm	65,02 mm



Bemerkung:

Dieser elektronisch erstellte Prüfbericht wurde geprüft, freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.

Anlage 10

Großrahmenscherversuch Ton Bocksloch vs. KDB glatt/glatt



Prüfbericht

Prüfnummer: 2546 30. 11. 2021 Scher-30 EXT
 Ort der Durchführung: Labor



ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE
 BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH
 Carnaperhof 10 D-45329 Essen
 Fon: +49 201 72085-0, Fax: +49 201 72085-99

Auftraggeber: **Hermanns AG**

Wilhelm-Speck-Straße 17
 34125 Kassel

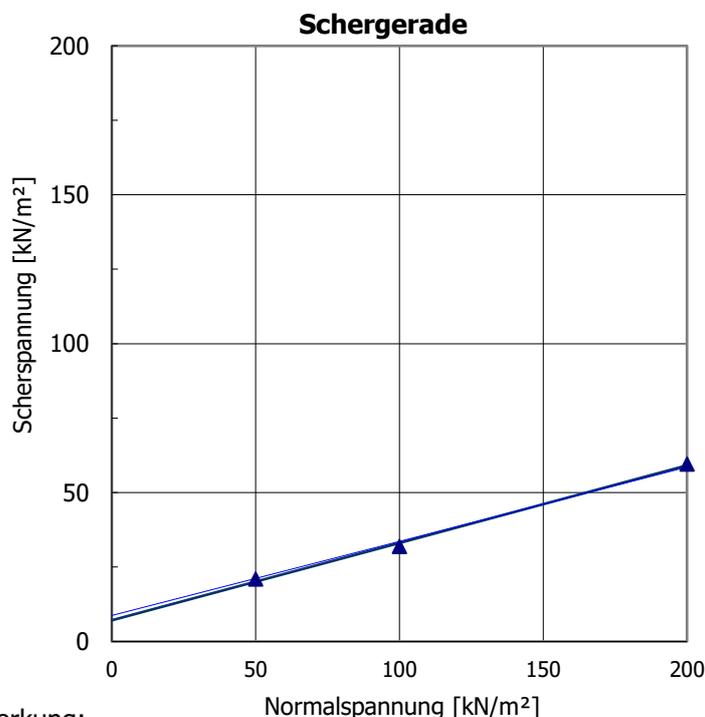
Projekt: **Deponie Haus Forst**

Probenbezeichnung: geotechnische Barriere "Ton Bocksloch" vs KDB AGRU glatt/glatt

Probennummer: A-2546 - 07.09.2021 - EXT - MP01
Projekt - Nr. Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach GDA E 3-08: 2015 im direkten Scherversuch

	Bodenart: gr'sa'Si+CL	Art der Probe: aufbereitet	
	Korndichte: 2,76 g/cm ³	Güteklasse der Probe: 2	
	Konsolidierung: ohne Wasser	Schergeschwindigkeit: 0,017 mm/min	
	Scherfuge: ohne Wasser		
	Teilprobe: 1 2 3		
Anfangs-	Wassergehalt: 15,6 % 15,4 % 15,7 %		
zustand	Trockendichte: 1,59 g/cm ³ 1,59 g/cm ³ 1,59 g/cm ³		
	Porenzahl: 0,54 0,54 0,55		
End-	Wassergehalt: 15,5 % 15,4 % 15,6 %		
zustand	Porenzahl: 0,54 0,54 0,54		



	Bruchzustand
Reibungswinkel ϕ'	14,6 °
Adhäsion a'	7,1 kN/m²
Standardabweichung S_{τ}	1,1200
Korrelationskoeffizient $r_{\tau\sigma}$	0,9984
	Gleitzustand
Reibungswinkel	14,0 °
Adhäsion	8,7 kN/m²
Standardabweichung	0,7312
Korrelationskoeffizient	0,9993

Bemerkung:

Dieser elektronisch erstellte Prüfbericht wurde geprüft, freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.

Prüfbericht

Prüfnummer: 2546 30. 11. 2021 Scher-30 EXT
Ort der Durchführung: Labor



ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH
Carnaperhof 10 D-45329 Essen
Fon: +49 201 72085-0, Fax: +49 201 72085-99

Auftraggeber: **Hermanns AG**

Wilhelm-Speck-Straße 17
34125 Kassel

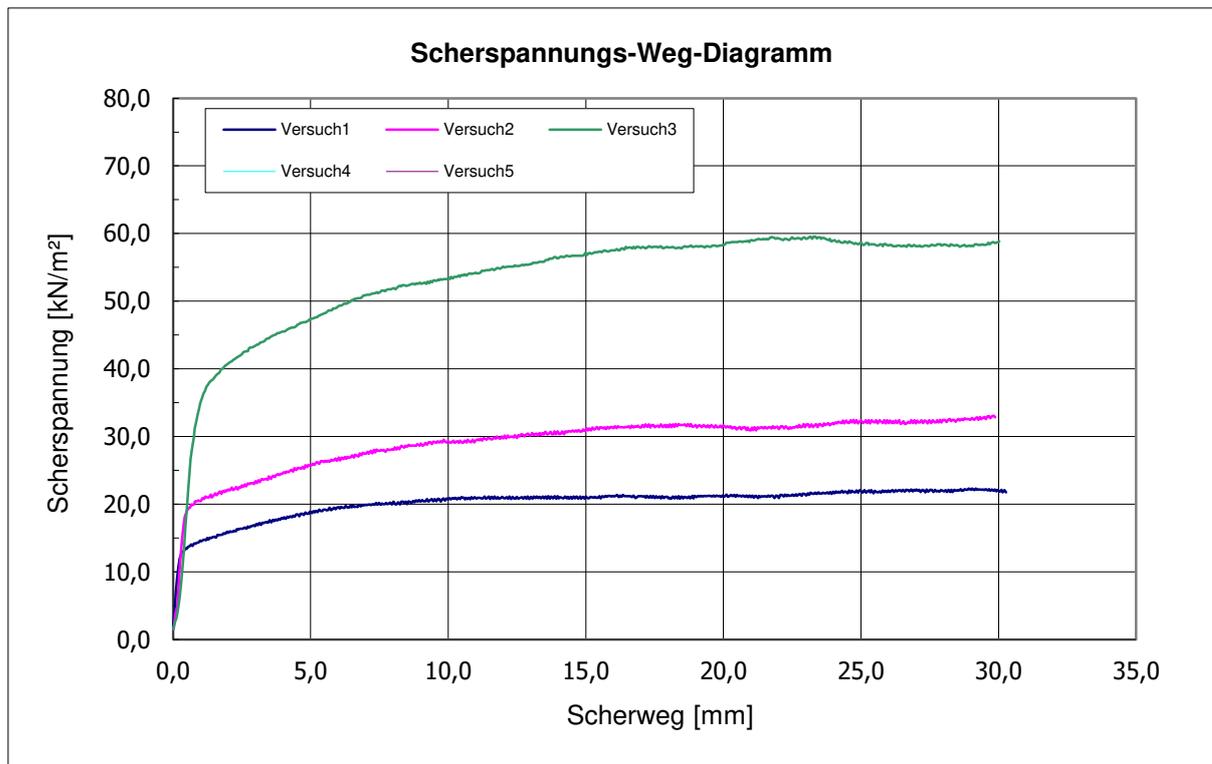
Projekt: **Deponie Haus Forst**

Probenbezeichnung: geotechnische Barriere "Ton Bocksloch" vs KDB AGRU glatt/glatt

Probennummer: A-2546 - 07.09.2021 - EXT - MP01
Projekt - Nr. Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach GDA E 3-08: 2015 im direkten Scherversuch

Teilprobe:	1	2	3
Normalspannung:	50,0 kN/m ²	100,0 kN/m ²	200,0 kN/m ²
Bruchspannung:	21,0 kN/m ²	31,9 kN/m ²	59,6 kN/m ²
Bruchweg:	10,26 mm	18,71 mm	23,35 mm
Gleitspannung:	21,7 kN/m ²	32,8 kN/m ²	58,8 kN/m ²
Gleitweg:	30,27 mm	29,87 mm	30,03 mm



Bemerkung:

Dieser elektronisch erstellte Prüfbericht wurde geprüft, freigegeben und ist ohne Unterschrift gültig.