

Standortsicherheitsuntersuchungen

zum Rahmenbetriebsplan für das Vorhaben

„Tonabbau Bollstedt-West Süderweiterung“

Standortsicherheitsnachweis (SN)

Abbau- und Endböschungen

Auftraggeber: CREATON GmbH
Werk Höngeda
Landstraße 135-138
99998 Höngeda

Projekt: STU zum RBP Tonabbau Bollstedt-West Süderweiterung / 21-268

Bearbeitung: D. Rensing/ Sachverständiger für Geotechnik

Umfang: 18 Seiten, 3 Anlagen 45 Blatt

Bestätigt: 
.....
M. Meinert / Geschäftsführer

Ort, Datum: Nordhausen, 21.07.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Aufgabenstellung, Grundlagen	5
1.1	Veranlassung	5
1.2	Aufgabenstellung	5
1.3	Grundlagen	5
2	Arbeitsunterlagen.....	6
2.1	Unterlagen zu Aufgabenstellung und Auftrag	6
2.2	Unterlagen zur Vermessung	6
2.3	Unterlagen zur Geologie und Hydrogeologie	6
2.4	Unterlagen zur Geotechnik	6
2.5	DIN-Normen / Vorschriften / Literatur	6
3	Bearbeitungsgrundlagen.....	7
3.1	Standortverhältnisse	7
3.2	Geologische und Hydrogeologische Verhältnisse	8
3.3	Abbautechnologie	9
4	Standsicherheitsberechnungen	11
4.1	Berechnungsverfahren und Bemessungssituation	11
4.2	Berechnungsmodelle und Berechnungskennwerte	13
4.3	Berechnungsergebnisse Gewinnungsböschungen	14
4.4	Berechnungsergebnisse Endböschungen	14
4.5	Berechnungsergebnisse Kippenböschungen (Abraum)	15
4.6	Berechnungsergebnisse Abraumböschung im Bereich Seefläche 1	15
5	Schlussfolgerungen	17
5.1	Grundsätzliches	17
5.2	Gültigkeit Standsicherheitsnachweis	17
5.3	Erforderliche Maßnahmen / Empfehlungen / Hinweise	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1:	Baugrundmodelle	13
Tab. 4-2:	Verwendete Berechnungskennwerte	13
Tab. 4-3:	Gewinnungsböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{\max} / μ_a	14
Tab. 4-4:	Endböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{\max} / μ_a	14
Tab. 4-5:	Kippenböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{\max} / μ_a	15
Tab. 4-6:	Abraumböschung Seefläche 1 berechnete Ausnutzungsgrade μ_{\max} / μ_a	15

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1:	Luftbild aktueller Abbaubereich sowie geplante Erweiterung	7
Abb. 3-2:	Skizze Gewinnungsböschung (Nord) mit Verfüllung im Endzustand	9
Abb. 3-3:	Modell Abbautechnologie mit Kettenbagger	10

Anlagenverzeichnis

Anlage/Nr.	Blatt	Inhalt	Maßstab 1:
1		Lagepläne	
1.1	1	Übersichtslageplan	25.000
1.2	1	Lageplan Aufschlüsse mit Schnittpuren der Querprofile	5.000
2		Böschungsbruchberechnungen	
2.1		Abbau- und Endböschung Querprofil 1-2	
2.1.1	1	Baugrundmodell	300
2.1.2	1	Abbauböschung / Bishop	500
2.1.3	1	Abbauböschung / Janbu	500
2.1.4	1	Endböschung / Bishop	500
2.1.5	1	Endböschung / Janbu	500
2.2		Abbau- und Endböschung Querprofil 3-4	
2.2.1	1	Baugrundmodell	300
2.2.2	1	Abbauböschung / Bishop	300
2.2.3	1	Abbauböschung / Janbu	300
2.2.4	1	Endböschung / Bishop	300
2.2.5	1	Endböschung / Janbu	300
2.3		Abbau- und Endböschung Querprofil 5-6	
2.3.1	1	Baugrundmodell	300
2.3.2	1	Abbauböschung / Bishop	300
2.3.3	1	Abbauböschung / Janbu	300
2.3.4	1	Endböschung / Bishop	300
2.3.5	1	Endböschung / Janbu	300
2.4		Abbau- und Endböschung Querprofil 7-8	
2.4.1	1	Baugrundmodell	300
2.4.2	1	Abbauböschung / Bishop	300
2.4.3	1	Abbauböschung / Janbu	300
2.4.4	1	Endböschung / Bishop	300
2.4.5	1	Endböschung / Janbu	300
2.5		Gewinnungsböschung mit Geräteauflast	
2.5.1	1	Gewinnungsböschung / Bishop	300
2.5.2	1	Gewinnungsböschung / Janbu	300
2.6		Kippenböschungen mit Geräteauflast	
2.6.1	1	Abraum gekippt bis 10m Höhe Bauzustand / Bishop	500
2.6.2	1	Abraum gekippt bis 10m Höhe Endzustand / Bishop	500
2.6.3	1	Abraum gekippt bis 20m Höhe Bauzustand / Bishop	500
2.6.4	1	Abraum gekippt bis 20m Höhe Endzustand / Bishop	500
2.7		Seefläche 1 Schnitt D-D'	
2.7.1	1	Abraum gekippt 14m Höhe Ist-Zustand / Rückrechnung Bishop	500
2.7.2	3	Abraum gekippt 14m Höhe Bau-Zustand / Bishop	500
2.7.3	4	Abraum gekippt 14m Höhe End-Zustand / Bishop	500
3		Technische Daten Baugeräte	
3.1	6	Hydraulikbagger Komatsu PC290NLC	-
3.2	3	Muldenkipper Doosan DA30	-

1 Veranlassung, Aufgabenstellung, Grundlagen

1.1 Veranlassung

Die CREATON Produktions GmbH, Werk Höngeda betreibt derzeit einen Tonabbau im Bergwerkseigentum (BWE) Bollstedt-West.

Für die geplante Süderweiterung ist im Rahmen der Erstellung des Rahmenbetriebsplanes die Standsicherheit für den geplanten Tagebau für die Betriebsphase (Abbauböschungen) und nach Einstellung des Betriebes (Endböschungen) nachzuweisen.

1.2 Aufgabenstellung

Die HGN Beratungsgesellschaft mbh (HGN) wurde mit folgenden Leistungen beauftragt:

- Erstellung von Berechnungsmodellen unter Berücksichtigung der Geologie, Hydrogeologie und der Abbautechnologie/Geräteeinsatz
- Rückrechnung an bestehenden Böschungen zur Verifizierung von Kennwertansätzen
- Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse, Einfluss von Grundwasserständen, Berücksichtigung Sickerwasserlinien infolge Grundwasserabsenkung
- Unterscheidung zwischen standsicheren Abbauböschungen und dauerstandsicherer Endböschungsgestaltung
- Durchführung von Böschungsbruchberechnungen mit dem Programm GGU-STABILITY zur Ermittlung der notwendigen Böschungsneigungen und Mindestabstände von Baugeräten zur Böschungsoberkante/Böschungsfuß
- Berücksichtigung der technologischen und lagerstättenbedingten Randbedingungen (Verkehrslasten Baugeräten, Bermen)
- Darstellung verwendete Berechnungsverfahren / Lastfälle / Sicherheitskoeffizienten
- Zusammenfassender Textteil mit Auswertung und Dokumentation der Berechnungen und Ausweisung von Maßnahmen/Empfehlungen für die standsichere Gestaltung der Abbauböschungen und standsicheren Endböschungsgestaltung

1.3 Grundlagen

Wesentliche Grundlage für die Erarbeitung des hier vorliegenden Standsicherheitsnachweises (SN) ist der Geotechnische Bericht zur Erkundung /U4.2/ und das Hydrogeologische Gutachten /U3.2/ für den geplanten Erweiterungsbereich Bollstedt-West Süderweiterung.

2 Arbeitsunterlagen

2.1 Unterlagen zu Aufgabenstellung und Auftrag

- /U1.1/ Bestellung der Creaton GmbH (Nr. 4171397853) vom 31.01.2022.
- /U1.2/ Angebot (AN 21-268) für Standsicherheitsuntersuchungen zum RBP für das Vorhaben „Tonabbau Bollstedt-West Süderweiterung“ der HGN Beratungsgesellschaft mbH vom 20.12.2022.

2.2 Unterlagen zur Vermessung

- /U2.1/ Einmessung Kernbohrungen und GW-Messstellen, RÖSSLER-Ingenieurvermessung GmbH, Gera den 09.06.2022.
- /U2.2/ Risswerk Tontagebau Bollstedt-West, RÖSSLER-Ingenieurvermessung GmbH, Dezember 2022.

2.3 Unterlagen zur Geologie und Hydrogeologie

- /U3.1/ Abbaukonzept für den Tontagebau Bollstedt-West Süderweiterung. HGN Beratungsgesellschaft mbH; Nordhausen den 03.12.2021.
- /U3.2/ Hydrogeologisches Gutachten für die Süderweiterung Tontagebau Bollstedt-West. HGN Beratungsgesellschaft mbH; Nordhausen den 13.07.2023.

2.4 Unterlagen zur Geotechnik

- /U4.1/ Aufsuchungsbetriebsplan nach § 51 Abs. 1 in Verbindung mit § 52 Abs. 1 BBerG für die Nacherkundung im Tontagebau Bollstedt-West Süderweiterung; HGN Beratungsgesellschaft mbH; Nordhausen, Februar 2022.
- /U4.2/ Standsicherheitsuntersuchungen zum Rahmenbetriebsplan für das Vorhaben „Tonabbau Bollstedt-West Süderweiterung“ Geotechnischer Bericht zur Erkundung; HGN Beratungsgesellschaft mbH; Nordhausen, den 23.12.2022.

2.5 DIN-Normen / Vorschriften / Literatur

- /U5.1/ DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1: 2004 + AC:2009 + A1:2013; 03/2014
- /U5.2/ DIN EN 1997-2: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010; 10/2010
- /U5.3/ DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; 12/2010
- /U5.4/ DIN 4084: Baugrund – Geländebruchberechnungen; 01/2009
- /U5.5/ Hinweise und Richtwerte des Thüringer Landesbergamtes für den Steine- und Erden-Bergbau; Gera, den 30.06.2004.
- /U5.6/ Ingenieurgeologie Prof. Dr. Helmut Prinz Bingen und Prof. Dr. Roland Strauß Krefeld; Springer Spektrum 6. Auflage 13.09.2018.

3 Bearbeitungsgrundlagen

3.1 Standortverhältnisse

Das östlich der Unstrut gelegene Gebiet um Bollstedt gehört zum zentralen Teil des Thüringer Beckens und liegt etwa 5 km von der Kreisstadt Mühlhausen entfernt. Das Planungsgebiet gehört zur Großlandschaft Thüringer Becken, naturräumlich zählt es zum Innerthüringer Ackerhügelland. Die Orte Bollstedt und Altengottern liegen ca. 2 km nördlich bzw. 1,5 km südöstlich des Antragsgebietes (s. a. Übersichtsplan Anlage 1.1).

Der Naturraum des Plangebietes ist durch intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Das Plangebiet liegt am südlichen Hang des Roten Berges. Die Unstrut befindet sich ca. 1 km südlich. Das Gelände fällt von ca. 205 m NHN im Norden Richtung Süden/Südosten bis auf ca. 183 m NHN ab.

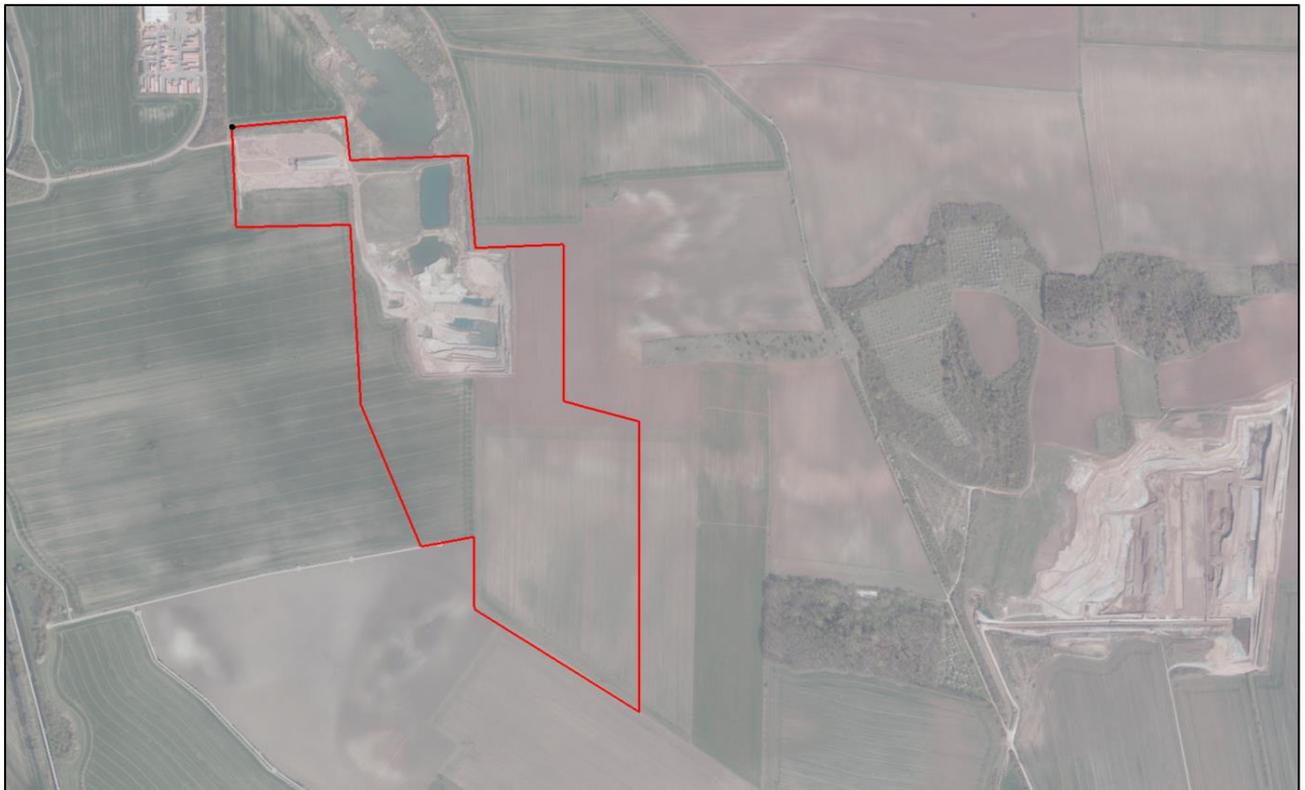


Abb. 3-1: Luftbild aktueller Abbaubereich sowie geplante Erweiterung

Land:	Freistaat Thüringen
Kreis:	Unstrut-Hainich-Kreis
Gemarkung:	Altengottern, Flur: 14
Gemeinden:	Bollstedt und Altengottern
Top. Karte 1 : 25 000:	Blatt 4829 Bad Langensalza
Top. Karte 1 : 10 000:	Blatt 4829 NW Höngeda

3.2 Geologische und Hydrogeologische Verhältnisse

Die Lagerstätte liegt am Westrand der Thüringer Keupermulde (nordwest-südost streichende Mulde von Mühlhausen - Bad Langensalza). Die aufgeschlossene Trias-Schichtfolge umfasst hier nur Schichten des Mittleren Keupers.

Der untere sandige Teil des Schilfsandsteins (k3 / kmS sandig) bildet das Liegende der Lagerstätte. Er besteht aus hell- bis olivgrauen tonigen Feinsandsteinen, denen häufig dunkelgraue mm- bis cm-starke feinsandige Ton-Schluffsteine eingeschaltet sind. Die tonigen Sandsteine sind meist mürbe, nur einzelne Bänke zeigen eine stärkere Verfestigung. Auf den Schichtflächen sind Anreicherungen von Glimmer und Pflanzenhäcksel, teils kohlig, z. T. pyritisiert, häufig vorhanden. Die eingeschalteten Ton-Schluffsteinlagen sind stark sandig und führen teilweise mm-starke kohlige Einlagerungen. Vereinzelt treten cm-große Pyritkonkretionen auf.

Darüber folgt der bis zu etwa 30 m mächtige tonige Teil des Schilfsandsteins (k3 / kmS tonig). Dieser Horizont stellt die eigentliche Lagerstätte (Ziegelrohstoff) dar. Er setzt sich vorwiegend aus schwach feinsandigen, bis feinsandigen, meist rotbraunen, untergeordnet auch graugrünen Ton-Schluffsteinen zusammen. Es sind einzelne, überwiegend mm-, max. einige dm-starke tonig-schluffige Feinsandsteinlagen eingeschaltet.

Darüber folgen am Hang des Roten Berges die nicht nutzbaren Schichten (Abraum) der Roten Wand (kmGOR). Sie setzen sich aus intensiv rotbraun bis rotviolett gefärbten sandig-schluffigen Tonmergelsteinen zusammen. Es treten Gipse auf, die in Form von Knollen und Bänkchen eingeschaltet sind.

Darüber folgen pleistozäne Ablagerungen von bindigen Lockergesteinen (Abraum) in Form von Lößlehm, Hanglehm und Fließerde. Die Ablagerungsmächtigkeit schwankt zwischen ca. 1,0 bis 3,0m.

Den oberen Abschluss bildet Mutterboden (Ackerboden). Die Ablagerungsmächtigkeit schwankt zwischen ca. 0,2 bis 1,1m.

Die im Bereich der Erweiterungsfläche vorliegenden geologischen Verhältnisse sind im Detail dem Geotechnischen Bericht /U4.1/ zu entnehmen. Der vorliegende Geotechnische Bericht bildet eine wesentliche Grundlage für die Erstellung des Standsicherheitsnachweises.

Durch die vorwiegend bindige Gesteinsausbildung (Grundwasserstauer bzw. Grundwassergeringleiter) treten oberflächennah keine durchgehend wasserführenden Schichten auf, sondern nur lokal begrenzte, meist schwebende Aquifere. Im mittleren Bereich des Schilfsandsteins wird ein etwas weiter verbreiteter Grundwasserleiter angetroffen, der vermutlich auch in den Erkundungsbohrungen der 1980er angeschnitten wurde. Laut einem hydrogeologischen Gutachten von 1991 des Erdbaulabors Göttingen bilden erst die Gesteine des Liegenden Gipskeupers (kmG) einen durchgehenden Grundwasserleiter, ca. 5 bis 8 m unterhalb der lagerstättenbildenden Gesteine.

Die GW-Fließrichtung ist entsprechend der Topographie vom Roten Berg als Speisungsgebiet zum Vorfluter Unstrut nach Westen bis Süden gerichtet.

Die Auswirkungen des geplanten Abbaus auf die Grundwasserverhältnisse und den Wasserhaushalt sind auf Basis der vorliegenden geotechnischen/hydrogeologischen Erkundung in einem gesonderten hydrogeologischen Gutachten /U3.2/ dargestellt.

3.3 Abbautechnologie

Im Rahmen der Abbauplanung für die Abbaufelder Bollstedt West und Bollstedt West Süderweiterung wird die tiefste Abbausohle entsprechend der Grenze zwischen dem oberen und unteren Teil des Schilfsandstein festgelegt. Die Abbausohle fällt in Richtung Osten mit ca. 3 – 4 % ein. Die geplante Abbausohle befindet sich bei ca. 180 m NHN im Übergangsbereich zwischen dem Abbaufeld Bollstedt-West und dem nördlichen Bereich der geplanten Süderweiterung (Baufeld 1). Danach erfolgt ein schrittweiser Abbau von weiter südlich gelegenen Baufeldern in Richtung Osten. Dabei folgt die Liegendsohle dem Einfallen der Lagerstätte nach Osten. Die maximale Abbautiefe wurde aufgrund der erkundeten hydrogeologischen/geotechnischen Situation auf 170 m NHN begrenzt. Die maximale Böschungshöhe der Gewinnungsböschungen im Abbauzustand befindet sich an der Nordböschung zum Roten Berg und beträgt ca. 35 - 38 m.

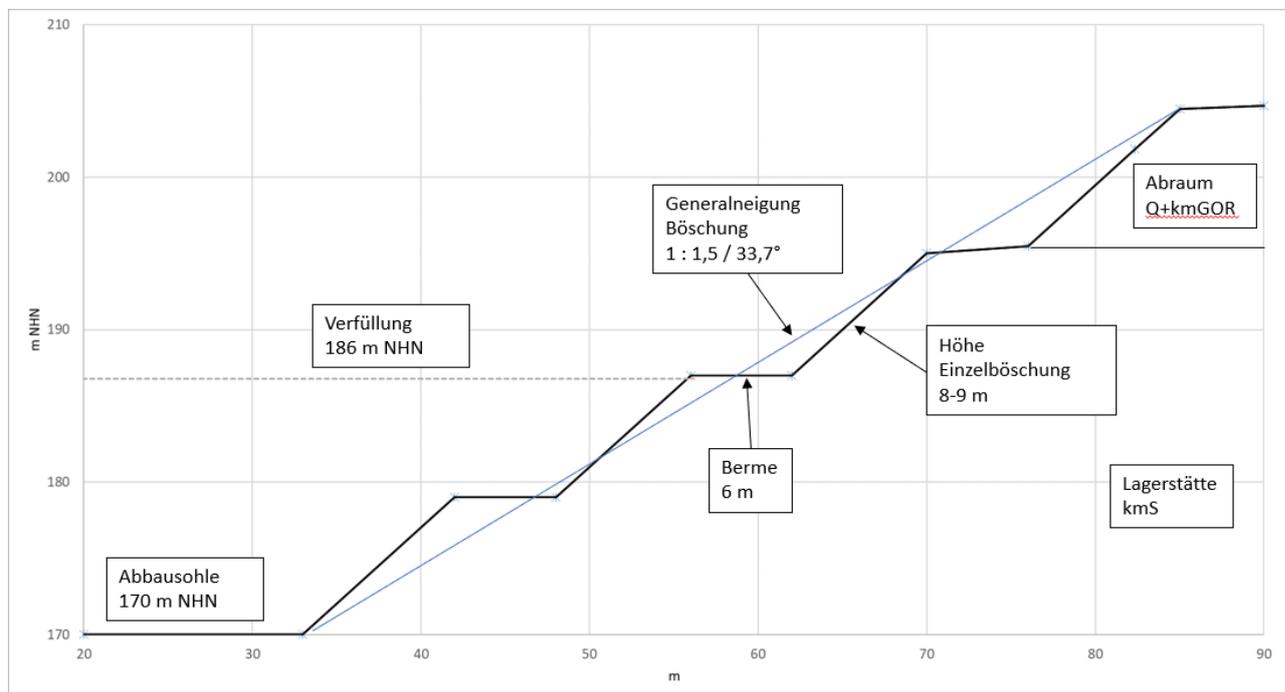


Abbildung 3-2: Skizze Gewinnungsböschung (Nord) mit Verfüllung im Endzustand

Die Gewinnungsböschungen werden entsprechend der Ergebnisse der im vorliegenden Bericht durchgeführten Böschungsbruchberechnungen mit einer Generalneigung der Gesamtböschung von 1:1,5 (33,7°) hergestellt. Die maximale Höhe der Einzelböschung beträgt 9 m. Zwischen den Einzelböschungen sind Berme mit einer Breite von 6 m vorgesehen. Im nördlichen Teil der Süderweiterung entsteht bei einer maximalen Höhe der Gesamtböschung von 35 - 38 m ein System aus 4 Teilböschungen mit 3 Zwischenbermen. Die östliche Böschung der Süderweiterung besteht im nördlichen Teil aus 2 Teilböschungen (max. je Teilböschung ca. 9 m), im südlichen Abschnitt aus einer Teilböschung (6 m). Die östliche Abbauböschung besitzt eine Generalneigung von 1:1 bzw. 45°.

Die südlichen und westlichen Gewinnungsböschungen bestehen aufgrund der Lagerungsverhältnisse aus einer Böschung. Die Böschungshöhen liegen hier zwischen 3 – 8 m. Die Abbildung 3-2 zeigt die prinzipielle Gestaltung der Gewinnungsböschung. Die entsprechenden Nachweise zur Böschungsbruchsicherheit für den Bau- (Gewinnung) und standsicheren Endzustand sind den Anlagen 2.1 bis 2.7 zu entnehmen.

Der Abbau erfolgt mit Kettenbagger (z.B. Komatsu PC290NLC) in Teilböschungen von max. 4m Höhe bei einer Neigung von ca. 75°. Dabei hat der Kettenbagger einen Abstand von mindestens 2m zur Abbaukante einzuhalten. Der Abtransport erfolgt mittels Muldenkipper (z.B. Doosan DA30). Die Technischen Daten der zum Einsatz kommenden Gerätschaften sind der Anlage 3 zu entnehmen.



Abbautechnologie Kettenbagger / Muldenkipper

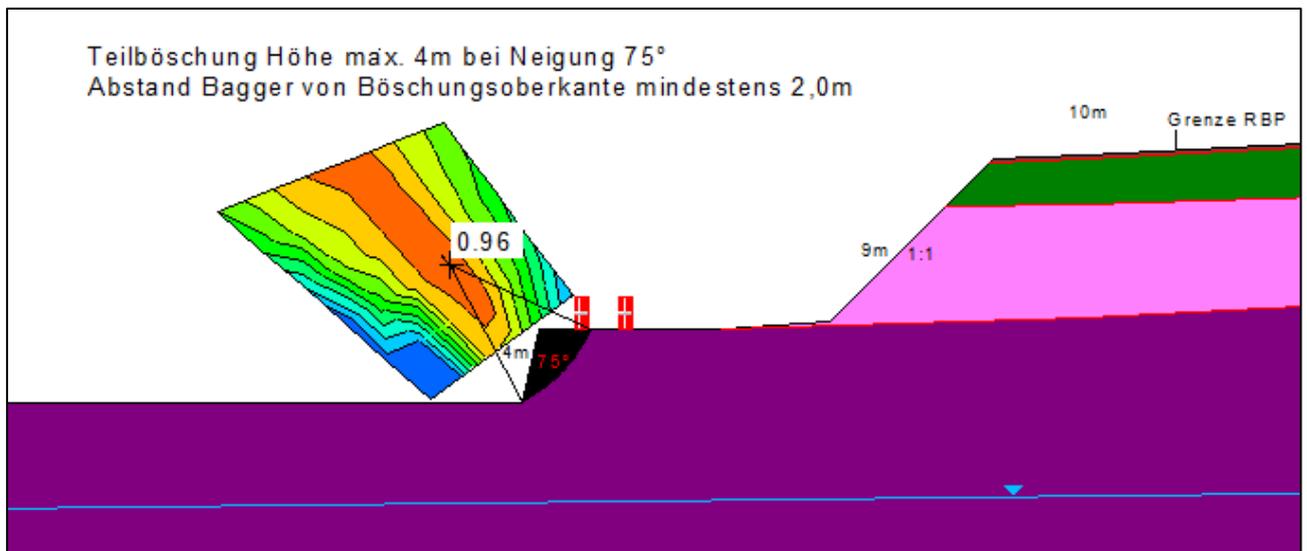


Abbildung 3-3: Modell Abbautechnologie mit Kettenbagger

4 Standsicherheitsberechnungen

4.1 Berechnungsverfahren und Bemessungssituation

Die Böschungsbruchberechnungen wurden mit dem Programmsystem „GGU-STABILITY“ nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß EC7 / DIN1054:2010 unter Berücksichtigung des Lastfalls BS-T (vorübergehende Bemessungssituation Transient Situation) für die fortschreitenden Gewinnungsböschungen / Kippenböschungen und des Lastfalls BS-P (dauerhafte Bemessungssituation Permanent Situation) für die bleibende Endböschungsgestaltung ausgeführt. Die verwendeten Berechnungsmodelle, Berechnungskennwerte, Teilsicherheiten und Berechnungsergebnisse sind auf den jeweiligen Berechnungsplots dargestellt (siehe Anlage 2).

Die Software „GGU-STABILITY“ erlaubt sowohl die Untersuchung kreiszylindrischer Gleitflächen (nach BISHOP) als auch die Berechnung zusammengesetzter ebener (polygonaler) Gleitflächen (nach JANBU). Letzteres ist vor allem dann von Bedeutung, wenn vorgegebene Gleitflächen zu beachten sind. Das Programmsystem beinhaltet außerdem den Ansatz einer Sickerwasserströmung durch Eingabe einer Sickerlinie. Auch die Berücksichtigung von Einzel-, Linien- und Flächenlasten (Verkehrslasten) ist problemlos möglich. Bei der Auffindung der ungünstigsten kreiszylindrischen Gleitfläche (gilt für Berechnungen nach BISHOP) wird ein Raster von Mittelpunktslagen abgesucht und die Gleitfläche mit der kleinsten Sicherheit (maximaler Ausnutzungsgrad) graphisch dargestellt. Bei der Auffindung des ungünstigsten Gleitkörpers (gilt für Berechnungen nach JANBU) werden zunächst mindestens zwei polygonale Gleitkörper mit gleicher Anzahl an Gleitkörperpunkten definiert. Zwischen diesen beiden Gleitkörpern kann dann eine Vielzahl weiterer Gleitkörper (Zwischengleitkörper) berechnet werden und der Gleitkörper mit der kleinsten Sicherheit (maximaler Ausnutzungsgrad) wird graphisch dargestellt.

Die erforderlichen Standsicherheitsberechnungen gegen Böschungsbruch wurden entsprechend den Unterlagen zum Eurocode 7 /U 5.1/ und /U 5.3/ nach dem Teilsicherheitskonzept geführt.

GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit

Die charakteristischen Werte der Einwirkungen auf die Böschungen sind wie folgt einzuordnen in:

Gruppe 1: Ständige und häufig wiederkehrende Einwirkungen

- Eigenlasten
- Verkehrs- und Auflast
- Wasserdruck und Strömungskraft im Endzustand

Gruppe 2: Seltene oder zeitlich begrenzte Einwirkungen

- Eigenlasten
- Verkehrs- und Auflast
- Wasserdruck und Strömungskraft im Zwischenzustand

Gruppe 3: Außergewöhnliche Einwirkungen

- Bemessungserdbeben – entfällt, da Vorhaben in keiner Erdbebenzone liegt.

Vorübergehende Bemessungssituation (BS-T)

Eigenlasten gemeinsam mit Verkehrslasten und Wasserdruck/Strömungskraft im Abbauzustand unter Berücksichtigung Wasserhaltung.

Die dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für die geotechnischen Kenngrößen betragen:

Reibungsbeiwert des dränierten Bodens:	$\gamma(\varphi)$	1,15
Kohäsion des dränierten Bodens:	$\gamma(c)$	1,15
Scherfestigkeit des undränierten Bodens:	$\gamma(c_u)$	1,15
Wichten:	$\gamma(w)$	1,00
Ständige Einwirkungen:	$\gamma(G)$	1,00
Veränderliche Einwirkungen:	$\gamma(Q)$	1,20

Ständige Bemessungssituation (BS-P)

Eigenlasten gemeinsam mit Verkehrslasten und Wasserdruck/Strömungskraft im Endzustand

Die dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für die geotechnischen Kenngrößen betragen:

Reibungsbeiwert des dränierten Bodens:	$\gamma(\varphi)$	1,25
Kohäsion des dränierten Bodens:	$\gamma(c)$	1,25
Scherfestigkeit des undränierten Bodens:	$\gamma(c_u)$	1,25
Wichten:	$\gamma(w)$	1,00
Ständige Einwirkungen:	$\gamma(G)$	1,00
Veränderliche Einwirkungen:	$\gamma(Q)$	1,30

Nach DIN 4149:2005 „Erdbebenzonenkarte“ liegt die Lagerstätte in keiner Erdbebenzone, so dass keine Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Der Lastfall Erdbeben wurde deshalb nicht betrachtet.

Das Vorhaben wird aufgrund der Böschungshöhen (bis zu 38m) in die Geotechnische Kategorie 3 (GK 3) eingestuft. Kategorie 3 umfasst Bauvorhaben mit schwierigen Konstruktionen und schwierigen Baugrundverhältnissen, die erweiterte geotechnische Kenntnisse erfordern.

4.2 Berechnungsmodelle und Berechnungskennwerte

In Auswertung der direkten Aufschlüsse, Feldtests, Ortsbefahrungen mit Aufnahme des Trennflächengefüges und Vermessungsdaten wurden 4 repräsentative Baugrundmodelle als Grundlage für die Böschungsbrechberechnungen abgeleitet. Im Bereich der vorhandenen Seefläche 1 wurde die östliche Abraumböschung mit einem repräsentativen Schnitt betrachtet. Die Lage der Baugrundmodelle ist der Anlage 1.2 zu entnehmen.

Tabelle 4-1 Baugrundmodelle

Baugrundmodell	Anlage
Querprofil 1-2	2.1.1
Querprofil 3-4	2.2.1
Querprofil 5-6	2.3.1
Querprofil 7-8	2.4.1
Schnitt D-D'	2.7.1

Des Weiteren wurden Modelle für Detailbetrachtungen zur Abbautechnologie mit Kettenbagger/Muldenkipper (Anlage 2.5.1 bis 2.5.4) und zur Verfüllung mit Abraum (Anlage 2.6.1 bis 2.6.4) erstellt.

Nach /U5.6/ erfolgt die Abgrenzung von Halbfestgesteinen (veränderlich feste Gesteine) gegenüber Locker- bzw. Festgesteinen nach der Druckfestigkeit:

Lockergestein $\sigma_u = 0,2 - 1,0 \text{ MN/m}^2$ (häufig auch $0,6 \text{ MN/m}^2$)

Halbfestgestein $\sigma_u = 1 - 50 \text{ MN/m}^2$

Festgestein $\sigma_u = <50 - 60 \text{ MN/m}^2$

Im Durchschnitt wurde für den Tonstein/Schluffstein der Lagerstätte eine Druckfestigkeit von $\sigma_u = 0,34 \text{ MN/m}^2$ ermittelt. Aus diesem Grund und unter Beachtung des engständigen Trennflächengefüges wird der Tonstein/Schluffstein der Lagerstätte als Lockergestein betrachtet.

Die Berechnungskennwerte wurden in Auswertung der umfangreichen Feld- und Laborarbeiten /U4.2/ und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten festgelegt.

Tabelle 4-2 Verwendete Berechnungskennwerte

Boden	$\phi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m ²]	$\gamma_{,k}$ [kN/m ³]	Bezeichnung
	25.00	2.00	18.00	Mutterboden weich - steif
	30.00	10.00	21.00	Lößlehm / Hanglehm / Fließerde steif - halbfest
	30.00	15.00	22.00	Mergel mit Gips / kmGOR halbfest
	30.00	15.00	22.00	Tonstein / Schluffstein / kmS tonig halbfest
	30.00	20.00	22.00	Sandstein / Schluffstein / kmS sandig halbfest
	30.00	2.00	18.00	Abraum gekippt

4.3 Berechnungsergebnisse Gewinnungsböschungen

Die im Rahmen der Böschungsbruchberechnungen berechneten Ausnutzungsgrade (μ_a für ausgewählte Gleitkreise und μ_{max} für ungünstigsten Gleitkreis), die jeweils für die einzelnen Berechnungsmodelle ermittelt wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-3 Gewinnungsböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{max} / μ_a

Modell / Lage Gleitkreis / Berechnungsverfahren	Bemessungssituation	μ_a	μ_{max}	Anlage
Querprofil 1-2 / Modell				2.1.1 Bl.1
Querprofil 1-2 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T		0,89	2.1.2 Bl.1
Querprofil 1-2 / Gesamtböschung / Janbu	BS-T		0,88	2.1.3 Bl.1
Querprofil 3-4 / Modell				2.2.1 Bl.1
Querprofil 3-4 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T		0,87	2.2.2 Bl.1
Querprofil 3-4 / Gesamtböschung / Janbu	BS-T		0,92	2.2.3 Bl.1
Querprofil 5-6 / Modell				2.3.1 Bl.1
Querprofil 5-6 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T		0,77	2.3.2 Bl.1
Querprofil 5-6 / Gesamtböschung / Janbu	BS-T		0,75	2.3.3 Bl.1
Querprofil 7-8 / Modell				2.4.1 Bl.1
Querprofil 7-8 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T		0,85	2.4.2 Bl.1
Querprofil 7-8 / Gesamtböschung / Janbu	BS-T		0,88	2.4.3 Bl.1
Detailbetrachtung Abbau / Teilböschung / Bishop	BS-T		0,96	2.5.1 Bl.1
Detailbetrachtung Abbau / Teilböschung / Janbu	BS-T		0,94	2.5.2 Bl.2

Die Berechnungen zeigen, dass alle berechneten Ausnutzungsgrade kleiner 1 sind und damit eine ausreichende Böschungsbruchsicherheit für die Bauzustände nachgewiesen werden konnte. Unter Berücksichtigung der normativen Teilsicherheiten im Lastfall BS-T (Bauzustand) sind die Böschungen standsicher.

4.4 Berechnungsergebnisse Endböschungen

Die im Rahmen der Böschungsbruchberechnungen berechneten Ausnutzungsgrade (μ_a für ausgewählte Gleitkreise und μ_{max} für ungünstigsten Gleitkreis), die jeweils für die einzelnen Berechnungsmodelle ermittelt wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-4 Endböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{max} / μ_a

Modell / Lage Gleitkreis / Berechnungsverfahren	Bemessungssituation	μ_a	μ_{max}	Anlage
Querprofil 1-2 / Gesamtböschung / Bishop	BS-P		0,93	2.1.4 Bl.1
Querprofil 1-2 / Gesamtböschung / Janbu	BS-P		0,96	2.1.5 Bl.1
Querprofil 3-4 / Teilböschung / Bishop	BS-P	0,51		2.2.4 Bl.1
Querprofil 3-4 / Teilböschung / Janbu	BS-P	0,60		2.2.5 Bl.1
Querprofil 5-6 / Berechnung entfällt wegen Verfüllung				2.3.4 Bl.1
Querprofil 7-8 / Gesamtböschung / Bishop	BS-P		0,69	2.4.4 Bl.1
Querprofil 7-8 / Gesamtböschung / Janbu	BS-P		0,89	2.4.5 Bl.1

Die Berechnungen zeigen, dass alle berechneten Ausnutzungsgrade kleiner 1 sind und damit eine ausreichende Böschungsbruchsicherheit für die Endzustände nachgewiesen werden konnte. Unter Berücksichtigung der normativen Teilsicherheiten im Lastfall BS-P (Endzustand) sind die Böschungen standsicher. Die

Unterwasserböschungen (Querprofil 3-4) werden mit Böschungsneigung 1:5 gestaltet und sind damit, gegen Böschungsbruch und Wind-Wellen-Erosion sicher.

4.5 Berechnungsergebnisse Kippenböschungen (Abraum)

Die im Rahmen der Böschungsbruchberechnungen berechneten Ausnutzungsgrade (μ_a für ausgewählte Gleitkreise und μ_{max} für ungünstigsten Gleitkreis), die jeweils für die einzelnen Berechnungsmodelle ermittelt wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-5 Kippenböschungen berechnete Ausnutzungsgrade μ_{max} / μ_a

Modell / Neigung / Lage Gleitkreis / Berechnungsverfahren	Bemessungssituation	μ_a	μ_{max}	Anlage
Abraumböschung 10m / 1:1,5 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T	0,97	1,03	2.6.1 Bl.1
Abraumböschung 10m / 1:1,7 / Gesamtböschung / Bishop	BS-P	0,96	1,00	2.6.2 Bl.1
Abraumböschung 20m / 1:1,8 / Gesamtböschung / Bishop	BS-T	1,01	0,87	2.6.3 Bl.1
Abraumböschung 20m / 1:2 / Gesamtböschung / Bishop	BS-P	0,99	0,85	2.6.4 Bl.1

Die Berechnungen zeigen, dass alle berechneten Ausnutzungsgrade kleiner 1 bzw. 1 nur sehr geringfügig überschritten ist. Die geringfügigen Überschreitungen sind noch akzeptabel. Mit den Berechnungen ist eine ausreichende Böschungsbruchsicherheit für die Bauzustände und Endzustände nachgewiesen. Unter Berücksichtigung der normativen Teilsicherheiten im Lastfall BS-T (Bauzustand) und BS-P (Endzustand) sind die Böschungen standsicher. Kettenbagger/Raupe und LKW/Muldenkipper haben einen Sicherheitsabstand von mindestens 3m zur Böschungsoberkante einzuhalten. LKW/Muldenkipper dürfen den Abraum nicht über Böschungsoberkante abkippen, sondern sollten im Böschungsvorfeld abkippen. Die Massen können dann mit Raupe oder Bagger eingeschoben werden. An der Böschungsoberkante sollte aus Sicherheitsgründen ein Randwall verbleiben.

4.6 Berechnungsergebnisse Abraumböschung im Bereich Seefläche 1

Die im Rahmen der Böschungsbruchberechnungen berechneten Ausnutzungsgrade (μ_a für ausgewählte Gleitkreise und μ_{max} für ungünstigsten Gleitkreis), die jeweils für die einzelnen Berechnungsmodelle ermittelt wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-6 Abraumböschung Seefläche 1 berechnete Ausnutzungsgrade μ_{max} / μ_a

Modell / Lage Gleitkreis / Berechnungsverfahren	Bemessungssituation	μ_a	μ_{max}	Anlage
Schnitt D-D` / obere Teilböschung / Bishop	BS-T ohne Ts.		0,98	2.7.1 Bl.1
Schnitt D-D` / Gesamtböschung / Bishop	BS-T	0,82		2.7.2 Bl.1
Schnitt D-D` / obere Teilböschung / Bishop	BS-T		1,09	2.7.2 Bl.2
Schnitt D-D` / obere Teilböschung abgeflacht / Bishop	BS-T		0,93	2.7.2 Bl.3
Schnitt D-D` / Gesamtböschung / Bishop	BS-P	0,89		2.7.3 Bl.1
Schnitt D-D` / obere Teilböschung / Bishop	BS-P		1,18	2.7.3 Bl.2
Schnitt D-D` / obere Teilböschung abgeflacht / Bishop	BS-P		1,00	2.7.3 Bl.3
Schnitt D-D` / Gesamtböschung / Bishop	BS-P	0,91		2.7.3 Bl.4

Die stellenweise zu steile Abraumböschung im Osten der Seefläche 1 besteht mit den vorliegenden Böschungsneigungen seit mehr als 15 Jahren ohne relevante Abrutschungen. Es ist davon auszugehen, dass

über die 15 Jahre eine gewisse Konsolidierung im Abraum stattgefunden hat, der zu einer Erhöhung der Kohäsion im Abraum geführt hat. Daher wurde als erster Schritt eine Rückrechnung zur Böschung ohne Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten durchgeführt, unter der Voraussetzung, dass sich die Böschung nahe dem Grenzgleichgewichtszustand (gerade noch standsicher) μ_{\max} für ungünstigsten Gleitkreis = 1 befindet. Aus der Betrachtung resultieren folgende Kennwerte für den teilweise konsolidierten Abraum:

Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	30.00	5.00	18.00	Abraum

Im Rahmen weiterer Berechnungen unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte für den Bauzustand BS-T wurde festgestellt, dass die obere Teilböschung abgeflacht werden muss, um eine ausreichende Standsicherheit zu gewährleisten. Unter Berücksichtigung der Abflachung der oberen Teilböschung und der normativen Teilsicherheiten im Lastfall BS-P (Endzustand) konnte nachgewiesen werden, dass die Böschung im Endzustand standsicher ist.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Grundsätzliches

Die Standsicherheitsbetrachtungen wurden auf Basis von direkten Aufschlüssen (Kernbohrungen), Feldtests (Standard Penetration Tests), bodenmechanischen Laborversuchen, Ortsbefahrungen mit Trennflächenaufnahme, Angaben zu den verwendeten Baumaschinen und den umfangreichen Erfahrungen/Erkenntnissen aus dem bisherigen Abbau durchgeführt. Da direkte Aufschlüsse und bodenmechanische Laborversuche zur Modellbildung und Kennwertbestimmung ausgeführt wurden, haben die hier vorliegenden Standsicherheitsbetrachtungen den Stellenwert eines Standsicherheitsnachweises.

5.2 Gültigkeit Standsicherheitsnachweis

Der Standsicherheitsnachweis gilt für die fortschreitenden Abbauböschungen, Kippenböschungen und Endböschungsgestaltung der Lagerstätte Bollstedt-West Süderweiterung unter Verwendung der dargelegten Abbautechnologie/Geräteeinsatzes und Einhaltung der erforderlichen Maßnahmen und Empfehlungen bis zum genehmigten Ende der Rohstoffgewinnung.

5.3 Erforderliche Maßnahmen / Empfehlungen / Hinweise

Zur Gewährleistung eines sicheren Abbaus (fortschreitende Herstellung der Gewinnungsböschungen), der sicheren Herstellung von Kippenböschungen mit Abraum und zur standsicheren Endböschungsgestaltung, möchten wir abschließend folgende Maßnahmen empfehlen:

- Die im vorliegenden Standsicherheitsnachweis ermittelten Böschungsneigungen sind bei der Herstellung der Gewinnungsböschungen und abschließenden Endböschungsgestaltung einzuhalten.
- Im Bereich der Seefläche 1 Ostböschung ist eine Böschungsabflachung der oberen Teilböschung erforderlich.
- Von der Böschungsoberkante Endböschung ist ein Abstand von mindestens 10m (Sicherheitsstreifen) zur RBP-Grenze einzuhalten.
- Die Standsicherheitsnachweise gelten nur für die unter Anlage 3 aufgeführten Gerätschaften und den in den Berechnungen verwendeten Verkehrslasten. Die Sicherheitsabstände zur Böschungsoberkante von 2m bei gewachsenen Böschungen und 3m bei Kippenböschungen sind einzuhalten. Bei Einsatz von Gerätschaften mit höheren Verkehrslasten sind neue Nachweisberechnungen zu führen.
- Um Erosionserscheinungen an den Böschungen durch Oberflächenwasser zu minimieren, sollte an der Böschungsoberkante auf dem 10m Sicherheitsstreifen (von RBP Grenze bis Böschungsoberkante) ein ca. 1,5m hoher Erdwall (aus Mutterboden oder Abraum) mit Böschungsneigung 1:1,5 geschüttet werden. Der Erdwall soll massiven Zutritt von abfließenden Niederschlagswasser in den Tagebau verhindern.
- Da der Abbau ggf. unregelmäßig und mit zeitlichen Unterbrechungen stattfindet, sollte jeweils vor Aufnahme der Abbautätigkeiten, eine Besichtigung des Abbaubereiches hinsichtlich Schichtwasseraustritten aus der Böschung, Rissbildungen und Erosionserscheinungen erfolgen.
- Die Breite von Zwischenbermen sollte mindestens 6m betragen und eine Querneigung Richtung Tagebau von mindestens 2,5% besitzen. Der Abstand Raupenbagger (Kettenlaufwerk) von der Böschungskante sollte mindestens 2m betragen.

- Während der Abbautätigkeit sollte der unmittelbare Abbaubereich am Morgen vor der Arbeitsaufnahme visuell geprüft werden.
- Während der Abbautätigkeiten sollte 1x jährlich eine Kontrolle erfolgen, dass der Sicherheitsstreifen von 10m zur RBP-Grenze nicht unterschritten wird und dass die im hier vorliegenden Standortsicherheitsnachweis geforderten Böschungsneigungen für die Gewinnungsböschungen, Kippenböschungen und für die Endböschungen eingehalten sind.
- Es wird empfohlen, den Abraum zur Teilverfüllung des Tagebaus lagenweise verdichtet einzubauen, um tiefreichende und langanhaltende Setzungen zu minimieren/zu vermeiden.