

## Anlage 4.3


# Standortsicherheitsnachweis für Gewinnungs- und Endböschungen sowie Teilverfüllung


**Kiessandtagebau Mühlberg Werk V**  
**Feld Hauptlagerstätte**  
**Standortsicherheitsnachweis**  
**für Gewinnungs- und Endböschungen**  
**sowie Teilverfüllung**

**Lagekoordinaten:** Ostwerte: 376700 bis 378750  
Nordwerte: 5697750 bis 5699000  
(Bezugssystem – Lage: ETRS 89, UTM Zone 33)

**Bestellung:** 20200198 vom 02.04.2020

**Auftraggeber:** Elbekies GmbH  
Boragker Straße 14  
04931 Mühlberg

**Sachverständiger:**   
Dr.-Ing. Steffen Friedrich  
Vom Sächsischen Oberbergamt Freiberg  
anerkannter Sachverständiger für Geotechnik

**Bearbeiter:**   
Dr.-Ing. Sebastian Szczyrba

**Freiberg, 08.04.2020**

42 Seiten	6 Anlagen	17 Tabellen	8 Abbildungen
-----------	-----------	-------------	---------------

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Veranlassung und Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2 Arbeitsunterlagen</b>	<b>5</b>
<b>3 Beschreibung des Bearbeitungsgebietes</b>	<b>8</b>
3.1 Bearbeitungsgebiet und Morphologie	8
3.2 Schutzobjekte	9
3.3 Geologische Verhältnisse	9
3.4 Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse	10
3.5 Technologische Verhältnisse und geplante Wiedernutzbarmachung	12
3.6 Geotechnische Verhältnisse	13
3.6.1 Kiessande der Nutzsicht	13
3.6.2 Vorliegende Erkenntnisse Spülkörper	15
3.6.3 Bewertung der Setzungsfließgefahr	22
<b>4 Profilauswertung</b>	<b>24</b>
<b>5 Felderkundungen</b>	<b>26</b>
<b>6 Charakteristische Bodenkennwerte</b>	<b>27</b>
<b>7 Standsicherheitsuntersuchungen</b>	<b>30</b>
7.1 Berechnungsmodell und Berechnungsfälle	30
7.1.1 BF 1 Gewinnung im Nassschnitt	30
7.1.2 BF 2 Gewinnungsböschung nach natürlicher Abflachung	31
7.1.3 BF 3 Massenauftrag Spülkörper	32
7.1.4 BF 4 Endböschung Spülkörper mit landwirtschaftlicher Folgenutzung	32
7.1.5 BF 5 Endböschungen im Gewachsenen	32
7.1.6 BF 6 Grundbruch landwirtschaftliche Folgenutzung	33
7.2 Berechnungsverfahren	33
7.3 Bemessungssituation und Teilsicherheitsbeiwerte	33
7.4 Lastannahmen für veränderliche Einwirkungen	35
7.4.1 Lastannahmen im Bereich der Schutzobjekte	35
7.4.2 Uferbereiche Spülkörper	35
7.4.3 Massenauftrag auf Spülflächen	35
7.4.4 Landwirtschaftliche Nutzflächen	35
7.5 Bemessungswasserstand	36
7.6 Berechnungsergebnisse	36
<b>8 Schlussfolgerungen</b>	<b>38</b>
8.1 Vorgaben zur Gewinnung	38
8.2 Geländegestaltung im Bereich der Spülkörper	39
8.3 Gestaltung der Endböschungen im Gewachsenen	40
<b>9 Zusammenfassung</b>	<b>41</b>

## **Anlagen**

Anlage 1	Übersichtsplan, M 1 : 2.500
Anlage 2	Geologischer Schnitt Schnitt 3 nach /2.18/
Anlage 3	Auswertung Böschungsentwicklung, Werk II, Abbau Nordost M 1:3.000
Anlage 4	Felderkundungen
Anlage 5.1 bis 5.3	Profile
Anlage 6.1 bis 6.6	Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Elbekies GmbH betreibt den Kiessandtagebau Werk II in Mühlberg. Das betreffende Bergwerksfeld trägt die Bezeichnung „Mühlberg Feld Ziegeleigrube“. Im Werk II werden seit 1967 die nutzbaren Kiese und Sande im Nassabbau gewonnen und als Baurohstoff bzw. Zuschlagstoff aufbereitet, wobei die Aufbereitungsanlagen im Südwesten des Feldes liegen. Der Abbau erfolgt seit 1995 auf Grundlage des Rahmenbetriebsplans /2.6/ und des Hauptbetriebsplans /2.13/ an zwei Gewinnungsorten mit zwei Schwimmgreiferbaggern. Der Abbau wird in einer südlich angrenzenden Erweiterungsfläche bis zur Landesstraße L663 fortgesetzt (RBP Süderweiterung /2.17/).

Als Nachfolgelagerstätte soll das Werk V südöstlich der Landesstraße L663 neu aufgeschlossen werden. Für das Vorhaben wird ein obligatorischer Rahmenbetriebsplan nach BBergG erstellt.

Im Werk V sollen Kiessande im Nassabbau mit Schwimmgreiferbagger bis zu einer maximalen Abbautiefe von ca. 40 m gewonnen werden (mittlere Abbautiefe ca. 30 m). Im Zuge der Gewinnung werden Sande abgetrennt und direkt verspült. Es ist geplant, die Spülflächen im Osten den Endböschungen im Gewachsenen vorzulagern und einer landwirtschaftlichen Folgenutzung zuzuführen. Dafür werden die Spülflächen mit kulturfähigem Boden etwa bis zur Höhe des Urgeländes überdeckt.

Der unmittelbare Uferbereich soll überwiegend für die Folgenutzung Naturschutz entwickelt werden (natürliche Sukzession mit anschließendem Gehölzstreifen). Durch die Geländegestaltung und den Bewuchs wird ein Befahren des unmittelbaren Uferbereichs verhindert.

Auf Grundlage des Angebotes /2.1/ wurde das Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich durch die Elbekies GmbH beauftragt, geotechnische Untersuchungen für den Nassabbau und die geplante Endgestaltung mit folgenden Schwerpunkten durchzuführen:

- 1) Ableitung von Vorgaben für den Nassabbau,
- 2) Ermittlung der Nachbruchbreite und der Sicherheitsabstände bei zu schützenden Objekten,
- 3) Bewertung der Verflüssigungsgefahr der Spülkippe,
- 4) Ableitung von Vorgaben für die Verfüllung und den Massenauftrag,
- 5) Nachweis der Standsicherheit für die Verfüllung und die Folgenutzung.

## 2 Arbeitsunterlagen

Neben geltenden Normen, Vorschriften und Richtlinien standen folgende Unterlagen zur Verfügung.

### **Vertragsunterlagen**

- /2.1/ Angebot Nr. 10/2020: Kiessandtagebau Mühlberg Werk V, Standsicherheitsnachweis für Gewinnungsböschungen und Teilverfüllung,  
IGF Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich, Freiberg 30.03.2020

Von Seiten des Auftraggebers wurden folgende in chronologischer Reihenfolge aufgeführte Projektunterlagen bereitgestellt:

### **Projektunterlagen des Auftraggebers**

- /2.2/ Ergebnisbericht Kies Neuburxdorf 1970, VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle/Saale, Halle 30.06.1971
- /2.3/ Ergebnisbericht Kies Mühlberg 1975/76, VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle/Saale, Halle 04.08.1977
- /2.4/ Baugrundgutachten – Standsicherheitsnachweis, Kiestagebau Mühlberg , BT II, VEB Spezialbaukombinat Wasserbau, Produktionsbereich Naumburg, Auftragsnummer 3/79/3102.2, Naumburg 27.02.1985
- /2.5/ Ergebnisbericht Kies Mühlberg, Hauptlagerstätte, 1989/90; G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke 09.10.1991
- /2.6/ Rahmenbetriebsplan Kiessandgewinnung und –aufbereitung im Feld II der Elbekies GmbH, Mühlberg 22.12.1994
- /2.7/ Ergebnisbericht bodenphysikalischer Untersuchungen, Untersuchung von Bodenproben aus den Naßtagebauen Mühlberg BT II und BT IV der Elbekies Mühlberg GmbH auf bodenphysikalische Kennwerte und Verflüssigungseigenschaften (Teilbericht 1), LAUBAG, Bodenmechanik, Senftenberg 16.01.1996
- /2.8/ Ergebnisbericht bodenphysikalischer Untersuchungen, Untersuchung von Bodenproben aus den Naßtagebauen Mühlberg BT II und BT IV der Elbekies Mühlberg GmbH auf bodenphysikalische Kennwerte und Verflüssigungseigenschaften (Teilbericht 2), LAUBAG, Bodenmechanik, Senftenberg 22.03.1996
- /2.9/ Standsicherheitsnachweis für den durch Verspülen von Überschusssand angelegten Damm im Kiestagebau Mühlberg Werk II, Prof. Walde, Ingenieurbüro Geologie – Bergbau Steine und Erden Galinsky & Partner GmbH, Freiberg 08.01.2001

- /2.10/ Ergebnisse der Schwingungs- und Porenwasserdruckmessungen während des dynamischen Belastungstests auf einem Spülkörper des Kiessandtagebaus Mühlberg II am 14.07.2006, Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich, Freiberg 25.07.2006
- /2.11/ Standsicherheitseinschätzung Kiessandtagebau Mühlberg Werk II, Endböschungen der Spülkörper, Sachverständigenbüro Steine-Erden Dipl.-Ing. M. Schreier, Dresden 08.12.2006
- /2.12/ Standsicherheitseinschätzung Kiessandtagebau Mühlberg Werk II, Fortschreitende- und Endböschungen des Tagebaues, Sachverständigenbüro Steine-Erden Dipl.-Ing. M. Schreier, Dresden 17.12.2007
- /2.13/ Hauptbetriebsplan Kiessandgewinnung und –aufbereitung im Feld II der Elbekies GmbH, Mühlberg 22.03.2018
- /2.14/ Abschlussbetriebsplan für eine Teilfläche nach § 53 BbergG für den Kiessandtagebau Werk IV Mühlberg / Grieß und Anger, Bernhard Könitz Ingenieurbüro für Planung und Beratung, Mühlberg (Bearbeitungsstand 07/2016)
- /2.15/ Standsicherheitsnachweis für Endböschungen der Spülkippen und für Endböschungen im Gewachsenen, Kiessandtagebau Mühlberg Werk II, Feld Ziegeleigrube, Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich, Freiberg 15.11.2016
- /2.16/ Standsicherheitsnachweis für Endböschungen der Spülkippen und für Endböschungen im Gewachsenen, Kiessandtagebau Mühlberg Werk IV, Feld -Grieß und Anger, Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich, Freiberg 09.12.2016
- /2.17/ Rahmenbetriebsplan, Süderweiterung Kiessandtagebau Mühlberg Werk II, Elbekies GmbH, Ingenieurbüro Bernhard Könitz, 1. Änderung vom 25.01.2017
- /2.18/ Geologischer Ergebnisbericht mit Vorratsberechnung 2018 – Kies Mühlberg, Hauptlagerstätte, Werk V Ost, Ingenieurbüro Geologie – Bergbau – Steine und Erden Galinsky & Partner GmbH, Obergruna 29.06.2018
- /2.19/ Hydrogeologisches Gutachten für den geplanten Kiessandtagebau Mühlberg Werk V; G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke 19.03.2020

#### **Digitale Daten**

- /2.20/ Auszug aus dem Bergmännischem Riß, Kiessandtagebau Mühlberg Werk V Feld Hauptlagerstätte, Vermessung- und Ingenieurbüro R. Kluge
- /2.21/ Übersichtsplan Profile 2011 bis 2018, Kiessandtagebau Mühlberg Werk II Ziegeleigrube, Vermessung- und Ingenieurbüro R. Kluge, Machern, 09.08.18

/2.22/ Isolinen Werk II, Ergebnisse der Lotungen 2011 bis 2017 Nordostbereich,  
Vermessung- und Ingenieurbüro R. Kluge, E-Mail, 14.08.18

/2.23/ Rahmenbetriebsplan, Werk V, Anlage 5, G.E.O.S Freiberg

Darüber hinaus stehen weitere Unterlagen zum Stand der Technik und des Wissens zur Verfügung:

#### **Allgemeine Unterlagen des Auftragnehmers**

/2.24/ Richtlinie Geotechnische Sicherheit (GeSi), Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Cottbus 01.07.2014

/2.25/ DIN EN 1997-1:2009-09; Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regelungen

/2.26/ DIN EN 1997-2:2010-10; Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

/2.27/ DIN EN 1998-1/NA:2010-08; Nationaler Anhang, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten

/2.28/ DIN 1054:2010-12; Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau – ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1

/2.29/ DIN 1055-2:2010-11: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngößen

/2.30/ DIN 4084:2009-1: Baugrund – Geländebruchberechnungen

/2.31/ DIN EN ISO 22475-1: 2007-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung



### 3 Beschreibung des Bearbeitungsgebietes

#### 3.1 Bearbeitungsgebiet und Morphologie

Das Bearbeitungsgebiet BG befindet sich im Bundesland Brandenburg, Landkreis Elbe-Elster. Die Grenzen des BG sind im Übersichtsplan in Anlage 1 dargestellt.

Das Bearbeitungsgebiet wird

- im Westen durch die Landesstraße L 67,
- im Norden durch die „Alte Elbe bei Mühlberg“ und die Landesstraße L663,
- im Osten durch die Landstraße L663,
- im Süden durch den Trassenverlauf einer Gasleitung

begrenzt.

Die Fläche wird überwiegend landwirtschaftlich als Ackerfläche genutzt (Abb. 1).

Die Geländemorphologie ist überwiegend eben mit Geländehöhen im Bereich von ca. (89...91) m NHN.



**Abb. 1:** Landwirtschaftliche Nutzfläche im Bereich des geplanten Werkes V  
Blick von der L663 nach Südwesten

### 3.2 Schutzobjekte

Im BG bzw. angrenzend sind die folgenden Schutzobjekte vorhanden:

- Landesstraße L 663 und L671)
- Ferngasleitung „Ontras“
- Gewässerlauf „Alte Elbe bei Mühlberg“

### 3.3 Geologische Verhältnisse

Im Geologischen Ergebnisbericht /2.18/ sind die vorliegenden Erkundungsergebnisse und die geologischen Verhältnisse umfassend dargestellt. Die Angaben in /2.18/ werden nachfolgend zusammengefasst:

Der **Abraum** wird nach /2.18/ von holozänen Sedimenten (Oberboden, Auelehm und humose bis schluffige Sande) gebildet. Die Mächtigkeit schwankt zwischen (0,3...3,3) m und beträgt im Mittel ca. 1,85 m.

Die **Nutzschrift** besteht nach Tab. 1 in /2.18/ aus:

- Holozäne Sand- bis Kiesschichten mit Mächtigkeiten zwischen (0,2...4,4) m. Ihr Anteil am Gesamtvorrat beträgt ca. 5 %. Die Holozänbasis liegt bei ca. (84...89) m NHN.
- Pleistozäne weichselkaltzeitliche Flussschotter der Niederterrasse. Die Schichtmächtigkeit schwankt zwischen (9,3...25,0) m und beträgt im Lagerstättendurchschnitt ca. 16,5 m. Sie nehmen etwa 45 % des Vorrats ein. Die Basis liegt im Niveau ca. (64,5...76,5) m NHN. Die Körnung der Kiessande liegt vorwiegend im Mittelsand- bis Mittelkiesbereich. Die Kiessande der Niederterrasse zeichnen sich durch Vergrößerung des Materials zum Liegenden und gehäuftes Auftreten von Steinen an der Basis aus.
- Pleistozäne elsterkaltzeitliche Flussschotter der Elbtalwanne mit Mächtigkeiten von (3,0...23,5) m und einem prozentualen Anteil am Gesamtvorrat von ca. 50 %. Die im Durchschnitt ca. 12,2 m mächtigen Kiessande sind zum Liegenden stärker sandig ausgebildet.
- Innerhalb des Rohstoffkörpers sind vereinzelt geringmächtige Schluff-Zwischenlagen eingeschaltet, die nur eine geringe flächenhafte Verbreitung zeigen.
- Die Gesamtmächtigkeit der Nutzschrift beträgt (23,5...38,2) m (im Mittel ca. 30 m).
- Die Liegendbegrenzung entspricht der flachgewellten Basis der Elbtalwanne und liegt bei (52,3...63,9) m NHN.

Das **Liegende** wird nach /2.18/ überwiegend durch tertiäre Sedimente der Unteren Briesker Schichten gebildet. Die miozänen Ablagerungen bestehen größtenteils aus sandigen Schluffen und Tonen, die teilweise in einer Wechsellagerung mit schluffigen Sanden auftreten.

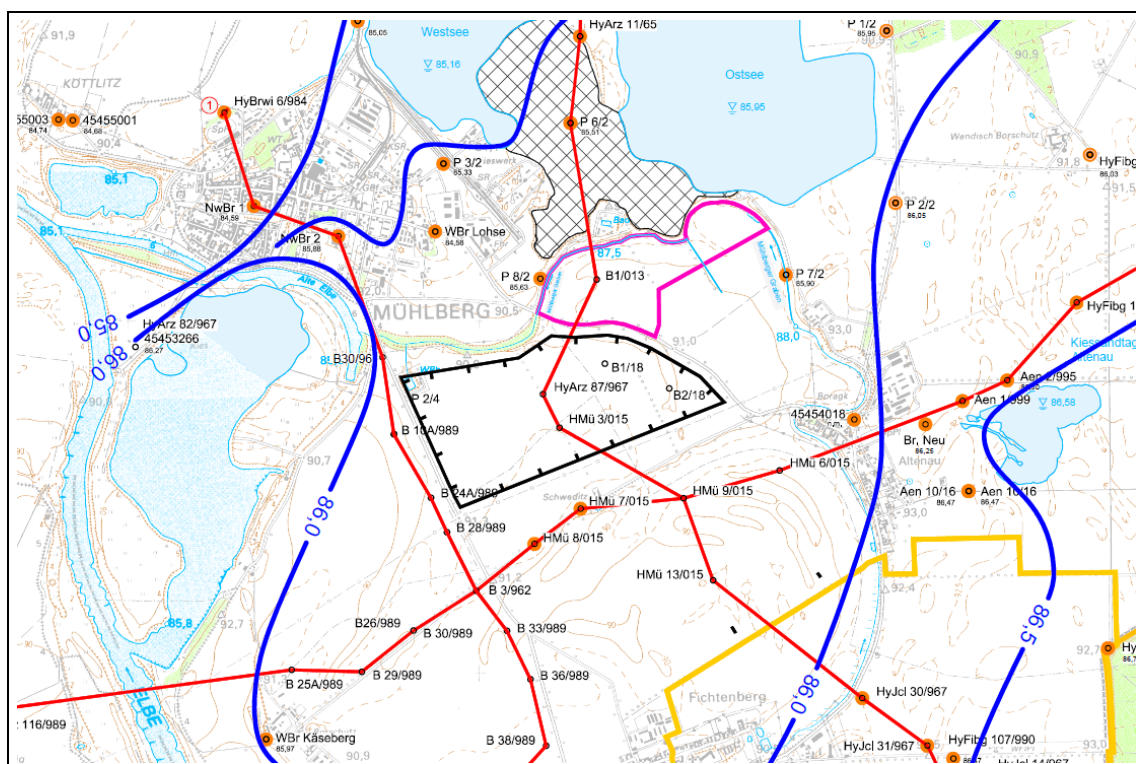
Zur Verdeutlichung der geologischen Verhältnisse wurden in Anlage 2 ein Schnitt aus /2.18/ dargestellt. Die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen und 9 weitere Schnitte sind in /2.18/ enthalten.

Grundsätzlich ist die Lagerstätte im Werk V durch den gleichen geologischen Aufbau wie die Lagerstätte im Werk II gekennzeichnet. In beiden Werken ist der gleiche Rohstoffkörper ausgebildet, der unter denselben genetischen Bedingungen abgelagert wurde. Die geologischen Unterschiede liegen hauptsächlich im Höhenniveau der Niederterrassenbasis und des Liegenden. Im Bereich Werk II wurde das Liegende im Höhenniveau von (39,7...46,5) m NHN erkundet. Die Gesamtmächtigkeit der Nutzschiebt beträgt zwischen (42,3...51,4) m.

Im Ergebnisbericht 1989/90 /2.5/ wird zu den Feldern „Grieß und Anger“ (Werk IV) bzw. „Hauptlagerstätte“ (Werk V) ausgeführt: „Beide Lagerstätten stellen gleiche geologische Bildungen dar und sind sowohl in den Lagerungsverhältnissen als auch in der Rohstoffbeschaffenheit miteinander vergleichbar.“ (/2.5/, S. 12)

### **3.4 Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse**

Für den Neuaufschluss Werk V liegt das hydrogeologische Gutachten /2.19/ vor. Unter dem gering durchlässigen und teilweise großflächige Lücken aufweisenden Auelehmhorizont folgt nach /2.19/ praktisch bis zur Quartärbasis ein Grundwasserleiterkomplex, bestehend aus den stratigraphisch getrennten GWL-Nr. G 110 (holozäne Kiese), G 120 (weichselkaltzeitliche Niederterrasse) und G 170 (elsterkaltzeitliche Kiese der Elbtalwanne). Der Grundwasserleiterkomplex wird G 120+170 bezeichnet, da der G 110 häufig oberhalb des freien Grundwasserspiegels liegt. Der Grundwasserleiterkomplex G 120+170 mit den Kiessanden der Nutzschiebt ist durch eine hohe Durchlässigkeit gekennzeichnet. Als Berechnungs- $k_f$ -Wert wird für das Werk V in /2.19/ ein  $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$  m/s und ein gravitativ entwässerbarer Porenanteil von  $n_e = 25 \%$  empfohlen bzw. abgeleitet. Die innerhalb des Grundwasserleiterkomplexes lokal verbreiteten bindigen Einlagerungen (Schlufflinsen) sind nach /2.19/ für den Kiessandabbau hydraulisch ohne Bedeutung.



**Abb. 2:** Übersichtskarte mit Grundwasserisohypsen (März 2019)  
Ausschnitt aus Anlage 7.1 in /2.19/

Das Grundwasser wurde in Abhängigkeit von der Geländehöhe, bei 1,6 m bis 5,4 m unter Gelände angetroffen. Abb. 2 zeigt den Grundwasserisohypsenplan aus /2.19/, der auf Grundlage der Grundwasserspiegelmessungen vom März 2019 erstellt wurde. Die Grundwasserfließrichtung ist im BG demnach hauptsächlich von Osten nach Westen in Richtung Elbe orientiert. Die Fläche des geplanten Werks V befindet sich zwischen den Isohypsen (85,5...86,0) m NHN. Der Grundwasserstand ist gemäß hydrologischen Gutachten /2.19/ jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen und wird vom Wasserstand der Elbe beeinflusst.

Die minimalen und maximalen Wasserstände in den beiden Abbauseen im Werk II enthält Tab. 1. Die Wasserstandsschwankungen betrugen ca. 2,5 m. In der gleichen Größenordnung lag auch die Schwankungsbreite des Grundwasserstandes in den benachbarten Grundwassermessstellen.

**Tab. 1:** Wasserstände der Baggerseen Werk II nach /2.19/

	Ost-See	West-See
niedrigster Wasserstand	85,60 m NHN (15.02.2001)	84,82 m NHN (30.11.2015)
mittlerer Wasserstand	86,33 m NHN	85,50 m NHN
höchster Wasserstand	88,17 m NHN (07.02.2003)	87,34 m NHN (07.02.2003)

Für den Abbausee im Werk V werden aufgrund der geringeren Entfernung zur Elbe größere Pegelschwankungen als in den bestehenden Baggerseen im Werk II erwartet.

Gemäß /2.19/ ist mit folgenden Pegelständen im Baggersee Werk V in der Abbauphase zu rechnen:

- niedrigster Wasserstand: < 83 m NHN,
- mittlerer Niedrigwasserstand: um 83,5 m NHN
- Mittelwasser: (84,6...84,7) m NHN
- mittleres Hochwasser: (88,3...88,5) m NHN
- Hochwasser: ca. 90 m NHN

Der Bereich des geplanten Kiessandtagebaues Mühlberg Werk V gilt nach /2.19/ bei einem HQ 100 als vom Hochwasser nicht direkt gefährdeter Bereich. Erst bei extremen Hochwässern HQ 200 ist das Gebiet vom Hochwasser gefährdet.

Für den Baggersee nach Abschluss der Wiedernutzbarmachung wird in /2.19/ im Durchschnitt ein Seepegel von ca. (84,6...84,7) m NHN angegeben, der vorgenannten Schwankungen unterliegt.

### **3.5 Technologische Verhältnisse und geplante Wiedernutzbarmachung**

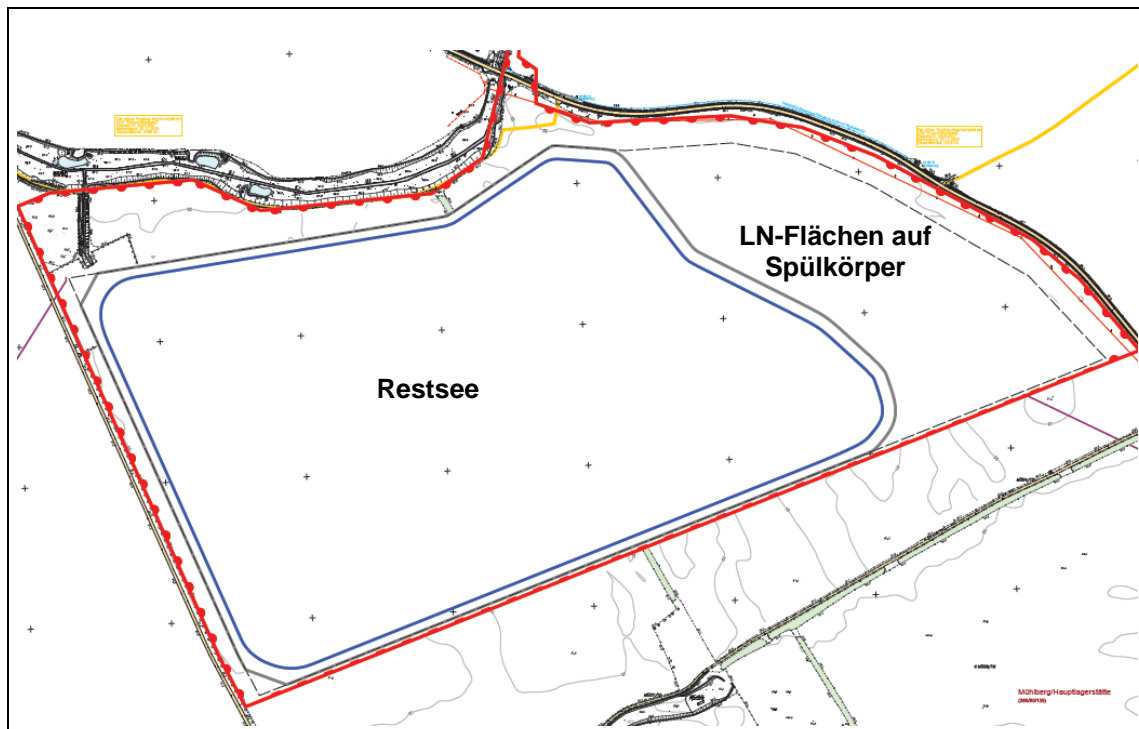
Der geplante Abbau Werk V umfasst eine Fläche von 119,5 ha (Fläche RBP). Die Nord-Süd-Erstreckung beträgt maximal ca. 1,0 km und liegt in Ost-West Richtung bei maximal ca. 1,8 km.

Es ist geplant, den Abraum im Trockenschnitt abzutragen. Für die Kiesgewinnung im Nassschnitt soll eine Schwimmgreiferdoppelanlage 2x15 m<sup>3</sup> mit Kiesentwässerung eingesetzt werden. Die Abbautiefe soll bei durchschnittlich 30 m liegen. Die maximale Abbautiefe beträgt ca. 40 m. Bei der Baggerung entstehen Nachbruchböschungen, bei denen sich die Böschungen in natürlicher Neigung einstellen.

Der Sandanteil (0...2) mm wird abgetrennt und über eine Rohrleitung in den ausgekiesten Abbaubereich verspült. Der Rohkies soll über eine Bandtrasse zu den bestehenden Aufbereitungsanlagen im Werk II transportiert werden.

Einen Übersichtsplan zur geplanten Folgenutzung nach der Wiedernutzbarmachung zeigt Abb. 3. Im Osten des Abbausees werden den Abbauböschungen im Gewachsenen Spülflächen vorgelagert, in denen Überschusssande verspült werden. Im Rahmen der Wiedernutzbarmachung werden die Spülflächen abschnittsweise mit Überschusssanden sowie kulturfähigem Boden überdeckt und einer landwirtschaftlichen Folgenutzung zugeführt. Dabei ist ein Materialauftrag bis zum ursprünglichen Geländeniveau von ca. (89...91) m NHN vorgesehen.





**Abb. 3:** Übersichtskarte zur geplanten Folgenutzung (Stand 03/2020)

Im Abbaufeld wird ein Restsee mit einer Wasserfläche von ca. 73,2 ha verbleiben. Die Uferbereiche sollen für die Folgenutzung „Erholung“ und „Naturschutz“ entwickelt werden. Im Bereich der LN-Flächen wird der Uferbereich durch einen Gehölzstreifen oder eine Verwallung begrenzt, so dass ein Befahren mit Fahrzeugen verhindert wird. Für den Uferbereich ist eine natürliche Sukzession vorgesehen.

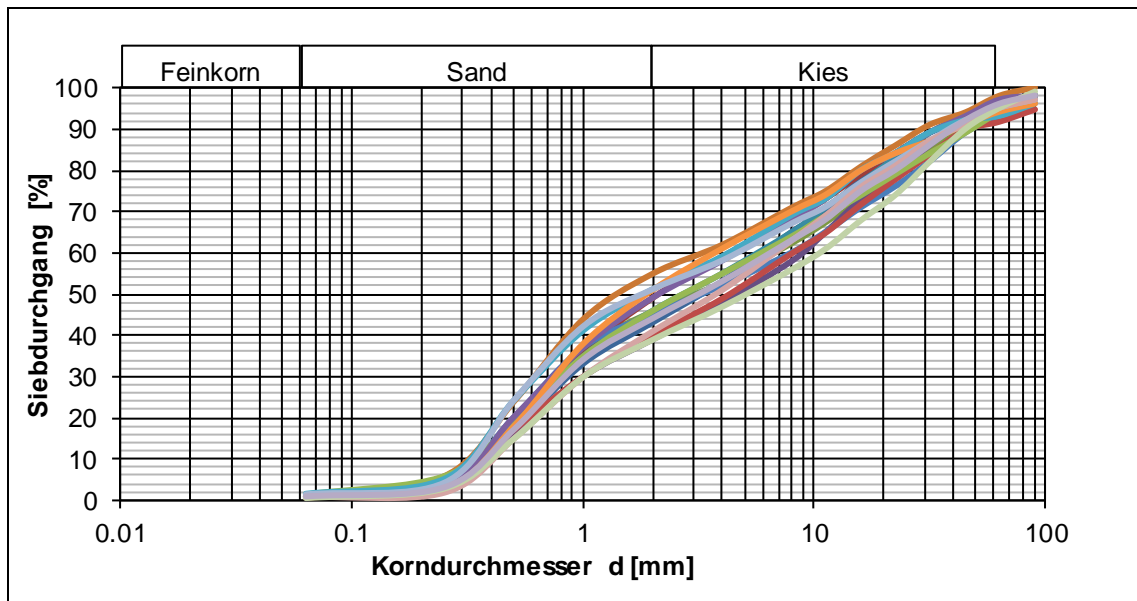
### 3.6 Geotechnische Verhältnisse

#### 3.6.1 Kiessande der Nutzsicht

Die Kiessande der Nutzsicht sind durch eine söhlige, gleichmäßige Lagerung und das Fehlen von durchgehenden Schlufflagen gekennzeichnet. Beim Abbau sind gemäß /2.18/ keine rutschungsbegünstigenden Verhältnisse zu erwarten.

Aus den Erkundungsbohrungen des Jahres 2015 wurden Proben entnommen und die Kornverteilung im werkseigenen Labor durch Siebung bestimmt. Die Ergebnisse sind in /2.18/ dargestellt. Die über die einzelnen Bohrungen gemittelten Sieblinien zeigt Abb. 4.

Die Kiessande der Nutzsicht werden in /2.12/ als weit- bis intermittierend gestufte Kies-Sandgemische der Bodengruppen GW und GI klassifiziert.



**Abb. 4:** Statistische Auswertung von 16 Sieblinien Kiessand  
(jeweils Mittelwert der Proben aus jeder Bohrung 2015)

In /2.4/ werden für die quartären Kiese und Sande die folgenden Bodenkennwerte angegeben, die auf Grundlage von Scherversuchen ermittelt wurden:

Wichte erdfeucht:	$\gamma = 21,2 \text{ kN/m}^3$
Wichte wassergesättigt	$\gamma_r = 22,0 \text{ kN/m}^3$
Wirksamer Reibungswinkel	$\phi'_{MW} = 40,4^\circ$ (Mittelwert)
	$\phi'_{UG} = 39,0^\circ$ (untere Vertrauensgrenze)
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$

In /2.12/ wird die Scherfestigkeit der Kiessande auf Grundlage empirischer Zusammenhänge aus der Böschungsneigung, wie folgt, ermittelt

Wirksamer Reibungswinkel	$\phi' = (36...42)^\circ$
Kapillarkohäsion	$c' = 5,7 \text{ kN/m}^2$

Übereinstimmend wird in /2.4/ und /2.12/ festgestellt, dass die geringmächtigen Schluffschichten aufgrund ihrer Verzahnung mit den Kiesen und Sanden keine vorgegebenen Gleitflächen darstellen.

Zur Überprüfung des Kennwertansatzes wurden im Rahmen des Standsicherheitsnachweises /2.15/ an drei Böschungen die Scherfestigkeit der Kiessande über Rückrechnungen ermittelt. Die untersuchten Nachbruchböschungen befinden sich technologisch bedingt im Grenzgleichgewicht und wurden noch nicht abgeflacht. Bei den Nach-

bruchböschungen hat sich der natürliche Böschungswinkel im Grenzgleichgewicht eingestellt. Bei den Rückrechnungen wurde ein Reibungswinkel von  $\phi'_k = 39,0^\circ$  verwendet. Die Kohäsion  $c'_k$  wurde iterativ erhöht, bis ein Ausnutzungsgrad  $\mu$  von ca. 1,0 ermittelt wurde, der dem Grenzgleichgewicht im untersuchten IST-Zustand entspricht. Für das Grenzgleichgewicht war eine wirksame Kohäsion  $c'_k = (0,5 \dots 1,5) \text{ kN/m}^2$  erforderlich, die auf eine Verzahnungsfestigkeit der dicht gelagerten Kiessande und zu einem geringen Anteil auf eine Kapillarkohäsion zurückgeführt wird.

Der Kennwertansatz aus /2.4/ wurde mit den durchgeführten Rückrechnungen bestätigt. Die vorhandene Kohäsion (Verzahnungsfestigkeit) wird bei den Standsicherheitsnachweisen auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt (vgl. Abschnitt 7).

Aus den Erkundungsergebnissen wurde der gleiche geologische Aufbau des Rohstoffkörpers im Werk II und Werk V abgeleitet. Die geotechnischen Eigenschaften der im Werk II abgebauten Kiessande sind daher direkt auf den geplanten Abbau im Werk V übertragbar.

### **3.6.2 Vorliegende Erkenntnisse Spülkörper**

Im Werk V sollen ca. 45 % des Rohmaterials als Überschusssand abgetrennt und verspült werden. Dabei sedimentiert das Material größtenteils unter Wasser. Aufgrund der geringen Konsolidierungsspannung entsteht ein Spülkörper mit überwiegend lockerer Lagerung. Für die Spülkörper ist eine mögliche Setzungsfließgefahr durch eine Bodenverflüssigung zu beurteilen.

In diesem Abschnitt werden zunächst die vorliegenden Erkenntnisse zu Spülkörpern im Werk II und Werk IV dargestellt. Eine Bewertung der Setzungsfließgefahr für die geplanten Spülkörper im Werk V erfolgt im Abschnitt 3.6.3.

Das Verspülen von Überschusssanden stellt eine bewährte Technologie dar, für die langjährige Erfahrungen im Werk II und im Werk IV vorliegen. Im Werk IV wurden nach /2.14/ ab 1990 1,69 Mio. t Überschusssand im nordwestlichen Teil des Abbausees verspült und bilden dort eine Insel sowie eine Halbinsel. Im Werk II wurde seit ca. 1991 ein Spülkörper von den Aufbereitungsanlagen in Richtung Osten vorgetrieben. In Verbindung mit einem Restpfeiler trennt dieser großflächige Spülkörper inzwischen den Ost-See vom West-See. Im Ostfeld Werk II wird die Nutzsicht nach /2.13/ seit 1996 mit einer Schwimmgreiferdoppelanlage mit Kiesentwässerung abgebaut. Der Sandanteil (0...2) mm wird abgetrennt und über eine Rohrleitung in den ausgekiesten Abbau-bereicherspült. Nach /2.13/ gelangen dabei ca. 44 % des gewonnenen Rohkiessandes zur Verspülung. Im Ost-See sind dadurch unregelmäßig geformte Spülinseln entstanden.



Die gleiche Technologie soll auch im Werk V umgesetzt werden. Der Spülkörper soll dabei entlang der östlichen Randböschungen im ausgekiesten Bereich entwickelt werden. Den Endböschungen im Gewachsenen wird dadurch ein Spülkörper vorgelagert. Hinsichtlich der Materialzusammensetzung der verspülten Überschusssande bestehen keine Unterschiede. Die Feinanteile mit Korndurchmessern  $< 0,06$  mm werden größtenteils beim Baggervorgang ausgetragen. Zur Verspülung gelangt die Sandfraktion aus der Kieswäsche.

Hinsichtlich der geotechnischen Eigenschaften bestehen zwischen den im Werk II und Werk IV vorhandenen Spülkörpern keine Unterschiede zu den geplanten Spülkörpern im Werk V, da die Sande die gleiche geologische Herkunft besitzen und unter gleichen technologischen Bedingungen abgetrennt und abgelagert wurden.

**Die vorliegenden Erkenntnisse zu den vorhandenen Spülkörpern im Werk II und im Werk IV sind damit direkt auf die geplanten Spülkörper im Werk V übertragbar.**

Die geotechnischen Bedingungen beim Verspülen sind im Überwasser- und Unterwasserbereich unterschiedlich. Oberhalb des Wasserspiegels entsteht nach /2.9/ ein flach geneigter meist mitteldicht gelagerter Spülkörper, der gut tragfähig ist. Die Sedimentation unter Wasser erfolgt unter Auftrieb. Die wirksame Vertikalspannung bei der Konsolidation ist daher gering, so dass nach /2.9/ relativ geringe Lagerungsdichten vorherrschen. Die Böschungsneigung unter Wasser stellt sich nach der Verspülung im Grenzgleichgewichtszustand mit  $\eta \approx 1,0$  ein.

Um die Lagerungsdichte der Spülkörper zu ermitteln, wurden im Werk IV und Werk II leichte Rammsondierungen ausgeführt. Die Ergebnisse sind in /2.15/ und /2.16/ dokumentiert.

Im Werk II wurden 6 leichte Rammsondierungen im Bereich des zusammenhängenden Spülkörpers zwischen West-See und Ost-See mit einer Geländehöhe bei ca. (89...93) m NHN ausgeführt /2.15/. In diesem Teilbereich ist nach Überdeckung mit kulturfähigem Boden eine landwirtschaftliche Folgenutzung vorgesehen. Im erdfeuchten Bereich wurde eine überwiegend mitteldichte Lagerung festgestellt. Im wassergesättigten Bereich waren die Spülsande zumeist locker gelagert. Zusätzlich wurden Rammsondierungen im Böschungs- und Uferbereich ausgeführt. Hier wurde abschnittsweise eine sehr lockere bis lockere Lagerung nachgewiesen.

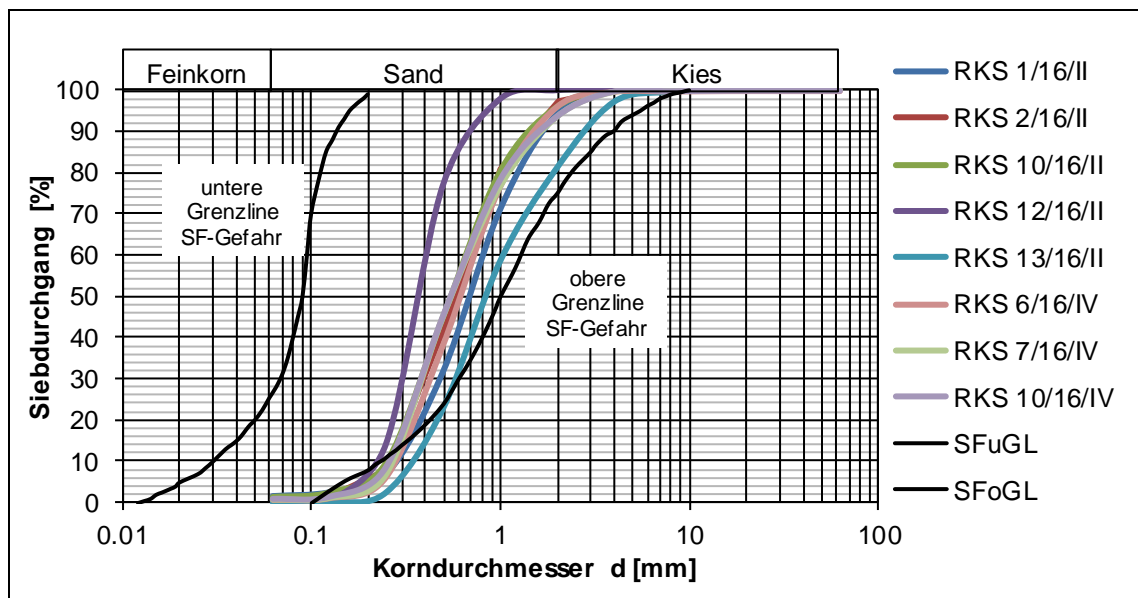
Im Werk IV waren die wassergesättigten Spülsande bis in Teufen von (5,0...6,5) m mit Schlagzahlen  $N_{10} = (1...3)$  sehr locker bis locker gelagert /2.16/. Bis zur Endteufe stieg die Schlagzahl auf ca.  $N_{10} = 10$ . Damit wurde abschnittsweise eine mitteldichte Lagerung nachgewiesen.

Eine Bodenverflüssigung ist an folgende Voraussetzungen gebunden:

- 1) Körnungslinie liegt im Kornband verflüssigungsempfindlicher Böden,
- 2) kontraktiles Materialverhalten bei Scherung, d.h. Porenanteil  $n > n_R$  ( $n_R$  ... spannungsabhängiger kritischer Porenanteil),
- 3) annähernd wassergesättigtes Material und damit hohe Sättigungszahl  $S_r$ ,
- 4) annähernd undrainede Verhältnisse (Die Rate des Porenwasserdruckaufbaus muss größer sein als die Rate der Porenwasserdruckabnahme durch Abströmen aus der Scherzone).

Damit eine Bodenverflüssigung eintreten kann, muss der ursprünglich herrschende Gleichgewichtszustand durch ein Initial so gestört werden, dass Scherdeformationen entstehen. In der Scherzone bilden sich unter undraineden Verhältnissen Porenwasserüberdrücke aus, so dass die wirksamen Spannungen und damit die Scherfestigkeit abnehmen. Im Fall von Böschungen entstehen Setzungsfließrutschungen, die i.d.R. durch große Rückgriffweiten gekennzeichnet sind.

Bei den im Werk II und Werk IV verspülten Überschusssanden handelt es sich um enggestufte Sande, deren Körnungslinien in Abb. 5 gemeinsam mit dem Kornband verflüssigungsempfindlicher Böden dargestellt sind (8 Proben aus den Untersuchungen /2.15/ und /2.16/). Nach der Kornverteilung bestehen die Spülsande aus Mittel- bis Grobsanden mit wechselndem Feinkiesanteil. Der Feinsandanteil ist mit (1,1...7,2) % relativ gering. Technologisch bedingt fehlt das Feinkorn ( $d < 0,06$  mm) fast vollständig (max. 1,6 %). Die Spülsande liegen größtenteils innerhalb des Kornbandes verflüssigungsempfindlicher Böden, schneiden die obere Grenzlinie jedoch im Fein- bis Mittelsandbereich.



**Abb. 5:** Kornverteilung der Spülsande nach den Untersuchungen im Werk II und Werk IV 2016, /2.15/ und /2.16/

Es wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um die Verflüssigungseigenschaften der Spülsande zu ermitteln (/2.7/, /2.8/, /2.9/, /2.10/, /2.11/, /2.15/ und /2.16/ ).

Im bodenmechanischen Labor der LAUBAG wurden mit /2.7/ und /2.8/ Laborversuche an Materialproben von einer Spülinsel Werk IV und aus dem Dammplenum Werk II südöstlich der Aufbereitungsanlage ausgeführt. Die materialbeschreibenden Kennzahlen enthält Tab. 2. Die Überschusssande bestehen aus Mittel- bis Grobsanden mit einem Kiesanteil von ca. 14 %. Der Feinkorn- und Feinsandanteil ist mit insgesamt ca. 3 % sehr gering. Die Sande sind enggestuft mit einer Ungleichförmigkeitszahl U von ca. 3,2. Die Körner sind gut gerundet (Rundungskoeffizient ca. 0,85) und haben eine glatte bis stumpfe Oberfläche (Texturkoeffizient 0,38).

**Tab. 2:** Materialbeschreibende Kennzahlen für die Spülsande nach /2.7/

	Proben- anzahl	von	bis	Mittelwert
Feinkornanteil FKA [%]	7	0	2	0,6
Feinsandanteil FSA [%]	7	1	3	2,3
Mittelsandanteil MSA [%]	7	27	56	41,3
Grobsandanteil GSA [%]	7	38	50	42,1
Kiesanteil KIA [%]	7	3	23	13,7
Ungleichförmigkeitszahl U	7	2,6	4,0	3,2
Krümmungszahl C	7	0,9	1,0	0,9
Rundungskoeffizient RK	7	0,845	0,859	0,85
Texturkoeffizient TK	7	0,326	0,407	0,38

Der Porenanteil in der Entnahmeebene ca. 0,25 m unter GOF im erdfeuchten Bereich schwankte zwischen 0,304 und 0,391. Die Rohdichte betrug (1,67...1,88) g/cm³.

Eine ungestörte Probenentnahme unterhalb des Wasserspiegels war nicht möglich. Daher wurden in /2.7/ und /2.8/ mit dem entnommenen Material Laborproben mit unterschiedlichen Einbaumethoden hergestellt und das Verflüssigungsverhalten mit Triaxialversuchen CIU-pS untersucht. Einen Überblick zu den Ergebnissen gibt Tab. 3.

**Tab. 3:** Ergebnisse der Triaxialversuche CIU-pS aus /2.7/ und /2.8/

Probenart	Einbaumethode	Porenanteil $n_2$ zu Beginn pS	Verhalten bei Scherung	Bemerkung
locker verkippt	feuchtes Material eingerieselt und gering verdichtet	0,39...0,40	kontraktil	vollständige Verflüssigung
dicht verkippt	feuchtes Material eingerieselt und verdichtet	0,37...0,38	kontraktil	Verflüssigung mit Restfestigkeit
verklappt	Zugabe von feuchtem Material in wassergefüllten Behälter, Sedimentation unter Wasser	0,37...0,38	dilatant	keine Verflüssigung
verspült	schichtweises Schütten wassergesättigten Materials, Entwässerung über Filterstein	0,37	dilatant	keine Verflüssigung

Die 12 Triaxialversuche belegen einen starken Einfluss der Probenstruktur auf die Verflüssigungseigenschaften. Bei gleichem Porenanteil und gleicher Spannung zeigten die erdfeucht eingebauten Proben eine deutliche Entfestigung bei gleichzeitigem Aufbau von Porenwasserüberdrücken (Verflüssigung) während die verklappten und verspülten Proben ein dilatantes Materialverhalten ohne Verflüssigung aufwiesen. Das abweichende Materialverhalten wird in /2.8/ auf unterschiedliche Gefügestrukturen zurückgeführt. Bei den erdfeucht eingebauten Proben, die anschließend aufgesättigt werden, wirken beim Einbau Kapillarkräfte. Durch die Wassersättigung entsteht bei den „verklappt“ oder „verspült“ eingebauten Sanden ein abweichendes Gefüge, da beim Einbau keine Kapillarkräfte wirken. Eine Entfestigung, die zur Verflüssigung führt, trat bei den Triaxialversuchen an diesen 6 Proben nicht auf. Der wirksame Bruchreibungswinkel betrug  $\phi'_f = (31,4...33,4)^\circ$ .

Durch Prof. Walde wurde mit /2.9/ ein Standsicherheitsnachweis für den durch Verspülen von Überschusssand hergestellten Damm im Werk II geführt. Die Felderkundung erfolgte mit drei Drucksondierungen und 7 Drehflügelsondierungen. Die Ergebnisse sind ausführlich in /2.15/ zusammengefasst.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Drehflügelsondierungen werden in /2.9/ die in der Tabelle 4 dargestellten Berechnungskennwerte für die Scherfestigkeit abgeleitet.

**Tab. 4:** Berechnungskennwerte zur undrÄnierten Scherfestigkeit nach lÄngerer Liegezeit aus /2.9/

Tiefe T	undrÄnierte Bruchfestigkeit $\tau_{fu}$	undrÄnierte Restfestigkeit $\tau_{Ru}$
3 m	14,1 kN/m <sup>2</sup>	10,7 kN/m <sup>2</sup>
9 m	31,0 kN/m <sup>2</sup>	22,6 kN/m <sup>2</sup>
15 m	48,1 kN/m <sup>2</sup>	34,4 kN/m <sup>2</sup>
21 m	65,0 kN/m <sup>2</sup>	46,8 kN/m <sup>2</sup>

Für den wirksamen Reibungswinkel und die Wichten der verspülten Überschusssande werden in /2.9/ die folgenden Berechnungskennwerte angegeben:

- unter Wasser abgesetztes SpÜlgut:  $\phi'_{uw} = 28^\circ$
- über Wasser abgesetzter Sand:  $\phi'_{üw} = 34^\circ$
- Feuchtwichte:  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
- Sättigungswichte.  $\gamma_r = 20 \text{ kN/m}^3$

Im Ergebnis der Untersuchungen wird in /2.9/ festgestellt, dass die SpÜlsande bei Wassersättigung und lockerer Lagerung zur Verflüssigung neigen. Auf eine Prüfung durch Erschütterungsmessungen vor Ort wird in /2.9/ hingewiesen.

Im Werk II wurden insgesamt drei Belastungsversuche mit annÄhernd gleichen Initialen ausgefÜhrt (/2.10/, /2.15/). Dabei wurden im Uferbereich typische Initiale eingetragen, die auch im Rahmen der spÄteren Nutzung zu erwarten sind. ZusÄtzlich wurden Initiale untersucht, die deutlich grÖßer waren.

Bei den Belastungsversuchen im Herbst 2016 wurden die in Tab. 5 dargestellten Teilversuche (Initiale) durchgefÜhrt (vgl. /2.15/).

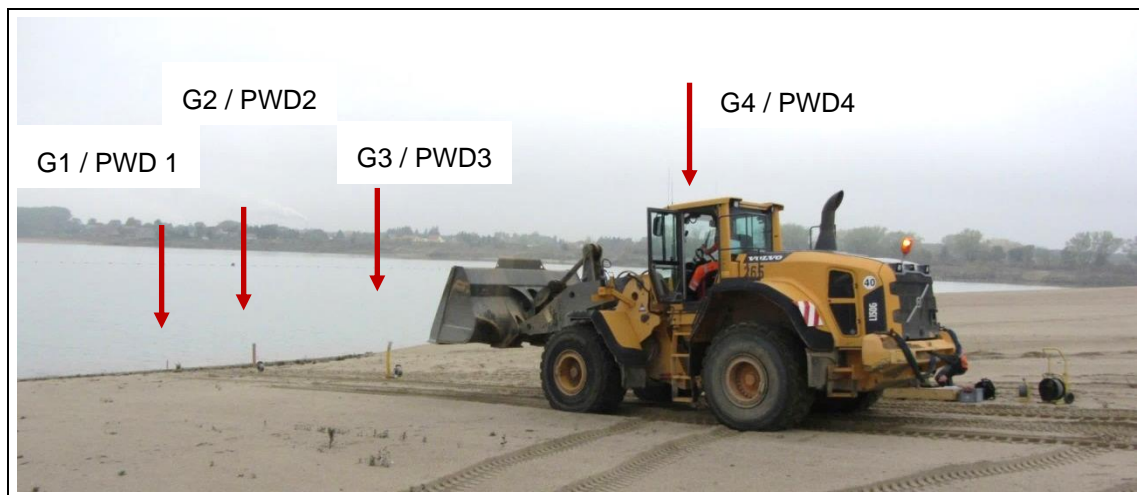
**Tab. 5:** BelastungszustÄnde bei den einzelnen Teilversuchen /2.15/

Nr.	Anregung / Initial	Bereich der Anregung
1	Menschen hüpfend	unmittelbarer Uferbereich
2	Radlader 6,5 t fahrend	entlang des Messprofils
3	Radlader 6,5 t schlagend	Schläge mit der Schaufel des Laders
4	Radlader 24 t fahrend	entlang des Messprofils
5	Radlader 24 t schlagend	Schläge mit der Schaufel des Laders

Um Belastungen durch kleinere Fahrzeuge abzubilden wurde ein Radlader Typ CAT 908 mit einer Masse von 6,5 t eingesetzt. Belastungen, die deutlich über den Lasten der spÄteren Nutzung liegen, wurden mit einem Radlader vom Typ Volvo L150 mit

einer Masse von 24 t eingetragen. Dieser Radlader stellt demnach eine Extremlast im Vergleich mit den zu erwartenden späteren Belastungen dar (vgl. /2.15/).

Beispielhaft zeigt Abb. 6 den Einsatz des Radladers Typ Volvo L150 ( $m = 24\text{ t}$ ) beim Belastungsversuch.



**Abb. 6:** Radlader Typ Volvo L150,  $m = 24\text{ t}$  im Messprofil P1

Die gemessenen Porenwasserüberdrücke waren in Bezug zur festgestellten sehr lockeren Lagerung der Spülsande außerordentlich gering und betrugen nur wenige Millibar.

Bei keinem der Teilversuche in /2.10/ und /2.15/ wurden Porenwasserüberdrücke festgestellt, welche die Festigkeit und Stabilität der Böschung und des Spülkörpers negativ beeinträchtigen.

### 3.6.3 Bewertung der Setzungsfließgefahr

Hinsichtlich der geotechnischen Eigenschaften bestehen zwischen den im Werk II und Werk IV vorhandenen Spülkörpern keine Unterschiede zu den geplanten Spülkörpern im Werk V, da die Sande die gleiche geologische Herkunft besitzen und unter gleichen technologischen Bedingungen abgetrennt und abgelagert wurden.

Die vorliegenden Erkenntnisse zu den vorhandenen Spülkörpern im Werk II und im Werk IV sind damit direkt auf die geplanten Spülkörper im Werk V übertragbar.

Im Hinblick auf die Voraussetzungen an eine Bodenverflüssigung, die im Abschnitt 3.6.2 erläutert wurden, werden die einzelnen Kriterien in Tab. 6 bewertet.

**Tab. 6: Bewertung der Voraussetzungen für eine Bodenverflüssigung**

Kriterium	Spülkörper Werk II	Bewertung
Körnungslinie im Kornband verflüssigungsempfindlicher Böden	Die Körnungslinie der Spülsande verläuft größtenteils im Kornband verflüssigungsempfindlicher Böden. Schneidet die obere Grenzlinie jedoch teilweise aufgrund des geringen Feinsandanteils.	teilweise erfüllt
kontraktilen Materialverhalten bei Scherung	Mit den Triaxialversuchen in /2.7/ und /2.8/ wurde für das verspült eingebaute Material ein dilatantes Materialverhalten bei Scherung ermittelt. Im Gegensatz dazu deutet die sehr lockere bis lockere Lagerung der Spülsande im wassergesättigten Bereich, die im Ergebnis der Felderkundungen ermittelt wurde, auf kontraktiles Materialverhalten bei Scherung.	nicht eindeutig
annähernd wassergesättigtes Material	unterhalb des Grundwasserspiegels	erfüllt
annähernd undrained Verhältnisse	Die Spülsande besitzen eine sehr hohe Durchlässigkeit. Bei Scherung wird der Aufbau von Porenwasserüberdrücken somit durch Abströmen aus der Scherzone verringert.	nicht eindeutig

Ein eindeutiger Nachweis, ob eine Bodenverflüssigung der Spülsande möglich ist, kann nach den Bewertungen der einzelnen Kriterien in Tab. 6 nicht erbracht werden.

Neben den in Tab. 6 aufgeführten Voraussetzungen für eine Bodenverflüssigung muss ein Initial vorhanden sein, das so groß ist, dass die Bruchfestigkeit erreicht und ein Setzungsfließen im Böschungsbereich ausgelöst wird. Bereits in /2.9/ wurden verschiedene Initiale diskutiert.

Im Werk II und im Werk V ist für die Spülflächen die gleiche Folgenutzung vorgesehen. Die Spülkörper werden mit Überschusssanden und kulturfähigem Boden bis etwa zur

ursprünglichen Geländehöhe überdeckt. Es ist eine landwirtschaftliche Folgenutzung für die aufgefüllten Bereiche geplant. Im unmittelbaren Uferbereich ist eine Folgenutzung für Belange des Naturschutzes und der Erholung vorgesehen. Mögliche Beanspruchungen und Initialeinträge entstehen beim Begehen durch Menschen bzw. beim Befahren des Spülkörpers mit kleinen Fahrzeugen (z. B. Krad, Quad). Auch bei der Folgenutzung Naturschutz kann ein Begehen der Spülflächen durch Personen nicht ausgeschlossen werden.

**Für den Nachweis, ob die Gefahr einer Bodenverflüssigung bei der geplanten Nutzung besteht, wurden im Werk II Belastungsversuche ausgeführt.**

Bei den Versuchen wurden Initiale untersucht, die auch im Rahmen der geplanten Folgenutzung auftreten werden. Mit zusätzlichen Teilversuchen wurden Belastungen und Initiale eingetragen, die deutlich größer waren, als die Initiale bei der späteren Nutzung (Radlader mit  $m = 24\text{ t}$ ).

Bei allen drei Belastungsversuchen traten nur sehr geringe Porenwasserüberdrücke auf. Bei keinem der Teilversuche wurden Porenwasserüberdrücke festgestellt, welche die Festigkeit und Stabilität der Böschung und des Spülkörpers negativ beeinträchtigen.

**Im Ergebnis der Belastungsversuche wird festgestellt, dass für die geplante Folgenutzung im Uferbereich keine Verflüssigungsgefahr und damit auch keine Setzungsfließgefahr besteht.**

Für die Hauptfläche des Spülkörpers ist eine Auffüllung mit kulturfähigem Boden bis zu einer Höhe von (89...91) m NHN und eine landwirtschaftliche Nutzung geplant.

Die oberhalb des Seewasserspiegel verspülten Sande sind mitteldicht gelagert. Die mitteldichte Lagerung wurde mit Sondierungen im Werk II nachgewiesen. Für den Höhenangleich sind ggf. Überschusssande lagenweise einzubauen und durch Überfahren zu verdichten. Für den kulturfähigen Boden (abgetragener Auelehm) besteht keine Verflüssigungsgefahr.

Eine Initialwirkung aus der landwirtschaftlichen Nutzung, die bis zu den locker gelagerten Spülsanden reicht, ist auch im Hochwasserfall ausgeschlossen. **Die Gefahr eines Verflüssigungsgrundbruches besteht nicht.**

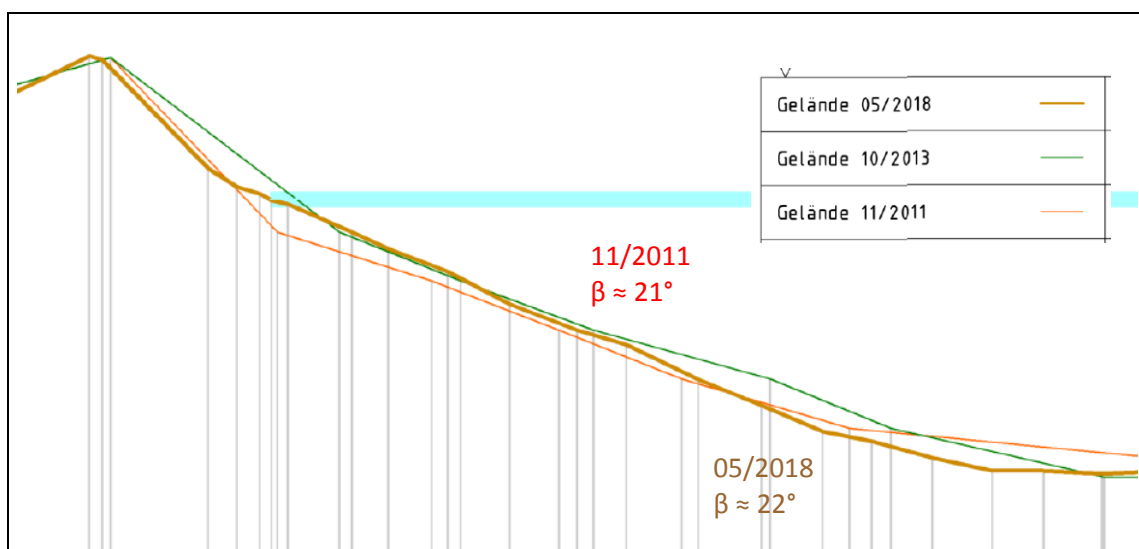


## 4 Profilauswertung

Für die Ermittlung der Sicherheitsabstände zwischen Nachbruchkante und zu schützenden Objekten ist der Böschungswinkel  $\beta_0$  nach Abbau (Nachbruch) und der Böschungswinkel nach natürlicher Abflachung  $\beta_{\text{End}}$  maßgebend.

Um die zeitliche Entwicklung der Böschungsabflachung nach Abbau zu untersuchen, wurden Lotungsergebnisse bzw. Profildaten mit unterschiedlichem zeitlichem Abstand zur Baggerung im nordöstlichen Bereich des Abbaus im Werk II ausgewertet (/2.21/ und /2.22/). In Anlage 3 ist der ausgewertete Bereich mit den Isohypsen als Ergebnis unterschiedlicher Lotungen dargestellt. Die Lotungen wurden im Abstand von zwei Jahren ausgeführt. Dabei wurden jeweils nur Teilbereiche im Umfeld des aktiven Abbaus gelotet. Es sind jedoch Überlappungsbereiche vorhanden, die in Anlage 3 durch die unterschiedliche Farbgebung ersichtlich sind. In den Überlappungsbereichen konnten trotz des zeitlichen Abstandes von zwei Jahren keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Abweichungen liegen im Bereich der Messgenauigkeit und sind größtenteils durch die Interpolation zwischen den unterschiedlichen Einzelmesspunkten bei den Lotungsfahrten bedingt.

In fünf Profilen wurden zusätzlich im Mai 2018 Lotungsfahrten ausgeführt, die direkt der Profillinie folgten. Die Ergebnisse sind in /2.21/ dokumentiert. Einen Ausschnitt aus dem Profil A-A' zeigt Abb. 7. Im Zeitraum von ca. 7 Jahren hat sich die Kontur der Unterwasserböschung nicht wesentlich verändert. Die Profillinie 05/ 2018 liegt teilweise oberhalb der Profillinie 11/2011. Da kein Materialauftrag erfolgte, werden diese Abweichungen auf die Messgenauigkeit zurückgeführt.



**Abb. 7:** Ausschnitt Profilschnitt A-A' aus /2.21/

Ähnliche Verhältnisse wurden auch bei den anderen Schnitten festgestellt. Relevante Abweichungen zwischen den Schnitten nach der Erstlotung und den Wiederholungsmessungen im Mai 2018 traten an den Endböschungen nicht auf. Die Böschungsneigung war nahezu unverändert.

Im Ergebnis dieser Auswertungen wird festgestellt, dass die natürliche Böschungsabflachung nach der Baggerung relativ schnell einen stabilen Endzustand erreicht, bei dem keine weiteren Materialumlagerungen eintreten. Der Vorgang der natürlichen Böschungsabflachung ist in einem Zeitraum von weniger als einem Jahr abgeschlossen.

Im Werk V werden den Endböschungen im Gewachsenen teilweise Spülkörper vorgelegt. Nach den durchgeführten Auswertungen ist auf der sicheren Seite liegend davon auszugehen, dass zwischen Gewinnungsende und beginnender Verspülung die Böschungsabflachung bereits abgeschlossen ist. Daher ist der Böschungswinkel nach natürlicher Abflachung  $\beta_{\text{End}}$  anzusetzen, wenn die Breite des nachbrechenden Streifens ermittelt wird (vgl. Abschnitt 8.1).

Um den Böschungswinkel  $\beta_{\text{End}}$  zu ermitteln, wurden insgesamt 21 Profile an den Unterwasserböschungen im Werk II, Abbau Nordost ausgewertet. Die Schnittspuren und Profilvernummern sind in Anlage 3 verzeichnet. Die Mehrzahl der Schnitte liegt an der nördlichen Endböschung und umfasst bevorzugt Bereiche mit dem geringsten Abstand zur Betriebsgrenze. Ausgewertet wurde der Abstand zwischen den Isohypsen 63 m NHN und 84 m NHN bzw. zwischen den Isohypsen 64 m NHN und 84 m NHN. Die Ergebnisse sind in Tab. 7 dargestellt. Die Winkel der Unterwasserböschungen  $\beta_{\text{uw}}$  schwanken zwischen  $(19...28)^\circ$  und lagen im Mittel bei  $\beta_{\text{uw}} = 22,3^\circ$ .

**Tab. 7:** Auswertung Unterwasserböschungen, Werk II Abbau Nordost

Profil	Höhendifferenz $\Delta h$ [m]	Abstand a [m]	Neigung 1 : n	Böschungswinkel $\beta_{\text{uw}}$ [°]
1	21	50	2,38	22,8
2	21	55,5	2,64	20,7
3	21	46,2	2,20	24,4
4	21	47	2,24	24,1
5	21	45,2	2,15	24,9
6	21	53,8	2,56	21,3
7	21	40,2	1,91	27,6
8	21	53,3	2,54	21,5
9	21	47,8	2,28	23,7

Profil	Höhendifferenz $\Delta h$ [m]	Abstand a [m]	Neigung 1 : n	Böschungswinkel $\beta_{uw}$ [°]
10	21	55,2	2,63	20,8
11	21	53,8	2,56	21,3
12	21	51,5	2,45	22,2
13	21	51,7	2,46	22,1
14	18	45,3	2,52	21,7
15	18	49	2,72	20,2
16	18	47,7	2,65	20,7
17	18	53	2,94	18,8
18	18	46,6	2,59	21,1
19	18	47,8	2,66	20,6
20	21	49,9	2,38	22,8
21	21	44,7	2,13	25,2
<b>Mittelwert</b>	--	--	<b>2,46</b>	<b>22,3</b>

Im Ergebnis wird ein Böschungswinkel nach natürlicher Abflachung der Unterwasserböschung von  $\beta_{uw,End} = 22^\circ$  abgeleitet.

In der Standsicherheitseinschätzung /2.12/ wurde ein Böschungswinkel nach natürlicher Abflachung der Unterwasserböschung von  $\beta_{uw,End} = 22^\circ$  angesetzt, der mit den vorliegenden Untersuchungen bestätigt wurde (vgl. /2.12/ S. 14 dort mit  $\phi_L$  bezeichnet).

## 5 Felderkundungen

Um die Lagerungsdichte innerhalb der Nutzsicht zu ermitteln, wurden am 27.08.2018 fünf schwere Rammsondierungen (DPH nach EN ISO 22476-2) ausgeführt. Die Rammsondierungen wurden jeweils neben direkten Aufschlüssen durch Bohrungen angeordnet. Einen Überblick gibt Tab. 8. Zum Zeitpunkt der Erkundungen war geplant, einen RBP für eine größere Teilfläche des Bergwerksfeldes „Hauptlagerstätte“ zu erstellen. Die Sondierpunkte DPH 3/18 bis DPH 5/18 liegen daher im Süden außerhalb der RBP-Grenzen für das Werk V. In diesem Abschnitt werden trotzdem die gesamten Felderkundungen dargestellt, da keine geologischen oder geotechnischen Unterschiede zwischen den Teilfeldern bestehen.

Die Sondierergebnisse sind in Anlage 4 auf den Seiten 1 bis 5 dokumentiert. Die Bohrprofile der benachbarten Bohrungen sind in Anlage 4 ab Seite 6 dargestellt. Alle

Rammsondierungen wurden in Teufenbereichen mit dichter Lagerung beendet, in denen hohe Eindringwiderstände mit Schlagzahlen  $N_{10} > 40$  vorhanden waren.

Mit den Rammsondierung wurde eine überwiegend mitteldichte bis dichte Lagerung der Kiessande der Nutzschrift nachgewiesen. Untergeordnet waren im oberen Bereich einzelne Abschnitte mit lockerer Lagerung vorhanden.

In der DPH 1/18 und DPH 3/18 waren Schichten mit einer Mächtigkeit bis 40 cm vorhanden, in denen sehr geringe Schlagzahlen auftraten. Hierbei handelt es sich um vereinzelte Schluffschichten.

**Tab. 8:** Überblick zu den durchgeführten Rammsondierungen

Bezeichnung	Lage	Wasserstand unter GOK	Endteufe
DPH 1/18	neben B 1/18	4,0 m	7,9 m
DPH 2/18	neben B 2/18	3,9 m	6,1 m
DPH 3/18	neben B 8/15	5,2 m	12,7 m
DPH 4/18	neben B 10/15	4,2 m	14,8 m
DPH 5/18	neben B 16/15	5,3 m	10,7 m

## 6 Charakteristische Bodenkennwerte

Auf Grundlage von DIN 1055-2 /2.29/ und der Untersuchungsergebnisse in /2.4/, /2.7/, /2.8/, /2.9/ und /2.15/ (vgl. Abschnitt 3.6) werden für die Standsicherheitsberechnungen die in Tab. 9 angegebenen charakteristischen Bodenkennwerte abgeleitet.

**Tab. 9:** Charakteristische Bodenkennwerte Kiessand und Spülsand

Bodenkennwert	Formel zeichen	Einheit	Kiessand gewachsen	Spülsand locker	Spülsand mitteldicht
Wichte erdfeucht	$\gamma_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	21,2	16,0	17,0
Wichte wassergesättigt	$\gamma_{r,k}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22,0	19,0	20,0
Wichte unter Auftrieb	$\gamma'_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	12,0	9,0	10,0
Wirksamer Reibungswinkel	$\phi'_k$	[°]	39,0	30,0	32,5
Wirksame Kohäsion	$c'_k$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0	0	0

Nach DIN 1054 sind die charakteristischen Werte der Scherfestigkeit als vorsichtige Schätzwerte des Mittelwertes festzulegen.

### **Kiessand**

Basierend auf Scherversuchen wird in /2.4/ eine untere Vertrauensgrenze für den wirksamen Reibungswinkel angegeben (vgl. Abschnitt 3.6), die als charakteristischer Wert für den Reibungswinkel in Tab. 9 festgelegt wurde.

Rückrechnungen für Nachbruchböschungen im Grenzgleichgewicht in /2.15/ bestätigen diesen Kennwertansatz. Die mit den Rückrechnungen ermittelte Kapillarkohäsion bzw. Verzahnungsfestigkeit wird auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt.

Für beim Baggervorgang aufgelockerte Kiessande wird der wirksame Reibungswinkel auf  $\phi'_k = 32^\circ$  abgemindert.

### **Spülsande**

Durch die Belastungsversuche wurde nachgewiesen, dass für die geplante Nutzung keine Setzungsfließgefahr der Spülsande besteht.

Die charakteristischen Bodenkennwerte in Tab. 9 wurden auf Grundlage der verschiedenen in den letzten 20 Jahren durchgeführten Felderkundungen und Laboruntersuchungen sowie in Übereinstimmung mit DIN 1055-2 /2.29/ abgeleitet (vgl. Abschnitt 3.6).

### **Kulturfähiger Boden / Auelehm**

Für die landwirtschaftlichen Nutzflächen wird kulturfähiger Boden aufgetragen. Dabei handelt es sich um den im Rahmen der Abraumbeseitigung abgetragenen Auelehm und Mutterboden. Beide Schichten werden zusammengefasst. Nach den Schichtenverzeichnissen wird für den Auelehm überwiegend eine steife Konsistenz angegeben. Die charakteristischen Bodenkennwerte in Tab. 10 wurden auf Grundlage der DIN 1055-2 /2.29/ für einen leicht plastischen Ton abgeleitet (Bodengruppe TL).

Im Werk II wurde der Auelehm im oberen Bereich der Nachbruchböschungen teilweise mit einer Höhe von mehr als 1 m freigelegt und steht dort über einen längeren Zeitraum nahezu senkrecht. Der kulturfähige Boden wird nur als Deckschicht verwendet. Die charakteristischen Bodenkennwerte in Tab. 10 sind somit als untere Grenze der Scherfestigkeit anzusehen.

**Tab. 10:** Charakteristische Bodenkennwerte kulturfähiger Boden

Bodenkennwert	Formel zeichen	Einheit	kulturfähiger Boden Mutterboden und Auelehm Bodengruppe TL, steif
Wichte erdfeucht	$\gamma_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20,0
Wichte wassergesättigt	$\gamma_{r,k}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20,0
Wichte unter Auftrieb	$\gamma'_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,0
Wirksamer Reibungswinkel	$\phi'_k$	[°]	22,5
Wirksame Kohäsion	$c'_k$	[kN/m <sup>2</sup> ]	5

### Liegendes

Im Liegenden wurden überwiegend schluffige Tone in steifer bis halbfester Konsistenz erbohrt (vgl. Abschnitt 3.3). Bodenmechanische Laborversuchsergebnisse liegen für das Liegende nicht vor. Die Liegendoberfläche ist überwiegend eben ausgebildet. Rutschungsbegünstigende Verhältnisse sind gemäß /2.18/ nicht zu erwarten. Für das Liegende werden auf Grundlage der DIN 1055-2 /2.29/ auf der sicheren Seite liegende charakteristische Bodenkennwerte für einen leicht plastischen Ton der Bodengruppe TL angesetzt (Tab. 11). Die reale Scherfestigkeit dürfte wesentlich größer sein.

**Tab. 11:** Charakteristische Bodenkennwerte Liegendes

Bodenkennwert	Formel zeichen	Einheit	Liegendes überwiegend steife bis halbfeste schluffige Tone
Wichte erdfeucht	$\gamma_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20,0
Wichte wassergesättigt	$\gamma_{r,k}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20,0
Wichte unter Auftrieb	$\gamma'_k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,0
Wirksamer Reibungswinkel	$\phi'_k$	[°]	22,5
Wirksame Kohäsion	$c'_k$	[kN/m <sup>2</sup> ]	7,5

## 7 Standsicherheitsuntersuchungen

### 7.1 Berechnungsmodell und Berechnungsfälle

Für den Neuaufschluss Werk V sind Standsicherheitsuntersuchungen erforderlich, um Vorgaben für den Gewinnungsprozess mit Nachbruchböschungen abzuleiten. Auf Basis weiterer Standsicherheitsuntersuchungen werden Vorgaben für die Verspülung und den Massenauftrag für die geplante Folgenutzung sowie für Endböschungen im Gewachsenen erstellt. Dafür werden die folgenden Berechnungsfälle untersucht:

- BF 1: Gewinnung im Nassschnitt
- BF 2: Natürliche Abflachung der Nachbruchböschungen
- BF 3: Massenauftrag Spülkörper
- BF 4: Endböschung Spülkörper mit landwirtschaftlicher Folgenutzung
- BF 5: Endböschung im Gewachsenen
- BF 6: Grundbruch landwirtschaftliche Folgenutzung auf Spülkörper

Die Bewertung einer möglichen Setzungsfließgefahr der Spülkippen erfolgt in Abschnitt 3.6.3. Auf Grundlage von Belastungsversuchen im Werk II, die bei technologisch und geotechnisch gleichen Spülkörpern durchgeführt wurden, wird festgestellt, dass für die geplante Folgenutzung im Uferbereich keine Verflüssigungsgefahr und damit auch keine Setzungsfließgefahr besteht. Für die landwirtschaftliche Folgenutzung besteht keine Gefahr eines Verflüssigungsgrundbruches (bei  $GOF \geq 89$  m NHN vgl. 3.6.3).

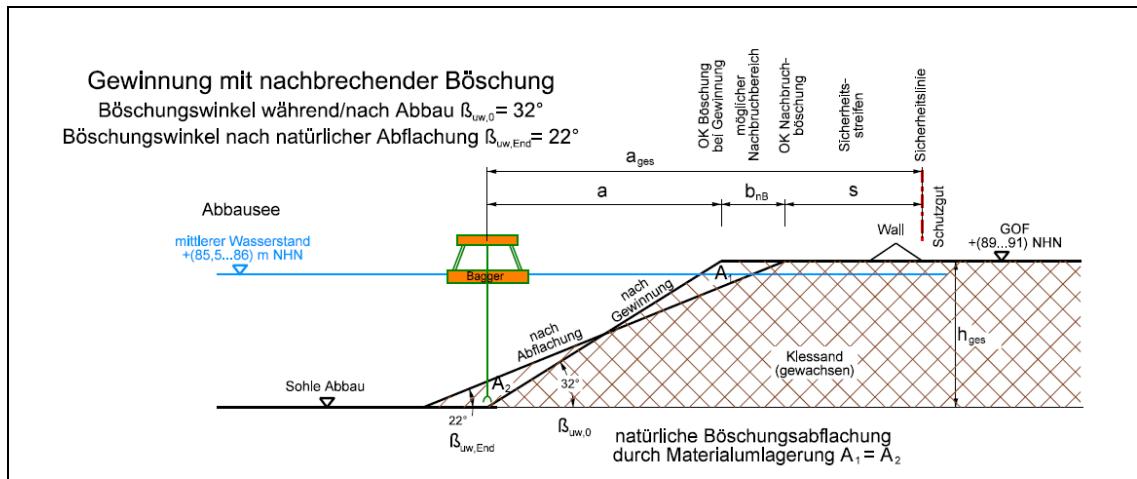
#### 7.1.1 BF 1 Gewinnung im Nassschnitt

Der Rohstoff soll im Werk V mit einem Schwimmgreiferbagger gewonnen werden. Der Rohstoff wird durch den Greifer diskontinuierlich am Böschungsfuß entnommen. Beim Gewinnungsprozess übersteilte Böschungen brechen nach, so dass der Rohstoff in Richtung Böschungsfuß verlagert wird. Während der Gewinnung stellen sich Böschungen im Grenzgleichgewicht ein, bei denen der Böschungswinkel  $\beta_{uw,0}$  dem Reibungswinkel des aufgelockerten Rohstoffes entspricht ( $\beta_{uw,0} = 32^\circ$ ). Der einzuhaltende Abstand zwischen dem letzten Gewinnungspunkt und den Schutzobjekten wird im Abschnitt 8.1 ermittelt und ist in Abb. 8 dargestellt.

**Im Berechnungsfall 1 werden Standsicherheitsuntersuchungen für die Schutzobjekte während der Gewinnung durchgeführt.**

Das Berechnungsprofil ist in den Anlagen 5.1 und 6.1 dargestellt. Es wird die maximale Abbautiefe von  $h_{ges} \approx 40$  m untersucht. Der Abstand  $a$  zwischen dem Gewinnungsgerät und der Oberkante der Gewinnungsböschung wird berechnet mit:

$$a = \frac{h_{ges}}{\tan \beta_{uw,0}}$$



**Abb. 8:** Ermittlung einzuhaltender Abstand zwischen Sicherheitslinie und Oberkante Gewinnungsböschung

### 7.1.2 BF 2 Gewinnungsböschung nach natürlicher Abflachung

Nach der Gewinnung stellen sich die Böschungen im Grenzgleichgewicht bei voller Ausnutzung der Scherfestigkeit mit einem Winkel  $\beta_{uw,0} \approx 32^\circ$  ein. Infolge von Massenumlagerungen unter Wasser findet eine natürliche Böschungsabflachung statt, die zu einem Rückgriff an der Böschungsoberkante führt. Gemäß den Auswertungen im Abschnitt 4 nimmt der Böschungswinkel dadurch auf  $\beta_{uw,End} \approx 22^\circ$  ab. Die Breite des nachbrechenden Streifens  $b_{NB}$  ist dabei von der Gesamthöhe der Böschung  $h_{ges}$  abhängig und kann nach folgender Formel ermittelt werden (vgl. Abb. 8):

$$b_{NB} = 0,5 \cdot h_{ges} \cdot \left( \frac{1}{\tan \beta_{uw,End}} - \frac{1}{\tan \beta_{uw,0}} \right)$$

**Im Berechnungsfall 2 werden Standsicherheitsuntersuchungen für die Schutzobjekte nach der natürlichen Abflachung der Unterwasserböschungen durchgeführt.**

Das Berechnungsprofil ist in Anlage 5.1 und Anlage 6.2 dargestellt.



### **7.1.3 BF 3 Massenauftrag Spülkörper**

In den Spülkörpern werden Sande aus der Kieswäsche bis zu einer Höhe von (1...2) m über den Wasserspiegel im Abbausee verspült (Höheniveau ca. 86,5 m NHN). Nach Abschluss der Verspülung ist nach Abschnitt 3.5 abschnittsweise ein Massenauftrag bis zur ursprünglichen Geländehöhe von (89...91) m NHN vorgesehen. Dafür wird Überschusssand aus der Aufbereitung und kulturfähiger Boden aufgetragen. Der Böschungsfuß wird in einer Höhe von 86,5 m NHN festgelegt. Die Böschungsneigung der Auffüllung beträgt 1 : 2. Um einer Erosion im Hochwasserfall vorzubeugen, ist im Bereich der Übergangsböschung kulturfähiger Boden mit einer Mächtigkeit von 1,0 m aufzubringen.

Die Vorgaben zum Massenauftrag sind in Anlage 5.2 und im Abschnitt 8.2 enthalten. Das Berechnungsprofil ist in Anlage 5.2 und Anlage 6.3 dargestellt.

**Im Berechnungsfall 3 werden Standsicherheitsuntersuchungen für die Arbeiten zum Massenauftrag auf den Spülkörpern durchgeführt.**

### **7.1.4 BF 4 Endböschung Spülkörper mit landwirtschaftlicher Folgenutzung**

Nach Abschluss der Wiedernutzbarmachung ist im Bereich der aufgefüllten Spülkörper eine landwirtschaftliche Folgenutzung vorgesehen. Ein Befahren der Uferböschungen wird durch einen Gehölzstreifen oder eine Verwallung verhindert.

**Im Berechnungsfall 4 werden Standsicherheitsuntersuchungen für die landwirtschaftliche Folgenutzung auf den aufgefüllten Spülkörpern durchgeführt.**

### **7.1.5 BF 5 Endböschungen im Gewachsenen**

Endböschungen im Gewachsenen entstehen am Nord-, West- und Südufer des Restsees. In der Wasserwechselzone ist im Höhenbereich (83,5...86,5) eine Böschungsneigung von 1 : 4 herzustellen. Dafür wird im Höhenniveau 86,5 m NHN eine Berme angelegt. Die angrenzende Übergangsböschung zum unverritzten Gelände ist mit einer Böschungsneigung von 1 : 2 zu gestalten. Im Ufer- und Böschungsbereich ist eine Folgenutzung für Zwecke des Naturschutzes und der Erholung vorgesehen. Das Berechnungsprofil ist in Anlage 5.3 und Anlage 6.5 dargestellt.

**Im Berechnungsfall 5 werden Standsicherheitsuntersuchungen für die Folgenutzung im Bereich der Endböschungen im Gewachsenen durchgeführt.**

### **7.1.6 BF 6 Grundbruch landwirtschaftliche Folgenutzung**

**Im Berechnungsfall 6 werden Standsicherheitsuntersuchungen zum Grundbruch bei der landwirtschaftlichen Folgenutzung auf dem aufgefüllten Spülkörper durchgeführt.**

Die Grundbruchsicherheit wird bei der minimalen Geländehöhe von +89,0 m NHN untersucht. Bei einer höheren Geländeoberfläche werden geringere Ausnutzungsgrade ermittelt. Auf der sicheren Seite liegend wird bei den Grundbruchberechnungen für den kulturfähigen Boden keine Kohäsion angesetzt.

## **7.2 Berechnungsverfahren**

Grundlage der Standsicherheitsuntersuchungen ist DIN EN 1997-1 (EC 7) in Verbindung mit DIN 1054. Die Böschungsstandsicherheit wurde mit Berechnungen zum Geländebruch nach DIN 4084 mit dem Programm GGU-Stability 11.02 mit dem Lamellenverfahren nach Bishop ermittelt. Geologisch vorgegebene Gleitflächen sind nicht vorhanden. Es wurden daher Gleitkörper mit kreisförmigen Gleitlinien untersucht. Die geringmächtigen Schluffschichten innerhalb der Nutzsicht sind nicht durchgehend ausgebildet und stellen keine vorgegebenen Gleitflächen dar.

Die Berechnungen zum Grundbruch im Berechnungsfall BF 6 erfolgten nach DIN 4017 mit dem Programm GGU-Footing 8.25 für die landwirtschaftliche Folgenutzung.

## **7.3 Bemessungssituation und Teilsicherheitsbeiwerte**

Die Standsicherheitsuntersuchungen für die temporär vorhandenen Gewinnungsböschungen im BF 1 und BF 2 sowie für den Massenauftrag im BF 3 werden in der Bemessungssituation BS-T durchgeführt, da es sich um vorübergehende Bauzustände handelt. Die Standsicherheit der Endböschungen in den Berechnungsfällen BF 4 und BF 5 wird in der Bemessungssituation BS-P untersucht, da nur ständige Einwirkungen aus Eigengewicht und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen vorhanden sind.

Das Bearbeitungsgebiet ist nach DIN EN 1998-1/NA keiner Erdbebenzone zugeordnet. Die Bemessungssituation BS-E ist daher nicht zu untersuchen.

Die Berechnungen erfolgen nach DIN 1054 im Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit GEO-3 mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tab. 12.

**Tab. 12:** Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 in der Bemessungssituation BS-P und BS-T im Grenzzustand GEO-3

Einwirkung bzw. Bodenkenngroße	Formelzeichen	Teilsicherheitsbeiwert	
		BS-P	BS-T
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G$	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,30	1,20
Reibungsbeiwert $\tan \phi'$ des dränierten Bodens	$\gamma_{\phi'}$	1,25	1,15
Kohäsion $c'$ des dränierten Bodens	$\gamma_{c'}$	1,25	1,15

Die Grundbruchberechnungen erfolgten nach DIN 1054 im Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Baugrund (GEO-2) mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tab. 13.

**Tab. 13:** Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 in der Bemessungssituation BS-P im Grenzzustand GEO-2

Einwirkung bzw. Bodenkenngroße	Formelzeichen	Teilsicherheitsbeiwert
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G$	1,35
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,50
Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,v}$	1,40
Reibungsbeiwert $\tan \phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1,00
Kohäsion $c'$ des dränierten Bodens	$\gamma_{c'}$	1,00

Für den Nachweis der Standsicherheit werden der Bemessungswert der Einwirkungen  $E_d$  und der Bemessungswert der Widerstände  $R_d$  ermittelt. Eine ausreichende Standsicherheit ist nachgewiesen, wenn gilt:

$$\text{Ausnutzungsgrad: } \mu = E_d / R_d \leq 1,0$$

## **7.4 Lastannahmen für veränderliche Einwirkungen**

### **7.4.1 Lastannahmen im Bereich der Schutzobjekte**

Für Verkehrslasten wird im Bereich der Schutzobjekte auf der sicheren Seite liegend eine Ersatzlast von 60 t auf einer Grundfläche von 6,0 m x 3,0 m als Flächenlast mit  $p_k = 33,3 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Damit werden sowohl Lasten aus dem Straßenverkehr als auch mögliche Lasten aus Erdbaumaßnahmen oder Materialtransport mit Dumper berücksichtigt.

### **7.4.2 Uferbereiche Spülkörper**

Die Uferbereiche der geplanten Spülkörper im Werk V sollen für die Folgenutzung Naturschutz und Erholung entwickelt werden. Ein Begehen der Uferbereiche durch Personen oder ein Befahren mit leichten Fahrzeugen kann nicht ausgeschlossen werden. Ein Befahren durch größere Fahrzeuge, z. B. PKW, wird durch die Geländegestaltung ausgeschlossen (Verwallung oder Gehölzstreifen).

Für die Uferbereiche der Spülkörper wird als veränderliche Einwirkung eine Ersatzflächenlast  $p_k = 5 \text{ kN/m}^2$  auf einer Breite von 2,0 m angesetzt, mit der Einwirkungen durch Personen und leichte Fahrzeuge erfasst werden.

### **7.4.3 Massenauftrag auf Spülflächen**

Auf dem Spülkörper ist ein Massenauftrag bis zum Höhengniveau von (89...91) m NHN für eine spätere landwirtschaftliche Nutzung geplant. Die Auftragsmassen werden mit Dumper antransportiert, im Höhengniveau  $\geq 88,0 \text{ m NHN}$  abgekippt und mittels Radlader oder Planierraupe verteilt.

Für den Radlader oder die Planierraupe wird als Ersatzlast eine Belastung entsprechend SLW 30 und für den Dumper eine Ersatzlast entsprechend SLW 60 angesetzt:

Radlader (SLW 30):  $p_k = 16,7 \text{ kN/m}^2$ , Abstand 0,5 m zur Böschungsoberkante

Dumper (SLW 60):  $p_k = 33,3 \text{ kN/m}^2$ , Abstand 2,0 m zur Böschungsoberkante.

### **7.4.4 Landwirtschaftliche Nutzflächen**

In Teilbereichen des geplanten Spülkörpers im Werk V ist eine landwirtschaftliche Nutzung vorgesehen, nachdem die Flächen aufgefüllt und mit kulturfähigem Boden überdeckt wurden (Höhe  $\geq 89,0 \text{ m NHN}$ ).

Als Ersatzlast für Einwirkungen aus der landwirtschaftlichen Nutzung wird eine Ersatzflächenlast  $p_k = 16,7 \text{ kN/m}^2$  auf einer Breite von 3,0 m angesetzt (SLW 30 mit einer Lastfläche von 3,0 m x 6,0 m). Der Abstand zur Böschungskante beträgt mindestens 1,0 m.

## 7.5 Bemessungswasserstand

Die zu erwartenden Wasserstände im Kieselsee Werk V wurden im Abschnitt 3.4 erläutert. Bei den Standsicherheitsberechnungen wurden die folgenden Wasserstände berücksichtigt:

- mittlere Niedrigwasserstand: 83,5 m NHN
- Mittelwasser: 84,7 m NHN
- mittlerer Hochwasserstand: 88,5 m NHN

Bei extremem Hochwasser (HQ 200) ist das Gebiet vom Hochwasser gefährdet. Da in diesem Fall keine Verkehrslasten aus einer Nutzung wirken, wurde das Extremhochwasser nicht gesondert untersucht.

## 7.6 Berechnungsergebnisse

In der nachfolgenden Tab. 14 sind die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen zusammengefasst, die in Anlage 6 für einen mittleren Wasserstand von 84,7 m NHN dokumentiert sind.

**Tab. 14:** Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

BF	Anlagen-Nr.	Ausnutzungsgrad $\mu$ [-] für Wasserstand [m NHN]			Bewertung
		83,5	84,7	88,5	
BF 1	6.1	0,75	0,74	0,73	BS-T, standsicher
BF 2	6.2	0,65	0,64	0,63	BS-T, standsicher
BF 3	6.3	0,77	0,77	0,83	BS-T, standsicher
BF 4	6.4	0,82	0,78	0,82	BS-P, standsicher
BF 5	6.5	0,68	0,68	0,68	BS-P, standsicher

In allen Berechnungsfällen wurde mit einem Ausnutzungsgrad  $\mu \leq 1,0$  eine ausreichende Böschungsstandsicherheit nachgewiesen.

In der nachfolgenden Tab. 15 sind die Ergebnisse der Grundbruchberechnungen zusammengefasst, die in Anlage 6.6 für den Bemessungswasserstand im Hochwasserfall von +88,5 m NHN dokumentiert sind.

**Tab. 15:** *Ergebnisse der Berechnungen zur Grundbruchsicherheit*

BF	Anlagen-Nr.	Ausnutzungsgrad $\mu$ [-] für Wasserstand [m NHN]			Bewertung
		83,5	84,7	88,5	
BF 6	6.6	0,12	0,12	0,18	BS-P, standsicher

Mit einem Ausnutzungsgrad  $\mu \leq 1,0$  wurde eine ausreichende Grundbruchsicherheit nachgewiesen.

## 8 Schlussfolgerungen

### 8.1 Vorgaben zur Gewinnung

Die Vorgaben zur Gewinnung sind in Anlage 5.1 dargestellt. Bei der Gewinnung ist zwischen dem letzten Gewinnungspunkt und dem Schutzobjekt ein Gesamtabstand  $a_{\text{ges}} = a + b_{\text{NB}} + s$  einzuhalten, der folgende Teilabstände enthält:

- 1) Baggerabstand  $a$  (vgl. Abschnitt 7.1.1)
- 2) Nachbruchbreite  $b_{\text{NB}}$  (vgl. Abschnitt 7.1.2)
- 3) Sicherheitsabstand  $s$  (siehe Tab. 17)

Der Gesamtabstand  $a_{\text{ges}}$  ist in Abhängigkeit von der gesamten Höhe der Gewinnungsböschung mit den Zahlenwerten der Tab. 16 und Tab. 17 zu bilden. Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

**Tab. 16:** Abstand zwischen Sicherheitslinie und Gewinnungsgerät (letzter Gewinnungspunkt)

Böschungshöhe $h_{\text{ges}}$ [m]	Baggerabstand $a$ [m]	Nachbruchbreite $b_{\text{NB}}$ [m]	Sicherheitsabstand $s$ [m]	Gesamt- abstand [m] $a_{\text{ges}} = a + b_{\text{NB}} + s$
10,0	16,0	4,4	siehe Tab. 17	20,4 + $s$
15,0	24,0	6,6	siehe Tab. 17	30,6 + $s$
20,0	32,0	8,7	siehe Tab. 17	40,7 + $s$
25,0	40,0	10,9	siehe Tab. 17	50,9 + $s$
30,0	48,0	13,1	siehe Tab. 17	61,1 + $s$
35,0	56,0	15,3	siehe Tab. 17	71,3 + $s$
40,0	64,0	17,5	siehe Tab. 17	81,5 + $s$

**Tab. 17:** Sicherheitsabstände in Abhängigkeit vom Schutzobjekt

Schutzobjekt	Sicherheitsabstand $s$ [m]
Betriebsfahrwege für Unterhaltungsarbeiten und Massentransporte	10 m
Bauverbotszone entlang der Landesstraßen L 663 und L 671 (20 m zum äußeren Rand der Fahrbahn)	20 m (40 m Abstand zum Fahrbahnrand)
Gewässerlauf „Alte Elbe bei Mühlberg“	20 m
Schutzzone der Ferngasleitung „Ontras“ (Breite 8,0 m)	30 m

Die Sicherheitsabstände der Tab. 17 wurden bereits bei der Abbauplanung in Anlage 1 berücksichtigt. Unter Ansatz der aufgeführten Sicherheitsabstände wurde im Abschnitt 7 eine ausreichende Böschungsstandsicherheit nachgewiesen.

Arbeiten sind nur bis zur Sicherheitslinie zulässig. Der Nachbruchbereich darf weder betreten noch befahren werden.

## 8.2 Geländegestaltung im Bereich der Spülkörper

Im Bereich der Spülkörper sollen für eine landwirtschaftliche Folgenutzung Massen aufgetragen und mit kulturfähigem Boden im Höhenniveau (89...91) m NHN überdeckt werden. Das Regelprofil zum Massenauftrag ist in Anlage 5.2 dargestellt.

Für den Massenauftrag und die Geländegestaltung gelten die folgenden Vorgaben:

- 1) Oberkante der Verspülung und Böschungsfuß des Massenauftrags bei ca. 86,5 m NHN,
- 2) Böschungsneigung der Übergangsböschung beim Massenauftrag 1 : 2, Überdeckung der Übergangsböschung mit kulturfähigem Boden (Abraum, Auelehm) mit einer Mächtigkeit von ca. 1,0 m,
- 3) **Massentransport mit Dumper auf OK Aufschüttung**  
Abstand zur Böschungskante mindestens 2 m,  
Höhe der Arbeitsebene  $\geq$  87,5 m NHN,
- 4) **Verteilung der Massen mit Radlader oder Raupe**  
Abstand des Fahrwerkes zur Böschungskante mindestens 0,5 m,  
Höhe der Arbeitsebene  $\geq$  87,0 m NHN,  
lagenweiser Masseneinbau mit Schütthöhen von höchstens 0,50 m,  
Verdichtung der aufgetragenen Überschusssande durch Überfahrten mit Radlader/Raupe,  
keine Verdichtung des kulturfähigen Bodens.

Unter Beachtung der aufgeführten Vorgaben wurde im Berechnungsfall BF 3 eine ausreichende Böschungsstandsicherheit nachgewiesen.

Bei der Verspülung entsteht oberhalb des Wasserspiegels ein flach geneigter Spülkörper (Spülstrand). Der Böschungsfuß des Massenauftrages liegt bei 86,5 m NHN. Dadurch bleibt ein ca. 18 m breiter Streifen auf dem Spülkörper mit flacher Neigung der Geländeoberfläche erhalten (Bezug Mittelwasser ca. 84,7 m NHN, vgl. Profil in Anlage 5.2). In diesem Bereich kann sich ein Röhrichtgürtel und ggf. eine Weichholzzone



entwickeln. Durch die flache Neigung im Höhenbereiche von ca. (84,7...86,5) m NHN und den Bewuchs wird eine größere Erosion durch Wellenschlag verhindert.

Die Böschungen sind auch für die spätere landwirtschaftliche Nutzung standsicher (Berechnungsfall BF 4). Im Berechnungsfall BF 6 wurde eine ausreichende Grundbruchsicherheit nachgewiesen. Bei der geplanten Folgenutzung besteht keine Verflüssigungsgefahr (vgl. Abschnitt 3.6.3).

### **8.3 Gestaltung der Endböschungen im Gewachsenen**

Nach Abschluss der Gewinnung verbleiben zunächst Trockenböschungen mit einem mittleren Böschungswinkel von ca. 60° (Nachbruchböschungen). Im Rahmen der Wiedernutzbarmachung sind diese Böschungen abzuflachen. Ein Regelprofil enthält Anlage 5.3. Für die Gestaltung der Endböschungen im Gewachsenen gelten die folgenden Vorgaben:

- 1) Anlegen einer Arbeitsebene (Berme) in einer Höhe von ca. 86,5 m NHN durch Materialabtrag,
- 2) Herstellen einer Böschungsneigung von 1 : 4 im Höhenbereich (83,5...86,5) m NHN durch Materialabtrag,
- 3) Herstellen einer Übergangsböschung zum angrenzenden Gelände mit einer Neigung von 1 : 2,
- 4) Herstellen eines Randwalls an der Böschungsoberkante und Begrünung der Übergangsböschung.

Für die so gestalteten Endböschungen im Gewachsenen wurde eine ausreichende Standsicherheit nachgewiesen. Im Ufer- und Böschungsbereich ist eine Folgenutzung für Zwecke des Naturschutzes und der Erholung vorgesehen.

Die Unterwasserböschungen werden sich auf eine standsichere Böschungsneigung von ca. 22° abflachen. Im Höhenbereich (83,5...86,5) m NHN werden flache Böschungen mit einer Neigung von 1 : 4 hergestellt. In diesem Bereich kann sich durch Sukzession ein Röhrichtgürtel und ggf. eine Weichholzzone entwickeln. Dadurch wird eine Erosion durch Wellenschlag vermindert.

In geringem Umfang sind Umlagerungen im Wellenschlagbereich möglich, die in Abhängigkeit vom Bewuchs zu Stufenbildungen mit kleineren Abrisskanten führen können. Für eine naturnah gestaltete Böschung können natürliche Erosionsprozesse nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Gesamtstandsicherheit der abgeflachten Trockenböschungen wird dadurch nicht beeinträchtigt

Die Übergangsböschung zwischen der Berme bei ca. 86,5 m NHN und dem unverritzten Gelände bei ca. 90 m NHN wird mit einer Neigung von 1 : 2 ausgeführt. Die Übergangsböschung wird begrünt. Dadurch wird eine Erosion durch Wellenschlag im Hochwasserfall vermindert.

An der Böschungsoberkante wird ein ca. 0,3 m hoher Randwall angelegt. Dadurch wird verhindert, dass Oberflächenwasser aus dem angrenzenden Gelände über die Böschung abfließt (Schutz gegen Erosion durch Oberflächenwasser).

Bei extremen Hochwässern HQ 200 ist das Gebiet vom Hochwasser gefährdet (vgl. Abschnitt 3.4). Durch das Überströmen der Böschungen können in diesem Fall Geländeveränderungen durch Erosion und Kolkbildung eintreten, die auch bei natürlichen Böschungen z.B. an Totarmen zu erwarten sind. Solche Vorgänge sind somit typisch für naturnahe Böschungen im Überflutungsraum der Elbe. Nach extremen Hochwässern HQ 200 sind ggf. Maßnahmen zur Geländewiederherstellung erforderlich.

## **9 Zusammenfassung**

Die Elbekies GmbH plant den Neuaufschluss des Kiessandtagebaus Werk V in Mühlberg. Die nutzbaren Kiese und Sande sollen im Nassabbau mit Schwimmgreiferbagger gewonnen werden.

Im Zuge der Gewinnung werden Sande abgetrennt und direkt verspült. Es ist geplant, die Spülflächen im Osten den Endböschungen im Gewachsenen vorzulagern und einer landwirtschaftlichen Folgenutzung zuzuführen. Dafür werden die Spülflächen mit kulturfähigem Boden etwa bis zur Höhe des Urgeländes überdeckt.

Der unmittelbare Uferbereich soll überwiegend für die Folgenutzung Naturschutz entwickelt werden (natürliche Sukzession mit anschließendem Gehölzstreifen). Durch die Geländegestaltung und den Bewuchs wird ein Befahren des unmittelbaren Uferbereichs verhindert.

Für die unterhalb des Seewasserstandes sedimentierten Spülsande wird eine lockere Lagerung erwartet. Daher war im Rahmen des vorliegenden Standsicherheitsnachweises die mögliche Gefahr einer Bodenverflüssigung zu bewerten. Im bestehenden Werk II und Werk IV wurden dafür umfangreiche Untersuchungen und dynamische Belastungsversuche an Spülkörpern durchgeführt. Hinsichtlich der geotechnischen Eigenschaften bestehen zwischen den im Werk II und Werk IV vorhandenen Spülkörpern keine Unterschiede zu den geplanten Spülkörpern im Werk V, da die Sande die gleiche geologische Herkunft besitzen und unter gleichen technologischen Bedingungen abgetrennt und abgelagert werden. Für den Nachweis, ob die Gefahr einer Bodenverflüssigung bei der geplanten Nutzung besteht, wurden im Werk II Belastungsversuche aus-

geführt. Im Ergebnis der Belastungsversuche wird festgestellt, dass für die geplante Folgenutzung im Uferbereich keine Verflüssigungsgefahr und damit auch keine Setzungsfließgefahr besteht. Nach dem Massenauftrag ist eine Initialwirkung aus der landwirtschaftlichen Nutzung, die bis zu den locker gelagerten Spülsanden reicht, auch im Hochwasserfall ausgeschlossen. Die Gefahr eines Verflüssigungsgrundbruches besteht nicht.

Für die Gewinnung, die Geländegestaltung im Bereich der Spülkippen und für Endböschungen im Gewachsenen wurden Vorgaben aufgestellt, um die geotechnische Sicherheit zu gewährleisten. Im Rahmen der Standsicherheitsuntersuchungen wurde mit den folgenden Berechnungsfällen eine ausreichende Böschungsstandsicherheit nachgewiesen, wenn die aufgeführten Vorgaben eingehalten werden:

- BF 1: Gewinnung im Nassschnitt
- BF 2: Natürliche Abflachung der Nachbruchböschungen
- BF 3: Massenauftrag Spülkörper
- BF 4: Endböschung Spülkörper mit landwirtschaftlicher Folgenutzung
- BF 5: Endböschung im Gewachsenen
- BF 6: Grundbruch landwirtschaftliche Folgenutzung auf Spülkörper

Der vorliegende Standsicherheitsnachweis gilt zeitlich unbegrenzt für die beschriebenen hydrologischen, geotechnischen und technologischen Bedingungen. Bei maßgeblichen Änderungen ist eine erneute Überprüfung erforderlich.