

**Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee
(ehemaliger Tagebau Werminghoff I)
gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Bereich D Ost – Nacherkundung der Kippenverhältnisse**

Objekt: TO 050 Tagebaurestloch Knappensee

Lage: Freistaat Sachsen
Landkreis Bautzen

Auftraggeber: LMBV mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
Tel. 03573 84-0

Auftragnehmer: **ARGE Werminghoff**

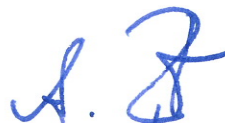
G.U.B. Ingenieur AG	BIUG GmbH
- Hauptniederlassung Zwickau -	Freiberg
Katharinenstraße 11	Weisbachstraße 6
08056 Zwickau	09599 Freiberg
Tel.: 0375 27175-0	Tel.: 03731 2601-0
Fax: 0375 27175-1299	Fax: 03731 2601-23
E-Mail: info@gub-ing.de	info@biug-geotechnik.de
Internet: www.gub-ing.de	www.biug-geotechnik.de

Projekt-Nr.: ZWG 12 0792

Zwickau, 08.01.2014



.....
Dipl.-Ing. H. Pretzlaff
vom Sächsischen Oberbergamt
anerkannter Sachverständiger für Geotechnik



.....
Dipl.-Ing. A. Rother

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
Deckblatt		
Titelblatt		
Inhaltsverzeichnis		
Anlagenverzeichnis		
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	6
2	Arbeitsunterlagen	7
3	Grundlagen der Bearbeitung	8
3.1	Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebietes	8
3.2	Geologische Situation	8
3.3	Frühere Entwicklung des Tagebaues Werminghoff I im Untersuchungsbereich	9
3.4	Frühere Erkundungsmaßnahmen und -ergebnisse	10
3.5	Nacherkundungsmaßnahmen 2013	11
4	Untersuchungsergebnisse	13
4.1	Beschreibung der angetroffenen Untergrundverhältnisse	13
4.2	Bewertung der Felduntersuchungen	14
4.3	Bewertung der Laboruntersuchungen	14
5	Zusammenfassende Bewertung der Situation	16

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Regionaler Übersichtslageplan
 M 1 : 10 000
- Anlage 2 Geologische Karte
- Anlage 3 Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten,
 Profillinien, Sperrbereichsgrenzen und Liegenschaften
 M 1 : 2 000
- Anlage 4 Uferprofile IST – Zustand
 M 1 : 500
- Anlage 5 Ergebnisse Altuntersuchungen
- Anlage 5.1 Lageplan Bereich D Ost, Erkundungspunkte 1986 - 2012
 M 1 : 2000*
- Anlage 5.2 Rammsondierungen, Drucksondierungen
 Ergebnisse von Felduntersuchungen am Restloch Knappensee 1986*
- Anlage 5.3 Drucksondierungen, Rammkernsondierungen, Kornverteilungen
 aus Standsicherheitsuntersuchungen, Mai 2000*
- Anlage 5.4 Rammsondierungen,
 Standsicherheitsuntersuchungen, 31.08.2005*
- Anlage 5.5 Rammsondierungen,
 Geotechnische Planung D Ost, 31.07.2012*
- Anlage 6 Protokolle der Ramm- und Rammkernsondierung, Erkundung 2013
- Anlage 7 Schichtenverzeichnisse der Rammkernsondierungen
- Anlage 8 Fotodokumentation Rammkernsondierungen
- Anlage 9 Korngrößenverteilung
- Anlage 10 Form- und Texturanalyse

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aufschlüsse Altekundungen	10
Tabelle 2:	Bestimmung Korngrößenverteilung	14

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch die unkontrollierte Flutung des Restloches des ehemaligen Braunkohlentagebaues Werminghoff I. Als Folge dieser unplanmäßigen Beendigung der Tagebautätigkeit sind fast in sämtlichen Uferbereichen Kippenflächen verblieben.

Mit der Unterlage zur Prüfung der Erforderlichkeit [4] erfolgte im Februar 2013 auf der Grundlage der zu erwartenden Betroffenheiten eine erneute Untersuchung der Notwendigkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen. Mit dieser Untersuchung wurde die Handlungsnotwendigkeit an den Uferbereichen des Knappensees wiederholt nachgewiesen, da die konkrete Gefahr eines Schadensereignisses grundsätzlich besteht.

Im Rahmen eines Vor-Ort-Termins mit der Bürgerinitiative Knappensee, dem Sächsischen Oberbergamt, der LMBV und den Vertretern des Sächsischen Landtages am 18.10.2013 wurde eine Nacherkundung der Kippenverhältnisse im Bereich D Ost abgestimmt. Den Anlass gaben Aussagen der Bürgerinitiative Knappensee, die Zweifel an den bestehenden Kippenverhältnissen, im Speziellen am Verlauf der Grenze zwischen Kippe und Gewachsenem haben.

Für die Erkundung und Bewertung der Kippenverhältnisse wurde die ARGE Werminghoff mit [2] beauftragt.

Folgender Umfang wurde für die Ausführung vereinbart:

- Erkundung der Bodenverhältnisse mittels Ramm- und Rammkernsondierungen an 22 Sondierpunkten,
- Prüfung der Kornverteilung des angetroffenen Kippenmaterials an fünf repräsentativen Proben,
- Untersuchung der Kornform an einer repräsentativen Probe,
- Darstellung der geotechnischen IST-Situation,
- Bewertung der angetroffenen Situation.

2 Arbeitsunterlagen

- [1] Aufforderung zur Erweiterung des Erkundungsumfanges, Email v. LMBV mbH an ARGE Werminghoff,
LMBV mbH,
15.11.2013
- [2] Aufforderung zur Vorlage Erkundungskonzept für Nacherkundung, im Rahmen der Planungsbesprechung vom 24.10.2013,
LMBV mbH
- [3] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Prüfung der Geeignetheit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
02.08.2013
- [4] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Nachweis der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
18.02.2013
- [5] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees - Standsicherheitseinschätzung, Band 1, Band 2 und Band 3
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
14.08.2008 und 15.01.2009
- [6] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee
1. Nachtrag
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
31.08.2005
- [7] Standsicherheitsuntersuchung, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
Mai 2000
- [8] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen,
LMBV mbH
Stand Dezember 1998
- [9] Ergebnisbericht über geotechnische Voruntersuchungen für West-, Südufer, Inselbereiche und Bereich Jugendtouristikhôtel des Knappensees bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
05.08.1987
- [10] Geologisches Gutachten über die Durchlässigkeits- und Lagerungsverhältnisse im Deckgebirge der Grube Werminghoff, Kreis Hoyerswerda,
Dr. Hermann Foerster,
1939

3 Grundlagen der Bearbeitung

3.1 Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebietes

Der Knappensee befindet sich südöstlich von Hoyerswerda, östlich von Wittichenau zwischen den Ortslagen Maukendorf, Koblenz und Groß Särchen. Die Gemarkungen sind dem Landkreis Bautzen und somit dem Freistaat Sachsen zugehörig. Teilbereiche des Gebiets sind als Landschaftsschutzgebiet Knappensee ausgewiesen.

Der See sowie die angrenzenden Böschungen und Landflächen stellen ein im Jahre 1945 geflutetes Tagebaurestloch dar. Die Wasserfläche beträgt ca. 260 ha bei einem Wasserstand von $H_w = +125,5$ m NHN.

Der Knappensee besitzt eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 2,1 km und ist zwischen 0,8 km und 2,1 km breit. Die westlichen, nördlichen und östlichen im Hinterland liegenden Böschungen sind überwiegend bewaldet. Am gewachsenen Südrand des Sees liegen die Ortschaften Groß Särchen und Koblenz, die durch die Kreisstraße K 9219 verkehrstechnisch miteinander verbunden sind. Entlang der südwestlichen bis westlichen Seite des Sees verläuft die Bundesstraße B 96. Östlich bzw. nordöstlich des Knappensees verläuft die Kreisstraße Koblenz - Knappenrode (K 9207). Nördlich des Knappensees liegt die Ortschaft Maukendorf.

Der Untersuchungsbereich D Ost befindet sich am Südufer des Restlochgewässers Knappensee. Der Abschnitt wird begrenzt:

- im Nordosten durch den Teilbereich G,
- im östlichen Hinterland durch das Gewachsene mit der Ortslage Koblenz,
- im Nordwesten durch die Wasserfläche und
- im Südwesten durch den Teilbereich E 1.

Im Abschnitt D Ost befinden sich an den Grenzen zu den anderen Uferbereichen zwei Zuflüsse zum Knappensee. Diese sind der Koblenzer Graben im Nordosten und der MTS - Graben im Südwesten.

3.2 Geologische Situation

Das Bearbeitungsgebiet liegt in der südlichen Randzone des Lausitzer Urstromtales als Teil des Breslau - Magdeburger Urstromtales. Am Standort bilden das Präkambrium des Lausitzer Blockes sowie granitische Gesteine das prätertiäre Grundgebirge. Die tertiären Ablagerungen beginnen mit den überwiegend aus Tonen und Schluffen bestehenden Schuttfächersedimenten der Spremberger Schichten. Darauf lagern die Schichten der Unteren Briesker Folge. Der darauf folgende 1,5 m bis 2 m mächtige Liegendenschluff des 2. Lausitzer Flözes ist kohlig, tonig ausgebildet und stellt in den ausgekohlten Tagebaubereichen den Liegendstauer für den in Kippen gebildeten Grundwasserleiter dar.

Das tertiäre Deckgebirge selbst wurde im Pleistozän überwiegend abgetragen und durch quartäre Sedimente (Sande, Tone, Geschiebemergel und Lehm) ersetzt. Dabei entstanden pleistozäne Rinnensysteme, die die Kohlefelder in ihrer Ausdehnung begrenzen und großräumig die hydrogeologischen Verhältnisse bestimmen. Im Bearbeitungsbereich ist dies im Westen die Maukendorfer, im Osten die Koblenzer und im Norden die Hoyerswerda – Weißkollmer – Rinne.

Das Deckgebirge war im Mittel durch folgende geologische Verhältnisse bestimmt [10]:

- 6 m bis 12 m mächtige Talsande,
- 0,5 m bis 4,5 m mächtige interglaziale Ablagerungen,
- bis 5 m mächtige grundmoränenartige Bildungen und
- örtlich tertiäre Ablagerungen.

Durch die Wechsellagerung von wasserdurchlässigen Grobsanden, schwachdurchlässigen Feinsanden und undurchlässigen Tonen und Mergeltonen ist die Wasserdurchlässigkeit des natürlichen Deckgebirges in vertikaler Richtung als gering durchlässig einzustufen.

Das Liegende des abgebauten Kohleflözes wurde in Höhenniveaus von + 96,00 m NHN bis ca. + 101,00 m NHN angetroffen.

Neben den ursprünglichen geologischen Verhältnissen hat die Tagebau- und Versturztechnologie einen entscheidenden Einfluss auf die gegenwärtigen Untergrundverhältnisse im Untersuchungsbereich.

Für die Kippen am Knappensee ist festzustellen, dass die aus dem Tagebau Werminghoff II stammenden Abraummassen (Hochkippe) einen durchschnittlich größeren Feinkornanteil besitzen als die Abraummassen aus dem Tagebau Werminghoff I (Brückenskippe, Außenkippe Maukendorf). Ein höherer Anteil feinkörnigen Materials im Tagebau II resultierte aus Toneinlagerungen im Tiefschnitt. Durch die Kombination von Hoch- und Tiefbagger erfolgte eine zwangsläufige Mischung der sandigen und tonigen Materialien.

3.3 Frühere Entwicklung des Tagebaues Werminghoff I im Untersuchungsbereich

Der Aufschluss des Tagebaues Werminghoff I erfolgte im Jahre 1915. Nach einer durch den 1. Weltkrieg verursachten Unterbrechung der Arbeiten wurden 1917 Abraumbetrieb und Kohleförderung aufgenommen und bis zum Auslaufen des Tagebaues im Jahre 1944 fortgeführt.

Der Abbau entwickelte sich im Schwenkbetrieb anfänglich nach Süden. Der Drehpunkt lag dabei an der nordöstlichen Begrenzung des Tagebaues. Parallel zum Kohleabbau wurde in den ausgekohlten Feldesteilen Abraum verkippt. Er wurde ab 1929 mittels AFB (Abraumförderbrücke) in Form einer Innenkippe verbracht. Ab 1935 erfolgten Versturz und Verspülen von Massen des östlich des Bearbeitungsgebietes neu aufgeschlossenen Tagebaues Werminghoff II.

Der ab 1929 durchgeführte AFB-Kippenbetrieb schwenkte um einen südwestlich des heutigen Restloches D/F gelegenen Drehpunkt von West nach Ost und querte den Untersuchungsbereich in den Jahren 1935 bis 1937. Im Jahre 1937 war der westliche Teil des Tagebaues Werminghoff I ausgekohlt.

Strossenparallel zur südlichen Tagebaugrenze verblieb im Bereich des Teilbereiches D Ost das Restloch B. Dieses Restloch B wurde ebenfalls durch eine Spülkippe verfüllt. Die Einspülung erfolgte in mehreren Abschnitten und unter differenzierten Randbedingungen. Anhand der Altunterlagen ist ersichtlich, dass Massen einer Rutschung im Jahre 1941 in das Restloch B flossen. In den Altunterlagen (nach [9]) ist weiterführend angemerkt, dass zur Zeit der Einspülung von Kippenmaterial aus dem Tagebau Werminghoff II der Wasserstand im Restloch B bereits im Niveau bis 110 m über NN lag. Von der Tagebaukante aus erfolgte die Auffüllung der Spülkippe bis zum vorhandenen Niveau mittels einer Hand- bzw. Trockenkippe. Hierfür wurde ebenfalls Abraum des Tagebaues Werminghoff II verkippt.

Die Handkippe erstreckt sich dabei in nördlicher Richtung bis über die heutige Uferlinie hinaus.

Die Entwässerung des Tagebaues erfolgte über Entwässerungsstrecken, die innerhalb des Kohleflözes aufgefahen wurden. Im Untersuchungsabschnitt D wurden verschiedene Verwahrungsetappen zur Gefahrenabwehr aus nicht versetzten Entwässerungsstrecken durchgeführt.

3.4 Frühere Erkundungsmaßnahmen und -ergebnisse

Die Untersuchungen der Kippenverhältnisse am Knappensee erfolgten unter verschiedenen Zielstellungen über mehrere Erkundungsetappen. Die historischen Abläufe zu den Erkundungsleistungen sind ausführlich in [4] aufgeführt.

Die erste grundlegende Untersuchung und Bewertung der Kippen- und Standsicherheitsverhältnisse der Südufer am Knappensee erfolgte mit [9] im Jahre 1987. Für diese Bewertung wurden 1986 im Bereich D Ost insgesamt 12 Rammsondierungen, drei Schürfe und eine Drucksondierung ausgeführt.

Mit der Neubewertung der geotechnischen Situation [7] wurden 1999 zwei Rammkernsondierungen und eine Drucksondierung zur Ergänzung ausgeführt. Im Jahre 2005 wurden zwei Rammsondierungen im Uferbereich ergänzt.

In folgender Tabelle sind die Erkundungsaufschlüsse in Bezug zu ihrer Quellenlage aufgeführt:

Tabelle 1: Aufschlüsse Alterkundungen

Bezeichnung im Übersichtsplan	Unterlage (Quelle)	Sondiermethode
306/86	[9]	Rammsondierung (SRS)
308/86	[9]	Rammsondierung (SRS)
309/86	[9]	Rammsondierung (SRS)
403/86	[9]	Drucksondierung
506/86	[9]	Schurf
507/86	[9]	Schurf
508/86	[9]	Schurf
717/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
717a/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
718/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
719/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
719a/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
720/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
721/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
721a/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
721b/86	[9]	Rammsondierung (LRS)
421/99	[7]	Drucksondierung
819/99	[7]	Rammkernsondierung
820/99	[7]	Rammkernsondierung
5a/2005	[6]	Rammsondierung (LRS)
5b/2005	[6]	Rammsondierung (LRS)
RS D1/2008	[5]	Rammsondierung (LRS)

*SRS = Schwere Rammsonde, LRS = Leichte Rammsonde

Mit der Planungsdurchführung der Gefahrenabwehrmaßnahmen im Bereich D Ost wurden 17 Rammsondierungen zur Verdichtung der Erkenntnisse am Koblenzer Graben ergänzt.

Die Sondierprotokolle der Altuntersuchungen sind Anlage 5 zu entnehmen.

Die Ausführungen bzw. Bewertungen der in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen zeigen eine auf einer ehemaligen Tagebauberme aufgelagerte Handkippe mit lockerer Lagerung. Weiterführend wurde darauf verwiesen, dass diese lockere Kippe über die Uferlinie reichend im Unterwasserbereich vorhanden ist. Unterhalb der Handkippe steht eine Spülkippe an, die bis mitteldicht und partiell auch dicht gelagert sein kann. Jedoch nehmen ab einer Teufe von 11 m die Lagerungsdichten ab, so dass die Spülkippe im Sohlbereich des Restloches B wiederum als locker gelagerte Kippe charakterisiert werden kann. Das anstehende Material der Hand- und Pflugkippe kann dem Tagebau Werminghoff II zugeordnet werden.

Die Untersuchung des oberflächlich anstehenden Kippenmaterials im gesamten Planungsbereich D zeigt eine überwiegend sandige Zusammensetzung mit runder Kornform und mit Feinkornanteilen zwischen 10 % bis 30 %. Jedoch liegen die feinkörnigen Bestandteile nicht kontinuierlich sondern als Klumpen bzw. Fraktionen vor.

Die Sondierergebnisse der Erkundungen im Bereich des Koblenzer Grabens zeigen generell im Teufenbereich von 0,0 m bis ca. 6,0 m - 7,0 m eine lockere bis sehr lockere Kippe. Die vorhandene Tagebauberme kann in einem Tiefenniveau von 121,0 m NHN bis 120,0 m NHN nachgewiesen werden. Die Grenze Gewachsen/Verkippt ist bezüglich der Schlagzahlen und Dichteverhältnisse scharf ausgebildet. Die Rammsondierungen nördlich der Tagebauberme zeigen im Bereich des Koblenzer Grabens die ca. 7,0 m mächtige Pflugkippe und unterlagernd die AFB-Kippe. In einem Teufenniveau von größer 15,0 m Tiefe können im Bereich des ehemaligen Restloches B eingespülte Massen mit einer dichteren Lagerung als die der AFB-Kippe anhand der Erkundungsergebnisse vermutet werden. Jedoch weisen die Lagerungsdichten keine mitteldichten Verhältnisse auf.

3.5 Nacherkundungsmaßnahmen 2013

Für die Erkundung der Kippenverhältnisse wurden 22 Sondierpunkte in sechs Profilen vorgesehen. Zusätzlich wurden die Baugrundverhältnisse an fünf Sondierpunkten mittels Rammkernsondierung abgeschlossen.

Jeder Sondierpunkt wurde vermessungstechnisch bezüglich Lage und Ansatzhöhe erfasst.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit mit bisherigen Untersuchungsergebnissen am Knappensee wurden die Rammsondierungen als Leichte Rammsondierung DPL – 5 ausgeführt. Die Sondierungen wurden bei Nachweis von gewachsenem Boden (RKS) oder deutlichem Anstieg der Schlagzahlen N_{10} (= Anzahl der Schläge für 10 cm Eindringtiefe) abgebrochen.

Die in den Sondierprofilen in Richtung Hinterland letzten und vorletzten Ansatzpunkte sind nach Kenntnisstand des aktuell gültigen Risswerkes (bzw. Aufnahme Obere Abraumkante) beidseitig der Oberen Abraumkante angeordnet. Bei nicht eindeutigen Nachweis des Gewachsenen wurden zusätzliche Sondierpunkte angesetzt. Dies war bei der Erkundung in zwei Profilen der Fall.

Aus dem Kernmaterial der Rammkernsondierungen wurden bei Ansprache von Kippenmaterial entsprechende Rückstellproben entnommen. Zur Charakterisierung des Kippenmaterials wurden an vier Rückstellproben die Korngrößenverteilung und an einer repräsentativen Probe der Rundungsgrad der Körner bestimmt. Für die Kornverteilung wurden zur Beurteilung der Verflüssigungsgefährdung Schluffbrocken, soweit vorhanden, in Form von Pseudokorn entfernt. Damit kann die Kornmatrix entsprechend ihrer Gefährdung im Kornspektrum (Spektrum der setzungsfließgefährdeten Kippenmaterialien im Korngrößendiagramm) aussagefähig beurteilt werden.

Die Kernaussage wurde fotografisch dokumentiert, siehe Anlage 8.

Die Feldleistungen selbst wurden als öffentliche Veranstaltung durchgeführt, so dass jederzeit anwesende Personen die Arbeiten sehen und verfolgen konnten.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Beschreibung der angetroffenen Untergrundverhältnisse

An sechs Profilen wurden die Untergrundverhältnisse nacherkundet.

Im Bereich des Campingplatzes können bis zu einer Tiefe von ca. 8 m Kippenmaterialien nachgewiesen werden. Das Material besteht aus einem enggestuften Mittel- bis Feinsand, der schluffig ausgebildet sein kann. Die Farbvarietäten reichen von hellgelb, gelbbraun bis gräulich und zeigen die auch in den Altuntersuchungen angetroffenen Varietäten der Kippenmaterialien auf. Lokale Schluffbrocken und Kohlestückchen unterstreichen den Sachverhalt, dass es sich um verkippte Massen handelt. Die Schluffbrocken aber auch die gräuliche Ausbildung zeigen, dass es sich wohl um Materialien handelt, die aus dem Tagebau Werminghoff II antransportiert und hier verkippt wurden.

Die Rammkernsondierungen, die im natürlich abgelagertem Boden angesetzt wurden, zeigen deutlich eine Wechsellagerung aus Fein-, Mittel- bis Grobsanden mit Schluffen und Tonen in Meter- bis Dezimeterabständen. Bei der Erkundung konnte auch im unverritzten Gelände der oberste Meter bis max. 1,5 m als anthropogen beeinflusst (Auffüllung) charakterisiert werden. Der Unterschied zwischen Kippenmaterialien und Gewachsenem ist deutlich ausgeprägt und konnte bei der Kernansprache entsprechend definiert werden. In der Darstellung der Aufschlüsse der Rammkernsondierungen sind die Kippenmaterialien zur Verdeutlichung mit der Bezeichnung „Kippe“ gekennzeichnet.

Zum Zeitpunkt der Erkundungsleistungen lag der Wasserspiegel im Knappensee bei ca. +124,2 m NHN. Im Rahmen der Durchführung der Rammkernsondierungen wurde der Wasseranschnitt dokumentiert. Im Anstrombereich (Gewachsenes) konnte mit RKS 32 ein Wasserstand am 25.11.2013 mit +126,0 m NHN nachgewiesen werden. In den sich unmittelbar anschließenden Kippenbereichen betragen die Wasserstände ca. +125,2 m NHN bis +125,5 m NHN. Generell konnte ein Einfallen des Grundwasser- bzw. Kippenwasserspiegels vom Hinterland in Richtung See erkundet werden.

Mit den Rammsondierungen wurden die Lagerungsverhältnisse der vorhandenen Lockergesteinsschichten erkundet. Schlagzahlen der Rammsondierungen bis ca. $N_{10} = 10 \dots 15$ zeigen für die vorhandenen Kippenmaterialien lockere bis sehr lockere Lagerungsverhältnisse. Wobei zu beachten ist, dass mit zunehmender Tiefe (ca. > 8 m) die Schlagzahlen auch durch eine ansteigende Gestängereibung beeinflusst werden. In den natürlich abgelagerten Sanden (Gewachsenes) steigen die Schlagzahlen über $N_{10} = 30$ an. Die zwischengelagerten Schluffschichten mit bis zu weicher, breiiger Konsistenz können aber auch geringere Schlagzahlen zeigen. In den Rammsondierungen kann durch einen sprunghaften Anstieg der Schlagzahlen N_{10} die Grenze zwischen verkippten und gewachsenem Material erkannt werden. Dies bestätigen auch die Sondierpunkte, bei denen parallel Rammkern- und Rammsondierungen durchgeführt wurden. Aus diesem Grund waren auch wie geplant nicht an allen Punkten Rammkernsondierungen ausgeführt, da der Nachweis der Unterschiede im Lagerungsverhalten zwischen gekipptem und gewachsenem Material am Standort ausreichend mittels Rammsondierungen erfolgen kann.

Die Kippenverhältnisse im Bereich zwischen Ufer und O.A. (Obere Abraumkante) zeigen oberflächennah mit Tiefen bis ca. 2,0 m lokale Verdichtungen. Darunter sowie mit Anschnitt des Grundwassers fallen die Schlagzahlen deutlich bis zu $N_{10} \leq 1$ ab (siehe RS 30, RS 33, RS 34, RS 38, RS 43, RS 45, RS 46). In diesen Bereichen werden bereits durch die Rammsonde lokale Verflüssigungen ausgelöst. Es werden somit wassergesättigte Kippenmaterialien mit ausgeprägt lockeren Lagerungsdichten nachgewiesen. In Summe zeigen die Sondierungen in diesem Bereich über ihre Teufe bis zum Übergang zum natürlichen Untergrund lockere bis sehr lockere Lagerungsverhältnisse. Die erkundeten Verhältnisse bestätigen, dass Verkippungen mit geringen Versturzhöhen in Form von Hand- oder Pflugkippen erfolgten. Die ehemalige Tagebauberme und damit die die Handkippe unterlagernde Grenze zum Gewachsenen zeichnet sich in einer Tiefe von ca. +118,0 m NHN bis +121 m NHN ab.

Die Kippenmächtigkeiten steigen ufernah an. Folglich befindet sich in diesem Bereich im Untergrund das Böschungssystem zum Kohleflöz und Tagebauliegenden. Deren streichender Verlauf ist im Risswerk durch die Freilegungsgrenze der Kohle ersichtlich.

Auch die im unmittelbaren Uferbereich angeordneten Sondierpunkte (RS 30, RS 35, RS 40, RS 50) weisen in Tiefen bis ca. 6,0 m lockere Lagerungsverhältnisse und somit die Handkippe nach. Darunter steigen die Schlagzahlen auf bis ca. $N_{10} = 20$ und somit die Lagerungsdichten an. Die Messwerte repräsentieren damit wie in den Altunterlagen verzeichnet ([4]) eine unterlagernde Spülkippe mit bis zu mitteldichter Lagerung. Unterhalb 10 m Tiefe sind weitere Anstiege der Schlagzahlen zu verzeichnen, die auf dichte Lagerungsverhältnisse schließen lassen. Diese Messwerte werden durch eine teufenbedingte Zunahme der Gestängereibung beeinflusst.

4.2 Bewertung der Felduntersuchungen

Im Uferbereich bis zur laut Risswerk definierten Oberen Abraumkante bzw. Grenze Kippe / Gewachsenes stehen lockere bis sehr locker gelagerte Kippenmaterialien an. Die Verhältnisse sind stark heterogen ausgeprägt. Neben der Verteilung der Mittel- bis Feinsande treten, bedingt durch die Verkippungstechnologie, unregelmäßig verteilt Schluffbrocken auf.

In einigen Profilen wurden auch Kippenmaterialien über die im Risswerk verzeichnete Grenze Kippe / Gewachsenes hinaus erkundet. In diesen Fällen konnte über zusätzlich angeordnete Sondierpunkte der Verschiebungsbetrag der Kippengrenze auf $< 5,0$ m nachgewiesen werden. Begründet könnten diese Verhältnisse in der Tatsache sein, dass der 1. Abraumschnitt bzw. die sich landseitig an die Tagebauberme anschließende Böschung nach den Erkundungsergebnissen ursprünglich einen Böschungswinkel von $\beta \approx 50^\circ$ aufwies. Zwischen Einmessung der Oberen Abraumkante und nachfolgender Verkippung lag ein größerer Zeitraum, so dass Erosionserscheinungen an der ursprünglichen Böschungskante der Oberen Abraumgrenze nicht auszuschließen sind. Daneben sind auch Vertiefungen in der ursprünglichen Geländemorphologie denkbar. Bei der späteren Verkippung mittels Zugbetrieb wurden Vertiefungen und Erosionsrinnen an den Verkippungsbereichen technologiebedingt aufgefüllt.

Die Felduntersuchungen bestätigen die vorliegenden und im Rahmen der Untersuchung zur Erforderlichkeit [4] aufgeführten Verhältnisse bezüglich der Gefahr von Gefährdungen gegenüber Setzungsfließen. Über die Felduntersuchungen hinaus erfolgten im Rahmen der Nacherkundungen Laboruntersuchungen, deren Ergebnisdarstellung und Bewertung im Kapitel 4.3 erfolgen.

4.3 Bewertung der Laboruntersuchungen

Zur Einschätzung der Kippenverhältnisse und der Setzungsfließgefahr der vorhandenen Kippenmaterialien wurde an fünf repräsentativen Proben die Korngrößenverteilung bestimmt.

Tabelle 2: Bestimmung Korngrößenverteilung

Sondierpunkt	Probe	Entnahmetiefe	Bodengruppe
RKS 33	33-2	2,4 m – 4,0 m	SU*
	33-3	4,0 m – 6,0 m	SU
RKS 34	34-1	0,2 m – 2,7 m	SU*
RKS 39	39-2	2,6 m – 6,5 m	SU
RKS 44	44-1	0,2 m – 3,6 m	SU

Die untersuchten Materialien können den Bodengruppen SU und SU* zugeordnet werden.

Die Ergebnisse der Korngrößenermittlung sind in Anlage 9 aufgeführt. Für die Darstellung wurde zusätzlich eine Probe „Lohsaer Sand“ aus dem Tagebau Lohsa (AK Bärwalde) aufgeführt.

Der Verlauf der Korngrößenverteilung zeigt die ausgeprägte enge Abstufung der Mittel- bis Feinsande. Die Verteilungskurven befinden sich nahezu vollständig im Kornspektrum für setzungsfließempfindliche Sande. Die Feinkornanteile der untersuchten Materialien schwanken zwischen 8 % bis 25 %.

Weiterhin ist an den Kurven der Korngrößenverteilungen sehr gut ersichtlich, dass die angetroffenen Materialien der Referenzprobe des Lohsaer Sandes gleichen. Abweichungen sind nur für Proben mit etwas höheren Feinkornanteilen ersichtlich.

Die Untersuchungen zeigen, dass unterschiedliche Kippenvarietäten in kurzen Abständen anzutreffen sind und unterstreichen den heterogenen Aufbau der Kippe im Abschnitt D Ost.

Zur Untersuchung der Kornform wurde an der Probe 33-3 die Kornform und Kornrauhigkeit bestimmt. Die Kornform ist mit einem Rundungskoeffizient $RK = 0,88$ der Gruppe der gut gerundeten Körner zuzuordnen. Die Kornoberfläche ist mehrheitlich glatt bis poliert. Beide Eigenschaften erhöhen die Gefährdung des wassergesättigten Materials bezüglich Verflüssigungsprozessen und somit Setzungsfließen.

Die Laborversuche bestätigen die Aussagen der Untersuchung zur Erforderlichkeit [4] zum Bereich D Ost.

5 Zusammenfassende Bewertung der Situation

Im Rahmen der Nacherkundung wurden im Allgemeinen die Aussagen der Unterlage [4] bestätigt.

Die Kriterien für das Eintreten eines Setzungsfließens werden in Prüfung der Ergebnisse der Nacherkundung erfüllt:

- Die Körnungslinien der vorhandenen Kippenmaterialien liegen nahezu vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Es können aber in Einzelproben auch Materialien mit Feinkornanteilen bis zu 25 % angetroffen werden.
- Im Bereich der Arbeitsberme / Handkippe sind im wassergesättigten Bereich lockere bis sehr lockere Lagerungsverhältnisse vorhanden. Spülkippen mit höheren Lagerungsdichten treten erst in größeren (6 m bis 10 m) Tiefen auf.
- Die Kippenmaterialien bestehen überwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass aufgrund der Kornform Verflüssigungen begünstigende Verhältnisse vorhanden sind.
- Initialeinwirkungen als Auslöser für Verflüssigungen können am Standort in vielfältiger Weise auftreten. Betrachtungen hierzu wurden grundlegend in [4] geführt.

Im Ergebnis der aufgeführten Kriterien kann die Setzungsfließgefahr für den Bereich D Ost bestätigt werden.

Die Lage der im Risswerk verzeichneten Oberen Abraumkante wird abgesehen von vermutlich erosionsbedingten geringfügigen Verlagerungen in das Hinterland durch die Ergebnisse der Nacherkundung bestätigt.