

Hinweis zur Veröffentlichung

Die vorliegende Unterlage zur Geeignetheit von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappen-see wurde für die Veröffentlichung bezüglich folgender Aspekte nachbearbeitet:

Bearbeiterangaben

Bearbeiterangaben wurden aus Gründen des Datenschutzes unkenntlich gemacht und mit XXXX versehen.

Sämtliche Rückfragen zur Unterlage sind entweder an die Lausitzer- und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) in Senftenberg oder an das Sächsische Oberbergamt (SächsOBA) in Freiberg zu stellen. Auskünfte zur vorliegenden Unterlage können somit mündlich oder schriftlich nur durch die LMBV oder das SächsOBA erteilt werden.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Deckblatt	
Titelblatt	
Inhaltsverzeichnis	
Anlagenverzeichnis	
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	8
2 Arbeitsunterlagen	10
2.1 Allgemeine Unterlagen	10
2.2 Risswerk und Karten	10
2.3 Gesetze, Richtlinien	10
2.4 Unterlagen zu Standsicherheitsuntersuchungen, Standsicherheitsverhältnissen, Gutachten und Planungen	11
2.5 Unterlagen zur Tagebauentwicklung	21
2.6 Unterlagen zu Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen	21
2.7 Unterlagen zu Labor- und Feldprüfungen	23
2.8 Fachspezifische Literatur und sonstige Unterlagen	25
3 Bearbeitungsgebiet	28
3.1 Lage und Beschreibung	28
3.2 Vorhandene Nutzung	29
4 Bergbauliche Entstehungsgeschichte des Knappensees	31
4.1 Tagebauentwicklung	31
4.2 Rutschungen	32
5 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse	34
5.1 Frühere geologische Verhältnisse	34
5.2 Kippenverhältnisse und -zusammensetzung	35
5.3 Hydrogeologische Verhältnisse	36
6 Allgemeinverständliche Darstellungen der geotechnischen Grundlagen	38
6.1 Standsicherheit von Kippenböschungen	38
6.2 Verflüssigungsvorgänge	38
6.2.1 Spannungsverhältnisse im Porenraum	38
6.2.2 Spannungsverhältnisse im Verflüssigungsfall	40
6.2.3 Vollständige Verflüssigung	41
6.2.4 Teilverflüssigung	41
6.2.5 Stoffeigenschaften von zur Verflüssigung neigenden Lockergesteinen	41

6.3	Setzungsfließen und Verflüssigungsgrundbruch	43
6.4	Aktueller Entwicklungsstand der Bewertung von Kippen	43
7	Erkundungs- und Untersuchungsprogramme	45
7.1	Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 1982/1983	45
7.2	Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 1987	46
7.3	Schwingungsmessungen	47
7.4	Baugrunderkundungen	48
7.5	Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 2000	49
7.6	Gefrierkernentnahme und -untersuchung, Belastungsversuche, 2001/2002	51
7.7	Erkundung- und Verwahrung von Altstrecken 1977 und 2006 / 2007	53
7.8	Feld- und Laboruntersuchungen 2005	53
7.9	Feld- und Laboruntersuchungen 2008	54
7.10	Felduntersuchungen 2009	54
7.11	Felderkundungen 2012	55
8	Geotechnische Verhältnisse	56
8.1	Geschichtlicher Abriss / Chronologie der Untersuchungen / Maßnahmen	56
8.2	Standsicherheitsuntersuchungen	57
8.2.1	Standsicherheitsuntersuchungen der 1950er Jahre	57
8.2.2	Standsicherheitsuntersuchungen der 1980er Jahre	58
8.2.3	Analyse der geotechnischen Situation 1995	61
8.2.4	Bewertung von Schwingungsmessungen 1995	63
8.2.5	Standsicherheitsuntersuchungen 2000	63
8.2.6	Standsicherheitseinschätzung 2005	64
8.2.7	Standsicherheitseinschätzungen der Kippentiefen	67
8.2.8	Standsicherheitseinschätzungen im Rahmen der geotechnischen Vorplanung 2008/2009	68
8.2.9	Entwurfs- und Genehmigungsplanung 2011 / 2012	69
8.3	Altbergbausituation (Entwässerungsstrecken)	70
8.4	Bereichsweise Bewertung der geotechnischen Verhältnisse und der Standsicherheit	70
8.4.1	Nordbereich – Bereich U	70
8.4.2	Nordostbereich – Bereich T	72
8.4.3	Ostbereich – Bereich S	73
8.4.4	Südostbereich – Bereich G	75
8.4.5	Bereich F	76
8.4.6	Südbereich (Ostteil) – Bereich D Ost	77
8.4.7	Südbereich (Mittlerer Teil) –E 1 und E 2	77
8.4.8	Südbereich (Mittlerer Teil) – Bereich D Mitte	78
8.4.9	Südbereich (Westteil) – Bereich D West	78

8.4.10	Westbereich – Bereich A und B Nord	79
8.4.11	Westbereich – Bereich B Süd	81
8.4.12	Inseln – Bereich C	81
9	Durchgeführte Sicherungsmaßnahmen und deren Ergebnisse, Verhaltensvorgaben	82
9.1	Verhaltensvorgaben vor der Sanierung des Steilufers	82
9.2	Sanierung des Steilufers	83
9.3	Hydromechanische Abflachungen	85
9.4	Vorgesehene Maßnahmen 1988 und Anpassung der Verhaltensanforderungen	86
9.5	Sanierung des Restloches 0815/1 und Sicherung der südlichen Uferbereiche	87
9.6	Verifizierung der Verhaltensanforderungen durch Schwingungsmessungen im Bereich G, 1996	88
9.7	Verhaltensanforderungen im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen 2000	88
9.8	Verhaltensanforderungen im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen 2005	89
9.9	Maßnahmen in Kippentiefen und an kleineren Restlöchern	90
9.10	Sicherung des Campingplatzes am Nordufer 2006	90
9.11	Schutz der Inseln gegen Betreten (Schutzgrabenbaggerung)	91
9.12	Ufersicherung Bereich E	91
9.13	Sofortmaßnahmen 2011	91
10	Rahmenbedingungen und Grundlagen der Standsicherheitsuntersuchungen	97
11	Gesamtgefährdungsbewertung und Zusammenfassung	102

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtslageplan
 M 1 : 25 000
- Anlage 2: Lageplan
 Übersicht zu den Bereichen
 M 1 : 5 000
- Anlage 3: Ausschnitt aus der Geologischen Specialkarte des Königreiches Sachsens
 und Beiblatt zur Schichtenfolge
 Section Königswartha-Wittichenau N ^o 22
 Geologische Aufnahme 1890
 M 1 : 25 000
- Anlage 4: Übersicht
 Abbaustände Tagebau Werminghoff I
 M 1 : 25 000
- Anlage 5: Lageplan
 Kippen und Rutschungen
 M 1 : 5 000
- Anlage 6: Lageplan
 Hydrologische Endsituation (Hydroisohypsen) und Grundwasserflurabstände
 M 1 : 5 000
- Anlage 7.1: Teillageplan Nord
 Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten
 und Liegenschaften
 M 1 : 2 000
- Anlage 7.2: Teillageplan Süd
 Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten
 und Liegenschaften
 M 1 : 2 000

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gegenwärtige bereichsweise Nutzungssituation (übernommen aus [2.4.66], teilweise ergänzt)	30
Tabelle 2:	Ergebnisse des Erkundungs- und Untersuchungsprogrammes 1987	47
Tabelle 3:	Rechenwerte des Kippenmischbodens	51
Tabelle 4:	Berechnungskennwerte aus [2.7.15]	52
Tabelle 5:	Abschätzung Verflüssigungsneigung des Knappensees aus [2.4.36]	64
Tabelle 6:	Wirksamkeit von Initialen für Setzungsfliessen aus [2.4.50]	65
Tabelle 7:	Berechnungskennwerte Standsicherheitsuntersuchung [2.4.66]	68
Tabelle 8:	Ergebnisse von Standsicherheitsberechnungen zur Ermittlung erforderlicher erdfeuchter Überdeckungen $h_{\text{erdf.,erf.}}$ bei unterschiedlich großen Verkehrslasten (Berechnungen mittels SLOPE/W) [2.4.66]	69
Tabelle 9:	Maßnahmen Operativstab Knappensee	83
Tabelle 10:	Verhaltensanforderungen auf Grundlage der Gestaltungskonzeption Ostufer 1983 und nach Sanierung des Steiluferbereiches 1986	85
Tabelle 11:	Verhaltensanforderungen auf Grundlage der Standsicherheitseinschätzung vom 25.04.1988 [2.4.23]	87
Tabelle 12:	Bewertung der Maßnahmen für die Hochkippe - Feriensiedlung Knappensee	92
Tabelle 13:	Bewertung der Maßnahmen für den Bereich der Hotelanlage Haink	93
Tabelle 14:	Bewertung der Maßnahmen für den Bereich Bungalowsiedlung Maukendorf	93
Tabelle 15:	Bewertung der Maßnahmen für die Kreisstraße K 9207 / K 6407	94
Tabelle 16:	Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsbereiche am Knappensee hinsichtlich ihrer Verflüssigungsgefährdung	102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipdarstellung der Spannungen im Umfeld des Porenraums ([2.4.78])	39
Abbildung 2:	Darstellung des Zusammenhangs zwischen totalen (σ) und wirksamen (σ') Spannungen und dem Porendruck u (Beziehung nach Terzaghi)	39
Abbildung 3:	Korngrößenverteilung von zur Verflüssigung neigenden Sanden	42

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch die unkontrollierte Flutung des Restloches des ehemaligen Braunkohlentagebaues Werminghoff I im Zuge von Hochwasserereignissen. Als Folge dieser unplanmäßigen Beendigung der Tagebautätigkeit sind fast in sämtlichen Uferbereichen Kippenflächen verblieben. Bereits ab den 1950er Jahren wurden davon ausgehende Gefahren erkannt und Lösungsmöglichkeiten betrachtet. Grundlegende Untersuchungen der geotechnischen Verhältnisse der gekippten Uferböschungen und ihres Hinterlandes erfolgten bereichsweise in mehreren Erkundungskampagnen beginnend in den Jahren 1982/1983.

In Anbetracht der bekannten Gefahr wurden in der Vergangenheit immer wieder Maßnahmen ergriffen, die zur Minderung der Gefährdung führen sollten. Diese Maßnahmen wurden dabei immer unter dem Aspekt der zum damaligen Zeitpunkt vorhandenen technologischen Möglichkeiten durchgeführt und konnten eine umfassende Beseitigung der Gefahr nicht erreichen. Erst mit technologischen Entwicklungen nach dem Jahre 1990 stehen Sicherungsmethoden zur Verfügung, die eine umfassende und nachhaltige Gefahrenabwehr ermöglichen. Auf Grundlage dieser Entwicklungen erfolgten ab den 1990er Jahren Standsicherheitsbetrachtungen, die letztendlich in grundlegenden Planungen zur Gefahrenabwehr mündeten.

Für das Tagebaurestgewässer Knappensee liegen "Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees (Tagebau Werminghoff)-SE" [2.4.66] vom 14.08.2008 vor, die eine komplexe Sanierungskonzeption beschreiben. In dieser Planungsunterlage sind die geotechnischen Erfordernisse von Sicherungsmaßnahmen und die planerischen Rahmenbedingungen definiert. Diese Planungsleistungen wurden bis Januar 2013 im Rahmen von Entwurfs- und Genehmigungsplanungen [2.4.85, 2.4.87 bis 2.4.89] von Uferabschnitten des Knappensees unter der Beteiligung von Trägern öffentlicher Belange weitergeführt.

Für eine aktuelle Prüfung der Definition der Gefährdung wurde die ARGE Werminghoff mit [2.1.1] und [2.1.2] aufgefordert, die Erforderlichkeit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen in einem eigenständigen Dokument darzustellen und fachlich zu begründen. Zielstellung ist es dabei fachlich belastbar nachzuweisen, dass gegenwärtig am Knappensee ein geotechnischer Zustand vorliegt, der bei ungehindertem Ablauf mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden der Schutzgüter der öffentlichen Ordnung und Sicherheit führen würde.

Folgende Schwerpunkte werden mit dieser Aufgabenstellung betrachtet:

1. Beschreibung der bergbaulichen Entstehungsgeschichte des Knappensees,
2. Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und deren zeitlicher Entwicklung (u.a. Grundwasserwiederanstieg),
3. Allgemeinverständliche Darstellung der geotechnischen Grundlagen zur Standsicherheit von Böschungen, Grundbruch und Setzungsfließen,
4. Zusammenstellung und Auswertung der vorliegenden Gutachten zu den geotechnischen Verhältnissen am Knappensee,
5. Zusammenstellung der bisher durchgeführten Maßnahmen,
6. Bewertung der Ergebnisse aus 4. und 5. unter Berücksichtigung aktueller Erfahrungen mit geotechnischen Ereignissen und des aktuellen Standes der Wissenschaft und der Ableitung des weiteren Handlungsbedarfes,
7. Zusammenfassung und Fazit in Bezug auf die Gefährdungssituation und die Erforderlichkeit von Maßnahmen (keine Diskussion der Maßnahmen selbst oder der Geeignetheit, nur das grundsätzliche Erfordernis).

Für die genannte Aufgabenstellung wurden mehr als 150 Quellen (Gutachten, Dokumente etc.) gesichtet, bewertet und bezüglich der nachfolgend aufgeführten Kategorien gegliedert:

- Bergbauliche Entstehungsgeschichte,
- Geologische und hydrogeologische Verhältnisse,
- Erkundungs- und Untersuchungsprogramme und
- Geotechnische Verhältnisse (Standsicherheitsuntersuchungen und bereichsweise Bewertung der geotechnischen Situation).

Im Rahmen der Bearbeitung wurden dabei die vorhandenen Unterlagen und Gutachten chronologisch geordnet aufgeführt.

Die dargestellten und zitierten Unterlagen haben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, charakterisieren jedoch die Kernpunkte der fachlichen und geotechnischen Abläufe zu Standsicherheitsbetrachtungen, Erkundungs- und Laboruntersuchungen sowie durchgeführten Maßnahmen am Knappensee. Ebenso spiegelt der vorliegende Umfang an Unterlagen die Komplexität der bestehenden geotechnischen Verhältnisse wider. Sichtbar wird dabei der ständige Konflikt der vorhandenen Nutzung mit dem bestehenden Gefahrenpotential, der die Betrachtung von Lösungsmöglichkeiten der geotechnischen Probleme über den historischen Ablauf bis zum heutigen Stand hin begleitet.

2 Arbeitsunterlagen

2.1 Allgemeine Unterlagen

- [2.1.1] Abruf zur Erarbeitung des Nachweises der Erforderlichkeit,
LMBV mbH
2013
- [2.1.2] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Aufgabenstellung zum Nachweis der
Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen,
Sächsisches Oberbergamt,
17.10.2012

2.2 Risswerk und Karten

- [2.2.1] Bergmännisches Risswerk,
LMBV mbH,
01 / 2012
- [2.2.2] Ergebnisse von Lotungen im Bereich des Tagebaurestgewässers Knappensee,
LMBV mbH,
2008
- [2.2.3] Übersichtskarte Knappensee (mit Liegenschaftsangaben), M 1 : 5.000, von der LMBV
Sanierungsbereich Lausitz, zuletzt bearbeitet am 10.01.2012
- [2.2.4] Geologische Specialkarte des Königreichs Sachsens,
Section Königswartha – Wittichenau N^o 22
Geologische Aufnahme 1890
M 1 : 25 000

2.3 Gesetze, Richtlinien

- [2.3.1] Bundesberggesetz (BBergG),
13.08.1980, zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 9.12.2012
- [2.3.2] Anordnung über Halden und Restlöcher (HaldeRIAnO) vom
02.10.1980, fortgeltendes Recht der DDR gemäß Einigungsvertrag (EinigVtr)
vom 31.8.1980
- [2.3.3] Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung –
ABBergV) vom
23.10.1995
- [2.3.4] Richtlinie Geotechnik
Sächsisches Oberbergamt
01.08.1997

- [2.3.5] Richtlinie Setzungsfließen
Sächsisches Oberbergamt
21.09.1999
- [2.3.6] Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über bergrechtliche Zuständigkeiten (Zuständigkeitsverordnung BBergG – BergZustVO), vom
21.12.2004
- [2.3.7] Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage (Richtlinie Geotechnik),
10.03.2005
- [2.3.8] Verordnung des Sächsischen Oberbergamtes über die Bergaufsicht unterliegenden Betriebe, Tätigkeiten und Einrichtungen (Sächsische Bergverordnung – SächsBergVO), vom
16.07.2009
- [2.3.9] Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes zur Anerkennung von Sachverständigen (Sachverständigenrichtlinie), vom
06.09.2009
- [2.3.10] Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlrVO), vom
20.02.2012

2.4 Unterlagen zu Standsicherheitsuntersuchungen, Standsicherheitsverhältnissen, Gutachten und Planungen

- [2.4.1] Bodenuntersuchungen der einzelnen Erdschichten der Tagebaue Werminghoff I und II
Dr. Krämer
24.10.1938
- [2.4.2] Geologisches Gutachten über die Durchlässigkeits- und Lagerungsverhältnisse im Deckgebirge der Grube Werminghoff, Kreis Hoyerswerda
Dr. H. Förster
1939
- [2.4.3] Gutachten über das Hochwasser-Rückhaltebecken – Tagebau I, Werminghoff zwischen Maukendorf und Groß-Särchen, Krs. Hoyerswerda (Abschrift)
Prof. K. Kegel
09.08.1949
- [2.4.4] Gutachten über den Dammbau für den Hochwasserspeicher Werminghoff, Krs. Hoyerswerda (Abschrift)
Ohde, J., TH Dresden
03.02.1950
- [2.4.5] Gutachterliche Äußerung zur Standfestigkeit des Ufergeländes für das Hochwasser-Rückhaltebecken Werminghoff (Knappenrode) (Abschrift)
Ohde, J., Forschungsanstalt für Schifffahrt, Gewässer- und Bodenkunde
24.06.1950

- [2.4.6] Gutachten über die Standsicherheit des Ufergeländes des Hochwasserspeichers Knappenrode, Kreis Hoyerswerda (Abschrift)
Scheidig, A. & J. Bley Beratende Ingenieure für das Bauwesen
10.10.1950

- [2.4.7] Bergschadenkundliche Analyse des ehemaligen Braunkohlenwerkes „Werminghoff“ bei Groß Särchen, Bergsicherung Cottbus
Dezember 1980

- [2.4.8] Ergänzung zur Bergschadenkundlichen Analyse „Werminghoff“
Bergsicherung Cottbus
September 1983

- [2.4.9] Vorläufige Standsicherheitseinschätzung Tagebaurestloch Knappensee
Prof. W. Förster
10.05.1982

- [2.4.10] Grobkonzeption
zur Sanierung des Steilkippenbereiches Knappensee
Bergsicherung Cottbus
28.12.1983

- [2.4.11] Standsicherheitseinschätzung in Ergänzung zur Einschätzung vom 10.05.1982
Prof. W. Förster
15.04.1983

- [2.4.12] Protokoll zur Beratung zur Standsicherheitseinschätzung und sich daraus ergebender
Schlußfolgerungen für die weitere Nutzung des Knappensees am 22.08.1983
Rat des Bezirkes Cottbus, Bezirksplankommission
24.08.1983

- [2.4.13] Gutachten zur Sanierung des Steiluferbereiches am Ostufer des Restloches Knappensee
Prof. W. Förster & M. Walde
30.11.1983

- [2.4.14] Bodenmechanische Stellungnahme zum großtechnischen Versuch „Abspülen am Steilufer-
bereich Knappensee“
Prof. W. Förster
14.10.1984

- [2.4.15] Ergänzung zur bodenmechanischen Stellungnahme zum großtechnischen Versuch „Abspü-
len am Steiluferbereich Knappensee“ v. 14.10.1982
Prof. W. Förster
07.12.1984

- [2.4.16] Bericht über den Großtechnischen Versuch vom 20.11.1984 bis 13.03.1985 zur Vorberei-
tung der Sanierung des Steilufers am Restloch Knappensee bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
22.03.1985

- [2.4.17] Anforderungen bei den weiterführenden Arbeiten des Großtechnischen Versuches bis zum
30.09.1985
Bergsicherung Cottbus
13.05.1985

- [2.4.18] Standsicherheitseinschätzung für den abgespülten ehemaligen Steiluferbereich am Ostufer des Tagebaurestloches Knappensee bei Hoyerswerda
Prof. W. Förster
28.05.1986

- [2.4.19] Protokoll der Beratung zur Standsicherheitseinschätzung vom 28.05.1986
Bergsicherung Cottbus
07.07.1986

- [2.4.20] Protokoll der Erörterung Standsicherheitseinschätzung vom 28.05.1986
Rat des Bezirkes Cottbus, Abteilung Geologie
24.07.1986

- [2.4.21] 1. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung für den abgespülten ehemaligen Steiluferbereich am Ostufer des Tagebaurestloches Knappensee bei Hoyerswerda vom 28.05.1986
Prof. W. Förster & M. Walde
22.09.1986

- [2.4.22] Ergebnisbericht über geotechnische Voruntersuchungen für West-, Südufer, Inselbereiche und Bereich Jugendtouristhotel des Knappensees bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
05.08.1987

- [2.4.23] Standsicherheitseinschätzung für die Gefährdung durch Setzungsfließen der aus Kippgut aufgebauten Bereiche des West- und Südufers, der Inseln des Tagebaurestloches Knappensee bei Hoyerswerda, des Gebietes um das Jugendtouristhotel und des nördlich davon gelegenen unklassifizierten Restloches
Prof. W. Förster & M. Walde
25.04.1988

- [2.4.24] Protokoll der Erörterung der Standsicherheitseinschätzung Knappensee vom 25.04.1988
Rat des Bezirkes Cottbus
07.06.1988

- [2.4.25] Abschlußbericht zum Großtechnischen Versuch am Restloch 0815/1
Bergsicherung Cottbus
16.06.1989

- [2.4.26] 1. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung für die Gefährdung durch Setzungsfließen der aus Kippgut aufgebauten Bereiche des West- und Südufers, der Inseln des Tagebaurestloches Knappensee bei Hoyerswerda, des Gebietes um das Jugendtouristhotel und des nördlich davon gelegenen unklassifizierten Restloches vom 25.04.1988
Prof. W. Förster & M. Walde
12.11.1990

- [2.4.27] Protokoll zur Erörterung des 1. Nachtrages zur Standsicherheitseinschätzung Knappensee (Westufer, Südufer, Inseln u. RL 0815/1)
Bergsicherung Cottbus
24.01.1991

- [2.4.28] 1. Nachtrag zur Bodenmechanischen Standsicherheitseinschätzung Restloch F vom 30.09.1984
IFGT TU Bergakademie Freiberg
Prof. W. Förster & M. Walde & K. Hammer
13.06.1991

- [2.4.29] Bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchung zu Sicherungsmaßnahmen im Bereich des Restloches Koblenzer Straße
Safetec GmbH, Bereich Consulting
28.09.1995

- [2.4.30] Bodenmechanische Stellungnahme zur Bewertung der geotechnischen Situation ausgewählter Bereiche des Knappensees anhand vorliegender Unterlagen und Empfehlungen zu weiterführenden Untersuchungen
Abteilung Bodenmechanik des Instituts für Geotechnik der Bergakademie Freiberg
Prof. W. Förster & K. Mühlig
23.10.1995

- [2.4.31] Bodenmechanische Stellungnahme
"Bewertung der geotechnischen Sicherheit des Koblenzer Strandes am Knappensee, Bereich Zulauf - abgespülte Absetzerkippe auf der Grundlage eines Erschütterungstestes"
GBB Dipl.-Ing. B. Bittroff Hoyerswerda
im Auftrag des ZV Ferienpark Knappensee
07.05.1996

- [2.4.32] Gutachten zur Bodenmechanischen Stellungnahme
"Bewertung der geotechnischen Sicherheit des Koblenzer Strandes am Knappensee, Bereich Zulauf - abgespülte Absetzerkippe auf der Grundlage eines Erschütterungstestes"
vom 17.05.1996
IFGT BA Freiberg
im Auftrag des ZV Ferienpark Knappensee
26.11.1996

- [2.4.33] Baugrundgutachten für den Bau einer Wasserrutsche im Strandbad Groß Särchen
GBB Dipl.-Ing. B. Bittroff Hoyerswerda
im Auftrag des ZV Ferienpark Knappensee
Mai 1996

- [2.4.34] Geotechnische Stellungnahme für das Bauvorhaben "Brückenneubau über das Schwarzwasser in Groß Särchen"
GBB Dipl.-Ing. B. Bittroff Hoyerswerda
im Auftrag des ZV Ferienpark Knappensee
Februar 1997

- [2.4.35] Geotechnischer Bericht: Erschließung des Nordstrandes Knappensee zwischen den Feriensiedlungen Maukendorf und Knappensee
GBB Dipl.-Ing. B. Bittroff Hoyerswerda
im Auftrag des ZV Ferienpark Knappensee
Mai 1997

- [2.4.36] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees (Tagebau Werminghoff I)
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
Mai 2000

- [2.4.37] Hydrologische Berechnungen (Einschätzung - HE), Tagebau Werminghoff I,
LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
28.06.2002

- [2.4.38] Konzeption zur Durchführung von Initialversuchen für die anschließende Fortschreibung der Standsicherheitseinschätzungen am Knappensee (Tagebau Werminghoff I) und am Restloch Mortka / Silbersee (Tagebau Werminghoff II),
Band I und Band II,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
20.12.2002

- [2.4.39] Auszüge aus
Ergebnisbericht Strecken- und Haldenerkundung im Altbergbauobjekt „Werminghoff“
bei Groß Särchen, Vereinsgebäude WSV Knappensee (Maßnahmen zur Gefahrenabwehr)
Geotec GmbH
Mai 2003

- [2.4.40] Standsicherheitseinschätzung, Bewertung der Standsicherheit der Hochkippe nördlich der
Ortslage Koblenz am Knappensee (Tagebau Werminghoff I),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
24.11.2003

- [2.4.41] Standsicherheitseinschätzung zur Sicherung des Restloches Koblenzer Straße im Bereich
des Restloches D/F Knappenrode,
BSF – Bergsicherung und Baugrundsanie rung Frankfurt/Oder GmbH,
Frankfurt/Oder, 31.12.2003

- [2.4.42] Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan für den stillgelegten Tagebau I Werminghoff
(Knappenrode), Regionale Planungsstelle beim StUFA Bautzen im Auftrag des regionalen
Planungsverbandes Oberlausitz - Niederschlesien, Aufstellungsbeschluss am 20.11.1997,
Feststellung durch Satzung in der Verbandsversammlung am 05.06.2003, Genehmigung
durch das Sächsische Staatsministerium des Innern am 15.03.2004, in Kraft getreten am
05.08.2004

- [2.4.43] Innerbetriebliche fachliche Stellungnahme des FB 2, Nr. R 23/21/2004, Speicherbecken
Knappenrode, Gefährdungsanalyse ausgewählter Speicherrandböschungen,
Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna,
18.10.2004

- [2.4.44] Ausführungsplanung Sanierung der Verbindungsstraße Knappenrode – Koblenz, Sanierung
K9207 im Bereich Restloch Koblenzer Straße
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Dresden,
18.11.2004

- [2.4.45] Hydrologische Berechnungen (Einschätzung - HE), Tagebau Werminghoff I, 1. Nachtrag
LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
10.12.2004

- [2.4.46] Standsicherheitsuntersuchungen des Restloches 0815/1 sowie der nördlich angrenzenden
Teiche bzw. Vernässungsflächen südlich des Restloches Koblenzer Straße am Knappensee
(ehemaliger Tagebau Werminghoff I),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
Dezember 2004

- [2.4.47] Standsicherheitsnachweis, Sanierung der Verbindungsstraße Knappenrode – Koblenz, Sa-
nierung K 9207 und K 6407 im Bereich der Altkippe Tagebau Werminghoff I
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Dresden,
15.12.2004

- [2.4.48] Standsicherheitseinschätzung des Restloches 0815/1 sowie der nördlich angrenzenden Teiche bzw. Vernässungsflächen südlich des Restloches Koblenzer Straße am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
20.05.2005
- [2.4.49] Standsicherheitsnachweis, Sanierung der Verbindungsstraße Knappenrode – Koblenz,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
30.06.2005
- [2.4.50] 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
- [2.4.51] Auswirkungen der Setzungsfließbrutschung im Restloch Koblenzer Straße am 09.09.2004 und Schlussfolgerungen für die weitere Sanierungstätigkeit in bodenmechanisch sensiblen Bereichen, welche nicht unter Bergaufsicht stehen
Vortrag, Sächsisches Oberbergamt, 15.09.2005
- [2.4.52] 4. Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung zur Sicherung des Restloches Koblenzer Straße im Bereich des Restloches D/F Knappenrode,
BSF – Bergsicherung und Baugrundsanie rung Frankfurt/Oder GmbH,
Frankfurt/Oder, 05.10.2004
Vortrag, Sächsisches Oberbergamt, 15.09.2005
- [2.4.53] Einschätzung der Auswirkungen des Grundwasserwiederanstieges auf Waldflächen im Bereich des ehemaligen Tagebaus Werminghoff.,
SEP STEINE UND ERDEN Planungsgesellschaft mbH,
November 2005
- [2.4.54] Seismologisches Standortgutachten im Bereich der Talsperrenmeisterei Spree,
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie,
21.11.2005
- [2.4.55] Kippenflächen im Sanierungskomplex Restloch D/F, Restloch Koblenz, Restloch Koblenzer Straße, Standsicherheitsnachweis zur Grundbruchsicherheit,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau
21.12. 2005
- [2.4.56] Baugrundgutachten zur Geotechnischen Bewertung der Hotelanlage „Am Knappensee“,
Dipl.-Ing. Lawall, Freiberuflich tätiger Ingenieur für Geo- und Umwelttechnik, Cottbus,
26.08.2005 und 13.05.2006
- [2.4.57] Standsicherheitseinschätzung - (u.a. Geotechnische Bewertung der für das SB Knappenrode aktuell gültigen Standsicherheitseinschätzung vom 31.08.2005) und ergänzende Standsicherheitsberechnungen (Gutachten vom 24.03.2006)
BIUG GmbH Freiberg,
Senftenberg, 31.08.2005 und 24.03.2006

- [2.4.58] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee,
3. Nachtrag, Sicherung des Campingplatzes am Nordufer,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
22.03.2006
- [2.4.59] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees,
2. Nachtrag - Sicherung Inselbereiche – Untersuchungsgebiet C Standsicherheitsuntersuchung der Kranaufstandsfläche,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
28.04.2006
- [2.4.60] Havarie- und Notfallplan für das Speicherbecken Knappenrode (Knappensee)
BIUG GmbH Freiberg,
Senftenberg, 12.06.2006
- [2.4.61] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee,
4. Nachtrag, Erkundung und Verwahrung von Altstrecken, Ausführungsplanung,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
29.09.2006
- [2.4.62] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee,
4. Nachtrag, Erkundung und Verwahrung von Altstrecken, Auswertung der Erkundung mit Drucksondierungen,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
10.05.2007
- [2.4.63] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees,
1. Ergänzung zum 2. Nachtrag, Sicherung Inselbereiche – Untersuchungsgebiet C, Standsicherheitsuntersuchung der Kranaufstandsfläche,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
08.06.2007
- [2.4.64] Standsicherheitsnachweis für die Hotelanlage „Am Knappensee“ Koblenz vom 12.03.2008 (Projekt-Nr. DDG 06603/5) einschließlich 1. Ergänzung zum Standsicherheitsnachweis vom 15.12.2008 (Projekt-Nr. DDG 06603/6)
G.U.B. Ingenieur AG, Büro Dresden
- [2.4.65] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee, Sicherung der Inseln gegen Betreten, Einschätzung des Sanierungserfolges,
G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
28.11.2008

- [2.4.66] 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

- [2.4.67] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees Bereich A und B Nord - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich der Böschungsprofilierung – Entwurfs- und Genehmigungsplanung –
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
21.08.2009

- [2.4.68] Ausführungsplanung zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees (Tagebau Werminghoff I) – Bereiche A und B Nord – Standsicherheitseinschätzung
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
21.08.2009

- [2.4.69] Standsicherheitsnachweis Hotel „Am Knappensee“ und Bereich ehemaliges Restloch 0815/1,
G.U.B. Ingenieur AG, Büro Dresden
26.06.2009

- [2.4.70] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sicherung des Knappensees – Bereich E – Entwurfs- und Genehmigungsplanung
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
28.07.2009

- [2.4.71] Verfüllung des Restloches 0815/1 – Teilfläche 2 einschließlich Abriss Hotelanlage „ Am Knappensee“ mit Hotel, Finnhütten und Wohnhaus in Koblenz, Genehmigungsplanung / Ausführungsplanung,
G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau
04.08.2009

- [2.4.72] Herstellung / Sicherung, Einsatzstelle Südufer Knappensee, Ausführungsplanung, Horst Alte GmbH, September 2009

- [2.4.73] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sicherung des Knappensees – Bereich E – Ausführungsplanung
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
05.10.2009

- [2.4.74] Errichtung einer Einsatzstelle für Sanierungstechnik am Knappensee, Baudokumentation, Baucom, Bautzen, 02.12.2009

- [2.4.75] Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels LRDV einschließlich Böschungsprofilierung im Bereich E am Knappensee
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
23.07.2010

- [2.4.76] Verfüllung des Restloches 0815/1 – Teilfläche 2 einschließlich Abriss Hotelanlage „Am Knappensee“ mit Hotel, Finnhütten und Wohnhaus in Koblenz, Abschlussdokumentation, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau
22.12.2010
- [2.4.77] Hydrogeologische Berechnungen (Einschätzung – HE), Tagebau Werminghoff I, 2. Nachtrag
LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
21.12.2010
- [2.4.78] Leitfaden zur geotechnischen Beurteilung von Verflüssigungsgrundbrüchen auf Kippen im Hinterland sanierter Restlochbereiche und Empfehlungen zur Sanierung und Nachnutzung, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Dresden, BIUG GmbH Freiberg,
Bearbeitungsstand 31.12.2010
- [2.4.79] Protokollnotiz
Besprechung SMWA/ SächsOBA / LMBV / GUB / BIUG zur aktuellen geotechnischen Situation der Altbergbaugebiete Knappensee, Silbersee und Restloch Mortka vom 27.01.2011
LMBV mbH
28.01.2011
- [2.4.80] Protokollnotiz
Besprechung SMWA/ SächsOBA / LMBV / GUB / BIUG zur aktuellen geotechnischen Situation der Altbergbaugebiete Knappensee, Silbersee und Restloch Mortka vom 03.02.2011
LMBV mbH, Geotechnik Lausitz,
09.02.2011
- [2.4.81] Protokoll
zur Abstimmung zu den Sofortmaßnahmen am Knappensee
LMBV mbH, Geotechnik Lausitz,
21.02.2011
- [2.4.82] Vermerk über die Beratung am 18. März 2011 zu Gefahrenabwehrmaßnahmen im Bereich Knappensee
Sächsisches Oberbergamt
01.04.2011
- [2.4.83] Bericht zur Auswertung der Messergebnisse an der Straße Koblenz - Knappenrode (K 9207) für den Zeitraum März bis August 2011
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg
27.09.2011
- [2.4.84] Standsicherheitseinschätzung, Bewertung der Fläche des aufgefüllten Restloches 0815/1 – Bereich Hotelanlage als Zwischenlagerplatz in Vorbereitung der Sanierung am Knappensee, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau und BIUG GmbH, Freiberg
03.02.2012

- [2.4.85] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich D Ost - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Leseexemplar der Geotechnischen Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 31.07.2012
- [2.4.86] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich F -, Geotechnische Vorplanung ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 27.08.2012
- [2.4.87] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich G - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, Überarbeiteter Erläuterungsbericht, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand Januar 2013
- [2.4.88] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich S - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, Überarbeiteter Erläuterungsbericht, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand Januar 2013
- [2.4.89] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich T - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, Überarbeiteter Erläuterungsbericht, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand Januar 2013

2.5 Unterlagen zur Tagebauentwicklung

- [2.5.1] Vermerk zu Senkungen an der Straße Großsärchen-Neubuchwalde
Der Preußische Revierbeamte
16.01.1936
- [2.5.2] Lageplan und Profile durch die Brückenkippe Werminghoff
28.08.1936
- [2.5.3] Plandarstellungen zur Tagebauentwicklung
Zeitpunkte und Maßstäbe verschieden
- [2.5.4] Angabe zur Absetzerkippen-Rutschung am 18.04.1930
ohne Verfasser und Datum
- [2.5.5] Angaben zur Kippenrutschungen vom 21.01.1941
ohne Angabe des Verfassers
24.11.1941
- [2.5.6] Erläuterungen zum Entwurf für das Speicherbecken Knappenrode (Werminghoff)
Schwarze Elster Verband Bad Liebenwerda
03.11.1950
- [2.5.7] Dokumentation des Speicherbeckens Knappenrode
WWD Obere Elbe-Mulde
15.06.1963
- [2.5.8] Dokumentation über die Entstehung der nordöstlichen Böschungen des Tagebaurestloches
Knappensee
HA Tagebau Lohsa
12.11.1981
- [2.5.9] Technische Dokumentation Knappensee
Rat des Kreises Hoyerswerda
25.11.1988
- [2.5.10] Private Aufzeichnungen zur Betriebsentwicklung Tagebau Werminghoff
Dewitz, W. (ehemaliger Tagebauleiter Lohsa)
ohne Datum

2.6 Unterlagen zu Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen

- [2.6.1] Verwahrungsdokumentation zum südlichen Randgebiet des ehemaligen Braunkohlentage-
baues Werminghoff, jetzt Knappensee
Bergsicherung Cottbus
Oktober 1977
- [2.6.2] Bericht über mögliche Varianten zur Sanierung rutschungsgefährdeter Bereiche des Knap-
pensees bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
08.09.1982

- [2.6.3] Protokolle, Beratung des Operativstabes Knappensee
Bergsicherung Cottbus
[a] 1. Protokoll, Beratung vom 25.05.1982
[b] 2. Protokoll, Beratung vom 11.06.1982
[c] 3. Protokoll, Beratung vom 08.07.1982
[d] 4. Protokoll, Beratung vom 17.06.1982
[e] 5. Protokoll, Beratung vom 14.09.1982
[f] 6. Protokoll, Beratung vom 25.05.1983
[g] 7. Protokoll, Beratung vom 13.07.1983
[h] 8. Protokoll, Beratung vom 20.03.1984
[i] 9. Protokoll, Beratung vom 17.04.1984
[j] 10. Protokoll, Beratung vom 20.11.1984
[k] 11. Protokoll, Beratung vom 24.04.1985
[l] 12. Protokoll, Beratung vom 15.04.1986
- [2.6.4] Technischer Betriebsplan zur Durchführung von Untersuchungsarbeiten an Halden und Restlöchern
Bergsicherung Cottbus
22.12.1982
- [2.6.5] Anzeige zur Durchführung von Stubbenrodung sowie deren Aufnahme, Transport und Verkippung in ein nicht klassifiziertes Restloch westlich der Straße Koblenz – Knappenrode
Bergsicherung Cottbus
16.01.1985
- [2.6.6] Anzeige zur Durchführung von Versuchssprengungen am Restloch Knappensee zur Erarbeitung einer effektiven Sanierungstechnologie
Bergsicherung Cottbus
29.01.1985
- [2.6.7] Anzeige zur Durchführung der Sanierung des Steiluferbereiches Knappensee
Bergsicherung Cottbus
11.07.1985
- [2.6.8] Anzeige zur Durchführung von hydromechanischen Sanierungsarbeiten an Uferabschnitten des RL Knappensee
Bergsicherung Cottbus
01.11.1985
- [2.6.9] Projekt zur Wiederurbarmachung des Sanierungsgebietes Knappensee
Bergsicherung Cottbus
04.11.1985
- [2.6.10] Nachtrag Nr. 1 zur Anzeige „Durchführung der Sanierung des Steiluferbereiches Knappensee“ für den Zeitraum 01.08.85 – 31.12.86 – Geotechnische Felduntersuchungen
Bergsicherung Cottbus
27.01.1986
- [2.6.11] Nachtrag Nr. 2 zur Anzeige „Durchführung der Sanierung des Steiluferbereiches Knappensee“ für den Zeitraum 01.08.85 – 31.12.86 – Wiederurbarmachung
Bergsicherung Cottbus
27.01.1986

- [2.6.12] Nachtrag Nr. 3 zur Anzeige „Durchführung der Sanierung des Steiluferbereiches Knappensee“ für den Zeitraum 01.08.85 – 31.12.86 – Hydromechanische Böschungsgestaltung am Einlauf Koblenz
Bergsicherung Cottbus
27.01.1986
- [2.6.13] Hydromechanische Böschungsgestaltung am Einlauf Koblenz
Bergsicherung Cottbus
27.01.1986
- [2.6.14] Anzeige zur Durchführung von Rekultivierungsarbeiten an einem nicht klassifizierten Restloch westlich der Straße Koblenz-Knappenrode
Bergsicherung Cottbus
10.02.1986
- [2.6.15] Bericht Sanierung Steilufer Knappensee
Bergsicherung Cottbus
03.09.1986
- [2.6.16] Technischer Betriebsplan Nr. 6/88 zur Durchführung geotechnischer Untersuchungen an Halden und Restlöchern
Bergsicherung Cottbus
09.08.1988
- [2.6.17] Technischer Betriebsplan Nr. 12/88 für die Sanierung des Ost- und Südufers des Knappensees
Bergsicherung Cottbus
09.01.1989
- [2.6.18] Anzeige Nr. 1/89 zur Sanierung des Restloches 0815/1
Bergsicherung Cottbus
03.03.1989

2.7 Unterlagen zu Labor- und Feldprüfungen

- [2.7.1] Ergebnisse von Feld- und Laborprüfungen am Knappensee
VEB Spezialbaukombinat Wasserbau, Baugrund Berlin
04.03.1982
- [2.7.2] Ergebnisse von Feldversuchen am Knappensee (Drucksondierungen, γ -Sondierungen, Entnahme von ungestörten Proben)
VE BKK Senftenberg, HA Geotechnik
16.04.1982
- [2.7.3] Ergebnisse von Feld- und Laboruntersuchungen am Restloch Knappensee
VEB Spezialbaukombinat Wasserbau, Baugrund Berlin
29.04.1982
- [2.7.4] Ergebnisbericht über Felduntersuchungen am Restloch Knappensee
VEB BKW Borna, HA Geotechnik
21.04.1982

- [2.7.5] Ergänzung zum Ergebnisbericht über Felduntersuchungen vom 21.04.1982
VEB BKW Borna, HA Geotechnik
20.10.1982

- [2.7.6] Bericht über den Großtechnischen Versuch vom 20.11.1984 bis 13.03.1985 zur Vorbereitung der Sanierung des Steilufers am Restloch Knappensee bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
13.05.1985

- [2.7.7] Ergebnisse von Feldversuchen am Knappensee (Drucksondierungen, Drehflügelsondierungen, Entnahme von Frostproben)
VE BKK Senftenberg, HA Geotechnik
07.03.1986

- [2.7.8] Ergebnisse von Felduntersuchungen am Restloch Knappensee (Drucksondierungen)
VE BKK Senftenberg, HA Geotechnik
18.12.1986

- [2.7.9] Ergebnisbericht über geotechnische Voruntersuchungen,
Bergsicherung Cottbus,
03.08.1987

- [2.7.10] Ergebnisbericht über geotechnische Voruntersuchungen für West-, Südufer, Inselbereiche und Bereich Jugendtouristikhôtel des Knappensees bei Hoyerswerda
Bergsicherung Cottbus
05.08.1987

- [2.7.11] Ergebnisse der zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen, Labor- und Feldprüfungen zur Beurteilung der geotechnischen Situation am Restloch Knappensee.
1. Teillieferung
FCB Fachcenter Bodenmechanik
29.03.2000

- [2.7.12] Ergebnisse der zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen, Labor- und Feldprüfungen zur Beurteilung der geotechnischen Situation am Restloch Knappensee.
2. Teillieferung
FCB Fachcenter Bodenmechanik
14.04.2000

- [2.7.13] Ergebnisse der zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen, Labor- und Feldprüfungen zur Beurteilung der geotechnischen Situation am Restloch Knappensee.
3. Teillieferung
FCB Fachcenter Bodenmechanik
27.04.2000

- [2.7.14] Auswertung der Gefrierkernentnahme und -untersuchung im Bereich Koblenzer Strand bis zum nördlichen Steilufer am Knappensee (Tagebau Werminghoff I),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
07.09.2001

- [2.7.15] Auswertung der Gefrierkernentnahme und -untersuchung sowie der Belastungsversuche mittels Vibrationswalze im Bereich Koblenzer Strand bis zum nördlichen Steilufer am Knappensee (Tagebau Werminghoff I),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
06.03.2002

- [2.7.16] Planung und Durchführung von Initialversuchen für die anschließende Fortschreibung der Standsicherheitseinschätzungen am Knappensee (Tagebau Werminghoff I) und Restloch Mortka/ Silbersee (Tagebau Werminghoff II),
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau
August 2004
- [2.7.17] Ergebnisse bodenphysikalischer Laboruntersuchungen
für die Verbindungsstraße Knappenrode – Koblenz
G.U.B. Ingenieurgesellschaft Lausitz GmbH,
02.03.2005
- [2.7.18] Ergebnisse bodenphysikalischer Felduntersuchungen - Drucksondierungen
BUL Bergbausanierung und Landschaftsgestaltung Sachsen GmbH
20.12.2006
- [2.7.19] Ergebnisse bodenphysikalischer Felduntersuchungen - Drucksondierungen
BUL Bergbausanierung und Landschaftsgestaltung Sachsen GmbH
18.01.2007
- [2.7.20] Geotechnische Stellungnahme, Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Hotel Haink
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
30.11.2012

2.8 Fachspezifische Literatur und sonstige Unterlagen

- [2.8.1] MEYERHOF, G. G., HANNA, A. M.: Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined load, Can. Geotechnical Journal 15, S. 565 – 572, 1978
- [2.8.2] FÖRSTER, W.:
Sanierung setzungsfließgefährdeter Kippensysteme.
In: Vorträge des V. Bodenmechanischen Kolloquiums 1987 in Leipzig, S. 1-36
Bergakademie Freiberg 1988
- [2.8.3] FÖRSTER, W. u. a.:
Verflachen des Steilufers am Knappensee zur Minderung der Setzungsfließgefahr.
Neue Bergbautechnik, 18(1988)11, 401-406
- [2.8.4] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen.
Ehem. Forschungsgruppe Geotechnik des BKK Senftenberg und der BA Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau
Stand November 1989
- [2.8.5] Sprengverdichtung zur Verbesserung von setzungsfließgefährdeten Kippen,
Freiberger Forschungsheft, FFH A 819,
1992
- [2.8.6] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, Arbeitsausschuss „Ufereinfassungen“ der hafenbautechnischen Gesellschaft e. V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V. 1996, 9. Auflage

- [2.8.7] Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen, LMBV mbH
15.09.1997
- [2.8.8] Merkblatt der LMBV zu den Definitionen „Rückgriffweite“ und „Sicherheitsabstand“, LMBV mbH
Dezember 1997
- [2.8.9] Beurteilung der Setzungsfließefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen, LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe (TH),
1998
- [2.8.10] Sanierung und Sicherung setzungsfließefährdeter Kippen und Kippenböschungen, Teilprojekt 6. Gefördert durch BMBF und LMBV, Institut für Geotechnik
1998
- [2.8.11] BMBF- und LMBV mbH-Förderprojekt Sanierung und Sicherung setzungsfließefährdeter Kippen und Kippenböschungen, IFGT der TU BA Freiberg, IBF an der Univ. Karlsruhe, Schlussbericht 1998
- [2.8.12] Verwendung und Kennzeichnung von Sperr- und Sicherheitslinien, Brief, LMBV mbH, Hoyerswerda, 07.07.1999
- [2.8.13] Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen, LMBV mbH,
16.07.2001
- [2.8.14] Standsicherheitseinschätzung zum Setzungsfließereignis vom 19.11.2001 sowie zu speziellen Untersuchungen zur Insel- und Schutzgrabenproblematik im Wasserspeicher Lohsa II, BIUG GmbH, Freiberg, 14.06.2002
- [2.8.15] Entwurf zum Leitfaden zur Erstellung von Standsicherheitseinschätzungen zur Beurteilung der Tragfähigkeit des verflüssigungsgefährdeten Kippenuntergrundes im Hinterland sanierter Restlochbereiche, BIUG GmbH, Senftenberg,
12.01.2005
- [2.8.16] Zur Problematik der Grundbruchsicherheit auf Kippenflächen mit geringem Grundwasserflurabstand in Senftenberg, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
27.04.2007
- [2.8.17] Schwingungsmessungen bei RDV, Schwinggeschwindigkeiten B97, RL Bärwalde, Lugkteich, RL Laubusch, RL Kortitzmühle, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
2005
- [2.8.18] ERLER, R., REINHARDT, K., BAHL, T., MUMMERT, Th., KEßLER, J.: Zur Anwendung der RDV bei der Verdichtung verspülter Sande in Dubai, Vortrag zum Geotechnik-Kolloquium an der TU BA Freiberg am 30.03.2007
- [2.8.19] SLOPE/W – Benutzerhandbuch, GEO-SLOPE International Ltd., 2007

- [2.8.20] Grundbautaschenbuch Teil 1,
7. Auflage Ernst & Sohn, Berlin,
2008

- [2.8.21] Fachbuch „Theorie und Praxis der Braunkohlensanierung“, Hrsg. LMBV mbH, 2009

- [2.8.22] Beiträge zum Fachkolloquium 4: Bodenverflüssigung bei Kippen des Lausitzer Braunkohlebergbaus im Rahmen des Freiburger Forschungsforums – 63 . Berg- und Hüttenmännischer Tag, Heft 3, Hrsg.: Wolfram Kudla, Technische Universität Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, Professur für Erdbau und Spezialtiefbau, 2012

- [2.8.23] Gedanken zu geotechnischen Ereignissen der letzten Jahre im Lausitzer Sanierungsbergbau; Symposium des LBGR Brandenburg am 03.09.2009, Prof. Dr. Dr. h.c. W. Förster

3 Bearbeitungsgebiet

3.1 Lage und Beschreibung

Im Freistaat Sachsen, Landkreis Bautzen befindet sich südöstlich von Hoyerswerda bzw. östlich von Wittichenau zwischen den Ortslagen Maukendorf, Koblenz und Groß Särchen das Restloch Knappensee im gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Es umfasst den Ufer- und Randbereich sowie die Inseln innerhalb der Wasserfläche.

Ca. 1 km östlich befindet sich das ebenfalls zum ehemaligen Tagebau Werminghoff I gehörende Restloch D/F. Ca. 3 km in östlicher Richtung ist das RL Mortka und weitere 2 km östlich der Silbersee gelegen. Beide Restlöcher gehören zum ehemaligen Tagebau Werminghoff II.

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.

Am Nordufer des Sees befindet sich die Bungalowsiedlung Maukendorf mit einer Gaststätte. Östlich an die Bungalowsiedlung schließen sich Campingplatz und Badestrand an.

Weiterhin grenzen an den Knappensee im Nordwesten der Damm der ehemaligen Grubenbahn Knappenrode – Zeißholz, im Westen und Südwesten ein für die Speicherbewirtschaftung erstellter Raddamm.

Die Zuflüsse zum See bilden der Koblenzer Graben im Südosten sowie der Zulaufgraben des Schwarzwassers in Groß Särchen. In der nördlichen Westböschung besteht ein für die Speicherbewirtschaftung notwendiges Auslaufbauwerk.

Die Hinterlandbereiche des Sees weisen im Westen und Süden ein flach ausgebildetes Höhenprofil aus, das in einem Höhenniveau von ca. +127,00 m NHN bis +130,00 m NHN verläuft. Dagegen finden sich im östlichen Hinterland Böschungen, deren Geländeprofil bis zu einer maximalen Höhe von +145,00 m NHN (Absetzerhochkippe), im nördlichen Teil bis zu +138,00 m NHN und in weiterer Entfernung zum Ufer bis zu +155,00 m NHN (Hoch- u. Außenkippe Maukendorf) ansteigt. Neben den gegenüber der Westseite deutlich höheren Lagen zeichnet sich die Ostböschung darüber hinaus durch ausgesprochen steile Böschungsbereiche aus, die teilweise noch den Böschungswinkel der früheren Kippenschüttung aufweisen.

Der Knappensee sowie sein unmittelbares Umfeld werden überwiegend touristisch und forstwirtschaftlich genutzt. Folgende Nutzungsflächen sind dabei um den See vorhanden:

- im Osten die auf der Hochkippe gelegene Feriensiedlung Knappenhütte,
- im südlichen Teil der Ostböschung (Koblenzer Strand) Hotels, Bungalows und Gaststätte,
- im Südosten und Süden Ferienanlage mit Campingplatz, Bungalows, Einrichtungen des Freizeitsportes und einem Zufluss,
- im Südwesten und Westen neben dem für die Speicherbewirtschaftung vorhandenen Raddamm, Bungalows, Anglerheim, forstwirtschaftliche Flächen,
- im Westen Waldstreifen,

- im Norden die Bungalowsiedlung Maukendorf mit dem sich anschließenden Campingplatz und der nordöstlich gelegenen Hochkippe (Außenkippe) Maukendorf mit forstwirtschaftlicher Nutzung.

Planungstechnisch wurden die im Rahmen der Gefahrenabwehrmaßnahmen zu sichernden Bereiche in Abschnitte unterteilt, die mit den Buchstaben U, T, S, G, F, D Ost, D Mitte, E, D West, B und A gekennzeichnet sind.

Das aktuelle Höhenbezugssystem ist das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN 1992). Die Höhenangabe erfolgt in m NHN. Alle Wiedergaben und Angaben aus den Arbeitsunterlagen erfolgen quellenbezogen, so dass die darin enthaltenen Höhenangaben übernommen sind.

Das Bearbeitungsgebiet ist in Anlage 1 dargestellt.

3.2 Vorhandene Nutzung

Der Knappensee ist ein öffentliches Gewässer. Der See selbst und große Teile der Uferbereiche sowie des Böschungshinterlandes sind für die Öffentlichkeit zugänglich und werden für Wohn- und Naherholungszwecke sowie umfangreich touristisch genutzt. Der Knappensee fungiert als Bade- und Angelgewässer. Er wird auch für den nicht motorgetriebenen Bootsverkehr und im Rahmen von Wassersportveranstaltungen genutzt.

Im Böschungshinterland bestehen Siedlungen mit teilweise dauerhafter Wohnnutzung sowie gewerblich genutzten Gebäuden. Daneben unterliegen die Waldflächen im Böschungsbereich und dessen Hinterland einer forstwirtschaftlichen Nutzung.

Der Knappensee dient der Landestalsperrenverwaltung (LTV) als Speicheranlage. Mit dieser Anlage wird der Hochwasserschutz für die am Unterlauf vorhandenen Ortschaften (bis einschließlich Hoyerswerda) und Gebiete sichergestellt. Daneben wird durch den Knappensee eine Niedrigwasseraufhöhung für die nachfolgenden Gewässer und Schutzgebiete sichergestellt.

In der Tabelle 1 sind die am Knappensee vorhandenen Nutzungen bereichsweise aufgeführt.

Tabelle 1: Gegenwärtige bereichsweise Nutzungssituation (übernommen aus [2.4.66], teilweise ergänzt)

Bereich, Lage	vorhandene Nutzungssituation
Bereich A nördliches Westufer	Wald, Rad- und Wanderweg (Rundweg um den Knappensee), Ablaufbauwerk, Hochwasserschutzdamm
Bereich B südliches Westufer	Wald, Rad- und Wanderweg (Rundweg um den Knappensee), Hochwasserschutzdamm
Bereich C Inseln	keine
Bereich D Südufer	Freizeit und Erholung, Badestrand, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, gastronomische Einrichtungen (Gewerbe), bebaute Grundstücke, Versorgungs- und Entsorgungsleitungen, Anlagen und Gebäude von Sport- und Freizeitvereinen, Bootsstege, Einlaufbauwerke, Uferbefestigungen
Bereich E Südufer	Freizeit und Erholung, Badestrand, Wasserrutsche, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, gastronomische Einrichtungen, bebaute Grundstücke, Versorgungs- Entsorgungsleitungen
Bereich F Restloch 0815/1	Wald, bebautes Privatgelände, Hotel- und Gastgewerbe,
Bereich G Koblenzer Strand	Wald, Privatgrundstücke, Freizeit und Erholung, Badestrand, Campingplatz, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, bebaute Grundstücke, Versorgungs- Entsorgungsleitungen
Bereich S ehemaliges Steilufer	Badestrand, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, im Hinterland Wald, Gasleitung, Versorgungs- und Entsorgungsleitungen
Bereich T nördliches Ostufer	Freizeit und Erholung, Badestrand, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, Versorgungs- und Entsorgungsleitungen, Anlagen und Gebäude von Bootsverleih und Imbiss, Spielplatz, Bootsstege, im Hinterland bebaute Grundstücke, Campingplätze, auf der Hochkippe Feriensiedlung Knappensee mit dauerhafter Wohnnutzung
Bereich U nördliches Westufer	Wald, Rad- und Wanderweg (Rundweg um den Knappensee), Hochwasserschutzdamm
Bereich U Nordufer	Freizeit und Erholung, Badestrand, Campingplatz, Zufahrts- und Bewirtschaftungswege, gastronomische Einrichtungen (Gewerbe), bebaute Grundstücke, Versorgungs- und Entsorgungsleitungen, Anlagen und Gebäude von Sport- und Freizeitvereinen, Bootsstege, Nebenanlagen (Slip-Anlagen etc.), auf der Hochkippe im Hinterland Waldnutzung sowie Medienleitungen

4 Bergbauliche Entstehungsgeschichte des Knappensees

4.1 Tagebauentwicklung

Die Arbeiten der bergbaulichen Gewinnung der Braunkohle im Tagebaubetrieb der Grube Werminghoff I begannen im Jahre 1914 mit der Vorbereitung des Aufschlusses nördlich des heutigen Knappensees. Der Aufschluss der Lagerstätte selbst erfolgte im Jahre 1915. Durch den ersten Weltkrieg wurden die Arbeiten unterbrochen. Eine Wiederaufnahme der bergbaulichen Arbeiten erfolgte 1917 mit dem Abraumbetrieb und der Kohleförderung. Die Aufschlussmassen des Tagebaues wurden in Form einer Hochkippe auf der Außenhalde Maukendorf auf die Rasensohle verstäzt. Der Kohleabbau entwickelte sich im Schwenkbetrieb von Ost nach West und erreichte in einer zweiten Abbauphase 1920 bis 1924 von Norden den Bereich des heutigen Knappensees. Mit Beginn der dritten Abbauphase erfolgte eine Verschiebung des Drehpunktes in einen Bereich ca. 200 m westlich des ehemaligen Steiluferbereiches (Abschnitt S). Diese Abbauperiode endete in den Jahren 1929/30. In den ersten Gewinnungsphasen wurde das Deckgebirge mittels Eimerkettenbagger im Hoch- und Tiefschnitt abgetragen, mittels Zugbetrieb abtransportiert und durch einen Absetzer verstäzt. Aufgrund der geringen Verstäztiefen wurde beim Abwurf der Massen keine nennenswerte Verdichtung erreicht, so dass die Abraummassen nur eine lockere Lagerung aufweisen, die mit der einer Pflugkippe vergleichbar ist.

Parallel zum Kohleabbau wurde in den ausgekohlten Feldesteilen Abraum verkippt. Ab 1929 bis zum Auslaufen des Tagebaues 1944 wurde die Abraumverkipfung mit einer Abraumförderbrücke (AFB) durchgeführt. Die Strossenrichtung verlief anfänglich Ost-West. Der Tagebau wurde nun im Schwenkbetrieb nach Süden fortgeführt. Durch den Förderbrückenbetrieb wurden die Abraummassen strossenparallel zur Abraumgewinnung direkt als Innenkippe verstäzt. Die maximale Kippenhöhe betrug 40 m, wobei 14 m als Vorkippe für die Brückenabstützung und 26 m als Hochkippe geschüttet wurden. Die minimale Verstäztiefe betrug bei der eingesetzten Brückenkonstruktion 3 m. Folglich wurden aufgrund der geringen Verstäztiefe die Abraummassen auch nur gering verdichtet.

Die Verkipfungstechnologie der Abraumförderbrücke charakterisiert hauptsächlich im mittleren bis hin zum südlichen Teil des Sees die Morphologie der Kippenoberfläche, also im Speziellen die des Seebodens sowie der aus dem See herausragenden Inseln.

Im Jahre 1930 erfolgte die Überbaggerung des Ortes Buchwalde.

Aus den vorhandenen Altunterlagen können folgende generelle Aussagen zur Kippenverteilung am Knappensee gemacht werden. Zwischen der Abbaugrenze im Westen und der Brückenkippe blieb technologisch bedingt ein ca. 50 m breiter Randschlauch offen, der mit Abraum aus dem Tagebau Werminghoff II in Form einer Handkippe teilweise aufgefüllt wurde. Ab 1935 erfolgte eine Verstäztung als auch zum Teil Verspülung von Massen des östlich des Bearbeitungsgebietes neu aufgeschlossenen Tagebaues Werminghoff II. Die genaue Lage und Mächtigkeit der Kippen, insbesondere der Spülkippen, ist dabei seinerzeit nicht ausreichend dokumentiert worden. Parallel zur Strossenrichtung verblieb entlang der südlichen Tagebaugrenze das Restloch A im Westen und das Restloch B im Osten. Ab dem Jahr 1936 wurden 400.000 m³ Kippenmaterial der Brückenkippe in das Restloch A eingespült und damit die vorbeiführende Straße Hoyerswerda - Bautzen gesichert. In den Jahren 1940 und 1941 wurden bis zum Niveau des heutigen Seebodens (+116,00 m NHN bis +120,00 m NHN) Massen aus dem Tagebau Werminghoff II in das Restloch A eingespült. In dem von der Oberkante Abraum und der Uferlinie eingeschlossenen Gebiet wurde die Spülkippe bis zur Höhe der Rasensohle durch eine Trockenhandkippe, bestehend aus Abraum des Tagebaus Werminghoff II, überkippt und planiert.

In gleicher Weise wie das Restloch A wurde auch das Restloch B mit einer Spülkippe verfüllt und durch eine Trockenkippe überkippt. Das verbrachte Kippenmaterial bestand aus Abraum des Tagebaus Werminghoff II.

Im Jahre 1942 kam die Tagebautätigkeit im Bearbeitungsgebiet zum Erliegen [2.4.11].

An der heutigen Ostböschung des Knappensees wurde die Brückenkippe des Tagebaus Werminghoff I durch eine Absetzerkippe überschüttet. Das Material der Absetzerkippe bestand aus Abraum aus dem Tagebau Werminghoff II. Neben den Einspülungen in die Restlöcher A und B wurden Spülkippen im Norden und Nordosten des heutigen Seeufers angelegt. Im südöstlichen Bereich, im Anschluss an das ehemalige Steilufer (Westböschung der Absetzerhochkippe), ist eine Pflugkippe abgelagert. Anhand der Kippenentwicklung und -verbreitung wird deutlich, dass nahezu an allen späteren Uferböschungen des Knappensees Kippenmaterialien abgelagert wurden.

Bereits im Tagebaubetrieb ereigneten sich zahlreiche Kippenrutschungen und Bodenbewegungen. Teilweise erfolgte auf diese Rutschungsmassen eine erneute Überschüttung oder Überspülung von Abraummateriale. Damit liegt die vorhandene Heterogenität der Kippenböden am Knappensee neben der Verkippungstechnologie auch in der Kippenentwicklung begründet.

Die Entwässerung des Tagebaues erfolgte über Entwässerungsstrecken. Diese wurden innerhalb des Kohleflözes aufgefahnen. Reste dieser Strecken finden sich in den gewachsenen Böschungsbereichen oder Restkohlepfelern.

Mit Ende des Jahres 1937 war der westliche Feldesteil des Tagebaus (Bearbeitungsgebiet) ausgekohlt. Die Abbautätigkeit wurde im östlichen Feldesteil (Bereich des heutigen Restloches D / F) bis zum Auslaufen des Tagebaus im Jahre 1944 fortgeführt.

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch eine unkontrollierte Flutung des westlichen Feldesteiles des ehemaligen Tagebaus Werminghoff I [2.5.6].

4.2 Rutschungen

Wie bereits vorstehend aufgeführt, sind im Bereich des heutigen Knappensees (westlicher Feldesteil Tagebau Werminghoff I) mehrere Rutschungen aufgetreten, die unter anderem die Charakteristik von Setzungsfließen / Verflüssigungsvorgängen aufweisen.

Eine erste größere Rutschung ereignete sich am 18.04.1930 nach [2.5.4] bzw. am 19.11.1930 nach [2.4.11] im nördlichen Bereich des heutigen Knappensees. Im betreffenden Gebiet erfolgte ein Versturz von Abraummassen. Entsprechend der vorhandenen Technik und des damaligen Kenntnisstandes wurde beim Versturz der Massen nur eine geringe Versturztiefe realisiert, so dass die abgelagerten Materialien eine geringe Verdichtung erfuhren. Vermutlich wurde innerhalb der Kippe keine Entwässerung betrieben, wodurch sich ein rasch ansteigender Kippenwasserspiegel ausbilden konnte. Die damit entstandene instabile geotechnische Situation mündete letztendlich in einer Rutschung. Die Rutschungsmassen erstreckten sich weit in Richtung Süden und bewegten sich entlang des heutigen Westufers. Ein ca. 150 m breiter Kippenblock, der sich etwa in Höhe der Anfangsstellung der AFB vom Oktober 1929 befand, wurde von den Rutschungsmassen durchbrochen. Da zwischen dem AFB - Kippenblock und der weiter nördlich liegenden Absetzerkippe ein freier Wasserspiegel von ca. 4 m über dem Liegenden entstand, wurde der gesamte Tagebau überflutet. Die Rutschung wies eine Längserstreckung von ca. 1 km auf.

1935 traten an der Straße zwischen Neu Buchwalde und Maukendorf, nördlich der Brückenkippe, Verwerfungen mit einer Höhe von 10 cm bis 40 cm auf, die sich geradlinig in den Tagebau fortsetzten und dort Höhen von 2 m erreichten. Im Bereich der Rutschung war das Flöz bis auf 2 m Mächtigkeit ausgewaschen. Durch die Entwässerung dieser Auswaschungen an der Böschungskontur kam es zu Sackungen, aus denen die beschriebenen Verwerfungen resultierten [2.4.22]. Eine gleichartige Rutschung bzw. Bodenbewegung trat Anfang 1936 an der Straße zwischen Groß Särchen und Neu Buchwalde auf. Hier resultierten aus dem Verdrücken des Flözes Einsenkungen bis zu 4 m Tiefe.

Bei diesen Ereignissen wurden die Einsenkungen durch Sandmassen (Abraummaterial) aufgefüllt. Zusätzlich erfolgten Stützvorschüttungen (in Form von Handvorschüttungen und Spülkippen) an den instabilen Bereichen der Anschnittböschung im Tagebau.

Unmittelbar östlich neben der im Jahr 1930 im Norden aufgetretenen Rutschung setzte am 15.01.1937 ein weiteres Böschungsversagen ein. Die Rutschung lag im Bereich zwischen zwei Spülstellen und entwickelte sich in das Rutschungsgebiet der ersten Rutschung hinein. Die Längserstreckung dieser Rutschung betrug ca. 300 m bis 400 m. Diese Rutschung ist im Übersichtsplan zur Kippenentwicklung aufgrund nicht eindeutiger Quellenangaben nicht dargestellt.

Eine weitere Rutschung ereignete sich Anfang 1937 an der Brückenkippe, bei der 200.000 m³ Kippmaterial in das Restloch A eingetragen wurden [2.4.22].

Am 21.01.1941 kam es zu einer sehr großräumigen Rutschung im östlichen Bereich des heutigen Knappensees. Sie umfasste ein Volumen von ca. 4,5 Mio. m³. Die Rutschung begann im Bereich des Restloches B und erreichte mit ihrem Rückgriff die Hochkippenböschung im Bereich der Ostböschung des Knappensees (Bereich S).

Die Massen flossen in Richtung Süden und Südwesten aus und erfassten den gesamten mittleren Bereich des heutigen Knappensees. Die Nord-Süd-Erstreckung betrug ca. 1,4 km, die Ost-West-Ausdehnung ca. 0,7 km. Im Ergebnis der Rutschung entstand der Steiluferbereich (Bereich S) an der östlichen Uferböschung des Knappensees.

Am 09.09.2004 ereignete sich während Verfüllarbeiten am Restloch Koblenzer Straße, das sich nördlich des Untersuchungsbereiches F befand, eine Rutschung, von der Teile der Ortsverbindungsstraße Koblenz - Knappenrode und eine Trinkwasserleitung erfasst wurden. Das Restloch wurde 2004 vollständig verschlossen.

Alle gegangenen Rutschungen innerhalb des Kippenbereiches sind nach aktuellem Kenntnisstand als Setzungsfließbrutschungen zu werten. Die Rutschungen sind in Anlage 5 ersichtlich, wobei nur die größeren und in ihrer Lage durch Quellen verifizierbaren Rutschungen nachrichtlich aufgeführt sind.

5 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

5.1 Frühere geologische Verhältnisse

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 Liegendschluff des 2. Lausitzer Flözes ist kohlig, tonig ausgebildet und stellt in den ausgekohlten Tagebaubereichen den Liegendstauer für den in Kippen gebildeten Grundwasserleiter dar [2.4.36].

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 im Hangenden der Lagerstätte vorhandene 1. Lausitzer Flöz wurde durch fluviatile und glazifluviatile Prozesse aufgearbeitet.

Das Deckgebirge im Bearbeitungsgebiet war im Mittel durch folgende geologische Verhältnisse bestimmt [2.4.2]:

- 6 m bis 12 m mächtige Talsande mit einer Basis bei ca. +115 m NN. Entsprechend ihrer Entstehung ist bei diesem Horizont zwischen einer hangenden und liegenden Partie zu unterscheiden. In der hangenden Partie, deren Mächtigkeit zwischen 3,5 m und 8 m schwankte, waren Korngrößen von $d > 0,2$ mm mit 50 % bis 80 % an der Gesamtmasse beteiligt. Daraus leitete sich eine gute Wasserdurchlässigkeit für diese Schicht ab. Die liegende Partie mit einer Mächtigkeit von 2,5 m bis 4 m weist überwiegend eine mittel- bis grobsandige Ausbildung auf und war offensichtlich nur örtlich ausgebildet. Nach [2.4.2] existierten im Niveau der unteren Talsande Bereiche, die durch einen erheblichen Feinkornanteil bestimmt waren. Dort traten schluffige und tonige Kornfraktionen zum Teil bis zu 50 % der Gesamtmasse auf. Daraus war abzuleiten, dass diese Bereiche als schwach wasserdurchlässig zu bewerten waren.
- 0,5 m bis 4,5 m mächtige interglaziale Ablagerungen, die die Talsande unterlagerten bzw. in diese eingelagert waren. Dieser Horizont, mit einem Höhenniveau von ca. +118 m NN bis +122 m NN bestand fast ausschließlich aus tonig-feinsandigen Schluffen, wobei der tonig-schluffige Anteil ca. 70 % bis 80 % betrug. Aufgrund dieser Materialzusammensetzung war der Horizont als sehr schwach durchlässig beziehungsweise als Quasinichtleiter zu bezeichnen.
- Grundmoränenartige Bildungen, die Mächtigkeiten von 5 m und mehr erreichen konnten. Sie bestanden sowohl aus Geschiebesanden der Elsterkaltzeit als auch aus Geschiebemergel und fluviatil aufgearbeiteten Grundmoränen der Saalekaltzeit. Ihre Kornzusammensetzung war entsprechend den stark schwankenden Strömungsverhältnissen des Wassers sehr unterschiedlich, so dass sowohl tonig-lehmige als auch sandig-kiesige Bereiche anzutreffen waren. Teilweise traten „scharfkantige“ Sande auf. Daraus kann geschlossen werden, dass sie nicht unbedingt fluviatil aufgearbeitet worden sind. Entsprechend der räumlich unterschiedlichen Kornzusammensetzung traten in diesem Horizont erhebliche Unterschiede in der Wasserdurchlässigkeit auf. Elsterzeitliche Geschiebemergel und Bändertone befinden sich an der östlichen und nord-östlichen Feldesgrenze im Bereich der Koblenzer Rinne. Die Pleistozänbasis lag in einem Niveau von ca. +100 m NN bis +110 m NN.
- Tertiäre Ablagerungen als unmittelbar Hangendes des Kohlenflözes. Örtlich waren tertiäre Sedimente nicht auszuschließen. Häufig sind sie in ihrer ursprünglichen Lagerung durch glazigene Vorgänge zerstört worden.

- Das bis zu 15 m mächtige 2. Lausitzer Flöz mit einer Basis bei ca. +96 m NN bis ca. +101 m NN. Innerhalb des Lagerstättenkomplexes sind lokale bis größere Auswaschungen vorhanden. Anmerkung: In einigen Quellen wird, obwohl es sich bei dem Lagerstättenkomplex um den 2. Lausitzer Flözhorizont handelt, vom 1. Lausitzer Flöz gesprochen, wie in [2.7.9], [2.4.7].
- Die Liegendsedimente sind durch die vorhandenen Aufschlussdokumentationen im Bearbeitungsbereich wenig belegt [2.4.37], [2.4.2].

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

5.2 Kippenverhältnisse und -zusammensetzung

Neben den ursprünglichen geologischen Verhältnissen hat die Tagebau- und Versturztechnologie einen entscheidenden Einfluss auf die Kippenverhältnisse im Bearbeitungsgebiet. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass anhand von aufgenommenen Profilen aus dem Jahre 1938 der Kornanteil $d < 0,2$ mm im Tagebau Werminghoff I 31,8 % und im Tagebau Werminghoff II 48,3 % betrug. 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.

Für das Untersuchungsgebiet 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 (Brückenkippe, Außenkippe Maukendorf).

Auf Grundlage der ursprünglichen geologischen Verhältnisse kann davon ausgegangen werden, dass im Bearbeitungsgebiet hauptsächlich sandig-kiesige und zum Teil auch schluffige Kornfraktionen anstanden. Somit kann die Annahme getroffen werden, dass die vorhandenen Kippen des Knappensees aus diesen Kornmaterialien bestehen. Die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen der geotechnischen Verhältnisse sind detailliert in [2.4.66] dargestellt.

Anhand der Kippenhistorie können nach [2.4.9] an den Uferstreifen des Knappensees sowie angrenzenden Hinterlandbereichen folgende Kippenverhältnisse erkannt und über Erkundungen (siehe Kapitel 7) nachgewiesen werden:

- Das Liegende des ursprünglichen Tagebaues befindet sich auf Höhen zwischen +96 m NHN und +101 m NHN und liegt im Norden tiefer als im Süden. Die minimale Überdeckungshöhe des Liegenden durch Abraummassen beträgt etwa 13 m.
- Der Seegrund wird im Süden durch die Oberfläche der Brückenkippe, die aus Material des Tagebaues Werminghoff I besteht, gebildet. Im Bereich der Rutschung von 1941 ist die Morphologie des Untergrundes durch die damit verbundenen Umlagerungen geprägt. Massen aus dem Tagebau Werminghoff II dürften hier die aus dem Tagebau I überlagern oder mit diesen gemischt sein.
- Die Ufer im Südosten und Osten bis zum nördlichen Ende des ehemaligen Steilufers werden durch mittels Pflug oder Absetzer verkippten Massen aus dem Tagebau Werminghoff II gebildet, die die Massen der Brückenkippe und somit Material aus dem Tagebau Werminghoff I überlagern.

- Der Seegrund im Norden besteht aus Spülkippenmaterial, das aus dem Tagebau Werminghoff II stammt. Es überlagert die Rutschungsmassen der Rutschung vom 19.11.1930. Lokal steht durch die Rutschung umgelagertes Material an. Die Spülkippe lagert im Hinterland über gewachsenem Boden (Bereich Tagebauberme). Weiter nördlich folgt die Außenkippe Maukendorf (Absetzerkippe), die ebenfalls auf Gewachsenem aufsitzt.
- Im Nordosten wird der Seegrund allein aus Spülkippen gebildet, die die Absetzerkippen des Tagebau Werminghoff I überlagern.
- Im unmittelbaren Hinterland des östlichen Uferbereiches schließt sich die Absetzerhochkippe an, die aus Material des Tagebaus Werminghoff I besteht. Die Hochkippe sitzt im nördlichen Teil auf der Absetzerkippe des Tagebaus Werminghoff I und im südlichen Teil auf der Brückenkippe auf.

Mit den Untersuchungen zu den West- und Süduferbereichen können folgende Kippenverhältnisse nachgewiesen werden:

- Im Nordwesten ist die Uferböschung weitestgehend identisch mit der oberen Abraumkante. Der Böschung ist eine Spülkippe vorgelagert, die aus Abraummaterial des Tagebaus Werminghoff II besteht.
- Im westlichen Uferbereich verläuft die Abraumkante als schmale Ankippung überwiegend westlich der Uferlinie. Als Abraummaterial wurde Material des Tagebaus Werminghoff II in den technologisch verbliebenen Zwischenraum zwischen Brückenkippe und Gewachsenem verkippt.
- Dem westlichen Uferbereich sind die Inseln vorgelagert, die Aufragungen innerhalb der Brückenkippe darstellen. Das Brückenkippenmaterial besteht aus Abraum des Tagebaus Werminghoff I, der über die Förderbrücke im Direktsturzverfahren verkippt wurde.
- In die ehemals an der südlichen Tagebaugrenze verbliebenen bereits teilweise mit Wasser gefüllten Restlöcher A und B erfolgte das Einspülen von Material aus dem Tagebau II. In das Restloch B ergossen sich zusätzlich Rutschungsmassen der großen Rutschung aus dem Jahre 1941. Oberflächlich sind in den Bereichen D Ost und D West Handkippen anzutreffen, die über das bestehende Ufer in den See hinein reichen.

5.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Lagerstätte des ehemaligen Tagebaues Werminghoff wird durch zwei SW nach NE streichende und im NE aufeinander zulaufende pleistozäne Auswaschungsrinnen begrenzt. Dies ist im Westen des Tagebaues Werminghoff I die Maukendorfer Rinne und im Osten die Koblenzer Rinne. Nördlich des Tagebaurestloches befindet sich die Hoyerswerda – Weißkollmer Rinne. Die vorhandenen Grundwasserleiter sind mit den großen pleistozänen Auswaschungsrinnen gekoppelt. Die Entwässerung der Rinnen erfolgt in Richtung Urstromtal.

Der vorbergbauliche Grundwasserspiegel hatte ein Einfallen von +127,00 m NHN im Süden auf +120,00 m NHN im Norden. Die Geländehöhen vor Aufschüttung der Kippen betragen +125,00 m NHN bis +128,00 m NHN. Durch Dünenbildungen waren lokal auch Höhen von +130,00 m NHN vorhanden [2.4.37].

Mit Auskohlung des Tagebaus Werminghoff I im Jahre 1944 verblieb im Westteil sowie im Ostteil der ehemaligen Grube jeweils ein großräumiges Restloch. Das westliche Restloch wurde infolge eines Hochwassers 1945 unkontrolliert geflutet. Damit entstand der heutige Knappensee. Der See besitzt eine Wasserfläche von ca. 250 ha. Innerhalb des Knappensees befindet sich Inseln mit einer Gesamtgröße von ca. 30 ha.

Gespeist wird der Knappensee durch das Schwarzwasser (südliches Ufer) und den Koblenzer Graben (südöstlicher Uferbereich). Der Knappensee wird als „Wasserspeicher Knappenrode“ genutzt. Über ein Auslaufbauwerk der LTV wird das aus dem See abgegebene Wasser dem Verteilerwehr südlich Maukendorf zugeleitet. Dieses Verteilerwehr regelt die Speisung des Schwarzwassers und des Schwarzen Grabens.

Der Wasserspiegel im Knappensee unterliegt Schwankungen jahreszeitlicher und wasserwirtschaftlicher Natur. Nach mehreren, durch Maßnahmen zur Minderung der Gefährdungen bedingten Schwankungen wurde im Jahr 1991 ein oberstes Betriebsstauziel von +125,50 m NHN festgelegt. Im Fall des Eintretens von Hochwasserperioden ist ein maximaler Höchststau von +126,0 m NHN ohne schädliche Auswirkungen auf die Standsicherheit der Uferböschungen und Dämme definiert. Zur Vermeidung von Brüchen an Unterwasserböschungen sollte der Wasserstand möglichst nicht unter +123,50 m NHN abgesenkt werden.

Im Rahmen der Realisierung von Sofortmaßnahmen zur Verringerung des geotechnischen Risikos im Bereich des Knappensees ist im März 2011 eine Stauspiegelabsenkung auf den Minimalwasserstand von +124,20 m NHN realisiert worden. Diese Situation stellt den aktuellen Zustand dar.

Seit seiner vollständigen Flutung betrug der bisherige Maximalstau im Knappensee ca. +126,60 m NHN im Juli 1981. Dabei war ein Wasseranstieg von 82 cm innerhalb von 3 Tagen zu verzeichnen mit einem maximalen Gradienten von 38 cm innerhalb eines Tages. Das Fallen des Wasserspiegels erfolgte im Zeitraum von 11 Tagen mit einem mittleren Gradienten von 6 cm pro Tag. Der tiefste Wasserstand lag bei +122,80 m NHN (Dez. 1985). Eine weitere extreme Situation trat im Juni 1995 auf. Ein Wasseranstieg von 55 cm erfolgte innerhalb von zwei Tagen auf +126,30 m NHN. Auch hier erfolgte eine Wasserspiegelsenkung über 10 Tage in Folge mit einem Gradienten von 4 cm pro Tag. Eine Übersicht zur Stauhaltung für den Zeitraum 1975 bis 1998 ist in Anlage 8 der Unterlage [2.4.36] ersichtlich.

Auf Grundlage der „Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit über Tage“ ist für den Bereich des Tagebaues Werminghoff I (Knappenrode und Restsee D/F – Graureiher See) eine Hydrologische Berechnung anzufertigen. Dies erfolgte mit der Erstellung einer Hydrologischen Berechnung (Einschätzung) vom 28.06.2002 [2.4.37]. Auf Grundlage von veränderten Randbedingungen der vorliegenden Einschätzung erfolgte deren Fortschreibung mittels 1. Nachtrag vom 10.12.2004 [2.4.45] und 2. Nachtrag vom 21.12.2010 [2.4.77].

Das Grundwasser strömt aus südlicher Richtung zu und fließt in nördliche und nordöstliche Richtung (Restloch D/F) ab. Im Zusammenhang mit der Flutung des Restlochs D/F (Graureihersee) ist insbesondere im Hinterland der südlichen Ostböschung noch mit einem Grundwasseranstieg und damit mit einer Änderung der Strömungssituation zu rechnen. Die Hydrologischen Einschätzungen bilden dabei die Grundlage für die Erarbeitung des Betriebsplanes „Folgen des Grundwasserwiederanstieges“ nach Außerbetriebnahme der bergbaulichen Entwässerung.

6 Allgemeinverständliche Darstellungen der geotechnischen Grundlagen

6.1 Standsicherheit von Kippenböschungen

Kippenböschungen zeichnen sich vor allem durch ihre Genese aus. Alle Böschungen innerhalb einer Kippe bestehen aus durch die Bergbautätigkeit umgelagerten und aufgeschütteten Materialien. Je nach der Schütttechnologie wurden durch diesen technischen Prozess unterschiedliche mechanische Eigenschaften (u.a. Lagerungsdichten, Festigkeiten und Durchlässigkeiten) in der Schüttung realisiert. Durch eine besonders geringe Lagerungsdichte zeichnen sich z. B. Pflugkippen aus.

Kippenböschungen, die im aktiven Bergbau hergestellt und keiner weiteren Profilierung unterzogen wurden, weisen meist einen Böschungswinkel auf, der dem inneren Reibungswinkel des Materials ähnlich ist. Sie befinden sich nahe dem erdstatischen Gleichgewichtszustand. Im erdstatischen Zustand lassen sich für diese Böschungen mit Böschungsbruchberechnungen nach dem Lamellenverfahren Sicherheiten nahe $S = 1,0$ ermitteln.

Ändern sich die geotechnischen Randbedingungen, z. B. durch einen Anstieg des Wasserspiegels innerhalb der Kippe (beim Grundwasseraufgang), können sich damit auch Änderungen im Kräfteverhältnis innerhalb der Kippenböschung ergeben und entscheidend diesen Gleichgewichtszustand beeinflussen. Durch den Anstieg des Grundwassers verringern sich die wirksamen Spannungen im wassergesättigten Bereich.

Erfolgt in einer wassergesättigten lockeren überwiegend sandigen Kippe ein Initialeintrag, so kann ein Porenwasserüberdruck innerhalb des wassergesättigten Kippenkörpers erzeugt werden. Erreicht dieser den Wert der wirksamen Spannungen, so gibt es keinen Korn-zu-Korn-Kontakt mehr, der Kippenboden hat sich verflüssigt (siehe nachfolgende Kapitel). In diesem Stadium kann der Kippenboden große Deformationen erleiden. Ein Setzungsfließen oder ein Geländebruch infolge Verflüssigung ist dann nicht mehr auszuschließen.

6.2 Verflüssigungsvorgänge

6.2.1 Spannungsverhältnisse im Porenraum

Ein nicht wassergesättigtes, grobkörniges Lockergestein überträgt im Korn-zu-Korn-Kontakt Spannungen. Diese entsprechen dem Überlagerungsdruck und lassen sich in eine vertikale und eine horizontale Komponente aufteilen.

Aus dem Eigengewicht des Bodens ermitteln sich die wirksamen vertikalen Spannungen σ_{zz}'

$$\sigma_{zz}' = \gamma \times z.$$

Der Erdruchdruckbeiwert drückt das Verhältnis zwischen den horizontalen und den vertikalen Spannungen aus.

In der Bodenmechanik wird der Erdruchdruckbeiwert über folgende empirische Beziehung ermittelt:

$$k_0 = 1 - \sin \varphi'.$$

Die wirksame horizontale Spannung σ_{xx}' kann über folgende Formel aus der wirksamen vertikalen Spannung ermittelt werden:

$$\sigma_{xx}' = k_0 \times \sigma_{zz}'.$$

Im wassergesättigten Sand ist der Porenraum zwischen den Feststoffkörnern vollständig (oder zum größten Teil) mit Wasser gefüllt. Der Wasserdruck, der dabei im unbeeinflussten Zustand vorherrscht, entspricht dem hydrostatischen Druck, der mit zunehmender Tiefe ansteigt.

Durch das Wasser im Porenraum erfolgt eine Verminderung der wirksamen Spannungen im Lockergestein. Einen Teil der Spannungen (entsprechend dem hydrostatischen Druck) wird durch das Wasser aufgenommen. Die Körner unterhalb des Wasserspiegels stehen unter Auftrieb.

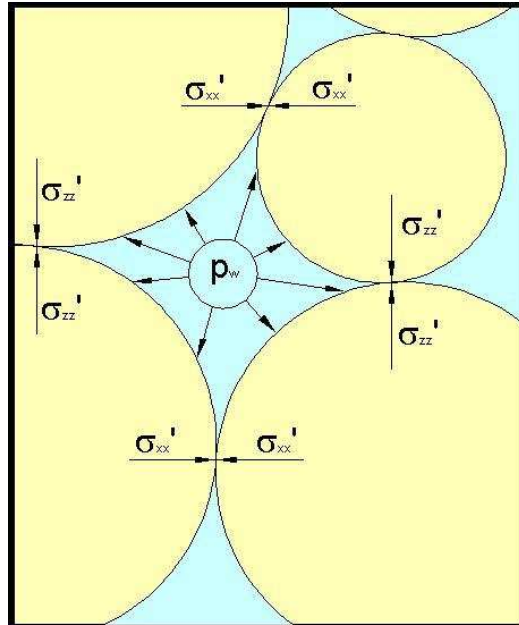
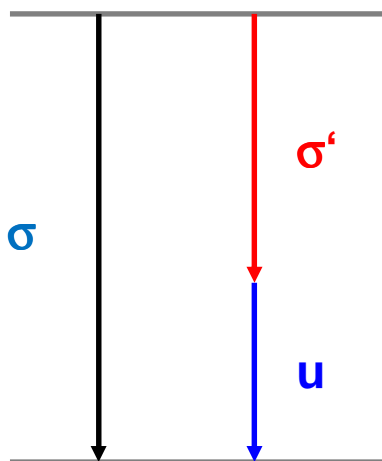


Abbildung 1: Prinzipdarstellung der Spannungen im Umfeld des Porenraums ([2.4.78])

Eine Darstellung der Spannungsverhältnisse im Zusammenhang mit den Porenwasserdruckverhältnissen für den Porenraum zeigt schematisch die Abbildung 1.

Durch den hydrostatischen Druck erfolgt eine Verminderung der über den Korn-zu-Korn-Kontakt übertragenen wirksamen Spannungen. Die totalen Spannungen σ setzen sich aus einem wirksamen Spannungsanteil σ' (der über das Korngerüst abgetragen wird) und den Porenwasserdruck u (der dem hydrostatischen Druck entspricht) zusammen.

Den Zusammenhang zwischen den totalen und den wirksamen Spannungen sowie dem Porenwasserdruck zeigt Abbildung 2.



$$\sigma' = \sigma - u$$

(für den Fall der vollständigen Verflüssigung wird $\sigma' \approx 0$)

Abbildung 2: Darstellung des Zusammenhangs zwischen totalen (σ) und wirksamen (σ') Spannungen und dem Porendruck u (Beziehung nach Terzaghi)

6.2.2 Spannungsverhältnisse im Verflüssigungsfall

Im Verflüssigungsfall entsteht im Porenraum ein Porenwasserüberdruck, der höher ist als der vorherrschende hydrostatische Druck. Übersteigt der Porenwasserüberdruck den Spannungsanteil der wirksamen Spannungen, so besteht zwischen den einzelnen Körnern kein Kontakt mehr. Eine Kraftübertragung von Korn zu Korn ist somit nicht mehr möglich. In diesem Fall tritt der vollständige Verlust der Scherfestigkeit ein und das Lockergestein verhält sich wie eine Flüssigkeit.

Vollständig verflüssigte Sande verhalten sich wie eine Suspension. Durch den Porenwasserüberdruck werden die wirksamen Spannungen komplett aufgehoben. Der wassergesättigte Boden wird nahezu unbegrenzt deformationsfähig.

Eine Porenwasserdruckerhöhung wird in der Praxis durch einen raschen Initialeintrag ausgelöst, also durch eine plötzliche Änderung der Spannungs- und Druckverhältnisse im Lockergestein. Durch diesen erhöht sich der im Porenraum des Lockergesteins vorherrschende Wasserdruck (Abbildung 1). Kann das Lockergestein bei der gegebenen Durchlässigkeit nicht ausreichend schnell drainieren, so wirkt der Porenwasserüberdruck auf dessen Korngerüst. Dabei tritt eine teilweise oder vollständige Entfestigung wassergesättigter, locker gelagerter Sande ein. Durch den im Porenraum auftretenden Porenwasserüberdruck werden die horizontal bzw. vertikal wirksamen Spannungen des Korngefüges teilweise oder vollständig aufgehoben.

Initiale, die ein Setzungsfließen auslösen können, sind:

- Erschütterungen aus dem Massenabwurf bei der Kohlegewinnung (und relativ geringem Grundwasserflurabstand) oder aus Fahrverkehr (insbesondere durch Kettenfahrzeuge),
- plötzliche oder schnelle Spannungsänderungen (z. B. durch einen schnell vollzogenen Massenauftrag),
- plötzlich auftretende Strömungskräfte (z. B. bei Rückströmung des Wassers nach Anstau durch Wind, schnelle Wasserspiegelabsenkung),
- Sackungen im Kippeninneren bei Wasseranstieg,
- Zusammenbrechen von unterirdischen Hohlräumen (z. B. alte Entwässerungstollen aus dem ehemaligen Tiefbau oder „hängen gebliebene“ Sackungen),
- lokales Böschungsversagen (z. B. Böschungsbrüche bei übersteilen Böschungen),
- Lasteinträge von außen (z. B. durch Bautätigkeit),
- Energieeinträge aus meteorologischen Einflüssen (Windenergieeintrag, Starkniederschläge mit einhergehender Aufsättigung oberflächennaher Kippenbereiche),
- Änderung der hydrologischen Verhältnisse (z. B. Anstieg des Wasserspiegels in der Kippe).

6.2.3 Vollständige Verflüssigung

Werden durch die Erhöhung des Porenwasserdruckes die wirksamen Spannungen σ' vollständig aufgehoben, so tritt nach [2.4.75] eine vollständige Verflüssigung ein (siehe Abbildungen 1 und 2).

Um eine vollständige Verflüssigung zu bewirken, muss der Porenwasserdruck eine Größe erreichen, die der totalen vertikalen Spannung σ_{zz} entspricht. Durch den Porenwasserüberdruck (PWÜD) werden die wirksamen Spannungen (σ') aufgehoben und es können keine Reibungskräfte zwischen den Körnern übertragen werden. Der Boden verhält sich wie eine Flüssigkeit.

Je nach den geometrischen Gegebenheiten (z. B. eine Böschung zu einem offenen Restloch und damit ausreichende Freiheiten zum Ausfließen) kann dann eine Setzungsfleißbrutschung mit großen Deformationen entstehen.

Auch bei einem Vorliegen von behinderten Ausfließbedingungen oder Geländehöhenunterschieden können sehr große Deformationen in Form von „grundbruchartigen“ Versagenserscheinungen (großräumige Sackungen) auftreten („Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung“, siehe [2.8.23]).

6.2.4 Teilverflüssigung

Ausgehend von den Spannungsverhältnissen im Porenraum tritt nach [2.4.75] eine Teilverflüssigung ein, wenn der Porenwasserdruck z. B. die Größe der totalen Horizontalspannungen σ_{xx} erreicht bzw. übersteigt, jedoch noch unterhalb der totalen vertikalen Spannungen liegt. In diesem Fall können keine horizontalen Kräfte zwischen den einzelnen Körnern übertragen werden und die seitliche Stützung des Korngefüges wird aufgehoben. In diesem undrännierten Zustand können horizontale Deformationen bzw. Verschiebungen zwischen den Einzelkörnern stattfinden.

Mit dem Eintreten von seitlichen Deformationen verringert sich auch die vertikale Stützwirkung des Korngefüges. Es erhöht sich unter undrännierten Bedingungen der Porenwasserdruck im Porenraum. Dies wiederum bewirkt eine Verringerung des wirksamen vertikalen Spannungsanteils.

Der Übergang zur vollständigen Aufhebung der wirksamen Spannungen und damit zur totalen Verflüssigung erfolgt dabei fließend.

6.2.5 Stoffeigenschaften von zur Verflüssigung neigenden Lockergesteinen

Die Empfindlichkeit von grobkörnigen Böden gegenüber einer Bodenverflüssigung hängt hauptsächlich von der Lagerungsdichte, der Korngröße, der Gleichförmigkeit der Kornverteilung, der Kornform (Rundungsgrad) und der Rauigkeit der Körner ab.

Einen entscheidenden Einfluss nimmt dabei die Lagerungsdichte ein. Je geringer diese ist, desto größer ist die Empfindlichkeit des Lockergesteins gegenüber einem Festigkeitsverlust infolge Porenwasserdruckerhöhung. Es liegen lokal meist gesicherte Erfahrungen zur Lagerungsdichte vor. Setzungsfleißgefahr besteht z. B. in Lohsa ungefähr bei einem Dichteindex (bezogene Lagerungsdichte I_D) von $I_D \leq 0,6$.

Einen Hinweis auf sehr geringe Lagerungsdichten liefern Drucksondierungen. Liegen die durch Drucksondierungen festgestellten Spitzendruckwerte im wassergesättigten Sand bei $q_c \leq 1,5 \text{ kN/m}^2$, so deutet dies auf sehr hohe Porositäten und damit geringe Lagerungsdichten hin. Als kritische spannungsabhängige Porosität wird ein Wert von $n > \text{ca. } 38 \%$ bis 40% angesehen.

Ein weiteres wesentliches Merkmal ist in der Kornverteilung des Lockergesteins zu sehen. Für sandige Böden steht ein charakteristisches Kornband (siehe Abbildung 3) zur Verfügung, das eine Eingrenzung für zur Verflüssigung neigende Sande vornimmt.

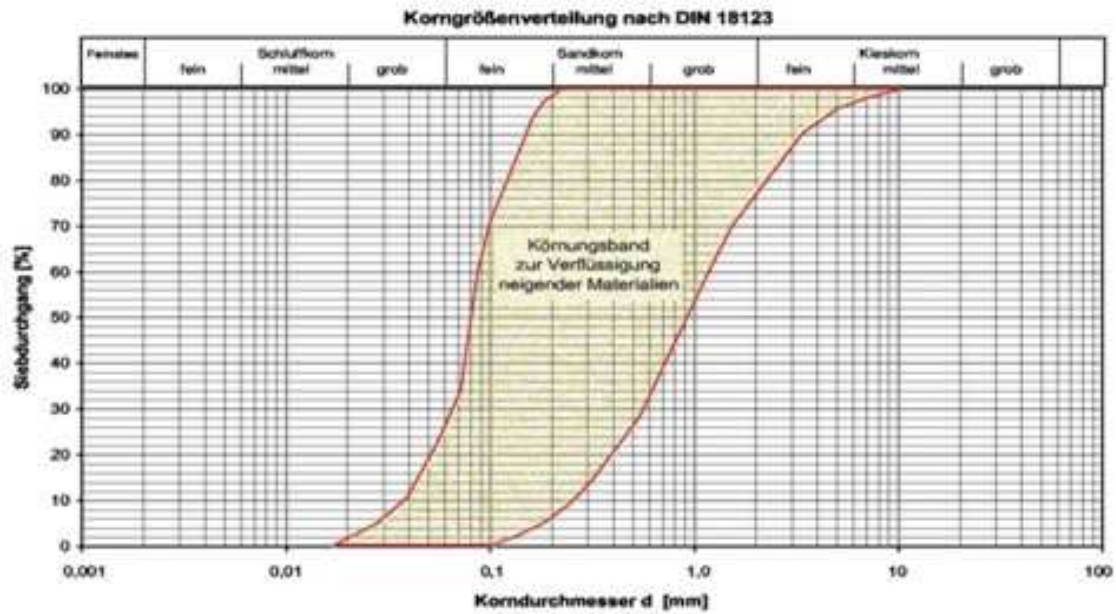


Abbildung 3: Korngrößenverteilung von zur Verflüssigung neigenden Sanden

Deutlich geht aus der Abbildung 3 hervor, dass für eng gestufte Sande mit einer steil stehenden Kornverteilungskurve die Gefährdung gegenüber Verflüssigung deutlich höher ist als für gut abgestufte Materialgemische. Dies drückt sich in der zu Beginn des Kapitels angeführten Gleichförmigkeit des Korngemisches aus (Ungleichförmigkeitsgrad $U < 3$).

Ebenfalls abhängig von der Kornverteilung ist die Durchlässigkeit und damit die Drainagefähigkeit des Lockergesteins. Je nach Durchlässigkeit und Drainageeigenschaft des Kippenmaterials können Porenwasserüberdrücke unter bestimmten Bedingungen nicht schnell genug abgebaut werden. Es stellen sich undrainierte Verhältnisse im Kippenkörper ein. Dies bewirkt eine Verringerung der wirksamen Spannungen im Korngerüst.

Rundungsgrad und Rauigkeit der Einzelkörner beeinflussen das Widerstandsverhalten des Lockergesteins gegen Scherbeanspruchung. Je geringer die Rauigkeit der Kornoberfläche und je höher der Rundungsgrad der Einzelkörner des Korngemisches ist, desto anfälliger ist das Korngemisch gegenüber Verflüssigungserscheinungen.

Insgesamt nimmt das Zusammenspiel aller stofflichen Eigenschaften in Verbindung mit den geotechnischen Verhältnissen Einfluss auf das Verhalten des Lockergesteins bei auftretenden Porenwasserüberdrücken.

6.3 Setzungsfließen und Verflüssigungsgrundbruch

Tritt in einem Lockergestein mit den vorn beschriebenen Eigenschaften bei Wassersättigung ein genügend hoher Porenwasserüberdruck auf, so kann sich bei ausreichender horizontaler Ausbreitungsfreiheit ein Setzungsfließen entwickeln.

Mit dem Aufheben der wirksamen Spannungen im Korngerüst nimmt der Boden suspensionsartige Eigenschaften an. Durch den Materialzusammenbruch an der Initialstelle kann ein kollaps- und kettenreaktionsartiges Verhalten im Boden ausgelöst werden. Der Scherfestigkeitsverlust breitet sich im Kippenkörper weiter aus. Damit einhergehend erfolgt die Bewegung der nun vorhandenen Bodensuspension in Richtung Restloch. Es entsteht eine lawinenartige Bodenbewegung in Richtung Restloch – das sogenannte Setzungsfließen. Kennzeichnend für diese Rutschungsart ist die sich unter Umständen ausbildende große Rückgriffweite. Setzungsfließrutschungen können mehrere Millionen Kubikmeter Kippenmaterial umfassen und außerordentlich weit in das Böschungshinterland eingreifen.

Wie aus den aktiven Sanierungsarbeiten bekannt ist, können solche Rutschungen über mehrere Minuten andauern. Durch Videoaufzeichnungen, die bei den Sanierungsarbeiten am benachbarten Silbersee angefertigt wurden und ein Böschungsversagen dokumentieren, ist dies auch filmisch belegt.

Auch wenn keine ausreichenden Freiheiten für ein Ausfließen der Kippe in ein Restloch vorhanden sind, können durch Verflüssigungsprozesse sogenannte Geländebrüche infolge Verflüssigung entstehen und unter Umständen ein größeres Schadensausmaß einnehmen.

Insbesondere ungünstige geometrische Verhältnisse, wie sie hohe steile Böschungen darstellen, in Verbindung mit einem geringem Grundwasserflurabstand tragen ein hohes Verflüssigungsrisiko in sich.

Nach Beendigung der Verflüssigung lagern sich die Körner in einem dichteren Gefüge ab, so dass sich daraus eine Volumenverringerung ergibt.

6.4 Aktueller Entwicklungsstand der Bewertung von Kippen

Der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand wurde in den Beiträgen zum Fachkolloquium 4 „Bodenverflüssigung bei Kippen des Lausitzer Braunkohlenbergbaus“ im Rahmen des Freiburger Forschungsforums zum 63. Berg- und Hüttenmännischen Tages am 14./15.06.2012 [2.8.22] dargestellt.

Zu nach folgend aufgezählten Schwerpunkten werden momentan Untersuchungen und Betrachtungen in Bezug auf Verflüssigungsprozesse durchgeführt:

- Einflüsse von Niederschlägen, Wind, Frost, Luftdruck auf das Entstehen von Verflüssigungen,
- Untersuchungen zum 3-Phasensystem Boden, Wasser, Luft und insbesondere zum Einfluss von Gas und Luft auf dem Ablauf von Setzungsfließvorgängen.
- Einsatz von Dräns zur Sicherung von Objekten,
- Hydrogeochemische Prozesse,
- Suffosion und Sackungen,
- Sackungsfließen (flächenhafter Grundbruch).

Initiiert durch die LMBV erfolgen derzeit weitere Untersuchungen im Rahmen des Geotechnischen Beirates zu Verflüssigungsvorgängen. Ebenfalls werden zur Zeit Versuche zur „schonenden“ Verdichtung der Kippen realisiert.

Aus bisherigen Untersuchungen zu den aufgetretenen Schadensfällen wurde erkannt, dass neben den bekannten „klassischen“ bodenmechanischen Parametern, wie Kornverteilung, Lagerungsdichte, Rundungsgrad der Sandkörner auch weitere Faktoren wie Niederschläge, Frost, Wind usw. einen entscheidenden Einfluss auf das Verflüssigungsverhalten des Kippenbodens nehmen [2.8.22]. Zusätzlich wurde in den Untersuchungen festgestellt, dass unterhalb des Kippenwasserspiegels ein gewisser Anteil an Porengas (0 %...10 %) noch vorhanden ist und dieser für eine Verflüssigung eine größere Rolle spielt als bisher angenommen [2.8.22].

Die aktuell in großem Umfang betriebenen Forschungen zu Verflüssigungsprozessen wie sie zum Teil in [2.8.22] dargestellt werden, zeigen deutlich, dass über Verhältnisse die zu Verflüssigungen führen (vor allem bezüglich der Einwirkungen) noch keine völlig ausreichenden Kenntnisse vorliegen. Entsprechend können aktuell Betrachtungen zu Initialeinträgen (im Sinne einer ausreichenden Verhinderung von Verflüssigungsprozessen), wie in Kapitel 11 diskutiert, nicht abschließend geführt werden.

Aufgrund der in jüngster Vergangenheit gegangenen Geländebrüche (Sackungsfließen) infolge Verflüssigung im Untergrund wurden insbesondere im Geotechnischen Beirat der LMBV unterschiedliche Ansätze zur Bewertung von Innenkippenflächen erarbeitet.

Ein praktischer Ansatz bewertet auf Basis der bisher vorliegenden Erkenntnisse und der Auswertung der bisher gegangenen Geländebrüche die geometrischen Gegebenheiten zusammen mit den Stoffeigenschaften des Kippenmaterials und den vorherrschenden hydrologischen Randbedingungen.

Es wird empirisch ein Gefährdungsfaktor für den betrachteten Kippenteilabschnitt ermittelt. Der Faktor berücksichtigt neben den bodenphysikalischen Eigenschaften den Abstand der Kippenoberfläche zum Grundwasser, das hydraulische Gefälle, die Neigung der Geländeoberfläche, die dazugehörige Höhendifferenz der Geländeoberfläche und die Belastung der Kippe. Diese Parameter, Eigenschaften und Bedingungen werden in sogenannte π -Faktoren überführt, die dimensionslose (normierte) Größen darstellen. Der Gefährdungsfaktor kann nun für bestimmte Punkte auf der Kippe berechnet werden. Je nach Rasterdichte ist damit die Visualisierung von besonders gefährdeten Bereichen innerhalb der Kippenfläche möglich (Beitrag „Erste Ergebnisse für die Bewertung von Kippen mit Gefährdungsfaktoren“ [2.8.22]). Mit dieser Auswertung ist es möglich, bisher unerkannte kritische Bereiche zu lokalisieren und an ausgewiesenen Gefährdungspunkten zusätzliche geotechnische Berechnungen auszuführen.

Eine Interpretation der errechneten Gefährdungsfaktoren hinsichtlich sicherer oder unsicherer Kippenbereiche kann vorerst nicht durchgeführt werden. Zu diesem Thema wird derzeit durch die LMBV intensive Forschungsarbeit betrieben.

Anhaltspunkte für die Einordnung der für den betrachteten Kippenbereich ermittelten Kenngrößen liefern Gefährdungsfaktoren, die für Kippenbereiche mit bereits stattgefundenen Geländebrüche errechnet wurden.

7 Erkundungs- und Untersuchungsprogramme

7.1 Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 1982/1983

Im Rahmen der Standsicherheitseinschätzung von 1982 [2.4.9] wurde ein erstes Untersuchungsprogramm im Bereich des östlichen Ufers bis in dessen Hinterland ausgeführt. Hierbei erfolgten die Durchführung von 5 Trockenbohrungen, 4 Spülbohrungen, 14 Drucksondierungen, 27 Druckdrehsondierungen, 22 Drehflügelsondierungen, 10 Standard-Penetration – Tests und das Anlegen von 5 Schürfen.

Mit dieser ersten größeren Untersuchungskampagne wurden die vorhandenen bodenmechanischen Verhältnisse am östlichen Uferbereich des Knappensees erkundet und bestimmt.

Die Proben aus den angelegten Schürfen zeigen einen Feinkorngehalt ($d < 0,063$ mm) von ≤ 15 % mit Ungleichförmigkeitszahlen bei den reinen Sanden von $U < 3,0$. Die Kornverteilungskurven liegen meist völlig im für ein Setzungsfließen kritischen Kornbereich. Die natürlichen Porenzahlen liegen im Bereich zwischen $e_n = 0,60 \dots 0,84$, wobei die kleinsten Werte eindeutig Spülkippen zugeordnet werden können. Die Lagerungsdichten der erkundeten Kippenböden weisen eine überwiegend lockere Lagerung aus. Die Spülkippen zeigen in der Regel mitteldichte Lagerungen.

Die durchgeführten Sondierungen charakterisieren die vorhandenen Kippenverhältnisse am Ostufer des Knappensees wie folgt [2.4.9]:

- Förderbrückenkippe, gering überdeckt, geringste Lagerungsdichten,
- Förderbrückenkippe mit 20 m ... 24 m Absetzerüberlagerung, die Absetzerkippen sind dabei etwas dichter gelagert, die lockere Lagerung beginnt im Niveau des Grundwasserspiegels mit der Förderbrückenkippe,
- Förderbrückenkippe durch geringmächtige Spülkippe (dichter gelagert) überlagert,
- Förderbrückenkippe, die von Spülkippe und geringmächtigerer Absetzerkippe überlagert ist,
- Spülkippe von Absetzerkippe überlagert,
- Spülkippe.

Nach Auswertung der Kornverteilungen und einem Vergleich mit dem Kornband von zu Setzungsfließen neigendem Material ist der vorhandene Kippenboden als verflüssigungsempfindlich anzusprechen. In den Uferbereichen G und S sind extrem lockere Lagerungen der Kippen vorzufinden.

Im Einzelnen sind die Lagerungsdichten der vorhandenen Kippenmaterialien wie folgt nachgewiesen worden:

- extrem lockere Lagerung am Koblenzer Strand und in der Umgebung des Aufschlusses 403/84 (Untersuchungsbereich G),
- lockere Lagerung am Nordostufer mit Hinterland (Untersuchungsbereiche S und T),
- lockere bis mitteldichte Lagerung am Nordstrand (Untersuchungsbereich U).

Zwischen den Lagerungsdichten und der Technologie der Herstellung der Kippen konnten folgende Zusammenhänge näherungsweise abgeleitet werden:

- Der Koblenzer Strand ist Pflugkippenbereich (Untersuchungsbereich G).
- Nordstrand, Bootsvereine und Feriensiedlung Maukendorf sind Spülkippenbereiche (Untersuchungsbereich U).
- Das Nordostufer mit Hinterland ist Brücken- bzw. Absetzerkippenbereich (Untersuchungsbereiche G, S und T).

Die Laboruntersuchungen zeigen folgendes Bild (an einer im Mittel als repräsentativ zu wertenden Probe):

- Die mobilisierbare Scherfestigkeit fällt mit wachsender Porosität erheblich ab.
- Anisotrope Konsolidation lässt aufgrund des starken Porenwasserdruckanstiegs keinen merklichen Festigkeitsgewinn mehr erwarten, d.h. auf die in-situ-Verhältnisse übertragen, jede Spannungserhöhung und -umlagerung durch äußere Initiale kann zu einem Setzungsfließen führen.
- Die Untersuchungen an Proben unter Spannungszuständen, die etwa den Verhältnissen in situ entsprechen, führen in Abhängigkeit vom Hauptspannungsverhältnis auf mobilisierbare Reibungswinkel von 19° bis 25° .

Anhand der durchgeführten Erkundungen und Laboruntersuchungen wird in [2.4.11] eingeschätzt, dass der gesamte Ufersaum des Ost- und Nordufers verflüssigungsgefährdet ist.

7.2 Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 1987

Im Vorfeld der Standsicherheitsuntersuchung für die Bewertung der West-, Südufer, Inselbereiche und Bereich Jugendtouristhotel des Knappensees bei Hoyerswerda erfolgten durch die Bergsicherung Cottbus (einschließlich Unterauftragnehmer) die Durchführung von Feld- und Laboruntersuchungen und eine Auswertung der vorhandenen Verhältnisse bis hin zu einer Beurteilung des vorhandenen Gefährdungsgrades [2.7.10].

Anhand der Untersuchungsergebnisse können die in Tabelle 2 aufgezeigten Verhältnisse an den West- und Süduferbereichen abgeleitet werden.

Die Ergebnisse der 1986 ausgeführten und 1987 ausgewerteten Untersuchungen zeigen deutlich, dass für das West- und Südufer im Bereich der Kippen ebenfalls eine Setzungsfließgefahr besteht.

Tabelle 2: Ergebnisse des Erkundungs- und Untersuchungsprogrammes 1987

Abschnitt	Bewertungskriterium	Ausbildung	Bewertung
Bereich C	Kornverteilung (Feinkornanteil)	< 10 %	stark setzungsließgefährdet
	Kornform	rund	
	Lagerungsdichte	locker bis sehr locker	
	Wasserstandsverhältnis in Kippenböschung (H_W/H_R)	0,76 – 0,96	
Bereich D	Kornverteilung	vereinzelt Schluff und Ton, separat vorliegend	setzungsließgefährdet bis bedingt setzungsließgefährdet
	Lagerungsdichte (Handkippe bis 4 – 5m Tiefe)	sehr locker	
	Lagerungsdichte (> 5 m Tiefe, Wechsellagerung Spülkippe)	locker, partiell bis mitteldicht	
	Wasserstandsverhältnis in Kippenböschung (H_{WK}/H_K)	0,67 – 0,92	
Bereich F	Kornverteilung	toniger Sand bis Sand	bedingt setzungsließgefährdet
	Lagerungsdichte (bis 15,5 m Tiefe)	locker	
	Lagerungsdichte (> 15,5 m Tiefe)	mitteldicht	
	Wasserstandsverhältnis in Kippenböschung (H_W/H_R)	0,76 – 0,96	

7.3 Schwingungsmessungen

Infolge der Ergebnisse der Standsicherheitseinschätzung Ende der 1980er Jahre [2.4.23] wurde wegen fehlender Sicherungstechnologien vorrangig auf das Vermeiden von Verflüssigungen auslösender Initiale zur Minimierung der Gefährdung abgezielt. Die möglichen Gefährdungen wurden überwiegend nur als Schwerpunkte verbal definiert. Auch Anfang der 1990er Jahre wurde weiterführend nur der Sachverhalt der Vermeidung des Auftretens von Verflüssigungen auslösenden Initialen verfolgt. Deshalb wurde Mitte der 1990er Jahre begonnen, Initialversuche und Schwingungsmessungen zur Verifizierung der Festlegung von Verhaltensanforderungen durchzuführen.

Erste Versuche erfolgten mittels einer Vibrationswalze und einer messtechnischen Erfassung durch Schwingungsmessungen [2.4.31]. Die Versuche erfolgten im Bereich des Koblenzer Strandes (Abschnitt G Süd). Infolge wurden als zulässig erachtete Schwingungsgeschwindigkeiten abgeleitet. Eine Bewertung dieser ersten Versuchsreihe zu Initialen durch einen Sachverständigen für Böschungen kam jedoch zu dem Schluss, dass die Ergebnisse als noch nicht repräsentativ angesehen werden konnten. Es wurde in [2.4.32] empfohlen die Versuche zu wiederholen.

7.4 Baugrunderkundungen

Wasserrutsche Groß Särchen - 1996

Das betrachtete Gebiet befindet sich am Außenrand des Untersuchungsbereiches E innerhalb des Strandbades Groß Särchen, ca. 60 m südlich der Uferlinie des Knappensees (Anlage 6/11). Im geplanten Areal einer Wasserrutsche wurden drei Schwere Rammsondierungen 301/96 - 303/96 und drei Trockenbohrungen 201/96b - 203/96 bis ca. 7 m Tiefe niedergebracht [2.4.33].

Der untersuchte Bereich befindet sich auf gewachsenem Untergrund. Die Geländehöhe beträgt ca. +129,00 m NHN. Unterhalb einer maximal 0,3 m mächtigen Bedeckung durch Mutterboden sind bis 0,9 m unter Gelände holozäne Sedimente verbreitet, die sich aus nicht bis schwach schluffigen, zum Teil humos durchsetzten Fein- bis Mittelsanden zusammensetzen. Diese werden von Talsanden unterlagert, die bis > 7 m unter Gelände ausgebildet sind. Die Talsande bestehen überwiegend aus enggestuften Mittelsanden. Lokal sind schwach bis stark schluffige Fein- und Mittelsande sowie humose Feinsande anzutreffen.

Entsprechend der n_{10} - Werte der Schweren Rammsonde wurden im Teufenbereich bis 6 m mitteldichte Lagerungsverhältnisse nachgewiesen. Unter Beachtung des höchsten Stauzieles für den Knappensee ist im betrachteten Gebiet für den ungünstigsten Fall ein Grundwasserstand von $\approx 1,3$ m unter Gelände zu prognostizieren.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass für die beabsichtigte Baumaßnahme ab 0,9 m unter Gelände ein tragfähiger Baugrund vorhanden ist. Die Sondierprofile sind für die Setzungsfließproblematik nicht relevant.

Brücke Schwarzwasser Groß Särchen - 1997

Der untersuchte Bereich befindet sich am Außenrand des Untersuchungsbereiches E im Mündungsbereich des Schwarzwassers bei Groß Särchen auf gewachsenem Untergrund. Das Sondierprofil 201/97 ist bis 3,9 m Teufe durch Flussablagerungen geprägt und trifft anschließend ab +121,50 m NHN auf mitteldicht gelagerte Fein- und Mittelsande bis zur Aufschlusstiefe von 5 m. Im Profil 202/97 folgen unterhalb eines 1 m mächtigen organogenen Mittelsandes bis zur Aufschlusstiefe von 4 m Fein- und Mittelsande mit mitteldichter bis dichter Lagerung [2.4.34].

Die Sondierprofile sind hier ebenfalls für die Setzungsfließproblematik nicht relevant.

Nordstrand zwischen den Feriensiedlungen Maukendorf und Knappensee - 1997

Der Nordstrand zwischen den Feriensiedlungen Maukendorf und Knappensee ist in die Untersuchungsbereiche T und U unterteilt. Dabei wird der Bereich T von der Spülkippe 2 (Betriebszeit 1939 bis 1942) und der Bereich U von der Spülkippe 1 (Betriebszeit 1936/37) geprägt. Die nördlich der Spülkippe liegende Hochkippe ist auf dem gewachsenen Boden aufgesattelt.

Die Untersuchungskampagne 1997 am Nordstrand des Knappensees war durch die Zielstellung bestimmt, die Baugrundverhältnisse für die Verlegung von Schmutzwasser- und Trinkwasserleitungen und für den grundhaften Ausbau einer Straße zu ermitteln. Dazu wurden 17 Rammkernsondierungen mit Aufschlusstiefen zwischen 2 m und 4 m niedergebracht sowie 4 leichte Rammsondierungen zwischen 3 m und 4 m Teufe gestoßen [2.4.35].

Die Feld- und Laborergebnisse bestätigen die bereits in [2.4.30] getroffenen Feststellungen.

Die Grundwasserstände in Strandnähe entsprechen etwa dem Wasserstand im Knappensee. Materialproben zeigen Kornverteilungen mit verflüssigungsgefährdeten Kornspektren. Im Strandbereich wird lokal eine lockere bis sehr lockere Lagerung angetroffen.

Damit ist in diesem Bereich eine Verflüssigungsgefahr der anstehenden Spülkippen gegeben. Die flächenhafte mitteldichte Lagerung der pleistozänen Sande verringert jedoch das Risiko des Auftretens einer Setzungsfleißbrutschung erheblich. Die Unterwasserböschungen sind mit 2° bis 4° sehr flach ausgebildet. Damit kommen als Ursache für mögliche Rutschungen nur ungewohnt hohe Erschütterungseinträge in den Boden in Frage.

7.5 Erkundungs- und Untersuchungsprogramm 2000

Lotungen

Lotungen wurden für 16 Profile durchgeführt. Mit diesen Untersuchungen wurden die bereits früher getroffenen Einschätzungen bezüglich der Ausbildung der Unterwasserböschungen bestätigt. Die infolge der Spültechnologie entstandenen steileren Böschungen im Unterwasserbereich am ehemaligen Steilufer sind weiterhin anzutreffen. Im Inselbereich sind ebenfalls steilere Unterwasserböschungen vorhanden. Wesentliche zeitliche Veränderungen im Profil des Seebodens - insbesondere Abflachungen größerer Dimensionen - können nicht abgeleitet werden.

Felduntersuchungen und Erkundungsaufschlüsse

Zur Beurteilung der zu dieser Zeit vorhandenen geotechnischen Situation am Restloch Knappensee wurden zusätzliche Erkundungsmaßnahmen sowie Labor- und Feldprüfungen durchgeführt [2.7.11], [2.7.12] und [2.7.13].

Die Ausführung der Sondierungen erfolgte im Bereich bereits definierter Schnittpuren sowie in Nähe bereits früher erkundeter Bereiche.

Zur Verifizierung der bisherigen Untersuchungsergebnisse wurden nachstehende Feld- und Laboruntersuchungen durchgeführt:

- 16 Drucksondierungen, davon fünf mit der tragbaren Drucksonde,
- 3 radiometrische Kombinationsdrucksondierungen und
- 13 Rammkernsondierungen mit 29 Probenahmen zur Ermittlung der Kornverteilungen und einzelner Glühverluste.

Ergebnisse Drucksondierungen

Aus den in wesentlichen Kippenbereichen ermittelten Spitzendruckwerten q_c zwischen 2,0 MN/m² und 4,0 MN/m² wird ein Dichteindex I_D zwischen 0,20 und 0,37 abgeleitet. Am Koblenzer Strand liegen auch Werte $q_c < 2,0$ MN/m² vor. Mit lokalen Ausnahmen ist damit der Kippenboden sehr locker bis locker gelagert. Es ist von einer gut abgerundeten Kornform auszugehen. Aus den Kornverteilungen ist ein verflüssigungsgefährdetes Kornspektrum abzuleiten.

Die Ergebnisse der früheren Untersuchungskampagnen wurden grundsätzlich bestätigt.

Bereich U

Im Untersuchungsbereich U wurden mittlere Spitzendrücke über die gesamte Sondierteufe der sandigen Partien mit mittleren Werten q_c von 4,0 MN/m² bis 6,0 MN/m² ermittelt. Im Hinterland sind in den tieferen Bereichen höhere Werte ermittelt worden. Der Porenanteil n liegt bei ca. 0,35. Damit ist von einer lockeren bis mitteldichten Lagerung in der Spülkippe auszugehen. Die Spülkippe besteht überwiegend aus Sanden bis schwach schluffigen Sanden mit einem maximalen Feinkornanteil von 10 %

Bereich T

Es konnte ein stark inhomogener Aufbau mit lockerer Lagerung nachgewiesen werden. Die Werte der Spitzendrücke q_c betragen über die gesamte Sondiertiefe zwischen 2,0 MN/m² und 4,0 MN/m². Der Porenanteil n liegt bei ca. 0,35. Auch hier liegen mit der Teufe wachsend höhere Werte im Hinterland vor. Der Feinkornanteil wächst mit der Teufe von ca. 10 % auf ca. 20 %.

Bereich G

Es konnten über die gesamte Sondiertiefe Werte von q_c zwischen 2,0 MN/m² und 4,0 MN/m² ermittelt werden. Im oberflächennahen Bereich bis ca. 3 m werden Spitzendrücke von $q_c \approx 4,0$ MN/m² erreicht, die teilweise auf Böden mit einem Feinkornanteil von > 30 % bezogen sind. In Teufen zwischen 6 m und 8 m fallen die Spitzendrücke auf Werte $q_c \approx 1,5$ MN/m² ab. Der Porenanteil n liegt hier bei ca. 0,4. Damit liegt eine sehr lockere bis lockere Lagerungsdichte mit einem Feinkornanteil von ca. 10 % vor. Der Feinkornanteil bleibt in dieser Größenordnung bis zum Liegenden bestehen.

Restloch 0815/1

Im ehemaligen Restloch 015/1 (Untersuchungsgebiet F) liegen im Mittel geringe Spitzendruckwerte q_c zwischen 2,0 MN/m² und 4,0 MN/m² vor. Die zur Sicherung aufgeschobenen trockenen Massen erreichen Spitzendruckwerte q_c bis 8,0 MN/m².

Kennwerte

In Ableitung der Untersuchungen können für die vorhandenen Kippenböden die in Tabelle 3 aufgeführten Rechenwerte von den Kennwerten abgeleitet werden.

Tabelle 3: Rechenwerte des Kippenmischbodens

Kenngröße	ME	Rechenwert
Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel		
φ'	°	33
c'	kN/m ²	3,0
γ	kN/m ³	17,0
Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel		
$\varphi_{r,u}$	°	0
c'	kN/m ²	0
γ'	kN/m ³	10,0
Kippe verdichtet ($q_c \geq 8,0 \text{ MN/m}^2$)		
φ'	°	37
c'	kN/m ²	0
γ	kN/m ³	18,5
γ'	kN/m ³	11,0

7.6 Gefrierkernentnahme und -untersuchung, Belastungsversuche, 2001/2002

Zielstellung der Untersuchungen war die Bewertung der Verflüssigungsneigung der im Bereich des Koblenzer Strandes (Abschnitt G und Übergang zu Abschnitt D Ost) anstehenden Kippenmaterialien.

Folgende Verhältnisse konnten durch die Feld- und Laborversuche erkannt werden:

- Die Kornverteilungen liegen vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum.
- Alle Proben weisen einen Feinkornanteil von $\leq 30 \%$ auf.
- Die Kornform kann als abgerundet bezeichnet werden.
- Die Spitzendrücke der Sondierungen zeigen im wassergesättigten Bereich sehr lockere bis lockere Lagerung.
- Verhältnisse, die auf eine akute Setzungsfließgefahr hindeuten, sind eindeutig vorhanden.
- Es besteht für die vorhandenen Verhältnisse eine Gefahr bezüglich Böschungs- und Grundbrüchen, wenn ausreichend starke Initiale in die Kippe eingetragen werden.

Die Auswertung der für die Bewertung der erforderlichen Initiale erfolgten Belastungsversuche sowie deren Bewertung im Hinblick auf die Ergebnisse der Gefrierkernuntersuchungen sind in [2.7.15] ersichtlich.

Für Standsicherheitsuntersuchungen wurden die in folgender Tabelle aufgeführten Berechnungskennwerte abgeleitet [2.7.15].

Tabelle 4: Berechnungskennwerte aus [2.7.15]

Nr.	Material	Kenngröße	Zeichen	ME	Wert
1	erdfeuchte Kippe, über dem Grundwasserspiegel, nicht verflüssigt	wirksamer Reibungswinkel	φ'	°	33,0
		wirksame Kohäsion	c'	kN/m ³	0,0
		Wichte	γ'	kN/m ³	16,0
2	gesättigte Kippe, Absetzerkippe und Übergangsbereich Absetzer-/AFB-Kippe, verflüssigt, mittlerer kohligler Anteil	modifizierter Bruchreibungswinkel	mod φ_f	°	26,9
		modifizierter Gleitreibungswinkel	mod φ_R	°	15,8
		Wichte	γ'	kN/m ³	8,2
3	gesättigte Kippe, AFB-Kippe, verflüssigt, mittlerer kohligler Anteil	modifizierter Bruchreibungswinkel	mod φ_f	°	13,9
		modifizierter Gleitreibungswinkel	mod φ_R	°	8,0
		Wichte	γ'	kN/m ³	8,5
4	gesättigte Kippe, Absetzerkippe und Übergangsbereich Absetzer-/AFB-Kippe, verflüssigt, geringer kohligler Anteil ($V_{GL} \leq 3\%$)	modifizierter Bruchreibungswinkel	mod φ_f	°	25,7
		modifizierter Gleitreibungswinkel	mod φ_R	°	3,7
5	gesättigte Kippe, AFB-Kippe, verflüssigt, geringer kohligler Anteil ($V_{GL} \leq 3\%$)	modifizierter Bruchreibungswinkel	mod φ_f	°	12,2
		modifizierter Gleitreibungswinkel	mod φ_R	°	0,5

Die Belastungsversuche erfolgten mittels Vibrationswalze an drei repräsentativen Messprofilen. Im Ergebnis der Belastungsversuche wurde definiert [2.7.15], dass die rechnerische Standsicherheit der Uferböschungen unzureichend ist, wenn die ungünstigen an den Gefrierkernproben mit geringen kohliglen Anteilen bestimmten modifizierten Gleitreibungswinkel maßgebend sind. Wird ein ausreichend starkes, größeres als das nutzungsspezifische Initial (Befahren mittels gummibereiften Fahrzeugen) eingetragen, so sind eine Verflüssigung der Kippenböden und ein Setzungsfließen nicht auszuschließen. Die Verhaltensanforderungen sind strikt einzuhalten, um den Initialeintrag auf das „nutzungsspezifische Initial“ zu begrenzen.

7.7 Erkundung- und Verwahrung von Altstrecken 1977 und 2006 / 2007

Das Zusammenbrechen von nicht ausreichend verwahrten oder gänzlich unverwahrten vom Bergbau hinterlassenen unterirdischen Hohlräumen stellt einen Initialeintrag für Verflüssigungsvorgänge dar. In deren Folge können Setzungsfließbrutschungen auftreten. Deshalb kommt der Erkundung und Verwahrung sowie der Bewertung von Altstrecken eine große Bedeutung zu. Eine Betrachtung zu Bruchwahrscheinlichkeit ist in [2.4.36] geführt worden. Im Ergebnis der dort geführten Analysen ist im Bereich von unzureichend verwahrten ehemaligen Entwässerungsstrecken von einer Tagesbruchgefahr auszugehen.

Die ungefähre Breite der ehemaligen Entwässerungsstecken betrug 0,9 m ... 1,6 m und die ungefähre Höhe ca. 1,5 m ... 1,8 m. Bei einem Liegenden der Kohle von +102,00 m NHN ist das Höhenniveau der Firste möglicher Hohlräume bei ca. +103,50 m NHN ... +103,80 m NHN zu erwarten.

Frühere Verwahrmaßnahmen wurden im Jahre 1977 durchgeführt. Hierfür wurde die Altbergbausituation im Bereich des Seesportclubs über 17 Bohrungen erkundet [2.6.1]. Es wurden Hohlräume nachgewiesen, die mittels Braunkohlenfilterasche verwahrt wurden. Der theoretische Versatzgrad erreichte 45 %.

Eine Bewertung zur vorhandenen Situation ist in [2.4.62] geführt. So wurden im Auftrag des Oberbergamtes in Freiberg im April 2003 im unmittelbaren Umfeld des Vereinshauses Erkundungsbohrungen auf die vorgenannten Entwässerungsstrecken durchgeführt. Im Ergebnis konnte ein ausreichender Versatz der Strecken im Bereich des Geländes des Seesportclubs dokumentiert werden.

Für die Bewertung der Altstrecken im Bereich von D Ost und D West wurden insgesamt 22 Drucksondierungen mit 526,04 Sondiermetern abgeteuft. Mit insgesamt 17 der 22 Drucksondierungen wurde der Tiefenbereich vermuteter Hohlräume bzw. das Liegende der Braunkohle erreicht. Vier Sondierungen endeten im Tiefenbereich von +105,50 m NHN bis +104,14 m NHN.

Bei der Erkundung wurden an den Aufschlusspunkten der Sondierungen keine Hohlräume angetroffen.

Bei den Erkundungen konnten innerhalb der verkippten Bereiche folgende Verhältnisse abgeleitet werden:

„Im Bereich der Tagebaukippen - insbesondere der oberflächennahen, wassergesättigten Pflugkippe - wurde lockere bis sehr lockere Lagerungsdichte festgestellt. Daher sind auch nach der langen Liegezeit der Kippen von über 70 Jahren bei ausreichendem Initialeintrag Bodenverflüssigungen und in Böschungsbereichen Setzungsfließbrutschungen nicht auszuschließen“ [2.4.62].

7.8 Feld- und Laboruntersuchungen 2005

Im Rahmen der Betrachtung [2.4.50] zur Wirksamkeit früherer Maßnahmen sowie Ableitung weiterer Arbeiten erfolgte die Ausführung von Feld- und Laboruntersuchungen am Knappensee.

Für die Erkundung der Lagerungsverhältnisse sowie die Bewertung der Trittsicherheit erfolgte die Ausführung von 24 Rammsondierungen (DPL-5). Weiterhin wurden in der Nähe der Ansatzpunkte der Rammsondierungen Untersuchungen mittels einer Trittplatte (Belastung einer Platte mittels Fallgewicht von 10 kg mit jeweils 5 Schlägen aus 50 cm Höhe) ausgeführt. Als Ergebnis in [2.4.50] wird eine Trittsicherheit durch eine trittfeste obere Bodenschicht festgestellt. Jedoch besteht wegen der teilweise sehr lockeren Lagerung der unter der trittsicheren Schicht anstehenden Kippensande vom Grundsatz her Setzungsfließgefahr, insbesondere beim Eintrag starker Initiale.

7.9 Feld- und Laboruntersuchungen 2008

Im Rahmen der geotechnischen Vorplanung zu Gefahrenabwehrmaßnahmen [2.4.66] erfolgten zur Verifizierung der Kippenverhältnisse Rammkernsondierungen mit der leichten Rammsonde in den Uferbereichen A, D, E und G.

Im südlichen Bereich des Uferabschnittes A wurden bis an den restlochseitigen Dammfuß des Maukendorfer Absperrdammes Kippenmaterialien mit einer Mächtigkeit von 4 m bis 7 m erkundet. Die Materialien weisen eine sehr lockere Lagerung auf. Für das Gelände um das Auslaufbauwerk konnte gewachsener Untergrund sowie verdichtete Auffüllung nachgewiesen werden.

Am Zulauf Koblenz im Abschnitt D Ost erfolgte die Durchführung einer Rammsondierung, die unter einem 1,3 m mächtigen, oberflächigen Horizont einen locker bis sehr locker gelagerten Kippenhorizont in einer Tiefenlage von 3,9 m bis 7,8 m aufzeigte. Darunter folgten bis zur Sondierendteufe dichter gelagerte Kippenmaterialien, die vermutlich aus einer Spülkippe resultieren.

Weiterhin erfolgten im Uferbereich des Abschnittes E, westlich des Zulaufs Schwarzwasser aus Groß Särchen, im Bereich der späteren Einsatzstelle, die Ausführung von Rammsondierungen. Es konnte eine Wechsellagerung aus gewachsenen Sanden mit variierendem Feinkornanteil und bindigen Böden nachgewiesen werden.

Die Hochkippe im Bereich des östlichen Ufers wurde in den Uferabschnitten S Süd und G Nord mittels zwei Rammkernsondierungen erkundet. Angetroffen wurden hierbei gekippte Böden in wechselnder Folge. Sie bestehen aus Fein- und Mittelsanden mit unterschiedlichen bindigen Bestandteilen und organischen Beimengungen sowie Zwischenlagen aus Schluff, teilweise Braunkohleschluff. An einer Probe der Hochkippe wurde die Korngrößenverteilung bestimmt. Der Korngrößenanteil $d \leq 0,063$ mm beträgt 17 %. Das Material selbst ist als Fein- und Mittelsand, schluffig, anzusprechen.

7.10 Felduntersuchungen 2009

In der Fortschreibung der Planungen (Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Ausführungsplanung) für den Bereich A und B Nord ([2.4.67] und [2.4.68]) wurden zur Erkundung des hinterlandseitigen Dammuntergrundes zusätzlich insgesamt 6 leichte Rammsondierungen (DIN 4094, DPL 5) niedergebracht.

Aus den Ergebnissen der Rammsondierungen lassen sich folgende Erkenntnisse zum Aufbau des Untergrundes am hinterlandseitigen Dammfuß des Maukendorfer Randdammes ableiten. Die Sondierwiderstände weisen eine mitteldichte bis dichte Lagerung der anstehenden Böden nach. Die Mächtigkeiten der Auffüllung variieren zwischen 0,6 m und 4,0 m. Das Gewachsene am westlichen Dammfuß befindet sich etwa im Höhenniveau +125,00 m NHN ... +126,00 m NHN.

Anhand der Ergebnisse der Rammsondierungen wird eingeschätzt, dass die Bundesstraße B 96 auf gewachsenem Boden gegründet ist.

7.11 Felderkundungen 2012

Zur Verifizierung der Kippenverhältnisse sowie der Grenze Gewachsen / Verkippt im Bereich des Koblenzer Grabens wurden Rammsondierungen (Leichte Rammsonde DPL 5) durchgeführt [2.4.85].

Die Sondierergebnisse zeigen generell im Teufenbereich von 0,0 m bis ca. 6,0 m bis 7,0 m eine lockere bis sehr lockere Kippenlagerung. Die vorhandene Berme des Tagebausüdrandes kann in einem Tiefenniveau von +121,00 m NHN bis +120,00 m NHN nachgewiesen werden. Die Grenze Gewachsenes / Kippe ist bezüglich der Schlagzahlen und Dichteverhältnisse scharf ausgebildet. Damit ist ersichtlich, dass in diesem Bereich der erfolgten Erkundung keine Beeinflussungen durch Spülkippen vorhanden sind. Die Böschung zwischen Berme und Kohlefreilegung befindet sich zwischen RS 12 und RS 11. Die Rammsondierungen nördlich der Tagebauberme zeigen die ca. 7,0 m mächtige Pflugkippe und unterlagernd die AFB-Kippe. In einem Teuffenniveau von größer 15,0 m können anhand der Erkundungsergebnisse im Bereich des ehemaligen Restloches B eingespülte Massen mit einer dichteren Lagerung als die der AFB-Kippe vermutet werden. Jedoch weisen die Lagerungsdichten keine mitteldichten Verhältnisse auf. Folglich können anhand der durchgeführten Erkundung keine Bereiche ausgehalten werden, die von einer Sicherung (Verdichtung) auszunehmen wären.

Zur Bewertung der Bebauung Landhotel und Gasthaus Haink wurden 2012 Erkundungsaufschlüsse in Form von Druck- und Rammsondierungen sowie Schürfen ausgeführt. Die Korngrößenverteilungen der untersuchten und vorhandenen Kippenböden liegen fast vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 10 %. Weiterhin sind lockere bis sehr lockere Lagerungen der Kippensande ermittelt worden. Bisherige Annahmen der Verflüssigungsgefährdung des Kippenuntergrundes im Bereich der Hotelanlage werden somit bestätigt.

Die Gebäudegründungen liegen nur ca. 0,4 m unter GOK. Die Gebäudegründung entspricht hinsichtlich ihrer Tiefe und Ausführung nicht dem anerkannten Stand der Technik. Es liegt weder eine ausreichende Einbindetiefe in den Baugrund vor, noch ist die Gründung frostsicher.

8 Geotechnische Verhältnisse

8.1 Geschichtlicher Abriss / Chronologie der Untersuchungen / Maßnahmen

1914 bis 1945	Tagebau Werminghoff I (Beschreibung siehe Kapitel 4.1),
1949 / 1950	Gutachten zur Standsicherheit der Uferböschungen für das Hochwasserrückhaltebecken Werminghoff I [2.4.3], [2.4.4], [2.4.5], [2.4.6],
Ab 1960 er Jahre	Betrachtungen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit,
1967 / 68	Aufforderung der Wasserwirtschaftsdirektion seitens der Bergbehörde zur Veranlassung der Erstellung eines Gutachtens über die Standsicherheitsverhältnisse,
1977	Verwahrmaßnahmen Altbergbau im Bereich des Südufers,
1980 er Jahre	Standsicherheitsuntersuchungen und Maßnahmen,
1980	Bergschadenkundliche Analyse des ehemaligen Braunkohlenwerkes „Werminghoff“, 1983 Ergänzung,
1982	Bildung Operativstab Knappensee – Bergsicherung Cottbus → Sperrung Steilböschungsbereich (Räumung Zeltplatz), wasserseitige Absperrung durch Bojen, → Gefährdungsbereiche Maukendorfer Strand, Steilböschung und Koblenzer Strand,
1982	Vorläufige Standsicherheitseinschätzung Tagebaurestloch Knappensee (mit großer Erkundungs- und Untersuchungskampagne) für das Ost- und Nordufer,
1983	Standsicherheitseinschätzung in Ergänzung der Einschätzung vom 10.05.1982,
ab November 1984	Vorbereitungen Sanierung Steiluferbereich,
1985	Sanierung Steiluferbereich Knappensee – Hydromechanische Abflachung,
1986	Wiederurbarmachung des abgespülten Steilkippenbereiches,
1987	Feld- und Laboruntersuchung der West- und Südufer,
1988	Standsicherheitseinschätzung West- und Südufer, Inseln und RL 0815/1,
1989	Großtechnischer Versuch zur Spültechnologie am Restloch 0815/1,
1989/1990	Schließung RL 0815/1 durch Abspülung Hochkippe,
1990	Wiedervereinigung Deutschlands, Überführung der Zuständigkeit und Verantwortung für den Knappensee auf den Freistaat Sachsen,
1995	Sicherungsmaßnahmen im Bereich des Restloches Koblenzer Straße,
1996	Schwingungsmessung Vibrationswalze Koblenzer Strand,
2000	Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees (Tagebau Werminghoff I),

2004	Rutschung Koblenzer Straße, Verfüllung RL und Rutschungskessel,
2005	Bewertung der vorhandenen Situation (Wirksamkeit früherer Maßnahmen),
2006	Verfüllung RL 0815/1, Teilfläche 1 Sicherung Campingplatz am Nordufer 2006,
2006/2007	Erkundung und Bewertung Altbergbausituation am Südufer,
2007	Schutzgrabenbaggerung,
2008	Geotechnische Vorplanung zu Sanierungsmaßnahmen,
2009	Entwurfs- und Genehmigungsplanung, Ausführungsplanung für die Bereiche A und B Nord,
2009/2010	Verfüllung RL 0815/1, Teilfläche 2, Abriss Hotel „Am Knappensee“, Herstellung Trittsicherheit mittels LRDV und Uferprofilierung Bereich E,
2011	Sofortmaßnahmen aufgrund aktueller Rutschungs- und Grundbruchereignisse Installation eines Porenwasserdrucküberwachungssystems an der K 9207,
2011 / 2012	Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Bereiche G, S, T.

8.2 Standsicherheitsuntersuchungen

8.2.1 Standsicherheitsuntersuchungen der 1950er Jahre

Erste Ausführungen zu den Standsicherheitsverhältnissen am Knappensee sind bereits Ende der 1940er bis Anfang der 1950er Jahre zu finden. Im Jahr 1949 erfolgte die Erstellung eines Gutachtens für die Standsicherheitssituation am Hochwasser-Rückhaltebecken-Tagebau I, Werminghoff [2.4.3]. Hierbei erfolgte die Betrachtung der für die Staubeckennutzung erforderlichen Anforderungen für einen geplanten Wasserspiegel von +127,0 m NN im Maximum und +120,0 m NN im Minimum. In der Analyse wird hierbei die große Rutschung der 1930er Jahre als ein Setzungsfließen charakterisiert. Weiterhin wurde gefolgert, dass dringend Sicherungsmaßnahmen erforderlich wären.

Für die Gestaltung des Speicherbeckens erfolgte mit [2.4.4] 1950 eine Standsicherheitsbetrachtung durch J. Ohde zu den westlichen Randdämmen. In der Betrachtung werden dabei die Gefährdungen von Verflüssigungen von den locker aufgeschütteten Kippenmaterialien (hier Trasse Grubenbahn) beschrieben. Die Uferbereiche wurden in [2.4.5] dahingehend bewertet, dass zweifellos für die vorhandene Kippenablagerung eine Rutschgefahr (im Sinne eines Setzungsfließens) auftreten kann, vor allem bei einem hohen Wasserspiegel in der Kippe selbst sowie durch zum Becken gerichtete Grundwasserströmungen. Auch Dr.-Ing. habil. A. Scheidig bestätigt 1950 [2.4.6] die Gefährdungen, die durch Wasserspiegelschwankungen oder Wellenschlag im Uferbereich des Knappensee bestehen können.

8.2.2 Standsicherheitsuntersuchungen der 1980er Jahre

Für die Einschätzung von Gefährdungen aus Altstrecken des Tagebaus Werminghoff I erfolgte im Dezember 1980 die Erstellung einer Bergschadenkundlichen Analyse [2.4.7].

Konkrete Standsicherheitsuntersuchungen der Kippenbereiche des Knappensees wurden erst in den 1980er Jahren wieder aufgenommen. Aufgrund absehbarer Gefährdungen im Bereich der gekippten Böschungen erfolgte am 15.7.1981 eine „Erstbefahrung“ des Knappensees durch die Bergbehörde Senftenberg. Im Ergebnis dieser Befahrung wurden Maßnahmen zur Erarbeitung einer Standsicherheitseinschätzung eingeleitet. Vorrangig waren Untersuchungen für den besonders gefährdeten Bereich des Steilufers und des Koblenzer Strandes durchzuführen. Folgend waren die anderen Uferbereiche des Knappensees zu untersuchen. Die erste umfassende Standsicherheitseinschätzung wurde durch Prof. W. Förster mit [2.4.9] und [2.4.11] in den Jahren 1982 und 1983 vorgelegt. Diese zwei Gutachten waren Grundlagen für eine Betrachtung von Sofort- und längerfristigen Maßnahmen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit am Knappensee.

Bei Bewertung möglicher, ein Setzungsfließen auslösender Initiale sind nach [2.4.11] folgende Hinweise aufgezeigt worden:

- Die lange Liegezeit und die Tatsache, dass auch der Wasserstand seinen heutigen Wert seit langer Zeit besitzt bzw. diesen mehrfach überschritten hat, darf als eine gewisse Sicherheit dafür betrachtet werden, dass innere, zum Setzungsfließen führende Umlagerungen weniger wahrscheinlich sind.
- Die Geometrie der unmittelbaren Uferzonen schafft am Koblenzer Strand sowie am Nord- und Nordostufer Bedingungen, die einen lokalen Böschungsbruch als Initial nicht wahrscheinlich erscheinen lassen.
- Im Untersuchungsbereich S fällt das Seeufer relativ steil ein. Oberhalb des Ufers existiert eine steile zum Bruch neigende Böschung. Die rechnerische Untersuchung zeigte die folgenden Resultate:
 - Die globale Sicherheit unter Voraussetzung einer undrännierten Belastung liegt bei $S < 1,3$. Lokal sind geringere Werte zu erwarten. Ein Bruch der Böschung als dynamisches Initial eines Setzungsfließens ist damit denkbar.
 - Das Verfolgen innerer Brüche lässt Spannungswege erkennen, die eindeutig zu einem Setzungsfließen führen können.

Aus allen Überlegungen ergeben sich als relativ günstige Abschnitte der gesamte Nordbereich (Untersuchungsbereich U und das Ufer des Untersuchungsbereichs T). Als weniger günstig ist das Hinterland der Untersuchungsbereiche G, S und T anzusehen. Als gefährdet werden die Ufer der Untersuchungsbereiche G und S eingestuft.

Daraus wurde das Erfordernis abgeleitet, zur Erhöhung der Sicherheit die Steilböschung abzuflachen und im Bereich des Koblenzer Strandes eine Verdichtung beziehungsweise eine Verfestigung der anstehenden Bodenmassen anzustreben.

Als Varianten zur Abflachung von Böschungen wurden vorgeschlagen:

- Hydromechanisches Abflachen,
- Einsatz von Erdbaugeräten und
- Abflachen durch Sprengungen.

Aus der Beurteilung von Kornverteilungskurven von am Koblenzer Strand entnommenen Bodenproben wurde eingeschätzt, dass beim betrachteten Technologiestand für Lockergesteinsinjektionen deren Anwendung nicht empfohlen werden kann. Es wurde eingeschätzt, dass

- eine relativ starke Ungleichförmigkeit des Lockergesteins einer chemischen Verfestigung entgegen steht und
- in Bezug auf eine injektionstechnische Verfestigung das Kippenmaterial zu heterogen gelagert ist.

Der Einsatz von herkömmlichen Verdichtungsgeräten muss ausgeschlossen werden, da die zu verfestigenden Bereiche überwiegend von einer mehrere Meter starken Überdeckung überlagert sind und diese selbst ein auslösendes Initial darstellen können.

Mit den Gutachten von 1982 [2.4.9] und 1983 [2.4.11] wurde nachgewiesen, dass setzungsfließempfindliches Kippenmaterial vorhanden ist und über Sofortmaßnahmen nur eine Teilspernung am Steiluferbereich des Sees ermöglicht. Die Gesamtsituation wird zur damaligen Zeit wie folgt eingeschätzt ([2.4.9] und [2.4.11]):

„Es muß abschließend nochmals betont werden, dass im Gebiet eindeutig setzungsfließempfindliches Material unter Bedingungen ansteht, die zum Setzungsfließen führen können, wenn ein Initial vorliegt. Die Auslösung kann durch geeignete Maßnahmen - nach Meinung des Sachverständigen - verhindert werden. Das allein ist der Grund dafür, eine Sperrung lediglich gemäß Pkt. 3 vorzuschlagen und sie nicht auf weitere Uferbereiche auszudehnen. Letztlich gefällte Entscheidungen können nicht allein von den Empfehlungen des Sachverständigen für Böschungen abhängen. Sie sind mit einem Risiko behaftet. Die Wertung dieses Risikos unter politischen und volkswirtschaftlichen Aspekten ist ebenso Aufgabe des Auftraggebers und der öffentlichen Organe.“

Diese Standsicherheitseinschätzung vom 15.04.1983 wurde am 22.08.1983 im Rat des Bezirkes Cottbus bezüglich sich ergebender Schlussfolgerungen erörtert. Das Protokoll [2.4.12] der Erörterung führt dabei folgende weiterführende Aussagen zur Standsicherheit auf:

- Allgemein nimmt am Knappensee die Lagerungsdichte vom Hinterland zum Ufer ab. Von Norden nach Süden nimmt die Rutschungsgefahr zu.

Die Zielstellung der Sanierung des Steilufers im Abschnitt S war an erster Stelle das Abflachen der Kippenböschung so, dass Abbrüche an der sich oberhalb des Wasserspiegels befindlichen Steilböschung der Absetzerhochkippe nicht mehr als ein Initialeintrag für Setzungsfließrutschungen fungieren können.

Die mit der Sanierung erstellten Geometrien des Steilufers erreichten die Zielvorgaben, so dass initialauslösende Böschungsabbrüche nicht mehr möglich sind. Der Ufer- und Wellenschlagbereich wurde mit $\leq 5^\circ$ ausgebildet, so dass keine unerwünschten Veränderungen durch Wellenschlag mehr zu erwarten waren. Als wesentliches weiteres Fazit wurde als Schlussfolgerung benannt, dass die in das Wasser eingespülten Massen, die den unter dem Wasserspiegel vorhandenen Steilbereich stützen sollten, locker gelagert sind und wiederum sich im verflüssigungsfähigen Zustand befinden. Im Ergebnis wird darauf verwiesen, dass dem Fernhalten von potentiellen Initialen im sanierten Bereich eine außerordentliche Bedeutung zukommt. Folglich wurde also mit der Sanierung des Steiluferbereiches im Bereich S das Auftreten eines möglichen Initials (Böschungsabbruch Hochkippe) beseitigt. Jedoch bleibt die Gefährdung durch ein Setzungsfließen selbst weiterhin bestehen.

Die Sanierung einschließlich Wiederurbarmachung des Steilkippenbereiches S erfolgte 1985 bis 1986.

Auf Grundlage der geotechnischen Voruntersuchungen von 1987 [2.7.9] erfolgte 1988 die Standsicherheitseinschätzung für die Gefährdung durch Setzungsfließen der aus Kippenmaterialien bestehenden Bereiche des West- und Südufers sowie der Inseln des Knappensees [2.4.23].

Die Erkenntnisse über die vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse am Knappensee sowie die Möglichkeiten zur Sanierung in den 1980er Jahren werden treffend mit folgenden Zitaten charakterisiert:

„Vergegenwärtigt man sich die Situation in allen Bereichen, muß man feststellen, dass die mit dem Tagebauauslaufen vorgenommene Gestaltung der Uferbereiche des Knappensees aus heutiger Sicht nur durch mangelnden Kenntnisstand zu rechtfertigen ist. Das auf uns überkommene Erbe ist durch das Vorhandensein von Kippen fast umlaufend um den See belastend. Wir sind ihm heute kaum noch gewachsen“ ([2.4.23], S. 10, 2. Absatz).

„...Da geologische Zuordnung und Lagerungsverhältnisse vergleichbar sind, unterstreichen diese Versuche die ausgeprägte Verflüssigungsneigung des Kippgutes in allen Untersuchungsbereichen. Es besteht die Gefahr, daß bei Eintritt eines ausreichend intensiven Initials die Verflüssigung ausgelöst werden kann. Das Ausmaß eines Setzungsfließens lässt sich im Gekippten derzeit noch nicht verlässlich abschätzen. Somit sind als tatsächlich nicht gefährdet eigentlich nur Objekte hinter Böschungen im gewachsenen Lockergestein anzusehen. Um eine solche Aussage für die ehem. Kippenbereiche machen zu können, wäre deren grundlegende Sanierung durch Veränderung der Kippguteigenschaften im Sinne des Beseitigens der Verflüssigungsneigung nötig. Lösungen für ein solches praktisch jedes Risiko ausschaltendes Vorgehen sind unter den bestehenden Bedingungen nicht möglich.“ ([2.4.23], S. 12, 1. Absatz).

Mit der Untersuchung von 1986 / 88 wurde auch für die anderen Bereiche eine hohe Verflüssigungsneigung nachgewiesen. Da für den Standort keine Sicherungstechnologien zur Verfügung stehen, wird das Sicherungskonzept auf die Vermeidung von Initialen ausgerichtet.

Nach damaligem Kenntnisstand kamen für das Auslösen von Setzungsfließbrutungen folgende Initiale in Frage [2.4.23]:

- Böschungsabbrüche an zu steilen Böschungen infolge zu hoher hydraulischer Gradienten, Unterspülung bei Wellenschlag oder Entstehen eines gefährlichen Kliffs,
- Innere Spannungumlagerung und -konzentrationen, die zu lokalen Brüchen und Verflüssigungen führen, als Folge ungleicher Kapillarsackungen bei Wasserspiegelanstieg im Kippgut oder innerer Suffosion und Erosion bei Durchströmung,
- Zurückgehen offengebliebener bergmännischer Hohlräume,
- Erschütterungen verschiedensten Ursprungs.

Weiterhin ist bezüglich der vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse in [2.4.23] vermerkt, dass die Böschungen oberhalb des Wasserspiegels an den Uferbereichen des Knappensees überwiegend $\leq 1 : 1,5$ geneigt sind, was dem ursprünglichen natürlichen Schüttwinkel entspricht. Diese Böschungen sind dabei überwiegend kleiner 4 m hoch. Eine Ausnahme bilden die Inseln sowie die Böschungen des Restloches 0815/1. An den vorhandenen Böschungen des Sees sowie des Restloches können Böschungsabbrüche stattfinden. Diesem Sachverhalt ist durch entsprechende Maßnahmen (Ufersicherungen) zu begegnen (Abflachen der Böschungen). Gefährdungen aus Wasserspiegeländerungen sind durch die festgelegten Maßnahmen in der Speicherbewirtschaftung nicht zu erwarten.

Weiterhin werden in [2.4.23] Sachverhalte zu inneren Spannungumlagerungen und Brüchen infolge ungleicher Kapillarsackungen betrachtet. Diese treten beim Sättigen erdfeuchter Sande auf. Durch die heterogenen Eigenschaften der Kippen sind die Sackungen unterschiedlich groß. Durch diesen Sachverhalt sind durch Spannungumlagerungen innere Brüche denkbar, die ein Setzungsfließen auslösen können, wenn sie genügend intensiv und nahe einer Böschung eintreten. Auch wenn der Wasserspiegel schon mehrfach einen Stand von +126,00 m NHN überschritten hat, können Sackungen durch eventuell „hängengebliebene Brüche“ auftreten [2.4.23]. Weiterhin werden Setzungen infolge innerer Erosion und Suffosion nicht ausgeschlossen.

Abschließend wird 1988 die Standsicherheit am Knappensee mit folgenden Punkten charakterisiert:

- Das Material, aus dem die Kippen im Untersuchungsgebiet bestehen, neigt bei Wassersättigung zur Verflüssigung.
- Die Beseitigung der Verflüssigungsneigung und damit der Gefährdung durch Setzungsfließen erfordert die Behandlung der gekippten Bereiche bis in größere Tiefe, für die in absehbarer Zeit keine am Knappensee einsetzbaren Verfahren verfügbar sein werden.
- Durch das Vermeiden von Initialen kann die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Verflüssigung auf ein vertretbares Maß reduziert werden.
- Eine Gefahr stellen ältere, hängengebliebene Brüche dar, die zu einem unvorhergesehenen Zeitpunkt reaktiviert werden.

Im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchung vom 24.05.1988 erfolgte die Ausführung folgender Sicherungsmaßnahmen:

- Ufersicherung und
- Sanierungsarbeiten (Verfüllung) am RL 0815/1.

Die Sicherungsmaßnahmen sind im Kapitel 9 beschrieben. Die Bewertung der Maßnahmenergebnisse erfolgt mit der 1. Ergänzung zur Standsicherheitseinschätzung am 12.11.1990 [2.4.26]. Hierbei wurde eingeschätzt, dass durch die erfolgten Verbaumaßnahmen eine Verminderung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Böschungsabbrüchen durch Kliffbildung geschaffen wurde. Die Maßnahmen zur Sicherung des Restloches 0815/1 haben zu einer Verbesserung der geometrischen Verhältnisse geführt (Beseitigung der Restlochböschungen) und somit die Gefahr von Setzungsfließereignissen in diesem ehemaligen Restloch minimiert, jedoch besteht die Gefahr der Verflüssigung in diesem Bereich nach wie vor. Ein kleiner Teil des Restloches war noch verblieben, der mit einer Umzäunung zu sichern war.

Im Fazit des 1. Nachtrages zur Standsicherheitseinschätzung im Jahr 1990 wird die Situation der gesicherten Bereiche (Strand und RL 0815/1) am Knappensee wie folgt bewertet:

„...Da jedoch die Eigenschaft des anstehenden Kippgutes, im wassergesättigten Zustand zur Verflüssigung zu neigen, nicht beseitigt werden kann, ist eine Ausschaltung jeden Risikos praktisch nicht möglich. Die verbleibenden Risiken sind jedoch überschaubar und bei Einhaltung der Nutzungsvorgaben vermeidbar. Deswegen bedarf die Entwicklung der Gesamtsituation und insbesondere der Grundwasserstände der laufenden kritischen Beobachtung und Auswertung.“ [2.4.26]

8.2.3 Analyse der geotechnischen Situation 1995

Da über das Langzeitverhalten von setzungsfließgefährdeten Kippenböschungen an Restseen keine gesicherten Informationen vorliegen, sind in gewissen Zeiträumen Analysen der geotechnischen Situation unter Einbeziehung neuer Forschungsergebnisse und zeitnaher Untersuchungen durchzuführen. Die Untersuchungen sollen dabei die Wirksamkeit erfolgter Sicherungsmaßnahmen und auferlegter Nutzungseinschränkungen kontrollieren und die Anlage neuer Freizeitanlagen (wie beispielsweise Campingplätze) prüfen.

Diese Analyse erfolgte mit der Bodenmechanischen Stellungnahme über die Bewertung der geotechnischen Situation ausgewählter Bereiche des Knappensees anhand vorliegender Unterlagen und Empfehlungen zu weiterführenden Untersuchungen vom 23.10.1995 [2.4.30].

In den 1990er Jahren war dabei die Erweiterung des Spektrums an Erholungs- und Freizeitmöglichkeiten durch den Zweckverband „Ferienpark Knappensee“ geplant. Hierfür sollte der bisher gering frequentierte Zeltplatz Z 4 am Koblenzer Strand (Abschnitt G) als Wintercampingplatz mit den dafür erforderlichen Einrichtungen ausgebaut und modernisiert werden. Weiterhin war die Errichtung einer Wasserkiseilbahn im Bereich des nördlichen Ostufers geplant.

Koblenzer Strand

Die mit ca. 3° einfallenden Unterwasserböschungen und die zwar steilen aber niedrigen Uferböschungen bilden keine geometrischen Voraussetzungen für das Auslösen eines Initials. Da der Koblenzer Strand offen bezüglich der Hauptwindrichtungen West und Nordwest ist und der Fuß der Uferböschungen tiefer als 126 m NN liegt, wurden Maßnahmen zum Uferschutz in Form von Faschinen und Bohlwänden mit zusätzlicher Bepflanzung realisiert.

Die lange Liegezeit des Kippenmaterials und der anhaltend hohe Wasserspiegel führt auf die qualitative Einschätzung, dass auch im Inneren der Kippe keine Voraussetzungen für Materialumlagerungen mehr bestehen, die ein Setzungsfließen auslösen können.

Damit kommen als Ursache für mögliche Rutschungen nur ungewohnt hohe Erschütterungen in Frage.

Um zu einer Abschätzung der tolerierbaren dynamischen Beeinflussung zu gelangen, ist die Bestimmung des in der Kippe verbliebenen Verflüssigungspotentials von entscheidender Bedeutung.

Nördliches Ostufer

In diesem Bereich ist eine prinzipielle Verflüssigungsgefahr der anstehenden Spülkippen gegeben. Die mitteldichte Lagerung der pleistozänen Sande verringert jedoch das Risiko des Auftretens einer Setzungsfließrutschung erheblich.

Südufer

Das Südufer besteht sowohl aus gewachsenen als auch aus verflüssigungsgefährdeten gekippten Bereichen. Zur Vermeidung eines dynamischen Initials sind ungewohnt hohe Erschütterungen zu vermeiden und die Wellenschlagsicherung der im östlichen Teil oberflächennah anstehenden Handkippen zu erhalten.

Südliches Westufer und Inselbereich

Der Inselbereich des Knappensees ist aufgrund seiner lockeren bis sehr lockeren Lagerungsdichte erheblich setzungsfließgefährdet.

Der am südlichen Westufer gelegene Abraumförderbrückenrestschlauch ist stellenweise sehr schmal und seicht. Das dort abgelagerte, vollständig wassergesättigte Material ist analog dem des Inselbereichs einzuschätzen.

Mit dem Kenntnisstand 1995 ist zusammenfassend davon auszugehen, daß die aus ehemaligen Tagebaukippen bestehenden o. g. Bereiche setzungsfließgefährdet sind. Ausgeführte Sicherungsmaßnahmen und empfohlene Nutzungseinschränkungen dienen dazu, die Gefahr des Auftretens von Setzungsfließrutschungen zu verringern. Mittels Untersuchungen zum Verflüssigungspotential der anstehenden Kippen- und durch Lotungen zur Ausbildung des Seebodens sollte die geotechnische Einschätzung weiter präzisiert werden. Insgesamt wurden der Kenntnisstand sowie die Verhaltensanforderungen der Ende der 1980er Jahre vorhandenen Einschätzung der Standsicherheit bestätigt.

Weiterführend gelten die bereits für den Knappensee mit [2.4.23] definierten Verhaltensanforderungen fortlaufend.

8.2.4 Bewertung von Schwingungsmessungen 1995

Mit der Betrachtung der Vermeidung von unzulässigen Initialeinträgen erfolgte die Durchführung von Erschütterungsversuchen unter der Zielstellung, die im Zuge der Erweiterung des Campingplatzes bei Baumaßnahmen zu erwartenden Initialeinträge bei Verdichtungsarbeiten charakterisieren und bewerten zu können.

Infolge von Erschütterungsversuchen oberhalb der Uferzone mittels Vibrationswalze wurden mit [2.4.31] und [2.4.32] bezüglich der Standsicherheit folgende Verhältnisse abgeleitet:

- bei übermäßig großem Erschütterungseintrag besteht für die wassergesättigte Kippenzone die Gefahr der Verflüssigung, Setzungsfließrutschungen sind dann nicht auszuschließen.

Bedingt durch:

- die flache Unterwasser- und Uferneigung,
- die wasserwirtschaftliche Nutzung über Jahrzehnte,
- Infiltrationsvorgänge durch über Jahrzehnte versickerndes Niederschlagswasser und
- den durch den Bewuchs sowie mit Verbau gesicherten steileren Böschungsbereich,

besteht keine akute Verflüssigungsneigung mehr. Folglich ist ein Erschütterungseintrag in einer bestimmten Größenordnung zulässig. Die definierten Maximalwerte sind jedoch nur unter der Begleitung von Porenwasserdruckmessungen anfahrbar und gültig.

Die bodenmechanische Bewertung der Versuchsergebnisse erfolgte durch den vom Sächsischen Oberbergamt anerkannten Sachverständigen Prof. Dr. habil. W. Förster [2.4.32]. Im Ergebnis der Untersuchung erfolgte die Empfehlung der Wiederholung der Versuche, da die Tests für die Abschätzung der Gefahr einer Verflüssigung des Kippenbodens im Bereich des Koblenzer Strandes die Entwicklung des Porenwasserdruckes an der Uferlinie von entscheidender Bedeutung sei und diese mit der durchgeführten Versuchsanordnung nicht erfasst wurden.

8.2.5 Standsicherheitsuntersuchungen 2000

Die Bewertung der vorhandenen Standsicherheitssituation erfolgt auf Grundlage der Kriterien Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte und Wasserstände [2.8.4] und [2.8.10] nach aktuellem wissenschaftlichen und technischen Kenntnisstand.

Die in folgender Tabelle 5 aufgeführten Verhältnisse zur Setzungsfließgefahr konnten im Jahr 2000 abgeleitet werden [2.4.36].

Eine Verflüssigungsneigung besteht im gesamtem Untersuchungsgebiet bis auf die Untersuchungsbereiche A und E sowie das nordwestliche Ufer. Wird bei einer lokalen Verflüssigung eine Ausweitung nicht verhindert, dann tritt in Böschungsnähe Setzungsfließen und im Hinterland ein Verflüssigungsgrundbruch ein.

Weiterführend werden in der Standsicherheitseinschätzung [2.4.36] Maßnahmen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr betrachtet und bewertet. Zur Gewährleistung der Trittsicherheit werden ein biologischer Verbau für die Strandzugänge (Uferbereich) und im Flachwasserbereich die Sicherung der Uferzone bis 2 m Wassertiefe durch Verdichten (flaches Rütteln) empfohlen.

Tabelle 5: Abschätzung Verflüssigungsneigung des Knappensees aus [2.4.36]

Kriterium	Ausbildung	Bewertung
Kornverteilung	Kornverteilungen liegen fast vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil beträgt $\leq 30\%$.	verflüssigungsgefährdet
Kornform	Die vorhandene Kornform der Kippenmaterialien ist gerundet bis gut gerundet.	Erhöhung der Verflüssigungsgefahr
Lagerungsdichte	Die Lagerungsdichte ist örtlich sehr locker bis locker und teilweise mitteldicht ausgebildet.	Keine Lagerungsdichten nachweisbar, die eine Verflüssigung ausschließen.
Wasserstände	Schließen die Kornverteilung sowie die Lagerungsdichte der anstehenden Kippenmaterialien die Verflüssigungsneigung nicht aus, so besteht bei einem Wasserstandsverhältnis in der Kippe von $h_{WK}/h_K > 0,1$ Verflüssigungsgefahr.	Das Wasserstandsverhältnis von $h_{WK}/h_K > 0,1$ wird in allen Bereichen überschritten.

Im Ergebnis der Standsicherheitseinschätzung folgten im Jahre 2001 bis 2002 Untersuchungen an Gefrierkernproben und Belastungsversuche, um die Standsicherheitsverhältnisse am Koblenzer Strand (Bereich G und D Ost) verifizieren zu können. Im Ergebnis der Belastungsversuche wird in [2.7.15] definiert, dass die rechnerische Standsicherheit der Uferböschungen unzureichend ist, wenn die ungünstigen, an den Gefrierkernproben mit geringen kohligen Anteilen bestimmten, modifizierten Gleitreibungswinkel maßgebend sind. Wird ein ausreichend starkes, größeres als das nutzungsspezifische Initial (Befahren mittels gummibereifter Fahrzeuge) eingetragen, so sind eine Verflüssigung der Kippenböden und ein Setzungsfließen nicht auszuschließen. Die Verhaltensanforderungen sind strikt einzuhalten, um den Initialeintrag auf das „nutzungsspezifische Initial“ zu begrenzen.

8.2.6 Standsicherheitseinschätzung 2005

Im Jahr 2005 erfolgte mit [2.4.50] die Untersuchung der Wirksamkeit durchgeführter Maßnahmen.

Hierfür waren für die Untersuchungsbereiche folgende Schwerpunkte zu betrachten:

- die bisherigen Untersuchungen aufzuarbeiten und neu zu bewerten,
- Sicherheitslinien und gefährdete Bereiche zu definieren,
- Maßnahmen zur Prüfung der Setzungsfließgefahr vorzuschlagen und durchzuführen,
- die Schwallwellengefahr zu bewerten,
- die Trittsicherheit zu untersuchen und auszuwerten,
- eine Sanierungsvariante zur Beseitigung bergbaubedingter Risiken einschließlich Kostenschätzung und

- Maßnahmen zur Verringerung der Setzungsfließgefahr.

Im Rahmen dieser Betrachtung [2.4.50] zur Wirksamkeit früherer Maßnahmen sowie Ableitung weiterer Arbeiten erfolgte die Untersuchung der vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse sowie der Auswirkungen von möglichen Rutschungen.

Die Verflüssigungsneigung ist wie bereits im Jahr 2000 definiert über das gesamte Untersuchungsgebiet im Bereich der wassergesättigten Kippen gegeben. Weiterhin wird in [2.4.50] eine intensive Betrachtung zu den möglichen auftretenden Initialen geführt.

Tabelle 6: Wirksamkeit von Initialen für Setzungsfließen aus [2.4.50]

Initial	ausschließbar / nicht ausschließbar
Tagesbruch als Folge noch offener Entwässerungsstrecken	Im Übergangsbereich zum Gewachsenen vorhanden und hier außerhalb der Uferböschungen; → Initial nicht auszuschließen, aber wenig wahrscheinlich <u>Nacherkundung erforderlich</u>
Sackungen als Folge von Wasserspiegeländerungen	Infolge der langjährigen wasserwirtschaftlichen Nutzung (geringe Wasserspiegelschwankungen, begrenzte maximale Stauhöhe) sind keine Sackungen mehr zu erwarten: → Initial sehr wenig wahrscheinlich, <u>Nutzungseinschränkungen sind einzuhalten.</u>
Wasserspiegelschwankungen, Strömungspotential	Das in der <u>Betriebsanweisung</u> für das Speicherbecken Knappenrode zugelassene Regime für Wasserspiegeländerungen verhindert die Ausbildung von wirksamen Strömungsdrücken: → <u>Initial wird durch entsprechende Nutzungseinschränkung zur Zeit bewusst gering gehalten</u>
Erschütterungseintrag durch - Naturereignisse - Fahrverkehr, Bautätigkeit, Sprengungen usw.	→ Naturereignisse mit hoher dynamischer Komponente sind nicht auszuschließen, aber hier unwahrscheinlich, → Ein mögliches aus Fahrverkehr, Bautätigkeit u. ä. entstehendes <u>Initial soll durch entsprechende Nutzungseinschränkung bewusst gering gehalten werden.</u>
Windwellenerosion, Primärböschungsbruch	Nur wirksam in Bereichen mit steilen oder unbewachsenen Böschungen; Derzeit bestehende Situation: • unbewachsene Böschungen nur partiell vorhanden • Sanierung und Pflege der Windschutzpflanzungen und Ufersicherungen → Initial wenig wahrscheinlich

Wird ein zur Verflüssigung neigender Kippenboden durch dynamische Lasten angeregt, wird sich im Bereich der wassergesättigten Zone in der Kippe eine verflüssigte Zone ausbreiten. Ist das Initial klein, bleibt die Verflüssigung lokal. Bei ausreichend großem, dem kritischen Initial, wird sich die verflüssigte Zone ausbreiten und im Extremfall eine Setzungsfließrutschung auslösen.

Die angetroffenen geotechnischen Verhältnisse dokumentieren, dass bei einem ausreichenden kritischen Initial plötzliche, zumindest lokale Porenwasserdruckanstiege zu grundbruchartigem Untergrundversagen führen können. Die Größe des kritischen Initials ist unbekannt.

In Tabelle 6 ist die Wirksamkeit von Initialen für Setzungsfließen nach [2.4.50] aufgeführt.

Die für Standsicherheitsberechnungen angesetzten Berechnungskennwerte sind in das Wertespektrum der unter Tabelle 7 aufgeführten Werte einzuordnen.

Weiterführend wurden in [2.4.50] Betrachtungen zu den möglichen auftretenden Rückgriffweiten auf Grundlage von [2.8.9] geführt. Die rechnerischen Rückgriffweiten möglicher Setzungsfließbrutungen wurden für die Verhältnisse am Knappensee mit bis zu 91 m angegeben. Am Südufer (Bereiche D Ost und D West) werden die Rückgriffweiten durch die Grenze Gewachsenes / Kippe begrenzt.

Der durch ein Setzungsfließen gefährdete Bereich zwischen Uferlinie und Grenze der Rückgriffweite wurde im Ergebnis der Berechnungen als Sicherheitslinie definiert.

Kommt es zu einem Setzungsfließen, verdrängen im wassergefüllten Restloch die unter dem Wasserspiegel fließenden Kippenmassen das Wasser vor der rutschenden Böschung und heben damit vorübergehend den Wasserspiegel an. Dieser Vorgang ist räumlich und zeitlich begrenzt. Es entsteht eine Schwallwelle. Eine Möglichkeit zur Prognose der Höhe dieser Schwallwelle ist in [2.8.9] beschrieben.

Die durch eine Setzungsfließbrutung ausgelösten Schwallwellen sind mit 0,2 m bis 1,2 m Höhe und Auflauhöhen zwischen 0,5 m und 3,8 m prognostiziert.

Für die Böschungen im IST-Zustand konnte für den Verflüssigungsfall in allen Bereichen keine ausreichende Standsicherheit ermittelt werden. Für den statischen Fall ohne Initialeintrag und ohne Verflüssigungsvorgänge konnte nur für den Bereich G keine ausreichende Standsicherheit bei einem Seewasserspiegel von +126,00 m NHN nachgewiesen werden.

In Ableitung der Standsicherheitsverhältnisse wurde zur Beseitigung der Gefahr von Setzungsfließereignissen infolge einer Verflüssigung die Herstellung eines Versteckten Dammes dimensioniert und für die betrachteten Lastfälle bezüglich der Standsicherheit nachgewiesen.

Für die vorliegende Standsicherheitseinschätzung vom 31.05.2005 [2.4.50] erfolgte mit [2.4.57] eine geotechnische Bewertung für die LTV. Die vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse wurden dabei in [2.4.50] wie folgt gewertet:

- Das anstehende überwiegend sandige und locker gelagerte Lockergesteinsgemisch neigt bei Wassersättigung und nach dem Einwirken eines definierten Initials zur spontanen Verflüssigung. Im Ergebnis dieses Prozesses können die Versagensfälle „Setzungsfließen“ und „Grundbruch infolge Untergrundverflüssigung“ eintreten.
- Für die Inselbereiche (Abschnitt C) und für Nord-, Ost, Südost und Südwestufer (Abschnitte T, S, G, D West, D Ost, D Mitte) ist eine Setzungsfließgefahr vorhanden.
- Innerhalb der praktischen Handhabung wird der geotechnisch bedingte Gefährdungsbereich durch die Sicherheitslinie repräsentiert.
- Mit der definierten Speicherfahrweise (Begrenzung Wasserstände und Geschwindigkeit von Stauspiegeländerungen) werden Initiale für das Auslösen von Verflüssigungen als nicht wahrscheinlich gesehen.
- Beim Auftreten von Setzungsfließen ist im wassergefüllten Restloch mit der Ausbildung einer Schwallwelle zu rechnen, die bei ihrem Auftreffen auf die dem Rutschungsereignis gegenüberliegenden Uferböschungen als Initial für weitere Setzungsfließbrutungen wirken kann.

- Es wurde nachgewiesen, dass auch beim Einhalten der bestehenden Nutzungs- und Verhaltensanforderungen durch das Wirken von nicht durch den Menschen beeinflussbaren Initialen (wie beispielsweise Naturereignisse) die Standsicherheit der Kippenböschungen nicht sichergestellt ist.

Weiterhin wurden in der geotechnischen Bewertung [2.4.57] für die LTV weiterführende Standsicherheitsbetrachtungen dargelegt, die zeigten, dass es nicht erst einer „vollständigen“ Verflüssigung bedarf, um die Standsicherheit nicht mehr zu gewährleisten. In vielen für das Speicherbecken geführten Berechnungen genügte ein Porenwasserdruckanteil an der totalen Spannung von bereits 50 % aus, um nicht ausreichende Standsicherheitsverhältnisse zu erreichen.

Es wird in [2.4.57] noch einmal hervorgehoben, dass bei Eintritt eines Setzungsfließereignisses für Personen Lebensgefahr besteht.

In der Standsicherheitseinschätzung [2.4.50] wird zur vorhandenen geotechnischen Situation und Wirksamkeit von durchgeführten Maßnahmen eindeutig definiert, dass ein Sicherheitskonzept, das auf die Vermeidung von Initialen beruht, die eine Verflüssigung auslösen können, unter den am Knappensee vorhandenen Umständen und Randbedingungen (öffentliche Nutzung) nicht ausreichend ist.

8.2.7 Standsicherheitseinschätzungen der Kippentiefen

Neben den Standsicherheitsuntersuchungen zu den Uferbereichen und Restlöchern im Bereich des Tagebaus Werminghoff I wurden Standsicherheitseinschätzungen zu den mit Wiederanstieg des Grundwassers im Hinterland zu erwartenden Kippentiefen geführt.

Im Detail betraf dies unter anderem folgende Objekte:

- Kreisstraße Koblenz - Knappenrode [2.4.49],
- Hotelanlage „Am Knappensee“ [2.4.64],
- Grundbruchsicherheit Waldwege östlich der Kreisstraße Koblenz – Knappenrode [2.4.55].

Gefährdungen stellen vor allem in den Bereichen des Kippenhinterlandes Einwirkungen aus dem Grundwasserwiederanstieg dar. Ungleichmäßige Sackungen können zur Ausbildung von lokalen Porenwasserüberdrücken führen, die Initiale für Verflüssigungen darstellen.

Für den Endzustand des prognostizierten Grundwasserwiederanstiegs ist für Fahrzeuge jeglicher Art eine ausreichende Grundbruchsicherheit zu gewährleisten.

Die Standsicherheitseinschätzung zu den Verhältnissen der Kreisstraße Koblenz – Knappenrode infolge Grundwasserwiederanstieg zeigte keine ausreichende Sicherheit für den Verkehr, so dass eine Anhebung der Straße als Vorzugsvariante abgeleitet wurde [2.4.49].

Mit [2.4.55] wurde eine Standsicherheitseinschätzung geführt, die konkret die Grundbruchgefährdung für Befahren und Betreten untersucht. In Ergebnis dieser Standsicherheitseinschätzung erfolgte die Aufhebung der sich östlich der Verbindungsstraße Koblenz – Knappenrode befindlichen Waldwege, um eine Befahrbarkeit für die forstwirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten.

Im Bereich der Hotelanlage Knappensee entstanden durch die sich im Rahmen des Grundwasserwiederanstieges entwickelnden Flurabstände Gefahrensituationen, die eine öffentliche Nutzung strikt untersagten. Die bestehende Hotelanlage war abzureißen und die Geländetiefe aufzufüllen.

8.2.8 Standsicherheitseinschätzungen im Rahmen der geotechnischen Vorplanung 2008/2009

Im Rahmen von geotechnischen Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr (Vorplanung 2008/2009, [2.4.66]) erfolgten Feld- und Laboruntersuchungen sowie die Durchführung einer Standsicherheitseinschätzung zur aktuellen geotechnischen Situation am Knappensee. Zielstellung war hierbei die Zusammenstellung der vorliegenden geotechnischen Bearbeitungen unter der Maßgabe der Erstellung einer Sanierungskonzeption zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr. Die Standsicherheitseinschätzung erfolgte hierbei auf Grundlage der Richtlinie Geotechnik [2.3.7] des Sächsischen Oberbergamtes.

In der Bewertung spiegeln sich die bereits in Tabelle 6 abgeleiteten und aufgeführten geotechnischen Verhältnisse bezüglich Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte und Wasserständen wider. Weiterführend wird zu den möglichen auftretenden Initialen erläutert, dass bei Bauarbeiten aber auch durch Sanierungstätigkeiten starke Initiale auftreten können.

Für das Untersuchungsgebiet besteht mit Ausnahme der Uferböschungen des Abschnittes im Bereich E, der bereits im Bereich B auf das Gewachsene abgetragenen Uferböschungen und des nordwestlichen Ufers, eine Verflüssigungsneigung. Wird bei einer lokalen Verflüssigung eine Ausweitung nicht verhindert, erfolgt das Auftreten eines Setzungsfließens in Böschungsnähe und eines Verflüssigungsgrundbruches im Hinterland.

Tabelle 7: Berechnungskennwerte Standsicherheitsuntersuchung [2.4.66]

Nr.	Material	Kenngröße	Zeichen	ME	Wert
1	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ'	°	27,5 ... 33,0
		Kohäsion	cal c	kN/m ²	0,0 ... 2,5
		Wichte	cal γ'	kN/m ³	16,5 ... 17,5
2	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel, Verflüssigung durch Initialeintrag	Reibungswinkel	cal φ'	°	3,7
		Kohäsion	cal c	kN/m ²	0,0
		Wichte	cal γ'	kN/m ³	9,0
3	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	Reibungswinkel	cal φ'	°	30,0
		Kohäsion	cal c	kN/m ²	0,0
		Wichte	cal γ'	kN/m ³	9,5
4	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ'	°	34,0
		Kohäsion	cal c	kN/m ²	2,5
		Wichte	cal γ'	kN/m ³	17,5 ... 18,5

Auf Grundlage der vorhandenen Daten wurden in [2.4.66] für die Standsicherheitsuntersuchungen die in Tabelle 7 definierten Berechnungskennwerte angesetzt.

Für die Standsicherheitsuntersuchungen wurde die Erforderlichkeit eines Ansatzes von Erdbeben betrachtet. Das Gebiet selbst befindet sich nach DIN 4149 Teil 1 nicht in der Erdbebenzone 1 oder 2. Im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen wurden jedoch standortspezifische Untersuchungen zur Erdbebenwirkung auf Stauanlagen im Bereich der Talsperrenmeisterei Spree durchgeführt [2.4.54]. Dabei wurden maximale Beschleunigungswerte untergrundunabhängig festgelegt.

In den Standsicherheitsberechnungen wurden jedoch keine gesonderten Beschleunigungen oder Beschleunigungskräfte seismischer Einwirkungen angesetzt. Die Dimensionierung der Sicherungselemente und des angrenzenden Böschungssystems erfolgte auf Grundlage des maßgebenden Berechnungsfalles „Verflüssigung der wassergesättigten unverdichteten Kippe“ und dem Ansatz von undrained Scherparametern. Entsprechend ist ein Fall Verflüssigung der wassergesättigten Kippe durch Erdbebenanregung involviert.

Nutzungsspezifische Initiale sind vom Grundsatz her nicht auszuschließen. Durch den Initialeintrag kann in der gesättigten Kippenzone lokal ein Porenwasserüberdruck erzeugt werden.

In der Standsicherheitseinschätzung der Vorplanung wurden die Aussagen bezüglich der 2005 ermittelten Rückgriffweiten präzisiert, so dass mit Rückgriffweiten bis zu 220 m zu rechnen ist. Die Sicherheitslinie wurde entsprechend aktualisiert.

Weiterhin erfolgte eine Präzisierung durch Berechnungen bezüglich der erforderlichen Grundwasserflurabstände für unterschiedliche Verkehrslasten.

Tabelle 8: Ergebnisse von Standsicherheitsberechnungen zur Ermittlung erforderlicher erdfeuchter Überdeckungen $h_{\text{erdf.,erf.}}$ bei unterschiedlich großen Verkehrslasten (Berechnungen mittels SLOPE/W) [2.4.66]

Flächenersatzlast p' [kN/m ²]	erforderliche erdfeuchte Überdeckung $h_{\text{erdf.,erf.}}$ [m] für $\eta_{\text{erf.}} \geq 1,3$
Breite des Lasteintrages 3 m (Einsatzgewicht verteilt auf 3 m x 6 m)	
6 (Einsatzmasse 10 t)	> 1,5
11,5 (Einsatzmasse 20 t)	> 2,0
16,7 (Einsatzmasse 30 t)	> 2,0
30,0 (Einsatzmasse 50 t)	> 3,0
Breite des Lasteintrages 2 x 1 m (Einsatzmasse verteilt auf 2 x 1 m x 3 m)	
100,0 (Einsatzmasse 60 t)	> 3,0

8.2.9 Entwurfs- und Genehmigungsplanung 2011 / 2012

Basierend auf der Vorplanung erfolgte in den Jahren 2011 und 2012 die Erstellung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Uferbereiche G [2.4.87], S [2.4.88] und T [2.4.89].

Hierbei wurden die Standsicherheitsuntersuchungen präzisiert beziehungsweise die Dichte der Berechnungsprofile gegenüber der Vorplanung erhöht.

Generell wurde für die Bereiche G, S und T die im Verflüssigungsfall nicht vorhandene Standsicherheit fundiert hinterlegt.

8.3 Altbergsbausituation (Entwässerungsstrecken)

Durch ein Zusammenbrechen nicht ausreichend verwahrter bergbaulicher Hohlräume unter Kippen- oder an die Kippen grenzenden Bereiche können Initialflüsse eingetragen werden, die zu einem Setzungsfließen führen.

Das vorhandene geringe Primärbruchvolumen und der Abstand zum Ufer werden als gefährdungsminimierend angesehen [2.4.23]. Eine Nachverwahrung der Grubenhohlräume wird in [2.4.23] empfohlen.

Erkundungen zum Verwahrungsstand wurden in den Jahren 2006 ausgeführt und 2007 [2.4.62] bewertet. Mit den 2006 ausgeführten Sondierungen wurden keine Hohlräume angetroffen.

8.4 Bereichsweise Bewertung der geotechnischen Verhältnisse und der Standsicherheit

8.4.1 Nordbereich – Bereich U

Das Nordufer am Knappensee wird durch den Abschnitt U gebildet. Dieser Bereich lässt sich in einen westlichen Abschnitt und einen nördlichen Abschnitt einteilen.

Der westliche Teilbereich des Uferabschnitts U schließt sich nördlich an das Auslaufbauwerk an. Die Böschung wird durch die im Tagebaubetrieb hergestellte Anschnittsböschung gebildet. Ähnlich wie im südlich anschließenden Bereich A ist mit der Anschüttung von Kippenmaterialien in Form einer Handkippe zu rechnen. Über Mächtigkeit und Ausdehnung der Kippenanschüttung liegen keine Informationen vor.

Die Böschung ist in diesem Teilabschnitt relativ steil ausgebildet. Aus den Lotungsdaten im Höhenbereich +117,00 m NHN ... +125,00 m NHN lässt sich eine Unterwasserböschungsneigung von 16,3 ° ... 27,1 ° ermitteln. Das Böschungshinterland ist sehr flach ausgebildet und liegt im Niveau von ca. +125,00 m NHN ... +125,50 m NHN. Bei einem Einstau auf das Niveau +126,00 m NHN wird dieser Bereich vollständig überflutet. Die Wasserlinie tritt dann bis an den Böschungsfuß des Maukendorfer Randdamms (Hochwasserschutzdamm) heran. Das Hinterland weist einen starken Schilfbewuchs und unterschiedlich dichten Baumbewuchs auf. Dieser Böschungsbereich unterliegt augenscheinlich keiner konkreten Nutzung.

Den Hauptteil des Uferabschnitts U nimmt die Nordböschung ein, die sich westlich an den Maukendorfer Randdamm bzw. an das dort befindliche Verteilerbauwerk der LTV Sachsen anschließt. Die Kippe besteht aus einer Spülkippe, die auf gerutschten Massen einer Absetzerkippe liegt. Eine überlagernde Pflug- oder Handkippe kann nicht ausgeschlossen werden. Die heute vorliegende Böschungsoberfläche wurde im Tagebaubetrieb durch ein Verspülen von Kippenmaterial hergestellt. Entsprechend gering sind die vorhandenen Böschungsneigungen sowohl unter als auch über dem Wasserspiegel. Die Neigung der Unterwasserböschungen liegt im Bereich von 0,9 ° ... 3,0 ° (1:62 ... 1:19). Das sich in diesem Bereich anschließende Uferhinterland zeichnet sich ebenfalls durch flache Böschungsneigungen aus. Bis zum untersten Böschungsfuß der gestaffelten Hochkippenböschung weist das Böschungshinterland Neigungen von 0,6 ° ... 3,4 ° (1:100 ... 1:17) auf. Die Mächtigkeit der Kippe beträgt im Bereich der Nordböschung ca. 25 m ... 34 m.

Im Rahmen des Tagebaubetriebes sind mehrere Rutschungen in diesem Böschungsbereich aufgetreten. Die größten Rutschungen mit einem zum Teil beträchtlichen Ausmaß ereigneten sich in den Jahren 1930 und 1937. Anhand von Altunterlagen ist dargestellt, dass bei den Rutschungen auch das gewachsene Böschungssystem in Mitleidenschaft gezogen und tiefgründig beeinflusst wurde. Es ist davon auszugehen, dass die Rutschungsmassen eine ähnliche Lagerungsform wie die anstehenden Kippenmassen aufweisen.

Die sich im Hinterland anschließende Hochkippe Maukendorf wurde im Rahmen des Aufschlusses überwiegend auf die Rasensohle geschüttet und damit auf dem Gewachsenem gegründet. Ausnahmen bilden die Böschungsabschnitte der Südböschung der Hochkippe, die im Rutschungsbereich der ehemaligen nördlichen Betriebsböschung des Tagebaus Werminghoff I liegen (Rutschungen in den Jahren 1930 und 1937). Aus dem Risswerk ist darüber hinaus zu entnehmen, dass teilweise sowohl die ehemalige OK Abraum als auch die Auskohlungs Grenze über den Böschungsfuß der Hochkippen teilböschung hinausreicht und damit zumindest dieser Teil der Hochkippe auf geschüttetem Material (Kippe) gründet.

Aus den Untersuchungen an dem anstehenden Kippenmaterial ist bekannt, dass die Kornverteilung der überwiegend rollig ausgebildeten Kippenböden nahezu vollständig innerhalb des als verflüssigungsgefährdet anzusehenden Körnungsbandes liegt. Auch für diesen Bereich weisen die Kippensande eine gute Rundung der Kornform und eine geringe Kornrauigkeit auf.

Die im Böschungsabschnitt abgeteufte Drucksondierungen zeigen ein sehr heterogenes Abbild der Lagerungsverhältnisse der Kippe. Neben Bereichen mit einem großen Eindringwiderstand, die auf eine zumindest mitteldichte Lagerung der Kippensande hindeuten, existieren auch Bereiche mit sehr geringen Eindringwiderständen für die Drucksonde. Für diese Bereiche ist von einer lockeren bis sehr lockeren Lagerung der Kippensande auszugehen.

Reste unterirdischer Entwässerungsstrecken befinden sich im nördlichen Uferbereich des Abschnittes U im Bereich der Auskohlungs Grenze. Aus den vorliegenden Unterlagen [2.4.7], [2.4.8] geht hervor, dass diese Streckenelemente in den 1970iger Jahren verwahrt wurden. Die Verwahrung erfolgte entsprechend der seinerzeit üblichen Vorgehensweise und dem damaligen Kenntnisstand mit Sand-Wasser-Gemisch bzw. mit Braunkohlenfilterasche. Abgeteufte Kontrollbohrungen trafen keine Hohlräume an. Dies liegt vor allem daran, dass die Hohlräume lagemäßig nicht genau bestimmt werden konnten [2.4.8].

Eine Kontrolle des Verwahrungsgrades erfolgte, wie damals üblich, über die Volumenbilanz zwischen dem abgeschätzten Hohlraumvolumen und dem Volumen des eingebrachten Verwahrungsmaterials. In [2.4.7] wird abgeschätzt, dass das Verwahrungsziel erreicht wurde und es wird ein Verfüllungsgrad von 90 % angegeben.

Aus anderen Sanierungsobjekten ist bekannt, dass diese Vorgehensweise bei der Verwahrung von Altbergbaustrecken nicht immer zu einer vollständigen Verfüllung der Hohlräume geführt hat. Ebenso ist es möglich, dass durch Strömungsvorgänge Verwahrungsmaterial wieder ausgespült wurde. Eventuell noch vorhandene Hohlräume können beim Zubruchgehen als Initial für die Kippe wirken. Daraus ergibt sich, dass aus diesen Streckenfragmenten eine deutliche Erhöhung der Setzungsfließgefahr resultiert.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt U wie folgt bewertet:

- Die Körnungslinien der vorhandenen Kippenböden liegen nahezu vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %.
- Die Kippensande sind gut gerundet und besitzen eine geringe Kornrauigkeit, was als weiterer begünstigender Faktor für die Verflüssigungsneigung zu werten ist.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone unterhalb des Grundwasserstandes Zonen mit einer sehr lockere bis lockere Lagerung auf. Bereiche mit mitteldichter Lagerung können nur partiell jedoch nicht flächenhaft nachgewiesen werden.

- Für Lockergesteine, deren Korngrößenverteilung den vorgenannten Bedingungen entspricht, muss bei einem kritischen Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K (Höhe der wassergesättigten Kippe zu Gesamthöhe Kippe) $\geq 0,2$ mit einem Setzungsfließen gerechnet werden. Der Verhältniswert liegt für den Uferabschnitt U unter Berücksichtigung der Hochkippe und in Abhängigkeit des Wasserstandes im Knappensee im Bereich 0,64 ... 0,71 und damit im kritischen Bereich.
- Initiale als Auslöser von Setzungsfließereignissen können im Bearbeitungsgebiet in vielfältigster Weise eintreten.

Im nördlichen Abschnitt des Bereiches U erfolgt eine intensive Freizeitliche Nutzung in Form von Bungalows. Es bestehen Verhaltensanforderungen.

Für den Bereich U (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.2 Nordostbereich – Bereich T

Die Kippenverhältnisse im Uferbereich des Abschnittes T werden an der nördlichen und südlichen Grenze durch Spülkippen charakterisiert, die die Massen der Rutschungen aus den Jahren 1930 und 1937 überlagern. Die Rutschungsmassen sind überwiegend locker gelagert, wobei die Spülkippe auch mitteldichte Lagerung erreicht. Zwischen beiden Rutschungsbereichen überlagern die Spülkippen mit geringer Mächtigkeit (wenige Meter) eine Absetzerkippe mit geringer Lagerungsdichte. Im Hinterland schließt die Spülkippe an die Absetzerhochkippe an, wobei die vorgelagerte und die Spülkippe noch überlagernde 1. Berme in die Charakteristik einer Pflug- oder Handkippe einzuordnen ist. Die Spülkippe sowie die Absetzerhochkippe lagern auf einer Absetzerkippe des Tagebaus Werminghoff I auf. Die Absetzerhochkippe selbst besteht aus Abraummateriale des Tagebaus Werminghoff II.

Aufgrund der vorhandenen Kippenmaterialien und der lockeren Lagerungsdichte ist eine Verflüssigungsgefahr gegeben.

Die Böschungsneigungen im Hinterland betragen bis zu $\beta = 45^\circ$. Die Kippenböschung befindet sich damit im Grenzgleichgewicht. Der Uferbereich ist, außer am südlichen Ende des Abschnittes T, flach und ohne Böschung geneigt. Die Gefahr von größeren Böschungsbrüchen als Primäreignis ist als gering einzuschätzen.

Die Neigung der Unterwasserböschung liegt entsprechend den Lotungsergebnissen für die Geländeschnitte zwischen $1,4^\circ$ und $3,5^\circ$ (im Mittel $2,1^\circ$). Signifikant abweichend von dieser Situation ist die relativ steile Neigung ($13,0^\circ$) im Südteil des Bereiches T im Übergang zum Abschnitt S (ehemaliger Steiluferbereich).

Kippengelände (Absetzerhochkippe) bildet das Hinterland. Es wird im Bereich der Siedlung Knappenhütte als Wohnstandort genutzt. Der vorgelagerte Uferbereich unterlag bisher mit Zeltplätzen, Bootsverleih und Anglerverein einer Nutzung für Freizeit und Erholung.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt T wie folgt bewertet:

- Die Korngrößenverteilungen der vorhandenen Kippenböden liegen fast vollständig im verflüssigungsfährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %.

- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine höhere Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone unterhalb des Grundwasserstandes überwiegend eine sehr lockere bis lockere Lagerung auf. Spülkippen mit mitteldichter Lagerung können nur punktuell jedoch nicht flächenhaft nachgewiesen werden.
- Für Lockergesteine, deren Korngrößenverteilung den vorgenannten Bedingungen entspricht, muss bei einem kritischen Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K (Höhe der wassergesättigten Kippe zu Gesamthöhe Kippe) $\geq 0,2$ mit einem Setzungsfließen gerechnet werden. Der Verhältniswert liegt für den Abschnitt T unter Berücksichtigung der im Hinterland befindlichen Kippenböschungen und in Abhängigkeit des Wasserstandes im Knappensee im Bereich 0,56...0,74. Das Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K als Kriterium der Möglichkeit von Setzungsfließbrutschungen liegt damit im kritischen Bereich.
- Initialwirkungen als Auslöser von Setzungsfließereignissen können im Bearbeitungsgebiet in vielfältigster Weise eintreten.

Aus der zusammenfassenden Bewertung der wesentlichen Einflussfaktoren wird geschlussfolgert, dass an der gekippten Ostböschung des Restlochgewässers im Bereich T die Gefahr von Setzungsfließbrutschungen generell besteht. Bleibt eine lokale Verflüssigung nicht begrenzt, treten in Böschungsnähe Setzungsfließen und im Hinterland bei geringer erdfechter Überdeckung Grundbrüche ein. In jedem Fall ist eine lokale Verflüssigung mit Deformationen der Geländeoberfläche verbunden, z. B. in Form einer plötzlichen Geländeabsenkung. Im Uferbereich ist die Trittsicherheit in der Regel nicht gegeben.

Für den Bereich T (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.3 Ostbereich – Bereich S

Der nördliche Teilabschnitt des Uferbereiches S zeichnet sich durch eine ähnliche Kippengese wie im Nachbarbereich T aus. Die Kippe baut sich aus einer Pflugkippe mit einer überlagernden Absetzerkippe auf. Im Gegensatz zum Bereich T ist im Uferabschnitt S keine Spülkippe vorgelagert. Im südlichen Teil des Uferabschnittes wurde bis 1940 ebenfalls eine Pflugkippe betrieben. Über die Pflugkippe wurde eine Absetzerkippe geschüttet. Die Massen, die mit dem Absetzer abgelagert wurden, stammten aus dem Tagebau Werminghoff II.

Für den Uferbereich S ist eine große Rutschung dokumentiert. Diese ereignete sich im Jahre 1941 und umfasste ca. 4,5 Mio. m³ Material und beeinflusst den gesamten mittleren Teil des heutigen Knappensees. Im Ergebnis der Rutschung entstand die ehemalige Steilböschung im Uferabschnitt.

Diese Steilböschung wurde im Zuge von ersten Sanierungsmaßnahmen in den 80iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch Abspülen abgeflacht.

Im Unterschied zu den in den Nachbarbereichen ausgebildeten Neigungen der Unterwasserböschung weist die Seesohle im Abschnitt S relativ steile Neigungen von 4,5° ... 10,1° (1:12,6 ... 1:5,6) auf. Diese Unterwassermorphologie ist vermutlich noch ein Resultat der oben beschriebenen Rutschung. An den Uferbereich schließt sich ein flach geneigtes Hinterland an. Bis zum Böschungsfuß der abgespülten Hochkippenböschung betragen die Neigungen des Uferhinterlandes ca. 1,1° ... 2,9° (ca. 1:50 ... 1:20). Die Hochkippe wurde im zentralen Bereich des Uferabschnitts S mit den beschriebenen Abspülmaßnahmen auf eine Neigung von 1:5,5 ... 7,0 abgeflacht.

In einem etwa 130 m breiten Böschungsbereich im Übergang zum südlich gelegenen Uferabschnitt G besitzt die Hochkippe eine Neigung von ca. 1:1,35 (36,5°), die weitgehend der Neigung bei der Schüttung im Tagebaubetrieb entspricht.

Die Uferböschung sowie das sich daran anschließende Hinterland liegen vollständig innerhalb von gekipptem Material. Die Mächtigkeit der Kippenablagerung beträgt ca. 24 m ... 45 m. Aus den Aufschlüssen ist zu entnehmen, dass die anstehenden Kippensande eine bereichsweise lockere bis sehr lockere Lagerung im wassergesättigten Bereich aufweisen. Diese Lagerung resultiert aus den niedrigen Schütthöhen des seinerzeit eingesetzten Absetzers. Die Verdichtungswirkung der damaligen Schütttechnologie ist vergleichbar mit der einer Pflugkippe.

Aus den laborativen Untersuchungen am Material geht hervor, dass die Kippensande eine Kornverteilung aufweisen, die nahezu vollständig innerhalb des als verflüssigungsgefährdet anzusehenden Körnungsbandes liegen. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %. Die Kornform der Sande ist gerundet bis gut gerundet.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt S wie folgt bewertet:

- Die Körnungslinien der im Abschnitt anstehenden Kippenböden liegen vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %.
- Die Sandkörner weisen eine gute Rundung und eine geringe Kornrauigkeit auf. Damit ist ein weiterer begünstigender Faktor für die Verflüssigungsneigung vorhanden.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone unterhalb des Grundwasserstandes Zonen mit einer sehr lockere bis lockere Lagerung auf. Bereiche mit mitteldichter Lagerung können nur vereinzelt bzw. punktuell jedoch nicht flächenhaft nachgewiesen werden.
- Für Lockergesteine, deren Korngrößenverteilung den vorgenannten Bedingungen entspricht, muss bei einem kritischen Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K (Höhe der wassergesättigten Kippe zu Gesamthöhe Kippe) $\geq 0,2$ mit einem Setzungsfließen gerechnet werden. Der Verhältniswert liegt für den Uferabschnitt S unter Berücksichtigung der Hochkippe und in Abhängigkeit des Wasserstandes im Knappensee im Bereich 0,55...0,58. Damit liegt der Verhältniswert H_{WK}/H_K im kritischen Bereich.
- Initiale als Auslöser von Setzungsfließereignissen können im Bearbeitungsgebiet in vielfältigster Weise eintreten.

Aufgrund der vorhandenen lockeren Lagerung ist auch nach dem Abspülen eine Verflüssigungsgefahr gegeben. Auch das Hinterland ist durch Kippen gekennzeichnet. Das Ufer wird als Badestrand genutzt. Die Nutzung ist bezüglich des Einsatzes von erschütterungsintensiven Geräten eingeschränkt. Es besteht ein Bauverbot.

Bei Einwirkung eines kritischen Initials besteht die Gefahr von Bodenverflüssigungen und anschließenden Setzungsfließrutschungen und somit eine akute Gefahr für öffentlich geschützte Rechtsgüter, insbesondere das Leben und die Gesundheit von Menschen.

Ohne Sicherungsmaßnahmen würden die Gefährdungen von Personen und Sachwerten sowie die damit verbundenen Nutzungseinschränkungen zeitlich unbegrenzt bestehen bleiben.

Für den Bereich S (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.4 Südostbereich – Bereich G

Der als Koblenzer Strand bezeichnete Bereich G wurde bereits in den Jahren 1982 und 1983 einer eingehenden geotechnischen Untersuchung unterzogen, deren Ergebnisse weiterhin Gültigkeit besitzen.

Der Uferbereich und der dahinterliegende Geländestreifen bis zur Hochkippe bestehen aus einer sehr locker gelagerten Pflugkippe, die auf der AFB-Kippe, die bis zum Liegenden reicht, aufsitzt. Die Ausbildung der Kippe ist als sehr inhomogen einzustufen. Es wurden überwiegend Sande verkippt, deren Kornverteilung in dem zur Verflüssigung neigenden Bereich liegt. Die Feinkornanteile der vorhandenen Kippenmaterialien (Pflug- und AFB-Kippe) schwanken von ca. 10 % bis ca. 20 %. Die Materialien der Absetzerhochkippe zeigen hinsichtlich ihrer Kornverteilung schluffige Fein- bis Mittelsande mit einem mittleren Feinkornanteil von ca. 17 %.

Die geometrischen Verhältnisse sind als günstig beziehungsweise in gewissem Maße mindernd gegenüber der Setzungsfließgefahr einzuschätzen. Der Seeboden wird durch die ehemalige Oberfläche der AFB-Kippe charakterisiert und ist flach geneigt ($1,1^\circ$ bis $2,8^\circ$). Die flachsten Neigungen sind dabei im Nordteil anzutreffen. Die Böschungen über Wasser am Ufer sind sehr steil und betragen ca. $\beta = 35^\circ$. Lokal sind Versteilungen vorhanden. Die Kippenböschung befindet sich damit im Grenzgleichgewicht. Die Gefahr von größeren Böschungsbrüchen als Primäreignis ist aufgrund der geringen Höhe der Böschung als gering einzuschätzen. Aufgrund der Ufersituation wurde ursprünglich die Empfehlung abgeleitet, bis zu einer Sanierung den Wasserspiegel im Knappensee auf maximal 125,2 m NN zu halten, um Uferzerstörungen als Initial einer Verflüssigung zu vermeiden.

Aufgrund der geringen Lagerungsdichte (locker bis sehr locker) besteht im Abschnitt ein sehr hohes Gefahrenpotential bezüglich der Verflüssigungsneigung der vorhandenen wassergesättigten Kippenmaterialien. Bleibt eine lokale Verflüssigung nicht begrenzt, treten in Böschungsnähe Setzungsfließen und im Hinterland Grundbrüche ein. In jedem Fall ist eine lokale Verflüssigung mit Deformationen der Geländeoberfläche verbunden, z. B. in Form einer plötzlichen Geländeabsenkung.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt G wie folgt bewertet:

- Die Korngrößenverteilungen der vorhandenen Kippenböden liegen fast vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %.
- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine höhere Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone unterhalb des Grundwasserstandes eine sehr lockere bis lockere Lagerung auf.
- Für Lockergesteine, deren Korngrößenverteilung den vorgenannten Bedingungen entspricht, muss bei einem kritischen Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K (Höhe der wassergesättigten Kippe zu Gesamthöhe Kippe) $\geq 0,2$ mit einem Setzungsfließen gerechnet werden. Der Verhältniswert liegt für den Abschnitt G unter Berücksichtigung der Hochkippe und in Abhängigkeit des Wasserstandes im Knappensee im Bereich $0,51 \dots 0,56$. Das Wasserstandsverhältnis H_{WK}/H_K als Kriterium der Möglichkeit von Setzungsfließbrutschungen liegt damit im kritischen Bereich.
- Initialwirkungen als Auslöser von Setzungsfließereignissen können im Bearbeitungsgebiet in vielfältigster Weise eintreten.

Bei Einwirkung eines kritischen Initials besteht die Gefahr von Bodenverflüssigungen und anschließenden Setzungsfließbrutschungen und somit eine akute Gefahr für öffentlich geschützte Rechtsgüter, insbesondere das Leben und die Gesundheit von Menschen.

Für den Bereich G (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.5 Bereich F

Die auf dem Kohleliegenden aufsitzende Brückenkippe wird durch eine Absetzerkippe oder Handkippe (Pflug-) überlagert.

Am ehemaligen Jugendtouristhotel weisen die Druck- und Rammsondierungen bis ca. 15,5 m Teufe eine locker gelagerte Absetzerkippe und darunter die mitteldicht gelagerte Förderbrückenkippe aus. Bei oberflächennahen Probenahmen wurde Sand mit Feinkornanteilen zwischen 10 % und 20 % festgestellt. In diesem Gebiet traten 1983 und 1984 Senkungen und Rissbildungen an der Geländeoberfläche auf, die auf Sackungen zurückgeführt wurden.

Im Areal des zu dieser Zeit noch vorhandenen Restloches 0815/1, das sich nördlich vom Jugendtouristhotel befand, führten die Sondierungen auf lockere bis sehr lockere Lagerung, unabhängig davon, ob Förderbrücken-, Absetzer- oder Handkippen durchteuft wurden. Aus diesen Ergebnissen wurde abgeleitet, dass Sicherungsmaßnahmen für diesen Bereich erforderlich sind [2.4.36].

Im Jahre 2012 wurden im Bereich F am Gasthaus und Landhotel Haink im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für Gefahrenabwehrmaßnahmen Druck- und Rammsondierungen ausgeführt. Sie bestätigen die lockeren Lagerungsverhältnisse, den heterogenen Kippenaufbau sowie das verflüssigungsgefährdete Kornspektrum der vorhandenen Kippenmaterialien.

Das im Bereich des Grundwasserspiegels vorhandene Kippenmaterial weist eine sehr hohe Verflüssigungsneigung auf. Das Hinterland besteht im Bereich F allseitig ebenfalls aus Kippenmaterial. Die Nutzung im Norden (RL 0815/1) erfolgt forstwirtschaftlich und im Süden touristisch (Hotelanlage, Ferienwohnungen).

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt F wie folgt bewertet:

- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone vor allem im Bereich der Handkippe eine sehr lockere bis lockere Lagerung auf.
- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Initialeinwirkungen als Auslöser für Verflüssigungen sowie Setzungsfließrutschungen können in vielfältiger Weise im Untersuchungsbereich auftreten.

Es bestehen Verhaltensanforderungen bezüglich der Nutzung (Verbot für erschütterungsintensive Geräte).

Für den Bereich F besteht in Verbindung mit dem vorgelagerten Uferbereich G Setzungsfließgefahr. Im gesamten Bereich F (Hinterland) besteht weiterhin die Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.6 Südbereich (Ostteil) – Bereich D Ost

Zwischen der ehemaligen oberen Abraumkante und der Uferlinie aber auch darüber hinaus stehen locker gelagerte Handkippen mit überwiegend sandigem Material mit einem maximalen Feinkornanteil von 20 % mit runder Kornform an. Unter der Handkippe / Pflugkippe ist eine Spülkippe mit bis zu mitteldichter Lagerung anzutreffen. Unter dieser lagern wiederum Massen lockerer Lagerung, die in das bereits mit Wasser gefüllte ehemalige Restloch B eingespült oder durch die Rutschung von 1941 eingetragen worden sind.

Die Uferböschungen besitzen Höhen zwischen 2 m und 3 m. Das Kippenhinterland ist maximal 95 m breit und flach ausgebildet. Der Seegrund ist flach mit ca. 4° geneigt.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt D Ost wie folgt bewertet:

- Die Körnungslinien der vorhandenen Kippenmaterialien liegen zum Teil nicht im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Ein Ausschluss der Gefährdung gegenüber Verflüssigung ist für diese Böden jedoch daraus nicht ableitbar.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone vor allem im Bereich der Handkippe eine lockere bis sehr lockere Lagerung auf. Die Ausbildung von Spülkippen mit mitteldichter Lagerung kann weder flächenhaft noch über die ganze Teufe bis zum Liegenden nachgewiesen werden.
- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Initialeinwirkungen als Auslöser für Verflüssigungen sowie Setzungsfließrutschungen können in vielfältiger Weise im Untersuchungsbereich auftreten.

Mit [2.4.36] wird die Verflüssigungsneigung als gering eingeschätzt. Sie wurde jedoch nicht ausgeschlossen, so dass bei entsprechendem Initialeintrag Grundbruch- und Setzungsfließgefahr besteht.

Im Uferabschnitt D Ost sind untertägige Strecken mit nicht definiertem Verwahrungszustand vorhanden. Die Wahrscheinlichkeit von Initialeinträgen im Abschnitt D Ost aus Zubruchgehen von Resthohlräumen wird auf Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Erkundungen (2005, [2.4.64]) sowie der Größe der Altstrecken als sehr gering eingestuft.

Für den Bereich D Ost (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.7 Südbereich (Mittlerer Teil) –E 1 und E 2

Als Bereich E (siehe Anlage 2) sind diejenigen Abschnitte der Südböschung gekennzeichnet, an denen die Uferlinie im gewachsenen Lockergestein liegt. Der Böschung im Gewachsenen sind eingespülte Kippenböden vorgelagert [2.7.10].

Die dem Ufer vor gelagerten unverdichteten Kippenmassen wurden im Abschnitt E im Jahr 2010 mittels seeseitiger Verdichtung gesichert [2.4.73], [2.4.75]. Weiterhin erfolgte im Abschnitt E die Errichtung einer Einsetzstelle [2.4.72], [2.4.74] für auf dem See arbeitende Gerätetechnik, im Speziellen für zukünftige seeseitige Sanierungstechnik.

Eine Setzungsfließgefahr ist in diesen Abschnitten nicht gegeben.

8.4.8 Südbereich (Mittlerer Teil) – Bereich D Mitte

Östlich des Zulaufes des Schwarzwassers in den Knappensee befindet sich der Uferabschnitt D Mitte. In diesem Bereich lagert eine Handkippe über einer Berme des Tagebaues Werminghoff I. Es sind lockere Lagerungsverhältnisse vorhanden. Für die Kippenmaterialien ist eine Verflüssigungs- und Setzungsfließgefahr gegeben.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt D Mitte wie folgt bewertet:

- Die Körnungslinien der vorhandenen Kippenmaterialien liegen im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone im Bereich der Handkippe eine lockere bis sehr lockere Lagerung auf.
- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Initialeinwirkungen als Auslöser für Verflüssigungen sowie Setzungsfließbrutschungen können in verschiedener Weise in diesem Abschnitt auftreten.

Für den Bereich D Mitte (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.9 Südbereich (Westteil) – Bereich D West

Zwischen der ehemaligen oberen Abraumkante und der Uferlinie stehen Handkippen an, die auf dem Baggerplanum oder verspültem Kippgut aufliegen. Im westlichen Abschnitt des Bereiches D weisen die Ramm- und Drucksondierungen unter der locker gelagerten Handkippe eine mitteldicht gelagerte Spülkippe aus. Bis zum Liegenden stehen unterhalb dieser wiederum locker gelagerte Massen an. Es handelt sich um Abraum aus dem Tagebau II, der in das damals bereits mit Wasser gefüllte Restloch A gespült worden ist. Die Anschüttung besteht aus Sand, der zur Auffüllung und Abstützung einer 1936 am Stoß durch erhöhten Wasseraustritt verursachten Rutschung eingebracht worden war.

Die Beprobung bis zu 3 m Tiefe unter Geländeoberfläche führte zu der Feststellung überwiegend sandigen Kippgutes mit runder Kornform und mehrfach mit Feinkornanteilen zwischen 10 % und 20 % durchsetzt [2.4.36].

Die Kippen reichen bis zu 200 m niveaugleich in das Hinterland. Im Bereich D West bestehen flache Geländebeziehungen im Kippenhinterland und Kliffbildungen mit Höhen bis zu 1,0 m im Uferbereich. Die Unterwasserböschungen sind mit ca. 4,5° gering geneigt. Im Bereich D West sind dem Uferbereich die Inseln (Bereich C) gegenübergelagert.

Die Setzungsfließgefahr wird in D West durch folgende Charakteristika bestimmt:

- Die Körnungslinien der vorhandenen Kippenmaterialien liegen zum Teil nicht im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Ein Ausschluss der Gefährdung gegenüber Verflüssigung ist für diese Böden jedoch daraus nicht ableitbar.
- Die Kippenmaterialien bestehen vorwiegend aus gerundeten bis gut gerundeten Sanden, so dass vom Aspekt der Kornform ausgehend eine Verflüssigungsneigung zu bescheinigen ist.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone vor allem im Bereich der Handkippe eine lockere bis sehr lockere Lagerung auf.
- Initialeinwirkungen als Auslöser für Verflüssigungen sowie Setzungsfließbrutschungen können in vielfältiger Weise im Untersuchungsbereich auftreten.

Es ist eine intensive Freizeitliche Nutzung durch Anglerverein, Uferpromenade, Anlegestellen u.a. vorhanden. Das Hinterland wird forstwirtschaftlich genutzt. Es bestehen Verhaltensanforderungen bezüglich des Einsatzes von Fahrzeugen und Geräten.

Auf Grundlage von Untersuchungen und Auswertungen bisheriger Verwehrmaßnahmen musste 1988 eine unzureichende Verwahrung ehemaliger Entwässerungsstrecken festgestellt werden. Daraufhin fanden Erkundungen ehemaliger Entwässerungsstrecken im Bereich des Seesportclubs statt. Weitere Nacherkundungen wurden 2006 durchgeführt, wobei in den erkundeten Bereichen durch die vorgenommenen Aufschlüsse (Drucksondierungen) keine Hohlräume angetroffen/erkundet wurden. Dennoch können aufgrund eines fehlenden umfassenden Verwahrungsnachweises mögliche vorhandene Resthohlräume beim Zubruchgehen als Initial für die Kippe wirken. Daraus ergibt sich, dass aus Streckenfragmenten eine Erhöhung der Setzungsfließgefahr resultieren kann.

Für den Bereich D West (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließ-/Verflüssigungsgefahr sind erforderlich.

8.4.10 Westbereich – Bereich A und B Nord

Der Böschungsbereich des Uferabschnittes A (inklusive dem Teilabschnitt B Nord) wurde im Rahmen der Bearbeitung mittels Felduntersuchungen (Sondier-Kampagnen 2008 und 2009) erkundet. Die Ergebnisse der bisherigen Erkundungen der geotechnischen Verhältnisse zeigen, dass in den gekippten Uferbereichen mit locker gelagerten, überwiegend nichtbindigen Kippenböden zu rechnen ist.

Aus den Altunterlagen ist bekannt, dass an das ehemalige Anschnittböschungssystem Abraummateriale in Form einer Handkippe angelagert wurde. Kennzeichnend für diese Kippenmaterialien ist die sehr lockere Lagerung der sandigen Böden.

Aus den Untersuchungen stellt sich folgende geotechnische Situation für den betrachteten Böschungsbereich dar:

Im Bereich des Seeufers wurden bis an den restlochseitigen Dammfuß des Maukendorfer Absperrdammes Kippenmächtigkeiten von 4 m bis 7 m erkundet. Die Schlagzahlen innerhalb des Kippenmaterials, unterhalb einer oberflächennah verfestigten Schicht, liegen im Durchschnitt bei $N_{10} = 0 \dots 3$ und deuten damit auf sehr lockere Lagerungsverhältnisse der sandigen Kippenmaterialien hin. Anhand der Aufschlüsse ist davon auszugehen, dass die Grenze Kippe/Gewachsenes im Vergleich zu den Eintragungen im Risswerk weiter westlich liegt. Damit ist im Uferbereich mit einer entsprechend größeren Mächtigkeit der Kippe am gewachsenen Randböschungssystem zu rechnen.

Die Kriterien zur Setzungsfließgefahr werden für den Abschnitt A und B Nord wie folgt bewertet:

- Die Körnungslinien der im Abschnitt an das Anschnittböschungssystem angeschütteten Kippenböden liegen vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Der Feinkornanteil ($d \leq 0,063$ mm) beträgt in der Regel ≤ 30 %.
- Die Sandkörner weisen eine gute Rundung und eine geringe Kornrauigkeit auf. Damit ist ein weiterer begünstigender Faktor für die Verflüssigungsneigung vorhanden.
- Die Kippenböden weisen in der wassergesättigten Zone unterhalb des Grundwasserstandes Zonen mit einer sehr lockere bis lockere Lagerung auf. Nur vereinzelt können Bereiche mit mitteldichter Lagerung nachgewiesen werden. Eine flächenhafte Ausdehnung der Bereich ist nicht nachweisbar.
- Initiale als Auslöser von Setzungsfließereignissen können im Bearbeitungsgebiet in vielfältigster Weise eintreten.

Im Bereich des Auslaufbauwerkes wurden durch die Rammsondierungen gewachsener Untergrund bzw. verdichtete Auffüllungen erkundet. Die gemittelten Schlagzahlen betragen ca. $N_{10} \geq 5 \dots 10$. An der Geländeoberfläche steht in diesem Bereich ein Sand-Schotter-Gemisch an.

Westlich des Rundweges wurden ebenfalls zur Erkundung des hinterlandseitigen Randdammuntergrundes leichte Rammsondierungen (DIN 4094, DPL 5) abgeteuft. Im Ergebnis konnte aus den ermittelten Eindringwiderständen eine dichte bis mitteldichte Lagerung der sandigen Böden festgestellt werden. Das Höhenniveau des Gewachsenen am westlichen Dammfuß befindet sich etwa im Höhenniveau +125,00 m NHN ... +126,00 m NHN. Anhand der Aufschlussergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass die Bundesstraße B 96 vollständig auf dem Gewachsenen gründet. Bekannt ist aus den Altunterlagen [2.7.10], dass im Tagebaubetrieb Auswaschungen aus dem Flözanschnitt aufgetreten sind. Diese Auswaschungen verursachten Absenkungen im Böschungshinterland und somit unter anderem auch bei der damaligen Straße. So ist beispielsweise in [2.7.10] eine Rutschung an der Böschung im Gewachsenen in Verbindung mit verstärkten Wasseraustritten dokumentiert. Die aufgetretenen Absenkungen wurden mit Kippenmaterial wieder verfüllt. Diese Auswaschungen sind lokal begrenzt und von kleinräumiger Ausdehnung.

Im Uferbereich verläuft der Hochwasserschutzdamm des Speicherbeckens Knappenrode. Dessen Hochwasserschutzfunktion charakterisiert die Nutzung des Abschnittes. Es besteht eine Nutzungseinschränkung als Betretungsverbot zum Dammschutz. Im direkten Hinterland auf dem Gewachsenen verläuft die Bundesstraße B 96.

Sanierungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr werden in [2.4.66] als erforderlich erachtet. Momentan bestehen Verhaltensanforderungen.

Für den Bereich A und B Nord (Uferbereich bis zum Fuß des Hochwasserschutzdammes) besteht Setzungsfließgefahr.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr sind erforderlich.

8.4.11 Westbereich – Bereich B Süd

In zwei Abschnitten verläuft die obere Abbaukante westlich der Uferlinie. Parallel zur Uferböschung verläuft neben dem ehemaligen Randschlauch der AFB eine aus Förderbrückenkippenmassen gebildete langgezogene Insel. Das Hinterland wird durch das Gewachsene repräsentiert.

Das vorhandene Material weist eine hohe Verflüssigungsneigung auf. Es besteht bei ausreichendem Initialeintrag Grundbruch- und Setzungsfließgefahr. Die Fläche wird forstwirtschaftlich genutzt.

Sicherungsmaßnahmen gegen Wellenschlag werden auf Grundlage der Lage und auftretenden Hauptwindrichtungen als nicht erforderlich erachtet [2.4.34]. Zum Schutz bis zur Durchführung von Gefahrenabwehrmaßnahmen wird die Absperrung gegenüber einem unbefugten Betreten gesehen [2.4.33].

Sanierungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr werden in [2.4.66] als erforderlich erachtet.

Für den B Süd (Uferbereich bis zum Fuß des Hochwasserschutzdammes) besteht Setzungsfließgefahr.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr sind erforderlich.

8.4.12 Inseln – Bereich C

Die Hochlagen der ehemaligen Förderbrückenkippe, die auf dem Flözliegenden aufsitzt, treten als Inseln in Erscheinung. Durchgeführte Rammsondierungen weisen lockere bis sehr lockere Lagerungsdichten aus. Die Beprobung hat das Kippgut als überwiegend normal abgestuften Sand von runder Kornform mit Feinkornanteilen $d \leq 0,06$ mm von weniger als 10 % ausgewiesen. Die Rippenscheitel sind häufig morphologisch noch ausgeprägt. Bewuchs bedeckt die Oberfläche bis in Ufernähe. Die Böschungen in den Uferbereichen und unter Wasser sind flach ausgebildet. Zwischen den Inseln und in den Buchten treten nur geringe Wassertiefen von wenigen Metern auf [2.7.10], [2.4.36].

Den Inseln ist zum Abschnitt B eine Handkippe und im Abschnitt D West eine Spülkippe vorgelagert [2.7.10].

Die geotechnische Situation der Inseln weist aufgrund der Kornverteilung der vorhandenen Kippenmaterialien und ihrer sehr lockeren bis lockeren Lagerung ein hohes Gefährdungspotential gegenüber dem Eintreten von Setzungsfließbrutschungen oder Grundbrüchen infolge Verflüssigungen auf.

Die Inseln wurden mit Ausführung der Schutzgrabenbaggerung im Jahre 2007 gegen ein unbeabsichtigtes Betreten gesichert. Als Verhaltensanforderung besteht ein Betretungsverbot. Die Oberfläche ist mit Strauch- und Baumbewuchs versehen.

Sanierungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr werden in [2.4.66] als erforderlich erachtet.

Für den Bereich C (Uferbereich) besteht Setzungsfließgefahr.

Sicherungsarbeiten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr sind erforderlich.

9 Durchgeführte Sicherungsmaßnahmen und deren Ergebnisse, Verhaltensvorgaben

9.1 Verhaltensvorgaben vor der Sanierung des Steilufers

Bezüglich der öffentlichen Nutzung der Ufer- und Hinterlandbereiche wird in der Erörterung der Standsicherheitseinschätzung vom 15.04.1983 [2.4.12] folgendes ausgeführt:

- Die Erholungsnutzung im Strandbereich kann unter der Bedingung, dass jeglicher Fahrzeugverkehr innerhalb eines Streifens von 100 m Breite ab Uferlinie unterbleibt, unter Beachtung der bisher festgelegten Maßnahmen erfolgen.
- Die Feriensiedlung (Siedlung Knappenhütte) befindet sich in einem Bereich, der unter Umständen von einer gehenden Rutschung erfasst werden kann. Bei Einhaltung der bisher festgelegten Sicherheitsbestimmungen (u.a. Absperrung Steilkippe, Verkehrsbeschränkungen, Stauhöhenbegrenzung) kann das Auftreten eines auslösenden Momentes mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund kann die Nutzung unter Beachtung der bisher festgelegten Maßnahmen ohne weitere Einschränkungen erfolgen. Weitere bauliche Maßnahmen in der Feriensiedlung sind jedoch nicht zuzulassen.

Mit der Vorlage der ersten größeren geotechnischen Untersuchung der östlichen Kippenbereiche [2.4.9], der Standsicherheitseinschätzung vom 10.05.1982, wurden für den Knappensee folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Prüfung der Uferbereiche auf Veränderungen durch Strömungs- und Wellenschlagsereignisse durch regelmäßige Kontrollen,
- Begrenzung des Höchststaus auf 125,0 m NN,
- Sperrung des Steiluferbereiches von 200 m Breite,
- Verkehrs- und Geschwindigkeitsbegrenzung (≤ 15 km / h),
- Entwicklung / Ableitung von Verdichtungstechnologien für die Sanierung.

Für die Prüfung und Kontrolle der Umsetzung von Maßnahmen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit am Knappensee wurde in den 1980er Jahren ein Operativstab Knappensee gegründet, dessen Leitung der Bergsicherung Cottbus unterstand.

Die in folgender Tabelle aufgeführten Maßnahmen wurden im Rahmen der Tätigkeit des Operativstabes Knappensee umgesetzt.

Tabelle 9: Maßnahmen Operativstab Knappensee

Zeitraum	Maßnahme	Quelle
Mai 1982	- Festlegung von Sofort- und längerfristigen Maßnahmen als Mindestanforderungen zur Verhinderung von auslösenden Momenten für Setzungsfließbrutschungen: <ul style="list-style-type: none"> - Sperrung des Steilkörperbereiches - zusätzliche Vergrößerung des Sperrbereiches der Steilböschung - Nutzungsbeschränkung Koblenzer Strand - Festlegung von Kontrollen des Flachwasserbereiches wöchentlich und nach starken Regenfällen - Festlegung max. Stauhöhe 125,0 m NN 	[2.6.4 a]
Juni 1982	- Begehung Gefährdungsbereiche Maukendorfer Strand, Steilböschung und Koblenzer Strand - Sofortmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> - wasserseitige Markierung Steilbereich mittels Bojen - Weiterführung Absperrung Sperrbereich 	[2.6.4 b]
ab Juni 1982	- Umsetzung Absperrung und Verhaltensanforderungen: <ul style="list-style-type: none"> - Ständige Kontrolle und Prüfung, da partiell nicht umgesetzt oder eingehalten - ungenügende Sicherung der Absperrung - Beschädigungen der Absperrerelemente 	[2.6.4 b] – [2.6.4 i]
September 1982	- Sofortmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> - Entfernung Fahrzeuge und Boote aus Sperrbereich 	[2.6.4 d]
Juni / Juli 1983	- Übergabe der endgültigen Standsicherheitseinschätzung Knappensee - Sofortmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> - bleiben weiterhin erhalten - täglich zweimalige Lautsprecherdurchsage, die die Urlauber über Sperrung informiert - die gesperrten Inseln sind durch niedrigen Wasserstand erreichbar → Umsetzung der Sperrung gestaltet sich schwierig	[2.4.11]
ab März 1984	- Vorbereitung Sanierung Steiluferbereich	[2.6.4 g]

9.2 Sanierung des Steilufers

Mit dem Gutachten [2.4.12] zur Sanierung des Steiluferbereiches (Abschnitt S) wurde die Zielstellung verfolgt, in erster Linie durch Veränderungen der Geometrie der Böschungen oberhalb des Wasserspiegels das Entstehen von Initialen abzubauen und zum anderen auch unterhalb des Wasserspiegels günstigere Stabilitätsbedingungen zu schaffen. Es wurden seitens der Bergsicherung Cottbus Technologien vorgeschlagen und durch den Gutachter geprüft. Es wurde die Technologie des Abspülens als die den geotechnischen Forderungen am besten entsprechende Variante bewertet.

Der Sanierung des Steiluferbereiches wurde die Durchführung eines großtechnischen Versuchs zum Abspülen vorgelagert, um die technologischen sowie umsetzungstechnischen Randbedingungen zu bestimmen.

Das Ergebnis der Sanierungsarbeiten am ehemaligen Steiluferbereich stellt sich wie folgt dar:

Die gewünschten geometrischen Veränderungen am ehemaligen Steiluferbereich sind erreicht worden. Die durch Abspülen und in den oberen Abschnitten durch Schieben gestalteten Böschungen entsprechen mit

- $\beta \leq 12^\circ$ für die Überwasserböschungen,
- $\beta \leq 5^\circ$ für den Wellenschlagbereich (Uferzone) und
- $\beta \leq 18^\circ$ für die Unterwasserböschungen

den Erwartungen. Die Gefahr von Böschungsbrüchen oder Blockablösungen, die als Initial einer Verflüssigung in der wassergesättigten Strandzone hätten wirken können, ist beseitigt worden.

Breite und Mächtigkeit des entstandenen Stützkörpers entsprechen ebenfalls den Erwartungen. Die ehemalige Uferlinie ist dabei bei einer Bezugshöhe von ≈ 125 m NN um mindestens 18 m, meist 40 m bis 50 m zum See hin verlagert worden. Unbefriedigend ist dagegen die Mächtigkeit der über dem Wasserspiegel abgesetzten Spülgutschicht, da der abgesenkte Wasserspiegel beim Spülen nicht stets bei 123 m NN, sondern mehrfach darüber lag. Demzufolge erreichte die Schichtstärke bezogen auf Kote 125 m NN als künftige Uferlinie in einigen Profilen nicht den möglichen Wert von ca. 2 m, sondern nur Werte von 0,5 m bis 1,5 m.

Dementsprechend ist ein Stützkörper mit unterschiedlichen Materialeigenschaften entstanden. Die über Wasser abgelagerten Partien weisen in der Regel höhere Sondierwiderstände auf, die auf mitteldichte bis teilweise dichte Lagerung hinweisen. Die Prüfung ungestörter Proben im Triaxialgerät hat ergeben, dass dieses Lockergestein unter monoton steigender Scherbeanspruchung selbst nicht mehr verflüssigt werden kann. Die Lagerungsdichte der unter Wasser abgesetzten Partien ist jedoch geringer, meist locker, selten mitteldicht. Besonders geringe Sondierwiderstände waren im Übergangsbereich Spülkörper - Seeboden und im Seeboden selbst zu beobachten. Es ist davon auszugehen, dass diese Partien weiterhin, aber beschränkt, verflüssigungsfähig sind, falls ein ausreichendes Initial auf sie wirkt.

Dem Entstehen gefährlicher Gradienten in den wassergesättigten Böschungsbereichen ist durch Beschränkung der Geschwindigkeit für Wasserspiegeländerungen vorzubeugen. Bisher hat sich ein Wert von $v \leq 4$ cm/d bewährt.

Weiterhin sind Maßnahmen zur Regelung der Wasserspiegeländerungen und zur Vermeidung unzulässig hoher Erschütterungen, die Initial zur Verflüssigung sein könnten, unumgänglich, um das Auslösen eines Setzungsfließens am sanierten Uferbereich nicht zu provozieren.

Weitere Reduzierungen der Nutzungseinschränkungen sind denkbar, wenn geeignete Verfahren der Tiefenverdichtung und zur Verdichtung noch nicht genügend dicht gelagerter Lockergesteinsbereiche in den Uferzonen des Knappensees zur Verfügung stehen.

In der Bewertung zur Sanierung des Steiluferbereiches werden die in Tabelle 10 aufgeführten Verhaltensanforderungen definiert [2.4.18].

Tabelle 10: Verhaltensanforderungen auf Grundlage der Gestaltungskonzeption Ostufer 1983 und nach Sanierung des Steiluferebereiches 1986

Kriterium	Anforderung / Einschränkung
Wasserspiegeländerung	Beschränkung der Geschwindigkeit auf $v = 4 \text{ cm/d}$.
Badebetrieb	Der Badebetrieb im Bereich S ist ab einem Wasserspiegel $\leq 123,5 \text{ m NN}$ nicht mehr gestattet
Höchstwasserstand	Beschränkung auf zulässigen Wasserstand von $125,2 \text{ m NN}$
Sperrung	Sind die Grenzwerte für Höchstwasserstand und Geschwindigkeit der Wasserspiegeländerung objektiv, z.B. bei einem Hochwasserereignis, nicht einzuhalten, dann ist der ehem. Steiluferbereich und der südlich in Richtung Jugendtouristhotel anschließende Abschnitt des Ostufers (Abschnitt G und F) für jede Nutzung vorübergehend zu sperren.
Bebauung	Unterhalb der Höhenlinie 130 m NN dürfen entlang des Ufers zunächst keinerlei Bauten errichtet werden. Das Einschlagen von Pfählen zum Bauen von Stegen oder zum Anbinden von Booten ist zu verbieten.
Fahrzeuge und Geräte	Für Fahrzeuge und Geräte gilt als Mindestabstand zum Wasserspiegel im Untergrund: - Gummibereifung mindestens 2 m , - Raupenfahrwerke mindestens 5 m
Kettenfahrzeuge	Kettenfahrzeuge und Vibratoren dürfen nicht mit laufendem Motor in Bereichen abgestellt werden, in denen die Überdeckung über der wassergesättigten Zone nicht mindestens 10 m beträgt.
Verdichtungsgeräte (Wegebau)	Geräte mit dynamischer Verdichtung sind vorher durch seismische Messungen durch den VEB Geophysik zu bewerten.
Bauten	Für Bauten gilt ein vertikaler Abstand von 5 m zwischen dem während der Bauzeit höchstmöglichen Stauspiegel im Knappensee und der Gründungssohle.

9.3 Hydromechanische Abflachungen

Im November 1985, während der Absenkung des Seewasserspiegels im Zusammenhang mit der Sanierung des Steilufers, wurden Uferbereiche beziehungsweise Untiefen hydromechanisch abgeflacht (Anlagen 6/11 und 6/12) [2.5.6]:

- Bereich I - Hydromechanisches Abflachen eines Kippensattels sowie teilweiser Abtrag einer Landzunge;
- Bereich II - Hydromechanisches Abflachen eines Kippensattels;
- Bereich III - Hydromechanische Herstellung von Einschnitten in drei ca. $0,7 \text{ m}$ über dem Wasserspiegel liegenden Kippensatteln.

Hier war die Zielstellung, den Zieleinlauf der Regattastrecke günstig zu verändern und das unbefugte Betreten der Inseln zu unterbinden.

Die im IV. Quartal 1985 zur Bestimmung der Lagerungsverhältnisse durchgeführten Sondierungen (701/85 - 709/85) mit der leichten Rammsonde umfassen zwei weitere Bereiche (Einschnitt Landzunge - Insel und landseitiges Ufer Höhe km 74,2 B 96 - Insel), in denen von einer Abflachung unter Berücksichtigung der ungünstigen technologischen Bedingungen und des vereinfachten Zugangs zur Insel abgesehen wurde.

Im März 1986 wurde dann die Uferböschung entlang des Einlaufes Koblenz hydromechanisch abgeflacht, um vorhandene Unterspülungen zu beseitigen und um zu erwartende Böschungsabbrüche gar nicht erst zu ermöglichen.

Im Anschluss an die Sanierung des Steiluferbereiches erfolgten Sanierungsarbeiten am Einlaufgraben Koblenz (Koblenzer Graben) [2.6.12]. Der Graben wurde bei Niedrigwasser im Knappensee durch das Ablassen der südöstlich von Koblenz gelegenen Fischteiche in Form von Abspülungen stark beschädigt, so dass im Rahmen der Sanierung die entstandenen Steilböschungen auf 20° bis 30° abgeflacht wurden.

Für die Heraufsetzung des maximalen Wasserspiegels des Knappensees auf 126,0 m NN sind gemäß der Standsicherheitseinschätzung vom 25.04.1988 [2.4.23] u. a. Maßnahmen für die Sicherung der Uferböschungen gegen Übersteilung, Wellenschlag oder Unterspülung an Teilen des Ost- und Südufers erforderlich, da diese Abschnitte bezüglich der Hauptwindrichtungen West und Nordwest nicht im Windschatten der Knappenseeinseln liegen und sich der Böschungsfuß der steileren Uferböschungen tiefer als 126,0 m NN befindet. Als Sicherungsmaßnahmen wurden Faschinen- und Krainerwände errichtet sowie die eingebrachten Auffüllungen durch Bepflanzungen biologisch verbaut [2.5.12]. Die zu sanierenden Bereiche umfassten insgesamt eine Länge von ca. 450 m am südöstlichen Ufer (Untersuchungsbereiche D und G).

9.4 Vorgesehene Maßnahmen 1988 und Anpassung der Verhaltensanforderungen

Im Ergebnis der Standsicherheitseinschätzung vom 25.04.1988 [2.4.23] wurden zur Ufersicherung die folgenden erforderlichen Maßnahmen abgeleitet:

- weitgehende Schonung des vorhandenen Bewuchses im Uferbereich,
- Beschränkung der bisherigen Nutzungsmöglichkeiten der Ufer auf ein unvermeidbares Maß,
- Ausführung einer Ufersicherung durch biologischen Verbau, Faschinen oder Filter- und Stützkörper.

Auf eine zusätzliche Sicherung sind alle Bereiche des Ostufers zwischen ehemaligem Steiluferabschnitt und dem Einlauf Koblenz sowie das Südufer zu untersuchen.

Die Bereiche der Inseln sind wegen ihrer hohen Gefährdung nicht zu befahren und zu bebauen. Für eine mögliche Ufersicherung kommt in diesen Bereichen nur Handarbeit oder Transport und Arbeit von der Wasserseite aus in Frage [2.4.23].

In folgender Tabelle sind die fortgeschriebenen Verhaltensmaßnahmen im Ergebnis der Standsicherheitseinschätzung [2.4.23] ersichtlich.

Tabelle 11: Verhaltensanforderungen auf Grundlage der Standsicherheitseinschätzung vom 25.04.1988 [2.4.23]

Kriterium	Anforderung / Einschränkung
Wasserspiegel	- Festlegung Höchststau +126,00 m NN nach erfolgter Ufersicherung
Wasserspiegeländerungen	- bis 4 cm / d, ohne Restriktionen
Fahrzeuge und Geräte	- Fahr- und Arbeitsverbot für Kettenfahrzeuge, - zulässige Höchstgeschwindigkeit 30 km/h bei erdfeuchter Mindestüberdeckung von 2 Metern. - Marschverbot auf trocken gefallenem Bereichen des Seegrundes
Bauten	- Verbot von Bauten, bei deren Errichtung vibrationserzeugende Maschinen eingesetzt oder deren Gründungssohle sich tiefer als 5 m über dem höchsten Grundwasserstand befinden würden. Generell wird empfohlen, nur unvermeidbare Versorungsbauten zu errichten.

Für die in der Nähe des Jugendtouristikhotels (heute Hotelanlage Haink) angetroffenen extrem lockeren Zonen im Untergrund wird eine Verdichtung mittels Verpressen abgeleitet [2.4.23]. Bis zur Sicherung dieser festgestellten lockeren Zonen wurde die Festlegung definiert, dass die Verkehrsbeschränkung auf Schrittgeschwindigkeit bestehen bleibt.

9.5 Sanierung des Restloches 0815/1 und Sicherung der südlichen Uferbereiche

Im Ergebnis der Standsicherheitseinschätzung vom 25.04.1988 [2.4.23] und den geforderten Maßnahmen wurden folgende Arbeiten umgesetzt:

- Ufersicherung,
- Erkundung möglicherweise offen gebliebener Altstrecken,
- Sanierungsarbeiten am RL 0815/1.

Die erforderlichen Ufersicherungen gegenüber Wellenschlag erfolgten mittels Verbau aus Faschinen und Bohlwänden (Krainerwände) [2.4.26]. Die gesicherten Bereiche wurden zusätzlich durch eine Bepflanzung der hinter den Faschinen- und Bohlwänden eingebrachten Verfüllung biologisch verbaut. Die Umsetzung des Uferschutzes erfolgte in den Abschnitten Koblenzer Strand, südliches Ostufer (Bereich G), östliches Südufer (Bereich D Ost).

Für die Erkundung eventuell noch vorhandener unverwahrter Hohlräume im Bereich des Südufers erfolgte die Ausführung von insgesamt 24 Bohrungen. Es konnten hierbei keine offenen Strecken nachgewiesen werden.

Die Zielstellung der Sanierung des Restloches 0815/1 stellte dessen Schließung dar, um die aus den Uferböschungen resultierenden Gefahren aus möglichen Setzungsfließereignissen zu beseitigen. Als Vorzugstechnologie wurde ein Abflachen der angrenzenden steilen Böschungen durch Abspülen in das Restloch favorisiert. In Vorbereitung der Sanierung des Restloches 0815/1 wurde die Vorzugstechnologie durch einen großtechnischen Versuch [2.4.25] getestet und verifiziert. Die Arbeiten zur Sanierung wurden mit [2.6.17] angezeigt. Es erfolgte die vollständige Auffüllung des Restloches RL 0815/1 durch das Einspülen von Massen aus der Hochkippe an zwei Spülstellen. Die Verspülung wurde ohne vorherige Sumpfung des Restloches ausgeführt, so dass die unterhalb des beim Einspülen vorhandenen Restlochwasserspiegels von 121,70 m NN abgelagerten Spülmassen eine sehr lockere Lagerung aufweisen. Dieser Sachverhalt wurde durch die Ausführung von 5 leichten Rammsondierungen bestätigt. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Spülbereiche wurde zusätzlich über den verspülten Massen eine Schicht aus Kippgut aufgetragen. Bei unzulässigen Belastungen ist dennoch die Gefahr des Versagens dieser Bereiche in Form von Grundbrüchen oder Verflüssigungen gegeben.

Die Ergebnisse der Sicherungsarbeiten wurden in der 1. Ergänzung zur Standsicherheitseinschätzung [2.4.26] bewertet. Als Schlussfolgerung konnte das maximale Stauziel des Knappensees auf 126,0 m NN angehoben werden.

9.6 Verifizierung der Verhaltensanforderungen durch Schwingungsmessungen im Bereich G, 1996

Im Auftrag des Zweckverbandes erfolgten Schwingungsversuche und deren Bewertung [2.4.31]. Der den Bericht Unterzeichnende verfasste die Verhaltensanforderungen als Beratender Ingenieur im Freistaat Sachsen.

Es sind Verhaltensanforderungen für den Bereich des Sees sowie für vorgesehene Baumaßnahmen abgeleitet worden. Die fachtechnische Bewertung durch den Sachverständigen erfolgte mit [2.4.32], wobei die Wiederholung des Versuches sowie eine erneute Bewertung empfohlen wurden.

9.7 Verhaltensanforderungen im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen 2000

Die seit Ende der 1980er Jahre bestehenden und 1995 mit [2.4.30] bestätigten Verhaltensanforderungen besitzen auch weiterhin ihre Gültigkeit.

Neben den Verhaltensanforderungen sowie Einschränkungen im Speicherbetrieb des Speichers Knappenrode wurden in [2.4.36] folgende weitere Maßnahmen empfohlen:

- Mittels Kontrollbohrungen ist der Zustand von vermutlich unverwahrten bergmännischen Hohlräumen im südlichen Teil des Südwestteiles des ehemaligen Tagebaues, nördlich des Parkplatzes Koblenz sowie unter der Straße Koblenz - Knappenrode zu erkunden.
- Förderung des Pflanzenbewuchses in den Uferbereichen, Instandhaltung des biologischen Uferverbbaus.

9.8 Verhaltensanforderungen im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen 2005

Im Rahmen der Standsicherheitsuntersuchung [2.4.50] zur Wirksamkeit früherer Sicherungsarbeiten sowie zur Ableitung weiterer Maßnahmen erfolgten die Betrachtung der vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse und die Untersuchung der Notwendigkeit von weiterführenden Maßnahmen.

Die bestehenden Verhaltensanforderungen bleiben weiterhin gültig. Zur Einhaltung der Regelungen wurde folgender Sachverhalt vermerkt:

„Bestehende Verhaltensanforderungen und Nutzungseinschränkungen mindern bestehende Gefährdungen, sofern sie ausreichende Beachtung finden. Im Ergebnis der angetroffenen Situation ist einzuschätzen, dass die konsequente Einhaltung der Verhaltensanforderungen langfristig in Frage gestellt ist.“ [2.4.50]

Weiterführend wird als wichtiger Punkt vermerkt, dass bisherige Maßnahmen am Knappensee sich an der Ende der 1980er Jahre definierten Vorgabe orientierten, dass Verhaltensanforderungen auf Grundlage fehlender Sanierungstechnologien vertretbar erscheinen und das Risiko von allen Verantwortlichen getragen werden muss. Aber nach dem heutigen Stand der Technik (hier 2005) ist eine Beseitigung der Setzungsfließgefahr grundsätzlich möglich.

Für den gummibereiften Fahrverkehr wird festgelegt, dass ein Grundwasserflurabstand von 2,0 m ausreichend ist, so dass in den gekippten Bereichen der Verkehr bis zu einem Höhenniveau von +128,00 m NHN zulässig ist.

Weiterhin wurde festgelegt, dass der Verwahrungszustand der Altstrecken durch Bohrungen zu klären ist (die Umsetzung hierzu erfolgte 2006/2007).

Weiterführend sind schrittweise der Nachweis der tatsächlichen Verflüssigungsneigung anstehender Kippenhorizonte und weitere Maßnahmen, z.B. Verdichtungen und Maßnahmen zur Gewährleistung der Trittsicherheit, erforderlich.

Für die vorliegende Standsicherheitseinschätzung vom 31.08.2005 [2.4.50] erfolgte mit [2.4.57] eine geotechnische Bewertung für die LTV Sachsen. Hierbei wurden in Bewertung und Abklärung die Verhaltensanforderungen für den Knappensee wie folgt definiert [2.4.50]:

- Es besteht ein generelles Fahr- und Arbeitsverbot für raupenkettensbetriebene Fahrzeugtechnik.
- Die Inseln und Halbinseln dürfen nicht betreten oder befahren werden.
- Auf den befestigten Fahrwegen / Stellflächen ist der Einsatz von luftbereifter Fahrzeugtechnik bis zu einem Achsgewicht von $G = 11,5$ t möglich. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beim Fahren auf befestigten Flächen beträgt aus geotechnischer Sicht ≤ 30 km/h. Abseits befestigter Fahrwege ist ein Befahren nur im Schritttempo zulässig.
- Zur Uferböschung ist für Fahrzeugtechnik und motorgetriebene Gerätetechnik ein Sicherheitsabstand von 2,0 m einzuhalten.
- Baumaßnahmen bei denen Erschütterungen in den Untergrund eingetragen werden sowie Massenveranstaltungen sind genehmigungspflichtig.
- Die Uferlinie ist gegen Erosion zu schützen. Der vorhandene Bewuchs ist zu erhalten und zu pflegen.

9.9 Maßnahmen in Kippentiefen und an kleineren Restlöchern

Das Restloch Koblenzer Straße wurde 2004 verfüllt. Dabei kam es zu einer Setzungslieflbrutschung, so dass am 09.09.2004 die Böschungen und ein Teil der Verbindungsstraße in das teilverfüllte Restloch rutschten (vgl. Kapitel 4.2). In Folge wurde das Restloch komplett verfüllt und die von der Rutschung betroffenen Teile der Straße erneuert.

Durch den Grundwasserwiederanstieg wurden in Kippentiefen Verhältnisse erreicht, die im Ergebnis der geführten Standsicherheitsuntersuchungen Sicherungsmaßnahmen erforderten.

Folgende Maßnahmen wurden dabei abgeleitet und durchgeführt:

- Verfüllung RL 0815/1 sowie der nördlich angrenzenden Teiche bzw. Vernässungsflächen südlich des Restloches Koblenzer Straße,
- Aufhöhung Kreisstraße Koblenz – Knappenrode,
- Abriss der Hotelanlage „Am Knappensee“ und Auffüllung der gesamten Geländetiefe,
- Aufhöhung der östlich der Kreisstraße Koblenz - Knappenrode befindlichen Waldwege.

Bedingt durch den Grundwasserwiederanstieg und den daraus resultierenden Gefahren in den Kippenbereichen nördlich von Koblenz war eine Sanierung des Restloches 0815/1 sowie der Abriss der Hotelanlage „Am Knappensee“ nördlich von Koblenz notwendig.

Die Sanierung bestand aus der Geländeaufhöhung der beiden Teilflächen 1 und 2, der Geländeregulierung auf der Hochkippe und dem Anlegen von Wegen für die vorgesehene forstwirtschaftliche Nutzung. Die Arbeiten hierzu wurden 2010 abgeschlossen.

9.10 Sicherung des Campingplatzes am Nordufer 2006

Für die spezifische Nutzung des Campingplatzes am Nordufer (Bereich T) wurden folgende Leistungen zur Gefahrenminimierung erbracht:

- Aufhöhung des asphaltierten Weges in 4 Teilbereichen,
- teilweise Aufhöhung der angrenzenden Flächen,
- Befestigung von Stellflächen als Ersatzfläche zum vorübergehenden Abstellen von Wohnmobilen (Rezeption),
- Anhebung von Parkflächen im Bereich Bewirtschaftung,
- Verhinderung der Einfahrt in Bereiche mit unzureichender erdfeuchter Überdeckung,
- Verlegung des Stellplatzes mit Entsorgungseinrichtungen.

Die Leistungen erfolgten im Jahr 2006.

9.11 Schutz der Inseln gegen Betreten (Schutzgrabenbaggerung)

Ein Betreten und Befahren der Inseln war vor Beginn der Abtragsarbeiten im Wesentlichen ungehindert möglich. Der vorhandene Wildverbisszaun konnte ein Betreten der Inseln nicht wirksam unterbinden.

Für den dauerhaften Schutz der Inseln gegenüber unbeabsichtigten Betretens war eine Baggerung durchzuführen, die im Abschnitt zwischen den Inseln und den gegenüberliegenden Uferböschungen eine Wassertiefe von mind. 2 m gewährleistet. Nach den im Jahr 2007 durchgeführten Abtragsarbeiten ist die landseitige Anbindung der Inseln nicht mehr vorhanden. Überwiegend wurden nach den Abtragsarbeiten Sohlhöhen von $\leq +122,20$ m NHN und somit Wassertiefen von $\geq 2,0$ m nachgewiesen.

Zwischen den Abtragsbereichen und im Abtragsbereich Nord erfolgte kein Massenabtrag an der Westböschung. Hier stehen im Uferbereich weiterhin locker gelagerte Tagebaukippen an. Weiterhin lagern in der verbliebenen Böschung im südlichen Teil des Abtragsbereiches Landzunge lockere Böden. Für diese Teilböschungen besteht weiterhin bei ausreichendem Initialeintrag die Gefahr von Bodenverflüssigungen.

Die Inselböschungen sind ungesichert. Deshalb wird zur Vermeidung schädlichen Wellenschlages infolge Bootsverkehr als Initial für ein Setzungsfließen der Inselböschungen empfohlen, auf diese Gefahrensituation hinzuweisen. Für motorgetriebene Boote sollte im Bereich zwischen Inseln und Westböschung nur langsame Fahrgeschwindigkeit zugelassen werden.

Die bisherigen Verhaltensanforderungen sind deshalb weiterhin gültig.

9.12 Ufersicherung Bereich E

Im Bereich E am Südufer des Knappensees waren oberhalb der Uferlinie durch Kliffbildung infolge Wellenschlages und Erosion zum Teil steile Böschungskanten entstanden. Da keine Uferschutzmaßnahmen durch Verbau oder Ähnliches gegen Uferumbildungsvorgänge ausgeführt wurden, war die Uferlinie stark beschädigt und die ufernahe Restlochsohle nicht trittsicher.

Zu Beseitigung der Gefährdung wurden von November 2009 bis Juni 2010 Sicherungsarbeiten durchgeführt. Die Unterwasserbereiche wurden mittels Leichter Rütteldruckverdichtung (LRDV) verdichtet und die Uferböschungen profiliert [2.4.75].

9.13 Sofortmaßnahmen 2011

Die im Jahr 2010 gehäuft aufgetretenen Verflüssigungsgrundbrüche in der Lausitz machten die Aktualisierung der Bewertung von Kippenflächen notwendig. Insbesondere der am 26.12.2010 auf der Innenkippe Lohsa registrierte Grundbruch sowie die in einer damals geführten Erstbewertung ermittelten Randbedingungen waren Veranlassung, die aktuellen Sperrbereiche erneut einer kritischen Prüfung zu unterziehen [2.4.79].

In der Folge wurden u.a. auch für die Kippenflächen des Knappensees Sperrbereichserweiterungen gemeinsam mit der LMBV, den Sachverständigen für Geotechnik, dem SMWA und dem SächsOBA diskutiert. Im Ergebnis wurde ein Maßnahmenkatalog zur Minderung der Setzungsfließgefahr und somit zur Reduzierung des Risikos der Eintrittswahrscheinlichkeit eines derartigen Ereignisses ausgearbeitet.

Folgende Schwerpunkte zur Umsetzung von Sofortmaßnahmen wurden definiert und waren in der Folge auf ihre Wirksamkeit zu untersuchen:

- eine sofortige Erweiterung der Sperrbereiche mit der Konsequenz von Evakuierungsmaßnahmen ist nicht notwendig,
- Erarbeitung eines Monitoringprogrammes zur Früherkennung der Gefahrensituation,
- Einhaltung des Minimalwasserstandes im Speicherbecken von +124,20 m NHN,
- die vorhandenen Verhaltensanforderungen sind weiter anzuwenden und weitergehend zu präzisieren,
- Erstellung eines Alarmplanes,
- die ab 2013 ([2.4.82]) geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen sind vorzuziehen, so dass die Maßnahmen möglichst im Jahr 2012 beginnen können,
- Geschwindigkeitsbegrenzung auf der Verbindungsstraße Koblenz - Knappenrode mit $v = 30 \text{ km/h}$ und Installation eines Porenwasserdruckwarnsystems,
- Durchführung von Drucksondierungen in besonders gefährdeten Bereichen.

Die zum Vorschlag gebrachten Maßnahmen zur Gefahrenminderung wurden auf ihre kurzfristige Umsetzbar- und Wirksamkeit in einem komplexen Maßnahmenkatalog für Sofortmaßnahmen zur Reduzierung des Restrisikos der bergbaubedingten Gefährdungen für Kippenflächen im Bereich des Knappensees bewertet. Alle Maßnahmen, die zur Minderung des Restrisikos geeignet sind, wurden geprüft und auf ihre Wirksamkeit hin bewertet.

Tabelle 12: Bewertung der Maßnahmen für die Hochkippe - Feriensiedlung Knappensee

Sofortmaßnahme	Geotechnische Bewertung
Feld- und Laboruntersuchungen	Erarbeitung Untersuchungsprogramm erforderlich Durchführung von Drucksondierungen in Verbindung mit Kombinationsdrucksondierungen (KDS)
PWD-Warnsystem	zur Zeit nicht sinnvoll - Einrichtung im Rahmen der Sanierungsarbeiten - örtliche Festlegung auf Grundlage aktueller Felduntersuchungen möglich
Injektionsschleier	aufgrund der Art der Bebauung und des zu erwartenden zeitlichen Umfangs nicht zielführend
Lokale Grundwasserabsenkungsmaßnahmen	aufgrund vorhandener hoher erdfeuchter Überdeckung im Bereich der Hochkippe nicht sinnvoll
Ausrüsten von Grundwassermessstellen mit Datenloggern	derzeit sind keine geeigneten Pegelmessstellen vorhanden, Herstellung im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen möglich, unbedingte Notwendigkeit besteht nicht

Tabelle 13: Bewertung der Maßnahmen für den Bereich der Hotelanlage Haink

Sofortmaßnahme	Geotechnische Bewertung
Feld- und Laboruntersuchungen	Konzeption Untersuchungsprogramm Durchführung von Drucksondierungen einschließlich KDS
PWD-Warnsystem	nicht sinnvoll - keine starken Initialeinträge zu erwarten
Injektionsschleier	nicht geeignet
Lokale Grundwasserabsenkungsmaßnahmen	nicht geeignet aufgrund Gewässernähe, Minderung der Gefährdung wird bereits durch Seespiegelabsenkung erreicht
Ausrüsten von Grundwassermessstellen mit Datenloggern	geeignete Pegelmessstelle ist vorhanden, permanente Überwachung ist geplant und wird installiert

Tabelle 14: Bewertung der Maßnahmen für den Bereich Bungalowsiedlung Maukendorf

Sofortmaßnahme	Geotechnische Bewertung
Feld- und Laboruntersuchungen	Konzeption Untersuchungsprogramm Durchführung von Drucksondierungen einschließlich KDS zur Erkundung von StauhORIZONTEN sowie der Sättigungsverteilung im erdfeuchten Kippenkörper
PWD-Warnsystem	nicht geplant - keine starken Initialeinträge zu erwarten
Injektionsschleier	nicht geeignet
Lokale Grundwasserabsenkungsmaßnahmen	nicht geeignet aufgrund der Nähe zum Speicher und der damit verbundenen GW-Anbindung, Minderung der Gefährdung wird bereits durch Seespiegelabsenkung auf Niedrigeinstau erreicht
Ausrüsten von Grundwassermessstellen mit Datenloggern	derzeit sind keine geeigneten Pegelmessstellen vorhanden Herstellung im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen möglich, unbedingte Notwendigkeit besteht nicht

Tabelle 15: Bewertung der Maßnahmen für die Kreisstraße K 9207 / K 6407

Sofortmaßnahme	Geotechnische Bewertung
Feld- und Laboruntersuchungen	Konzeption Untersuchungsprogramm Durchführung von Drucksondierungen einschließlich KDS zur Erkundung von Stauhorizonten sowie der Sättigungsverteilung im erdfeuchten Kippenkörper
PWD-Warnsystem	Eine permanente Überwachung der Porenwasserdruckentwicklung im Bereich der Straße ist geplant und wird bereits installiert.
Injektionsschleier	nicht geeignet
Lokale Grundwasserabsenkungsmaßnahmen	nicht geeignet aufgrund der Nähe zum Speicher Knappenrode und dem Restloch D/F und der damit verbundenen GW-Anbindung, Minderung der Gefährdung wird bereits durch Seespiegelabsenkung auf Niedrigeinstau erreicht
Ausrüsten von Grundwassermessstellen mit Datenloggern	Eine permanente Überwachung der Grundwassersituation im Bereich der Straße ist geplant und wird bereits installiert.

Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgte nach ihrer Eignung standortbezogen:

- Aufbau eines Porenwasserdruckwarnsystems an der Kreisstraße,
- Ausrüsten von ausgewählten Grundwassermessstellen mit Datenloggern,
- Durchführung von Drucksondierungen einschließlich KDS in den genannten Schwerpunktbereichen zur Erkundung von Stauhorizonten sowie der Sättigungsverteilung im erdfeuchten Kippenkörper.

Als flankierende Maßnahme sind die bestehenden Verhaltensanforderungen am Knappensee präzisiert worden:

- Uferbereiche und unbefestigte Böschungen dürfen nicht befahren werden.
- Die zulässige Höchstgeschwindigkeit für gummibereifte Kraftfahrzeuge beträgt $v = 30$ km/h bei einer zulässigen Achslast von $G = 11,0$ t und einer erdfeuchten Mindestüberdeckung von 2,0 m.
- Das erforderliche Höhenniveau von Fahrwegen $\geq +128,00$ m NHN wird auch bei Einstellung des Minimalwasserstandes von +124,20 m NHN beibehalten.
- Der vorhandene asphaltierte Weg in den Untersuchungsbereichen U und T bleibt in den bisher festgelegten Bereichen für Kraftfahrzeuge gesperrt.
- Das für die asphaltierte Straße seeseitig der Hotelanlage Haink bestehende Fahrverbot für Kraftfahrzeuge wird aufrechterhalten.

- In den setzungsfließgefährdeten Kippenbereichen am Knappensee gilt, sofern nicht bereits weitergehende Einschränkungen existieren:
 - Generelles Verbot aller Bautätigkeiten in der Uferzone des Knappensees unterhalb eines Höhengniveaus von +129,00 m NHN,
 - Verbot von Bautätigkeiten, die mit Erschütterungen verbunden sind. Dazu gehören insbesondere Arbeiten, die Schwingungen bzw. dynamische Anregungen in den Untergrund eintragen, wie z. B. Rüttelplatten, Vibrationswalzen, Rammen oder LKWs, die Massen abladen,
 - Verbot von Bautätigkeiten, die mit Massenumlagerungen verbunden sind,
 - Fahr- und Arbeitsverbot für Kettenfahrzeuge aller Art.
- Sind Bautätigkeiten nicht zu vermeiden (z.B. Havariefälle), ist ein mit der Setzungsfließproblematik vertrauter Sachverständiger für Geotechnik zu verständigen. Es erfolgt eine Einzelfallprüfung mit der Festlegung spezifischer Verhaltensanforderungen bzw. Sicherungsmaßnahmen für die Durchführung der jeweiligen Baumaßnahme.
- Die Inseln im Knappensee dürfen nicht betreten oder befahren werden. Dies gilt auch für ein wasserseitiges Anlanden von Booten. Dazu ist die vorhandene Einzäunung zu warten oder es sind andere geeignete Sicherungsmaßnahmen durchzuführen.
- Es besteht Marschverbot auf Böschungsflächen unterhalb des Höhengniveaus von +126,00 m NHN.
- Der maßgebliche rechnerische Wert für die zulässige Wasserspiegeländerung in den gekippten Uferböschungen beträgt 4 cm/d. Absenkgeschwindigkeiten des Seewasserspiegels im Knappensee sind bis zu diesem Wert unbedenklich.

Flankierend sind für Teilbereiche zusätzliche Verhaltensanforderungen festgelegt worden:

- Uferbereich U

Zur Minimierung der Gefahr eines möglichen Initialeintrages im Böschungsabschnitt U des Knappensees wird zusätzlich ein Fahrverbot für Kraftfahrzeuge im Bereich der Bungalowsiedlung Maukendorf ausgesprochen. Mit dieser Sperrung wird gleichsam verhindert, dass unbefestigte Flächen durch Kfz befahren werden.

- Straße Koblenz - Knappenrode (K 9207 / K 6407)

Um die Einflüsse, die aus dem Straßenverkehr in den Untergrund der Straße eingetragen werden, möglichst gering zu halten, wurden folgende zusätzliche Einschränkungen für die Straße Koblenz - Knappenrode festgelegt:

- Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für alle Verkehrsteilnehmer auf $v = 50$ km/h.
- Optionale Sperrung der Straße bei Überschreiten von kritischen Messwerten (PWD oder GW-Stände).

Die Messüberwachung des Porenwasserdruckwarnsystems erfolgt kontinuierlich. Das System ist Wechselverkehrszeichen gekoppelt, die im Fall einer Überschreitung von Alarmwerten eine sofortige Sperrung der Kreisstraße bewirken.

Die Messergebnisse der GW-Messstellen zeigen unter anderem, dass sich die Absenkung des Seewasserspiegels im Knappensee auf den Minimalstau (+124,20 m NHN) entsprechend positiv ausgewirkt hat, in dem eine Erhöhung der erdfeuchten Überdeckung nachweisbar ist.

Bisherige meteorologische Extremsituationen der Niederschlagstätigkeit (z.B. Sommer 2011) konnten mit dieser Maßnahme hinsichtlich ihres Gefährdungsmomentes so abgemindert werden, dass die berechneten kritischen Porenwasserdruckwerte (Vorwarn- und Alarmwerte) nicht erreicht wurden.

10 Rahmenbedingungen und Grundlagen der Standsicherheitsuntersuchungen

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch die unkontrollierte Flutung des westlichen Feldesteiles des ehemaligen Braunkohlentagebaues Werminghoff I im Zuge von Hochwasserereignissen. Der Braunkohlenaltbergbau steht nicht unter Bergaufsicht.

Die ersten erstellten Gutachten der Jahre 1949 und 1950 erfolgten auf Veranlassung der obersten Wasserwirtschaftsbehörden sowie der Landesregierung Sachsen zur Definition der standsicherheitlichen Randbedingungen für eine Speicherbewirtschaftung des Knappensees.

Auf der Grundlage des Sachverhaltes, dass der Knappensee ein Restloch alten Bergbaus darstellt, des Inkrafttretens der Anordnung über Halden und Restlöcher vom 12.11.1980 und der vorhandenen möglichen Gefahrensituation bestand die Notwendigkeit der Erarbeitung einer Standsicherheitseinschätzung für die gesamten an den Knappensee angrenzenden Kippensysteme. Die Koordinierung und Ausführung unterstand hierbei der Bergsicherung Cottbus. Alle nicht selbst zu erbringenden Leistungen, wie Gutachten, Laboruntersuchungen usw., wurden durch die Bergsicherung Cottbus an entsprechende Unterauftragnehmer vergeben. In Folge wurde für die Durchführung der Standsicherheitseinschätzung sowie der dafür erforderlichen Feld- und Laboruntersuchungen im Jahre 1982/1983 der von der Obersten Bergbehörde anerkannte Sachverständige für Böschungen Prof. W. Förster beauftragt.

Erste Teilsanierungsplanungen wurden 1983 mit der Grobkonzeption zur Sanierung des Steilkippenbereiches Knappensee [2.4.10] und 1986 zur Wiederurbarmachung des sanierten Bereiches vorgelegt, die mit entsprechenden Anzeigen ([2.6.5], [2.6.6], [2.6.7], [2.6.8], [2.6.10], [2.6.11]) in die Ausführung umgesetzt wurden. Die Planungen und Umsetzungen entsprachen dabei genehmigungsrechtlich den rechtlichen Verbindlichkeiten der 1980er Jahre der DDR.

Die Basis für die in den 1980er Jahren am Knappensee vorgesehenen und durchgeführten Maßnahmen stellen die Standsicherheitsuntersuchungen 1982 [2.4.9], 1983 [2.4.11] und 1988 [2.4.23] dar. Generell wurde erkannt, dass die am Knappensee vorhandenen Kippenmaterialien bei Wassersättigung zur Verflüssigung neigen. Zur Sanierung standen jedoch damals nicht die technologisch benötigten Verfahren zur Verfügung, so dass mittels Verhaltensanforderungen das Auftreten von Rutschungen auslösenden Initialen minimiert werden sollte. Da es zu dieser Zeit keine andere Möglichkeit gab, wurde diese Initialminimierung als eine Gefahrenreduzierung auf ein vertretbares Maß bezeichnet. Hierzu wird jedoch in [2.4.9.] 1982, [2.4.11.] 1983 und [2.4.23] 1988 zwingend der Hinweis gegeben, dass das verbleibende Risiko nur vertretbar erscheint und nicht nur von dem die geotechnischen Aspekte Beurteilenden allein, sondern unter Beachtung des volkswirtschaftlichen Aspektes gemeinsam von allen dafür Verantwortung Tragenden vertreten werden muss. Mit diesen Aussagen wird deutlich, dass eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit durch mögliche Rutschungsereignisse besteht, aber unter dem Aspekt der Vermeidung einer Sperrung aufgrund von nicht vorhandenen Sicherungstechnologien allen in voller Verantwortung bewusst sein muss.

Auf Empfehlung der Standsicherheitsuntersuchung von 1988 [2.4.23] erfolgte noch 1989/90 die überwiegende Verspülung/Schließung des RL 0815/1 und infolge der Massenentnahme eine Abflachung der Absetzerhochkippe in deren Südteil.

Mit der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahr 1990 und der strukturellen Neuordnung der Verwaltungseinheiten wurde der Bearbeitungsbereich Knappensee aus dem Bezirk Cottbus, neu Land Brandenburg, in den Freistaat Sachsen überführt.

Mit der Wiedervereinigung (03. Oktober 1990) wurde das Berggesetz der DDR durch den Einigungsvertrag nicht vollständig abgelöst. Einige Vorschriften, wie beispielsweise die Anordnung über Halden und Restlöcher [2.3.2] galten vorerst in den landesrechtlichen Bergverwaltungen weiter. Auf dieser rechtlichen Grundlage arbeiteten die ehemals von der Obersten Bergbehörde der DDR und nun vom Sächsischen Oberbergamt anerkannten Sachverständigen für Böschungen weiter. Der Knappensee fällt aufgrund seines bestehenden Rechtsverhältnisses (Bergbau ohne Rechtsnachfolger) nicht unter den Geltungsbereich des nun für die neuen Bundesländer verbindlichen BBergG.

Der Übergang des Knappensees aus der Verwaltung des Landes Brandenburg in die des Freistaates Sachsen erfolgt 1991 mit der Erörterung [2.4.27] des 1. Nachtrages zur Standsicherheitseinschätzung Knappensee (Westufer, Südufer, Inseln u. RL 0815/1). In der Erörterung wurden auch die Verhältnisse der Standsicherheit bezüglich der Nachnutzung intensiv diskutiert. Folgende Schwerpunkte der vorhandenen Situation wurden dabei 1990 verzeichnet:

- Auf Injektionen zur Sicherung des Bereiches Jugendtouristikhof kann verzichtet werden, wenn die Nutzungseinschränkungen bestehen bleiben.
- Eine Sanierung des gesamten Kippengeländes, die eine uneingeschränkte Nutzung ermöglicht, ist ökonomisch nicht vertretbar. Für spezielle Vorhaben sind dementsprechend abgestimmte Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen zu treffen.
- Für den Knappensee ist generell ein Ausbau des Tourismus vorgesehen.
- Von einem Ausbau des Jugendtouristhotels ist aufgrund der Standsicherheitsverhältnisse abzuraten.

Bis in die Mitte der 1990er Jahre erfolgten neben dem ersten Nachtrag zur Standsicherheitseinschätzung von 1988 [2.4.26] keine weiterführenden Standsicherheitsbetrachtungen und Maßnahmen am Knappensee. Im Jahre 1995 erfolgte eine Analyse [2.4.30] der Aktualität der vorhandenen Standsicherheitsverhältnisse unter Betrachtung zukünftiger touristischer Erweiterungsmaßnahmen am Knappensee im Auftrag des Zweckverbandes „Ferienpark Knappensee“ sowie eine Standsicherheitsuntersuchung zu Sicherungsmaßnahmen im Bereich des Restloches Koblenzer Straße. In der Analyse der Standsicherheitsverhältnisse wurden die Aussagen von 1988 bestätigt, so dass weiterführend vorrangig auf die Vermeidung des Auftretens von unzulässigen Initialen abgezielt wurde. Infolge der Vorgabe der Untersuchung von Initialeinträgen erfolgten im Auftrag des Zweckverbandes Schwingungsversuche und deren Bewertung 1996 [2.4.33].

Ab 1996 trat die Allgemeine Bundesbergverordnung (ABBergV) [2.3.3] für alle Bundesländer unter dem BBergG in Kraft. Mit der ABBergV verloren die alten fortbestehenden Regelungen, die im Einigungsvertrag aufrechterhalten wurden, ihre Wirksamkeit. Trotz dieser Verordnung war es nötig, zusätzliche landesrechtliche Regelungen zu erlassen. So erfolgten der Erlass von Richtlinien (wie Richtlinie Geotechnik) und Verordnungen. Die Richtlinie Geotechnik [2.3.4, 2.3.7] und die Sachverständigenrichtlinie stellten dabei die rechtliche Arbeitsgrundlage der vom Sächsischen Oberbergamt anerkannten Sachverständigen für Böschungen dar.

Der Knappensee unterliegt bezüglich seiner definierten Gefahren aus ehemaligen Halden und Restlöchern, die nicht mehr der Bergaufsicht unterliegen, dem Sächsischen Polizeigesetz in Verbindung mit der Sächsischen Hohlraumverordnung. Für die Gefährdungsbeurteilungen selbst wurden weiterhin Sachverständige beauftragt. Nach der Richtlinie für Geotechnik sind die Standsicherheitsberechnungen in der Wertigkeit einer Standsicherheitseinschätzung zu führen, sofern „die wissenschaftlichen Erkenntnisse unzureichend sind“, was im Zusammenhang mit der Setzungsfließgefahr zutreffend ist.

Eine weitere und grundlegende Betrachtung neueren Datums zu den Standsicherheitsverhältnissen am Knappensee erfolgte mit der Erstellung der Unterlage „Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees (Tagebau Werminghoff I)“ [2.4.36] im Jahre 2000.

Hierbei waren sowohl die Standsicherheit der Ostböschung Nord- und Südteil, Südböschung, Inseln und Böschungen im Westen des Knappensees sowie das Restloch 0815/1 unter Beachtung der Wirksamkeit der früher durchgeführten Sicherungsmaßnahmen, auferlegter Nutzungseinschränkungen als auch die Auswirkungen neuer baulicher Maßnahmen zu prüfen und zu beurteilen. Für die Standsicherheitsuntersuchungen stand maßgeblich die Betrachtung der Setzungsfließproblematik im Vordergrund. Die Untersuchung wurde im Sinne der Richtlinie Geotechnik des Sächsischen Oberbergamtes [2.3.4] als Standsicherheitseinschätzung erstellt.

In den Jahren 2000 bis 2002 standen die Prüfung der Aktualität der Standsicherheitseinschätzung sowie vor allem die Bewertung gegenüber Initialeinträgen, zur Minimierung der Gefährdung im Vordergrund. Hierbei wurden Initialversuche durchgeführt, um die Gefährdungen bezüglich der Verflüssigungen auslösenden Initialeinträge bewerten zu können. Die Betrachtungen wurden jedoch nur für konkrete Abschnitte geführt, so dass mit diesen Untersuchungen keine umfassende Änderung in der Betrachtungs- und Verfahrensweise der vorhandenen Gefährdungssituation am Knappensee erreicht wurde. Es wurde die Empfehlung von Sanierungsmaßnahmen für jeden Abschnitt benannt [2.4.36]. Einsetzbare Technologien standen zwischenzeitlich zur Verfügung.

Die Untersuchungen wurden mit [2.4.50] im Jahr 2005 weitergeführt, wobei die Wirksamkeit bereits durchgeführter Maßnahmen geprüft wurde. Weiterhin waren die bestehenden Gefährdungen durch Festlegung von Sicherheitslinien in ihrer Auswirkungsmöglichkeit zu charakterisieren. Neben der Ableitung von Maßnahmen zur Verringerung der Gefahr war auch eine Sanierungsvariante zur Beseitigung der Gefahr zu entwickeln. Auch die Erstellung dieser Unterlage [2.4.50] erfolgte auf Grundlage der Richtlinie Geotechnik entsprechend als Standsicherheitseinschätzung.

Neben den Standsicherheitsbetrachtungen wurden Arbeiten zur Beseitigung von Gefährdungen forciert. Solche Maßnahmen sind die Schließung des Restloches Koblenzer Straße (in 2004), die Verfüllung RL 0815/1 (Teilfläche 1) und die Sicherung der Inseln gegen ein unbeabsichtigtes Betreten (beide in 2007). Bei der Schließung des RL Koblenzer Straße kam es zu einem Setzungsfließereignis, das im Auftrag des Sächsischen Oberbergamtes wissenschaftlich ausgewertet wurde.

Während die Einschätzungen zur Standsicherheit am Knappensee bis 2008 durch überwiegend einen Sachverständigen für Böschungen (bzw. Sachverständige von einer Firma) vertreten wurden, erfolgte im Jahr 2008 die Gründung der ARGE Werminghoff bestehend aus den Firmen G.U.B. Ingenieur AG und BIUG GmbH, so dass mehrere Sachverständige für Böschungen mit ihrer Fachkompetenz die Standsicherheitseinschätzungen vertreten.

Mit der Zielstellung der Beseitigung bzw. Minimierung der bestehenden Gefahren erfolgte die Beauftragung der ARGE Werminghoff mit der Erstellung eines Planungskonzeptes. Bis Januar 2009 wurde diese Unterlage [2.4.66] durch die ARGE Werminghoff als geotechnische Vorplanung zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees erarbeitet. Diese Planung enthält als Band 1 eine ausführliche Standsicherheitseinschätzung zur gegebenen Gefährdung und den geotechnischen Verhältnissen. Dabei wurden in der Einschätzung zur Standsicherheit die erforderlichen Maßnahmen zum Nachweis der geotechnischen Sicherheit, für die Beseitigung der Setzungsfließgefahr und zur Herstellung der öffentlichen Sicherheit definiert.

Mit Inkrafttreten der SächsBergVO vom 16.07.2009 wurde die Gültigkeit der Richtlinie Geotechnik aufgehoben und ihr überwiegender Inhalt in die SächsBergVO überführt. Die Anerkennung der Sachverständigen für Böschungen erfolgt nun unter dem Titel Sachverständige für Geotechnik.

Die Nachweise der Standsicherheit der Böschungen am Knappensee durch Sachverständige für Geotechnik für die Planungen (Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung) erfolgen unter Berücksichtigung der Vorgaben und Empfehlungen der Sächsischen Bergverordnung vom 16.07.2009 mit dem § 8 Geotechnische Sicherheit, der Anlage 1 (Anforderungen an die geotechnische Sicherheit) und den Merkblättern „Böschungen im Lockergestein“ und Rahmengliederung „Standsicherheitsberechnungen“.

Entsprechend den Vorgaben dieser Verordnungen und Merkblätter sind vom Sachverständigen für Geotechnik das anzuwendende Berechnungsverfahren sowie die erforderlichen Sicherheitsfaktoren festzulegen und zu begründen.

Von den Sachverständigen der ARGE Werminghoff wurde und wird festgelegt, dass für die Berechnungen das globale Sicherheitskonzept (DIN 4084) angewendet wird. Die Böschungsbruchberechnungen werden mit klassischen Lamellenverfahren durchgeführt. Dabei ist festzustellen, dass statische Berechnungsprogramme die komplexen Vorgänge der dynamischen Anregung einer Verflüssigung nicht vollständig abbilden können. Diesem Fakt wird dadurch Rechnung getragen, dass für die Lastfälle Verflüssigung den vollständig wassergesättigten, rolligen Kippenböden ein Reibungskoeffizient, der der undrainierten Restscherfestigkeit entspricht, zugeordnet wird. Damit wird in den Berechnungen der mit großen Deformationen verbundene Verflüssigungs- und Nachbruchzustand modelliert. Die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen sind konservativ und liegen somit auf der sicheren Seite.

Die Standsicherheitsberechnungen werden nach dem innerhalb der Bergbausanierung anerkannten Stand der Technik geführt.

Auf Grundlage der Geotechnischen Vorplanung [2.4.66] erfolgte die Erstellung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee für die Bereiche G [2.4.87], S [2.4.88], T [2.4.89] und D Ost [2.4.85]. Schwerpunkte der Bearbeitung stellten dabei die Entwicklung der Sanierungstechnologie, Anpassung an neue Erkenntnisse, die technologische Realisierung, Dimensionierung und Ermittlung der Lage der versteckten Dämme dar. Weiterführend waren die Arbeiten zu Baufeldfreimachung sowie das geotechnische Mess- und Prüfprogramm zu planen. Zu den rein geotechnischen Planungsleistungen waren liegenschaftliche Bearbeitungen auszuführen.

Wesentliche Anpassungen der Planung stellten die vom Sächsischen Oberbergamt, von den Trägern öffentlicher Belange sowie vom Bewirtschafter des Speicherbeckens Knappensee, der Landestalsperrenverwaltung Sachsen genannten zusätzlichen Forderungen dar, die bis zu diesem Zeitpunkt seitens der Aufgabenstellung und der Planung nicht erfasst waren.

Die Zielstellungen der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen fußen auf Grundlage des Sächsischen Polizeigesetzes in Verbindung mit der Sächsischen Hohlraumverordnung. Im Speziellen stellt dies die Abwehr von Gefahren dar, die durch die wassergesättigten Kippen sowie von deren Auswirkungspotential auf die vorhandene Nutzung gegeben sind. Im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung wurden in Abstimmung mit Auftraggeber und Genehmigungsbehörde folgende Sicherheitsziele für die Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee definiert:

- die Beseitigung der Setzungsfließgefahr im Uferbereich und Schutz des Kippenhinterlandes gegen Ausfließen,
- die Schaffung stand- und trittsicherer Uferbereiche einschließlich der unter Wasser liegenden Böschungen,
- die gefährdungsfreie Nutzung der Böschungs- und Uferbereiche für die Naherholung,
- das Absichern einer gefährdungsfreien Nutzung der Wohn- und Wochenendgrundstücke im Hinterland,
- die gefährdungsfreie Nutzung des Speicherbeckens als wasserwirtschaftliche Anlage,
- die gefährdungsfreie forstwirtschaftliche Nutzung der entsprechenden Flächen unter Berücksichtigung und Einhaltung notwendiger erdfechter Überdeckungshöhen über dem Grundwasserspiegel,
- die Sicherung der profilierten Ufer- und Böschungsbereiche gegen Erosionserscheinungen,

- die Herstellung der Trittsicherheit in den Flachwasserbereichen bis zu einem Niveau von 2 m unter dem Absenkziel $Z_A = +124,20$ m NHN.

Eine gefähderungsfreie Nutzung im Sinne der Sicherungsziele des SächsOBA wird möglich, wenn die Uferböschungen gegen Setzungsfließbrutungen gesichert sind und eine ausreichende Sicherheit gegenüber verflüssigungsbedingten Geländebrüchen im Hinterland der Versteckten Dämme hergestellt wird.

Als Mindestmaß für die zu gewährleistende erdfuchte Überdeckung wird ein Wert von $h_{\text{erdf.,erf.}} \geq 2,0$ m als erforderlich angesehen.

Verbleibende Restriktionen werden nach Ende der Sicherungsarbeiten im Rahmen der Abschlussgutachten benannt werden.

Neben in der Vergangenheit immer wieder auftretenden Rutschungsereignissen verschiedensten Ausmaßes traten 2010 gehäuft Geländebrüche infolge Verflüssigung im Bereich von Innenkippenflächen des Lausitzer Reviers auf. Dies führte zum Erfordernis der Aktualisierung der Bewertung von Kippenflächen, vor allem auch des Knappensees mit seiner vielfältigen Nutzung (Wohnbebauung, Gewerbeeinrichtungen, Erholungs- und Freizeitflächen). Es folgten eine intensive Diskussion und erneute geotechnische Bewertungen des Knappensees mit Vertretern der LMBV, Sachverständigen für Geotechnik, SMWA und SächsOBA. Unter dem Aspekt, dass der Schutz von Leib und Leben oberste Priorität hat sowie dem Sachverhalt, dass sich Personen bei einer akuten Gefährdung nicht im Gefahrenbereich befinden dürfen, wurde die Sperrung der Ufer- und Hinterlandbereiche betrachtet [2.4.78]. Die zuständigen Sachverständigen für den Knappensee (ARGE Werminghoff) sprachen sich für die Fortführung der Planung umfassender Gefahrenabwehrmaßnahmen unter zwischenzeitlicher verstärkter Überwachung und Untersuchung von Schwerpunktbereichen sowie der Berücksichtigung präzisierter Verhaltensanforderungen aus.

Im Ergebnis der Diskussionen wurden mehrere Maßnahmen (Sofortmaßnahmen) zur Minderung der Setzungsfließgefahr und somit zur Reduzierung des Risikos der Eintrittswahrscheinlichkeit eines derartigen Ereignisses seitens der Sachverständigen ausgearbeitet und mit den zuständigen Stellen und Behörden abgestimmt. Im Rahmen der definierten Sofortmaßnahmen [2.4.79] wurde Anfang 2011 in Übereinstimmung mit allen Beteiligten (SfG, LMBV, SächsOBA, SMWA) definiert, dass das Grundkonzept zur Sanierung des Knappensees nicht in Frage gestellt wird, aber ein zeitliches Vorziehen der Sanierungsmaßnahmen dringend erforderlich ist.

Die Festlegung der Sofortmaßnahmen erfolgte im Sinne ihrer Definition so, dass die Maßnahmen kurzfristig ergriffen werden konnten, also keinen zusätzlichen Planungsvorlauf benötigten. Die ergriffenen Sofortmaßnahmen wirken somit mindernd gegenüber akuten Gefahren und bedingen den Beginn geotechnischer Sicherungsmaßnahmen am Knappensee innerhalb eines kurz zu haltenden Zeitraumes. Zur Zeit werden auf dieser Grundlage die bestehenden Gefährdungen aufgrund der ständigen Beobachtung und Überwachung der Gesamtsituation durch die Sachverständigen getragen.

Eine geotechnische Sicherung der Kippenflächen zur Verhinderung großflächiger Setzungsfließereignisse auf Grundlage der vorhandenen geotechnischen Situation (siehe Kapitel 11) wird als unabdingbar angesehen.

11 Gesamtgefährdungsbewertung und Zusammenfassung

Die in den dargelegten Unterlagen ausführlich und intensiv untersuchten Gefährdungspotentiale an den Ufer- und Hinterlandbereichen des Knappensees wurden vor allem hinsichtlich Setzungsfließen und Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung definiert.

Wie im Kapitel 6 ausführlich dargelegt, wird unter dem Begriff Setzungsfließen definiert, dass sich ein verkipptes Lockergestein mit einer enggestuften Korngrößenverteilung, abgerundeter Kornform und geringer Lagerungsdichte bei Wassersättigung und unter Einwirkung von zeitlich veränderlichen Kräften (Initialen), aus denen ein Porenwasserüberdruck resultiert, verflüssigt und bei ausreichender horizontaler Ausbreitungsfreiheit großräumig verformt. Besteht keine horizontale Ausbreitungsmöglichkeit, so wie dies in Hinterlandbereichen von Restlöchern der Fall ist und das verkippte Lockergestein verflüssigt sich, können großräumige Geländeeinbrüche auftreten, die unter dem Begriff Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung definiert sind.

Die Beurteilung der Gefährdung von wassergesättigten Kippenmaterialien gegenüber Verflüssigungen und darauf folgenden Setzungsfließereignissen erfolgt nach aktuellem Stand der Technik auf Grundlage der im Leitfaden zur Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen definierten Grundsätze [2.8.9], die wiederum auf die in [2.8.4] bereits 1989 fixierten Kriterien zur Beurteilung der Setzungsfließgefahr zurückzuführen sind.

Die in Kapitel 8 beschriebenen geotechnischen Verhältnisse bescheinigen dem am Knappensee vorhandenen Kippgut eine hohe Verflüssigungsneigung. Die Bewertung der vorhandenen Gefährdungssituation ist zusammenfassend in der folgenden Tabelle 16 für alle Untersuchungsbereiche am Knappensee dargestellt.

Tabelle 16: Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsbereiche am Knappensee hinsichtlich ihrer Verflüssigungsgefährdung

Bereich/Abschnitt	Verflüssigungsgefährdung	Sicherungsmaßnahmen
U	vorhanden	erforderlich
T	vorhanden	erforderlich
S	vorhanden	erforderlich
G	vorhanden	erforderlich
F	vorhanden	erforderlich
D Ost	vorhanden	erforderlich
D Mitte	vorhanden	erforderlich
E	nicht vorhanden	nicht erforderlich
D West	vorhanden	erforderlich
A und B Nord	vorhanden	erforderlich
B Süd	vorhanden	erforderlich
Inseln	vorhanden	erforderlich

Wie in Kapitel 7 (Erkundungs- und Untersuchungsprogramme) aufgezeigt, wurden von 1982 bis heute in verschiedensten Etappen die am Knappensee vorhandenen Kippenmaterialien bezüglich ihres Aufbaues sowie ihrer Materialeigenschaften mittels Feld- und Laborversuchen intensiv erkundet und untersucht. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wird nachgewiesen, dass an sämtlichen Uferbereichen hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften zur Verflüssigung neigende Kippenmaterialien vorhanden sind.

Aus der Kippenhistorie (Kapitel 4.1 und 5.2) lassen sich unterschiedliche Etappen der Verkippung des Abraummaterials erkennen. Die Kippenverhältnisse weisen infolge der Verkippungstechnologie und -historie eine starke Heterogenität auf. Anhand der ausgeführten Felduntersuchungen (Drucksondierungen, Rammsondierungen, Kombinationsdrucksondierungen) konnten an den Uferbereichen des Knappensees mit Ausnahme der Abschnitte, die aus gewachsenem Boden bestehen, flächenhaft keine geotechnischen Verhältnisse nachgewiesen werden, die sicher ein Setzungsfließen ausschließen. Für alle gekippten Bereiche am Ufer muss deshalb von einer bestehenden Setzungsfließgefahr ausgegangen werden.

Für eine Bewertung der geotechnischen Situation wurden die Uferbereiche des Knappensees in einzelne Abschnitte unterteilt. Die Eingrenzung der Bereiche wurde anhand folgender Kriterien vorgenommen:

- Morphologie des Ufers, des Hinterlandes und des Vorlandes (Seeboden),
- Detailausbildung und vorhandene Heterogenität der Kippen,
- Nutzung und Infrastruktur.

Im Rahmen dieser Detailbetrachtung wurde in den zurückliegenden Standsicherheitsuntersuchungen eine Unterteilung der Gefährdung in die Kategorien „Setzungsfließen wenig wahrscheinlich“, „Setzungsfließen wahrscheinlich“ und „akute Setzungsfließgefahr“ vorgenommen.

Hierzu ist anzumerken, dass diese Untergliederung bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit rein qualitativ auf Grundlage des Erfahrungs- und Erwartungsschatzes des Gutachters erfolgte, so dass dies im eigentlichen Sinne keine rechnerische und über Kennwerte verifizierte Erfassung der Gefährdung darstellte. Es lässt sich unter Beachtung von aktuellen Erkenntnissen (wie unten noch aufgezeigt wird) die Wahrscheinlichkeit von Setzungsfließereignissen nicht ermitteln. Unter Berücksichtigung der aktuellen Ereignisse scheint diese Vorgehensweise bzw. Einteilung bezüglich einer definierten Gefahrenbewertung aus heutiger Sicht nicht mehr sinnvoll. Eine grundsätzliche Bewertung der Setzungsfließgefahr sollte mit den Kriterien „vorhanden“ (für die Uferabschnitte in Kippenbereichen) und „nicht vorhanden“ (z. B. für die gewachsenen Bereiche) erfolgen.

Die Materialeigenschaften der verkippten Lockergesteine, die deren Neigung zur Verflüssigung beschreiben sowie eine vollständige oder nahezu vollständige Wassersättigung bilden jedoch nur die bodenmechanische Grundlage für das mögliche Eintreten einer Setzungsfließbrutschung. Zum Auslösen einer Verflüssigung werden zusätzlich Einwirkungen benötigt, die einen Porenwasserüberdruck innerhalb des Porenraums erzeugen. Diese Einwirkungen werden Initiale genannt und können dabei zeitlich veränderlich auftreten bzw. von dynamischer Natur sein.

Da in den 1980er Jahren, als die ersten umfassenderen Standsicherheitsuntersuchungen zum Knappensee erstellt wurden, keine wirtschaftlich-technologische Lösungsmöglichkeit zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr gesehen wurde bzw. keine technischen Verfahren zur Verfügung standen, wurde die weitere öffentliche Nutzung des Knappensees im Bewusstsein der vorhandenen Gefährdungen unter der Beachtung von Verhaltensmaßnahmen, die das Ergebnis von intensiven Betrachtungen zu den Verflüssigungen auslösenden Initialen darstellten, geduldet. Dabei können Initiale in vielfältiger Art im Betrachtungsgebiet auftreten. Initiale lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Es können Initiale von außen in die Kippe eingetragen werden (äußere Initiale). Erfolgt die Entstehung eines Porenwasserüberdruckes innerhalb des wassergesättigten Kippenkörpers ohne Einwirkungen von außen, so werden diese als innere Initiale bezeichnet.

Die Wirkung von auf die Kippe einwirkenden Initialen ist abhängig von:

- dem Charakter dynamischer Lasten, wie Amplituden- und Frequenzspektrum, eingetragene Energie, zeitlicher Verlauf,
- dem Spannungszustand in der Kippe, der u. a. von der Höhe der überlagernden Bodenschichten, dem Wasserstand und der Nähe zu Böschungen geprägt wird,
- den dynamischen Eigenschaften der Kippe (Schwingungsausbreitung, Ausbreitung der Porenwasserdrücke, Durchlässigkeit, dynamischer Verformungsmodul),
- dem Drainagevermögen der Kippenböden und damit der Ableitung von Porenwasserüberdrücken und
- dem Verflüssigungsverhalten bzw. der -empfindlichkeit der anstehenden Kippenböden.

Bei einem ausreichend großen kritischen Initial, entsteht eine sich ausbreitende verflüssigte Zone, die zu Setzungsfließbrutungen im Uferbereich oder Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung im Hinterland führen kann. Als wesentliche Initiale wurden folgende Einwirkungen in den vorhandenen Standsicherheitsuntersuchungen aufgezählt:

- Verbruch von unzureichend versetzten oder gänzlich unversetzten Entwässerungstrecken (Altbergbau),
- Sackungen durch Grundwasserspiegeländerungen,
- Wasserspiegelschwankungen (Strömungspotential),
- Naturereignisse,
- Fahrverkehr, Bautätigkeit,
- Windwellenerosion, Primärböschungsbruch.

Aus den Betrachtungen erfolgten anfänglich nur qualitativ, später teilweise durch Berechnungen unterlegt die Ableitung von Verhaltensanforderungen für den Knappensee und die Ableitung von Sicherungsmaßnahmen zur Vermeidung von Initialeinträgen.

Mit den in Kapitel 9 aufgeführten und aktuell gültigen Verhaltensanforderungen wird die Gefahr eines Initialeintrages, der aus Wasserspiegelschwankungen (Strömungspotential), Erschütterungseinträgen durch Maschinen und Fahrzeuge, Primärböschungsabbrüchen, Wellenaufschlag, Bautätigkeit resultieren könnte, minimiert. Ein grundlegender Ausschluss von Initialen, beispielsweise bei extremen Wetterlagen oder ungünstigen Lastkombinationen von Fahrzeugen, kann damit nicht erreicht werden. So sind Verhaltensanforderungen immer unter dem Aspekt der Einwirkungsminimierung zu sehen und zu verstehen. Da aber die bestehende Gefährdungswahrscheinlichkeit nicht quantifizierbar ist, ist durch das Vorhandensein von verflüssigungsempfindlichen Materialien latent ein entsprechendes Gefahrenpotential vorhanden.

Um Erkenntnisse über die Belastung der Kippenböden am Knappensee durch Verkehrseinwirkungen zu erlangen, erfolgte die Durchführung von Belastungsversuchen. Einschränkend ist jedoch festzustellen, dass die Ergebnisse dabei nur ganz konkrete Einwirkungen (dynamische Verkehrslasten) unter den örtlich vorhandenen Gegebenheiten charakterisieren und nicht unmittelbar auf andere Bereiche am Knappensee übertragbar sind. Zur Kontrolle und rechtzeitigen Erkennung von kritischen Porenwasserdrücken bei der Durchführung von Baumaßnahmen werden Messungen mittels Schwingungsaufnehmer und Porenwasserdruckgeber nach wie vor als geeignet eingestuft. Die damit erhaltenen Ergebnisse sind jedoch aufgrund der Heterogenität der Kippenverhältnisse nicht zur Verallgemeinerung und für umfassende Ansätze bzgl. Initialeinträgen der gesamten Kippenbereiche verwendbar.

Die in der Vergangenheit geführte Initialdiskussion und die Ableitung von Verhaltensmaßnahmen wird als notwendig und hilfreich angesehen, stellt jedoch aufgrund der Komplexität der Möglichkeiten von auftretenden Initialkombinationen kein Mittel zum Ausschluss der bestehenden Gefährdung dar. Aktuelle Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung auf Innenkippen in der Lausitz unterstreichen dies.

Aktuelle Ereignisse wie Rutschungen bei der Herstellung des Versteckten Dammes im ehemaligen Tagebau Lohsa I bestätigen, dass die Kippenverhältnisse kritischer zu betrachten sind. Wurde in älteren Gutachten immer wieder hervorgehoben, dass eine lange Liegezeit der Kippen sich gegenüber der Verflüssigungsgefährdung günstig auswirkt, so kann mit den derzeitigen Erkenntnissen dieser Argumentation nicht mehr gefolgt werden. Die gegangenen Rutschungen (z. B. bei den Sicherungsarbeiten an der Böschung am Silbersee oder den Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung auf den Innenkippenflächen) zeigen deutlich, dass auch noch nach Jahrzehnten das in den Kippen vorhandene Gefahrenpotential bestehen bleibt und nicht abgebaut wurde. Dies bedeutet, dass die Neigung zur Verflüssigung ohne zusätzliche geotechnische Maßnahmen generationsübergreifend bestehen bleibt.

Für den Knappensee muss beachtet werden, dass eine Rutschung eine Verdrängung von Wassermassen bedingen kann, in deren Folge Schwallwellen entstehen, die wiederum Sekundärrutschungen auslösen können. Diese Schwallwellen erreichen auch Nachbarbereiche einer möglichen Rutschung und gefährden somit die gesamte Uferböschung am Knappensee.

Ein Ausschluss von eventuell auftretenden inneren Initialen im locker gelagerten Kippenkörper ist mittels Verhaltensanforderungen nicht möglich.

Entsteht in den vorhandenen Kippen durch einen Initialeintrag innerhalb der wassergesättigten Kippe ein Porenwasserüberdruck, der zur Aufhebung der wirksamen Spannungen im Korngerüst führt, so verliert das gekippte Lockergestein seine Scherfestigkeit und geht von einem festen Zustand in einen quasi flüssigen Zustand (Suspension) über. Bei ausreichender horizontaler Bewegungsfreiheit, die an den Uferböschungen des Knappensees gegeben ist, kann eine lawinenartige Bewegung des verflüssigten Materials (Bodensuspension) in Richtung Restloch entstehen. Diese Vorgänge laufen großräumig (in 100-m-Bereichen). Da sie einen kettenreaktionsartigen Charakter besitzen, dauern sie wenige Sekunden bis maximal Minuten (bei staffelartigen Rutschungen). Für betroffene Bereiche und sich darin befindlichen Personen einschließlich ihrer Sachwerte ist keine Reaktions- und Rettungszeit vorhanden. So besteht bei Eintritt eines Setzungsfließereignisses mit hinreichender Wahrscheinlichkeit für Personen, die sich innerhalb der Rückgriffweite der Rutschung befinden, Lebensgefahr und eine außerordentlich hohe Beschädigungsgefahr für jegliche Sachwerte innerhalb der Rutschung.

Weiterhin kennzeichnend für diese Rutschungsart ist die sich ausbildende manchmal große Rückgriffweite. Setzungsfließrutschungen können mehrere Millionen m³ Kippenmaterial umfassen und außerordentlich weit in das Böschungshinterland eingreifen. Anhand von Rückgriffweitenberechnungen wurde für den Knappensee abgeschätzt, dass je nach den geotechnischen und morphologischen Verhältnissen die durch eine Rutschung betroffenen Bereiche zwischen ca. 90 m bis ca. 350 m vom Ufer in das Hinterland reichen können. Wie aufgeführt können durch Verflüssigungen im Untergrund der Hinterlandbereiche, in denen keine ausreichenden Freiheiten zum horizontalen Ausfließen vorhanden sind, Grund- oder Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung auftreten. Auch diese Ereignisse können ein größeres Schadensausmaß aufweisen. Insbesondere ungünstige geometrische Verhältnisse, wie sie hohe, steile Böschungen darstellen, oder Initialeinträge bei geringen Grundwasserflurabständen tragen ein hohes Verflüssigungsrisiko in sich. Damit besteht nicht nur für die unmittelbaren Uferböschungen und -bereiche die Gefahr einer Verflüssigung, sondern auch für das innerhalb einer zur erwartenden Rückgriffweite einer Setzungsfließrutschung liegende Hinterland.

Im Rahmen der Sofortmaßnahmen erfolgte 2011 eine Absenkung des Seewasserspiegels am Knappensee auf den Minimalstau. Dies stellt eine gefähderungsmindernde Maßnahme dar, da dadurch eine (wenn auch geringe) Verbesserung der Wasserstandsverhältnisse in der Kippe (h_w/h_K) bewirkt werden konnte. Eine Beseitigung des generell latent vorhandenen Risikos, das von den nachgewiesenen setzungsfließgefährdeten Kippenflächen ausgeht, wurde damit nicht erreicht.

Die Beseitigung der Setzungsfließgefährdung ist entsprechend dem aktuellen Stand der Technik innerhalb von wassergesättigten Kippen nur durch gezielte Verdichtungs- und Verbesserungsmaßnahmen möglich.

Wie obig bereits aufgeführt haben seit 2011 die im Rahmen von Sofortmaßnahmen präzisierten Verhaltensanforderungen Bestand. Die Festlegung dieser Maßnahmen erfolgte in Reaktion auf neueste Schadensereignisse auf Innenkippenflächen des Lausitzer Revieres. In enger Betrachtung zur vorhandenen geotechnischen und nutzungstypischen Situation stand dabei die Sperrung der Ufer- und Kippenflächen des Knappensees zur Diskussion. Um dies zu verhindern, erfolgte die Untersuchung und Ergreifung von kurzfristigen Maßnahmen ohne Planungsvorlauf, die vor den geplanten Sicherungsarbeiten zu einer Gefahrenminderung führen sollten. Die ergriffenen Sofortmaßnahmen wirken mindernd gegenüber akuten Gefahren für Leib und Leben und bedingen den Beginn geotechnischer Sicherungsmaßnahmen am Knappensee innerhalb eines möglichst kurz zu haltenden Zeitraumes. Im Rahmen der Diskussion zu den Stabilitätsverhältnissen wurde die verbindliche Dringlichkeit zur Beseitigung der vorhandenen geotechnischen Gefährdungssituation am Knappensee klar herausgestellt. Weiterhin wurde definiert, dass eine dauerhafte ausreichende Sicherheit mit der Umsetzung der Sofortmaßnahmen aufgrund der Aspekte:

- die Gefährdung bezüglich Verflüssigungsvorgängen und einer Setzungsfließrutschung besteht weiterhin,
- die Minderung ist nur bezüglich der Bewertung der Einwirkungsmomente fachtechnisch fassbar, aber nicht bezüglich der Änderung des Gefahrenpotentials quantifizierbar,

nicht gewährleistet ist.

Verhaltensanforderungen jeglicher Art gewährleisten keine dauerhafte Lösung bezüglich der Gefährdung der öffentlichen Sicherheit, da sich neben dem bereits erläuterten nicht quantifizierbaren Ergebnis zusätzlich ihre Durchsetzbarkeit und damit Wirksamkeit mit zunehmender Zeitdauer vermindert („Abstumpfen“). Weiterhin ist zu bedenken, dass Verhaltensanforderungen / Gebote und Verbote generationsübergreifend durchgesetzt werden müssen. Bereits heute zeigt sich, dass Verbote zu baulichen Änderungen an Gebäuden von den Eigentümern/Pächtern nicht strikt eingehalten werden.

Momentan erfolgt durch die permanente Beobachtung und Überwachung z. B. der Grundwassersituation am Knappensee oder der Porenwasserdruckentwicklung im Bereich der Straße Koblenz - Knappenrode eine Begutachtung der geotechnischen Gesamtsituation. Dabei werden die bestehenden Risiken und Gefährdungen durch die Sachverständigen der ARGE Werminghoff fortlaufend einer Bewertung unterzogen. Verantwortung gegenüber der Einschätzung und Bewertung der Gefahrensituation tragen an erster Stelle die Sachverständigen. Der Definition nach und in Abstimmung mit allen Beteiligten wurde festgelegt, dass die Überwachungsmaßnahmen eine kurzfristige Lösung darstellen, um Sperrungen der Kippenflächen am Knappensee bzw. eine Sperrung der Straße zwischen Koblenz und Knappenrode nicht durchführen zu müssen.

Eine geotechnische Sicherung der Kippenflächen zur Verhinderung großflächiger Setzungsfließereignisse ist jedoch unabdingbar, da die im Rahmen der Sofortmaßnahmen durchgeführten Maßnahmen nur zeitlich begrenzt aufrechterhalten werden können. Hier ist anzumerken, dass mit der Begrenzung des Knappensees auf das Stauniveau +124,20 m NHN durch die LTV kein Hochwasserschutz gewährleistet werden kann. Sollte ein hochwasserbedingter Einstau notwendig werden, so wäre die begünstigende Maßnahme der Verringerung des Kippenwasserspiegels hinfällig und die geotechnische Gesamtsituation würde sich in Richtung höherer Gefährdung verschieben. Somit sehen sich die Sachverständigen in der Pflicht, an der Entscheidung zur Durchführung der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen zur dauerhaften Herstellung der öffentlichen Sicherheit in den Uferbereichen des Knappensees festzuhalten, auch wenn es nachvollziehbar ist, dass die Belastungen für die unmittelbar Betroffenen sehr hoch sind.

Das bisherige Nichteintreten eines Setzungsfließereignisses in den Uferbereichen des Knappensees liegt einzig darin begründet, dass eine die ausreichende Verflüssigung auslösende Einwirkung noch nicht in den wassergesättigten Kippenuntergrund eingetragen wurde. Da das Auftreten eines solchen Ereignisses nicht fassbar oder nicht eindeutig quantifizierbar ist, erhöht sich ständig die Wahrscheinlichkeit der Gefahr einer Setzungsfließbrutschung. Tritt ein solches Ereignis ein, sind die öffentliche Sicherheit akut gefährdet und Gefahr für Leib und Leben gegeben.

Das Wirken von Verhaltensanforderungen sowie Sofortmaßnahmen auf die Eintrittswahrscheinlichkeit ist unter dem Aspekt zu betrachten, dass jeder weitere Zeitraum ohne Sicherungsmaßnahmen die Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Setzungsfließereignisses mit den bekannten Gefahren ständig erhöht.

Das vorhandene Gefahrenpotential an sich wird sowohl durch die historischen als auch die bis in jüngster Vergangenheit erfolgten Rutschungen (1930, 1937, 1941 und RL Koblenzer Straße 2004) bestätigt.

Als positiv können die durchgeführten Sicherungsmaßnahmen gewertet werden. So erfolgten punktuelle Maßnahmen:

- die Abflachung des Steilufers,
- die Verfüllung des Restloches 0815 / 1 sowie des RL Koblenzer Straße,
- der Abriss des Hotels „Am Knappensee“,
- die Aufhöhung der Straße und die Umsetzung des Monitoringkonzeptes Kreisstraße Koblenz – Knappenrode.

Durch das Abflachen des Steiluferbereiches im Abschnitt S wurde der Einfluss der geometrischen Verhältnisse deutlich entschärft. Ein Initialeintrag, der z. B. durch einen Böschungsabbruch infolge erdstatischen Versagens in diesem Bereich vorher möglich war, ist mit der vorgenommenen Abflachung sehr unwahrscheinlich geworden.

Die Verfüllung des RL 0815/1 und des RL Koblenzer Straße beseitigten die von den Restlochböschungen ausgehenden Gefahren dahingehend, dass in diesen Bereichen ein Setzungsfließen nicht mehr stattfinden kann. Ebenso bewirkt die Aufhöhung der Kreisstraße eine Nutzung dieser mit geringerer Gefährdung, da die aus dem Verkehr resultierenden Belastungen auf das wassergesättigte Kippenmaterial gemindert werden.

Der Grundwasserwiederanstieg ist im Bereich des Knappensees, bis auf die im Südosten noch zu erwartenden Beträge, im Wesentlichen abgeschlossen. Mögliche daraus resultierende Sackungen sind daher als gering zu bewerten. Dennoch ist anzumerken, dass auch durch mehrmaliges Auf- und Entsättigen der Kippe ihr Sackungspotential nur teilweise abgebaut wird.

Weiterhin besitzt der Knappensee eine wichtige Funktion als wasserwirtschaftlicher Speicher bezüglich des Hochwasserschutzes und der Niedrigwasseraufhöhung. Bislang erfolgte die Nutzung nur unter Einschränkungen und Verhaltensanforderungen. Um diese Interessen des Gemeinwesens zu gewährleisten, sind die geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen ebenfalls notwendig. Weiterhin ist zu beachten, dass bei einem Eintreten eines Rutschungsereignisses der See in Folge gesperrt werden würde, so dass dann auf unbegrenzte Zeit auch die wasserwirtschaftlichen Funktionen eingeschränkt bis ausgeschlossen sein können. Die neben der speicherwirtschaftlichen Nutzung vorhandene intensive öffentliche Nutzung der Ufer- und Hinterlandbereiche durch Wohnbebauung, Gewerbe, Forstwirtschaft, Infrastruktur und Medieninfrastruktur erhöhen das Ausmaß der Betroffenheiten bei Schadenseintritt für Leib und Leben sowie weitere Schutzgüter erheblich. Es ist aufgrund der bestehenden Gefährdungssituation am Knappensee für die Zukunft nicht auszuschließen, dass Leib und Leben Schaden nehmen können. Die Herstellung der Sicherheit im Rahmen der Durchführung von Gefahrenabwehrmaßnahmen ist unabdingbar.

Die Handlungsnotwendigkeit ist gegeben, da die konkrete Gefahr eines Schadensereignisses grundsätzlich besteht. Um eine Gefährdung der Öffentlichkeit auszuschließen und eine vollständige Funktionsfähigkeit des Speichers sicherzustellen sind geotechnische Sicherungsmaßnahmen an den Uferböschungen des Knappensees erforderlich.

Im Rahmen der vorgesehenen Sicherungsarbeiten am Knappensee kann das Risiko von Setzungsfließereignissen großen Ausmaßes beseitigt werden. Daraus ergibt sich für die Uferböschungen am Knappensee eine hinsichtlich der Verflüssigungsgefahr risikofreie und im Böschungshinterland restriktionsarme Nutzung.