



Gutachten zur Ursachenermittlung der Böschungsbewegung Nachterstedt in Sachsen-Anhalt

Executive Summary

Projekt Nr. 09-26

Auftraggeber: Landesamt für Geologie und Bergwesen
Sachsen-Anhalt
Köthener Straße 38
06118 Halle

Leistungserbringer: Dr.-Ing. Michael Clostermann
Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting
Wedelstraße 22
44265 Dortmund

Dortmund, den 30. Juni 2013

Dr.-Ing. Michael Clostermann
Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting

Dr. Michael Clostermann

Gutachten zur Ursachenermittlung der Böschungsbewegung Nachterstedt in Sachsen-Anhalt

- Executive Summary -

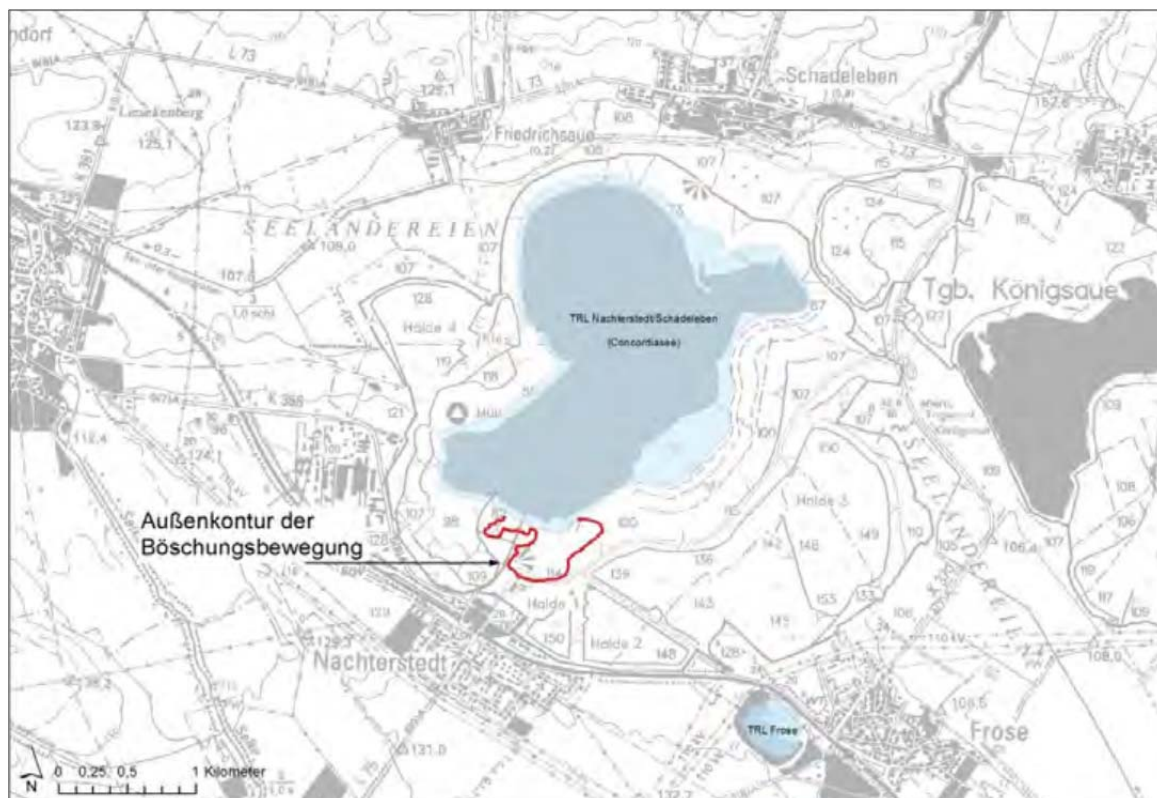
1 Schadensbild

Am 18. Juli 2009 ereignete sich an der Südböschung des in der bergrechtlichen Verantwortung der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) stehenden, im Salzlandkreis gelegenen und teilgefluteten Tagebaurestloches Nachterstedt (Concordiassee) eine Böschungsbewegung erheblichen Ausmaßes.

Es wurde ein Böschungsbereich von circa 1,1 km Länge erfasst. Die durch die Böschungsbewegung aufgetretenen Massenumlagerungen (Rutschungsmassen) haben ein Gesamtvolumen von circa 3 Mio. m³. Die Ausbruchmassen erstrecken sich von der ehemaligen Uferlinie von Südwesten nach Nordosten bis 1.600 m weit in den Concordiassee hinein und wurden größtenteils unter Wasser abgelagert. Die Abrisskanten liegen circa 400 m weit von der ehemaligen Uferlinie entfernt in der Altkippe. Die Böschungsschulter hatte sich infolge der Böschungsbewegung um etwa 85 m in das Hinterland verlagert, wobei Teile der Siedlung ‚Am Ring‘ erfasst wurden.

2 Geografische Situation

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Land Sachsen-Anhalt, Regierungsbezirk Magdeburg, nordwestlich der Stadt Aschersleben. Nachterstedt ist ein Ortsteil der Stadt Seeland im Salzlandkreis. Er hat eine Fläche von 8,21 km² und circa 2.100 Einwohner.



Regionale Übersichtskarte mit Lage der Außenkontur der Böschungsbewegung

Naturräumlich gehört das Gebiet zur Landschaftseinheit ‚Nordöstliches Harzvorland‘. Physiogeografisch handelt es sich um eine quartäre Hochfläche, die von dem von Südost nach Nordwest verlaufenden Niederungsgebiet der Seeländereien-Senke durchzogen wird. In dieser Ebene erscheinen als markante Elemente die dem Braunkohlenbergbau entstammenden Halden und Hochkippen sowie die in Flutung begriffenen Tagebaurestlöcher.

Durch die Förderung der Braunkohle im Tagebau kam es zu einer Umgestaltung der Landschaft. In der Zeit von 1831 bis 1990 wurden im Revier Nachterstedt mehr als 250 Mio. t Kohle und etwa 500 Mio. t Abraum im Tief- und Tagebaubetrieb gefördert/bewegt. Es entstanden die Tagebaurestlöcher Nachterstedt/Schadeleben, Königsau und Frose sowie sieben Halden und Kippen. Bis in die 50er-Jahre des 20. Jahrhunderts wurden die Abraumhalden vorrangig im Randbereich der Tagebaue angelegt. Später erfolgte die Abraumverkipfung auf Innenkippen in den Tagebauen Nachterstedt und Königsau.

Eine Flächenrückgewinnung durch Innenverkipfung von Abraum im Bereich der Tagebaue endete 1990/91. Die Gewinnung und Verkipfung von Abraum erfolgte nur noch in Verbindung mit Sanierungs- und Gestaltungsmaßnahmen an den Endböschungssystemen der Tagebaurestlöcher. Die verbleibenden Tagebaurestlöcher haben Größen von etwa 200 ha (Königsau) und etwa 600 ha (Nachterstedt/Schadeleben). Seit 1992 wurde die ehemalige Bergbauregion im Raum Nachterstedt, Schadeleben und Königsau durch Sanierung, Wiedernutzbarmachung und Renaturierung unter Leitung der LMBV in eine Natur- und Erholungslandschaft umgestaltet.

Die Wasserhaltung im Tagebaurestloch Nachterstedt/Schadeleben wurde 1996 eingestellt. Seitdem steigt das Grundwasser durch natürlichen Zulauf an. Seit 1997 entsteht im ehemaligen Tagebaurestloch Nachterstedt/Schadeleben der ‚Concordiasee‘. Der Concordiasee wurde mit Erreichen eines Wasserspiegels von +70 m NN seit 2002 als Badesee freigegeben. Mit Gründung der Seeland GmbH 1993 wurden touristische Folgenutzungskonzepte erarbeitet und umgesetzt, von denen wichtige Impulse für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung ausgehen sollten.

3 Archivrecherchen und Quellen

Zu Beginn der Arbeiten zur Ursachenermittlung im Juli 2009 wurden den Gutachtern zunächst neun Aktenordner mit Unterlagen zum Abschlussbetriebsplan aus den LAGB-internen Archiven zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der weiteren Rechercharbeiten wurden sowohl die internen Archive des LAGB als auch externe Archive aufgesucht. Darüber hinaus wurden von der Staatsanwaltschaft Magdeburg beschlagnahmte Unterlagen gesichtet und bewertet.

Relevante Themenbereiche und Schwerpunkte der Recherchen waren:

- die generelle räumliche und zeitliche Entwicklung des Berg- und Altbergbaus,
- die Kippen- und Haldensituation, ihre Materialzusammensetzung und -eigenschaften,
- die geologischen, hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse
- und geotechnische Fragestellungen wie zum Beispiel die Standsicherheit der Böschungen.

Mit Arbeitsstand vom 23. Mai 2013 sind bislang mehr als 14.000 Dokumente ermittelt worden, die sich mit dem Bergbau und dessen Folgeerscheinungen im Großraum Nachterstedt beschäftigen. Aufgrund des zu erfassenden Volumens und um die Übersicht zu gewährleisten, wurde eine auf die Projektanforderungen abgestimmte Datenbank entwickelt.

4 Historische Entwicklung des Bergbaus

Zwischen 1857 und 1994 wurden in der Grube Concordia und im Tagebau Nachterstedt/Schadeleben Braunkohle im Tief- und Tagebaubetrieb gefördert.

1992 begannen die Sanierungsarbeiten der Tagebaurestlöcher Königsau und Nachterstedt unter Leitung der LMBV.

4.1 Kippen- und Haldensysteme

Durch den Tagebaubetrieb entstanden in Abhängigkeit von der eingesetzten Fördertechnik umfangreiche Kippen- und Haldensysteme.

Die gesichteten Unterlagen dokumentieren eine kaum überschaubare Kippensituation. Einerseits ist es nicht möglich, aus der Beschreibung der Kippenentwicklung Qualitäten und Kornverteilungen der geschütteten Materialien sicher einzelnen Kippenabschnitten zuzuordnen; andererseits lässt sich aus den vorliegenden Unterlagen keine zeitliche Übersicht der gesamten Kippenentwicklung ableiten.

Der zuletzt geführte Abbau des Werkspfeilers hatte zur Folge, dass die dort hergestellten Endböschungen im Bereich des geschütteten Altkippenbereiches aus den Anfängen des Tagebaus ab 1856 bis 1910 lagen. Dadurch wurden umfangreiche Abflachungs-, Anstützungs- und Stabilisierungsmaßnahmen bestehender Kippenbereiche im Vorfeld des geplanten Grundwasserwiederanstiegs erforderlich.

4.2 Bergbaubedingte Begleit- und Folgeerscheinungen

Bereits der Braunkohleabbau im Tiefbau musste infolge von Wasser- und Schwimmsandeinbrüchen häufig unterbrochen werden oder kam vollständig zum Erliegen. Die Probleme setzten sich auch im Tagebau fort. Zusätzlich zu den sogenannten Liegendwasserdurchbrüchen fanden bereits in den Jahren 1934 bis 1988 größere Rutschungen statt. Beim bisher größten Rutschungsereignis wurden 1959 geschätzte 6,5 Mio. m³ Abraummateriale im nordöstlichen Tagebaubereich mobilisiert.

Eine wesentliche Ursache für die Rutschungen war die in den Tagebau zufließende Wassermenge. Erschwerend wirkten die oft gespannten Grundwasserverhältnisse im Liegenden.

Die Tagesbrüche der vergangenen Jahre konzentrierten sich auf die Bereiche bislang stehen gebliebener unterirdischer Strecken. Eine Sicherung/Versatz der bergmännischen Hohlräume wurde gemäß der Abschlussdokumentation nicht vollständig durchgeführt.

4.3 Sanierung der Tagebaue/Restlochgestaltung

Die Sanierung der Tagebaurestlöcher und der angrenzenden Haldenbereiche erfolgte auf der Grundlage des bergbehördlich bestätigten Abschlussbetriebsplans, der sich für den Tagebau Nachterstedt/Schadeleben bereits an der raumordnerischen Zielstellung der Erholungsnutzung orientierte.

1992 wurde mit den Sanierungsarbeiten der Tagebaurestlöcher begonnen. Das Sanierungsziel bestand gemäß Planantrag für die LMBV darin, nachsorgefreie Tagebaurestlöcher anzustreben.

Die Sanierungsmaßnahmen basierten auf geotechnischen und bodenmechanischen Vorgaben, die in gutachterlichen Stellungnahmen festgelegt wurden. Nicht standfeste Böschungen wurden durch Abbaggerung oder hydromechanische Verfahren abgeflacht oder über Stützkörper stabilisiert.

Bis 1994 wurden die südlichen Werkspfeilerböschungen und die Häuser der Siedlung ‚Am Ring‘ in Nachterstedt durch Anstützverkippen gesichert. Die Qualitäten der verkippten Materialien sind nicht sicher rekonstruierbar. Es ist gemäß den Rechercheergebnissen davon auszugehen, dass in erheblichem Umfang Sande mit Neigung zur Bodenverflüssigung eingebaut wurden.

Die Form des am 18. Juli 2009 entstandenen Rutschungskessels zeigt, dass die durch Rütteldruckverdichtung (RDV) verbesserten Bereiche in der Südböschung im Wesentlichen nicht von der Böschungsbewegung erfasst wurden.

4.4 Entwicklung der bergmännischen Wasserhaltung

Die Tagebauentwässerung erfolgte bis 1965 über ein Streckensystem und nach 1965 über Filterbrunnen. Die Filterbrunnen im Zentrum des Tagebaus, im Bereich des südöstlichen Randböschungssystems und im Bereich der Rutschung vom 18. Juli 2009 erreichten Förderraten von mehr als 1.000l/min.

Spätestens seit der Rutschung vom 2. Februar 1959 war klar, dass Grundwasserstände in den Kippen nur bis zu einem bestimmten Höchststand zugelassen werden durften, um die Standsicherheit der Kippen, insbesondere auch der setzungsfließgefährdeten Kippen, zu gewährleisten.

In einer ‚Gutachterlichen Stellungnahme Restloch Tagebau Nachterstedt/Schadeleben‘ heißt es hierzu 1991:

„Drei Umstände sind zu beachten:

- *Die gekippten Böschungssysteme bestehen aus setzungsfließempfindlichen Massen.*
- *Der mit Einstellung der Entwässerungsmaßnahmen einsetzende Grundwasseranstieg schafft die Voraussetzung, dass Setzungsfließen eintreten kann.*
- *Die ein Setzungsfließen auslösenden Initiale ... sind latent bei allen Stauhöhen vorhanden.“*

Die Sanierungsentwässerung sollte die Wasserstände in den Böschungsbereichen und insbesondere in den Böschungen aus Kippenmaterial so beeinflussen, dass Sanierungsarbeiten ohne Gefährdung stattfinden konnten. Insbesondere für die Verhinderung des Setzungsfließens mussten die Grundwasserstände über den Betrieb von Filterbrunnen niedrig gehalten werden.

Als eines der wichtigsten Ziele für die Entwässerungsmaßnahmen während der Böschungssanierungen bzw. weiterer Sanierungsmaßnahmen definierte die LMBV in ihrem Hauptbetriebsplan 1992/1993: „Für den Bereich der Kippenentwicklung sowie der südlichen u. südöstlichen setzungsfließgefährdeten Endböschung des Tagebaues Nachterstedt, gilt es, den Kippen-Grundwasserspiegel während der Sanierungsphase auf bestimmter Höhe zu halten und damit der Setzungsfließgefahr entgegenzuwirken“.

Auch während der Flutung des Concordiasees war gemäß den Standsicherheitsgutachten zur Herstellung des RDV-Stützkörpers in 2006 dauerhaft zu beachten: „Für Zwischenwasserstände sind Böschungsbewegungen nicht auszuschließen. Diese könnten zu einer Verflüssigung des Kippenmaterials führen, so dass größere Böschungsbereiche von den Bewegungen betroffen sein könnten.“

In den verschiedenen Standsicherheitsuntersuchungen, -einschätzungen und -nachweisen wurden immer wieder entsprechende Hinweise gegeben.

Grundsätzlich hätte man für die Sanierungsarbeiten, die gemäß Abschlussbetriebsplan (ABP) bis 1996 abgeschlossen sein sollten, die vorhandenen Entwässerungselemente für die begleitenden hydraulischen Maßnahmen so weit wie möglich mitnutzen können. Jedoch wurden die Entwässerungsanlagen teilweise frühzeitig außer Betrieb genommen. 1986 waren „... insgesamt 73 Brunnen und ein Schacht für die Gebirgsentwässerung aktiv“ und förderten insgesamt 17,9 Mio. m³/a, aber gemäß Protokoll vom 12. September 1994 wird ausgeführt: „..., dass schon seit 1990 durch das Abschalten etlicher Brunnen, insgesamt mit einer Fördermenge von 7 Mill. m³/a, die Auffüllung des Porenvolumens erfolgt und somit bereits eine Flutung der Restlöcher begonnen hat.“



5 Ablauf der Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 gemäß Zeugenaussagen

Die Ergebnisse der Ermittlungsgruppe ‚Concordia‘ der Kriminalpolizei Magdeburg besagen, dass der Vorfall durch den Notruf um 04:46 Uhr bei der Polizei registriert wurde und die Erstmeldung an die Kreiseinsatzleitstelle des Salzlandkreises in Staßfurt um 04:48 Uhr durch eine Anwohnerin einging.

Von verschiedenen Anwohnern wurde von auffälligem Verhalten ihrer Haustiere in der Zeit vor der Böschungsbewegung, im Wesentlichen in der Nacht vom 17. auf den 18. Juli 2009, berichtet.

Die Ermittlungen beim zuständigen Energieversorger ergaben, dass es am 18. Juli 2009 um 04:32 Uhr im Umspannwerk Frose eine erfolgreiche automatische Wiedereinschaltung – 20 kV Abgang – Richtung Nachterstedt, Schulstraße, gab.

Es liegen schlüssige Zeugenaussagen vor, wonach erste Bewegungen bereits um etwa 04:25 Uhr stattfanden. Aus der zeitlichen Rekonstruktion des Ereignisses ergibt sich, dass die Böschungsbewegung über einen Zeitraum von bis zu 30 min andauert haben dürfte.

6 Kenntnisstand vor der Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009

6.1 Hydrogeologische Situation

Hydrogeologisch ist das Gebiet der Seeländereien ein Grundwasserzuflussgebiet. Für die Sumpfung des Braunkohlentagebaus Nachterstedt/Schadeleben mussten mit 18,5 Mio. m³/a vor Einstellung der Förderung erhebliche Grundwassermengen gehoben und abgeleitet werden.

Das Kippenmaterial wurde aus den bei der Abbautätigkeit angetroffenen Gesteinen aufgebaut und muss als durchweg wasserwegsam angesehen werden.

6.2 Flutung des Concordiasees

Der Ausgangswasserstand im Tagebaurestloch Nachterstedt betrug circa +43 m NN. Mit der Flutung wurde am 28. Oktober 1998 begonnen. Am 29. Januar 2003 wurde mit Erreichen des Wasserstandes von +70 m NN die Fremdflutung eingestellt. 2004 wurde die Fremdflutung wieder aufgenommen, um der Gewässerversauerung entgegenzuwirken. Die unterstützende Flutung mit Selkewasser sollte bis zum Endwasserstand bei +103 m NN fortgeführt werden.

6.3 Montanhydrologisches Monitoring

Die Durchsicht der Altunterlagen zum Messstellennetz zeigte, dass Bohrungen oder Brunnen in der Vergangenheit nicht hydrogeologisch sinnvoll zurückgebaut wurden. Deshalb wurde im Rahmen der Ursachenermittlung für die Böschungsbewegung untersucht, inwieweit abgeteufte Bohrungen, Filterbrunnen oder Grundwassermessstellen zu einer vertikalen Verbindung des Hangendgrundwasserleiters zu den Liegendgrundwasserleitern geführt haben.

Insgesamt ist die Informationslage zu Rückbau- und Verfülldokumentationen als lückenhaft zu bewerten. Für eine Vielzahl der Grundwassermessstellen und Brunnen ist eine Überprüfung des tatsächlichen Verwahrungszustandes nicht möglich. Viele Brunnen und Grundwassermessstellen sind wahrscheinlich fast über die gesamte Rohrstrecke mit Füllkies verfüllt und stellen damit vertikale Wasserwegsamkeiten zwischen den Grundwasserleitern dar. Insofern Grundwassermessstellen oder Brunnen ausschließlich überbaggert, überschoben oder überkippt worden sind, können sie bei entsprechender Geometrie die Liegendgrundwasserleiter mit den Hangendgrundwasserleitern kurzschließen.

Der Anstieg des Seewasserstandes sowie die Entwicklung der umgebenden Grundwasserstände wurden regelmäßig kontrolliert; Messergebnisse wurden durch die LMBV für den Zeitraum ab 1990 zur Verfügung gestellt. Es ist auffällig, dass sich die Anzahl der berücksichtigten Messstellen über die Zeit

durch Hinzunehmen und Weglassen von Messstellen häufiger änderte, ohne dass die Gründe nachvollziehbar dargestellt wurden.

Die Restlochflutung in Frose hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Flutung des Concordiasees.

Hydrogeologische Sollwertvorgaben

Um die geotechnische Sicherheit in den einzelnen Böschungsabschnitten einzuhalten, wurden und werden durch den Sachverständigen für Böschungen maximale Grundwasserstände für repräsentative Grundwassermessstellen festgelegt. Diese Sollwerte werden regelmäßig in Abhängigkeit vom aufgehenden Seewasserstand angepasst. Nach Sichtung dieser Analysen ist festzustellen, dass

- nicht das vollständige aufgeführte Grundwassermessstellennetz überwacht worden ist,
- für einzelne Grundwassermessstellen Sollwertangaben nicht identisch mit den vorgegebenen Sollwertvorgaben sind bzw. Sollwertangaben verwendet werden, die nicht vorgegeben sind sowie
- Hinweise auf Überschreitungen hydrologischer Sollwerte gefunden wurden.

Als Konsequenz aus diesen Sollwertüberschreitungen wurden in den ‚Quartalsanalysen‘ fallweise Änderungen und Anpassungen der Sollwerte vorgenommen, ohne dass es Hinweise auf eine einheitliche, systematische und nachvollziehbare Anpassung gibt. Weiterhin ist festzustellen, dass nachweisbare Sollwertüberschreitungen in den Analysen nicht aufgeführt wurden.

Grundwassermessstellen mit Sollwertvorgaben

Aus dem Datenbestand der ‚Quartalsanalysen für geotechnische Sicherheit‘ ist wegen fehlender Grundwassermessstellen, fehlenden und teilweise falschen Angaben des zulässigen Sollwertes nicht nachvollziehbar, an welcher Grundwassermessstelle der Sollwert in welcher Größenordnung überschritten wurde. Es ist erkennbar, dass die in den Quartalsanalysen angegebenen Sollwerte der einzelnen Messstellen nicht in Abhängigkeit vom ansteigenden Seewasserspiegel berechnet worden sind. Welchem Prinzip die Sollwertberechnung innerhalb der Quartalsanalysen unterlag, ist nicht zu erkennen.

Die seit Anfang 2000 vorliegenden Sollwertüberschreitungen in den Grundwassermessstellen Nr. 1933 und 1934 deuten schon im Vorfeld auf einen hohen Druck im Grundwasser hin. Es ist nicht nachvollziehbar, warum artesische Grundwasserdrücke nicht repräsentativ sein sollen. Vielmehr liefern artesische Überdrücke üblicherweise Hinweise auf vollständige Durchfeuchtungen des Erdreichs und somit Hinweise auf zu erwartende Standsicherheitsbeeinträchtigungen.

Messergebnisse von Grundwassermessstellen in der Südböschung des Concordiasees deuteten darauf hin, dass der Druck im Grundwasserleiterkomplex sechsmal höher als zulässig war. Eine Dokumentation zur Kontrolle oder Neuberechnung der Standsicherheit der einzelnen Böschungen lag nicht vor.

6.4 Altbergbau

Der hohe Durchbauungsgrad des Gebirges südlich und südöstlich des ehemaligen Tagebaus mit den einhergehenden Bruchbildern im Deckgebirge erlaubt einen intensiven Kontakt des Kippenkörpers mit den lateral angrenzenden und überlagernden Grundwasserleitern. Somit bestehen keine Behinderungen für den Sickerweg des Grundwassers zwischen den wassererfüllten Selkeschottern des gewachsenen Quartärs und dem Tagebaurestloch.

Mithilfe des geometrischen Verschnitts der Tief- und Tagebaumodelle konnten Rückschlüsse auf bisher nicht offensichtliche, hydraulische Verbindungsmöglichkeiten gezogen werden.

Insbesondere im Bereich der heutigen Halde 3 können Strecken verblieben sein, die direkte hydraulische Verbindungen aus dem Tiefbaufeld Ludwig bei Frose bis in den Restwerkpfeiler erlauben. Weitere Strecken oder Streckenreste sind entlang des südlichen Ufers des Concordiasees bis zum Einsetzen des Tiefbaus Concordia zu erwarten.

6.5 Verhalten der Südböschung und des tagebauseitigen Teils der Halde 3 seit 2006

Schon vor dem Versagen der Böschung gab es vielfältige Hinweise und auch gutachterliche Aussagen zur Instabilität der Böschung. So gab es schon während der RDV-Arbeiten im Bereich des Anlegers erhebliche geotechnische Auffälligkeiten. Auch Probelastungsversuche und Kleinsprengungen ergaben auffällige und problematische Ergebnisse.

Nachdem bereits zuvor ausgeführte dynamische Probelastungen Bereiche der Südostböschung unterhalb Halde 3 als lokal zur Verflüssigung neigend ausgewiesen hatten, werden Ergebnisse von Sprengungen vom 14. September 2006 unterhalb des Aussichtspunktes Nachterstedt wie folgt beschrieben:

„Der Bereich, Testfläche II, ist verflüssigungsgefährdet. In diesem Bereich sind dynamische Anregungen, die größer als die durch die Sprengung erzeugt wurden, zu vermeiden. Auch flächenhafte dynamische Anregungen, zum Beispiel durch Verdichtungsgeräte, Initialrutschungen etc. sind in diesem Bereich problematisch und bei eventuell durchzuführenden Sanierungsarbeiten zu berücksichtigen.“

„Generell waren die Böschungen für einen zu erwartenden Endwasserstand von 103 m NHN standsicher zu gestalten. Für Zwischenwasserstände werden Böschungsbewegungen nicht ausgeschlossen. Diese könnten zu einer Verflüssigung der Kippenmassen führen, sodass auch größere Böschungsbereiche von den Bewegungen betroffen werden können.“

Der Quartalsbericht IV/2008 vermerkt, dass es während der Bauausführung von RDV-Arbeiten im Bereich der Phenolablagerungen unterhalb der Baugrube zu Geländeabsenkungen bis zu 2 m kam, die mit Wasseraustritten aus den neu eingebrachten Kiessäulen benachbarter Rüttellöcher einhergingen.

6.6 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften von Lockergesteinen, die im Tagebau Nachterstedt anstehen, wurden in der Vergangenheit in bodenmechanischen Laboratorien durch genormte Standardversuche und Sonderversuche ermittelt. Die hier in den Kippen und Halden eingebauten Lockergesteine sind teilweise so beschaffen, dass sie sich unter bestimmten Voraussetzungen verflüssigen können.

6.7 Standsicherheit der Böschungen

Die Ergebnisse der Berechnungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Die Gesamtstandsicherheit und die lokale Böschungsstandsicherheit werden vom Ansatz der undrainierten Restscherfestigkeit des Stützkippenmaterials beeinflusst. Die Standsicherheit ist bei kleiner Restscherfestigkeit niedriger als bei einem größeren Scherwiderstand. Dieses Ergebnis ist plausibel und entspricht der Erwartung.

Die Gesamtstandsicherheit hängt vom Ansatz der Drucklinie im Liegendgrundwasserleiter ab. Je höher der Druck im Liegendgrundwasserleiter ist, desto kleiner ist die globale Böschungsstandsicherheit. Auch dieses Ergebnis ist plausibel und entspricht der Erwartung.

Bei Ansatz der seinerzeit verwendeten Parameter für das gesamte Stützkippenmaterial zeigen die rechnerischen Nachweise lokale Standsicherheitsdefizite auf, die sich in der Realität in Form von örtlichen Brüchen darstellen müssen. Da der Bruchkörper oberhalb des Seewasserspiegels liegt, wäre mit einem vollständigen Ausfließen der Rutschungsmassen nicht zu rechnen; das heißt, der Bruchkörper würde Nachbrüchen stützend entgegenwirken. Das Ausmaß der lokalen Standsicherheitsdefizite im Bereich der Stützkippe wird vom Ansatz des Liegendgrundwasserdruckes nicht beeinflusst.

Für das Gesamtböschungssystem ergab sich in allen untersuchten Fällen eine globale Standsicherheit.

Die Diskrepanz zwischen Berechnungsergebnis und dem Ereignis vom 18. Juli 2009 zeigt, dass Vorgänge und Gegebenheiten schadensursächlich waren, die in dem damaligen Modell noch nicht, noch nicht vollständig oder noch nicht richtig erfasst sind.

7 Durchgeführte Erkundungsmaßnahmen

Nach dem Schadensereignis am 18. Juli 2009 wurde durch die LMBV ein umfangreiches Programm zur Ursachenermittlung der Böschungsbewegung und zur Grundlagenermittlung für die durchzuführenden Sicherungs- und Sanierungsarbeiten aufgelegt. Die einzelnen Bestandteile des Untersuchungsprogrammes wurden als Ergänzungen zum Abschlussbetriebsplan zur bergrechtlichen Zulassung vorgelegt.

Im Wesentlichen beinhaltete das Untersuchungsprogramm folgende Arbeiten:

- detaillierte Untersuchung der geologischen Strukturen, des lithologischen Aufbaus und der hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet durch Bohrungen, Sondierungen und geophysikalische Messungen an Land und auf dem Concordiassee
- Darstellung der Erkundungsergebnisse in einem 3D-Strukturmodell; Dokumentation der Bohrkern- und Entnahme von Bodenproben für Laboruntersuchungen zur Ermittlung bodenphysikalischer, bodenmechanischer und hydrogeologischer Parameter, Laboruntersuchungen.

Zur Sicherung dieser Erkundungsmaßnahmen wurde ein Maßnahmenpaket zur Gefahrenabwehr umgesetzt. Neben passiven (Beobachtungsmethode) wurden aktive Maßnahmen in Form von Brunnenriegeln mit 28 Einzelbrunnen zur Absenkung des Grundwasserspiegels in den Böschungen und zur Entspannung der Liegendgrundwasserleiter sowie Pumpmaßnahmen zur Regulierung des Wasserstandes im Concordiassee realisiert.

7.1 Ergänzungen zum Abschlussbetriebsplan (ABP) Nachterstedt

Formal wurden die Ergänzungen zum ABP Nachterstedt wie folgt umgesetzt: Die LMBV formulierte aufgrund der lokalen, im Nachgang zum Schadensereignis veränderten (hydro-)geologischen Bedingungen einen begründeten Untersuchungsbedarf, der - nach Abstimmung mit den beteiligten Gutachtern - dem LAGB als Genehmigungsbehörde in Form eines Antrages vorgelegt wurde. Das LAGB prüfte die beantragten Maßnahmen nach (berg-)rechtlichen Kriterien. Als Ergebnis dieser Prüfungen wurden in einem Zulassungsbescheid über entsprechende Nebenbedingungen Auflagen für die Aus- bzw. Durchführung der beantragten Maßnahmen formuliert oder die beantragten Maßnahmen ganz oder teilweise nicht zugelassen. Die erste im Zusammenhang mit dem Schadensereignis vorgelegte Ergänzung zum ABP trug die Bezeichnung ‚103. Ergänzung‘; bei der bisher letzten handelte es sich um die ‚131. Ergänzung‘.

7.2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Aufgrund der Vielzahl und der vergleichsweise großen Tiefe der Erkundungsbohrungen ergab sich eine große Probenanzahl. Zur Überprüfung der im Rahmen der Bohrkernansprache vorgenommenen Bodenklassifikation war es notwendig, mehr als 1.500 Kornverteilungskurven zu ermitteln. Der Umfang der anderen Laborversuche wurde unter Beachtung der Relevanz der einzelnen Schichten für die Ursachenermittlung so gewählt, dass die Zusammensetzung, der Zustand und die Eigenschaften der Böden in ihrer jeweiligen Bandbreite erfasst wurden. Unter Berücksichtigung der an der Böschungsbewegung beteiligten Massen bildeten die Kippenböden den Schwerpunkt der Untersuchungen.

Die Laborversuche zeigen, dass im Bereich des Tagebaurestloches Nachterstedt Kippenböden anstehen, deren Kornverteilungskurven im Spektrum verflüssigungsempfindlicher Sande liegen. Bei einer ähnlich großen Anzahl von hier untersuchten Kippenproben verlaufen die Körnungslinien hingegen nicht vollständig innerhalb des Kornspektrums verflüssigungsempfindlicher Sande.



Scherversuche führten zu dem Ergebnis, dass im Bereich des Tagebaurestloches Nachterstedt Kippenböden anstehen, die unter Laborbedingungen Verflüssigungserscheinungen zeigten. Die Einschätzung des Festigkeitsverhaltens der Kippenböden wurde daher durch die Resultate der Felderkundungen, die Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung des Porenanteils/der Lagerungsdichte zulassen, vervollständigt. Dabei zeigten die Drucksondierungen, dass aktuell geringe Lagerungsdichten in größeren zusammenhängenden Kippenbereichen und somit Voraussetzungen für Verflüssigungserscheinungen vorhanden sind. Zu berücksichtigen ist, dass sich die bei der Böschungsbewegung umgelagerten Massen vor dem 18. Juli 2009 in einem nicht mehr erkundbaren Zustand befanden.

Trübungserscheinungen und Blasenbildungen

Zur Ursachenfindung der Trübungserscheinungen im Concordiasee wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die zu dem Ergebnis führten, dass die Entstehung der Trübungen durch Grundwasserzuflüsse nicht ausgeschlossen werden kann.

8 Bewertung der neuen Kenntnisse hinsichtlich der Relevanz für die Standsicherheit

Datengrundlage Altunterlagen

Bis zum 23. Mai 2013 wurden insgesamt mehr als 14.000 Unterlagen und Dokumente gesichtet und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Ursachenermittlung der Böschungsbewegung in Nachterstedt bewertet. Die laufende Auswertung der für relevant befundenen Unterlagen ist abgeschlossen, sodass ein Kenntnisstand erreicht wurde, der keine weiteren Recherchen über noch nicht vorliegende Unterlagen erfordert. Auf Basis der vorliegenden Unterlagen konnte ein ausreichend umfassender Kenntnisstand über die Situation vor Eintritt der Böschungsbewegung erlangt werden.

Felderkundung: Bohr- und Sondierarbeiten

Seit September 2009 wurden vor Ort Bohr- und Sondierarbeiten ausgeführt. Die ersten Maßnahmen dienten als Sofortmaßnahmen der Gefahrenabwehr und hatten das Ziel, die Liegendgrundwasserleiter hydraulisch zu entlasten. Parallel wurde ein Erkundungskonzept entwickelt, das umfangreiche Arbeiten, sowohl an Land als auch auf dem See, vorsah. Dieses Konzept wurde mehrfach aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse angepasst und umgesetzt. Nach dem erreichten Kenntnisstand sind keine weiteren Erkundungsarbeiten für die Ursachenermittlung der Böschungsbewegung in Nachterstedt erforderlich.

Laborarbeiten

Die im Rahmen der Erkundungsarbeiten gewonnenen Bodenproben wurden labortechnisch untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse sind statistisch gesichert und beschreiben das Verhalten, die Art und den Zustand der zu beurteilenden Kippenböden hinreichend genau. Weitere Laboruntersuchungen werden daher nicht für erforderlich gehalten.

Altbergbau

Zur Beschreibung der potenziell noch vorhandenen untertägigen Hohlräume wurde ein Modell erstellt, das sowohl die Tage- als auch die Tiefbausituation abbildet. Ein Vergleich mit dem seitens der LMBV entwickelten Modell zeigte im Wesentlichen Übereinstimmung. Die zu diskutierenden Abweichungen im Altbergbaumodell sind für die Ursachenermittlung der Böschungsbewegung in Nachterstedt nicht von Relevanz und rechtfertigen daher keinen weiteren Aufwand zur Klärung.



Die seit dem Sommer 2009 durchgeführten Untersuchungen und Recherchen haben zu einer Vielzahl neuer bzw. ergänzender Erkenntnisse geführt. Für die Einschätzung der Standsicherheit der Böschungen sind dabei von besonderer Relevanz:

Neue Kenntnisse über die (hydro-)geologischen Verhältnisse

Die bisher abgeteufte Prätertiärbohrungen zeigen, dass in den untersuchten Bereichen keine mächtigen Salz- und Sulfatgesteine und damit laugungsempfindliche Gesteinsfolgen anstehen.

Aus den bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen können detaillierte Informationen über den Aufbau des Untergrundes abgeleitet werden. Insbesondere über die Mächtigkeit und Tiefenlage der Liegendgrundwasserleiter sowie die räumliche Druckverteilung liegen neue Erkenntnisse vor. Durch Modellierungen im 3D-Strukturmodell konnten im obersten liegenden Grundwasserleiter rinnenartige Strukturen aufgedeckt werden, die mit lokalen Mächtigkeitszunahmen des Grundwasserleiters verbunden sind (> 5 m mächtig). Hierdurch wurden Bereiche mit deutlich erhöhter Durchlässigkeit nachgewiesen. Der Wiederanstiegsversuch im Sommer 2012 hat den hydraulischen Nachweis erbracht, dass dieser Bereich des obersten liegenden Grundwasserleiters, der sich im Rutschungsbereich befindet, eine hydrogeologische Einheit bildet. Die intensiven Reaktionen der Pegel, Brunnen und Piezometer belegen eine große Durchlässigkeit und das Vorhandensein von räumlich begrenzten Grundwasserzuflüssen aus dem südlichen Einzugsgebiet der Selkeschotter in diesen Bereich.

Die Abschätzung der vor der Rutschung herrschenden Drücke im obersten liegenden Grundwasserleiter ergab im Uferbereich einen Überdruck von etwa 18 m, bezogen auf den damaligen Seewasserspiegel.

Es existierten/existieren hydraulische Verbindungen zwischen dem obersten liegenden Grundwasserleiter und der Stützkippe im Bereich des Liegendeinschnittes vor dem Restkohlepfeiler, flächige Verbindungen westlich der Rutschung, im Bereich von ehemaligen Liegenddurchbrüchen und sonstigen Perforationen grundwasserstauender Schichten. Gleichfalls kann die Existenz von Verbindungen im Bereich ehemaliger Baugruben in der Tagebausohe nicht ausgeschlossen werden. Die Kombination hoher Liegendgrundwasserdrücke mit hydraulischen Verbindungen zur Stützkippe hat für die Standsicherheit des Böschungssystems eine erhebliche Relevanz.

Neue Kenntnisse über die Kippenböden aus Labor- und Felduntersuchungen

Durch zahlreiche Labor- und Feldversuche wurden umfangreiche Informationen über die Art und den Zustand der Kippenböden gewonnen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Kenntnisse, die aus den seeseitigen Bohrungen/Drucksondierungen in Verbindung mit den Laboruntersuchungen zur Einschätzung der Verflüssigungsempfindlichkeit abgeleitet werden können.

Im Bereich der Südböschung sind große Kippenvolumina vorhanden, die aufgrund ihrer Kornzusammensetzung und Lagerungsdichte bei niedrigen Spannungen und undrainierter Scherbeanspruchung dazu neigen, ihre Festigkeit ganz zu verlieren oder zumindest in erheblichem Maße einzubüßen.

Systematische Untersuchungen zum Sackungsverhalten von Proben aus der Kippe des Tagebaurestloches Nachterstedt sind aus der Zeit vor der Böschungsbewegung nicht bekannt. Die erdfeuchten nichtbindigen Kippenböden weisen bei geringer Lagerungsdichte zum Teil ein erhebliches Sackungspotenzial auf. Während des Sackungsvorganges können sich diese kurzzeitig wie eine Suspension verhalten. Daraus ergeben sich Initialwirkungen und neue Erkenntnisse über den möglichen Ablauf der Rutschung.

Neue Kenntnisse über den Altbergbau

Der Restkohlepfeiler, der die Stützkippe von der Altkippe trennt, ist stehen geblieben. Die Verwahrungsmaßnahmen behandelten keine Entwässerungstrecken und keine Abbaubereiche. Die Doppelstrecke mit ehemaliger Kettenbahn im Bereich der Südwestböschung ist in Mauerung ausgebaut und steht offen. Es ist davon auszugehen, dass weitere unverwahrte Strecken in größeren Tiefen als laterale hydraulische Verbindungen fungieren.

9 Schadensursachen

9.1 Schadensbild und -verlauf

Bei der Klärung der Ursache(n) für die Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 sind Informationen über den zeitlichen Verlauf und das Erscheinungsbild der Massenumlagerung von Bedeutung.

Es ist bisher nicht gelungen, mit Gewissheit den Beginn und das Ende der Böschungsbewegung festzustellen. Obwohl Menschen unmittelbar betroffen waren, geben Zeugenaussagen dazu nur bedingt Aufschluss, da die in den Häusern wohnenden Menschen von den Ereignissen im Schlaf überrascht wurden.

Es handelt sich bei den Zeugenaussagen um ‚Gedächtnisprotokolle‘ und insbesondere bei den angegebenen Uhrzeiten sicherlich um Schätzungen, die eine Unsicherheit und Ungenauigkeit aufweisen, die den Besonderheiten einer Katastrophensituation geschuldet sind. Bezüglich der Beobachtungen des Rutschungsverlaufes dürfen an die Zeugenaussagen keine zu hohen Erwartungen geknüpft werden. Zu berücksichtigen ist einerseits, dass der Bereich, in dem die Böschungsbewegungen stattgefunden haben, nur vom nördlichen Rand der Siedlung gut eingesehen werden konnte. Andererseits haben auch die Lichtverhältnisse vermutlich keine genaueren Beobachtungen zugelassen, da der Sonnenaufgang in Nachterstedt am 18. Juli 2009 erst um 05:17 Uhr erfolgte.

Weitere Anhaltspunkte für den Ereigniszeitpunkt liefern seismische Messungen vom 18. Juli 2009 sowie eine Auskunft des Stromversorgers über eine Fehlermeldung.

Etwa um 04:40 Uhr wurde im Raum Nachterstedt ein seismisches Ereignis registriert, das von den mit den Messungen betrauten Experten mit der Böschungsbewegung in Verbindung gebracht wird. Auffällige seismische Signale wurden dabei über einen Zeitraum von etwa einer Minute festgestellt. Es ist als wahrscheinlich anzusehen, dass die Signale durch die Böschungsbewegung selbst ausgelöst wurden.

Der Zeitpunkt der Erschütterungen ist mit dem Eingang des ersten Notrufes bei der Polizei um 04:46 Uhr vereinbar, korrespondiert aber nicht mit schlüssigen Zeugenaussagen, wonach erste Bewegungen bereits um etwa 04:25 Uhr stattfanden.

Von dem zuständigen Stromversorger wurde mitgeteilt, dass es um 04:32:31 Uhr zu einer „Auslösung mit sofortiger automatischer Wiedereinschaltung der 20-kV-Leitung im UW Frose“ gekommen ist. Über diese Leitung wurden unter anderem die Häuser Nr. 2, 3 und 4 in der Straße ‚Am Ring‘ versorgt. Vom Stromversorger wurde erläutert, dass eine automatische Wiedereinschaltung erfolgt, wenn der zur Auslösung führende Fehler von selbst verloschen ist und die Stromversorgung wiederhergestellt ist. Die Auskunft lässt allerdings offen, ob die Unterbrechung der Stromversorgung zu den Häusern Nr. 2, 3 und 4, zu der es bei der Böschungsbewegung zweifellos gekommen sein muss, aus den Aufzeichnungen für einen späteren Zeitpunkt ableitbar ist.

Die unterschiedlichen Angaben zum Zeitpunkt des Beginns der Böschungsbewegung, die sich aus den Zeugenaussagen, den seismischen Messungen und der Auskunft des Stromversorgers ergeben, sind nicht zwangsläufig widersprüchlich. Die Zeugenaussagen belegen die Wahrnehmung eines zeitlich gestreckten, mehrstufigen Rutschungsprozesses im Sinne einer primären Massenverlagerung, die die Voraussetzung für eine oder mehrere Folgerutschung/en bildete.

Der Verlust der Stützung von angrenzenden Böschungsbereichen oder reflektierte Schwallwellen, ausgelöst durch schnelle Massenverlagerungen in das wassergefüllte Restloch, sind hier als mögliche Wirkmechanismen zu nennen. Dass durch die Böschungsbewegung eine Schwallwelle ausgelöst wurde, belegt das zum Schadenszeitpunkt am Nordufer liegende Fahrgastschiff ‚Seelandperle‘, das auf das Ufer gespült wurde. Wenn es sich bei den registrierten Erschütterungen um die Böschungsbewegung bzw. um die Phase handelt, in der die Massenverlagerung hauptsächlich stattgefunden hat, ist die

Bildung einer Schwallwelle, die sich auf dem See ausbreitet und an den Ufern reflektiert wird, auch zu erwarten.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Informationen kann festgestellt werden, dass die Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 hinsichtlich des Volumens der in Bewegung geratenen Massen und hinsichtlich der mutmaßlichen Geschwindigkeit der Massenumlagerung Ähnlichkeiten zu Setzungsfließbrutschungen aufweist. Völlig untypisch für Setzungsfließbrutschungen ist hingegen das Entstehen hoher Böschungen mit nahezu einheitlicher großer Neigung im Abbruchbereich oberhalb des Wasserspiegels, die über mehrere Jahre nahezu unverändert existieren. Bei Setzungsfließbrutschungen bilden sich an dieser Stelle ausgeprägte Staffelbrüche; diese sind im vorliegenden Fall nur am nordöstlichen Rand des Rutschungskessels erkennbar.

Die Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 weist somit nicht alle erforderlichen Merkmale auf, um als typische Setzungsfließbrutschung charakterisiert zu werden. Das Erscheinungsbild und der beschriebene Ablauf der Rutschung deuten aber darauf hin, dass eine Verflüssigung von Böden stattgefunden hat.

9.2 Wahrscheinliche Schadensursachen

Im Rahmen der vorgenommenen Recherchen und der durchgeführten Untersuchungen waren unter Berücksichtigung des dargestellten Schadensherganges alle möglichen Faktoren bei der Ermittlung der Schadensursache miteinzubeziehen, die die Standsicherheit der Tagebauböschung – einzeln oder gemeinsam - nachteilig beeinflusst haben könnten.

Als Bewertungsergebnis möglicher Schadensursachen verbleiben als relevante ursächliche Faktoren die verwendeten Materialien und deren Verarbeitung, das Grundwasser sowie mögliche Kombinationen.

Nach den durchgeführten Untersuchungen handelte es sich bei der am 18. Juli 2009 eingetretenen großräumigen Böschungsbewegung um ein lokales Versagen des Böschungssystems, welches ausschließlich in der Kippe über dem Liegenden der Kohle auftrat. So wurden weder Massenumlagerungen im Liegenden der Kohle, noch Lokalverschiebungen des Restkohlefeilers, der die Stützkippe von der Altkippe trennt, festgestellt. Auch haben die Bohrungen keine laugungsgefährdeten Gesteinsfolgen im tieferen Untergrund nachgewiesen.

Folglich liegen die Ursachen für die großräumige Böschungsbewegung in den großen Kippenvolumina mit ihren mechanischen Eigenschaften und den hier herrschenden Spannungsverhältnissen wie Bodenspannung, Wasserdruck, Strömungsdruck etc.. Insbesondere die Grundwasserverhältnisse im Liegenden der Kohle besitzen für das eingetretene Böschungsversagen eine große Relevanz. So konnte durch die Untersuchungen eine rinnenartige Struktur des obersten liegenden Grundwasserleiters im unmittelbaren Bereich der zu Bruch gegangenen Südböschung nachgewiesen werden, die eine hohe Durchlässigkeit besitzt. Durch die Messungen in Verbindung mit dem hydrogeologischen 3D-Modell wurde zum Zeitpunkt des Schadenseintritts am 18. Juli 2009 im Bereich der damaligen Uferlinie, und somit für die Stützböschung seeseitig des Restkohlefeilers, ein Wasserüberdruck im obersten liegenden Grundwasserleiter von rund 18 m ermittelt.

Daneben kommt auch dem Gefälle des Hangendgrundwasserleiters in der Kippe für die Ursachenfindung Bedeutung zu. Dies insbesondere dann, wenn zuströmendes Wasser durch Kippenmaterialien mit unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlicher Durchlässigkeit am Durchfluss gehindert wird, sich vor geringer durchlässigen Schichten aufstaut und die Stützböschung durch Wasser- und Strömungsdruck beansprucht. Diese Situation ist aufgrund der Kippenrecherche auch direkt vor der Südböschung zu erwarten, denn der hier verkippte Abraum ist überwiegend nichtbindig und überdeckt den Restkohlefeiler in einer Dicke von rund 5 m; darüber folgt eine Schüttung, die aufgrund ihres höheren Feinkornanteiles geringer durchlässig ist. Somit bestand für die Durchströmung der Kippe infolge des Restkohlefeilers und der geringer durchlässigen Hochschüttung eine Durchflussbehinderung, die zu einem lokalen Aufstau von Grundwasser führte.

Aus den Untersuchungen ist abzuleiten, dass insbesondere westlich der Rutschung keine flächenhaft durchgehende Trennung zwischen dem Hangendgrundwasserleiter in der Kippe und dem Liegendgrundwasserleiter im Liegenden der Kohle vorliegt. Im Bereich der Rutschung und östlich davon ist die Trennung beider Grundwasserstockwerke wirksam. Bereits während des Betriebes traten zahlreiche sogenannte Liegendgrundwasserdurchbrüche infolge hoher Wasserdrücke auf. Zur Entspannung des Liegendgrundwasserleiters wurden planmäßig Bohrungen, Baugruben und grabenförmige Einschnitte angelegt, die in den Risswerken verzeichnet sind. Heute weisen beide Grundwasserstockwerke westlich der Rutschung eher ausgeglichene Drücke auf, während östlich der Rutschung ein deutlich höherer Druck im Liegend- als im Hangendgrundwasserleiter herrscht. Möglicherweise haben sich die vorhandenen Perforationen in den dichtenden Liegendschichten vorübergehend geschlossen. Sie stellen aber Schwachstellen für auftretende Überdrücke im Liegenden dar.

Bei den auf dem Liegenden der Kohle ruhenden Kippenmassen handelte es sich nach der durchgeführten Kippenrecherche vorwiegend um feinkörnige, gleichkörnige Sande mit unterschiedlichen Beimengungen an Schluffen, Tonen und Braunkohleresten. Diese Materialien sind unter Wasser überwiegend fließfähig, sodass eine Verflüssigungsfahr besteht, wenn sie eine lockere Lagerung (großer Porenanteil, geringe Scherfestigkeit) besitzen, unter nur geringer Normalspannung stehen und durch ein auslösendes Ereignis in Bewegung geraten. Diese Voraussetzungen sind hier erfüllt.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Vielzahl von Berechnungen der Böschungsstandsicherheit durchgeführt und dokumentiert. Die analytischen Untersuchungen für den Schnitt GS 01/2012 führten zu dem Resultat, dass mit dem genutzten Modellansatz, der die Ergebnisse der durchgeführten Erkundungsarbeiten vollends beinhaltet, die Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 in dem festgestellten Ausmaß und in der mutmaßlichen Bewegungsabfolge erklärbar ist. Wesentliche Bestandteile des Berechnungsmodells sind die nachgewiesenen hohen Drücke im Liegenden und die hydraulischen Verbindungen zwischen Liegendgrundwasserleiter und Stützkippe. Infolge der sich daraus ergebenden ungünstigen Porenwasserdruckverteilung in der Stützkippe ergibt sich ein Versagen des gesamten Böschungssystems rechnerisch auch mit vergleichsweise großen Werten des Reibungswinkels der Kippenmaterialien. Die Berechnungen führen auf eine Initialbewegung eines nahezu vollständig unterhalb des Wasserspiegels liegenden Gleitkörpers und ein sukzessives Nachbrechen von Böschungsteilen infolge des Verlustes der Fußstützung. Für diesen Versagensablauf spricht auch, dass nach den unterschiedlichen Angaben über den Zeitpunkt des Beginns der Böschungsbewegung (Zeugen, gemessene Erschütterungen, Stromversorger) diese innerhalb kürzester Zeit durch eine Reihe von Massenverlagerungen stattgefunden haben muss.

Die für den Schnitt GS 01/2012 durchgeführten Standsicherheitsberechnungen zeigen auch, dass ein erhöhtes Gefälle im Hangendgrundwasserleiter infolge einer inhomogen und anisotrop zusammengesetzten Kippe allein nicht zu einem vollständigen Versagen des Böschungssystems führt, allerdings die Sicherheit gegen Böschungsbruch deutlich reduziert.

Es ist daher als sehr wahrscheinlich anzusehen, dass die großräumige Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 durch das zeitgleich oder zeitlich nah ablaufende Zusammenwirken dieser verschiedenen Faktoren verursacht wurde.

Unter Berücksichtigung der an einem Teil der hier anstehenden Kippenmaterialien durch Labor- und Felduntersuchungen festgestellten Eigenschaften und dem Erscheinungsbild der Böschungsbewegung ist es als wahrscheinlich anzusehen, dass die großräumige Umlagerung der gekippten Lockergesteinsmassen mit einer teilweisen Verflüssigung von Kippenmaterial unterhalb des Grundwasserspiegels im Zusammenhang steht. Die Kippenmaterialien neigen aufgrund ihrer Korneigenschaften und ihres bodenmechanischen Zustandes nachweislich zu einer Verflüssigung mit unbeschränkter Fließverformung. Als möglicher Auslöser (Initial) für eine Verflüssigung kommen die zuvor genannten Druckverhältnisse

im Hangenden und Liegenden infrage, die sehr wahrscheinlich zu einer Grundwasserströmung in der Stützkippe mit allmählich größer werdendem hydraulischen Gefälle geführt haben.

Auch die beobachteten Erosionserscheinungen konnten zu einer weiteren Schwächung des Stützböschungssystems führen, was letztendlich in Verbindung mit den zuvor genannten beiden Faktoren zu einem Verlust der Gesamtstandsicherheit geführt hat.

Bei den herrschenden Grundwasserverhältnissen ist der hohe Liegendgrundwasserdruck besonders relevant. Die vorhandenen Perforationen, das heißt, die Schwächung oder Öffnung der abdichtenden Schichten im Liegenden durch die im Grubenbild dokumentierten Eingriffe, wie Baugruben etc., sind Schwachstellen zwischen Liegendgrundwasserleiter und Kippe. Ebenfalls ist aus der Historie bekannt, dass es eine Vielzahl von Liegendgrundwasserdurchbrüchen während des Betriebes gegeben hat. Aufbrüche der dichtenden Schichten im Bereich ehemaliger Liegendgrundwasserdurchbrüche oder Aufbrüche der verbliebenen Braunkohleschichten durch den Überdruck im Liegendgrundwasserleiter stellen weitere Schwachstellen zwischen Liegendgrundwasserleiter und Kippe dar.

Die locker gelagerten Kippenmaterialien unter Wasser im Bereich der Perforationen neigen aufgrund ihrer bodenmechanischen Eigenschaften zur Verflüssigung und stellen damit ein auf Veränderung des Spannungszustandes sehr empfindlich reagierendes System dar.

Weiterhin kann auch die Erhöhung des Wasserdrucks im Hangenden zu einer zusätzlichen Schwächung der Stützkippe geführt haben; dies allein ist aber für die Rutschung nicht verantwortlich.

Zusammengefasst sind anhand der Auswertung der umfangreichen Unterlagen, der durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen, der danach aufgestellten Modelle und der durchgeführten Standsicherheitsberechnungen die herrschenden Grundwasserverhältnisse und die locker gelagerten Kippenmaterialien unter Wasser die wesentliche Ursache für das Böschungsversagen.