

DIE SANIERUNG DES TAGEBAUS NACHTERSTEDT

NACH DER BÖSCHUNGSBEWEGUNG VON 2009

Ursachen, Planungen, Ergebnisse



VORHER

2009

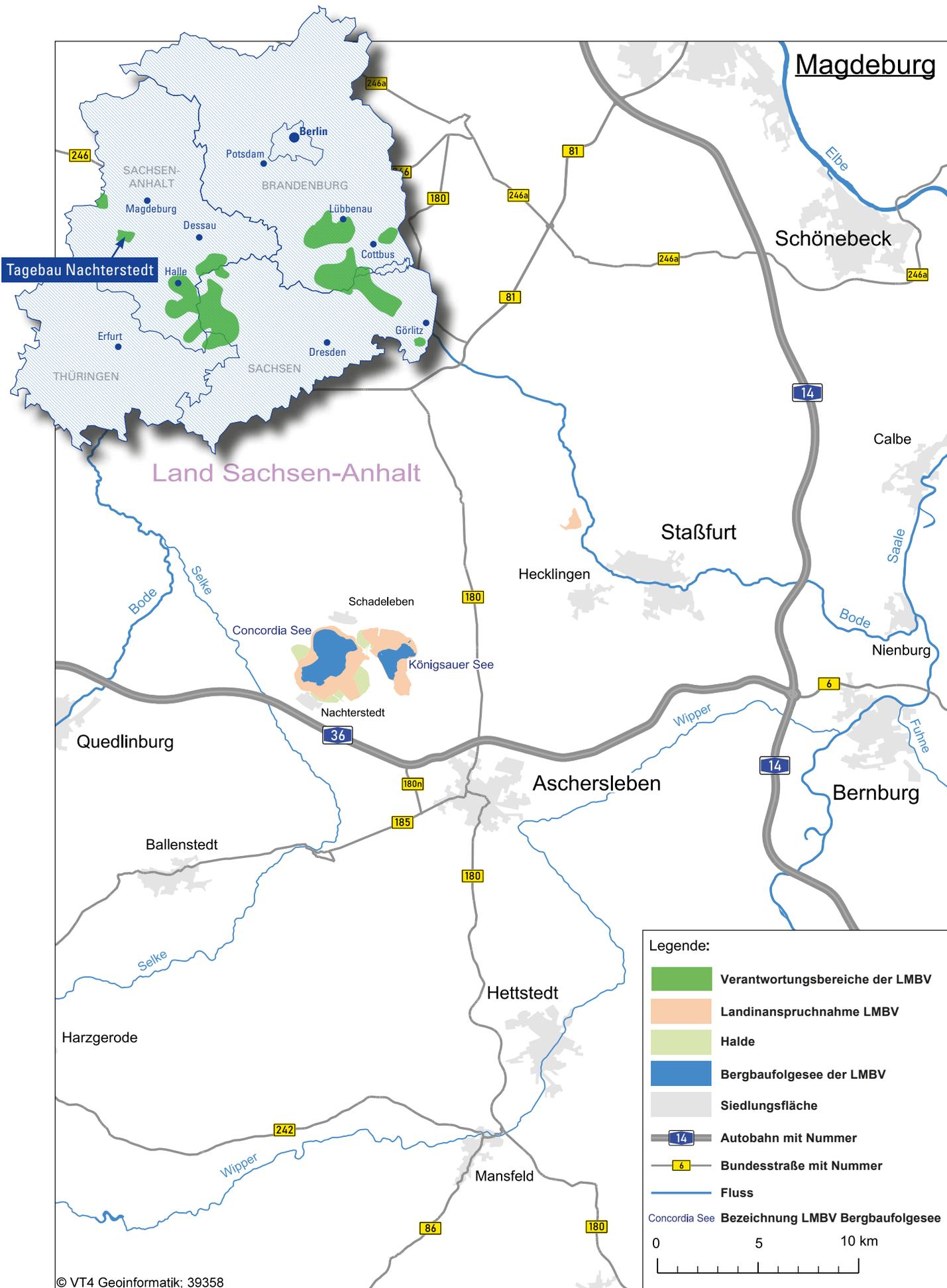
Rutschungskessel





NACHHER

2020
Saniertes
Rutschungskessel



| | |
|---|-----------|
| VORWORT | 7 |
| GEMEINSCHAFTSWERK UND HERAUSFORDERUNG – SANIEREN DES TAGEBAUS NACHTERSTEDT | |
| THEMENKOMPLEX 1 | 9 |
| Ursachenforschung/Sicherungsmaßnahmen | |
| DIE BÖSCHUNGSBEWEGUNG VOM 18.07.2009 – HANDLUNGSBEDARF DER LMBV IN VORBEREITUNG VON SICHERUNGS- UND SANIERUNGSMASSNAHMEN | 10 |
| METHODIK UND ERGEBNIS DER URSACHENFORSCHUNG/ERKUNDUNGSMASSNAHMEN | 25 |
| THEMENKOMPLEX 2 | 35 |
| Sanierung nach der Böschungsbewegung 2009 | |
| SANIERUNG DER FOLGEN DER BÖSCHUNGSBEWEGUNG VOM 18.07.2009 | 36 |
| BÖSCHUNGSBEWEGUNG NACHTERSTEDT – SANIERUNG IN ZAHLEN | 60 |
| THEMENKOMPLEX 3 | 61 |
| 3D-Modelle | |
| GEOLOGISCHES 3D-STRUKTURMODELL | 62 |
| ALTBERGBAUMODELL – 3D-MODELLIERUNG DER UNTERTÄGIGEN BERGMÄNNISCHEN AUFFAHRUNGEN | 69 |
| DAS HYDROLOGISCHE GROSSRAUMMODELL NACHTERSTEDT | 76 |
| BÖSCHUNGSBEWEGUNG NACHTERSTEDT – URSACHENERMITTLUNG IN ZAHLEN | 84 |
| THEMENKOMPLEX 4 | 85 |
| Stand sicherheitsuntersuchungen | |
| KOMPLEXITÄT DER ERSTELLUNG UND UMSETZUNG DER STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN | 86 |

| | |
|--|------------|
| THEMENKOMPLEX 5 | 101 |
| Monitoring | |
| SEISMOLOGISCHES MONITORING | 102 |
| EXKURS: NATURSCHUTZ IM SANIERUNGSGEBIET NACHTERSTEDT | 111 |
| MONTANHYDROLOGISCHES GRUNDWASSERMONITORING | 114 |
| THEMENKOMPLEX 6 | 125 |
| Ausgewählte Projekte zur Ursachenforschung und Sanierung | |
| SEESEITIGE ERKUNDUNG – DIE TECHNISCHE HERAUSFORDERUNG | 126 |
| RÜTTELVERDICHTUNG UNTER DEN STANDORTSPEZIFISCHEN BESONDERHEITEN IM TAGEBAU NACHTERSTEDT | 132 |
| DIE ANWENDUNG DER TIEFEN SCHONENDEN SPRENGVERDICHTUNG (T-SSPV) IM HAUPTTRUTSCHUNGSKESSEL | 144 |
| INNOVATIVES SICHERUNGSKONZEPT FÜR DIE „ALTABLAGERUNG SCHWELEREIRÜCKSTÄNDE“ | 150 |
| THEMENKOMPLEX 7 | 159 |
| Seeherstellung und Folgenutzung | |
| HARZER SEELAND: TOURISMUS AM CONCORDIA SEE | 160 |
| PLANFESTSTELLUNGSVERFAHREN ZUR GEWÄSSERHERSTELLUNG DER TAGEBAUSEEN NACHTERSTEDT UND KÖNIGSAUE | 169 |
| MEILENSTEINE | 175 |
| Sanierungsgebiet „Rutschungskessel Nachterstedt“ | |
| FOTOVERZEICHNIS | 188 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 190 |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 192 |
| IMPRESSUM | 193 |

GEMEINSCHAFTSWERK UND HERAUSFORDERUNG – SANIEREN DES TAGEBAUS NACHTERSTEDT

Der Braunkohlenbergbau um Nachterstedt hat eine lange und von vielen Ereignissen begleitete Tradition, da in der Region schon seit ca. 1831 Braunkohle abgebaut wurde. In den Jahren 1849 bis 1857 wurde damit begonnen, die Lagerstätte im Bereich von Nachterstedt im Tiefbau aufzuschließen. 1886 bis 1929 erfolgte eine Restauskohlung im Tiefbau parallel zum Tagebaubetrieb. In den Jahren 1928/29 erfolgte die Umstellung des gesamten Abraumbetriebes auf Großraumförderung. Bereits beim Abbau in den 1950er Jahren kam es wiederholt auch zu Setzungsfliessen im Tagebaubetrieb. Bis 1965 hatten sich zahlreiche größere Rutschungen, Liegenddurchbrüche und Tagesbrüche ereignet. Die besonderen geologischen Verhältnisse zwangen die Bergleute zu vorausschauendem und vorsichtigem Abbauverhalten. Daraufhin wurde in den 1960er Jahren im Osten Deutschlands auch die Geomechanik wissenschaftlich mit aufgebaut und die Abbaue seitdem geotechnisch begleitet sowie parallel auch dazu an der Bergakademie Freiberg geforscht.

Frühzeitig im Jahr 1992 wurde mit diesem Wissenshintergrund der Tagebau Nachterstedt in den Sanierungsbetrieb mit dem Ziel der Wiedernutzbarmachung überführt. Im Abschlussbetriebsplan Tagebau Nachterstedt/Schadeleben vom 30. September 1992, am 07. Oktober 1992 vom Bergamt zugelassen, wurde die Herstellung eines Sees als Ziel der Nachnutzung und Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft definiert und u. a. Aussichtspunkte und Strandbereiche ausgewiesen. Mit dem Flutungsbeginn mit Selkewasser im Jahre 1998 entstand schrittweise ein teilgefluteter Bergbaufolgesee, auf dem alsbald auch ein Ausflugschiff verkehrte.

Mich beeindruckten 2006 bei einer Bootsfahrt, die für den Steuerungs- und Budgetausschuss für die Braunkohlesanierung (StuBA) organisiert worden war, die unterschiedlich geformten Böschungsbereiche am See.

Eingängig erschien die Nachterstedter Idee, einen Zugang und eine Slipanlage mit Helling vom Ort Nachterstedt über die Böschung zu planen. Im Zuge der

infrastrukturellen Erschließungen des Concordia Sees wurden zur Schaffung einer zweiten Schiffsanlegestelle sowie eines Wartungsplatzes Sicherungsarbeiten mittels Erdbau und Rütteldruckverdichten von Mai bis Oktober 2007 ausgeführt. Eine dort angesprochene und vermutete Altlablagerung stellte die Bergbausanierer im Jahr 2008 vor Hindernisse zur weiteren Umsetzung diese Idee.

Die unerwartete Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 spülte nicht nur die Schiffsanlegestelle und einen oberhalb gelegenen Aussichtspunkt weg, sondern verschlang auch Wohnhäuser „Am Ring“ und riss drei Menschen mit in den Tod und ließ die Planungen Makulatur werden. Von einem Tag auf den anderen wurden damit bis dahin fast 20 Jahre erfolgreiche Bergbausanierung zeitweise völlig in Frage gestellt. Neben den angelaufenen Sofortmaßnahmen zur Suche nach den Vermissten und zur Unterstützung weiterer Betroffener, die alsbald auch ihre Wohnungen und Häuser aufgeben mussten, zeigte sich, dass die Bergleute und Bergbausanierer gemeinsam mit vielen Unterstützern von Kommune, Rettungskräften und Anrainern schnell in die Herausforderungen der Suche nach den Ursachen der Böschungsbewegung und der Bewältigung der Fragen des „Danachs“ gehen konnten. Ohne die kompetente Bürgermeisterin der Stadt Seeland Heidrun Meyer und ihrer Mitarbeiter wäre dies der LMBV so nicht möglich gewesen.

Auch dank der Unterstützung der Finanziere der LMBV von Bundesfinanzministerium (BMF) und vom Land Sachsen-Anhalt konnten alsbald neue Perspektiven für die direkt Betroffenen aufgezeigt werden. Von Anfang an konnte ich den Rückhalt des damaligen Ministerpräsidenten Prof. Dr. Böhmer, der selbst mehrmals vor Ort kam und zu den Beteiligten und zu den Journalisten sprach, und auch des damaligen Wirtschaftsministers Dr. Haseloff spüren, die der LMBV Rückhalt für die anstehenden Aufgaben gaben. Auch der damalige BMF-Haushaltsstaatssekretär Werner Gatzer überzeugte sich persönlich vom Geschehen und signalisierte zügig die Unterstützung für die anstehenden Herausforderungen.

Mit Demut machten sich die Vertreter des Unternehmens an das Bewältigen der Folgen des Unglücks. Umsichtig agierte hier der damalige Vorsitzende der Geschäftsführung der LMBV, Prof. Dr. Mahmut Kuyumcu. Neben eigenen umfangreichen Nachforschungen und einer parallelen staatsanwaltschaftlichen und zweitguterachterlichen Untersuchung wurden weitreichende Überprüfungen der vorangegangenen bergbaulichen Sanierung vorangetrieben. Die medienöffentliche Vorstellung des aufwendigen Untersuchungsvorganges durch den externen und angesehenen Gutachter Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach stellte eine weitere Zäsur dar.

Der von der LMBV beauftragte Gutachter Prof. Katzenbach, Direktor des Instituts und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, stellt in seinem Abschlussgutachten fest, dass die Böschungsbewegung durch ein nicht vorhersehbares dynamisches Initial und den ebenfalls unvorhersehbaren, hohen artesischen Wasserüberdruck als Folge der anomalen lokalen Rinnenstruktur des Liegendgrundwasserleiters verursacht worden sei. Der Gutachter des Landesamtes für Geologie und Bergwesen (LAGB), Dr.-Ing. Michael Clostermann, Geschäftsführer des Dortmunder Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting, kam in seinem Abschlussgutachten zum Ergebnis, dass die herrschenden Grundwasserverhältnisse im Liegenden, insbesondere die hohen Grundwasserdrücke, und die locker gelagerten Kippenmaterialien unter Wasser die wesentliche Ursache für das Böschungsversagen gewesen seien. Die Wasserstände im Hangenden (grundwasserführende Sedimente oberhalb des Kohleflözes und bergmännisch gekippte Sedimente) hätten zwar standsicherheitsmindernd gewirkt, waren aber für das Ausmaß der Böschungsbewegung vom Juli 2009 allein nicht verantwortlich.

Auf dieser umfangreichen Datenbasis konnten weitergehende Erkenntnisse für die Schadensbeseitigung gewonnen und die notwendigen Sanierungsplanungen ausgestaltet werden. 2012 konnte mit dem Rückbau der Siedlung „Am Ring“ begonnen werden. Ganz wichtig war es m. E., ab jenem Jahr in einen geregelten Sanierungsbetrieb zu gelangen, den die Sanierungsbereichsleiterin Grit Uhlig in enger Abstimmung mit dem LMBV-Chefingenieur Klaus Zschiedrich stringent

voranbrachte. Hier ragte auch Mathias Siebert von der LMBV heraus, der für die LMBV das Sanierungsgeschehen vor Ort von Anfang an koordinierte und begleitete. Die gemeinsamen Anstrengungen des Ministeriums für Wissenschaft und Wirtschaft, der LMBV und des LAGB richteten sich immer stärker auf die Sanierung und das Wiedernutzbarmachen des Concordia Sees aus.

In einer bewusst dafür innerhalb der LMBV aufgebauten Projektgruppe unter Leitung von Dirk Henssen und später Dietmar Onnasch wirkten viele weitere engagierte Mitarbeiter des Unternehmens mit. Dieses Gemeinschaftswerk konnte aber auch nur deshalb voran gebracht werden, da sich eine Vielzahl von Vermessern, Markscheidern, Planern, Controllern, Liegenschaftlern, Geotechnikern und Sanierungsbergleuten von mehr als einem Dutzend Firmen intensiv eingebracht haben. Im vorliegenden Buch wird diesen Firmen die Möglichkeit gegeben, ihre Sicht auf die bewältigten Aufgaben und die mit ihrer Hilfe in den Sanierungsprozess eingeflossenen Innovationen darzulegen. Die staatsanwaltschaftlichen Ermittlungen wurden 2016 ohne eine Schuldzuweisung abgeschlossen, da sie keine hinreichend sicheren Anhaltspunkte für vermutete oder relevante Sorgfaltspflichtverletzungen aufzeigten. Nach mehreren Jahren intensiver Sanierungsarbeiten war nun das nächste Ziel in Sicht.

Mit Stolz konnte im Juli des Jahres 2019 bereits eine Teilöffnung des Concordia Sees in enger Abstimmung mit dem Magdeburger Wirtschaftsministerium, der Bergbehörde und der Kommune ermöglicht werden. Mit Erscheinen dieses Buches werden auch die Erdbauleistungen zur Sanierung des Haupttrutschungskessels abgeschlossen sein. Die Kontur des späteren Seeufers ist deutlich zu erkennen. Auf dem begonnenen Weg wird die LMBV nun weiter voranschreiten und die Sanierungsarbeiten in den kommenden Monaten abschließen. Möge der dann bis voraussichtlich 2036 entstehende Bergbaufolgesee den Menschen in der Region künftig immer zu Nutze sein.

Glück Auf!

Dr. Uwe Steinhuber
Leiter der LMBV-Unternehmenskommunikation

THEMENKOMPLEX 1

Ursachenforschung /
Sicherungsmaßnahmen



DIE BÖSCHUNGSBEWEGUNG VOM 18.07.2009 – HANDLUNGSBEDARF DER LMBV IN VORBEREITUNG VON SICHERUNGS- UND SANIERUNGSMASSNAHMEN

Autoren: Dipl.-Ing. Almuth Götz, Dipl.-Ing. Mathias Siebert

Am frühen Morgen des 18.07.2009 ereignete sich an der Südböschung des in Flutung befindlichen Concordia Sees eine großräumige Böschungsbewegung, bei der drei Doppelhaushälften und drei Bewohner der Siedlung „Am Ring“ in die Tiefe gerissen wurden (Foto 1). Bei diesem in kürzester Zeit abgelaufenen Ereignis sind ca. 4,5 Mio. m³ Kippenboden in Bewegung geraten. Die Rutschungsmassen sind dabei bis zu 1.600 m in nördliche Richtung in den See hinein transportiert und abgelagert worden. Infolgedessen stieg der Seewasserspiegel um ca. 0,60 m an. Ausgehend von der damaligen Uferlinie griff die Böschungsbewegung bis zu 400 m in das Kippenhinterland ein und hinterließ oberhalb des Seewasserspiegels einen Rutschungskessel in den Ausmaßen von rund 600 m mal 800 m. Die bis zu 60° steilen Abrisskanten wiesen eine Höhe bis 40 m auf. Dabei verloren drei Anwohner der Siedlung „Am Ring“ ihr Leben.



Foto 1: Rutschungskessel vom 18.07.2009 und Siedlung „Am Ring“

Die mit der Böschungsbewegung eingetretene Situation erforderte einen sofortigen und weitreichenden Handlungsbedarf der LMBV. Sie hatte einen außergewöhnlichen Umfang an Erkundungs- und Sicherungsmaßnahmen zur Folge und erforderte die Anwendung unterschiedlichster bewährter aber auch sehr innovativer Sanierungstechnologien.

Im Folgenden soll auf die Vielzahl der umgehend und in enger Abstimmung mit den behördlichen Vertretern des Landes Sachsen-Anhalt sowie der Stadt Seeland eingeleiteten Sofort- und Erstsicherungsmaßnahmen eingegangen werden. Darüber hinaus werden die weiterführenden Maßnahmen und Tätigkeiten in Vorbereitung der Sanierung des Rutschungskessels sowie der angrenzenden Kippenareale benannt. Weiterhin wird der Bezug zu den Themenschwerpunkten der nachfolgenden Fachbeiträge hergestellt.

ERSTSICHERUNGSMASSNAHMEN

Unmittelbar nach Ereigniseintritt am frühen Morgen des 18.07.2009 wurden durch die örtliche Feuerwehr, das THW und die Polizei erste Absperrungen zur Sicherung des Schadensbereiches rund um den Concordia See vorgenommen und sofort mit der intensiven Suche nach den drei vermissten Personen begonnen. Da ein Betreten des Rutschungskessels aus Sicherheitsgründen vollkommen ausgeschlossen war, erfolgte die Suche nach den Vermissten vorerst mittels Hubschrauber auch unter Einsatz von Wärmebildkameras (Foto 2).



Foto 2: Hubschraubereinsatz zur Suche nach den Vermissten

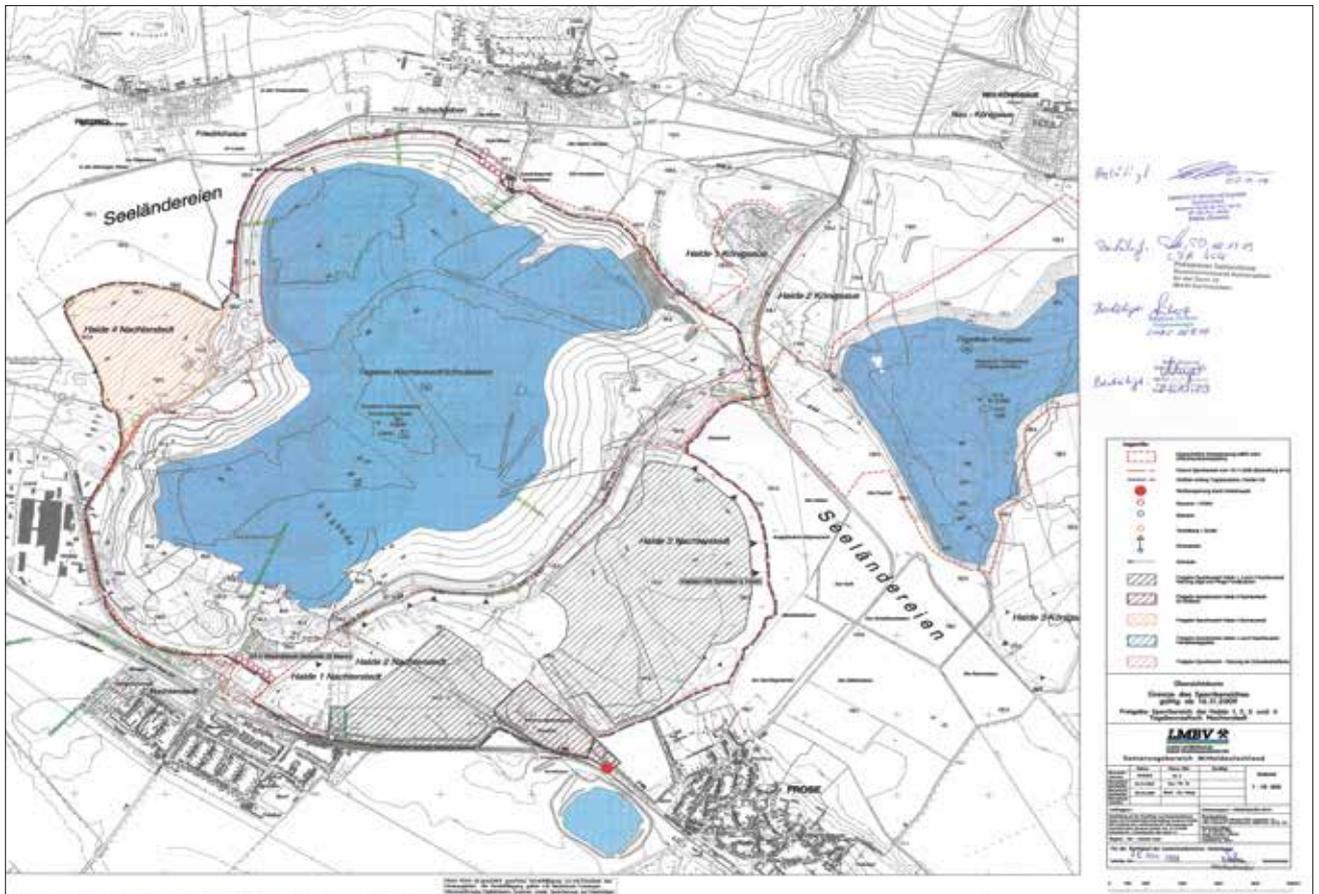


Abb. 1: Sperrgebiet Erdbeben Nachterstedt 2009

Die Geschäftsführung der LMBV veranlasste unter Hinzuziehung des Fachpersonals der LMBV und des zuständigen Sachverständigen für Geotechnik (SfG) in Abstimmung mit den behördlichen Vertretern eine erste Einschätzung der aktuellen geotechnischen Situation. Zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit wurde der Sperrbereich „Sperrgebiet Erdbeben Nachterstedt“ festgelegt. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, umschloss dieser den gesamten in Flutung befindlichen Concordia See weiträumig und bezog den Bereich der Siedlung „Am Ring“ mit ein.

Am 19.07.2009 wurde durch den zuständigen Landrat des Salzlandkreises der Katastrophenfall ausgerufen. Die Bewohner der Siedlung „Am Ring“ konnten am gleichen Tag unter Einhaltung höchster Sicherheitsvorkehrungen und in Begleitung der Feuerwehr ihre Häuser nochmals für ca. 30 Minuten betreten um wesentliche persönliche Dinge und Unterlagen zu bergen.

Die Geschäftsführung der LMBV setzte sofort eine Untersuchungskommission ein und signalisierte frühzeitig die Übernahme der Verantwortung für die eingetretenen Schäden und die Organisation einer schnellen Hilfe für alle von der Böschungsbewegung Betroffenen in Zusammenarbeit mit ihrem Gesellschafter, dem Bundesfinanzministerium, und dem Land Sachsen-Anhalt. Um die betroffenen Bürger bestmöglich zu unterstützen, war über einen längeren Zeitraum entsprechendes Fachpersonal der LMBV in Nachterstedt präsent.

Die Befliegung des südlichen Teils des Concordia Sees, in dem sich die Böschungsbewegung ereignet hatte, wurde noch am 18.07.2009 realisiert. Am 19.07.2009 folgten weitere Luftbildaufnahmen des gesamten Concordia Sees, so dass Luftbildauswertungen für weiterführende Bearbeitungen zeitnah verfügbar waren. Im Anschluss daran erfolgten im August und September 2009 Seebodenlotungen, welche aus Sicherheitsgründen mit einem vom Hubschrauber aus ferngesteuerten und bootsgebundenen Sonar durchgeführt wurden.

Zur Sicherung des Sperrbereichs vor unbefugtem Zutritt und vor Plünderungen wurden Absperrungen durch Bauzäune, Schranken und Zäunen aus Nato-draht (Foto 3) vorgenommen. Eine Wachschutzfirma übernahm die Bestreifung des Sperrbereichs und gleichzeitig die Zugangskontrolle im Bereich der Bahnhofstraße. Zum Schutz der leer stehenden Wohnhäuser in der Siedlung „Am Ring“ wurden zusätzlich Wärmebildkameras installiert, die das Gebiet permanent überwachten.



Foto 3: Absperrung Sperrgebiet durch Einzäunung mit Natodraht



Foto 4: Vermessungsingenieur mit Sicherungsequipment

Im unmittelbaren Hinterland des Rutschungskessels und den angrenzenden Böschungsbereichen wurde eine Vielzahl an markscheiderischen Messpunkten und Messlinien installiert, um weitere mögliche Bewegungsabläufe frühzeitig erkennen zu können bzw. diese zu kontrollieren.

Erst nach Bewertung der markscheiderischen und hydrologischen Messungen konnte durch den Sachverständigen für Geotechnik täglich eine Freigabe zum Begehen des Gebietes der Siedlung „Am Ring“ bis zur Abrisskante erfolgen. Darüber hinaus war das Betreten dieses Gebietes für alle notwendigen Tätigkeiten nur zulässig, wenn entsprechendes Sicherungsequipment eingesetzt wurde: Seilsicherung unter Nutzung eines Sicherungsgeschirrs, Mitführen eines „Lawinenpiepers“ und funktionstüchtigen Funkgeräten (Foto 4). Die Sicherung dieser Tätigkeiten erfolgte durch geschultes Personal der Bergwacht, welches auch in der Folgezeit die Erkundungs-, Überwachungs- und Sanierungsarbeiten begleitete.

Infolge der Böschungsbewegung musste mit deutlichen Veränderungen der Grundwasserstände im unmittelbaren Hinterland des Rutschungskessels und in den angrenzenden Bereichen gerechnet werden. Da die Grundwasserstände bzw. deren Schwankungen in kurzen Zeitintervallen einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit der Böschungen eines Tagebaurestloches haben können, wurden tägliche Grundwasserstandsmessungen bereits einen Tag nach der Böschungsbewegung großräumig aufgenommen und durch geotechnisches Fachpersonal ausgewertet.

Weiterhin wurde der Aufbau eines erweiterten Monitoringsystems erforderlich. Hierzu erfolgte ab Anfang September 2009 die Installation eines seismischen Messsystems mit dem Ziel mikroseismische und seismoakustische Vorgänge mit sehr geringen Energieabstrahlungen sowie Lageveränderungen zu detektieren. Dieses System stellte ein wesentliches Hilfsmittel zur Abschätzung von Gefährdungen für das Betreten des

Sperrgebietes und der Siedlung „Am Ring“ dar. Foto 5 zeigt beispielhaft den Aufbau eines seismischen Messpunktes.



Foto 5: **Aufbau seismischer Messpunkt in einem Wohnhaus der Siedlung „Am Ring“**

WEITERFÜHRENDE MASSNAHMEN

Parallel zu den vorrangig vor Ort realisierten Erstsicherungsmaßnahmen wurden in Übereinstimmung mit der Ursachenforschung sowie in Vorbereitung der Sanierung folgende Tätigkeiten durchgeführt:

- die intensive Aufarbeitung von Altunterlagen,
- die Beauftragung weiterer Fachgutachter im Rahmen der Ursachenforschung sowie in Vorbereitung der Sanierung,
- die Planung und Realisierung von Entwässerungsmaßnahmen,
- die Planung und Realisierung eines erweiterten Monitoringsystems,
- die Planung und Realisierung eines Erkundungsprogramms

auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Recherche zu geotechnischen und technologischen Altunterlagen

Mit Einstellung des aktiven Bergbaus zu Beginn der 1990er Jahre und der Zulassung des Abschluss-

betriebsplanes durch das LAGB am 30.09.1993 wurden schrittweise die Planung und Umsetzung der Sanierung des verbliebenen Tagebaurestloches begonnen. Diese Arbeiten waren im Jahr 2009 weit fortgeschritten. Ein Großteil der für die Sanierung erstellten bodenmechanischen, technologischen, hydrologischen, geologischen, und entwässerungstechnischen Gutachten und Planungsunterlagen waren archiviert. Die Böschungsbewegung 2009 erfasste nicht nur die sanierte Böschung im südöstlichen Teil des Tagebaurestloches, sondern auch einen Bereich, welcher bereits in der Anfangsphase des Tagebaus – in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts – ausgekohlt und wieder verkippt worden war. Damit war es erforderlich im Zusammenhang mit der Ursachenforschung umfangreiche Unterlagen sowohl zur Technologie des anfänglichen Tagebaubetriebes als auch für den Zeitraum als der Tagebau in den 1970er und 1980er Jahren hier in seine Endstellung gefahren wurde zu recherchieren. Gleiches traf für die Unterlagen zur Gestaltung der künftigen Seeböschungen zu, welche im Rahmen der Sanierung in den 1990er Jahren erstellt wurden.

Weiterhin waren zahlreiche Recherchen hinsichtlich der geologischen Verhältnisse und zu den vorhandenen bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen erforderlich. Die zu sichtenden Unterlagen waren somit innerhalb eines sehr großen Zeitraums erstellt und in verschiedenen Archiven abgelegt worden. Aufgrund des damit verbundenen enormen Rechercheumfangs und der Notwendigkeit kurzfristig relevante Unterlagen für die Ursachenforschung zur Verfügung zu stellen, beauftragte die LMBV Ingenieurbüros mit dieser Aufgabe. Der Ablageort wurde ermittelt, so dass anschließend die Sichtung und Bewertung der Unterlagen möglich war. Relevante Unterlagen wurden digitalisiert.

Erweiterung des Gutachterteams und Bildung von Facharbeitsgruppen

Der Umfang der notwendigen Untersuchungen zur Schadensursache und die Erarbeitung des Sanierungskonzeptes erforderten eine interdisziplinäre Verstärkung des Bearbeiterteams. So wurden folgende Fachfirmen und Gutachter beauftragt:

Obergutachter Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach (TU Darmstadt), Sachverständiger für Geotechnik Dr. Wittig (BIUG),

nachfolgend Herr Koitzsch (CDM), Generalplaner (GUB), Objektgeologen (HPC), Sachverständiger für Montanhydrologie Prof. Dr. – Ing. Mansel (IBGW), Hydrologie – Datenerfassung und Management (IHU), Altbergbau (GUB, L&S), Bergwacht (Sicherungs- und Rettungskräfte) und Sachverständiger für Altlastensanierung Maik Harles (SAKOSTA).

In den fachgebietsbezogenen Arbeitsgruppen Altbergbau, Bodenmechanik, Hydrologie und Geologie wurden die Rechercheergebnisse zeitnah sowie parallel zur Ursachenforschung ausgewertet.



Foto 6: Sachverständige und Vertreter des Generalplaners bei einer Befahrung des Rutschungskessels

Die Ergebnisse der Facharbeitsgruppen liefen bei dem Obergutachter Herrn Prof. Dr. Ing. Rolf Katzenbach zusammen, der mit der Ursachenforschung von der LMBV beauftragt war.



Foto 7: Prof. Dr.-Ing. Katzenbach und der Leiter der Projektgruppe der LMBV Dirk Henssen bei einer Begehung des Schadensbereiches

Planung, Erstellung und Umsetzung eines Entwässerungskonzeptes

Bereits anhand der ersten Rechercheergebnisse stellte sich heraus, dass der Schadensbereich schon während des aktiven Bergbaus ein absoluter Entwässerungsschwerpunkt war. Um weitere Deformationen im Rutschungskessel und im Hinterland zu verhindern, war es somit zwingend erforderlich schnellstmöglich Entwässerungsmaßnahmen einzuleiten.

In Anlehnung an die aus den Altunterlagen ersichtlichen Entwässerungsschwerpunkte des Liegendgrundwasserleiters und in Abstimmung mit den Sachverständigen wurden zunächst vier Filterbrunnenstandorte im Bereich der Froser Straße und der Halden 1 und 2 Nachterstedt geplant.

Auf dieser Basis wurde bereits Anfang August 2009 das Teufen der ersten beiden Filterbrunnen beim LAGB beantragt. Die Zulassung lag noch im gleichen Monat vor, so dass ab September 2009 mit der Realisierung dieser Filterbrunnen begonnen werden konnte. (Foto 8) Mit der Realisierung von zwei weiteren, im September 2009 beim LAGB beantragten und im November 2009 zugelassenen Filterbrunnen wurde noch im gleichen Jahr begonnen.

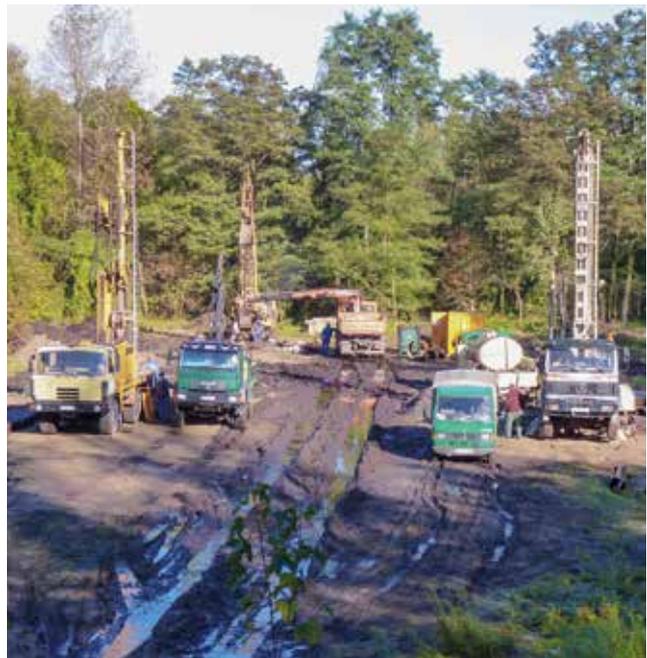


Foto 8: Bohrarbeiten zur Errichtung Brunnen 302 und von Grundwassermessstellen Halde 1 Nachterstedt

Vorlaufend zu den Filterbrunnenbohrungen wurden am jeweiligen Standort Erkundungsbohrungen (Rotaryspülbohrungen) geteuft, um den Ausbau der Filterbrunnen hydrogeologisch exakt vornehmen zu können. Die Inbetriebnahme dieser vier Filterbrunnen zur Liegendentspannung konnte schrittweise bis 2010 realisiert werden.

Da die Abbruchkante des Hauptrutschungskessels zu nah an der Westböschung der Nachterstedter Halden lag, musste die Rohrleitung zur Ableitung der gehobenen Wässer in die Selke aus Sicherheitsgründen weiträumig um die Halden herum verlegt werden.

Im Umkreis der Filterbrunnen wurden Grundwassermessstellen errichtet, um die Dynamik des Liegendgrundwasserleiters und die Beeinflussung des Hangendgrundwasserleiters (Kippe und Gewachsenes) während des Brunnenbetriebes zu kontrollieren.

Da im Einflussbereich der Brunnen auch Streckenrelikte des Altbergbaus (Entwässerungsstrecken) vorhanden waren, mussten zur Kontrolle zusätzliche Grundwassermessstellen im Streckensystem ausgebaut werden, um mögliche Nachsackungen im Deckgebirge und ggf. Tagesbrüche infolge der Entwässerungswirkung zu verhindern.

Generell bewertete der Sachverständige für Geotechnik alle Standorte vor Realisierungsbeginn bodenmechanisch. Erst nach seiner Freigabe konnte mit den Bohrarbeiten begonnen werden.

Im Ergebnis der Ursachenforschung und der fortlaufenden Unterlagenrecherche wurde ein weiterer Filterbrunnenrandriegel in der Südwestböschung (Foto 9) geteuft und schrittweise 2012/13 in Betrieb genommen. Dieser bestand pro Standort aus jeweils einem Hangend- und einem Liegendbrunnen sowie dazu begleitend abgeteuften Grundwassermessstellen.

Mit dem 2013 errichteten Filterbrunnenleitstand wurde ein permanent aufzeichnendes und automatisiertes Datenerfassungs- und Überwachungssystem für die Filterbrunnen und für ausgewählte Grundwassermessstellen geschaffen.



Foto 9: Bohrarbeiten Filterbrunnen im Bereich Südwestböschung

Im unteren Teil der Rutschungsflanke waren zum Teil sehr ergiebige Quellschüttungen vorhanden. Das austretende Wasser sammelte sich in der in Foto 10 erkennbaren Wasserfläche oberhalb des Seewasserspiegels. Um diese Wasseraustritte im Rutschungskessel zu reduzieren, wurde das Entwässerungssystem 2013 durch die Instandsetzung und Wiederinbetriebnahme des Altfilterbrunnens 176 unmittelbar hinter der Rutschungsflanke ergänzt.



Foto 10: Blick in den Rutschungskessel mit Wasseransammlungen, 2010

Zur Regulierung des derzeit behördlich festgelegten maximalen Wasserstandes im Concordia See von +85 m NHN wurde im Oktober 2010 eine Wasserhaltung im nordwestlichen Böschungsbereich des Tagebaurestloches in Betrieb genommen (Foto 11). Die gehobenen Wässer werden in den nordwestlichen Hauptseegraben abgeschlagen.



Foto 11: Wasserhaltung zur Ableitung in den Hauptseegraben

Sicherung, Bergung und Abriss der Gebäude

Im Vorgriff auf die Sanierung des Rutschungsbereiches war es erforderlich, die Häuser der Siedlung „Am Ring“ zu beräumen und abzureißen. Zu diesem Zweck wurden die Häuser von der LMBV aufgekauft und die Bewohner entschädigt, mögliche Gefährdungsobjekte, wie Heizöl- und Gastanks waren zu bergen (Foto 12). Nachdem am 19.07.2009 die betroffenen Bewohner der Siedlung „Am Ring“ letztmalig ihre Häuser betreten konnten, wurden im Oktober 2009 nochmals die Häuser unter Einhaltung strikter Verhaltensregeln durch die Sicherungs- und Rettungskräfte zur Bergung persönlicher Gegenstände begangen. Die hierzu erforderliche Freigabe erfolgte durch den Sachverständigen für Geotechnik, nachdem alle erforderlichen Messergebnisse des zwischenzeitlich umfangreich installierten Monitoringsystems ausgewertet worden waren. Dazu zählten:

- markscheiderische Messprofile und Einzelmesspunkte,
- Rissmonitoring,
- GPS-Messungen,
- Grundwasserstandsmessungen,
- seismische Messungen
- Bewertung von Gipsmarken an den Häusern.



Foto 12: Sicherung Flüssiggastank in der Siedlung „Am Ring“ durch den Sachverständigen für Geotechnik Dr. Wittig, Juli 2009

Der Abriss der Gebäude der Siedlung „Am Ring“ erfolgte in der Zeit von Oktober 2012 bis April 2014 (siehe Foto 13). Auch hierzu war es erforderlich, dass arbeitstäglich eine Freigabe des Sachverständigen für Geotechnik vorlag, nachdem von ihm die wesentlichen Monitoringergebnisse überprüft worden waren.



Foto 13: Abriss der Häuser der Siedlung „Am Ring“

Aufbau von Tagesanlagen und der Einsatz von Dispatchern

Die Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Ursachenforschung, dem Erkundungsprogramm an Land und auf dem See sowie in Vorbereitung und der Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen erforderten vor Ort eine hohe personelle und technische Präsenz verschiedener Firmen, so dass die Schaffung von Tagesanlagen sowie eines Dispatcherdienstes zwingend notwendig wurden. Dazu wurde ab Mitte 2010 auf dem Gelände des ehemaligen Sportplatzes Nachterstedt ein voll ausgestatteter Tagesanlagenbereich mit Baustelleneinrichtungen (Bürocontainer, Sanitär-einrichtungen, Lagerhalle und -flächen) für LMBV, Auftragnehmer, Gutachter, Behörden, Wachschatz und Ingenieurbüros geschaffen und ein koordinierender Dispatcherdienst installiert.

Die Aufgaben des Dispatchers wurden in Abstimmung mit allen am Projekt beteiligten Sachverständigen festgelegt und im Dispatchereinsatzkonzept vom November 2010 fixiert. In der Folgezeit war es mehrfach erforderlich diese Unterlage entsprechend dem Erkenntniszuwachs aus dem Erkundungsprogramm und der Ursachenforschung fortzuschreiben und dem Sanierungsstand entsprechend anzupassen.

Zu den wesentlichen Aufgaben des Dispatchers zählte die Überwachung und Registrierung der Personenbewegungen im Sperrbereich, um im Alarmierungs- oder Ereignisfall schnellstmöglich reagieren bzw. den Sperrbereich evakuieren zu können. Alle im Sperrbereich tätigen Personen wurden mit Betriebsfunk ausgerüstet, so dass eine ständige Verbindung zum Dispatcher vorhanden war. Für das Betreten sowie für die im Sperrbereich auszuführenden Tätigkeiten wurden in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik Verhaltensanforderungen formuliert und vom LAGB zugelassen. Deren Einhaltung war durch die Dispatcher zu kontrollieren und zu überwachen. Aufgabe des Dispatchers war auch das Führen eines Logbuchs, in dem neben den Personenbewegungen im Sperrbereich alle wesentlichen Meldungen zur arbeitstäglichen Freigabe und Fortführung der Arbeiten festgehalten wurden. In der Meldeliste erfasste der Dispatcher ebenfalls arbeitstäglich alle vor Ort tätigen Firmen und Personen sowie die Zeiträume, in denen sie vor Ort präsent waren.



Foto 14: Dispatcher und Unternehmerkontrolleure LMBV

Der Dispatcher fungierte damit als zentrale Stelle zwischen den verschiedenen vor Ort tätigen Arbeitsmannschaften, der LMBV und den Gutachtern, welcher die Informationen des Monitoring- und Überwachungssystems entsprechend weiterzuleiten hatte und bei Notwendigkeit die Evakuierung des Sperrgebietes veranlasste. Zur arbeitstäglichen Freigabe der Arbeiten vor Ort war gemäß Dispatchereinsatzkonzept eine Checkliste durch den Dispatcher abzuarbeiten (siehe Abb. 2).

| Lfd. Nr. | Inhalt | Beurteilungskriterium/Maßnahme |
|----------|--|--|
| 1 | Arbeitstägliche Kontrolle der Meldungen der automatischen marscheiderischen Messungen | Es sind keine sicherheitsrelevanten Messgrößen gemessen worden (Messwerte < Alarmwerte). |
| 2 | Arbeitstägliche Meldung der seismischen Überwachung (K-UTEC) aus automatischen Messungen (per Mail von K-UTEC am Morgen) | Es sind keine sicherheitsrelevanten Messgrößen gemessen worden (Messwerte < Alarmwerte). |
| 3 | Arbeitstägliche Meldung der hydrologischen Überwachung (IHU) aus automatischen bzw. manuellen Messungen (per Mail von IHU Tagesauswertung vom Vortag, Frühmeldung mit eingegangenen Alarman und dem Datenstand für Zeitraum zwischen letzter Tagesmeldung und Arbeitsbeginn am Morgen) | Es sind keine sicherheitsrelevanten Messgrößen gemessen worden (Messwerte < Alarmwerte). |
| 4 | Status Rutschungswarnanlage | Es liegt keine Störungsmeldung vor. |
| 5 | Sicht | > 250 m |
| 6 | Wetter | Bewertung von Unwetterwarnungen etc. |
| 7 | Funktionsprüfung Funk | Funk ist einsatzbereit |
| 8 | Funktionsprüfung der Warnanlage | Funktest am Vortag erfolgreich |
| 9 | Bereitschaft Bergwacht | Meldung durch Bergwacht |
| 10 | Meldung Freigabebereitschaft an den StG nach Abarbeitung der Punkte 1 bis 9 | Freigabe durch den StG |
| 11 | Bereitschaft Böschungsbeobachter | Dienstantritt des Böschungsbeobachters beim Dispatcher, danach Meldung über Funk, dass Position bezogen wurde |
| 12 | Bereitschaft Arbeitsmannschaft | Meldung des AN (Anzahl und Namen des Einsatzpersonals und Bereitschaft) |
| 13 | Freigabe der Arbeiten an die Arbeitsmannschaft | Freigabe der Arbeiten durch den bergrechtlich Verantwortlichen der LMBV oder einem von ihm benannten Mitarbeiter |

Abb. 2: Checkliste zur täglichen Freigabe der Arbeitsbereiche



Foto 15: Dispatcherarbeitsplatz

Installation, Betrieb und Auswertung Monitoring

Zur Absicherung der im Rahmen der Ursachenforschung und Sanierung vorgesehenen Maßnahmen erforderte die geotechnische Situation die Anwendung der im Bergbau und Bauwesen anerkannten und dem Stand der Technik entsprechenden Beobachtungsmethode. Wesentlich dabei ist der Einsatz von Monitoring- und Überwachungssystemen sowie von Böschungsbeobachtern.

Wie erwähnt wurde mit der Installation eines Monitoringsystems bereits unmittelbar nach dem Rutschungsereignis begonnen. Entsprechend der Sicherheitslage und des Erkenntniszuwachses sowie abgestimmt auf die Sanierungstätigkeiten wurde das Monitoringsystem entsprechend weiterentwickelt, verifiziert und angepasst.

Zusammengefasst bestand dieses aus Folgenden Elementen:

- Hydrologisches Monitoring mittels Grundwassermessstellen an Land und in die Grundwasserleiter eingebrachten Piezometern im Seegrund versehen mit Datenloggern und direkter Verknüpfung zur Alarmierung
- Seismisches Monitoring mit direkter Verknüpfung zur Alarmierung

- Markscheiderisches Monitoring
- GPS-Messungen mit direkter Verknüpfung zur Alarmierung
- drei permanent aufnehmende Videokameras
- Böschungsbeobachter
- Regelmäßige geotechnische Kontrollen aller Böschungsbereiche an Land (Begehungen) und vom See aus (per Boot); in Bereichen mit Betretungseinschränkungen aufgrund geotechnischer Gefährdung erfolgte der Einsatz von Drohnen (Foto 16)
- Installation von Rutschungswarnanlagen sowie von Oberflächenextensiomern im benachbarten östlichen Kippensystem



Foto 16: Einsatz der Drohnen für geotechnische Kontrollen

Im Dispatchereinsatzkonzept wurden durch den Sachverständigen für Geotechnik Schwellen- und Alarmwerte für Grundwasserstände an ausgewählten Messstellen – sowohl an Land als auch im See – festgelegt. Gleiches traf sowohl für markscheiderische Messpunkte bzw. Messlinien als auch für die seismischen Messungen im Bereich der Siedlung „Am Ring“ und im Umfeld des gesamten Tagebaurestloches zu. Die tägliche Auswertung der relevanten Messergebnisse erfolgte fachbezogen durch die entsprechenden beauftragten Ingenieurbüros. Die Messergebnisse wurden abschließend zusammenfassend durch den Sachverständigen für Geotechnik bewertet. Erst nach Vorlage seiner Empfehlung konnten die Arbeiten im Sperrbereich gemäß gültigem Dispatchereinsatzkonzept frei gegeben werden.

Technologische Schwerpunkte der historischen Tagebauführung im Bereich der Böschungsbewegung 2009 und die Auswirkungen auf angrenzenden Böschungsbereiche

Der Aufschluss, die Kohlegewinnung und die Verkipfung der Grube Concordia begann 1856 unmittelbar westlich der späteren Böschungsbewegung 2009 (Foto 17).



Foto 17: Tagebau Concordia 1876 etwa im Bereich der Böschungsbewegung 2009

Im Anschluss erfolgte die Tagebauführung im Parallelbetrieb zunächst in östliche Richtung und wurde im Schwenkbetrieb entgegen der Uhrzeigerichtung fortgeführt. 1965 war die Auskohlung bis an den sogenannten Werkpfeilerbereich heran realisiert. Der Werkpfeilerbereich schloss unmittelbar nördlich an den Abbaubereich der Grube Concordia an. Zwischen 1975 und 1994 wurde die Gewinnung und Verkipfung im Werkpfeilerbereich realisiert (Foto 18).



Foto 18: Luftbild Tagebau Nachterstedt 13.06.1969 mit Abrisskanten der Böschungsbewegungen 2009 und 2016

Vor diesem Hintergrund war es im Zusammenhang mit der Ursachenforschung und der Sanierungsplanung zwingend erforderlich die Historie des Tagebaus in den entsprechenden zum Teil sehr weit auseinanderliegenden Zeiträumen aufzuarbeiten, wobei technologische Aspekte und geotechnische Probleme im unmittelbaren Bereich der Böschungsbewegung 2009 und in den angrenzenden Kippenböschungen die besonderen Schwerpunkte darstellten. Dazu zählten u. a. Angaben zu Entwässerungselementen vor allem zu solchen im Tagebauliegenden, Angaben zur Kippenzusammensetzung, zu Verkippungsstrukturen und zu Verkipfungsgrenzen. Dabei wurden alle verfügbaren technologischen Unterlagen, wie z. B. Jahresbetriebspläne, Monatstechnologien und Protokolle der damaligen Tagebausicherheitsaktive, die zeitlich nahezu bis in die Anfangszeit des Tagebaus zurückreichend vorlagen, ausgewertet.

Ausgehend vom geologischen Aufbau des Deckgebirges und der Zwischenmittel sowie der Schnittzuordnung zu den einzelnen Baggern auf der Gewinnungsseite des Tagebaus wurde die Kippenzusammensetzung abgeschätzt. Anhand der Recherche zur Kippenführung und Zuordnung der Verkipfungsmassen zu den betriebenen Absetzern war es im Ergebnis der Recherchen möglich, die Beschaffenheit des Kippenmaterials ortsbezogen einzuschätzen.

Auf dieser Basis konnten im Anschluss die erforderlichen Nacherkundungsmaßnahmen gezielt realisiert werden, um in den für bodenmechanische Untersuchungen relevanten Kippenbereichen weiterführende Erkenntnisse zur Bewertung der Böschungsstandssicherheit zu erzielen.

Die Ergebnisse dieser Recherchen und Untersuchungen zur Beschreibung der Kippen im Abgleich mit den Ergebnissen der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung gaben den Anlass zur Fortschreibung der bisherigen Sanierungsstrategie im südwestlich und östlich angrenzenden Kippenböschungssystem. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurden zusätzlich zu den bisher vorgenommenen Böschungsregulierungen weitere Maßnahmen zum Schutz der Böschungen gegenüber dynamischen Anregungen und außergewöhnlichen hydraulischen Belastungen im Verflüssigungsfall veranlasst.

Die umfangreichen Recherchearbeiten zum Werkpfeilerbereich und zu den angrenzenden Kippen wurden durch das Ingenieurbüro GUB realisiert.

Erkundungskonzept, geologische Fachbegleitung sowie Erstellung geologisches 3D-Modell

Eine weitere wesentliche Grundlage sowohl für die Ursachenforschung als auch für die Sanierung war die Erfassung und Bewertung geologischer Altdaten (Bohrungen, geologische Schnittdarstellungen, Erkundungsberichte). Im Ergebnis dieser Recherche war es erforderlich für die Ursachenforschung den erheblichen Umfang an relevanten Daten durch das Ingenieurbüro HPC digitalisieren zu lassen. Im Rahmen einer Defizitanalyse wurden in Zusammenarbeit und Abstimmung mit dem Obergutachter, dem Sachverständigen für Tagebauentwässerung, dem Sachverständigen für Geotechnik, dem Bearbeiter für Altbergbau sowie dem Objektgeologen Ansatzpunkte und Zielvorgaben für weitere notwendige Erkundungsbohrungen festgelegt.

Berücksichtigung fanden dabei die Anforderungen aus Sicht der Ursachenforschung, der Hydrologie, der Bodenmechanik, der Erkundung von Altbergbau-Relikten sowie des zu qualifizierenden geologischen Modells. Alle im Ergebnis der Defizitanalyse neu zu teufenden Bohrungen wurden in mehreren Ergänzungen zum Abschlussbetriebsplan hinsichtlich ihrer Zielstellung erläutert und beim LAGB zur Zulassung eingereicht. Die Bohransatzpunkte befanden sich sowohl an Land als auch im See, wobei die Bohrungen, deren Ansatzpunkte sich im See befanden, eine besondere Herausforderung darstellten. Diese wurden vom Ponton aus realisiert (Foto 19).



Foto 19: Bohrergeräte auf Ponton im Bereich der östlichen Rutschungsflanke

Durch den Sachverständigen für Geotechnik wurde jeder Bohransatzpunkt hinsichtlich Standsicherheit im Böschungssystem und Tragfähigkeit des Untergrundes bewertet sowie bei Erfordernis mit entsprechenden Empfehlungen frei gegeben. Die geologische Betreuung der Bohrungen wurde durch den Objektgeologen gewährleistet.



Foto 20: Bohrergerät im Bereich Ostböschung beim Teufen einer Grundwassermessstelle

Ein Großteil der Erkundungsbohrungen wurde zu Grundwassermessstellen ausgebaut, die zudem eine qualifizierte Grundwasserprobenahme zur Ermittlung der Grundwasserbeschaffenheit ermöglichen (Foto 20).

Im Ergebnis der Recherche der Altunterlagen begann ab 2010 der Aufbau eines digitalen geologischen 3D-Modells. Dieses wurde nachfolgend durch die neuen Erkundungsergebnisse schrittweise ergänzt und fortgeschrieben. Eingang fanden dabei auch das digitale Tagebauliegend- und Altbergbaumodell. Beide Modelle sind federführend durch das Ingenieurbüro L&S anhand der markscheiderischen Altunterlagen zu den einzelnen Gewinnungs- und Verkippsständen des Tagebaus Nachterstedt sowie zur Altbergbausituation (inkl. Verbleib von alten Entwässerungsstrecken) erstellt worden.

Qualifizierung des hydrogeologischen Modells

Als Basis für die geotechnische Bearbeitung und Begleitung der Sanierung und Flutung eines Tagebaurestloches bis zum Erreichen stationärer Grundwasserstände dienen geohydraulische Modelle die jeweils durch einen Sachverständigen für

Montanhydrologie federführend bearbeitet werden. Für das Tagebaurestloch Nachterstedt existieren seit den 1990er Jahren erste numerische Simulationen zum Grundwasserwiederanstieg. Das hydrogeologische Modell Nachterstedt und Königsau, welches unter anderem für den Planfeststellungsantrag benötigt wird, weist ein Grundraster von 250 m auf und bildet in Teilbereichen Rasterabstände von bis zu 16 m ab. Es wurde durch das Ingenieurbüro IBGW erstellt und wird durch deren Mitarbeiter weiter betreut und aktualisiert.

Um die hydrologischen Verhältnisse im Schadensgebiet der Böschungsbewegung von 2009 hinreichend zu klären und damit einen wesentlichen Beitrag zur Ursachenforschung zu leisten, war es erforderlich zunächst gezielt in diesem Bereich weitere Grundwassermessstellen zu teufen. Ein Großteil davon wurde im See als Piezometermessstellen realisiert. Auf dieser Grundlage konnte das bestehende hydrogeologische Modell vorerst auf das nähere Umfeld des Rutschungsbereiches bezogen fortgeschrieben und verifiziert werden.

In der Folgezeit standen gemäß Erkundungskonzept schrittweise weitere Grundwassermessstellen zur Verfügung, so dass weitere Präzisierungen des geohydrologischen Modells erfolgen konnten. Dies betrifft im Wesentlichen die Bereiche der Ost- bzw. Südwestböschung, in denen zur Stabilisierung der kippen Böschungen gegenüber Verflüssigung, versteckte Stützkörper mittels Rüttelstopf- bzw. Rüttel-druckverdichtung erforderlich wurden.

Neubewertung der „Altablagerung Schwelerei-rückstände“ infolge der Teilfreilegung durch die Böschungsbewegung 2009

Bei den Sanierungsarbeiten im Jahr 2007 wurde im Bereich einer geplanten Slipanlage am Anleger Nachterstedt ein Areal mit Schadstoffen (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, monoaromatische Kohlenwasserstoffe und Alkylphenole) angetroffen. Dieses wird im Folgenden als „Altablagerung Schwelerei-rückstände“ bezeichnet und liegt westlich der Böschungsbewegung 2009. Ein 2009 kurz vor der Böschungsbewegung erstelltes erstes Sanierungskonzept sah die teilweise Auskoffnung von belasteten Böden vor.

Durch die Böschungsbewegung wurde die Altablagerung in ihrem östlichen Randbereich frei gelegt und zu einem geringen Teil auch erfasst (Foto 21). Somit bestand unmittelbarer Handlungsbedarf, um eine akute Gefährdung zu erkennen und ggf. den sich in Flutung befindlichen Concordia Sees zu schützen.



Foto 21: Rutschungskessel mit Kennzeichnung der Teilfreilegung Altablagerung und Slipanlage

Daraufhin wurden Wasserproben aus dem See und dem Grundwasser sowie Bodenproben aus der Rutschungsflanke und aus Bohrungen entnommen (Foto 22) und untersucht. Das bestehende Sanierungskonzept wurde überprüft und gemeinsam mit dem auf Altlastenuntersuchungen spezialisierten Ingenieurbüro SAKOSTA in ein die Sanierung des Rutschungskessels sowie die geplante Folgenutzung berücksichtigendes innovatives Sicherungskonzept überführt.



Foto 22: Wasserprobenahme aus dem Rutschungskessel mit Sicherung durch die Rettungs- und Sicherungskräfte

Ergebnis der Ursachenforschung der Böschungsbewegung 2009

Die Ursachenforschung zur Klärung der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 erfolgte unter Leitung des Obergutachters Prof. Katzenbach. Nach Abschluss intensiver Recherchen, Erkundungsarbeiten, Bewertungen und interdisziplinärer Zusammenarbeit konnte am 30.05.2013 der Abschlussbericht zur Ursachenforschung vorgelegt werden (Foto 23).



Foto 23: Übergabe der Ursachenberichte im Magdeburger Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft durch Dr.-Ing. Michael Clostermann, Minister Hartmut Möllring, Prof. Dr.-Ing. Mahmut Kuyumcu und Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach (v. l.)

Die Schadensursache wurde darin auf der Basis der umfangreich erhobenen Messdaten und der darauf aufbauenden Standsicherheitsberechnungen widerspruchsfrei identifiziert. Die Ergebnisse werden im folgenden Fachbeitrag zur Ursachenforschung detailliert beschrieben.

Erst mit der Vorlage dieses Ursachenberichtes und der Bestätigung der Ergebnisse durch das LAGB war die wesentlichste Voraussetzung erfüllt, um mit der Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes beginnen zu können.

Erarbeitung Sanierungskonzept Grundlage von Standsicherheitsuntersuchungen

Parallel zur Ursachenforschung unter der Leitung von Prof. Katzenbach (TU Darmstadt) wurde das Ingenieurbüro GUB ab 2010 mit der Generalplanung aller im

Rahmen der Ursachenforschung, Vermisstensuche und Sanierung umzusetzenden Maßnahmen beauftragt. In Wahrnehmung dieses Auftrags und in enger Abstimmung mit den Fachabteilungen der LMBV wurden fortgeschrieben:

- für den Sachverständigen für Geotechnik unterstützend bodenmechanische Aufgaben bearbeitet,
- technologische Lösungen erarbeitet
- Ergänzungen zum Abschlussbetriebsplan zur Einreichung beim LAGB erstellt
- Ausschreibungen für die vielfältig vor Ort umzusetzenden Arbeiten vorbereitet
- die Baumaßnahmen vor Ort begleitet
- 2014 das Rahmenkonzept zur Sanierung erarbeitet und 2017.



Foto 24: Abstimmungen zur Sanierung zwischen Generalplaner und der Projektgruppe der LMBV

Projektberatungen und Abstimmungen in engem Kontakt mit LAGB und Stadt Seeland

Die Situation nach der Böschungsbewegung 2009, das Ausmaß der eingetretenen Schäden wie auch, dass während der Sanierung in der Südwestböschung 2016 ausgelöste Setzungsfließen erforderte eine enge Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen der LMBV, den Mitarbeitern der Bergbehörde und den Vertretern der Stadt Seeland.

So wurden von Beginn an nahezu alle Handlungen vor Ort mit den Vertretern des LAGB und deren Gutachtern abgestimmt. Genehmigungen und Zulassungen

wurden seitens der Behörde zeitnah geprüft und ausgereicht. Ab August 2009 fanden in regelmäßigen – zunächst in sehr engen und später in etwas größeren Zeitabständen Jours fixe statt, um übereinstimmend und kurzfristig handlungsfähig zu sein.

In regelmäßigen Beratungen informierte die LMBV darüber hinaus die Stadt Seeland zum Stand der Ursachenforschung, zur Suche der Vermissten, zur Planung und Umsetzung der Sanierung – kurz zu allen vor Ort umzusetzenden Maßnahmen. Diese Informationsveranstaltungen fanden zunächst im wöchentlichen Rhythmus und später in abgestimmten größeren Abständen und unter Beteiligung des LAGB statt. Wesentliche Informationen, wie zum Beispiel zum Verlauf der Sperrbereichsgrenze, zum Stand der Ursachenforschung oder der Sanierung, veröffentlichte die LMBV im Amtsblatt der Stadt Seeland, in Pressemitteilungen, der Homepage der LMBV oder auch in Stadtratssitzungen und öffentlichen Informationsveranstaltungen gemeinsam mit dem LAGB, dem anhaltinischen Wirtschaftsministerium und der Stadt Seeland.



Foto 25: Pressekonferenz nach dem Böschungsunfall vor Medienvertretern (vorne links Landrat Ulrich Gerstner, daneben Projektmanager der LMBV Mathias Siebert)

Vorgezogene touristische Folgenutzung

Im Frühjahr 2019 waren die Sanierungsarbeiten soweit fortgeschritten, dass durch den Sachverständigen für Geotechnik eine nutzungsorientierte

Sicherheitsbewertung aller den Concordia See umschließenden Böschungen vorgenommen wurde. Nach intensiver Abstimmung mit dem LAGB, den behördlichen Vertretern des Salzlandkreises und der Stadt Seeland konnte im Ergebnis dieser Bewertung eine Teilfreigabe eines Abschnittes im Bereich des Nordufers (Schadelebener Ufer) sowie einer Teilfläche des Concordia Sees für eine vorgezogene touristische Nutzung ausgesprochen werden.

Die „Allgemeinverfügung zur Regelung des Gemeingebrauchs auf dem nördlichen Teil des Concordia Sees“ des Salzlandkreises ist seit 13. Juli 2019 gültig und bildet dafür die gesetzliche Grundlage.



Foto 26: symbolische Wegnahme des Zaunes zur Aufhebung des Sperrbereiches am Nordufer Schadeleben

Zwischen der Stadt Seeland und der LMBV wurde ein Vertrag über die vorgezogene Folgenutzung des für den Gemeingebrauch zugelassenen nördlichen Teils des Concordia Sees geschlossen. Dieser regelt die Verantwortlichkeiten für die touristische Nutzung auf den, weiterhin unter Bergaufsicht stehenden, freigegebenen Böschungsbereichen und der Wasserfläche des Concordia Sees.

Die touristische Entwicklung am Concordia See wird durch die Seeland GmbH, eine Tochtergesellschaft der Stadt Seeland und der Stadt Aschersleben, vorangetrieben.



LMBV – Projektträgerin der Braunkohlesanierung

Hauptziel des Unternehmens ist die schnelle und wirtschaftliche Sanierung der im Zuge der Wiedervereinigung Deutschlands Anfang der 1990er Jahre stillgelegten Tagebaue und Veredlungsbetriebe. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung zur Nachnutzung dieser Standorte für die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe, für Land- und Forstwirtschaft, den Naturschutz sowie für die touristische Nutzung.

Die Wiedernutzbarmachung der ehemaligen Betriebsflächen erfolgt gemäß den im Bundesberggesetz festgelegten Verpflichtungen. Die LMBV zeichnet als Bergbauunternehmen und Projektträgerin insbesondere verantwortlich für die Erreichung der in den Regionalplanungen der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen definierten Sanierungsziele, die Herstellung der öffentlichen Sicherheit und die Vorbereitung der geplanten Nachnutzungen. Die Verwahrung stillgelegter Kali-, Spat- und Erzbergwerke ist seit Mitte 2014 ebenfalls ein Sanierungsbereich der LMBV.

Damit leistet die LMBV bzw. ihre Rechtsvorgänger seit 25 Jahren einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung des Lausitzer und mitteldeutschen Braunkohlereviers.

LMBV 
Lausitzer und Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

**Lausitzer und
Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungs-
gesellschaft mbH
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
www.lmbv.de**

METHODIK UND ERGEBNIS DER URSACHENFORSCHUNG/ERKUNDUNGSMASSNAHMEN

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach, Dipl.-Ing. Anke Werner und Dr.-Ing. Sebastian Fischer

BÖSCHUNGSBEWEGUNG AM 18.07.2009

Am frühen Morgen des 18.07.2009 hat sich an der Südböschung des Tagebaurestloches Nachterstedt, dem Concordia See, eine großräumige Böschungsbewegung ereignet (Foto 1).



Foto 1: Luftbildaufnahme des Rutschungskessels nach der Böschungsbewegung in Nachterstedt am 18.07.2009 (Befliegung am 18.07.2009)

Unmittelbar nach der Böschungsbewegung zeigten sich am 18.07.2009 und auch danach noch im Bereich des Rutschungskessels zahlreiche Strudellöcher mit Materialauswurf (Foto 2). Der Materialauswurf wurde als Tertiärsand des Liegenden identifiziert. Die Strudellöcher haben gezeigt, dass auch nach der Böschungsbewegung noch ein so hoher Wasserdruck in der Bodenschicht unter der Restkohle und dem abdichtenden Liegendton, d. h. im dortigen Grundwasserleiter GWL 6.3, vorhanden gewesen war, dass es zu Liegendwasserdurchbrüchen, also zum hydraulischen Grundbruch nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054/2010, gekommen ist. Der Grundwassersituation war demnach besondere Aufmerksamkeit zu widmen.



Foto 2: Strudellöcher mit Materialauswurf im Bereich des Rutschungskessels (Aufnahmedatum 28.08.2009)

METHODISCHER ANSATZ ZUR ERMITTLUNG DER SCHADENSURSACHE

Zur Ermittlung der Schadensursache wurde ein methodisch breit aufgestelltes, interdisziplinäres Monitoring- und Messprogramm mit einer Vielzahl von seismischen, geotechnischen, hydrogeologischen, geodätischen und geophysikalischen Messungen im Feld und Labor entworfen und unter Würdigung der Angemessenheit von Art und Umfang der jeweiligen Maßnahmen sukzessive fortgeschrieben und umgesetzt.

Der Schwerpunkt der Ursachenforschung lag auf den potentiellen Einflussfaktoren

- Dynamisches Initial / Seismik
- Hydrogeologie / Aquifere
- Geologie / Boden / Kippen / Gewachsenes
- Altbergbau / Altstrecken

inkl. deren eventueller Wechselwirkungen.

Neben dieser inhaltlichen Ausrichtung wurden bei der Ursachenforschung für jeden der vier potentiellen Einflussfaktoren die nachfolgend aufgeführten methodischen Arbeitsschritte abgearbeitet:

- Historische Recherche
- Messungen
- Modellbildungen
- Berechnungen
- Validierung
- Iteration
- Ergebnisse.

GEOLOGISCHER UND HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die Nachterstedter Braunkohlenlagerstätte mit den Teilfeldern Nachterstedt, Schadeleben, Königsau und Frose-Wilsleben (Bergmannsverein Nachterstedt 2010) ist ein eng begrenztes, an die nordwestlichen Randsenken des Ascherslebener Salzsattels gebundenes Tertiärvorkommen einer Muldenstruktur (Bachmann et al. 2008). Die Basis der Mulde besteht aus verwittertem Festgestein des Trias (Basalton). Auf engstem Raum kommt es lateral zum Wechsel unterschiedlichster Gesteinspakete mit stark differierenden Subrosionseigenschaften. Die Mächtigkeit der auf dem prätertiären Untergrund aufliegenden tertiären Schichtenfolge kann im Muldenzentrum deutlich mehr als 100 m betragen. Das Tertiär beginnt mit einer mächtigen Basisfolge. Den oberen Bereich des Tertiärs bildet der Flözkomplex.

Erosiv überlagert wird das Tertiär durch pleistozäne und holozäne Bildungen, die im jüngeren Senkungsgebiet der Seeländereien höhere Mächtigkeiten erreichen. Die in Abbildung 1 dargestellte abstrahierte Schnittdarstellung dokumentiert schematisch die geologische Situation. Das für die Böschungsbeziehung vom 18.07.2009 maßgebliche Schichtpaket ist in Abbildung 1 mit „TT“ gekennzeichnet und ist i.W. wie folgt gegliedert:

- Altbergbaustrecken und Bruchfelder
- Grundwasserleiter GWL 6.3 (Hauptmittel)
- Liegendgrundwasserleiterkomplexe (GWL 7.1, 7.2, 7.3, 7.4/7.5)

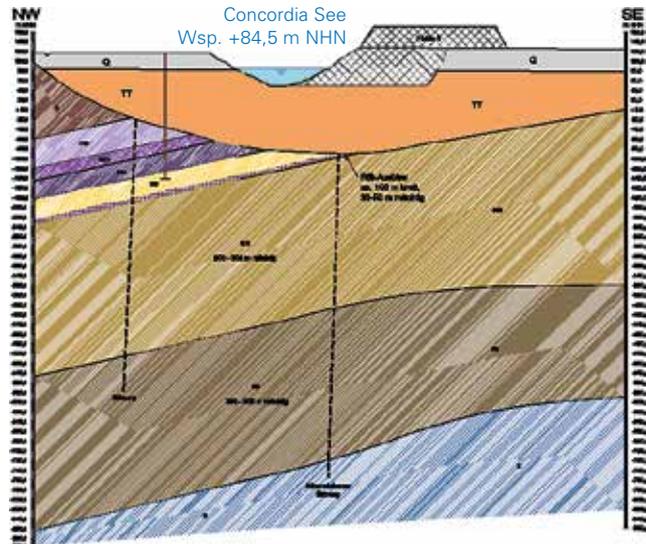


Abb. 1: Schematischer Prinzipschnitt durch das Braunkohlebecken und die Seeländereien (überhöhte Darstellung)

TEKTONIK

Nachterstedt ist Teil der Subherzynen Senke. In der Literatur (z. B. Rappsilber & Heckner, 2012) werden das varistisch bzw. prävaristisch angelegte, durch herzynisch streichende Längs- und erzbergigisch bzw. rheinisch ausgerichtete Querstörungen untergliederte Schollenmosaik der Subherzynen Senke und die sich daraus ergebenden Erkenntnisse umfassend beschrieben (Abbildung 2).

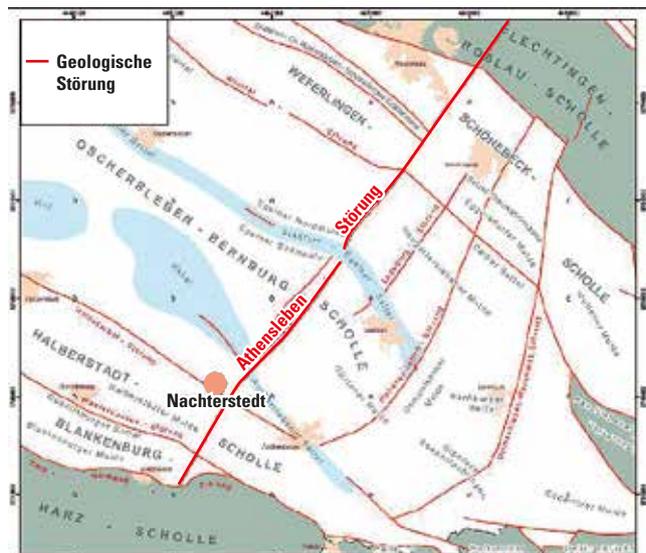


Abb. 2: Tektonische Karte Subherzyn mit Lage der Athensleben-Störung (geändert nach Rappsilber & Heckner, 2012)

DURCHGEFÜHRTE ERKUNDUNGSMASSNAHMEN

Im Zuge der Ursachenforschung sind die komplexe Lagerstättenstruktur und die Stütz- und Altkippenmassive mit Hilfe von 186 Aufschlussbohrungen an 88 Erkundungsstandorten sowohl an Land als auch auf dem Concordia See unter Einsatz von drei Pontons (Foto 3) für die Bohr- und Sondierarbeiten mit insgesamt rd. 12.840 Bohrmeter sowie 28 Brunnenbohrungen erkundet worden (Abbildung 3).



Abb. 3: Bohrstandorte im und um den Concordia See; Erkundungsbohrstandorte (rot), Brunnenbohrstandorte (gelb)



Foto 3: Erkundung auf dem Concordia See vom Ponton aus

Es wurden bohrlochgeophysikalische Untersuchungen und Laboruntersuchungen an rd. 2.200 Bodenproben durch die TU Darmstadt und durch die projektbeteiligten Ingenieurbüros zur Bestimmung bodenmechanischer, bodendynamischer und hydrogeologischer Parameter vorgenommen.

Zur Erfassung der Grundwasserverhältnisse wurden 184 Grundwassermessstellen inkl. Piezometern installiert.

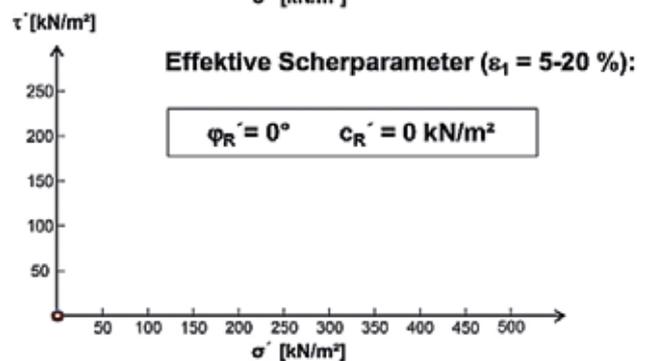
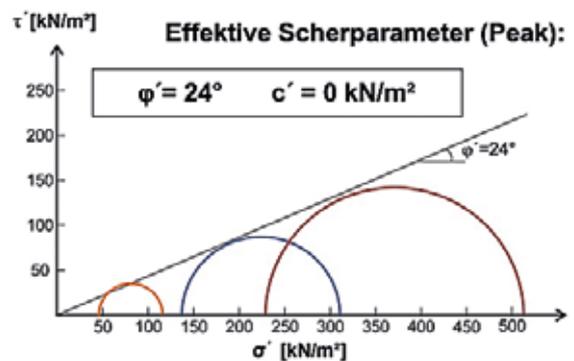
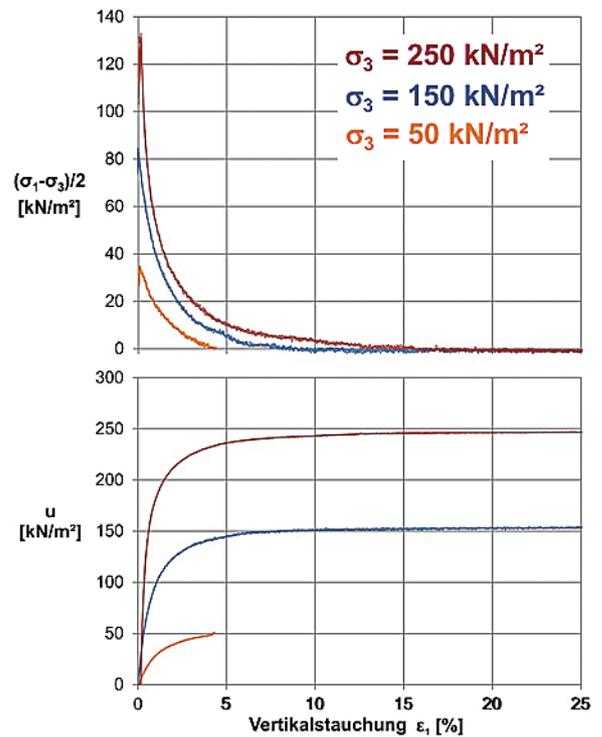


Abb. 4: Bestimmung der Scherfestigkeit des locker gelagerten Sandes im anisotrop konsolidierten, undrainierten Triaxialversuch (CU-Versuch); Porenanteil $n = 0,42 > n_{krit}$

Die wirksame Scherfestigkeit (Peak) des locker gelagerten Tertiärsandes (Bodengruppe SE nach DIN 18196) mit einem Porenanteil von $n = 0,42$ wurde im anisotrop konsolidierten, undrainierten Triaxialversuch (CU-Versuch) zu $\varphi' = 24^\circ$ bei $c' = 0$ ermittelt (Abbildung 4).

Bei einer Stauchung von $\epsilon_1 = 5-20\%$ verflüssigt der locker gelagerte Tertiärsand, so dass die Restscherfestigkeit zu $\varphi'_R=0$ und $c'_R=0$ wird (Abbildung 4).

Bei einer Verflüssigung kommt es bei entsprechender Beanspruchung innerhalb weniger Sekunden zu einem Phasenwechsel: der vor der Verflüssigung granulare Feststoff Boden mutiert schlagartig zu einer Suspension, die keine Scherfestigkeit besitzt ($\varphi'_R = 0$; $c'_R = 0$). Anstelle der Gesetzmäßigkeiten der Bodenmechanik gelten nun die Gesetzmäßigkeiten der Fluidmechanik (vgl. Abbildung 5).

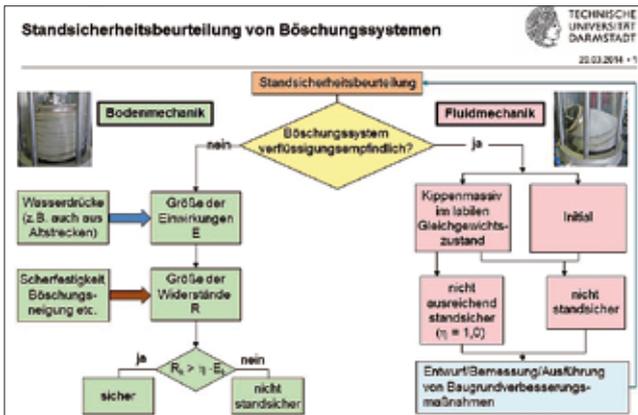


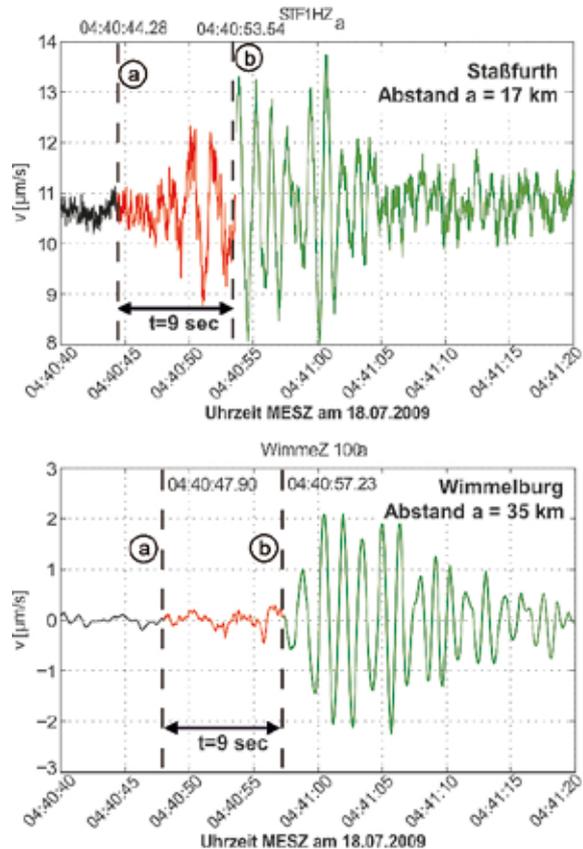
Abb. 5: Ablauf der Standisicherheitsbeurteilung für verflüssigungsempfindliche Böden

Zur Gewährleistung der Sicherheit aller bei den Erkundungsmaßnahmen zur Ursachenforschung vor Ort tätigen Akteure wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) ein umfassendes Sicherheitskonzept umgesetzt. Dieses beinhaltet ein Monitoring- und Überwachungsprogramm gemäß den Anforderungen der Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1.

**MESSUNGEN
SEISMOLOGISCHE MESSUNGEN**

Am Morgen des 18.07.2009 wurden um 04:40 Uhr MESZ von den seismologischen Observatorien seismische

Ereignisse registriert, die in enger zeitlicher und räumlicher Verbindung zur Böschungsbewegung Nachterstedt stehen (Abbildung 6). Die seismischen Messungen beginnen an den nächstgelegenen Messstationen mit einem höherfrequenten Vorgang, einem dynamischen Initial (Primärereignis), mit einer Vorzugsfrequenz von rd. 5 Hz (Abbildung 7). Die Messungen wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, und von der Universität Leipzig vorgenommen und ausgewertet. Die Universität Leipzig gibt die aus dem höherfrequenten Vorgang resultierende Raumwellenmagnitude in ihrem Bulletin für den Monat Juli 2009 mit $M_L = 1,0$ an.



Phase a-b: höherfrequentes Primärereignis (Initial)

Phase nach b: niederfrequentes Sekundärereignis (Rutschung)

Abb. 6: Gemessenes Primär- und Sekundärereignis; Seismogramme mit identischen Zeitabständen bei unterschiedlicher Stationsentfernung von Staßfurt und Wimmelburg

Durch das Primäreignis, das dynamische Initial, ist eine seismische Energie von 2.000 kNm freigesetzt worden, was zu einer nicht vorhersehbaren dynamischen Belastung auf das Böschungssystem durch eine Beschleunigung von $a_{\text{dyn}} = 0,55 \text{ m/s}^2$ geführt hat. Zu diesem Primäreignis gehört eine Relativverschiebung von 1-2 mm, also ein tektonisches Ereignis im Festgestein.

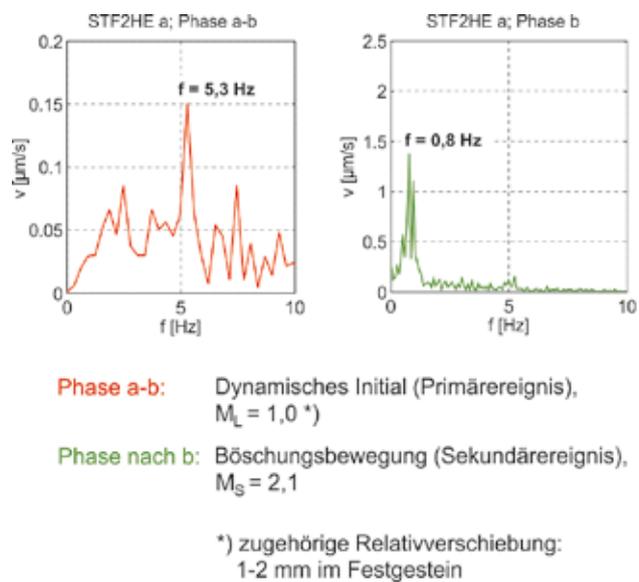


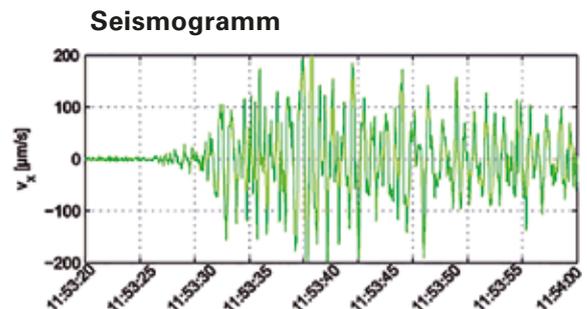
Abb. 7: Gemessenes Primär- und Sekundäreignis Frequenzspektrien des an der Station Staßfurt (STF1, Ost-West-Richtung) (Originaldaten BGR, LAGB; Farben und Marken a und b ergänzt)

Erst nach diesem höherfrequenten Initial, das schadensursächlich ist, ist ein zweiter seismischer Vorgang, das Sekundäreignis, aufgezeichnet worden. Die Universität Leipzig gibt die Magnitude des niederfrequenten Vorganges des Sekundäreignisses in ihrem Bulletin mit $M_S = 2,1$ an.

Die Messungen an den nächstgelegenen Messstationen belegen eindeutig und widerspruchsfrei das Auftreten zweier getrennter seismischer Ereignisse, und zwar u.a. auch dadurch, dass die Zeitpunkte, die den höherfrequenten vom niederfrequenten Vorgang bzw. vom Grundrauschen abgrenzen, an den verschieden weit entfernten Messstationen Staßfurt und Wimmelburg gleiche zeitliche Abstände besitzen (Abbildung 6).

Die zwei am 18.07.2009 gemessenen, nacheinander aufgetretenen seismischen Vorgänge, das

höherfrequente Primäreignis und das niederfrequente Sekundäreignis unterscheiden sich deutlich von der Seismik, die bei einem reinen Erdrutsch ohne vorheriges Initial auftritt. Ein derartiger Erdrutsch ist in Form einer Lockergesteinsrutschung am 12.10.2010 im ehemaligen Tagebau Spreetal an der Düne Süd aufgetreten, wo infolge eines Grundbruchs, also einer reinen Massenbewegung des Bodens, lediglich eine niederfrequente Vorzugsfrequenz von 1,1 Hz ohne ein vorlaufendes, höherfrequentes Initial gemessen worden ist (Abbildung 8). Bei diesem Grundbruch gab es demnach kein höherfrequentes, der Lockergesteinsrutschung vorauslaufendes dynamisches Initial. Die beim Erdrutsch in Spreetal gemessene niederfrequente Vorzugsfrequenz von 1,1 Hz liegt in der Größenordnung wie die am 18.07.2009 beim Sekundäreignis, d.h. die Böschungsbewegung, in Nachterstedt mit 0,8 Hz gemessene niederfrequente Vorzugsfrequenz. Anders ausgedrückt bedeutet



Frequenzspektrum

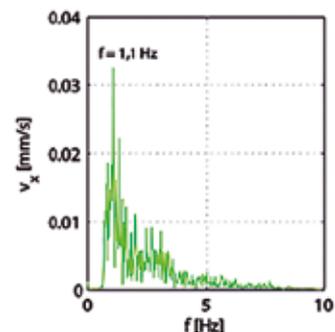


Abb. 8: Seismogramm, Frequenzspektrum und Foto des Grundbruchs Düne Süd Spreetal

dies, dass sich eine reine Massenbewegung des Bodens, ein Erdbeben, über die Größe der Vorzugsfrequenz deutlich gegenüber einem stets höherfrequenten Vorgang (dynamisches Initial, Sprengung etc.) abgrenzen lässt. Böschungsbewegungen sind im Lockergestein stets niederfrequente Vorgänge (Amitrano et al. 2007, Zembaty 2004).

HYDRODYNAMISCHE MESSUNGEN

Nach der Böschungsbewegung ist der Wasserstand im Liegendgrundwasserleiter GWL 6.3 an der Grundwassermessstelle GWM 1870 (Abbildung 9) um insgesamt 5,5 m abgesunken (Abbildung 10).

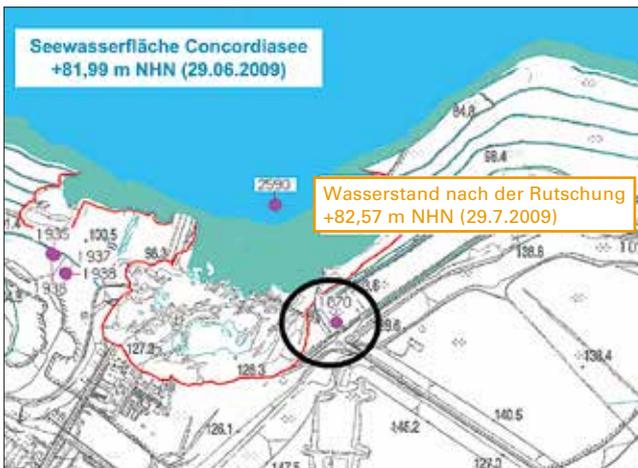


Abb. 9: Lage der Grundwassermessstelle GWM 1870 mit der Seewasserfläche vor/nach der Böschungsbewegung

Zur Beurteilung des Druckwasserspiegels im Grundwasserleiter GWL 6.3 unmittelbar vor der Böschungsbewegung wurde im Jahr 2012 mittels gezielter Brunnenabschaltungen ein Wiederanstiegsversuch an der Grundwassermessstelle GWM 1870 mit folgendem Ergebnis durchgeführt:

- Die Druckreduktion um 5,5 m ist die Folge von im Zuge der Böschungsbewegung neu entstandenen bzw. aktivierten hydraulischen Fenstern zwischen dem Grundwasserleiter GWL 6.3, dem Kippenmassiv und dem Concordia See.

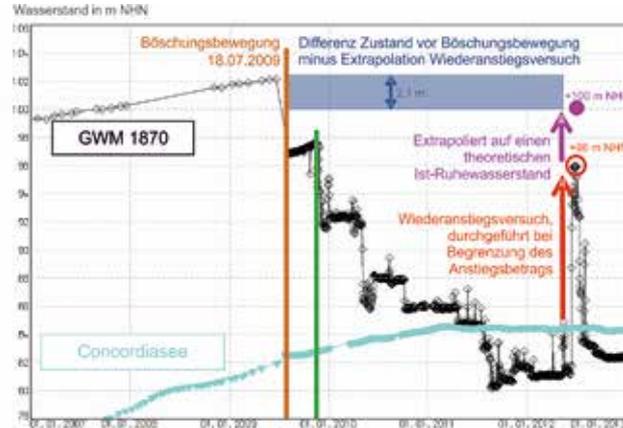


Abb. 10: Ermittlung der Differenz zwischen dem Zustand vor der Böschungsbewegung zum extrapolierten Zustand nach dem Wiederanstiegsversuch

- Unter dem Rutschungskessel wurde eine räumlich eng begrenzte und sehr ungewöhnliche Anomalie im Grundwasserleiter GWL 6.3 in Form einer Rinnenstruktur gemessen. In dieser im Rahmen der Ursachenforschung identifizierten Rinnenstruktur wird im Bereich des Rutschungskessels in einer Druckblase artesisch gespanntes Grundwasser unter das Kippensystem geführt (Abbildung 11). Der in der anomalen Rinnenstruktur herrschende Überdruck lag vor der Böschungsbewegung 18 m hoch über dem Seewasserspiegel.



Abb. 11: Druckblase unter dem Rutschungskessel infolge der im Rahmen der Ursachenforschung identifizierten hydrogeologischen Anomalie einer Rinnenstruktur im Grundwasserleiter GWL 6.3

Diese hinsichtlich ihrer räumlichen und hydrogeologischen Anomalie identifizierte Besonderheit im Grundwasserleiter GWL 6.3 führte zu einer nicht vorhersehbaren Einwirkung auf das Stützkippsystem. Wie alle durchgeführten Kontrollberechnungen und Parameterstudien zeigen, ist das Stützkippsystem allerdings so dimensioniert, dass diese nicht vorhersehbare Einwirkung vom Stützkippsystem sicher aufgenommen werden kann.

Dies bedeutet, dass die im Grundwasserleiter GWL 6.3 identifizierte Anomalie für sich alleine nicht schadensursächlich ist.

GEOLOGIE/BODEN/KIPPEN/GEWACHSENES

Hinsichtlich der Geologie ist festzustellen, dass die beschriebene hydrogeologische und damit auch geologische Anomalie des Grundwasserleiters GWL 6.3 als mit schadensursächliches Element identifiziert worden ist, und dass die bislang kartierte Prätertiärbasis, also ein Faktum über den tieferen Untergrund, um mehrere Dekameter angepasst werden musste.

Zu den Klassifikationsparametern, nämlich Korngrößenverteilung, Porenanteil und Lagerungsdichte, ist Folgendes festzustellen:

Die zumindest mitteldicht, i.W. dicht gelagerte Altkippe ist gut tragfähig und besteht hauptsächlich aus quartären schluffigen Sanden und Kiesen und untergeordnet aus enggestuften gleichförmigen Tertiärsanden. Wie die den Rutschungskessel umschließende Steilböschung in der Altkippe zeigt, ist die Altkippe standsicher, wenn sie nicht durch unvorhersehbare Einwirkungen überbeansprucht wird, wie dies am 18.07.2009 geschehen ist.

Das Stützkippsystem besteht – mit zahlreichen Ausnahmen – an vielen Stellen aus enggestuften gleichförmigen Tertiärsanden, die locker gelagert sind. Die Korngrößenverteilung dieser Sande liegt im Spektrum der verflüssigungsempfindlichen Böden. Das tatsächliche Verflüssigungspotential ist im Zuge der Flutung des Tagebaurestloches Nachterstedt in dynamischen Probelastungen mittels mehrerer zeitlich nacheinander realisierter Testsprengungen überprüft worden. Bei den dynamischen Probelastungen trat keine signifikante Verflüssigung auf. Gleiches wurde bei

dem dynamischen Energieeintrag im Zuge der Herstellung der Rütteldruckverdichtung (RDV)-Dämme für die direkt neben dem Rutschungskessel liegende Slipanlage und zur Sicherung der benachbarten Altablagerung festgestellt. Das Stützkippsystem hat diese Energieeinträge schadlos aufgenommen.

Zu den Festigkeitsparametern wird Folgendes festgestellt:

Die bodenmechanischen Festigkeitsparameter, die den erdstatischen Nachweisen der Kippensysteme zugrunde gelegt worden waren, liegen auf der sicheren Seite, wenn keine Verflüssigung zu besorgen ist.

ALTBERGBAU/ALTSTRECKEN

Alle durchgeführten Untersuchungen zum Altbergbau und alle Messungen in den Altstrecken und im Umfeld der Altstrecken zeigen, dass die Bruchfelder und die Altstrecken lagestabil sind, und dass dort kein hydraulisches Regime herrscht, das auf eine hydraulisch wirksame Verbindung zwischen dem Restloch Frose, wo das Druckniveau mit rd. +112 m NHN 30 m höher liegt als am Concordia See, zurückzuführen wäre.

Mit allen Kontrollbohrungen (Abbildung 12) und den zugehörigen Messungen wurde festgestellt, dass die Altstrecken verwahrt sind. Schon aus diesem Grund ist es nachvollziehbar, dass die Altstrecken kein schadensrelevantes hydraulisches Regime bilden.

Mit den Untersuchungen der Altstrecken ist auch festgestellt worden, dass der unmittelbar nördlich vor dem Rutschungskessel im Concordia See liegende Restkohlefeiler trotz der großvolumigen Böschungsbewegung vom 18.07.2009 an Ort und Stelle verblieben und unversehrt ist. Dies gilt auch für die im Restkohlefeiler erbohrten Altstrecken, die verwahrt sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Altbergbau und die Altstrecken nicht schadensursächlich sind.

BERECHNUNGEN/MODELLBILDUNGEN

Basierend auf den durch die Messungen gewonnenen neuen Erkenntnissen konnte der Ablauf der Böschungsbewegung mit Hilfe von Böschungsbruchberechnungen

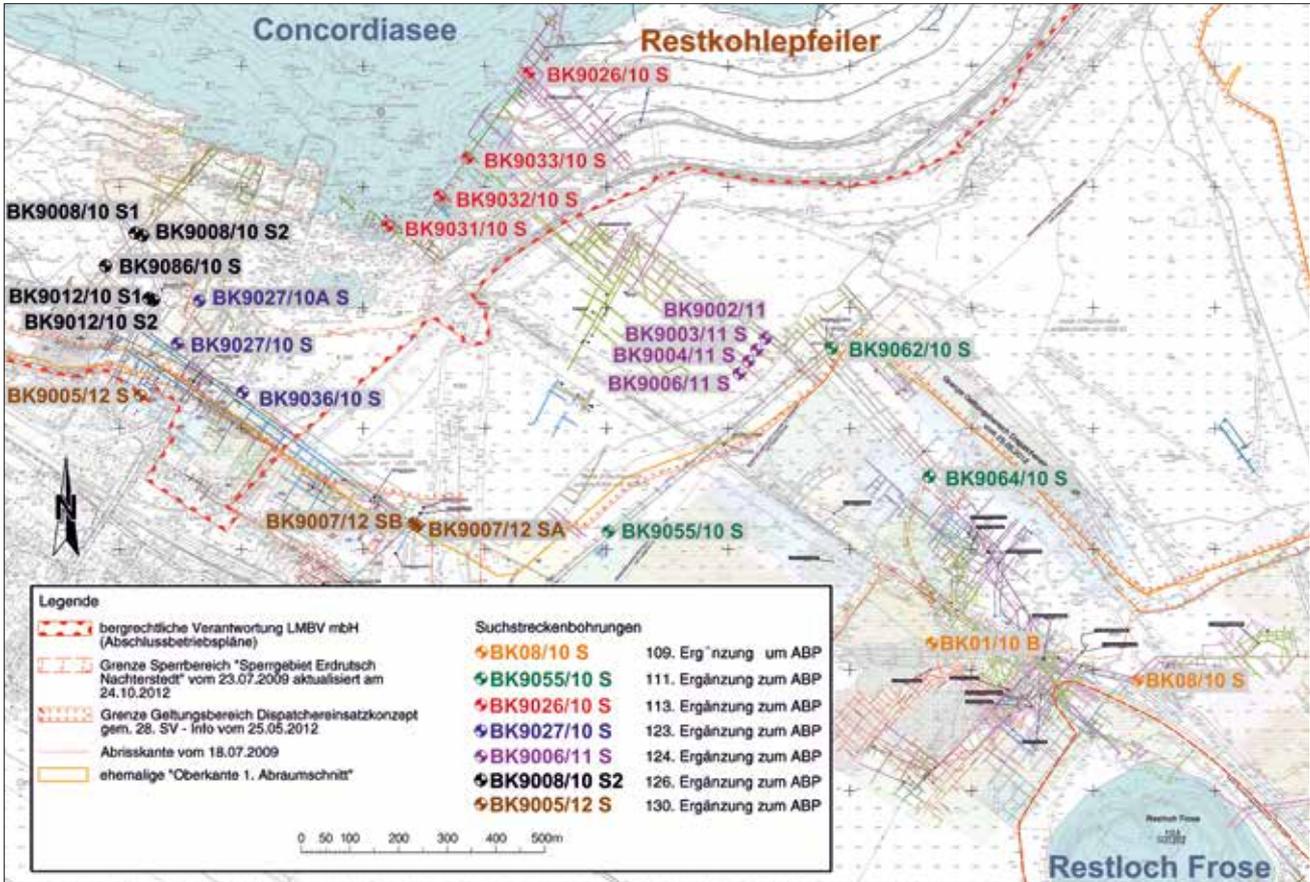


Abb. 12: Lageplan Erkundungsbohrungen Altbergbau, Streckensystem Stand 10/2010

nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik nachvollzogen werden.

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgten nach dem deterministischen Sicherheitskonzept; die globale Sicherheit η ergibt sich aus dem Quotienten der Summe der charakteristischen, d.h. 1,0-fachen Widerstände $R_{k,i}$, und der Summe der charakteristischen, d.h. 1,0-fachen Einwirkungen $E_{k,j}$, wie folgt:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n R_{k,i}}{\sum_{j=1}^m E_{k,j}}$$

Die Berechnung des unter dem Grundwasser- bzw. unter dem Seewasserspiegel liegenden Stützkippen-systems erfolgte mit der oben beschriebenen charakteristischen Scherfestigkeit von

- Reibungswinkel $\varphi' = 24^\circ$ und
- Kohäsion $c' = 0$.

Die Böschungsbruchberechnungen (vgl. Abbildung 13) wurden im Sinne einer Systemanalyse für die verschiedensten Stationen des Böschungssystems durchgeführt. Als Belastungen wurden

- der Wasser- und Strömungsdruck im Hangenden, dies sind die oberflächennahen quartären Schichten sowie die Alt- und Stützkippe, und
- der Wasser- und Strömungsdruck im Liegenden, infolge des artesisch gespannten Wassers im Grundwasserleiter GWL 6.3

auf das Böschungssystem aufgebracht. Variiert wurden die Belastung aus dem gemessenen dynamischen Initial mit der Magnitude $M_L = 1,0$ und die Lage und Größe eines eventuell vorhandenen hydraulischen Fensters, also einer hydraulischen Verbindung zwischen dem Grundwasserleiter GWL 6.3, dem Stützkippen-system und dem Concordia See.

Wird bei der Böschungsbruchberechnung ein hydraulisches Fenster zwischen dem Grundwasserleiter GWL

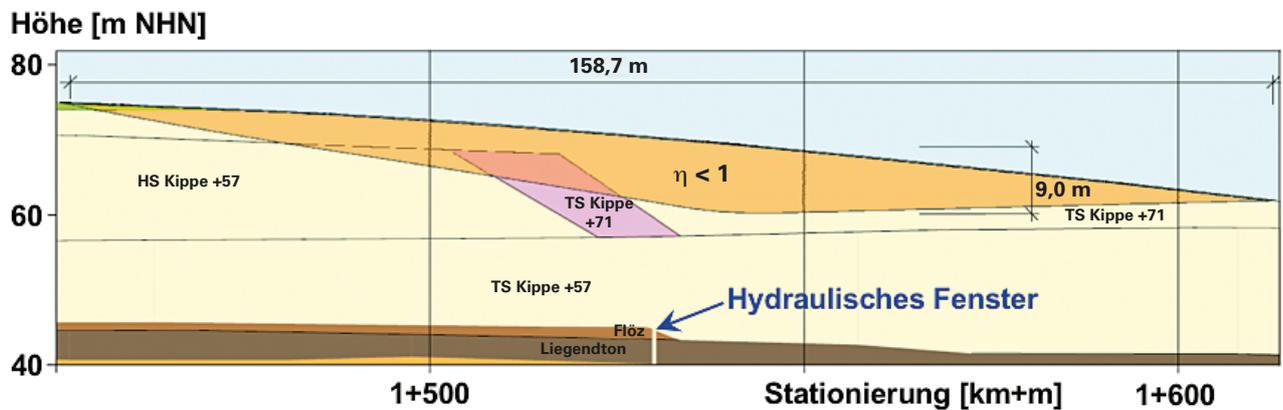


Abb. 13: Druckblase: Böschungsbruchberechnung mit hydraulischem Fenster (Bereich 1+530), Geotechnischer Schnitt 20 mit dynamischem Initial; Umhüllende der Gleitkreise mit der Standsicherheit $\eta < 1$

6.3 und dem Stützkippensystem angesetzt, dann ist die Böschung trotz des enormen Strömungsdrucks immer noch standsicher; erst wenn eine zusätzliche Belastung durch das dynamische Initial einwirkt, kommt es zum Versagen und zum Ausfließen des Stützkippensystems (Erdrutsch), was zu dem von der Universität Leipzig gemessenen seismischen Sekundärereignis mit der Magnitude von $M_S = 2,1$ geführt hat.

Dieses Sekundärereignis, d.h. die durch das Versagen des Stützkippensystems fehlende Stützung der Altkippe, und der nahezu unverändert hoch in der Altkippe anstehende Kippenwasserstand führten in der Folge zum staffelbruchartigen, rückschreitenden Versagen der Altkippe.

Als Folge des Versagens des Stützkippensystems und der ersten Staffelbrüche der Altkippe und wegen des damit einhergehenden Verlusts der Bodenauflast verringerte sich die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch im Bereich des Rutschungskessels auf $\eta < 1$. Als Folge der Böschungsbewegung trat im Bereich des Rutschungskessels ein lokales Versagen in Form der Strudellöcher (Foto 3) auf, nachdem das Stützkippensystem und die Altkippe in den Concordia See abgerutscht waren. Der über die Strudellöcher stattfindende Materialauswurf ist so lange aufgetreten, bis sich der Liegendwasserdruck im Grundwasserleiter GWL 6.3 so weit reduziert hat, dass sich im Endzustand ein bodenmechanisches und hydrodynamisches Gleichgewicht eingestellt hat. Dieser neue Gleichgewichtszustand wurde mit der Messung der Druckreduktion an der Grundwassermessstelle GWM 1870 um insgesamt $\Delta h = 5,5$ m messtechnisch erfasst (Abbildung 10).

SCHADENSURSACHE/SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Schadensursache für die Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde auf der Basis der umfangreich erhobenen Messdaten und der darauf aufbauenden, hinsichtlich Standsicherheitsberechnungen in der DIN 4084 normativ geregelten Modellbildungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik widerspruchsfrei wie folgt identifiziert (vgl. Abbildung 14):

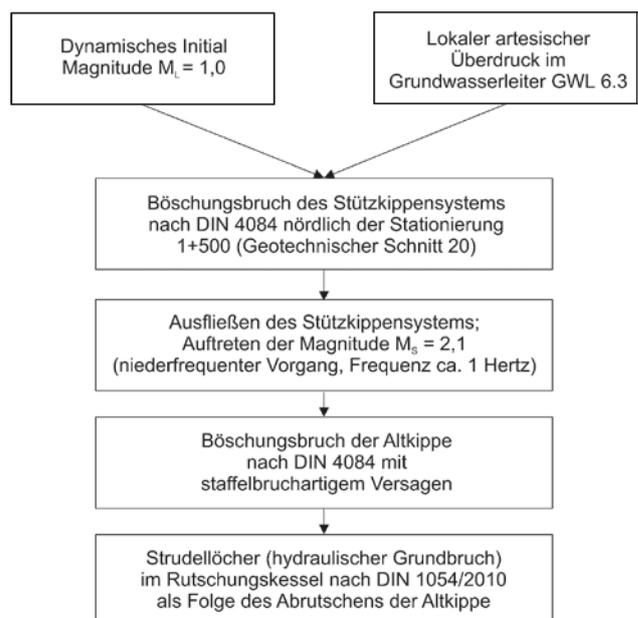


Abb. 14: Ursachen und Ablauf der Böschungsbewegung vom 18.07.2009

Die Böschungsbewegung ist durch das Zusammen- treffen

- der unplanmäßigen Zusatzbelastung des Böschung- systems durch ein dynamisches Initial (Phase a-b, rot in Abbildung 15) mit dem

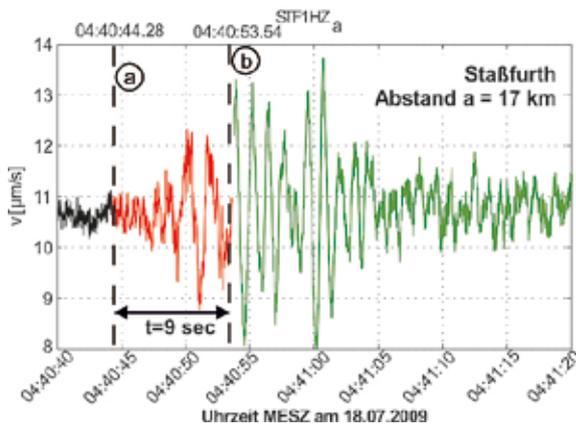


Abb. 15: Gemessenes Seismogramm, Station Staßfurt STF1HZ

- unvorhersehbaren, hohen artesischen Wasserüber- druck, der eine Folge der anomalen lokalen Rinnen- struktur des Grundwasserleiters GWL 6.3 ist (vgl. Druckblase in Abbildung 16) verursacht worden.

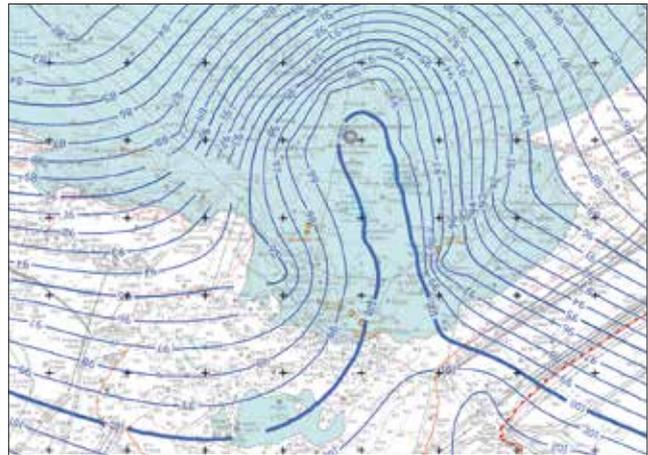


Abb. 16: Druckblase im GWL 6.3

Katzenbach Ingenieure

*Sachverständigen-Gutachten
Beratung · Planung
Forschung · Entwicklung*

*Bodenmechanik · Felsmechanik
Baugrund-Tragwerk-Interaktion
Tunnelbau · Dammbau
Geothermie · Umweltgeotechnik*



65931 Frankfurt am Main
Pfaffenwiese 14A
Tel: +49 (0)69 / 9362230
Fax: +49 (0)69 / 361049

64625 Bensheim
Darmstädter Straße 170
Tel: +49 (0)6251 / 86052-16
Fax: +49 (0)6251 / 86052-15

64293 Darmstadt
Robert-Bosch-Straße 9
Tel: +49 (0)6151 / 13013-10
Fax: +49 (0)6151 / 13013-20

01011 Kiew (Ukraine)
Kreschatik Street
7/11, office 602
Tel: +38 044 / 49592-65
Fax: +38 044 / 49592-64

69469 Weinheim
Wachenbergstraße 13
Tel: +49 (0)6201 / 25 83-36
Fax: +49 (0)6201 / 25 83-37

Sitz: Frankfurt am Main
Amtsgericht Frankfurt am Main
Handelsregister HRB 51538
USt-IDNr.: DE 213095261
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001
www.katzenbach-ingenieure.de
E-Mail: sekretariat@katzenbach-ingenieure.de

Literatur/Quellen:

1. Amitrano, D., Gaffet, S., Malet, J.-P., Maquaire, O. (2007): Understanding mudslides through micro-seismic monitoring: The Super-Sauze (South French Alps) case study. Bulletin de la Société Géologique de France 178, 2, 149-157.
2. Bachmann, G. H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
3. Bergmannsverein Nachterstedt (2010): Nachterstedt – Beiträge zur Bergbaugeschichte im Braunkohlerevier Ascherlsee-Nachterstedt, 2. Auflage, BK Verlag, Staßfurt.
4. Rappsilber, I., Heckner, J. (2012): Athensleben-Störung, Kenntnisstandsanalyse, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
5. Universität Leipzig (2009): Bulletin, Observatorium Collm, Institut für Geophysik und Geologie
6. Weichert, D., Horner, R. B., Evans, S.G. (1994): Seismic Signatures of Landslides: the 1990 Brenda Mine Collapse and the 1965 Hope Rockslides. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(5), 1523-1532.
7. Zembaty, Z. (2004): Rockburst induce ground motion – a comparative study. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 11-23.

THEMENKOMPLEX 2

Sanierung nach der
Böschungsbewegung 2009



Zentrale Rutschungsflanke mit Altablagerung, 2020

SANIERUNG DER FOLGEN DER BÖSCHUNGSBEWEGUNG VOM 18.07.2009

Autor: Dipl.-Ing. Steffen Hoffmann

VORBEMERKUNGEN

In Übereinstimmung mit der Regionalplanung wurde der „Abschlussbetriebsplan Tagebau Nachterstedt/Schadeleben und Tagebau Königsau“ (ABP) am 07.10.1992 dem Bergamt in Sachsen-Anhalt übergeben und von diesem am 30.09.1993 zugelassen. Das Ziel der Wiedernutzbarmachung ist die Herstellung eines Landschaftssees mit intensiver touristischer Nutzung. Nach der Genehmigung des ABP wurden umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt und anschließend mit der Flutung des Concordia Sees begonnen.

Am 18.07.2009 ereignete sich an der Südböschung eine großräumige Böschungsbewegung.

Nach dem Abschluss der umfangreichen Erkundungsmaßnahmen zur Ursachenforschung und dem Vorliegen des Abschlussberichtes zur Ursachenforschung der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde die Sanierung des ehemaligen Tagebaus Nachterstedt/Schadeleben fortgeführt.

Der zukünftige Concordia See soll gemäß ABP einer weitgehend uneingeschränkten öffentlichen Nutzung zur Verfügung stehen.

Folgende Sanierungsziele stehen dabei im Vordergrund:

- Herstellung einer standsicheren Böschungskontur,
- Herstellung eines erosionssicheren Böschungssystems oberhalb und unterhalb des zukünftigen Endwasserspiegels,
- Sicherung der zukünftigen Wasserwechselzone,
- Sicherung der zukünftigen Unterwasserböschungen während der Flutungsphase,
- Sicherung der Altablagerung Schwelereirückstände,
- Schadloسة Fassung und Einleitung des zuströmenden Grundwassers und von Niederschlagswasser,
- Wiederherstellung der Infrastruktur (Wege- und Straßenbau, Slipanlage, Infopunkt).

Die Gestaltung der Böschungskonturen wurde auf einen mittleren Endwasserspiegel des Concordia Sees von +103 m NHN abgestellt und erfolgte unter Berücksichtigung einer langsamen Flutung, d.h. ein Wasserspiegelanstieg von max. 1,0 m pro Jahr.

Als Grundvoraussetzung für die durchzuführenden Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen wurden entsprechende Standsicherheitsuntersuchungen für alle den Concordia See begrenzenden Böschungsabschnitte erarbeitet. Unter Beachtung der Erkenntnisse aus der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung und auch aus den neuen Erkenntnissen zum Verhalten von Kippenkomplexen in der Lausitz war insbesondere eine umfangreiche Überprüfung der an das Restloch grenzenden Kippenböschungen erforderlich.

Das im Rahmen der Erstsicherungs- und Erkundungsarbeiten installierte Überwachungs- und Monitoringsystem wurde und wird über den gesamten Sanierungszeitraum erhalten und zusammen mit dem Geotechnischen Sicherheitskonzept permanent an die jeweiligen Gegebenheiten bzw. Erfordernisse angepasst.

Nachdem unmittelbar im Nachgang der Böschungsbewegung Filterbrunnen im direkten Umfeld des Hauptrutschungskessels (HRK) abgeteuft wurden, wurde zur hydraulischen Entlastung des Liegendgrundwasserleiterkomplexes und des Hangendgrundwasserleiters im Bereich der Südwestböschung ein Brunnenriegel mit weiteren Filterbrunnen errichtet. Die Ableitung der gehobenen Wässer erfolgt in den Vorfluter Selke. Durch das hergestellte Rohrleitungssystem kann das Wasser bei Bedarf auch in den Concordia See abgeleitet werden.

Mit dem vorhandenen Brunnenriegel können die hydrologischen Verhältnisse im Umfeld der Böschungsbewegung sowie im Bereich der Südwestböschung weitestgehend gesteuert werden.

Der Brunnenriegel wird bis zum Abschluss der Flutung des Concordia Sees betrieben und den jeweiligen geotechnischen Erfordernissen angepasst. Zur permanenten Erfassung der Daten der einzelnen Filterbrunnen, Grundwassermessstellen (GWM), Piezometer und Wasserzu- und abflüsse wurde ein automatisches Datenerfassungssystem installiert. Parallel zu den Erkundungsmaßnahmen im Rahmen der Ursachenforschung wurden um das Tagebaurestloch verschiedene Monitoringsysteme (seismische Messpunkte, GWM, Seepiezometer, Markscheiderische Messlinien, Rutschungswarnanlagen) errichtet. Mittels einer Pumpstation mit Abschlag in den Hauptseegraben wurde und wird der Wasserspiegel im Concordia See für den Zeitraum der Sanierungsarbeiten auf einem relativ konstanten Niveau (max. +85,0 m NHN) gehalten.

Für den geplanten Endwasserstand +103 m NHN im Restloch Nachterstedt/Concordia See wird der Wasserwechselbereich zur Gewährleistung einer ausreichenden hydromechanischen Stabilität (Wellenstabilität) mit den entsprechenden Böschungsneigungen und geeigneten Materialien hergestellt. Zur Untersetzung der geplanten Uferausbildung erfolgte die Erstellung eines entsprechenden Windwellengutachtens. Die Vorgaben des Windwellengutachtens wurden bei der Planung der zukünftigen Uferbereiche berücksichtigt.

Die Umsetzung der Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen erfolgt unter einem sehr hohen Sicherheitsstandard. Da die Arbeiten fast ausschließlich im Sperrbereich „Erdrutsch Nachterstedt“ stattfanden, erfolgte die Koordinierung und Kontrolle der Maßnahmen sowie die Regulierung des Zugangs zum Sperrbereich über einen Dispatcher. Mittlerweile wird das Betreten und Verlassen des Sperrbereiches über das Sperrbereichsportal der LMBV geregelt. Für alle durchgeführten Einzelmaßnahmen wurden durch den zuständigen Sachverständigen für Geotechnik (SfG) Spezielle Verhaltensanforderungen erarbeitet. Bis zum Jahr 2018 wurden die Sanierungsarbeiten permanent durch Rettungs- und Sicherungskräfte begleitet.

Neben der Beherrschung der anströmenden Grundwässer in den Böschungsbereichen sowie der permanenten Überwachung der Böschungsbereiche durch ein umfangreiches Monitoringsystem war für die Umsetzung der Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen die Schaffung einer entsprechenden

Infrastruktur erforderlich. Auf dem ehemaligen Sportplatz wurden Tagesanlagen mit allem für die verschiedenen Erkundungs- und Baumaßnahmen notwendigen Equipment (Bürocontainer, Leichtbauhalle, Dispatchercontainer, Sanitäranlagen, Lagerflächen etc.) errichtet.



Foto 1: Tagesanlagen Nachterstedt

Im Zuge der Umsetzung der ersten Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen wurden schotterbefestigte Baustraßen zu den einzelnen Sanierungsabschnitten angelegt. Zur Minimierung der Belastungen für die Anlieger der Ortschaft Nachterstedt wurde eine asphaltierte Hauptzufahrt, abzweigend von der Ortsumgehung Nachterstedt errichtet, über die sämtliche Antransporte von Liefermaterialien und Gerätschaften erfolgen.

Die notwendigen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen wurden in einem Rahmenkonzept zur Sanierung des Tagebaurestloches Nachterstedt/Schadeleben beschrieben und dargestellt. Die Planung und die Umsetzung der Maßnahmen erfolgte abschnittsbezogen. Dazu wurden die verschiedenen Böschungsbzw. Sanierungsbereiche in folgende neun Sanierungsabschnitte gegliedert:

- I Rückbau Siedlung „Am Ring“
- II Hauptrutschungskessel 2009
- III Ablagerung Schwelereirückstände
- IV Südwestböschung
- V östliche Kippenböschungen unterhalb Halde 3
- VI Nordböschung – Schadelebener Ufer
- VII Westliches Böschungssystem
- VIII Wiederherstellung der Infrastruktur und Landschaftsgestaltung
- IX Flutung Concordia See



Abb. 1: Gliederung in Sanierungsabschnitte

Der Sanierungsabschnitt VIII (Wiederherstellung Infrastruktur und Landschaftsgestaltung) umfasst sämtliche Böschungsbereiche und beinhaltet abschnittsübergreifende Maßnahmen, wie z. B. Wegebau und Bepflanzungsmaßnahmen.

Der Sanierungsabschnitt IX beinhaltet alle erforderlichen Maßnahmen zur Fortsetzung der Flutung des Restloches bis zum Erreichen des vorgesehenen Endwasserspiegels und zur Herstellung des Gewässers.

Die im Rahmenkonzept dargestellten Sanierungskonzepte für die einzelnen Böschungsabschnitte wurden und werden im Rahmen fortlaufender Planungen und im Ergebnis weiterer durchgeführter Erkundungsmaßnahmen kontinuierlich präzisiert, fortgeschrieben und den jeweiligen aktuellen Randbedingungen angepasst.

Für die einzelnen Maßnahmen wurden jeweils Betriebsplanergänzungen erarbeitet und beim Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) zur Genehmigung eingereicht. Die Ausschreibung und Umsetzung erfolgte entsprechend des jeweiligen Sanierungsumfanges in einem oder mehreren Loses. Dabei wurden mögliche gegenseitige Abhängigkeiten der einzelnen Sanierungsabschnitte berücksichtigt.

Am 28.06.2016 ereignete sich während der planmäßigen Rüttelverdichtungsarbeiten im Bereich der Südwestböschung eine großräumige Setzungsfließ-

rutschung, die eine Neuplanung der Sanierung der südwestlichen Kippenböschung erforderte. In Auswertung der Ursachen dieser Setzungsfließrutschung erfolgte eine bodenmechanische Überprüfung der Dimensionierung der geplanten und hergestellten Rütteldämme. Daraus folgend war bereichsweise eine Anpassung der Breiten und Teufen der festgelegten Rüttelstützkörper vorzunehmen.

Der bisherige Sanierungsverlauf, der aktuelle Stand der Sanierungs- bzw. Erkundungsmaßnahmen sowie die weitere Vorgehensweise werden sanierungsabschnittsbezogen in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Die Einteilung in die Sanierungsabschnitte, die Lage der Sanierungsmaßnahmen sowie das geplante Endböschungssystem im Bereich der beiden Rutschungskessel ist in beiliegender Übersichtskarte dargestellt.

RÜCKBAU SIEDLUNG „AM RING“

In Vorbereitung der Sanierungsmaßnahmen im Bereich des HRK, war es notwendig und alternativlos, die Siedlung „Am Ring“ komplett rückzubauen und die Baufreiheit im gesamten Eingriffsbereich der notwendigen Erdbaumaßnahmen herzustellen. Die Rückbaumaßnahmen wurden in mehreren Teilabschnitten im Zeitraum 10/2012 bis 04/2014 durchgeführt.



Foto 2: Einsatz Longfrontbagger im Zuge Abbruch der Gebäude an der Abbruchkante

Dabei wurden sämtliche Gebäude inklusive Gründungen, befestigte Freiflächen, Medienträger sowie alle weiteren baulichen Anlagen rückgebaut und einer geordneten Entsorgung bzw. Verwertung zugeführt.



Foto 3: Abbruch Siedlung „Am Ring“

Mit Abschluss der Maßnahmen am 30.04.2014 war die Baufreiheit zur Herstellung der geplanten Sanierungsgeometrie für den HRK gegeben.

In einem weiteren Arbeitsschritt erfolgten im Winter 2014/2015 Holzungsmaßnahmen im entsprechend dem Sanierungsrahmenkonzept geplanten Eingriffsbereich, einschließlich der Aufweitungsbereiche der Halden 1 und 3. Die Holzungsmaßnahmen erfolgten in enger Abstimmung mit der Unteren Naturschutzbehörde.

SANIERUNG HAUPTRUTSCHUNGSKESSEL

Im Rahmen einer Variantenbetrachtung wurden bereits unmittelbar nach dem Rutschungsereignis technologische Möglichkeiten zur Sanierung des Rutschungskessels betrachtet. Im Ergebnis wurde als grundsätzliche Sanierungstechnologie unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine erdbautechnische Anstützung bis zum Höhengniveau +105 m NHN sowie eine Aufweitung der Böschungen oberhalb von +105 m NHN vorgesehen. Für die östliche Rutschungsflanke war für den Bereich unterhalb +105 m NHN eine Sicherung mittels eines Stützkörpers aus Wasserbausteinen vorgesehen.

Die Maßnahmen zur Sicherung und Sanierung des HRK werden seit dem Jahr 2014 sukzessive umgesetzt.



Foto 4: Hauptutschungskessel nach Rückbau der Siedlung „Am Ring“

In einem ersten Schritt erfolgten im Zeitraum von Mai 2014 bis Oktober 2014 das Anlegen einer Zuwegung in den HRK, die Durchführung von Baugrunduntersuchungen sowie die Suche nach den abgerutschten Doppelhaushälften sowie den Vermissten.

Die Zuwegung erfolgte über die westlich des HRK verlaufende Straße sowie über die RDV-Körper der ehemaligen Sliplanlage. Die Pionierrampe in den Rutschungskessel wurde mit einer Breite von 6,0 m teils als Einschnitt und im unteren Bereich als Anschüttung hergestellt. Ausgehend von dieser Zuwegung wurden mit leichter Technik sukzessive Fahrwege in West-Ost-Richtung angelegt, von denen aus die Erkundungsmaßnahmen durch Rammsondierungen, Rammkernsondierungen und später Drucksondierungen umgesetzt wurden. Durch Installation von entsprechender Pumpentechnik wurde als Voraussetzung für die Abtragsarbeiten zur Vermisstensuche der Wasserspiegel in den beiden im HRK gelegenen Restseen bis zu einem Höhengniveau von ca. +88 m NHN abgesenkt. Zur Ortung des abgerutschten Doppelhauses wurden flächenhaft kombinierte geophysikalische Erkundungsmaßnahmen zur Positionsbestimmung und nachfolgend profilhafte Untersuchungen zur Bestimmung der Teufenlage durchgeführt. Zum Einsatz kamen aeromagnetische Messungen mittels ferngesteuerter Flugdrohne und geoelektrische Messungen auf Parallelprofilen land- und wasserseitig. Im Ergebnis der Erkundungsmaßnahmen wurden verschiedene Anomaliebereiche festgestellt und eine Fläche mit der wahrscheinlichen Lage der Trümmer des Doppelhauses ausgewiesen, auf der eine erdbautechnische Maßnahme geplant wurde. Der Abtragsbereich zur Suche der Trümmer des Doppelhauses und der Vermissten umfasste

eine Fläche von ca. 4.500 m² im westlichen HRK. Auf dieser Fläche wurden die Kippenmassen sukzessive in einzelnen Abtragscheiben von ca. 1,0 m Mächtigkeit im Höhenbereich zwischen +94,0 m NHN und +88,0 m NHN unter der permanenten Überwachung durch Stoßbeobachter abgetragen. Aufgefundene Fremdstoffe und Trümmer wurden separiert und begutachtet. Im Rahmen dieser Maßnahme kam ausschließlich Technik kleiner 4 t zum Einsatz. Zu Beginn und während der Abtragsarbeiten wurden Begehungen mit Leichenspürhunden durchgeführt.



Foto 5: Suche nach Vermissten mit Spürhunden der Polizei

Im Ergebnis konnte festgehalten werden, dass sich während der gesamten Maßnahme keine Anzeichen zum Verbleib der vermissten Personen ergaben. Mit Erreichen der geotechnisch möglichen Abtragssohle wurden die Arbeiten nach Zustimmung des LAGB eingestellt.

Im Anschluss an die Maßnahmen zur Vermisstensuche erfolgte eine teilweise Kopffentlastung der westlichen Böschungsflanke. Die dabei gewonnenen Massen wurden zur Verfüllung des kleinen westlichen Rutschungskessels im Bereich der Südwestböschung eingesetzt. Diese erdbautechnischen Maßnahmen wurden im Zeitraum von Oktober 2014 bis Juni 2015 durchgeführt. Dabei wurden ca. 70.000 m³ abgetragen. In Vorbereitung der geplanten erdbautechnischen Arbeiten zur Anstützung des HRK erfolgte im Zeitraum von Juli 2015 bis September 2015 der Bau der Hauptzufahrt West in den Rutschungskessel. Dazu wurde die bestehende Zufahrt in den HRK auf ca. 10 m Fahrtrasse verbreitert und für die notwendigen

Massentransporte ausgebaut. Die Trasse der Hauptzufahrt wurde über den vorhandenen RDV-Körper Altablagerung geführt. Die gesamte Baustraße wurde so ausgebaut, dass eine Befahrbarkeit mit Gerätetechnik bis zu einem Gewicht von 45 t möglich wurde.

In einem weiteren Schritt wurden die Voraussetzungen für den Aufbau des geplanten Stützkörpers geschaffen, indem die beiden im HRK befindlichen Restseen gesümpft und lagenweise verfüllt wurden. In diesem Zusammenhang erfolgte auch der Bau von Schotterrigolen, die eine geordnete Ableitung des anströmenden Grundwassers aus dem Hinterland gewährleisten sollen. Die Baumaßnahmen wurden im Zeitraum von März bis August 2016 umgesetzt.



Foto 6: Sanierungsstand nach der Verfüllung der beiden Restseen

Im Ergebnis der umfangreichen Erkundungsmaßnahmen im HRK wurde im östlichen Teil des HRK sowie am Fuß der östlichen Rutschungsflanke ein Baugrund festgestellt, der aufgrund der latenten Verflüssigungsgefahr im Untergrund ohne zusätzliche Baugrundvergütung nicht bebaubar ist. Westlich des großen Restsees im HRK wurden mit den Sondierungen und Bohrungen keine verflüssigungsempfindlichen Sande in lockerer Lagerung erkundet, so dass in diesem Bereich ein ausreichend stabiler Baugrund gegeben war.

Folgernd aus den Erkundungsergebnissen wurde der HRK für die weitere Planung in folgende drei technologische Teilbereiche gegliedert:

- Hauptrutschungskessel West (HRK-West)
- Hauptrutschungskessel Ost (HRK-Ost) und
- Östliche Rutschungsflanke



Abb. 2: Einteilung Haupttrutschungskessel in Teilbereiche

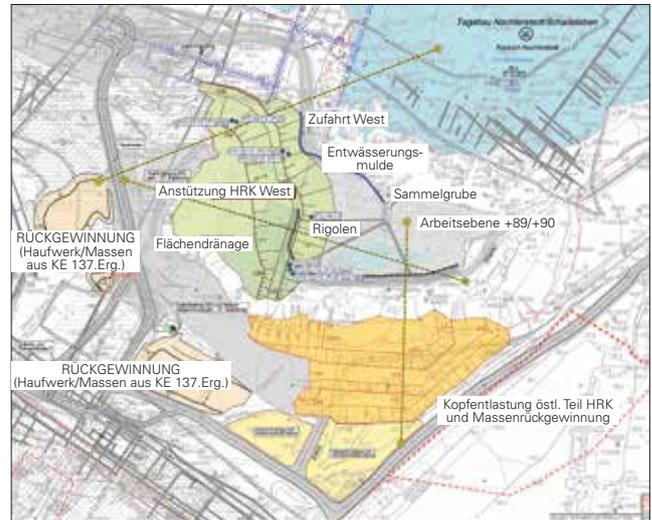


Abb. 3: Lageplan Anstützung Haupttrutschungskessel-West und Kopfentlastung Haupttrutschungskessel-Ost

Entsprechend der Einteilung des HRK wurde auch der technologische Ablauf angepasst, d.h. entsprechend der vorgefundenen Baugrundverhältnisse wurden verschiedene Sanierungsstrategien entwickelt. Im Bereich des HRK-West erfolgte in einem ersten Bauabschnitt im Zeitraum von 01/2017 bis 11/2017 eine erdbautechnische Anstützung der Rutschungsböschung. Die zur Anstützung notwendigen Erdstoffe (ca. 225.000 m³) wurden oberhalb der Rutschungsflanke des HRK-Ost gewonnen. Hier erfolgte ein Abtrag bis zum Höhenniveau von ca. +107,5 m NHN. Die Anstützung erfolgte generell lagenweise verdichtet mit einem Verdichtungsgrad von 95 %. Im Rahmen der Maßnahme wurden auch zwischengelagerte bindige Erdstoffe aus der Kopfentlastung des HRK-West rückgewonnen und mit eingebaut. Diese Erdstoffe mussten zur Erreichung des geforderten Verdichtungsgrades teilweise mittels Bindemittelzugabe vergütet werden. Im Vorfeld bzw. im Zuge der Anstützung erfolgte die Beseitigung des Bewuchses sowie der Rückbau und die Entsorgung der Ablagerungen aus den abgerutschten Häusern und befestigten Anlagen. Die Herstellung des Planums der Aufstandsfläche des Stützkörpers sowie der Einbau der unteren 1,5 m der Anstützung erfolgten mit Erdbaugeräten mit einem Einsatzgewicht kleiner 12 t. Die im Arbeitsbereich gelegenen GWM wurden im Zuge der Anstützung sukzessive mit nach oben geführt.

Im Rahmen dieser Maßnahme wurde auch der erste Teil des zukünftigen Dränagesystems errichtet. Zur Fassung des während der Sanierungsarbeiten und während des Flutungszeitraumes aus der Rutschungsflanke austretenden Wassers wurde ein System aus einer Flächendränage und Rigolenableitern in Richtung Concordia See vorgesehen. Die Flächendränage wurde filterstabil zwischen der Anstützung und der Rutschungsflanke bis zum Höhenniveau +103 m NHN (zukünftiger Endwasserspiegel) aus Schotter der Körnung 8/45 und 8/56 mm mit einem Stufenfilter aus Filterkies 2/8 mm aufgebaut.

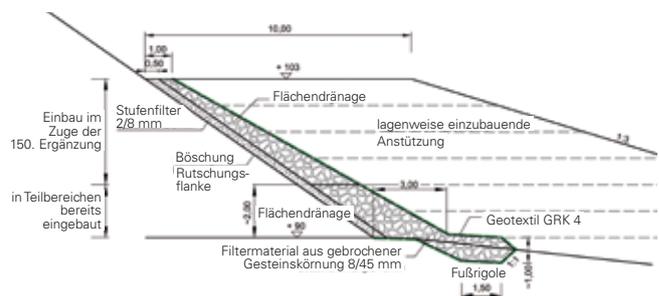


Abb. 4: Prinzipdarstellung Flächendränage

Die Dicke der Flächendränage beträgt im Höhenniveau +103 m NHN 1,0 m und verbreitert sich nach unten bis auf 3,0 m. Der Stufenfilter wurde in einer Mächtigkeit von 0,5 m eingebaut. Zwischen der Flächendränage und dem Stützkörper wurde ein Geotextil als Trennlage

angeordnet. Die Flächendränage bindet an eine Fußrigole an, die umlaufend im HRK am Böschungsfuß der Rutschungsflanke verlegt wurde. Ausgehend von dieser Fußrigole wurden verschiedene Rigolenableiter angelegt, die schließlich an zwei Stellen oberhalb des derzeitigen Ufers des Concordia Sees ausbinden. Das Dränagesystem wurde in verschiedenen Teilabschnitten jeweils entsprechend dem Baufortschritt der Anstützung des HRK errichtet. Im westlichen Teil des HRK wurde aufgrund der angrenzenden Altablagerung auf eine Dränage verzichtet. In diesem Bereich wurde der Stützkörper durchströmungssicher ausgelegt.

Im Ergebnis der durchgeführten Erkundungen im HRK-Ost sowie am Böschungsfuß der östlichen Rutschungsflanke wurden verflüssigungsempfindliche Sande in lockerer Lagerung festgestellt. Somit war eine standsichere Gründung des geplanten Stützkörpers im HRK-Ost sowie der vorgesehenen Steinschüttung aus Wasserbausteinen im Bereich der östlichen Rutschungsflanke ohne zusätzliche Maßnahmen, welche die Verflüssigungsempfindlichkeit der Sande beseitigen, nicht möglich. Im Ergebnis einer Variantenbetrachtung wurde die Technologie der Schonenden Sprengverdichtung als erfolgversprechend gesehen. Die Durchführbarkeit einer Oberflächennahen Schonenden Sprengverdichtung (On-SSPV) sowie einer Tiefen Schonenden Sprengverdichtung (T-SSPV) wurde in zwei aus geotechnischer Sicht geeigneten Testfeldern untersucht. Neben der Untersuchung der Durchführbarkeit waren wesentliche Zielstellungen der Nachweis des erforderlichen Verdichtungserfolges sowie die Entwicklung geeigneter Monitoringmaßnahmen zur Erfassung und Bewertung der Porenwasserdruckentwicklung sowie der Messung der sprenginduzierten Erschütterungen. Die Technologie der T-SSPV wurde in einem ca. 50 x 50 m großen Testfeld im Bereich des HRK-Ost getestet. Dabei wurden in zwei Teilbereichen verschiedene Rasterabstände der Sprengbohrlöcher sowie Anordnung und Menge der Teilladungen variiert.

In einem zweiten Testfeld wurde unmittelbar vor der östlichen Rutschungsflanke die Technologie der On-SSPV getestet. Das Testfeld hatte eine Größe von 50 x 35 m und lag größtenteils im Unterwasserbereich. Die Arbeiten wurden von schwimmenden Arbeitsplattformen aus realisiert.

Die Maßnahmen in den beiden Testfeldern wurden im Zeitraum von 02/2016 bis 05/2016 durchgeführt.

Die im seeseitigen Testfeld untersuchte Technologie der On-SSPV zeigte in der Auswertung des Verdichtungserfolges unter den ortsspezifischen Verhältnissen kein ausreichendes Ergebnis. D.h. eine Vergütung der verflüssigungsempfindlichen Sande am Fuß der östlichen Rutschungsflanke war im wirtschaftlich vertretbaren Rahmen nicht umsetzbar. Die Sanierungsgeometrie sowie die Sanierungstechnologie wurden für diesen Baubereich in Folge entsprechend angepasst.

Grundsätzlich wurde die zielführende Anwendbarkeit der T-SSPV im HRK-Ost zur Verdichtung der dort lagernden verflüssigungsempfindlichen Sande im Testfeld unter standortspezifischen Randbedingungen erfolgreich getestet, so dass diese Technologie auch für den Regelbetrieb zum Einsatz kam. Die Vergütungsfläche hatte eine Größe von ca. 1,2 ha. Durch ergänzende Drucksondierungen im Vorfeld der Maßnahme konnte die jeweilige Teufenlage der zu vergütenden Erdstoffe und somit die Anordnung und Größe der Sprengladungen ermittelt werden. In Vorbereitung der Sprengarbeiten erfolgten im Arbeitsbereich im Zeitraum 10/2017 bis 11/2017 eine Baufeldfreimachung sowie eine Einebnung des Geländes zur Herstellung eines Arbeitsplanums für die Bohr- und Sprengarbeiten. Die eigentlichen Maßnahmen zur T-SSPV wurden im Zeitraum 02/2018 bis 06/2018 umgesetzt.



Foto 7: Vorbereitung der Tiefen Schonenden Sprengverdichtung - Herstellung Perforationsbohrlöcher

Die Sprengarbeiten wurden durch ein umfangreiches Monitoringsystem, bestehend aus Porenwasserdruck (PWD)-Gebern, Kombisonden sowie seismischen Messungen begleitet und durch einen Perforationsriegel in Richtung der Rutschungsflanken zusätzlich gesichert. Der Verdichtungserfolg konnte anhand der PWD-Entwicklungen, von Setzungsmessungen und im Ergebnis der Drucksondierungen nachgewiesen werden.

Teil des Sanierungskonzeptes im westlich angrenzenden Bereich der Altablagerung Schwelereirückstände war die bereichsweise Ertüchtigung des dort im Jahr 2008 errichteten RDV-Dammes. Im Zuge dieser Vergütungsmaßnahmen musste ein Teil der bestehenden Zufahrt in den HRK in Anspruch genommen werden. Dies hatte zur Folge, dass eine neue schotterbefestigte Hauptzufahrt als Trasse für die weiteren Massentransporte gebaut werden musste. Die neue Zufahrt wurde abzweigend von der bisherigen Hauptzufahrt über den im HRK-West errichteten Stützkörper geführt. Nach der Errichtung der neuen Zufahrt in den HRK erfolgte der teilweise Rückbau der alten Zufahrt. Die Maßnahmen wurden im Zeitraum zwischen 03/2018 bis 05/2018 realisiert.



Foto 8: **Aufbau Stützkörper außerhalb der Flächen der T-SSPV**

Die weiteren Anstütsungsarbeiten im HRK erfolgten bis zum Zeitpunkt der Vorlage des Verdichtungsnachweises der T-SSPV ausschließlich in Teilbereichen außerhalb der Vergütungsfläche.

Die dazu notwendigen Massen wurden im Zuge der Aufweitung der Halden 1 und 3 sowie der östlichen Rutschungsflanke gewonnen. Die Anstütsung erfolgte lagenweise verdichtet mit einem Verdichtungsgrad von 95 %.

Es wurden insgesamt ca. 140.000 m³ eingebaut. Vor dem Eingriff in die Halden 1 und 3 wurde der anstehende durchwurzelte Oberboden separiert, abgesiebt und zwischengelagert. Mit dem Oberboden wurden die aufgeweiteten Haldenböschungen als Voraussetzung für die Wiederaufforstung abgedeckt und anschließend mittels Nassansaat zwischenbegrünt. Umgesetzt wurden diese Maßnahmen im Zeitraum vom 11/2018 bis 07/2019. Die Pflanzmaßnahmen sind für den Herbst 2020 eingeordnet.

In einer anschließenden Maßnahme wurde dann im Zeitraum zwischen 07/2019 und 09/2020 die komplette Anstütsung des HRK-Ost sowie die Komplettierung des Dränagesystems realisiert. Im Zuge dieser Arbeiten erfolgte ebenfalls die Endprofilierung der Aufweitungsböschungen des HRK, das Anlegen eines Rampensystems für zukünftigen Wirtschaftswege und Zufahrten sowie die Sicherung der zukünftigen Unterwasserböschungen mittels Steinschüttungen und die Belegung der zukünftigen Wasserwechselzone durch eine Kiespackung. Im Bereich der östlichen Rutschungsflanke wurde ein Massenabtrag bis zum Höhenniveau +111 m NHN umgesetzt. Die zukünftige Unterwasserböschung des HRK wurde mit einer Neigung von 1:3 hergestellt und mit einer ca. 0,5 m mächtigen Steinschüttung aus Wasserbausteinen CP63/180 gesichert. Zusätzlich erfolgte eine Fußsicherung auf einer Breite von 2,5 m mit Wasserbausteinen der Klasse LMB10/60. Die zukünftige Wasserwechselzone im Höhenniveau zwischen +100 m NHN und +105 m NHN wurde mit Neigungen zwischen 1:8 und 1:10 profiliert und mit einer 1,0 m mächtigen groben Kies-schicht belegt. Die zukünftigen Überwasserböschungen wurden mit Neigungen von 1:3 bis 1:2,5 hergestellt.



Foto 9: Böschungssicherung unterhalb +100 m NHN im Bereich Hauptrutschungskessel

Durch ein Oberflächenentwässerungssystem, bestehend aus Entwässerungsgräben und Ableitern in den Concordia See erfolgt eine geordnete Ableitung des anfallenden Niederschlagswassers. Insgesamt wurden in diesem Bauabschnitt nochmals ca. 285.000 m³ Erdstoffe bewegt, ca. 21.000 m³ Kies antransportiert und ca. 12.000 t Wasserbausteine verbaut. Ein Teil der eingebauten Erdstoffe wurde mit einem hydraulischen Bindemittel vergütet, um den in allen Lagen geforderten Verdichtungsgrad von 95 % zu erreichen.

Im Rahmen der Erdbaumaßnahmen erfolgten nach entsprechendem Baufortschritt weitere Erkundungsmaßnahmen im Übergangsbereich zwischen dem HRK-Ost und der östlichen Rutschungsflanke. Im

Ergebnis wurde festgestellt, dass sich die Verbreitung der verflüssigungsempfindlichen Sande in Richtung Osten fortsetzt. Um das geplante Böschungssystem im Übergangsbereich zwischen HRK-Ost und östlicher Rutschungsflanke standsicher herstellen zu können, ist eine weitere Vergütungsmaßnahme auf einer Fläche von ca. 1.500 m² notwendig. Dazu erfolgt derzeit eine Variantenbetrachtung zur optimalen Vergütungstechnologie. Die Maßnahme wird voraussichtlich im I. Quartal 2021 umgesetzt. Daran anschließend erfolgt in einer letzten Sanierungsmaßnahme die Aufweitung der Böschung im Bereich der östlichen Rutschungsflanke unterhalb +111 m NHN und die Herstellung einer standsicheren Endkontur. Aufgrund der verflüssigungsempfindlichen Sande am Fuß der östlichen Rutschungsflanke und der fehlenden Möglichkeit der Gründung eines Stützkörpers in diesem Bereich, erfolgt die Herstellung eines standsicheren Böschungssystems durch eine Aufweitung ins Hinterland. Die Böschungskonturen werden so gestaltet, dass der Böschungsfuß des Endböschungssystems im Höhenniveau von ca. +90 m NHN außerhalb des Bereiches der verflüssigungsempfindlichen Sande gegründet wird (Abb. 5).

Analog dem HRK wird dabei die zukünftige Unterwasserböschung (Böschungsneigung 1:3) mit einer Steinschüttung gesichert und die zukünftige Überwasserböschung mit einer Neigung von 1:2,5 bis 1:3 hergestellt. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wird die zukünftige Wasserwechselzone mit einer Neigung von 1:4 hergestellt und durch eine Steinpackung gesichert. Die erdbautechnischen Maßnahmen

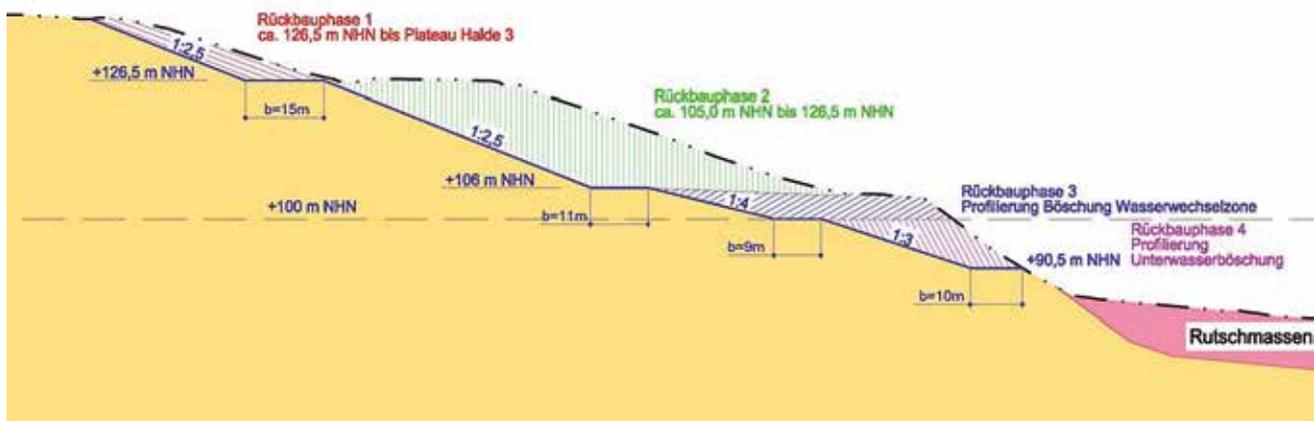


Abb. 5: Technologischer Ablauf Aufweitung östliche Rutschungsflanke

werden voraussichtlich im Zeitraum 01/2021 bis 03/2022 realisiert. Dabei werden insgesamt noch ca. 270.000 m³ Erdstoffe abgetragen, die im Bereich des Rutschungskessels der SW-Böschung in Form einer Anstützung eingebaut werden. Nach Abschluss dieser Maßnahme ist die Sanierung des Rutschungskessels von 2009 abgeschlossen und die Flutung kann fortgesetzt werden.



Abb. 6: Lageplan Endböschungssystem Haupttrutschungskessel und östliche Rutschungsflanke

Zur Überwachung des Grundwasserstandes in der Anstützung während des Flutungszeitraumes werden im Jahr 2021 noch vier zusätzliche GWM errichtet. Begleitend zur weiteren Flutung und in Vorbereitung einer künftigen Nachnutzung erfolgen dann sukzessive die Begrünungs- und Bepflanzungsmaßnahmen, die Herstellung von Wirtschaftswegen und der Endausbau des Oberflächenentwässerungssystems.

ALTABLAGERUNG SCHWELEREIRÜCKSTÄNDE

Bei Sanierungsarbeiten an der Südböschung des Tagebaurestloches Nachterstedt wurden im Jahr 2007 kontaminierte Bodenhorizonte angetroffen. Historische Recherchen ergaben, dass die Altablagerung der beginnenden Braunkohleveredlung durch die ersten Schwelereien zugeordnet werden kann. Im Juni 2009, unmittelbar vor der Böschungsbewegung vom 18.07.2009, wurde ein Sanierungskonzept für die Altablagerung Schwelereirückstände an das LAGB übergeben und erörtert. Zur Unter- setzung der bereits vorliegenden Parameter und zur Präzisierung des Kenntnisstandes wurden im Zeitraum von 04/2014 bis 06/2015 weiterführende

Erkundungsmaßnahmen durchgeführt und eine Vielzahl von GWM zur Erkundung und Überwachung der Grundwasserkontamination errichtet. In Auswertung der ergänzenden Untersuchungen zur Schadstoffverteilung und zum Migrationsverhalten und unter Anwendung der methodisch-konzeptionellen Vorgehensweise zur Beurteilung der Auswirkungen des festgestellten Grundwasserschadens auf das Schutzgut Oberflächenwasser (Concordia See) sowie der abgeleiteten und bestätigten Schwellenwerte wurde eine aktualisierte Gefährdungsabschätzung erarbeitet. Grundlage der Gefährdungsabschätzung ist ein Sicherungskonzept, in welchem unter Berücksichtigung der geotechnischen und altlastenbezogenen Randbedingungen eine optimierte erdbautechnische Sicherung des Bereiches der Altablagerung beschrieben ist. Das Sicherungskonzept beinhaltet dabei folgende Schwerpunkte:

- Sicherung der Ostflanke der Altablagerung durch den Einbau eines verdichteten Stützkörpers im HRK-West,
- Teilweise Ertüchtigung des bestehenden RDV-Dammes Altablagerung,
- Geländeprofilierung und Anpassung der Wasserwechselzone,
- Abdeckung der Altablagerung durch eine Aufschüttung,
- Profilierung der Abdeckung und Maßnahmen zur Fassung und geordneten Ableitung von Oberflächenwasser,
- Erosionsschutz und Begrünung.

Die Sicherung der Ostflanke der Altablagerung erfolgte durch eine erdbautechnische Anstützung im Zuge der Sanierung des HRK-West.

Für die zwischen 2007 und 2009 errichteten RDV-Körper Altablagerung und Slipanlage erfolgte auf der Grundlage ergänzender, im Zeitraum zwischen 2013 und 2016 durchgeführter Drucksondierungen eine nochmalige Bewertung des erreichten Verdichtungserfolges. Im Ergebnis der Standsicherheitseinschätzung wurde festgestellt, dass mit der RDV insbesondere in den oberen erdfeuchten Bereichen bis ca. 12 m Tiefe keine ausreichende Verdichtungswirkung erzielt wurde. Zur Beseitigung der Verdichtungsdefizite wurden die betroffenen Bereiche mit einer Rüttelstopfverdichtung im Raster von 3 x 3 m vergütet.

Dazu wurde im Vorfeld der Rüttelmaßnahmen mittels Erdbautechnik ein entsprechendes Planum hergestellt, welches mit dem Trägergerät bzw. mit den Hilfsgeräten befahrbar war.

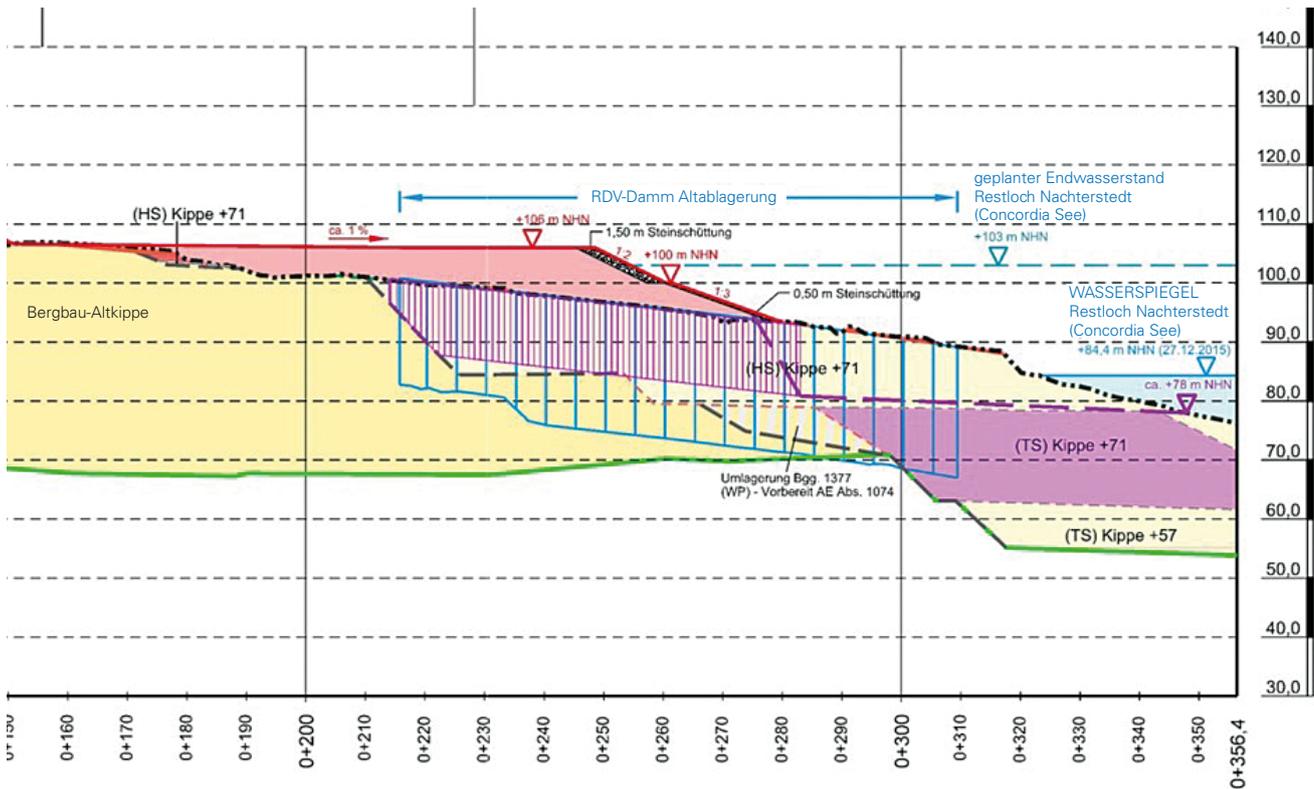


Abb. 7: Sicherung der Altblagerung durch eine Nachverdichtung des RDV-Dammes und anschließende Aufschüttung

Aufgrund der Lage des RDV-Dammes oberhalb der Altblagerung war zur Vermeidung möglicher Kontaminationsverschleppungen ein Einsatz von Wasser bei der Rüttelstopfverdichtung nicht möglich. Daher wurden alle Rüttelpunkte bis zur Endteufe vorgebohrt. Die Rüttelarbeiten wurden im Zeitraum vom 02/2019 bis 07/2019 durchgeführt.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde festgestellt, dass auch mit der nochmaligen RSV in zwei Teilbereichen in den oberen 6 m die geforderte Verdichtung nicht erreicht wurde. In diesen eng begrenzten Bereichen erfolgte im Jahr 2020 eine Nachverdichtung. Dazu wurden zwei Baugruben ausgehoben und die Baugrubensohle mittels einer Polygonwalze verdichtet. Anschließend wurden die beiden Baugruben lagenweise verdichtet wieder verfüllt.



Foto 10: Rüttelstopfverdichtung im Bereich der RDV-Körper Altblagerung

Mit der großräumigen Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde auch ein Teil des bestehenden RDV-Dammes zwischen dem ehemaligen kleinen westlichen Rutschungskessel und dem HRK abgetragen. Durch die uferseitigen Abbrüche und auch aufgrund des konstant gebliebenen Wasserstandes des Concordia Sees bei ca. +84,5 m NHN bildete sich auf ca. 210 m Länge ein bis zu 7 m hohes Kliff.

Durch Abrasion bedingt durch Wellenschlag kam es zu Materialaustrag an der Steilböschung sowie zu Erosionserscheinungen. Zur Verhinderung der fortschreitenden Abrasion und damit zum Schutz der seeseitigen Böschung des RDV-Körpers Altablagerung während der Flutungsphase bis zum Überstau des Kliffs wurde ein schwimmender Wellenbrecher errichtet.

Der schwimmende Wellenbrecher besteht aus 15 miteinander verbundenen Schwimmkörpern. Die Einzelelemente bestehen aus Stahlkesseln mit jeweils 5 m Länge und einem Durchmesser von 2,5 m. Zur Sicherung des für die Wellenreduktion notwendigen Tiefgangs (1,7 m) sind die einzelnen Segmente teilweise mit Wasser gefüllt. Jeweils 3 dieser Einzelsegmente sind zu einem Schwimmkörper von 17 m Länge zusammengefügt. Zur Lagestabilisierung sind die Schwimmkörper mittels Verankerung im Seeboden befestigt. Die Schwimmkörper sind in einer Reihe versetzt angeordnet und bilden somit einen Wellenschutz auf einer Gesamtlänge von 255 m. Im Anschluss an die Fertigung der Wellenbrechersegmente wurden diese im Zeitraum 11/2019 bis 12/2019 auf dem Concordia See installiert und verankert.



Foto 11: Schwimmende Wellenbrecher vor Kliffkante RDV-Körper Altablagerung

Nach der Anstützung der Ostflanke der Altablagerung und der bereichsweisen Vergütung der RDV-Körper Altablagerung und Slipanlage erfolgte die Aufschüttung bzw. Abdeckung der Altablagerung. Mit der Aufschüttung soll erreicht werden, dass ein standsicheres Böschungssystem entsteht und der Austritt von Grundwasser südlich der zukünftigen Uferlinie (+103 m NHN) unterbunden wird. Die zukünftige Wasserwechselzone wurde in diesem Bereich mit 1:2 relativ steil hergestellt und durch die Sicherung mit Wasserbausteinen so gestaltet, dass die in der Gefährdungsabschätzung ausgewiesene eingeschränkte Nutzung in diesem Bereich gewährleistet wird. Der Einbau des Schüttkörpers erfolgte lagenweise. Die Lagenmächtigkeit betrug beim Einbau maximal 0,5 m. Die Verdichtung erfolgt mittels statischer Walze auf einen Verdichtungsgrad von 95 %. Die Aufschüttung besteht aus zwei Schüttscheiben. Die untere Schüttscheibe wurde lagenweise bis zur Höhe von +100 m NHN aufgebaut. Der Einbau der oberen Schüttscheibe erfolgte bis zur Höhe +106/+107 m NHN.

Zur Oberflächenentwässerung erhält das Plateau der oberen Schüttscheibe eine Neigung von ca. 1 % in Richtung Concordia See.

Zur Herstellung der geplanten Kontur der Aufschüttung wurden ca. 100.000 m³ Einbaumaterial benötigt. Dabei wurde gemischtbindiges und kiesiges Material aus den Aufweitungsbereichen des HRK-Ost bzw. der östlichen Rutschungsflanke verwendet.



Foto 12: Herstellung Aufschüttung Altablagerung

Die seeseitigen Böschungen der Aufschüttung müssen gegen Erosion durch Windwellen gesichert werden. Dabei wurden unterschiedliche Sicherungen für die Böschungen der zukünftigen Wasserwechselzone (oberhalb +100 m NHN) sowie der darunterliegenden Böschung vorgesehen. Die Böschung unterhalb +100 m NHN bis zur Höhe des durch die Wellenbrecher geschützten Kliffs bei ca. +92,0 m NHN besitzt eine Neigung von 1:3. Diese Böschung ist während der Flutungsphase, also für einen begrenzten Zeitraum gegen die Einwirkung von Windwellen zu schützen. Dabei wurde ein Deckwerk aus Schottergemisch 8/45 mm mit einer Mindestdicke von 0,5 m eingebaut. Die 1:2 geneigte Böschung zwischen +100 m NHN und +106 m NHN stellt die zukünftige Wasserwechselzone dar. Sie muss dauerhaft gegen die Erosion durch Windwellen gesichert werden.

Es wurde eine Steinschüttung in einer Mächtigkeit von mindestens 1,5 m konzipiert. Zum Einsatz kamen Steine der Gewichtsklasse LMB10/60.

Das Deckwerk ist durchlässig gestaltet, d. h. es kam keine Verklammerung oder Verguss zum Einsatz. Damit bleibt das Deckwerk auch flexibel gegenüber Untergrundveränderungen und kann im Schadensfall leichter repariert werden. Um einen Materialtransport aus dem Aufschüttkörper in das Deckwerk zu verhindern, wurden zwei mineralische Filterschichten (Kiessand 0/16 mm und gebrochene Gesteinskörnung 5/100 mm) mit jeweils 0,2 m Mächtigkeit eingebaut.

Zur Verhinderung von Erosionserscheinungen und einer geordneten Ableitung des anfallenden Oberflächenwassers erfolgt das Anlegen eines entsprechenden Entwässerungssystems auf dem hergestellten Plateau sowie im Böschungsbereich.

Im Sicherungsbereich der Altablagerung befinden sich mehrere aktive GWM. Die GWM wurden beim Einbau gesichert und abschnittsweise mit der jeweiligen Einbauhöhe hochgeführt.

Um eine kontinuierliche Messung und Probenahme in den GWM während des Flutungszeitraumes und auch nach Erreichen des Endwasserstandes zu gewährleisten, wurden für die verschiedenen Standorte der GWM individuelle technische Lösungen

zur Verlängerung bzw. Anpassung entwickelt. So wurden die GWM, die zukünftig unterhalb des Endwasserpiegels liegen mit einem Sonderformstück versehen, so dass die Pegelrohre entsprechend der Uferböschung mit einer Neigung bis zur Oberfläche geführt werden. Der Pegelabschluss wird in einem Betonschacht in Höhe des Plateaus der Aufschüttung gestaltet. Zwei GWM befinden sich allerdings in einem so großen Abstand zur künftigen Uferlinie, dass diese Lösung hier nicht angewendet werden konnte. Diese GWM wurden jeweils mit einem Betonstützwerk gesichert. Auf dem Betonstützwerk wurde eine Stahlkonstruktion mit Gitterrosten errichtet. Nach Erreichen des Endwasserstandes sind diese GWM nur noch per Boot zu erreichen.



Foto 13: Stützbauwerke zur Verlängerung der Grundwassermessstellen

Zur Umsetzung des geplanten Monitoringprogramms zur Langzeitüberwachung der Altablagerung wurden im Übergangsbereich zwischen Aufschüttung und zukünftiger Wasserwechselzone im Höhenniveau oberhalb +100 m NHN zusätzlich noch 6 Schrägpegel errichtet. Die Sicherung und Sanierung der Altablagerung wurde im August 2020 abgeschlossen. Weitere Ausführungen zur Altablagerung sind im Fachbeitrag von SakostaSKB nachzulesen.

SÜDWESTBÖSCHUNG

Nach der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde das Kippensystem der Südwestböschung nochmals intensiv untersucht und erkundet. Um Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Kippensystems zu erhalten, wurde eine umfangreiche Kippenrecherche des südwestlichen Böschungssystems bearbeitet und eine geotechnische Komplexuntersuchung durchgeführt, deren wesentliche Zielstellung in der Erkundung verflüssigungsempfindlicher Kippenmaterialien und deren Abgrenzung lag. Im Ergebnis der Erkundungen war festzustellen, dass die Südwestkippe über größere Bereiche aus locker gelagerten Fein- und Mittelsanden besteht, die verflüssigungsempfindlich sind und vergütet werden müssen. In einer Standsicherheitseinschätzung für die Sanierung der südwestlichen Kippenböschung wurde der Sanierungsbedarf ermittelt und

das Anlegen von Rüttelstützkörpern in den Niveaus +103 m NHN und +95 m NHN vorgegeben.

Darüber hinaus musste der durch die Böschungsbewegung entstandene kleine westliche Rutschungskessel saniert werden. In einem ersten Schritt erfolgte daher im Zeitraum von Oktober 2014 bis Juni 2015 die Schließung des kleinen westlichen Rutschungskessels durch lagenweise verdichteten Einbau von kiesigen Altkippenmassen, die in Form einer Kopfentlastung aus dem HRK-West gewonnen wurden. Im Vorfeld der erdbautechnischen Maßnahmen zur Schließung des kleinen westlichen Rutschungskessels wurde die Sohle des Rutschungskessels mittels Leichter Rütteldruckverdichtung (LRDV) sowohl wasser- als auch landseitig vergütet. Die Verdichtung erfolgt mittels einem hydraulisch arbeitenden Verdichtungsgerät auf einem Amphibienfahrzeug.

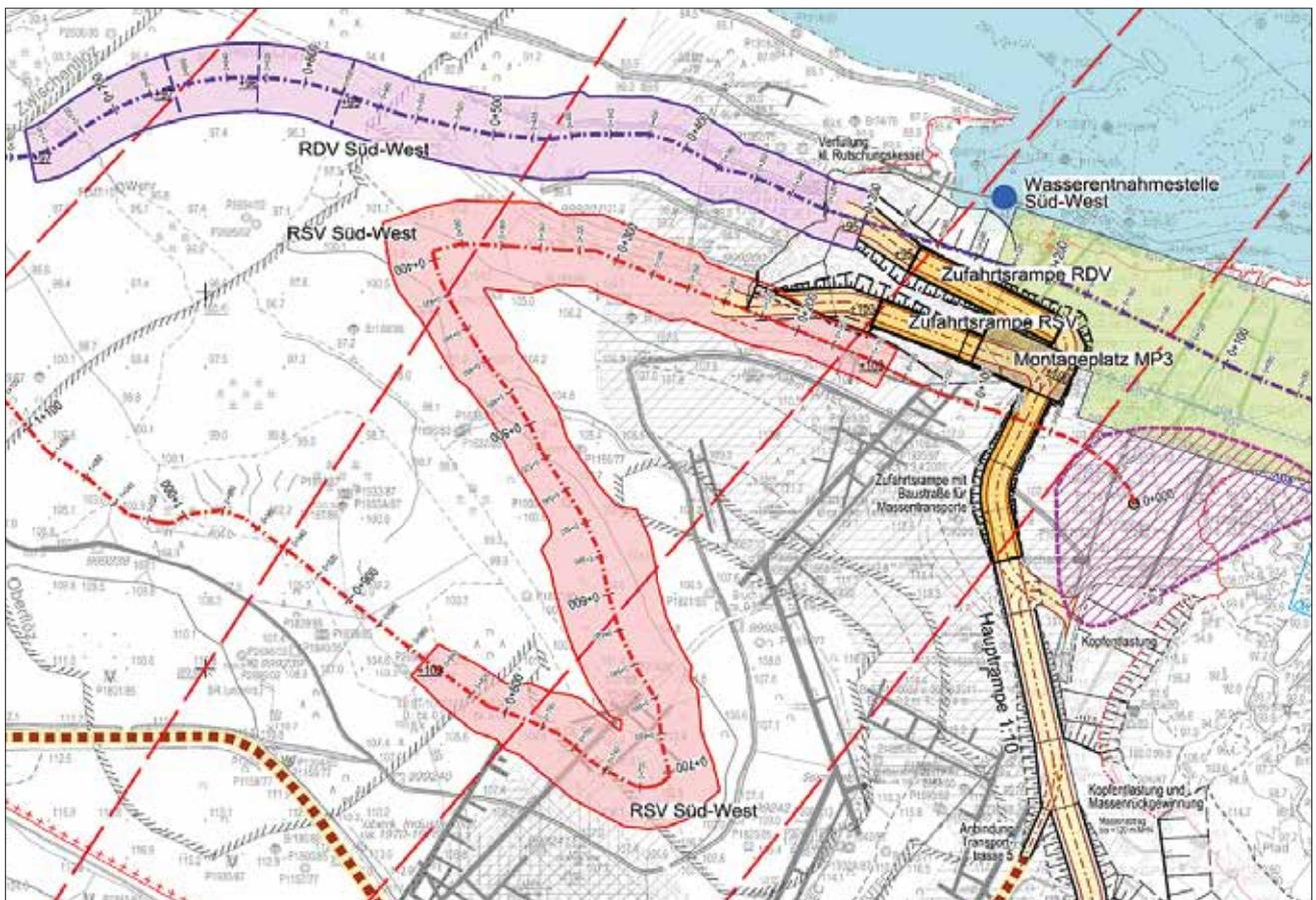


Abb. 8: Konzipierte Rütteldämme zur Sicherung der SW-Böschung



Foto 14: LRDV-Maßnahmen im kleinen westlichen Rutschungskessel



Foto 15: Situation unmittelbar nach der Setzungsfließrutschung vom 28.06.2016

Nach der erdbautechnischen Anstützung wurde die wasserseitige Böschung mittels einer ca. 0,5 m mächtigen Schotterpackung gegen Wellenschlag gesichert.

Die Umsetzung der Rüttelmaßnahmen im Bereich der SW-Böschung begannen im Juni 2015 mit der Errichtung des Montageplatzes oberhalb des verfüllten kleinen westlichen Rutschungskessels. Danach erfolgte mittels Rüttelstopfverdichtung die Herstellung des Stützkörpers im Höhenniveau +103 m NHN. Die Arbeiten wurden bis zur Station 0+760 umgesetzt. Der nicht realisierte Abschnitt bis zum geplanten Ende bei Station 0+850 wurde aufgrund der PWD-Entwicklungen und der damit verbundenen Arbeitsunterbrechungen am 18.05.2016 gestundet und sollte im Anschluss der Fertigstellung der RDV +95 m NHN noch vergütet werden. Nach dem Umsetzen des Trägergerätes in den Anfangsbereich des RDV-Dammes +95 m NHN und der Umrüstung auf Rütteldruckverdichtung begannen am 02.06.2016 die Arbeiten zur Herstellung der Stützkörpers +95 m NHN.

Am 28.06.2016 ereignete sich dabei bei den planmäßigen Rüttelverdichtungsarbeiten eine großräumige Setzungsfließrutschung. In der Folge wurden die Sanierungsarbeiten in der SW-Böschung unterbrochen und Erstsicherungsmaßnahmen eingeleitet.

Im Zuge der Böschungsbewegung sind die Hilfsgeräteechnik (Radlader und Sicherungsraupe) sowie Teile der Baustelleneinrichtung mit abgerutscht. Das Trägergerät verblieb auf einem Inselbereich. Unmittelbar nach der Rutschung wurden Maßnahmen eingeleitet, das havarierte Trägergerät zu bergen. Dazu wurde ein Sicherungsdamm aus Grobschlag errichtet, der als Fahrtrasse für das Trägergerät dienen sollte. Zur Herstellung des Dammes wurden die Schüttsteine mittels eines Seilbaggers mit langem Ausleger im Trassenbereich abgesetzt und anschließend durch eine ferngesteuerte Planierraupe eingebaut.



Foto 16: Herstellung Sicherungsdamm als Fahrtrasse für havariertes Trägergerät

Es wurden ca. 25.000 t Schüttsteine verbaut. Aufgrund der durch die große Reichweite des Seilbaggers eingeschränkten Leistungskapazität dauerte die Herstellung des Sicherungsdammes bis zum November 2016. Anschließend wurde das Trägergerät auf Fernsteuerung umgerüstet und unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsaspekte über den Sicherungsdamm in den sicheren Bereich verfahren.

Durch die Setzungsfließrutschung wurden große Teile der anstehenden verflüssigungsempfindlichen Kippenmassen im Bereich der SW-Böschung ausgeräumt. Aufgrund der steilen Rutschungsflanken und der noch verbliebenen verflüssigungsempfindlichen Kippenmaterialien sowie zur Herstellung einer stabilen zukünftigen Uferlinie des Concordia Sees war eine Sicherung der Kippenbereiche der SW-Böschung auch weiterhin erforderlich. Unter Berücksichtigung der sich aufgrund der Setzungsfließrutschung geänderten Randbedingungen sowie der im Rahmen der Ursachenforschung durchgeführten Erkundungen im und außerhalb des Rutschungskessels musste das Sanierungskonzept grundlegend angepasst werden.

Das neue Sanierungskonzept für den Bereich der Südwestböschung sieht folgende Teilmaßnahmen vor:

- Verstärkung des durch das Rutschungsereignis strukturell geschwächten RSV-Dammes +103 m NHN zwischen den Stationen 0+150 und 0+500,
- Vergütung der verflüssigungsempfindlichen Sande im Rutschungskessel durch Leichte Rütteldruckverdichtung,
- Errichtung eines erdbautechnischen Stützdammes,
- Erdbautechnischen Verfüllung des Bereiches zwischen Stützdamm und derzeitiger Rutschungsflanke.
- Sicherung der zukünftigen Wasserwechselzone und Unterwasserböschung.

In Vorbereitung der Sanierungsplanung zur Sicherung des Rutschungskessels wurde das Bearbeitungsgebiet von Ost nach West in folgende Sanierungsteilabschnitte gegliedert:

- Zentrale Rutschungsflanke
- Östlicher Rutschungsschlauch
- Westlicher Rutschungskessel und
- Westliche Rutschungsflanke

In einer ersten Maßnahme wurde mittels Rüttelstopfverdichtung ein Ersatzstützkörper im Bereich des geschwächten RSV-Dammes +103 m NHN errichtet. Der Ersatzstützkörper bildet einerseits die Sicherung der im Hinterland anstehenden verflüssigungsempfindlichen Sande und andererseits einen stabilen Baugrund für die zukünftige Wasserwechselzone im Bereich der Zentralen Rutschungsflanke.

Dazu erfolgte in Vorbereitung der Rüttelarbeiten ein Abtrag der anstehenden Kippenmassen bis auf das Niveau des vorgesehenen Rüttelplanums von +103 m NHN. Die Überschussmassen (ca. 16.500 m³) wurden in den HRK transportiert und dort als Teil der Anstützung eingebaut.

Anschließend erfolgt die Umsetzung der Rüttelstopfverdichtung in einem Raster von 3 x 3 m bis zur Einbindung in die Altkippe. Dies entsprach einer Rüttelteufe von ca. 9 bis 14 m. Der Ersatzstützkörper wurde ausgehend von dem vorhandenen RSV-Körper +103 m NHN sukzessive in Richtung Westen errichtet. Auch hier erfolgte die Einbindung in den intakten RSV-Körper +103 m NHN. Die Maßnahme wurde im Zeitraum von 09/2018 bis 02/2019 realisiert.

Im Anschluss wurden im Bereich des Rutschungskessels SW-Böschung an drei Standorten neue GWM errichtet, die zukünftig die durch die Setzungsfließrutschung zerstörten GWM und Seepiezometer ersetzen.

Für die weitere Sanierung des Rutschungskessels in der SW-Böschung sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Herstellung einer Zuwegung von der Transporttrasse 5 zum bestehenden RSV-Stützkörper +103 m NHN
- Herstellung einer Zufahrtsrampe als Einschnitt in den bestehenden RSV-Stützkörper +103 m NHN
- Vergütung der verflüssigungsempfindlichen Sande im Bereich der Aufstandsfläche des Stützkörpers durch Leichte Rütteldruckverdichtung (LRDV)
- Herstellung einer ca. 2,0 bis 2,5 m mächtigen Dränageschicht im Bereich des zukünftigen Stützkörpers
- Einbau einer ca. 1,5 m mächtigen Ausgleichsschicht im Hinterland des Stützkörpers mit kiesigem Altkippenmaterial
- Lagenweise verdichteter Aufbau des Stützkörpers auf der Dränageschicht

- Lagenweise verdichteter Aufbau der Anstützung zwischen Stützkörper und Rutschungsflanken
- Einbau eines Entwässerungssystems, bestehend aus Flächendränage und Rigolenableitern
- Aufweitung des Anschlussbereiches an die westliche Rutschungsflanke
- Sicherung der zukünftigen Wasserwechselzone mit einem Kiesauftrag von 1,0 m Mächtigkeit sowie der zukünftigen Unterwasserböschungen mit einer 0,5 m mächtigen Steinschüttung

Das geplante Endböschungssystem im Bereich der SW-Böschung ist der beiliegenden Übersichtskarte zu entnehmen. Im Oktober 2019 begannen die Arbeiten mit der Herstellung der Zuwegungen sowie der Zufahrtsrampe in den Rutschungskessel. Nach der Herstellung der Zuwegung zum Rutschungskessel werden auf einer Breite von 70 m die im Rutschungskessel anstehenden verflüssigungsempfindlichen Sande mittels LRDV vergütet. Die Gesamtlänge der Rütteltrasse beträgt dabei ca. 250 m. Die Verdichtung war in der gesamten Mächtigkeit der anstehenden verflüssigungsempfindlichen Sande bis zu einer Tiefe von max. 8 m geplant. Zum Einsatz kam ein Rüttler vom Typ V16. Als Basis der verflüssigungsempfindlichen Sande

wurde die Oberkante der im Rutschungskessel abgelagerten Ascheklärteiche angenommen. Mit der LRDV wird gleichzeitig eine ca. 2,5 m mächtige Dränageschicht aus Schotter der Körnung 8/32 mm eingebaut, die die Aufstandsfläche für den späteren Stützkörper bildet und gleichzeitig als sicheres Fahrplanum für das Trägergerät der LRDV dient. Die Dränageschicht wird lagenweise verdichtet in 0,3 m mächtigen Lagen mit Erdbautechnik kleiner 10 t eingebaut. Parallel kommt ein Longfrontbagger zum Einsatz, der im Vorfeld der LRDV das notwendige Rüttelplanum herstellt und das Zugabematerial für die einzelnen Rüttelpunkte bereitstellt. Das Rüttelraster beträgt 1,5 x 1,5 m. Die Abarbeitung der Rüttelpunkte erfolgt in intermittierender Fahrweise und ohne Zugabe von Wasser.

Bedingt durch die vorgegebene zu verdichtende Fläche und den Aufbau der Dränageschicht wurden ausgehend von der aufgeweiteten Hauptrampe mehrere Technologien vorgegeben. Auf einer Breite von ca. 20 m und einer Länge von ca. 40 m erfolgte der erste Rüttelabschnitt als Sondertechnologie bzw. als Testbetrieb. Daran schloss sich ein Abschnitt der Vor-Kopffahrweise in Richtung Norden an, mit dem die volle Breite des Rütteldammes von 70 m hergestellt wurde.

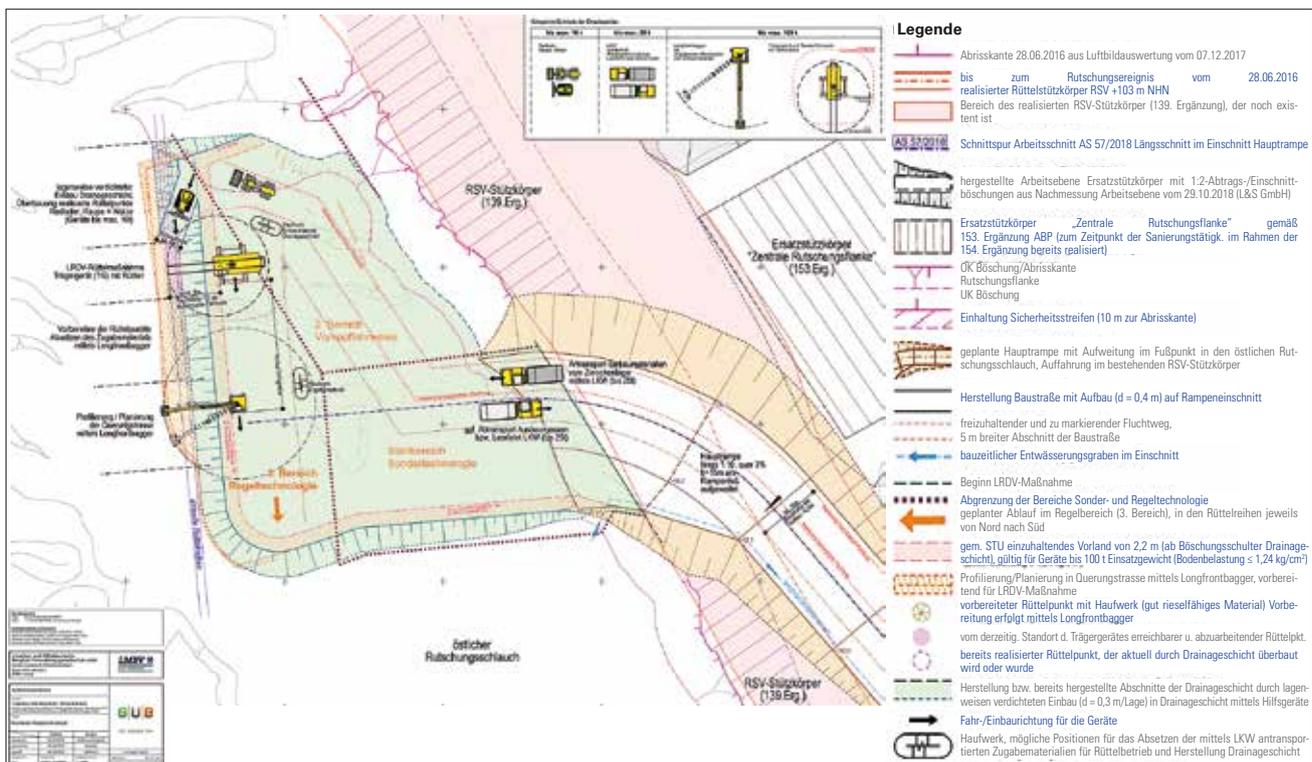


Abb. 9: Technologische Vorgaben zur LRDV

Im Nachgang der LRDV wurden Rammsondierungen und Drucksondierungen zum Nachweis des Verdichtungserfolges sowie zum Nachweis der schärfsten Einbindung der Rüttelkörper in den Untergrund abgeteuf. Dabei zeigte sich insbesondere im südlichen Teil, dass unterhalb der Rüttelbasis bereichsweise noch locker gelagerte Erdstoffe anstehen. Bis zur Auswertung der weiteren Sondierergebnisse wurde daher vorerst nur im nördlichen Bereich gerüttelt. Entsprechend der geotechnischen Bewertung der Sondierergebnisse erfolgte die Festlegung, die LRDV bis zum Tagebauliegenden unterhalb der Aschekläriteiche zu führen. Dazu wurde die Rüttellanze des Trägergerätes ausgetauscht und eine Lanze mit 13 m Länge eingesetzt. Nachdem der südliche Bereich nachgearbeitet wurde, erfolgten die Rüttelarbeiten seit Mai 2020 im Regelbetrieb. Die Rüttelarbeiten werden voraussichtlich im Oktober 2020 abgeschlossen. Insgesamt werden dann ca. 58.000 Rüttelmeter abgearbeitet und ca. 68.000 t Dränagematerial verbaut sein.



Foto 17: LRDV und Herstellung Dränageschicht im Bereich der SW-Böschung

Im Anschluss an die Herstellung der Dränageschicht erfolgt in einem weiteren Bauabschnitt die Herstellung der Anstützung im Bereich des östlichen Rutschungsschlauches und des westlichen Rutschungskessels. Dazu werden Massen aus dem Aufweitungsbereich der östlichen Rutschungsflanke unterhalb der Halde 3 Nachterstedt antransportiert und lagenweise verdichtet eingebaut. Im Bereich zwischen der Dränageschicht und der südlichen Rutschungsflanke wird in einem ersten Schritt eine ca. 1,5 m mächtige

Ausgleichsschicht aus kiesigem Altkippenmaterial mit kleiner Technik (12 t) eingebaut. Anschließend erfolgt der lagenweise Aufbau der Anstützung bis zur Endhöhe, d.h. bis zum Anschluss an die Oberkante der Rutschungsflanken. Zur Ableitung des aus dem Hinterland zulaufenden Grundwassers wird ein Dränagesystem mit Rigolenableiter vorgesehen, welches analog der Bauweise im HRK projektiert wurde. Die seeseitigen Böschungen der Anstützung werden wie folgt gestaltet und gesichert:

- Zukünftige Unterwasserböschung unterhalb +101 m NHN (Neigung 1:4) Auftrag von 0,5 m Wasserbausteine CP63/180
- Zukünftige Wasserwechselzone zwischen +101 m NHN und +104 m NHN (Neigung 1:10) Auftrag einer 1,0 m mächtigen Kiesschicht

Der angestützte Rutschungskessel wird abschließend begrünt. Das anfallende Niederschlagswasser wird durch entsprechende Entwässerungsgräben schadlos abgeleitet.

Die erdbautechnischen Maßnahmen zur Anstützung des Rutschungskessels im Bereich der SW-Böschung werden voraussichtlich im Zeitraum von 01/2021 bis 03/2022 umgesetzt. Im Vorfeld der erdbautechnischen Maßnahmen erfolgten im Winter 2019/2020 die entsprechenden Holzungsmaßnahmen in den Eingriffsbereichen außerhalb des Rutschungskessels. In Abstimmung mit der Unteren Naturschutzbehörde werden vor Beginn der Erdarbeiten noch vorgezogene Artenschutzmaßnahmen für die erforderliche Eingriffe umgesetzt. Zusätzlich zur Sanierung des Rutschungskessels SW-Böschung besteht die Notwendigkeit den geschwächten RSV-Damm +103 m NHN im Bereich der Zentralen Rutschungsflanke zu sichern. Für diesen Bereich erfolgen derzeit die entsprechenden Standsicherheitsuntersuchungen und die Erarbeitung einer Sanierungskonzeption. Nach dem derzeitigen Planungsstand sind für diesen Böschungsbereich folgende Teilmaßnahmen vorgesehen:

- Herstellung einer Anstützung vor der Steiflanke des abgerutschten Rüttelstützkörpers durch das Anlegen einer Spülkippe
- Oberflächennahe Nachverdichtung des Ersatzstützkörpers bis in eine Tiefe von 5 m

- Sicherung des Bereiches des ehemaligen kleinen westlichen Rutschungskessels während der Flutungphase
- Herstellung einer stabilen Wasserwechselzone im Bereich zwischen der Anstützung der SW-Böschung und des Sanierungsbereiches der Altablagerung
- Herstellung der Trittsicherheit durch Erdstoffabtrag unterhalb der zukünftigen Wasserwechselzone bis zu einem Höhenniveau von +100 m NHN

Die dafür notwendigen Sanierungsmaßnahmen werden voraussichtlich in den Jahresscheiben 2021 und 2022 umgesetzt, so dass auch im Sanierungsbereich der SW-Böschung die Arbeiten Ende 2022 abgeschlossen sein werden.

ÖSTLICHE KIPPENBÖSCHUNGEN

Die östliche Kippenböschungen des Tagebaurestloches Nachterstedt bilden den Sanierungsabschnitt V. Im Hinterland der Kippenböschungen befindet sich die Halde 3. Am Haldenfuß ist ein zwischen 40 m und 50 m breiter RDV-Körper in den Jahren 2004/05 hergestellt worden. Auch für die östliche Kippenböschungen wurde eine umfangreiche Kippenrecherche durchgeführt. Parallel wurden die östlichen Kippenböschungen des Tagebaurestloches Nachterstedt beginnend im Jahr 2012 schrittweise komplex erkundet.

Zusammenfassend war festzustellen, dass die Ostböschung über größere Bereiche aus locker gelagerten verflüssigungsempfindlichen Fein- bis Mittelsanden besteht, die vergütet werden müssen.

Dabei ist anzumerken, dass die zu verdichtenden Areale nicht ausschließlich aus locker gelagerten Sanden bestanden, sondern kippenspezifisch mit bindigen Anteilen, welche sich sowohl vertikal als auch horizontal sehr inhomogen verteilten, durchsetzt waren. Dabei bildeten jedoch die setzungsfleißempfindlichen, locker gelagerten Sande so zusammenhängende Bereiche, dass der Sachverständige von einer Verflüssigungsgefahr ausgehen musste. Hierin bestand dann auch eine große Herausforderung für die alternativlose Umsetzung der Rüttelverdichtung. Die bindigen Anteile erschwerten das Eindringen der

Lanze, erforderten einen hohen Wassereinsatz bzw. führten zu verlängerten Einfahrzeiten und verursachten einen verstärkten Verschleiß am Rüttler.

In Auswertung der Ergebnisse der Recherchen und Erkundungsmaßnahmen wurde in der Standsicherheitseinschätzung für die Sanierung der östlichen Kippenböschungen der erforderliche Sanierungsbedarf abgeleitet und die Sicherung der Kippenböschungen durch Rüttelstützkörper auf den Niveaus +103 m NHN und +95 m NHN empfohlen.

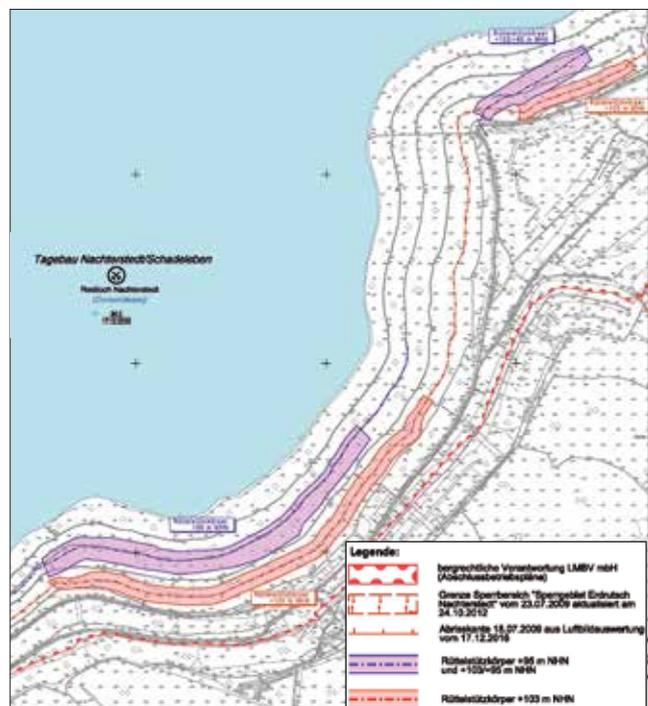


Abb. 10: Lageplan Rütteldämme im Bereich der östlichen Kippenböschungen

Dabei wurden die Rüttelstützkörper nicht durchgängig angeordnet, sondern jeweils in einen südlichen und einen nördlichen Abschnitt geteilt. Im mittleren Abschnitt der östlichen Kippenböschungen wurden keine verflüssigungsempfindlichen Sande erkundet, so dass hier auf weitere Sanierungsmaßnahmen verzichtet werden konnte.

Entsprechend der Vorgaben aus den Standsicherheitsuntersuchungen wurde für den Stützkörper im Höhenniveau +103 m NHN die Technologie der Rüttelstopfverdichtung (RSV) und für den Stützkörper im Niveau +95 m NHN die Technologie der Rütteldruckverdichtung (RDV) vorgegeben. Im Bereich des RDV-Dammes

+95 m NHN (Süd) wurden aufgrund einer im Anfangsbereich der Rütteltrasse gelegenen verfestigten ehemaligen Arbeitsebene auf einer Länge von ca. 480 m alle Rüttelpunkte bis in eine Tiefe von ca. 6 m vorgebohrt. Die Abarbeitung der Rütteldämme erfolgte so, dass jeweils zuerst der Rütteldamm +103 m NHN errichtet wurde und der Rütteldamm im Niveau +95 m NHN im Schutze des dann bereits hergestellten Rütteldammes +103 m NHN nachgezogen wurde. Die Rüttelarbeiten begannen im März 2015 und wurden teilweise mit drei Trägergeräten parallel durchgeführt. Jeweils im Anfangsbereich der Rütteldämme wurde Testfelder zum Verdichtungsnachweis der jeweiligen Rütteltechnologie angelegt.



Foto 18: Herstellung der Rütteldämme im südlichen Abschnitt

Während der Rüttelarbeiten wurden die Rütteldämme aufgrund des Erkundungsfortschrittes mehrmals angepasst. Der im Rahmen der Standsicherheitseinschätzung festgelegte ergänzende Erkundungsbedarf beinhaltete weitere Drucksondierungen sowie Kernbohrungen und Rammkernsondierungen in ausgewählten Bereichen der östlichen Kippenböschung.

Die festgelegten mittels Rüttelverdichtung zu vergütenden Kippenabschnitte konnten weitgehend bestätigt werden. Bereichsweise waren aufgrund des Vorhandenseins verflüssigungsempfindlicher Materialien Anpassungen vorzunehmen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen wurden die Planungen zur Rüttelverdichtung im nördlichen Abschnitt der

Ostböschung überarbeitet. Um den Rüttelstützkörper im Niveau +95 m NHN herstellen und das Trägergerät sicher in dieses Niveau fahren zu können, war es erforderlich, dass bereits von einem Startplatz im Niveau +103 m NHN aus mit den Rüttelverdichtungsarbeiten begonnen wird. Damit entstand ein Rüttelstützkörper, der im Niveau +103 m NHN beginnt und fallend bis zum Niveau +95 m NHN verläuft. Darüber hinaus erfolgte die Festlegung durch den SfG, dass dieser Rüttelstützkörper mittels RSV herzustellen ist. Der ursprünglich vorgesehene Rüttelstützkörper +95 m NHN ist in diesem nunmehr als RSV-Körper +103/+95 m NHN bezeichneten Rüttelstützkörper aufgegangen. Im Zusammenhang mit der Setzungsfließrutschung vom 28.06.2016 sind extreme hydrodynamische Zusatzbeanspruchungen dokumentiert worden. Durch den zuständigen SfG wurde eine Konzeption erarbeitet, die diesen besonderen Bauzustand bewertet und Vorgaben zur Anpassung der Dimensionierung von Rüttelstützkörpern im Tagebaurestloch Nachterstedt beinhaltet. Im Hinblick auf die Sanierungsarbeiten und unter Berücksichtigung des Flutungszeitraumes ergaben sich hinsichtlich der Dimensionierung und technologischen Ausführung der Rüttelstützkörper Konsequenzen, die bereichsweise zu weiteren Präzisierungen der festgelegten Rüttelstützkörper führten, u.a. wurden die Rüttelstützkörper teilweise verbreitert und die jeweilige Rüttelteufe angepasst.

Im Ergebnis aller Anpassungen bzw. Präzisierungen ergaben sich für die einzelnen Rütteldämme folgende Dimensionen:

RSV +103 m NHN (SÜD):

- Länge: 1.230 m
- Breite: 28,50 bis 44 m
- Rütteltiefen: 10 bis 22 m
- Rüttler: V23
- Raster: 4 x 4 m
- 3.889 Rüttelsäulen (84.016 m)

RDV +95 m NHN (SÜD):

- Länge: 990 m
- Breite: 49 bis 67 m
- Rütteltiefen: 11 bis 30 m
- Rüttler: V32
- Raster: 4 x 4 m
- 4.296 Rüttelpunkte
- Verdichtungsvolumen: 1.220.368 m³

RSV +103 m NHN (Nord):

- Länge: 325 m
- Breite: 25 bis 40 m
- Rütteltiefen: 12 bis 20 m
- Rüttler: V23
- Raster: 4 x 4 m
- 970 Rüttelsäulen (18.723 m)

RSV +103/+95 m NHN (Nord):

- Länge: 330 m
- Breite: 46,5 bis 70 m
- Rütteltiefen: 3,5 bis 27,5 m
- Rüttler: V23
- Raster: 4 x 4 m
- 1.449 Rüttelsäulen (24.030 m)

Die Rüttelarbeiten begannen mit dem RSV-Damm +103 m NHN im März 2015. Sukzessive und entsprechend des jeweiligen Baufortschrittes wurde dann mit der Abarbeitung der weiteren Rütteldämme begonnen. Nach der Setzungsfließrutschung vom 28.06.2016 wurden die Rüttelarbeiten unterbrochen und nach Überprüfung/Anpassung der Rüttelstützkörper zeitlich versetzt wieder aufgenommen. Die Fertigstellung der Rütteldämme erfolgte zu folgenden Terminen:

- RSV +103 m NHN (Süd): 21.03.2017
- RDV +95 m NHN (Süd): 26.09.2018
- RSV +103 m NHN (Nord): 08.12.2015
- RSV +103/+95 m NHN (Nord): 24.07.2017



Foto 19: Trägergerät Rüttelstopfverdichtung

Im Zuge der Herstellung der einzelnen Rüttelstützkörper erfolgten im Rahmen der Qualitätssicherung jeweils nach entsprechender Konsolidierungszeit Nachsondierungen (Drucksondierungen und Schwere Rammsondierungen) zum Nachweis des Verdichtungserfolges. Dabei zeigte sich, dass auf allen Stützkörper bereichsweise in den oberen 5 m Verdichtungsdefizite bestehen, die durch geeignete Maßnahmen behoben werden müssen. Dazu wurde in einem Testfeld auf dem RSV-Stützkörper +103 m NHN (Süd) das Verfahren der dynamischen Schlagverdichtung (LandPac-Verfahren) auf verschiedenen Prüffeldern mit unterschiedlichen Verdichtungsmächtigkeiten getestet.

Im Ergebnis des Testbetriebes konnte die Eignung des Verfahrens festgestellt werden. Es wurde eine Verdichtungswirkung bis zu einer Teufe zwischen 5 und 6 m nachgewiesen. Das Verfahren wird somit auch für den Regelbetrieb angewendet. Es ist vorgesehen, die Verdichtungsdefizite auf dem RSV-Stützkörper +103 m NHN (Süd) im Herbst 2020 zu beseitigen. Die Maßnahmen zur oberflächennahen Nachverdichtung auf den anderen Rütteldämmen werden im Jahr 2021 umgesetzt.



Foto 20: Oberflächennahe Nachverdichtung mittels LandPac-Verfahren im Testfeld

Im Rahmen der Verdichtungsnachweise wurden im Weiteren Defizite unterhalb des Rüttelstützkörpers +103 m NHN (Nord) festgestellt. Zur Herstellung der Standsicherheit im Bereich der Rütteldämme ist daher geplant, einen Teilbereich zwischen den Dämmen +103 m NHN und +103/+95 m NHN mittels

einer Rüttelstopfverdichtung bis zum Liegenden zu vergüten. Die dazu notwendigen Maßnahmen werden im 1. Quartal 2021 umgesetzt.

Nach Abschluss der Nachverdichtungsarbeiten sind die Kippenböschungen soweit gesichert, dass die Flutung fortgesetzt werden kann.

Zur Überwachung der Kippengrundwasserstände während des Flutungszeitraumes wurden eine Reihe von zusätzliche GWM errichtet. Diese sind in vier Profilen angeordnet, wobei jeweils eine GWM unterhalb des Rüttelstützkörpers +95 m NHN, eine GWM oberhalb des Rüttelstützkörpers +103 m NHN und eine GWM zwischen den Rütteldämmen angeordnet wurde.

Vor Erreichen des Endwasserspiegels sind in den Bereichen oberhalb der Rütteldämme +103 m NHN sowie im Bereich der künftigen Uferzone zwischen den nördlichen und südlichen Dämmen noch Maßnahmen zur Herstellung der Trittsicherheit notwendig. Dazu werden in den nächsten Jahren entsprechende Erkundungsmaßnahmen eingeordnet und daraus resultierende Sanierungsmaßnahmen geplant und umgesetzt.

NORDBÖSCHUNG

Entsprechend der vorliegenden Standsicherheitsuntersuchungen ist die grundsätzliche Dauerstandsicherheit des nördlichen Böschungssystems gegeben. Zur Beurteilung der Trittsicherheit wurden in den derzeitigen Uferabschnitten Rammsondierungen und Rammkernsondierungen ausgeführt. Nach Auswertung der Erkundungsergebnisse bestehen die Zwickelbereiche im Umfeld des derzeitigen Wasserspiegels nahezu durchgängig aus rolligen, locker gelagerten und damit verflüssigungsempfindlichen Sanden, die aus dem natürlich anstehenden Grundwasserleiter abgeschoben worden sind. Diese Sande mussten auf einer Länge von ca. 750 m verdichtet werden. Für die Verdichtung des Uferbereiches am Strand Schadeleben kam die leichte Rüttelverdichtung mit einem Flaschenrüttler sowohl im Wasser als auch landseitig zum Einsatz.

Die Verdichtungsarbeiten wurden im Zeitraum 11/2015 bis 04/2016 realisiert. Mit der Umsetzung der Ver-



Foto 21: Leichte Rütteldruckverdichtung zur Herstellung der Trittsicherheit

dichtungsmaßnahmen ist die Trittsicherheit im Bereich des zukünftigen Badestrandes gegeben. Zur Herstellung der Begehbarkeit und zum Ausgleich der durch die LRDV entstandenen Geländesenken erfolgte im Uferbereich der Auftrag einer 0,5 m mächtigen Kies-schicht bis zu einer Wassertiefe von 1,0 m. Der oberhalb der Wasserwechselzone gelegene Eingriffsbereich wurde mit einer 0,3 m mächtigen Oberbodenschicht abgedeckt. Damit waren die Voraussetzungen für eine vorgezogene Folgenutzung in diesem Teilbereich gegeben.

Weiterhin war im Böschungsbereich unterhalb der Halde 1 Königsau eine Böschungssicherung zur Verhinderung der voranschreitenden Kliffbildung erforderlich. Diese erfolgte durch den Einbau eines erosions-sicheren Stützkörpers aus geotextilen Sandcontainern mit einer Abdeckung aus Wasserbausteinen im Ufer- und Wellenauflaufbereich.

WESTBÖSCHUNG

Die im Bereich der Westböschung durchgeführte Kippenrecherche hat ergeben, dass im Einflussbereich des künftigen Endwasserspiegels von +103 m NHN nur gemischtbindige Böden in überwiegend mitteldichter Lagerung anstehen. Die rolligen Materialien stehen in Teufenbereichen an, die bereits beim Ist-Wasserstand von +84,5 m NHN deutlich unter Wasser liegen. Im Ergebnis der durchgeführten geotechnischen

Untersuchungen ergab sich für diesen Bereich somit kein Sanierungsbedarf.

INFRASTRUKTUR UND LANDSCHAFTSGESTALTUNG

Unmittelbar nach Umsetzung der notwendigen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen in den einzelnen Sanierungsabschnitten sind Leistungen wie Wegebau, Anbindung an vorhandenen Straßen und Begrünungs- sowie Pflanzmaßnahmen notwendig. Grundlage hierfür bildet das Nachnutzungskonzept für den Planungsraum Seeland sowie die Vorgaben im Abschlussbetriebsplanes. Die Maßnahmen werden jeweils unmittelbar nach der Umsetzung der notwendigen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen in den einzelnen Sanierungsabschnitten durchgeführt.

Nach Abschluss der Rüttelverdichtungsarbeiten im Bereich der Ostböschung sowie nach der Herstellung der Trittsicherheit im Bereich des Nordufers wurde im Juli 2019 ein Teilbereich des Concordia Sees für eine vorgezogene Folgenutzung freigegeben. Der freigegebene Bereich umfasst einen ca. 650 m langen Uferabschnitt als Zugang zum See sowie etwa ein Drittel der gesamten Seefläche. Die freigegebene Seefläche wurde durch eine Bojenkette begrenzt.

HERSTELLUNG DES GEWÄSSERS

Auf der Grundlage einer genehmigten Flutungstechnologie zur Herstellung des Gewässers wurde der Wasserspiegel bis zu einem genehmigten Zwischenstand von +85 m NHN angehoben. Dieser Wasserspiegelanstieg erfolgte mit Hilfe der Überleitung von Wasser aus der Selke im Pumpbetrieb, Überleitung von Wasser aus dem Tagebaurestloch Königsau im freien Abfluss bzw. im Heberbetrieb und dem natürlichen ober- und unterirdischen Zufluss zum Restloch. Die weitere Flutung musste infolge der Böschungsbewegungen ausgesetzt werden. Auf Grundlage bisheriger Durchflussmessungen und Qualitätsanalysen gehobener Brunnenwässer sowie des Selkewassers wurde ein Abflusssteuerungskonzept für das Tagebaurestloch Nachterstedt erarbeitet, welches eine

Steuerung abzuleitender Wassermengen sowohl in die Selke als auch in den Concordia See erlaubt, ohne den Wasserspiegel im Concordia See über die derzeit festgelegten +85,0 m NHN ansteigen zu lassen. Dieses Abflusssteuerungskonzept wird im Rahmen der weiteren Planungen kontinuierlich fortgeschrieben und findet Berücksichtigung im wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahren.

Die Fortsetzung der Flutung des Tagebaurestloches bis zur Endhöhe von +103 m NHN erfolgt nach Abschluss der Hauptsanierungsleistungen voraussichtlich ab dem Jahr 2023. Im Ergebnis der hydrogeologischen Modellierung und den dort angestellten Variantenbetrachtungen ist eine maximale mittlere Anstiegsgeschwindigkeit des Restlochwasserspiegels von 1,0 m/a möglich. Dafür ist es erforderlich, neben dem natürlichen unter- und oberirdischen Zufluss, alle vorhandenen Filterbrunnen weiter zu betreiben und in den Concordia See einzuleiten und die Überleitung aus dem Tagebaurestloch Königsau in Betrieb zu halten. Für die Regulierung des zukünftigen Endwasserspiegels wird eine stationäre Pumpstation am Nordwestufer des Concordia Sees errichtet, um Überschusswasser aus dem See in den Hauptseegraben überzuleiten.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Infolge der beiden Rutschungsereignisse am Concordia See in Nachterstedt ergab sich die Notwendigkeit im Anschluss an die jeweilige Ursachenermittlung umfangreiche Sanierungsmaßnahmen zu planen, geotechnisch zu bewerten und sukzessive umzusetzen. Der derzeit erreichte Sanierungsstand ist das Ergebnis des in diesem Projekt sehr engen und konstruktiven Zusammenwirkens zwischen LMBV, LAGB, beteiligten Gutachtern und Planungsbüros sowie der Vielzahl von ausführenden Bauunternehmen. Im Jahr 2019 wurde ein Sanierungsstand erreicht, der eine vorgezogene Nutzung eines Teilbereiches des Concordia Sees erlaubte. Die weiteren noch notwendigen Sanierungsmaßnahmen werden voraussichtlich bis Ende des Jahres 2022 abgeschlossen, so dass im Anschluss die planmäßige Flutung des Sees bis zum Erreichen des Endwasserspiegels fortgesetzt werden kann und Maßnahme für die vorgesehen Folgenutzung umgesetzt werden können.

G.U.B. Ingenieur AG



Die G.U.B. Ingenieur AG ist ein unabhängiges Ingenieurunternehmen. Ihr Hauptsitz befindet sich in Zwickau im Freistaat Sachsen. Dazu gehören zehn weitere Standorte in Sachsen, Berlin, Brandenburg, Thüringen, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und im Saarland.

Das Unternehmen ist heute mit 180 Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Technikern deutschlandweit und international tätig. Die Kernkompetenzen auf den Gebieten Geo-, Umwelt- und Bautechnik sind namensgebend und bestimmend für die Geschäftsfelder der G.U.B. Ingenieur AG.

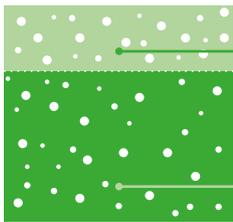
G.U.B. Ingenieur AG
Katharinenstraße 11
D-08056 Zwickau
Tel. 0049 375 27175-0
Fax 0049 375 27175-1299
Mail info@gub-ing.de
www.gub-ing.de



Sicherung der Altablagung mit Steinschüttung

SANIERUNG IN ZAHLEN

Massenbewegung



ab Oktober 2020
bis Sanierungsende
385.000 m³

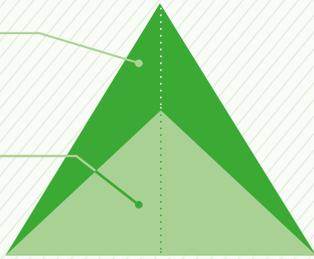
nach der
Böschungsbewegung
bis September 2020
890.000 m³

Böschungsbewegung

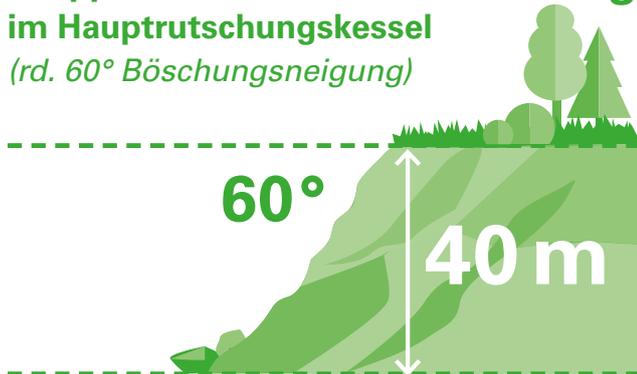
Haupttrutschungskessel

4,5 Mio. m³
Erdreich sind in
Bewegung geraten

CHEOPS-PYRAMIDE
2,58 Mio. m³



Knapp 40 m hohe **Steilböschung**
im Haupttrutschungskessel
(rd. 60° Böschungsneigung)



Insgesamt über

200
Unternehmen

größtenteils
aus der Region
am Projekt
beteiligt



Insgesamt

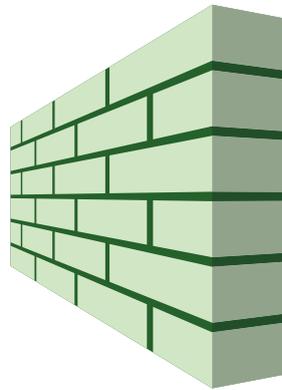
23.058

Rüttelsäulen
hergestellt

Gesamtlänge:
323 km



Herstellung von **8 Stützkörpern**
(Länge: 4.300 m, Massenzugabe: 265.000 m³)



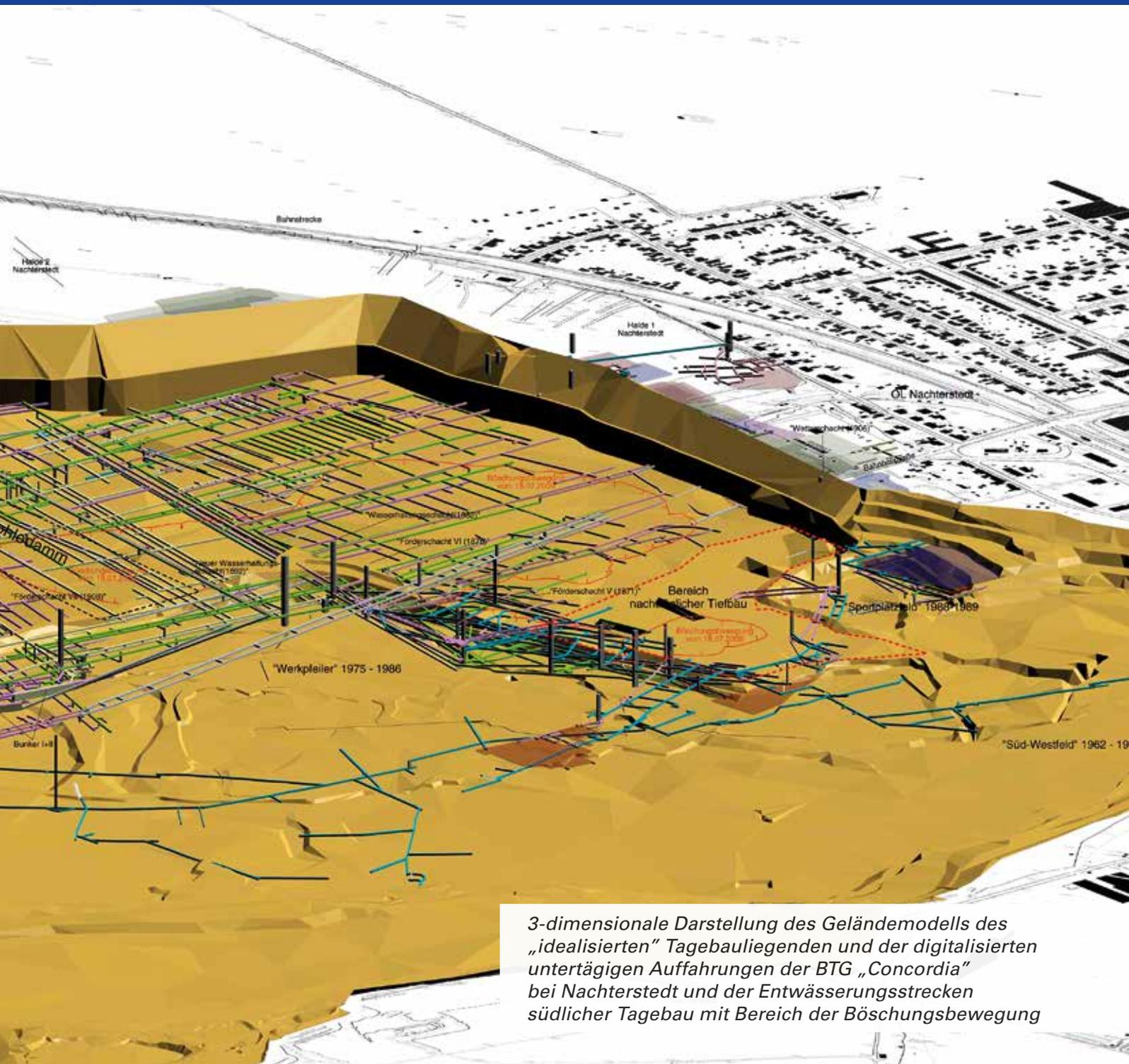
Gesamtvolumen von
3.700.000 m³
entspricht einer
ca. 10 m hohen
und 5 m dicken Mauer
von Nachterstedt
nach Leipzig

Noch **94,3 Mio m³**
zum Fluten notwendig – mehr als das
2-fache Volumen des Steinhuder Meers



THEMENKOMPLEX 3

3D-Modelle



3-dimensionale Darstellung des Geländemodells des „idealisierten“ Tagebauliegenden und der digitalisierten untertägigen Auffahrungen der BTG „Concordia“ bei Nachterstedt und der Entwässerungsstrecken südlicher Tagebau mit Bereich der Böschungsbewegung

GEOLOGISCHES 3D-STRUKTURMODELL

Autoren: Dipl.-Ing. Michael Rüger, Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder

ZIELSTELLUNG

Für die Ursachenforschung zur Böschungsbewegung in Nachterstedt vom 18.07.2009 und für die Ableitung von Sanierungsmaßnahmen war die Kenntnis der geologisch/hydrogeologischen Verhältnisse im Braunkohlentagebau Nachterstedt von essenzieller Bedeutung. Die bestehenden Modellvorstellungen über die Muldenstruktur der an der Randlage des Ascherslebener Zechsteinsattels gelegenen Lagerstätte Nachterstedt mit ihren uneinheitlichen Schichtkomplexen waren nicht flächendeckend dokumentiert, sondern bezogen sich aufgrund der langjährigen Bergbauhistorie immer auf einzelne Abbaufelder. In der fast 200-jährigen Geschichte des Braunkohlenbergbaus im Revier Aschersleben–Nachterstedt waren eine Vielzahl von Erkundungsbohrungen und Böschungsaufschlüssen hergestellt und kartiert worden, die oft nur im Rahmen des näheren Umfeldes, bezogen auf die jeweilige Grube, interpretiert und stratigrafisch eingeordnet wurden. Zusammenführende Erkundungsberichte wurden erst in den 1980er Jahren erstellt. Für die Bewertung der Ursachen zur Böschungsbewegung war eine in sich konsistente Modellvorstellung über die geologischen Verhältnisse erforderlich. Mit dem Aufbau eines geologischen 3D-Strukturmodells sollte diesem Anspruch nachgekommen werden. Das Modell sollte als Grundlage für alle weiteren geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Fragestellungen sowie Auswertungen dienen.

VERWENDETE MODELLSOFTWARE

Die Modellierung des Strukturmodells wurde mit dem System 3DS Geovia Surpac der Firma Dassault Systemes realisiert. Damit lassen sich Informationen aus Bohrdatenbanken (geologische Formationen, chemische Parameter und geophysikalische Bohrlochlogs), geologische Schnitte, Isolinien- und Verbreitungsdaten dreidimensional darstellen. Diese Informationen können sowohl für das Erstellen von Grenzflächen (geologische Basis- oder Top-Flächen, Geländeoberflächen) als

auch zur Veranschaulichung der räumlichen Datenverteilung und -dichte verwendet werden. Darüber hinaus erlaubt das Programmsystem die Übernahme räumlicher Daten von geologischen Strukturen (z. B. Schichtversatz an Störungszonen) und bergbaulichen Anlagen (z. B. Bergwerksstrukturen, Rüttelstützkörper etc.).

DATENGRUNDLAGE

Für den Aufbau des Strukturmodells galt es, eine Vielzahl von geologischen Informationen und Daten zu recherchieren und aufzubereiten. In einem ersten Schritt erfolgte die Datenrecherche in verschiedenen Archiven. Bedingt durch die langjährige Bergbauhistorie lagen eine Vielzahl von Bohrdokumentationen, geologischen Schnitten, geotechnischen Untersuchungsergebnissen sowie bergbaulichen Dokumentationen in unterschiedlichster Qualität vor. Alle relevanten Dokumente wurden erfasst und digitalisiert. So wurden durch die IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH (IHU) Stammdaten von Bohrungen sowie deren Schichtenverzeichnisse in eine Projektdatenbank aufgenommen. Geologische Karten und Risswerke wurden georeferenziert und digitalisiert. Voraussetzung für die Nutzung aller geologischen Daten war die einheitliche stratigrafische Einstufung der in den Schichtenverzeichnissen und geologischen Dokumentationen enthaltenen Schichtansprachen. Unter Federführung des Ingenieurbüros für Grundwasser GmbH (IBGW) und der IHU und in Abstimmung mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB LSA) wurde ein für die gesamte Braunkohlenlagerstätte Nachterstedt-Schadeleben und Frose-Wilsleben verbindliches hydrogeologisches Idealprofil erarbeitet.

Zur eindeutigen stratigrafischen Übertragung der Schichtinformationen in das Strukturmodell waren die in einer Bohrdatenbank aufgenommenen geologischen Aufschlussdaten entsprechend des hydrogeologischen Idealprofils nach DSE zu verschlüsseln. DSE steht hierbei für „Einheitlicher Datenspeicher Erkundung“ nach der für die Braunkohlenlagerstätten

Ostdeutschland 1985 erarbeiteten Erkundungsmethodik Braunkohle /1/. Regional übergreifend wird jeder stratigrafischen Einheit ein vierstelliger Zahlencode als DSE-Schlüssel zugewiesen. In Summe fanden Daten aus 3.866 Bohraufschlüssen und ca. 1.200 grafischen Dokumenten (Verbreitungs- und Mächtigkeitskarten, geologische Schnitte) Eingang in das Strukturmodell.

MODELLAUFBAU

Die Ausdehnung des Modellgebiets orientiert sich vorrangig an der Tertiärverbreitung sowie an der Verbreitung hydrogeologisch relevanter Schichtkomplexe. Das Modell umfasst eine Fläche von ca. 35 km². Die oberste Begrenzung des Modells bilden das digitale Geländemodell bzw. im Gewässerbereich die Daten der Seebodenlotung. Im Liegenden wird das Strukturmodell durch die muldenförmig ausgeprägte Prätertiäroberfläche begrenzt.

Das geologische 3D-Strukturmodell liegt als Mehrschicht-Grenzflächenmodell vor. Für den überwiegenden Teil der im Modellgebiet belegten stratigrafischen Einheiten wurden die entsprechenden Schichtunterkanten als Grenzflächen im Modell konstruiert. Die Muldenstruktur der Braunkohlenlagerstätte, die ungleichmäßige Verteilung von geologischen Aufschlüssen und die Berücksichtigung von Störungszonen erforderten einen iterativen Ansatz beim Aufbau des Strukturmodells. Dies erfolgte in mehreren Phasen.

Phase 1: Um die Lagerstätte stratigrafisch einheitlich zu charakterisieren, wurden erstmals über Feldesgrenzen hinausreichende geologische Referenzschnitte durch die IHU erstellt, deren stratigrafische Schichteinstufung auf der Basis des hydrogeologischen Idealprofils erfolgte. Sie dienen im weiteren Prozess des Modellaufbaus als Leitelemente für eine vereinheitlichte Stratifizierung der Bohrungen.

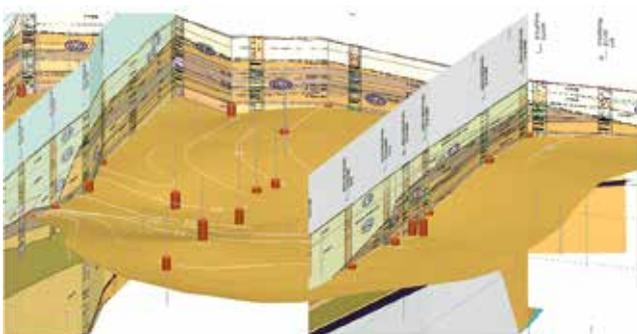


Abb. 1: Verschneidung einer Schichtgrenze mit den Aufschlüssen der Bohrdatenbank und mit geologischen Referenzschnitten

Phase 2: Für die einzelnen stratigrafischen Einheiten wurde auf der Grundlage der Stützstellen aus den Aufschlüssen der Projektdatenbank, den geologischen Referenzschnitten und unter Einbeziehung georeferenzierter Verbreitungs- und Mächtigkeitskarten eine 3D-Rohfläche erzeugt. Hierbei wurden die in der Projektdatenbank vorgenommenen stratigrafischen Einstufungen der einzelnen Schichten einer umfangreichen Plausibilitätskontrolle unterzogen. In dieser Phase wurden Sonderstrukturen, wie die tektonische Struktur des Schadelebener Grabens, quartäre Rinnestrukturen und bergbauliche Elemente (Kippen, Gräben etc.) in das Modell implementiert.

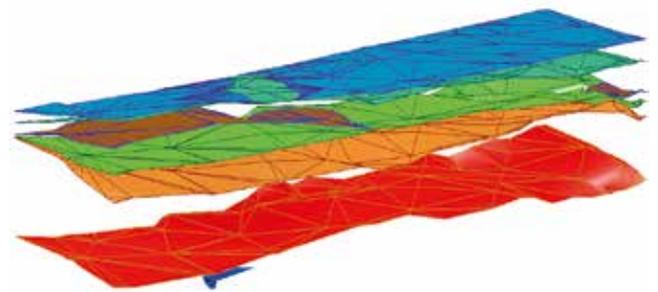


Abb. 2: Rohflächen der Schichtgrenzen

Phase 3: Abschließend erfolgt die Modifizierung der Rohflächen mittels gleichmäßig verteiltem Punktraster mit einer Rasterweite von 20 m. Insgesamt wurden so 38 stratigrafische Schichtgrenzen in das Strukturmodell aufgenommen.

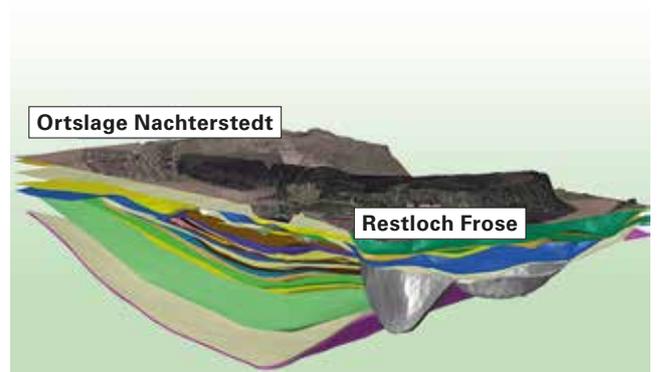


Abb. 3: Geologisches 3D-Strukturmodell Nachterstedt, dargestellt als Schichtgrenzenmodell

Dieser feingliedrige geologische Modellaufbau war notwendig, um den verschiedenen Ansprüchen einer umfassenden Analyse und der Nachverfolgung verschiedener Denkansätze zu den möglichen Ursachen der Böschungsbewegung gerecht zu werden.

Neben den rein geologischen Informationen erlaubt das Programmsystem SURPAC auch die Abbildung von geotechnischen Spezialstrukturen, lokalen Abbau- und Grabenstrukturen und die Einbindung von bergtechnologisch erzeugten Kippscheiben sowie des digitalen Altbergbaumodells.

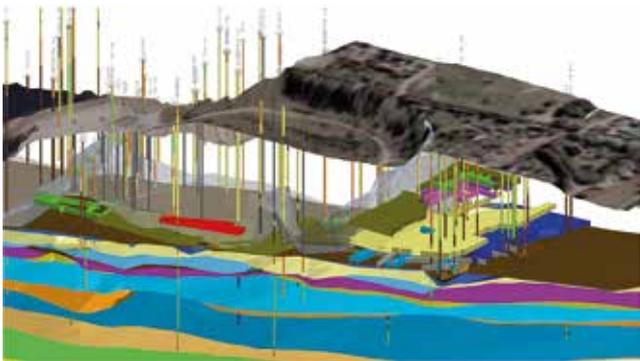


Abb. 4: Ausschnitt aus dem 3D-Strukturmodell mit Darstellung der Schichtgrenzen, der Bohraufschlüsse und des digitalen Gelände- und Altbergbaumodells

MODELLANWENDUNGEN

Die 3D-Visualisierung der im Strukturmodell zusammengeführten geologischen und bergbautechnischen Informationen ermöglicht ein erhöhtes Systemverständnis der Verhältnisse im Untergrund. Dies war hilfreich bei der Konzipierung weiterführender Erkundungsmaßnahmen und bei der Diskussion ursächlicher Zusammenhänge zur Böschungsbewegung.

Das verwendete Programmsystem Surpac stellt verschiedene Möglichkeiten der Informationsabfrage aus dem Modell zur Verfügung. Die grundlegendste Art der Modellauswertung ist die Ausgabe von Isolinien-, Mächtigkeits- und Verbreitungskarten der modellierten Schichten. Weiter lassen sich durch den flächendeckenden Abgleich der Schichtgrenzflächen hydraulische Verbindungen zwischen den Grundwasserleitern feststellen. Für die Planung und Durchführung von Erkundungsbohrungen wurden für die jeweiligen Bohransatzpunkte geologische Vorprofile aus dem Strukturmodell generiert. So war die Abschätzung der notwendigen Bohrtiefen und der Ausbauniveaus der zu errichtenden

Grundwassermessstellen im Rahmen der Ausschreibung von Bohrleistungen mit hoher Verlässlichkeit möglich. Dies führte zu einer effizienten Verwendung der für die Erkundungsleistung bereitgestellten finanziellen Mittel.

Die Zuordnung von Filterstrecken bestehender Grundwassermessstellen und Brunnen zu Grundwasserleitern konnte geprüft und ggf. korrigiert werden. Weiterhin erlaubt das Programmsystem die Abfrage von Schnittdarstellungen in beliebiger Länge und Ausrichtung aus dem Strukturmodell heraus. Diese geologischen Schnitte dienen vorrangig als Grundlage für geotechnische Berechnungen zum Nachweis der Standsicherheit von Böschungssystemen im Randbereich des Tagebaus und zur Klärung komplexer geotechnischer, geologischer und hydrogeologischer Zusammenhänge.

Mit der Einbindung des digitalen Altbergbaumodells in das geologische Strukturmodell konnten hydraulische Abhängigkeiten und Verbindungen zwischen den Streckenverläufen des Altbergbaus und Aquiferen geprüft werden. Bohransatzpunkte zur Erkundung des Zustandes der Strecken konnten gezielt festgelegt werden.

Das geologische 3D-Strukturmodell wurde in regelmäßigen Abständen mit den neuesten Ergebnissen der Nacherkundung aktualisiert, so dass den verschiedenen Facharbeitsgruppen zeitnah die aktuellen geologischen Modellvorstellungen zur Verfügung gestellt werden konnten.

LITHOLOGISCHES TEILMODELL

Von besonderem Interesse für die Ursachenforschung zur Böschungsbewegung war die im unmittelbaren Umfeld des Rutschungskessels wirkende Hydrodynamik zum Zeitpunkt des Ereignisses. Es wurden deshalb in diesem Bereich an ausgewählten Brunnen verschiedene hydraulische Wiederanstiegstests durchgeführt. Östlich und nordöstlich des Rutschungskessels lagen im Liegendkomplex des Flözes II (Grundwasserleiter GWL 6.3 bis GWL 7.2) Grundwasserstandsmessungen und hydraulische Brunnentestergebnisse vor, die trotz der feingliedrigen Modellstruktur mit

den hydrogeologischen Modellvorstellungen auf der Grundlage des vorliegenden Schichtgrenzenmodells nicht ohne Weiteres in Übereinstimmung zu bringen waren. Der zuerst verfolgte Modellansatz, die Abstraktion der geologisch/hydrogeologischen Verhältnisse allein nur auf stratigrafisch definierte Einheiten zu beziehen, wurde den komplexen Standortverhältnissen in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes nicht gerecht. Bei den Fachberatungen mit dem LAGB LSA wurde deutlich, dass der Liegendgrundwasserleiterkomplex genetisch als ein ästuarines System zu verstehen ist BALASKE /3/. Deshalb war den lithologischen Ausbildungen innerhalb eines stratigrafischen Horizontes größere Aufmerksamkeit zu widmen. In aktuellen Ästuaren kann das enge Nebeneinander von lithologisch stark differierenden Rinnenfüllungen beobachtet werden. So wurden in den Aufschlüssen innerhalb des GWL 6.3 verschiedene Lithologien angetroffen. Bekannt sind Splitterkiese und -sande mit sehr hohen Durchlässigkeiten, aber auch gebänderte schluffige Rinnenfüllungen.

Für die Bewertung der hydrodynamischen Verhältnisse im unmittelbaren Umfeld des Schadensbereiches erschien deshalb eine rein stratigrafisch begründete Modellvorstellung unzureichend. Es wurde daher die lithologische Ausbildung der einzelnen stratigrafischen Einheiten innerhalb des Schichtenkomplexes GWL 6.3 bis GWL 7.2 nochmals gesondert betrachtet, um ggf. vorhandene Strukturen mit erhöhten Durchlässigkeiten zu identifizieren. Die Herausforderung hierbei lag darin, die in den Ansprachen der einzelnen Bohrungen dokumentierten lithologischen Einzeldaten je Schicht unter Berücksichtigung der verschiedenen Anteile von Haupt- und Nebenbodenarten zu klassifizieren und in einen räumlichen Zusammenhang zu benachbarten Aufschlüssen und zu den lithologischen Daten der jeweiligen Hangend- und Liegendschicht zu bringen.

Für die räumliche Übertragung der lithologischen Informationen wurde auf der Basis des geologischen Grenzflächenmodells ein Blockmodell für den interessierenden Modellausschnitt gebildet. Die Blöcke wurden auf eine Größe von 20 m x 20 m x 1 m (Länge x Breite x Höhe) dimensioniert und mit klassifizierten lithologischen Informationen zu den Anteilen an Haupt- und Nebenbodenarten belegt.

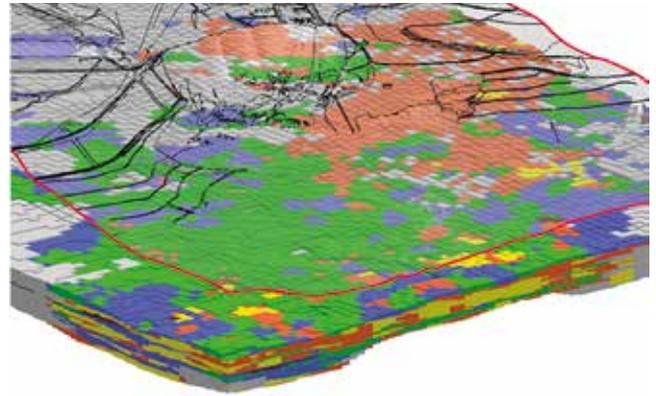


Abb. 5: Ausschnitt aus dem lithologischen Blockmodell – die Farbgebung der Blöcke beschreibt die jeweilige lithologische Klasse (gelb: Kies, rot: Sand, grün: Schluff, blau: Ton, braun: Kohle)

Hierbei kamen statistische Verfahren unter Berücksichtigung der räumlichen Varianz zur Anwendung. So gelang es, aus punktförmigen Informationen der Aufschlüsse räumlich zusammenhängende Strukturen abzuleiten. Mit Hilfe des Blockmodells konnten Bereiche höherer hydraulischer Durchlässigkeit ausgehalten werden, die schichtübergreifende rinnenförmige Strukturen ausbilden und bevorzugte Strömungsbahnen darstellen.

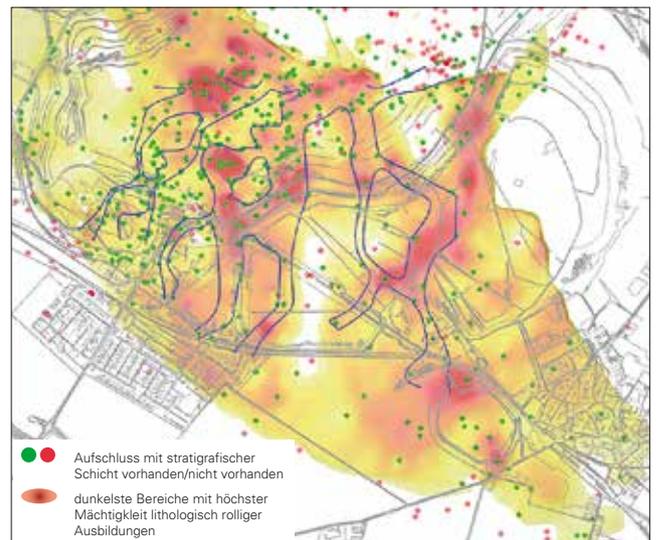


Abb. 6: Aus dem lithologischen Modell abgeleitete hydrodynamisch wirksame Rinnenstrukturen im Liegendkomplex des Flözes II

Demgegenüber standen aber auch Bereiche mit einem hohen bindigen Anteil, die entsprechende stauende Auswirkungen auf die lokale Hydrodynamik zeigten. Mit den Ergebnissen des lithologischen Teilmodells gelang es, eine hinreichend sichere strukturelle geologische Grundlage für das von IBGW erstellte

strömungsmechanische Modell zu schaffen, um die hydraulischen Testergebnisse aus dem Umfeld des Rutschungskessels auch plausibel modellieren zu können.

Mit dem geologischen 3D-Strukturmodell wurde ein stratigrafisch gesichertes dreidimensionales Basismodell geschaffen, welches für alle weiteren darauf aufbauenden Modellbetrachtungen, wie das strömungsmechanische Modell, geotechnische Berechnungen und weiterführende geotechnische Modelle zur Ursachenforschung und Sanierungsplanung genutzt werden konnte.

ERGÄNZENDE MODELLVORSTELLUNGEN ZUM PRÄTERTIÄR

Im Zusammenhang mit der Auswertung von seismischen Ereignissen für die Ursachenforschung zur Böschungsbewegung am 18.07.2009 waren auch die Vorstellung über die geologischen Verhältnisse im Prätertiär zu betrachten und hier speziell die Bedeutung von tektonischen Störungszonen zu untersuchen. Ergänzend zu dem vorzugsweise im Känozoikum angelegten geologischen 3D-Strukturmodell wurde eine weitergehende vereinfachte Modellstruktur für das Prätertiär erarbeitet.

Im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen zur Ursache der Böschungsbewegung wurde u. a. der Fragestellung nachgegangen, ob das gemessene seismische Initial aus dem tieferen präkänozoischen Untergrund des Untersuchungsgebietes herrühren kann. Die Komplexität der Thematik und der teufenbedingt geringere Aufschlussgrad in den betreffenden geologischen Horizonten fanden ihren Niederschlag in mehreren, stufenweise aufgebauten theoretischen und praktischen Untersuchungen. Eine wesentliche Grundlage der Überlegungen bildete die im Ergebnis der Braunkohlenerkundung Frose-Wilsleben 1986 /2/ revidierte Prätertiärkarte, in der auch der Verlauf der Athensleben-Störung eingetragen ist. Während einerseits ein bohrtechnisches Untersuchungsprogramm zu subsionsrelevanten Triasformationen in Zusammenarbeit mit dem LAGB LSA konzipiert wurde, erfolgte auf der anderen Seite eine eher theoretische Annäherung an Fragen der Verkarstung im Zechsteinsattel bzw. zum Vorhandensein und zur Wirksamkeit überregionaler Störungszonen. Ein Zwischenbericht, der auch erste Ergebnisse aus Prätertiärbohrungen berücksichtigte, wurde 2012

durch BAUER, GUB /5/ vorgelegt, in dem die relevanten Szenarien sehr konkret benannt und bewertet wurden.

Basis der Schlussfolgerungen bildeten die aktuellen Ergebnisse des im Rahmen der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung vom 18.07.2009 in Nachterstedt durchgeführten Untersuchungsprogramms zur Erkundung des tieferen Untergrundes, das folgenden Zielen diente:

- Durchteufen des kompletten Känozoikums und biostratigrafische Begleituntersuchungen zur Gewinnung repräsentativer Tertiärprofile
- Aufschluss der unter der Tertiärmulde ausstreichenden Triasschichten und Bewertung des vorliegenden Subrosionspotenzials
- Erweiterung des Kenntnisstandes zur Lage der Prätertiäroberfläche.

Nach dem Vorliegen des Berichts wurde mit der Bohrung P2970/13 (Prä3/11) die tiefste Bohrung des Untersuchungsprogramms zur Ursachenforschung fertiggestellt. Anders als vermutet, wurde das Röt, das unter der Basis der Tertiärmulde ab ca. 200 m Teufe erwartet wurde, bis zu einer Endteufe von 315 m noch nicht angetroffen. Die Bohrung wurde im Unteren Muschelkalk eingestellt. Als weiteres Ergebnis des Erkundungsprogramms lassen sich auf der Grundlage der in den neuen Prätertiärbohrungen festgestellten stratigrafischen Grenzen und Beträge bzw. Richtungen des Schichteinfallens deutliche störungsbedingte Versatzhöhen der prätertiären Schichtkomplexe belegen. Beispielhaft soll das an den Bohrungspaaren Prä1 und Prä2 sowie Anstrom3 und Prä5 verdeutlicht werden.

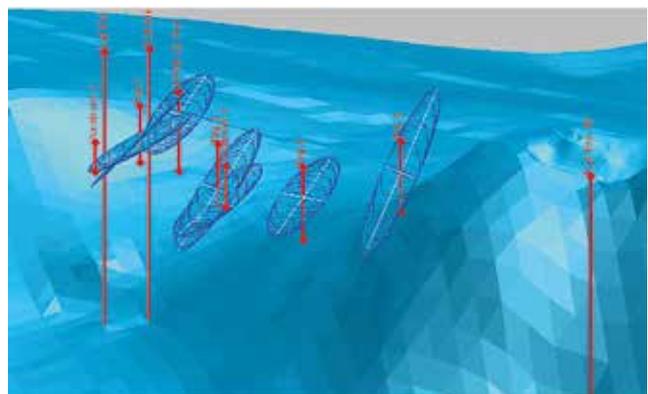


Abb. 7: Räumliche Darstellung des in den Prätertiärbohrungen gemessenen Schichteinfallens, leicht überhöht, Schichtpakete bis zum Zechstein abgedeckt (blau: Zechstein, rote Linie: Bohrung)

Entsprechend BEUTLER /6/ wurde im Endteufenbereich der Bohrung Prä1 die Mönchsberg-Subformation wahrscheinlich komplett erbohrt. Demzufolge kann die Schichtgrenze zwischen Grabfeld-Formation und Erfurt-Formation am Bohrpunkt Prä1 ca. 80 m tiefer ab ca. -160 m NHN erwartet werden. In Bohrung Prä2 wurde die Grenze zwischen Grabfeld-Formation und Erfurt-Formation unmittelbar aufgeschlossen (BEUTLER) /6/, jedoch auf einem Höhenniveau von -13,4 m NHN. Allgemein ist in größerer Entfernung zur Sattelachse und südlich des Sattels ein flaches Schichteinfallen von ca. 10° nach Südwest bzw. Westsüdwest zu verzeichnen. Da der Abstand beider Bohrungen zur Sattelachse etwa gleich ist, kann das Schichteinfallen vernachlässigt werden. Vielmehr muss die unterschiedliche Höhenlage der identifizierten Schichtgrenze als Indiz für eine zwischen den Aufschlüssen liegende Störung bzw. Störungszone mit Versatzhöhen von deutlich über 100 m interpretiert werden.

Aus den Bohrungen lassen sich mit Hilfe des ergänzenden Prätertiärmodells Versatzbeträge rekonstruieren, die sich zu einer Gesamtsprunghöhe von ca. 300 m zwischen Prä2 und Prä5, mit der Hochscholle im Westen, aufsummieren lassen.

Ein ca. 7 m mächtiger gestörter Schichtkomplex zwischen 272 m und 279 m Teufe in Prä3, erkenntlich an stark tonigen Zonen mit Muschelkalkbruchstücken, kann in diesem Zusammenhang als Indiz für eine Teilstörung innerhalb einer möglicherweise mehrere hundert Meter breiten, gestaffelten Störungszone gedeutet werden. Diese gestaffelte Störungszone ist als Athensleben-Störung anzunehmen.

Die Schollenbewegungen müssen überwiegend vor dem Einsetzen des Tertiärs abgeklungen sein, da sich die Sprunghöhen nicht signifikant in der Prätertiäroberfläche widerspiegeln.

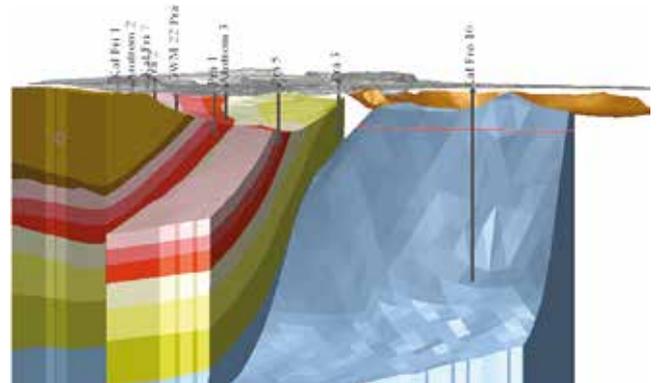


Abb. 8: Synoptische Blockdarstellung, leicht überhöht, Schichtpakete am Störungssystem teilweise abgedeckt (blau Zechstein, rote Linie: Salzspiegel, gelb: Buntsandstein, rot: Muschelkalk, dunkelbraun: Keuper, braun: Destruktionsrinne, grau: GOK)

Als wichtigste Ergebnisse des Prätertiärerkundungsprogramms sind neben den erbohrten, für stratigraphische Untersuchungen verfügbaren Tertiärprofilen, neue vertiefende Kenntnisse zum Bau des prätertiären Untergrundes im Bereich der südwestlichen Flanke des Ascherslebener Sattels sowie zur Ausbildung der Athensleben-Störung zwischen Staßfurter Sattel und Harznordrand zu vermerken. Gemeinsam mit weiteren in das Prätertiär reichenden Bohrungen im Subherzyn boten diese Erkenntnisse die Voraussetzungen für eine Revision der Prätertiärkarte des Untersuchungsgebiets durch das LAGB LSA /7/.

Insbesondere der im Untersuchungsgebiet bislang eher hypothetisch angesehenen Athensleben-Störung kommt nach den Erkundungsergebnissen eine maßgeblichere Bedeutung für die Interpretation der nordwestlichen Begrenzung des Zechsteinausstrichs am Ascherslebener Sattel zu. Die Störung zeigt sich erwartungsgemäß als breit angelegtes staffelartiges System. Die Versatzbeträge im Prätertiär sind an der Prätertiäroberfläche nicht mehr nachweisbar, was für eine prätertiäre Ausbildung der Störungszone mit eher geringem Einfluss auf die tertiären Ablagerungen spricht.

Mit der Übertragung der Erkundungsergebnisse aus den Prätertiärbohrungen in die Modellvorstellung zum prätertiären Untergrund wurde eine belastbare Grundlage für die Beantwortung der Fragestellung nach einem möglichen seismischen Initial durch den Fachgutachter geschaffen.

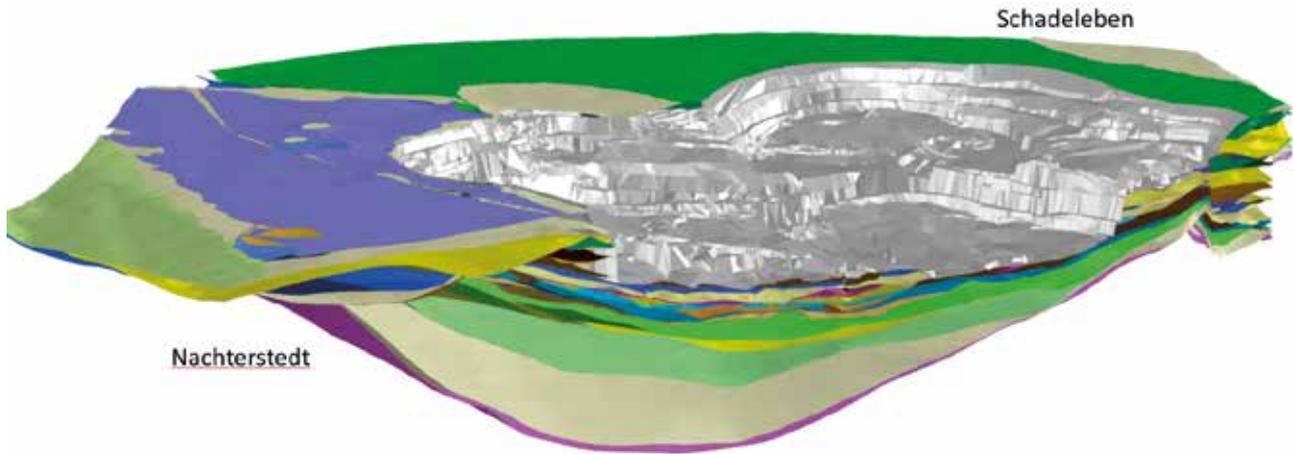


Abb. 9: Darstellung zur maximalen Erstreckung der Tagebauhohlform im 3D-Modell

HPC AG – Das Ingenieurunternehmen
Für die Umwelt. Für den Menschen.



Das Ingenieurunternehmen HPC AG gehört zu den internationalen Top-Unternehmen im Umweltbereich. Über 600 Mitarbeiter an 43 Standorten in Deutschland und Europa arbeiten an Projekten aus den Bereichen **Flächenrecycling, Umweltberatung** und **Infrastrukturplanung**. Damit beeinflussen wir maßgeblich die Umwelt und erreichen die Aufwertung ganzer Regionen. Das bedeutet Verantwortung gegenüber unseren Auftraggebern und unserer Gesellschaft – seit 1948.

HPC AG
Am Stadtweg 8
06217 Merseburg
merseburg@hpc.ag
www.hpc.ag

Literatur/Quellen:

- /1/ Ministerium für Kohle und Energie; Ministerium für Geologie (1985): Erkundungsmethodik Braunkohle, Berlin 1985 – unveröffentlicht
- /2/ VEB GFE (1986): Vorratsberechnung Braunkohle Frose-Wilsleben C1. – unveröffentlichte Berichterstattung Halle (S.) 1986
- /3/ BALASKE, P. (1998): Die marin beeinflussten Sande im Tertiär von Nachtersteden-Schadeleben in der Subherzynen Senke – Sedimentologie, Fazies und stratigraphische Bewertung. – Dissertation Halle (S.) 1998
- /4/ KARPE, W. (2004) Zur Geschichte der geologischen Erforschung und Erkundung im Braunkohlenrevier Aschersleben-Nachterstedt. – Hallesches Jahrb. Geowiss. (B26) S. 105-118
- /5/ BAUER, S. (2012): Potenzielle Verkarstungsszenarien im Bereich der Böschungsbewegung Nachterstedt vom 18.07.2009, GUB Leipzig, 09.11.2012 – unveröffentlichte Berichterstattung
- /6/ BEUTLER, G. (2012): Prätertiär Nachterstedt, Zwischenbericht, Ingenieurbüro Buckow, Freyburg 22.11.2012 – unveröffentlichte Berichterstattung
- /7/ STOTTMEISTER, WIMMER, BEUTLER & WITTFOTH (2015): Neue Prätertiäraufschlüsse im südlichen Subherzyn (Sachsen-Anhalt). – LUNG-Heft 1/2015 – Tagung Norddeutscher Geologen (S. 153-155)

ALTBERGBAUMODELL – 3D-MODELLIERUNG DER UNTERTÄGIGEN BERGMÄNNISCHEN AUFFAHRUNGEN

Autor: Dipl.-Ing. (FH) Martin Schnabel

Zur umfassenden Aufarbeitung der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 gehörte auch die Überprüfung der bergmännischen Risswerke und Digitalisierung der gesamten Altbergbausituation einschließlich der Verifizierung der Angaben. Im Prinzip wurde eine grundlegende Über- bzw. Neubearbeitung der vorhandenen risslichen Unterlagen vorgenommen.

Nach umfangreichen Archivrecherchen erfolgte eine Überprüfung der historischen Risswerke (siehe Abbildung 1) auf vollständige Übernahme in das digitale Risswerk (siehe Abbildung 2) und Aufarbeitung der Daten und Informationen zu den bergmännischen Auffahrungen. Ein Schwerpunkt war dabei die Sohlenzuordnung der einzelnen untertägigen Auffahrungen im Bereich der Grube „Concordia“ bei Nachterstedt und die Zuordnung der Tiefbausohlen der Grube „Ludwig“ bei Frose.

Danach wurden alle historischen Rissplatten und Pläne mit einer hohen Auflösung (400 dpi) gescannt, georeferenziert und die bergmännischen Auffahrungen im gesamten Bereich des Tagebaues Nachterstedt und der Braunkohlentiefbaugruben „Concordia“ bei Nachterstedt sowie „Ludwig“ bei Frose digitalisiert.

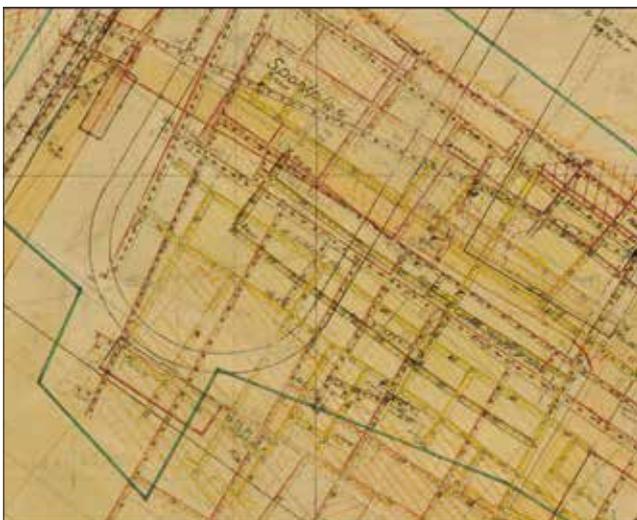


Abb. 1: Ausschnitt Fundamentalriss Blatt Ball – Bereich Bahnhofstraße (unmaßstäblich)



Abb. 2: Digitalisierung Tiefbau - Bereich Bahnhofstraße (unmaßstäblich)

DIGITALES „3D-TIEFBAUMODELL (TIEF)“

Auf Basis der Sohlenzuordnung konnten die einzelnen Tiefbausohlen als 3-dimensionale Modelle der untertägigen Auffahrungen und der einzelnen Schächte mit einem korrekten Höhenbezug erzeugt werden. Eine besondere Herausforderung war dabei die korrekte Darstellung der geneigten Ebenen bzw. der einfallenden Strecken, da nicht immer genug Höhen- bzw. Neigungsangaben dokumentiert waren. Im Ergebnis wurde das digitale „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ der untertägigen Streckenauffahrungen dieses Bereiches erstellt (siehe Abbildung 3).

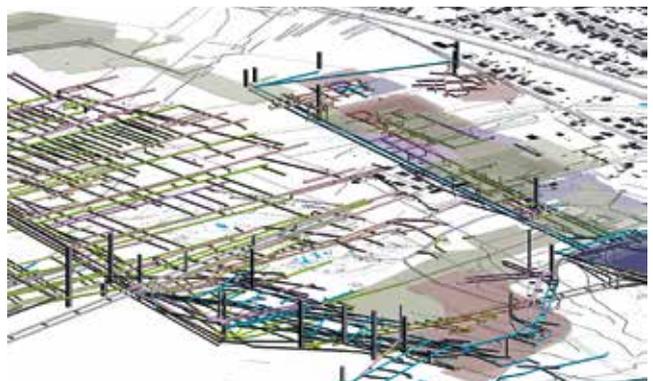


Abb. 3: Ausschnitt „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ im Bereich Bahnhofstraße

Durch weitere Erkenntnisse aus Archivrecherchen, Informationen, die im Rahmen der FAG Altbergbau durch die G.U.B. Ingenieur AG, Niederlassung Freiberg, erfolgten und wobei u. a. die zeitlich-technologische Entwicklung der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt für die Zeit von 1849 bis ca. 1940 aufgearbeitet wurde, konnte eine Ergänzung bzw. Präzisierung des digitalen „3D-Tiefbaumodells (TIEF)“ insbesondere in sieben Schwerpunktbereichen vorgenommen werden (z. B. Bereich „Sportplatzfeld“ – siehe Abbildung 4).

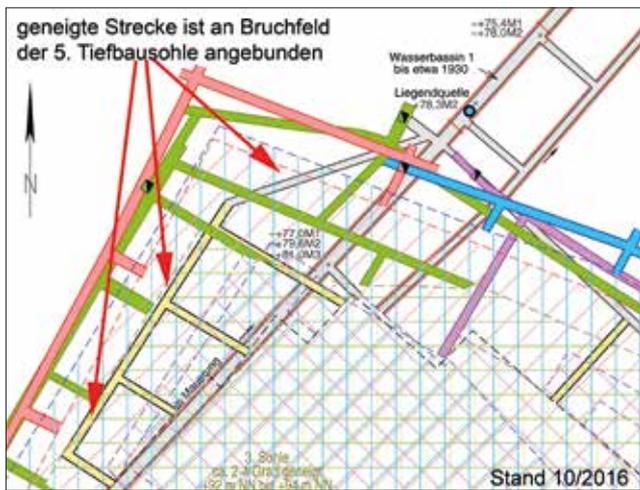


Abb. 4: Auszug aus dem digitalen „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ –Stand 10/2016, Bereich „Sportplatzfeld“ nach Einarbeitung der Erkenntnisse

Durch neuere Recherchen im Rahmen der Bearbeitung des „3D-Tiefbaumodells (TIEF)“ wurden weitere Rissunterlagen aufgefunden und u. a. festgestellt, dass ein großer Teil der untertägigen Auffahrungen der 2. Tiefbausohle der Grube „Ludwig“ bei Frose im Bereich Schießplatz nicht dargestellt waren, weil diese bisher nicht in den Rissen der Bergschadenkundlichen Analysen und Verwahrdokumentationen der 1970er Jahre erfasst waren.

Unter Einbeziehung aller vorhandener Bohrungen, insbesondere der gezielten Altbergbauerkundungsbohrungen aus den Jahren 2011/12 wurde das digitale „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ weiter fortgeführt und ergänzt. Bei den Bohrungen wurden insbesondere die ermittelten Sohlhöhen, Verfüll- bzw. Streckenzustände sowie angetroffene Hohlräume bzw. Auflockerungsbereiche innerhalb des Kohleflözes oder direkte Anzeichen für Tiefbaustrecken wie Ausbaumaterialien (z. B. Holz, Ziegelbruch etc.) oder Verfüllmaterialien an den konkreten Bohrstandorten erfasst und eingearbeitet.

Einen Schwerpunkt stellte dabei die Auswertung der Kontrollversatzbohrungen des Teilkontrollprogrammes Haldenstraße BTG „Concordia“ bei Nachterstedt dar (siehe Abbildung 5).



Abb. 5: Rissausschnitt Haldenstraße in Nachterstedt mit Darstellung der Kontrollversatzbohrungen 2010-2012

Aufbauend auf den Erkenntnisständen wurde ein weiteres Bohrprogramm zwischen 2013 und 2015 realisiert und das digitale „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ weiter aktualisiert und ergänzt.

Wesentliches Merkmal und besonderer Vorteil dieser Bearbeitung war der ständige Verschnitt der verschiedenen erarbeiteten Bergbaumodelle nach den jeweiligen Arbeitsständen und die daraus resultierenden Korrekturen für eine genauere/korrektore Darstellung der untertägigen bergmännischen Situation.

Besonders wichtig war der Abgleich mit dem geologischen „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ (siehe auch vorigen Beitrag) zur Überprüfung und Anpassung der bergmännischen Auffahrungen zu den geologischen Strukturen. Dabei wurden insgesamt 22 sogenannte Konfliktbereiche von HPC AG ausgewiesen, in denen die Höhenzuordnung der untertägigen bergmännischen Auffahrungen nicht innerhalb der im „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ ausgewiesenen Kohleflöze passt. Im Ergebnis der Überprüfung wurde in vier Bereichen die Höhenzuordnung einzelner Tiefbausohlen des „3D-Tiefbaumodells (TIEF)“ an das „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ angepasst und somit in das aktuelle „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ – Stand 2016 fortgeschrieben.

Einen besonderen Schwerpunkt stellten dabei die Bruchfelder der 7. und 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaus (Konfliktbereich 10) dar (siehe Abbildungen 6 und 7).



Abb. 6: Bruchfeld der 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaues (Konfliktbereich 10) vor Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ - Stand 2013



Abb. 7: Bruchfeld der 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaues (Konfliktbereich 10) nach Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ - Stand 2016

Es wurde bis vor dem Abgleich davon ausgegangen, dass die 7. und 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaus in Richtung Südwest mit ca. 2 bis 3 Grad Neigung ansteigt. Dies wurde im „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ -Stand 2013 so abgebildet, da es in diesem Gebiet keine Höhenangaben für die untertägigen Auffahrungen in den Altrissen gibt. Im „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ ist für die Lagerstätte zusätzlich zu dem Einfallen in Richtung Nordost auch ein deutliches Gefälle in Richtung Südost angegeben. Da dies bisher im „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ nicht berücksichtigt wurde, kam es im westlichen Bereich des Bruchfeldes der 8. Tiefbausohle zum Verschnitt mit dem geologischen Liegenden (siehe Abbildungen 6 und 7).

Ein weiterer Konfliktbereich wurde südlich des Tagebaues im Bereich Bahnhofstraße und Haldenstraße in der Ortslage Nachterstedt (Konfliktbereich 12) festgestellt, wo ein Teil der Streckenauffahrungen und Bruchfelder der 6. Tiefbausohle sich zum Teil im geologischen Liegenden befanden (siehe Abbildung 8).



Abb. 8: 6. Tiefbausohle im Bereich zwischen Haldenstraße und ehemaligem Tagebau im Verschnitt mit dem geologischen Liegenden, „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ - (Stand 04/2013) vor Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“

Die Ursache war wiederum die getroffene Annahme, dass die Streckenauffahrungen und Bruchfelder der 6. Tiefbausohle in diesem Bereich in Richtung Südwest mit ca. 2 bis 3 Grad Neigung ansteigen. Höhenangaben für den Tiefbau gab es in den Altrissen nicht.

Nach der Anpassung an das „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ ergibt sich folgende Situation (siehe Abbildung 9).



Abb. 9: gleicher Bereich wie Abb. 8, Verschnitt mit dem geologischen Liegenden „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ – (Stand 04/2013) nach Anpassung an das „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“

DIGITALES „3D-TAGEBAULIEGENDMODELL (LIEG)“

Parallel dazu erfolgte die Überprüfung der Tagebaustrukturen und insbesondere des Liegenden des Tagebaues bzw. der Auskohlungssteufen des vorhandenen Risswerkes.

Das Tagebauliegendmodell beschreibt die maximale Ausdehnung (Inanspruchnahme) des Tagebaues als räumliche dreidimensionale Kontur und umfasst die Sohlen aller Abbaustände seit Beginn der Kohlegewinnung im Tagebau sowie die Kontur der Endböschungssysteme bis zur Abgrabungsgrenze und stellt i. d. R. den Übergang von der heutigen Kippe zu den gewachsenen Bodenschichten dar. Das „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ bildet in seiner Gesamtheit eine Zeitspanne von über 150 Jahren Tagebaubetrieb ab.

Da für den südlichen Bereich des Tagebaues (1856 bis 1924) keine genauen Höhenangaben zur Auskohlungstiefe existieren, wurden zusätzlich zu den vorliegenden Tagebaukarten weitere Informationsquellen benötigt.

Zur Überprüfung und Verdichtung der Auskohlungsteufen und der Restkohlemächtigkeiten im Bereich des ehemaligen Tagebaues wurden die Pegel- und

Brunnenbohrungen genutzt. Von den im Bearbeitungsgebiet bekannten ca. 670 Bohrungen standen ca. 600 Schichtenverzeichnisse zur Interpretation zur Verfügung. Letztendlich konnten noch 325 Bohrungen für die Modellierung und Überprüfung des Tagebauliegenden genutzt werden. Zu diesen Bohrungen wurden auch Besonderheiten wie Probleme mit Wasser- bzw. Sand-/Kiesauftrieb beim Bohren erfasst und in das Modell einbezogen.

Nach der Digitalisierung der Tagebaukonturen wurde ein digitales „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ der ehemaligen Tagebausohle erstellt.

ERSTELLUNG EINES „IDEALISIERTEN 3D-TAGEBAULIEGENDMODELLS (ID-LIEG)“ IM BEREICH DES UNTERTÄGIGEN NACHBAUS

Der bereits genannte „untertägige Nachbau“ stellt im Bereich des Altagebaues (südwestlich des ehemaligen Werkpfeilers) eine Besonderheit für den Tagebau Nachterstedt und einen wesentlichen Bearbeitungsschwerpunkt dar. Infolge des hohen Wasserdruckes aus den Liegendschichten wurde in der Zeit zwischen 1886 und 1893 eine 7 bis 12 m (untergeordnet auch bis 18 m) mächtige Kohlebank stehen gelassen. Nachdem der Liegendwasserdruck im Bereich des Tagebaues durch das Abteufen zusätzlicher Wasserhaltungsschächte gesenkt werden konnte, wurde diese Kohlebank unterhalb der bereits überkippten Tagebausohle im Tiefbau, dem sogenannten Pfeilerbruchbau, noch nachträglich im Niveau der 7. und 8. Tiefbausohle abgebaut. Durch das Zubruchgehen der Bruchkammern sackte die ehemalige Tagebausohle in diesen Bereichen teilweise deutlich um 4 bis 8 m nach und es entstanden dadurch undefinierbare Verbruch- bzw. Auflockerungsbereiche an der Kippensohle, die hinsichtlich möglicher Wasserwegsamkeiten von Bedeutung sein konnten.

Außerdem war zu beachten, dass die als Stützpunkte zu nutzenden Pegel- und Brunnenbohrungen dadurch je nach Lage möglicherweise falsche Tagebauliegendhöhen ausweisen. Dies stellte ein Problem bei der Modellierung der ehemaligen Tagebaukontur dar, weshalb für den Bereich des untertägigen Nachbaus ein „idealisiertes 3D-Tagebauliegendmodell (id-LIEG)“ erstellt wurde. Außerdem ist zu beachten, dass

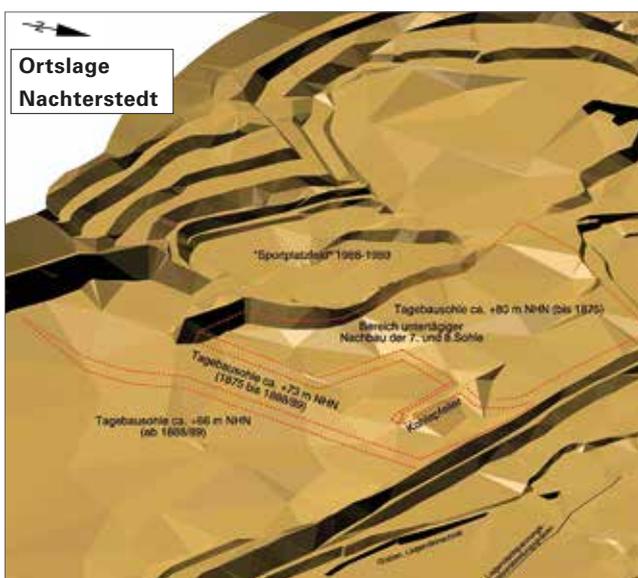


Abb. 10: Ausschnitt „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ – Bereich Sportplatzfeld

zwischen den Bruchkammern noch ehemalige Aus- und Vorrichtungsstrecken erhalten sind, welche unter dem Aspekt einer möglichen Wasserwegsamkeit untersucht werden sollten.

WEITERE ARCHIVRECHERCHEN ZUM TAGEBAU

Im Rahmen der umfangreichen Archivrecherchen von allen vorliegenden Betriebskarten und Tagebau- rissen wurden neben weiteren zusätzlichen Höhenpunkten, einzelne topologische Elemente wie Klär- becken, Gräben und Vertiefungen im Bereich der Tagebausohle ermittelt, die noch nicht in dem digita- len Abschlussrisswerk enthalten waren und deshalb in das „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ eingearbei- tet wurden. Besonderes Augenmerk fand dabei der Bereich des ehemaligen Werkpfeilers. Dort wurden eine Vielzahl von Gräben und Liegendwasserentspan- nungsgräben nachgearbeitet (siehe Abbildung 11).

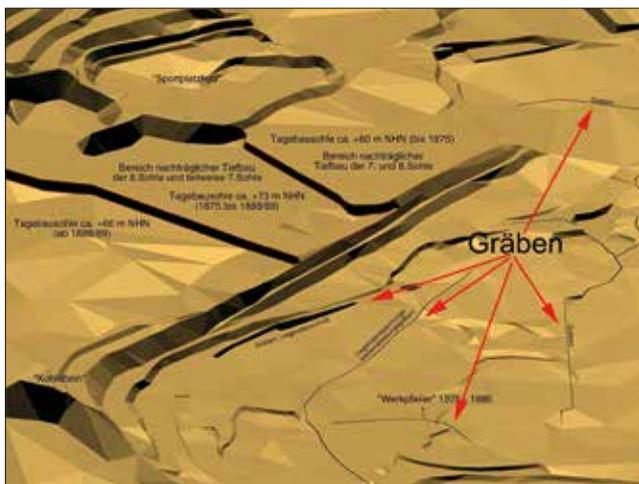


Abb. 11: Visualisierung des „idealisierten“ Modells (id-LIEG) - (Stand 2013) mit diversen Gräben im Bereich des ehemaligen Werkpfeilers

ÜBERARBEITUNG DER KONTUR DER TAGEBAUSÜDBÖSCHUNG IM BEREICH DES ALTTAGEBAUES (CA. 1885 – 1910)

Beim Verschnitt des „3D-Tagebauliegendmodells (LIEG)“ und des „3D-Tiefbaumodells (TIEF)“ war aufgefallen, dass im Bereich der ehemaligen Südböschung des Tagebaues die Bruchfelder des Tiefbaus zum Teil in den Tagebau ragten, obwohl diese erst nach

dem Tagebau aufgefahren worden waren. Nach nochmaligem Abgleich der Altrisse mit den Schnittdarstellungen wurde festgestellt, dass es sich bei der Tagebauschraffur nicht um die Kohlenunterkante, sondern um die Oberkante der abgebauten Kohle handelte.

Des Weiteren wurde die Tagebausüdböschung an die Ausprägung der Tiefbaufelder angepasst. Damit wurde sichergestellt, dass sich die beiden Modelle (LIEG und TIEF) im Bereich der Südböschung nicht überschneiden.

WEITERE ÜBERARBEITUNG DES „IDEALISIERTEN 3D-TAGEBAULIEGENDMODELLS (ID-LIEG)“ IM BEREICH DES UNTERTÄGIGEN NACHBAUS

Aufgrund der zusätzlichen Stützpunkte der Tagebauliegendmodelle durch die Bohrungen aus den Jahren 2013 bis 2015 wurde auch festgestellt, dass am nördlichen Rand des untertägigen Nachbaus (z. B. Bohrung P13 etc.) der Beginn der Kohle und somit das Tagebauliegende mit einer Höhe von +77,8 m NHN ausgewiesen wurde und damit ca. 5 m höher als in diesem Bereich bisher angenommen. Nach der Neubewertung der Schichtenverzeichnisse handelte es sich um die ehemalige hangende Kohle oberhalb einer Bruchkammer der 8. Tiefbausohle des untertägigen Nachbaus. Weiterhin wurden auch historische Bildaufnahmen des Tagebaues der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt aus dem Jahr 1876 zur Auswertung herangezogen, die die neuen Erkenntnisse bestätigen (siehe Abbildung 12).

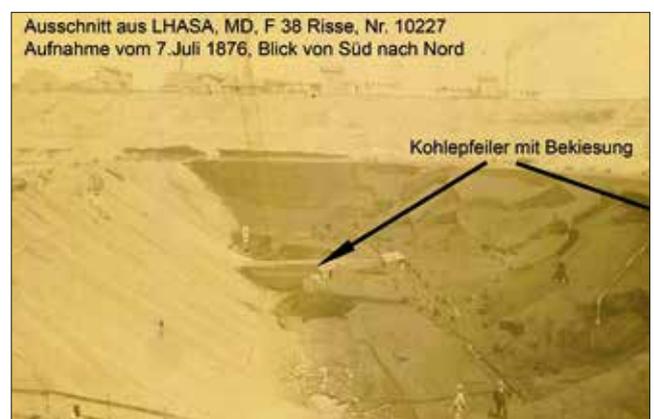


Abb. 12: Historische Bildaufnahme des Tagebaues der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt, aufgenommen am 7. Juli 1876

Die Höhe des in der Abbildung dargestellten Kohlepfeilers entspricht in etwa dem 7 m Höhensprung des Tagebauliegenden im Oktober 1875, wie dies auch aus einem historischem Profil und dem Betriebsriss erkennbar ist.

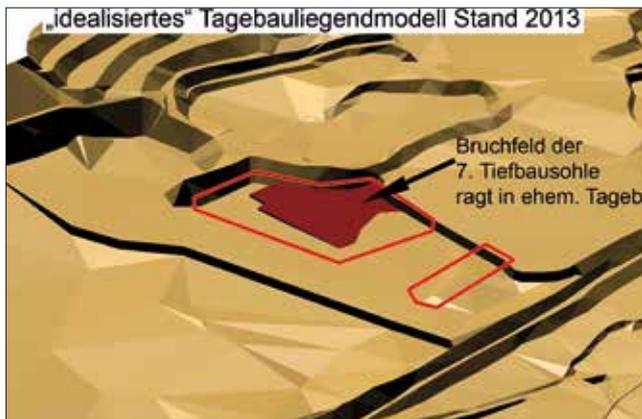


Abb. 13: Visualisierung des „idealisierten“ Tagebauliegenden (id-LIEG) - Stand 2013 im Bereich des untertägigen Nachbaues

Über den Zeitpunkt der Bildaufnahme und die in den Altrissen dargestellten Abbaustände lässt sich der Bereich des dargestellten Kohlepfeilers in Ost-West-Richtung relativ genau ermitteln, während die Position in Nord-Süd-Richtung anhand des Abstandes zur nördlichen Tagebaukante nur ungefähr abgeschätzt werden kann. Aufgrund der Übereinstimmung der Lage wird davon ausgegangen, dass die auffälligen Bohrungen den in Abbildungen 13 und 14 dargestellten Kohlepfeiler durchörtert haben. Deshalb wurde auch der Kohlepfeiler mit einer angenommenen Höhe von 7 m in das „idealisierte“ Tagebauliegendmodell id-LIEG (Stand 2016) eingearbeitet (s. Abbildung 14.).

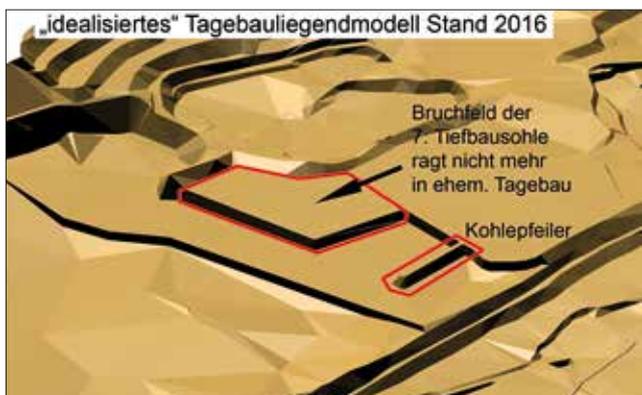


Abb. 14: Visualisierung des „idealisierten“ Tagebauliegenden (id-LIEG) – Stand 2016 mit dem Bruchfeld der 7. Tiefbausohle aus dem „3D-Tiefbaumodell (TIEF 4)“ im Bereich des untertägigen Nachbaues

Aufgrund dieser Bildinformationen und dem Konflikt beim Verschnitt der 7. Tiefbausohle mit dem „idealisierten 3D-Tagebauliegendmodell (id-LIEG)“ wurde auf dem Niveau von ca. +80 m NHN in der südlichen Hälfte des ehemaligen Alttagebaues weiter in Richtung Südost ausgedehnt (siehe Abbildung 14).

VERSCHNITT DER 3D-MODELLE „TIEF“ – „ID-LIEG“

Nach der Aktualisierung der digitalen 3D-Modelle „TIEF“ und „id-LIEG“ wurde eine Zusammenführung der Daten in ein gemeinsames 3D-Modell und ein Verschnitt der Daten des Tagebauliegenden mit denen des Tiefbaus vorgenommen (siehe Abbildung 15). Damit sind alle untertägigen bergmännischen Auffahrungen unterhalb des „idealisierten“ Tagebauliegenden sowie alle Auffälligkeiten und Änderungen im Risswerk erkennbar.

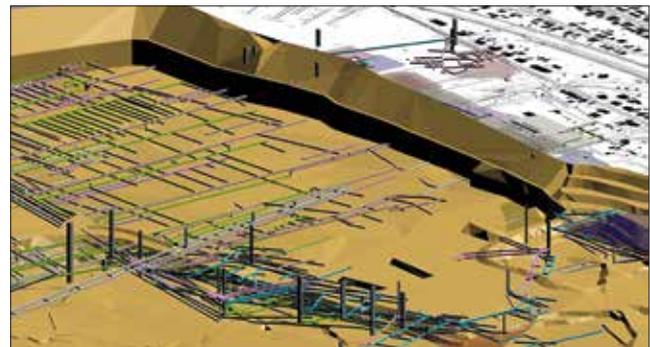


Abb. 15: 3D-Darstellung Tagesbauliegendmodell LIEG + 3D-Tiefbaustreckenmodell TIEF

Aus diesem Verschnitt der beiden Modelle wurden die noch existierenden Tiefbaubereiche abgeleitet. Nach Auswertung und Beurteilung der noch existierenden Tiefbaustrecken konnten Bereiche herausgearbeitet werden, welche insbesondere unter dem Aspekt möglicher Wasserwegsamkeiten relevant sein könnten.

ERGEBNISSE

Die offenen Fragen bzw. Unsicherheiten bezüglich der Tiefbausituation, der Restkohlemächtigkeit und der Tagebauliegendhöhen aus der ersten Zeit der Untersuchung der Böschungsbewegung konnten mit Hilfe der Modellbildungen und deren Verschnitt miteinander und auf Basis der 2011/2012 und 2013 bis 2015 geteufelten Erkundungsbohrungen und der Aufarbeitung der

zeitlich-technologischen Entwicklung der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt für die Zeit von 1849 bis ca. 1940 zum großen Teil geklärt werden.

Auf Basis der technisch-historischen Recherche zum Betriebsablauf der Grube „Concordia“ bei Nachterstedt in Kombination zum südlichen Bereich des ehemaligen Tagebaues Nachterstedt/Schadeleben sowie der Aufarbeitung der zeitlich-technologischen Entwicklung der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt für die Zeit von 1849 bis ca. 1940 im Rahmen der FAG Altbergbau Nachterstedt der LMBV konnten alle für den Betrieb der Grube „Concordia“ bei Nachterstedt relevanten technischen und technologischen Abläufe nachvollzogen werden.

Die im Rahmen dieser Bearbeitung erstellten bzw. verwendeten Modelle stehen in einer direkten Abhängigkeit zueinander. Sollte aufgrund von neuen bzw. zusätzlichen Erkenntnissen ein Modell geändert bzw. fortgeschrieben werden, ist zwingend zu überprüfen, ob diese möglichen Änderungen Einfluss auf die anderen Modelle haben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die Erstellung und Aktualisierung/Überarbeitung der digitalen „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ und „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ im Verschnitt mit dem geologischen „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ (s. Abbildung 16)

eine deutlich genauere Lage- und Höhendarstellung der untertägigen bergmännischen Auffahrungen in Bezug zum Tagebauliegenden erreicht wurde und in Verbindung mit den speziellen Altbergbau-Erkundungsbohrungen die Grundlagen für die Aussagen zu möglichen Wasserwegsamkeiten geschaffen wurden.

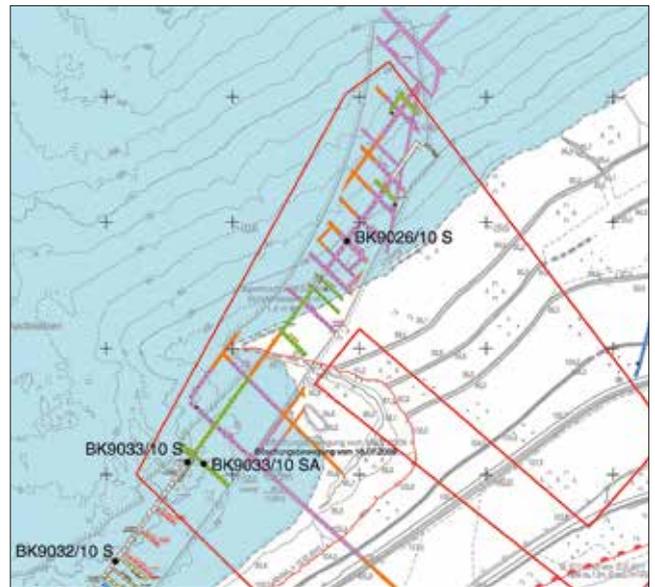


Abb. 16: Rissausschnitt Tiefbaustrecken mit Darstellung der Änderungen (orange) durch Verschnitt des aktualisierten „3D-Tagebauliegendmodells (LIEG)“ mit dem fortgeführten digitalen „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“

Ingenieurbüro L&S GmbH

Das Ingenieurbüro wurde 1991 als **Ingenieurvermessungsbüro Langner & Schameitat** gegründet, beide Gründer (Herr Langner und Herr Schameitat) sowie das Personal stammen aus der Markscheiderei des ehemaligen BKB Nachterstedt.

2002 erfolgte die Umfirmierung in **Ingenieurbüro L&S GmbH** mit dem Geschäftsführer Dipl.-Ing. (FH) Martin Schnabel.

Leistungsschwerpunkte sind die Ingenieurvermessung sowie die vermessungs- und ingenieurtechnische Betreuung von Sicherungs- und Sanierungsarbeiten der ehemaligen Braunkohlentagebaue in Mitteldeutschland sowie des ehemaligen Braunkohlentiefbaus in der Region.



Ingenieurbüro L&S GmbH
Vogelgesang 32
06449 Aschersleben
www.ib-lus.de

DAS HYDROLOGISCHE GROSSRAUMMODELL NACHTERSTEDT

Autoren: Prof. Dr. Holger Mansel, Dipl.-Ing. Friedemann Brückner, Dipl.-Hydrol. Wieland Philipp

EINLEITUNG

Das Bergbaurevier Nachterstedt-Königsau gehört zu den ältesten Braunkohleförderräumen in Deutschland. Der Beginn des Bergbaus reicht hier bis weit in das 19. Jahrhundert zurück, wobei der bergmännische Eingriff vor allem im hydrogeologisch äußerst komplexen Seeländereiental erfolgte. Beim Seeländereiental handelt es sich um eine flache durch Subrosionsvorgänge entstandene Senke über dem Ascherslebener Sattel, in der sich auch gegenwärtig noch Senkungserscheinungen nachweisen lassen. In diesem Bereich lag der Ascherslebener See, der jedoch Anfang des 18. Jahrhunderts trockengelegt und in Weide- und Ackerland umgewandelt wurde.

Zur territorialen Wiedereingliederung des bergmännisch geprägten Raumes wurden im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens aufwendige Untersuchungen durchgeführt, welche bereits in den 1990er Jahren die numerische Simulation des Grundwasserwiederanstiegs als wesentliche Grundlage benötigten. So waren Aussagen zur Flutung der Bergbaufolgeseen Nachterstedt und Königsau zu treffen, außerdem war der räumliche und zeitliche Grundwasserwiederanstieg im gesamten bergbaulich beeinflussten Einzugsgebiet zu berechnen. Darüber hinaus galt es, die Eingriffe zur tagebaubedingten Trockenlegung der benachbarten Seeländereien zu bewerten. Die Komplexität der gestellten Aufgaben erforderte für die Bearbeitung der daraus resultierenden hydrologischen und hydrogeologischen Fragestellungen den Aufbau und den Einsatz eines großräumigen Grundwassermodells.

Im Zusammenhang mit den Betrachtungen zum Grundwasserwiederanstieg in der Phase vor der 2009er Böschungsbewegung wurden neue planerische Anforderungen an das Grundwassermodell gestellt, die es erforderlich machten, das Modell weiter zu präzisieren. Dabei wurden sowohl zusätzliche

relevante hydrogeologische und hydrologische Prozesse mathematisch abgebildet und neue Randbedingungen eingeführt (z. B. Berücksichtigung zeitvariabler Grundwasserneubildungsraten) als auch das verwendete Basisraster in relevanten Betrachtungsgebieten verfeinert, um die Signifikanz der Modellergebnisse zu konkretisieren.

Mit den Untersuchungen zur Ursache der Böschungsbewegung von 2009 wurden die bis dato aufgestellten hydrogeologischen Modellvorstellungen in einer großen Detailtiefe fortgeschrieben. In diesem Zusammenhang waren außerdem die Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. der Bau von Entwässerungsbrunnen, zu planen und zu begleiten.

Letztendlich stand für die Planung der Sanierungsarbeiten, der Rüttelstützkörper (vgl. beiliegende Karte) und für die verschiedensten geotechnischen Fragestellungen ein Instrument zur Verfügung, welches die erforderlichen hydrogeologischen Ausgangsdaten in einer hohen Detailschärfe liefern konnte. Darüber hinaus war es möglich, auf Basis der physikalisch begründeten Abbildung der Grundwasserströmung unter Berücksichtigung schadstoffspezifischer Abbau- und Transportparameter die Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser einer am Concordia See liegenden Altlastenverdachtsfläche zu berechnen.

Nachfolgend wird der Aufbau des Grundwassermodells für die Tagebaue Nachterstedt und Königsau sowie die Nutzung des Modells an Hand ausgewählter Beispiele beschrieben.

MODELLBESCHREIBUNG

Allgemein

Für den Aufbau des Grundwassermodells wurde das speziell für montanhydrologische Aufgabenstellungen

entwickelte Programmsystem PCGEOFIM® verwendet. Damit können die dynamischen Grundwasserströmungsprozesse im Lockergesteins- und Porengrundwasserleiter instationär in einem dreidimensionalen Mehrschichtgrundwasserleitermodell berechnet werden.

Der in PCGEOFIM® verwendete numerische Lösungsalgorithmus basiert auf der Finite-Volumen-Methode, einem numerischen Lösungsverfahren, das sich durch Bilanztreue und Massenerhaltung innerhalb der Volumenelemente und einer flexiblen Gitterstruktur auszeichnet [U 1]. Das zu untersuchende Gebiet wird dabei in einzelne Volumenelemente unterteilt. In Abbildung 1 ist beispielhaft die Diskretisierung des Untergrunds in Volumenelemente dargestellt.

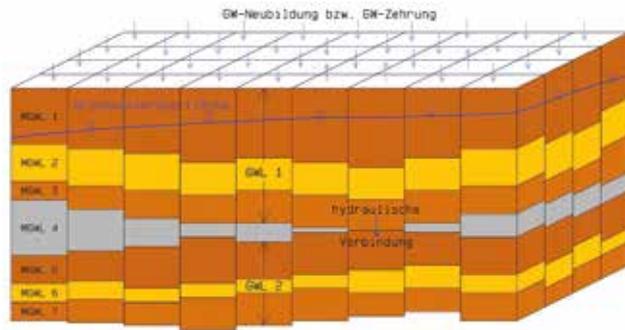


Abb. 1: Diskretisierung der Grundwasserleiter in finite Volumen

Die Größe der Volumen muss dabei so gewählt werden, dass die für die Fragestellung relevanten Prozesse hinreichend genau beschrieben und die geologischen Verhältnisse, die hydrogeologischen Eigenschaften der Grundwasserleiter sowie die Strömungsrandbedingungen dem vorliegenden Kenntnisstand entsprechend genau erfasst werden können. Dabei ist es möglich, die Netzauflösung in Teilbereichen des Modellgebiets über so benannte Modelllupen zu verfeinern. Eine regionale Verfeinerung ist z. B. dann erforderlich, wenn die Grundwasserstände in der Umgebung von Filterbrunnen in hoher Auflösung zu berechnen sind.

Für jedes Volumenelement sind die Abmessungen, die hydraulische Durchlässigkeit, die entwässerbare Porosität, der spezifische Speicherkoeffizient, die Grundwasserneubildung, Quellen (z. B. Grundwasserneubildung oder versickernde Fließgewässer) sowie

Senken (z. B. Filterbrunnen und Abstrom in Seen und Fließgewässer) und der Anfangswasserstand vorzugeben. Die Grundwasserbilanz wird für die einzelnen Volumenelemente bilanztreu berechnet. Die Abbildung 2 zeigt ein Volumenelement mit den Anbindungen an die angrenzenden Elemente.

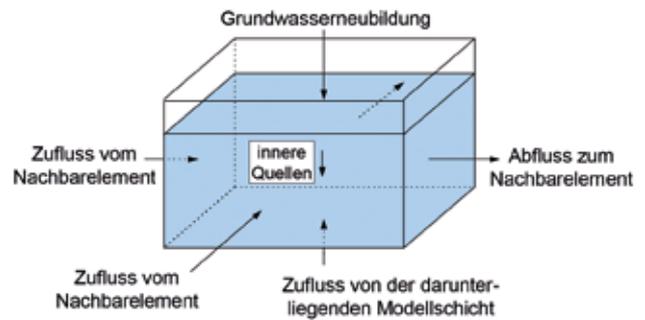


Abb. 2: Finites Volumenelement mit Darstellung der Grundwasserbilanz

Die Vorratsänderung in einem Volumenelement und damit die Änderung des Grundwasserstandes ist unmittelbar von den Zu- und Abflussbeträgen in die Nachbarelemente sowie durch die Quellen und Senken abhängig. Die Kontinuitätsgleichung enthält die Standrohrspiegelhöhe „h“ in Abhängigkeit von Ort, Zeit und den örtlich wechselnden hydrogeologischen Strömungsparametern des Speichervermögens und der Durchlässigkeit. Je nach Vorliegen gespannter oder ungespannter Verhältnisse im Grundwasserleiter können die Standrohrspiegelhöhen durch zwei unterschiedliche partielle Differentialgleichungen unter Berücksichtigung der Anfangs- und Randbedingungen berechnet werden.

Die Anfangsbedingungen werden durch gemessene Grundwasserstände im gesamten Modellgebiet zu Beginn der Berechnung vorgegeben.

Die Randbedingungen stellen die Kenntnis der Standrohrspiegelhöhe, der jeweiligen Zu-/Abflussbedingungen oder einer Kombination von beiden dar. Ohne die Kenntnis dieser Randbedingungen als Funktion der Zeit wäre die Lösung der Grundwasserströmungsgleichung nicht möglich. Wichtige Modellrandbedingungen sind neben den Filterbrunnen auch Stand- und Fließgewässer. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt das Prinzip der Übernahme von Stand- und Fließgewässern in die Modellstruktur.

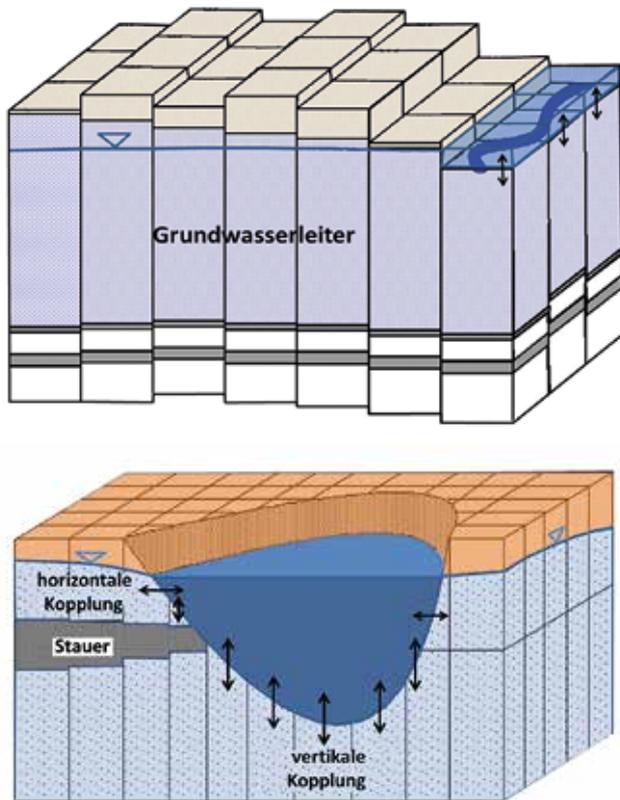


Abb. 3: Prinzipdarstellung der Berücksichtigung von Fließgewässern (oben) und Standgewässern (unten) in der Modellstruktur

Modellaufbau für die Tagebaue Nachterstedt und Königsau

Das Grundwasserströmungsmodell bildet eine Fläche von ca. 150 km² um die Tagebaurestlöcher Nachterstedt und Königsau bei einer maximalen Nord-Süd-Ausdehnung von 14 km und einer maximalen West-Ost-Ausdehnung von 16 km ab. Die Rasterweite des Grundrasters beträgt 250 m. Den Aufgaben- und Fragestellungen der Vergangenheit Rechnung tragend, wurde das Gitternetz in Teilbereichen durch Modelllupen verfeinert. Im Modellgebiet wurden inzwischen 17 Modelllupen angelegt (vgl. Abbildung 4). Die Verfeinerung des Grundrasters reicht von 125 m in den Seeländereien bis zu 16 m im Südbereich des Concordia Sees.

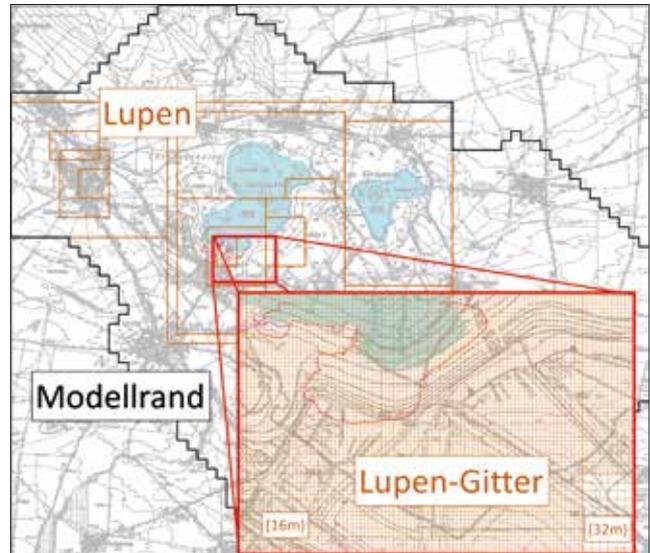


Abb. 4: Modelldiskretisierung, mit roter Umrandung die Rasterung im Bereich Böschungsbewegung 2009

Im Grundwasserströmungsmodell wurden die bereits während der aktiven Bergbauphase gewonnenen Erkenntnisse sowie die in der Sanierungsphase aufgenommenen Erkundungsergebnisse für die Abbildung der hydrogeologischen Verhältnisse verwendet. Die geologischen Verhältnisse im Modellgebiet sind ausführlich im Fachbeitrag ab S. 62 beschrieben. Die Morphologie der relevanten hydrogeologischen Schichten (Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter) wurden insbesondere auf Basis der Punktinformativen aus den vorliegenden Bohrungen interpoliert.

Im Rahmen der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung von 2009 wurden die geologischen Modellvorstellungen um den Concordia See durch Neubohrungen und den Aufbau eines dreidimensionalen Strukturmodells mit einer Fläche von 35 km² präzisiert, siehe Themenkomplex III a). Das Strukturmodell wurde später mit einer Fläche von 10 km² um den Königsauer See erweitert. Bei der Überführung des Strukturmodells in das Grundwasserströmungsmodell wurden die Übergangsbereiche zwischen dem bestehenden geologischen Modell und dem neuen Strukturmodell unter Berücksichtigung der Grundwasserdynamik angepasst. Dabei wurden die hydrogeologisch relevanten rolligen und bindigen Schichten in die Rasterstruktur des Grundwassermodells übernommen [U 3]. Die Flöze wurden dabei mit den zugehörigen bindigen Hangend- und Liegendbegleitern zusammengefasst. Die Kippe sowie

die quartären Rinnenstrukturen wurden in mehrere Modellgrundwasserleiter aufgeteilt, um die Nachbildung der horizontalen Strömungen von den einzelnen gewachsenen Grundwasserleitern in die Kippe und die Rinnen modellseitig zu gewährleisten. Im Grundwassermodell wurden nach der Zusammenfassung und der Unterteilung der einzelnen modellierten geologischen Strukturen insgesamt 28 unterschiedliche Schichten abgebildet, wovon 11 Schichten als Grundwasserleiter eingestuft wurden. Die Ursprungsparmetrisierung bzw. Erstvorgabe der kf-Werte der einzelnen Modellschichten orientierte sich an Kornverteilungsuntersuchungen, Laboruntersuchungen von Bohrkernen, Pumpversuchsauswertungen sowie an Literatur- und Erwartungswerten.

Ein beispielhafter Modellschnitt durch das Grundwassermodell mit dem eingebundenen geologischen Modell im Bereich der Böschungsbewegung von 2009 ist in der Abbildung 5 dargestellt.

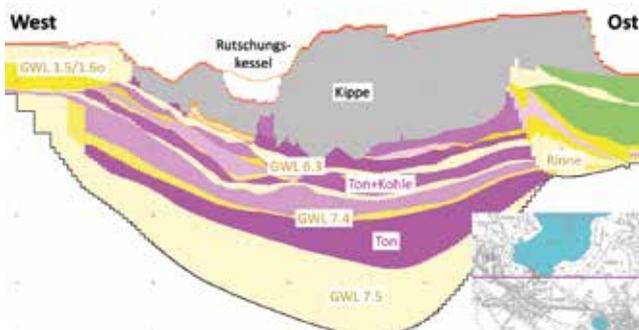


Abb. 5: Beispielhafter West-Ost-Schnitt durch das GW-Modell

Im Grundwassermodell werden die Oberflächengewässer in ihren geometrischen Konturen abgebildet, bilanziert und über Randbeziehungen 3. Art (= Wasserstandssteuerung der Randbedingung unter Berücksichtigung eines Strömungswiderstands zum Grundwasserleiter) mit den Grundwasserverhältnissen verknüpft. Dabei wird eine wechselseitige Strömung zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer zugelassen. Die Gewässeranbindungen werden mit unterschiedlichen Kolmationsschichten durch die Vergabe von individuellen kf-Werten abgebildet.

In das Modell wurden Fließgewässer und Grabensysteme wie die Selke, der Hauptseeegraben, der Grenzgraben und weitere relevante Fließgewässer integriert. Als Standgewässer sind unter anderem die Restlöcher Nachterstedt, Königsau, Frose und der Wilslebener See berücksichtigt. Die Morphometrie basiert auf detaillierten Lotungs- und Geländemodelldaten.

Am Modellrand wurden Randbedingungen 1. Art (= Wasserstandsvorgabe) und 2. Art (= Vorgaben von Zu- oder Abstromraten) eingepflegt, welche die Grundwasserverhältnisse an den Außengrenzen des Modellgebietes definieren.

Grundwasserbenutzungen wurden bei den zuständigen Behörden erfragt und im Modell durch Randbedingungen 3. Art (Filterbrunnen) berücksichtigt.

Mit der Außerbetriebnahme der Wasserhaltung in den Bergbaufolgeseen Königsau und Nachterstedt stiegen die Grundwasserstände im Modellgebiet kontinuierlich an. Durch das höhere Grundwasserniveau standen in bestimmten Bereichen des Modellgebietes Grund- und Oberflächenwässer in enger Wechselwirkung. Die flurnahen Grundwasserstände führten zu höheren Verdunstungsraten, so dass das verdunstete Wasser nicht zur Grundwasserneubildung beitrug und dadurch den Grundwasserwiederanstieg verlangsamte. Für eine qualifizierte Beschreibung des Wiederanstiegs war die Berücksichtigung dieser Wechselwirkung bzw. die exakte Berechnung der Grundwasserneubildung erforderlich. Dafür wurde das Grundwasserströmungsmodell mit einem Bodenwasserhaushaltsmodell (BWHM, auf Basis der Software ArcEGMO) gekoppelt. Das ermöglicht, dass die räumlich und zeitlich veränderlichen Sickerwassermengen, die lateralen Abflüsse und die Oberflächenabflüsse für das Modellgebiet berechnet werden können. Die beiden mathematischen Modelle wurden derart gekoppelt, dass das BWHM und das Grundwassermodell parallel laufen und in vorgegebenen Zeitabständen (ein Tag bis ein Monat) ihre Modellergebnisse iterativ austauschen. Dabei wird durch das Grundwassermodell der aktuelle Grundwasserflurabstand für einen Zeitpunkt t_0 berechnet und dem BWHM übergeben. Das BWHM

ermittelt unter Berücksichtigung dieses Grundwasserflurabstands die verdunstungsabhängige Grundwasserneubildungsrate, welche wiederum für die Berechnung des nachfolgenden Zeitpunkts t_1 an das Grundwassermodell übergeben wird und somit Grundlage für die Berechnung des neuen Grundwasserflurabstandes zu diesem Zeitpunkt ist.

Für die Modellkalibrierung wurden die Grundwasserstandsmessungen des umfangreichen Monitorings (vgl. Themenkomplex V) mit inzwischen mehr als 1.200 Messstellen und 900.000 Messwerten herangezogen. Dabei wurden die Berechnungsergebnisse durch eine gezielte Parametervariation der k_f -Werte mit einer möglichst geringen Abweichung an den gemessenen Grundwasserständen kalibriert. Die Abweichung zwischen den gemessenen und den berechneten Grundwasserstandswerten beträgt für das Gesamtmodell weniger als ein Meter. In der Abbildung 6 sind in einem Korrelogramm die berechneten und gemessenen Grundwasserstände gegenübergestellt. Dabei lässt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Werten festhalten. Die Modellgüte kann als hinreichend genau eingeschätzt werden.

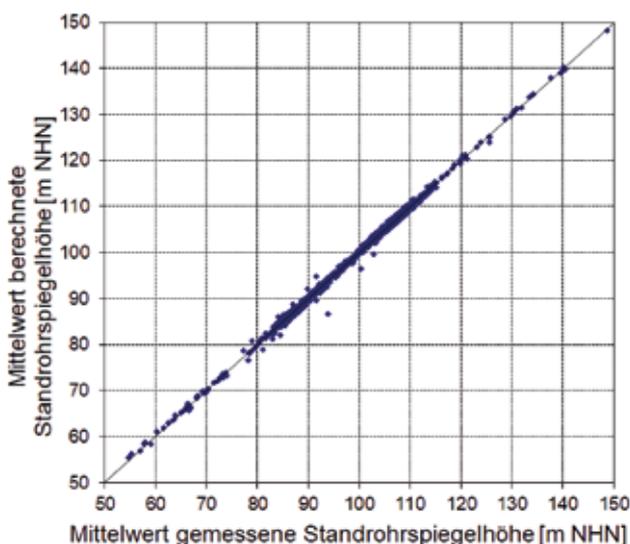


Abb. 6: Korrelogramm der mittleren gemessenen und berechneten Grundwasserstände

AUSGEWÄHLTE MODELLANWENDUNGEN WÄHREND DER URSACHENFORSCHUNG UND DER SANIERUNGSPHASE

Prognoseberechnungen

Mit Hilfe eines kalibrierten Grundwassermodells können Prognoseberechnungen durchgeführt werden. So lassen sich zukünftige Grundwasserhältnisse berechnen oder Eingriffe in das Grundwasserregime beurteilen. Die Prognosen sind häufig entscheidende Grundlagen für die Genehmigungsverfahren, für Bauplanungen, aber z. B. auch für geotechnische Berechnungen.

Für den Planfeststellungsantrag zur Gewässerherstellung der Bergbaufolgeseen Nachterstedt und Königsau waren unter anderem der zeitliche Verlauf des Seewasserstandes während der Flutung und die Dauer bis zum Erreichen des Endwasserstandes zu berechnen. Die beiden Angaben sind maßgeblich vom Flutungsszenario des Concordia Sees abhängig. Zur Entscheidungsfindung des optimalen Flutungsszenarios waren unterschiedliche Varianten zu untersuchen. Die Varianten unterschieden sich prinzipiell in:

- Flutung durch Eigenaufgang des Grundwassers (ohne Fremdwasserflutung)
- Flutung durch Eigenaufgang des Grundwassers und Betreiben von Filterbrunnen und Einleitung des gehobenen Wassers in den Concordia See
- Flutung durch Eigenaufgang des Grundwassers und Betreiben von Filterbrunnen und Einleitung des gehobenen Wassers in den Concordia See sowie Einleitung von Selkewasser

Bei den angebenen Varianten wurden zusätzliche Untervarianten berechnet, bei denen nur ausgewählte Filterbrunnen bis zum Erreichen des Endwasserstandes zu betreiben sowie zwei unterschiedliche Endwasserstände im Concordia See von +103 m NHN und +107,3 m NHN (Wasserstand bei dem keine Wasserhaltung zu betreiben ist) anzusetzen waren. In der Abbildung 7 ist als Beispiel der zeitliche Verlauf des Seewasserstandes eines berechneten Flutungsszenarios dargestellt.

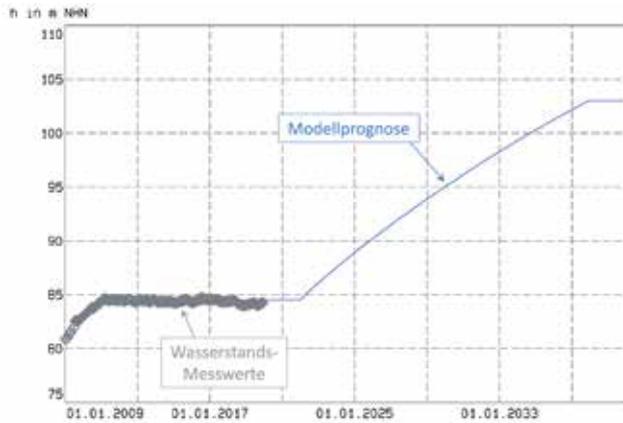


Abb. 7: Prognosevariante Flutung des Concordia Sees durch Eigenaufgang und Einleitung von Filterbrunnenwasser

Bei der Berechnung des in Abbildung 7 gezeigten Seewasseranstiegs wurde angenommen, dass die im Rahmen der Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen abgeteufte Filterbrunnen die maximal möglichen Hebungsmengen fördern und die gehobenen Grundwasser in den Concordia See bis zum Erreichen des Endwasserstands von +103 m NHN eingeleitet werden. Ausgehend von einem Seewasserstand von +84,5 m NHN würde der Concordia See seinen Endwasserstand theoretisch nach rund 15 Jahren erreichen.

Die Ergebnisse der Modell- bzw. Prognoseberechnungen waren nicht nur eine wesentliche Planungsgrundlage für die Entscheidung über das optimale Flutungsszenario, sondern auch eine erforderliche Angabe im Planfeststellungsantrag.

Epignoseberechnungen

Die bekanntesten Modellanwendungen sind Vorhersagen bzw. Prognosen. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Epignose. Epignoseberechnungen werden bei Fragestellungen zu bereits vergangenen Zuständen eingesetzt, die teils oder gänzlich unbekannt sind. Letztendlich handelt es sich hierbei um eine Rückrechnung bereits vergangener Prozesse.

Im Rahmen der Ursachenforschung der 2009er Böschungsbewegung wurden für die Überprüfung und die Präzisierung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der Böschungsbewegung am Concordia See Kernbohrungen abgeteufte.

Die Bohrungen erfolgten sowohl land- als auch see-seitig. Durch die geologische Aufnahme der gewonnenen Kernproben und der im Anschluss durchgeführten Erstellung des dreidimensionalen Strukturmodells konnten die Vorstellungen der komplexen und feinteiligen Geologie im Bereich der Böschungsbewegung konkretisiert werden. Die Bohrungen wurden landseitig als Grundwassermessstellen ausgebaut. Auf dem See wurden in die Bohrlöcher Piezometer für die Aufnahme der Potentialverhältnisse in den Grundwasserleiter eingebracht. Die see-seitigen Bohrungen wurden im Anschluss verfüllt. Eine genaue Beschreibung ist den Themenkomplexen V und VI zu entnehmen. Durch die in den Piezometern und den neuen Grundwassermessstellen aufgenommenen Potentialhöhen konnte die Vorstellung der Grundwasserdynamik im Bereich der Böschungsbewegung konkretisiert und die Modellgüte entscheidend verbessert werden. Durch die neuen hydrogeologischen Erkenntnisse ließen sich mit dem überarbeiteten Modell die Grundwasserverhältnisse in der Zeit vor der Böschungsbewegung berechnen bzw. abschätzen.

Die epignostischen Berechnungen ergaben, dass der Grundwasserleiter 6.3 – ein gespannter Grundwasserleiter, der im Bereich der Böschungsbewegung von einem bzw. zwei Flözschieben und der Bergbaukippe überlagert ist – vor dem geotechnischen Ereignis lokal hohe Druckwasserstände aufwies. Das Berechnungsergebnis der Epignose ist in Abbildung 8 dargestellt.

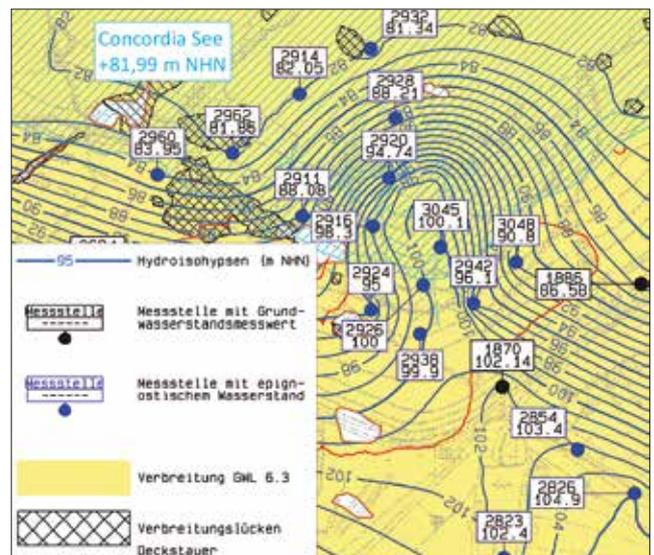


Abb. 8: Rekonstruktion des Druckwasserspiegelniveaus im GWL 6.3 vor der Böschungsbewegung

Der Ausschnitt aus dem Hydroisohypsenplan des Grundwasserleiters 6.3 zeigt, dass sich vor der Böschungsbewegung in einer eng begrenzt geologischen Struktur hohe Druckwasserstände von bis zu +100 m NHN im Uferbereich des Concordia Sees aufgebaut haben. Diese geologische Struktur steht im Süden hydrogeologisch mit gut durchlässigen wasserführenden quartären Schichten in Verbindung, wodurch eine ausgiebige Versorgung mit Grundwasser möglich wird. Nach Norden, Westen und Osten sowie zur Kippe und zu den anderen Liegendgrundwasserleitern ist die Struktur hydraulisch weitgehend abgeschlossen, was den Aufbau der hohen Drücke maßgeblich begünstigt.

Die epignostischen Modellergebnisse waren eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung der Modellvorstellungen des Versagensmechanismus der Böschungsbewegung 2009 [U 2].

Weitere ausgewählte Modellanwendungen im Rahmen der Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen

Schadstofftransportmodellierung

Für eine am Concordia See angetroffene Altlastenverdachtsfläche war die davon ausgehende Gefährdung für das Schutzgut Oberflächengewässer abzuschätzen. In einem umfangreichen Untersuchungsprogramm wurden die Migrationsparameter (Abbau- und Transportparameter) der Schadstoffe bestimmt und die Dynamik der Ausbreitungsfahne gemessen. Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Abbau- und Transportparameter konnte das Grundwassermodell zu einem Schadstofftransportmodell erweitert werden. Damit ließen sich die aus der Altlastenverdachtsfläche dem Concordia See zuströmenden Schadstofffrachten abschätzen, die eine wesentliche Grundlage für die Erstellung der Gefährdungsabschätzung waren. Detailliertere Angaben zu dieser Thematik sind im Themenkomplex VI beschrieben.

Modellergebnisse als Eingangsdaten für geotechnische Berechnungen

Für die in Nachterstedt durchzuführenden Standsicherheitseinschätzungen wurden für die Zuarbeiten der Wasserstandsverhältnisse zweidimensionale Modellberechnungen durchgeführt. Bei den Modellberechnungen

wurden dabei die geologischen Verhältnisse mit Hilfe von Schnittdarstellungen abgebildet. Je nach Anforderung an die Standsicherheitsuntersuchungen werden die Sicker- und Drucklinien verschiedener Grundwasserleiter oder auch das Potentialliniennetz des Grundwassers (Darstellung der Linien gleicher Grundwasserpotentiale) berücksichtigt. Das Potentialliniennetz wurde mit Hilfe einer zweidimensionalen Grundwassermodellierung berechnet. Galt es prognostische Grundwasserverhältnisse zu modellieren, flossen die mit dem dreidimensionalen Grundwassermodell berechneten Wasserstände als Randbedingungen in die Modellberechnungen des Potentialliniennetzes ein. Die hydrogeologischen Modellergebnisse waren folglich eine maßgebliche Voraussetzung für die geotechnischen Untersuchungen.

Abschätzung der hydrogeologischen Wirkung von Filterbrunnen

Zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit wurden in Nachterstedt zahlreiche Filterbrunnen zur Reduzierung der Druckverhältnisse in den Liegendgrundwasserleitern und zur Absenkung des Grundwasserspiegels im Hangendgrundwasserleiter geplant und errichtet. Im Rahmen der Planung und zum Nachweis der Wirkung der Maßnahme ließen sich die durch den Filterbrunnenbetrieb einstellenden Absenkungstrichter mit Hilfe von Modellberechnungen abschätzen.

Im Ergebnis der Modellierung konnten die Standorte der Filterbrunnen in der Planungsphase derart optimiert werden, dass die Brunnen eine maximale Wirkung erzielten. Darüber hinaus war es möglich sowohl die Förderraten als auch die maximale Reichweite der Filterbrunnenförderung abzuschätzen.

Der Einsatz eines Grundwassermodells ist für die optimale Planung von Filterbrunnen insbesondere bei sich überlagernder Filterbrunnenwirkung und bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen eine wertvolle Unterstützung.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das für die Tagebaue Königsau und Nachterstedt aufgebaute Grundwassermodell wurde mit fortlaufender

Sanierung der Tagebaue und der Ursachenforschung der Böschungsbewegung von 2009 kontinuierlich präzisiert. Das physikalisch begründete Modell konnte hinreichend genau an Hand von zahlreichen Grundwassermessungen kalibriert und verifiziert werden. Insbesondere die Kopplung mit einem BWHM für die Berechnung der Grundwasserneubildung und die Einbindung der geologischen Strukturmodelle trug maßgeblich zur Verbesserung der Modellgüte bei.

Mit der weiteren Begleitung der Sanierung der Böschungssysteme am Concordia See und der Fortführung der Seeflutung sind die vorliegenden Modellberechnungsergebnisse zu verifizieren, neue Erkenntnisse z. B. der Geologie oder der Kippenzusammensetzung in das Modell aufzunehmen und aktuelle Grundwasserstandsmessungen für die fortzuführende Modellkalibrierung heranzuziehen.

Am Beispiel der Tagebausanierung Nachterstedt und Königsau sowie der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung am 18.07.2009 konnte gezeigt werden, dass solch ein „Ständig arbeitendes Modell“ für die Planung von Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen, für das Planfeststellungsverfahren und für die geotechnische Berechnungen belastbare Ausgangsergebnisse liefert. Damit stellen Grundwasserströmungsmodelle in der Sanierung von Tagebauen bzw. Bergbaufolgeseen ein überaus wichtiges Instrument dar, um die Grundwasserdynamik besser zu verstehen und um Auswirkungen auf das Grundwassersystem und zukünftige Veränderungen der Grundwasserstände abschätzen zu können. Außerdem können die Ergebnisse von hoch aufgelösten Grundwasserströmungsmodellen für die Standsicherheitsberechnungen von Böschungssystemen sowie als Entscheidungshilfswerkzeug für die wasserwirtschaftliche Bewirtschaftung eingesetzt werden.

Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (IBGW)

Die Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH ist ein 1991 gegründetes Unternehmen, das unter anderem auf dem Gebiet der hydrogeologischen Modellierung im Rahmen des Sanierungs- und aktiven Bergbaus in Mitteldeutschland und der Lausitz tätig ist. Die Schwerpunkte unseres Dienstleistungsspektrums liegen neben der Auswertung geologischer und hydrologischer Fragestellungen auf komplexen hydrogeologischen Berechnungen mittels Großraummodellen. Die fachliche Kompetenz unserer Mitarbeiter liefert einen entscheidenden Beitrag zur ressourcenschonenden und umweltverträglichen Gestaltung aller Eingriffe in das Grundwasser.



**Ingenieurbüro für
Grundwasser GmbH
Nonnenstraße 9
04229 Leipzig
Tel.: +49 341 2256115
Fax: +49 341 2256129**

Web: www.ibgw-leipzig.de

Literatur/Quellen:

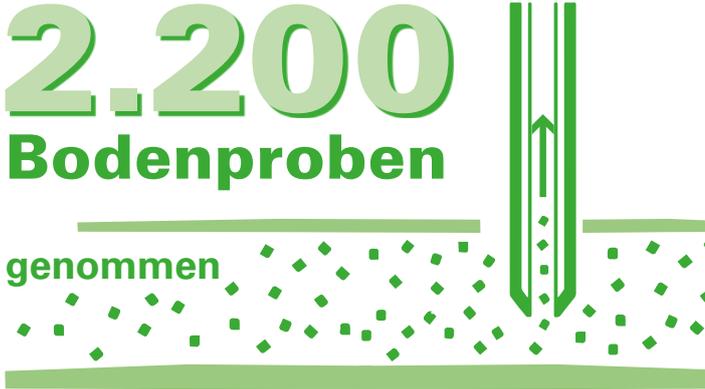
- [U 1] PCGEOFIM – Anwenderdokumentation, IBGW GmbH, 1991-2020.
- [U 2] Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Ergebnisse der Ursachenforschung (Abschlussbericht Ursachenforschung), Katzenbach, R., 30.05.2013.
- [U 3] 3-dimensional Geologic and Groundwater Flow Modeling for Coal Mining Areas as Decision Support Tool - Iterative Interaction Workflow to Establish a Reliable Groundwater Model -, Philipp, W., Brückner, F. et al., IM-WA, 2017.

URSACHENERMITTLUNG IN ZAHLEN

Insgesamt

2.200
Bodenproben

genommen



20.000

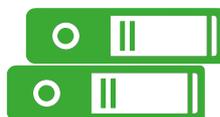
Bohrmeter

(inkl. Seebohrungen)
abgeteuft



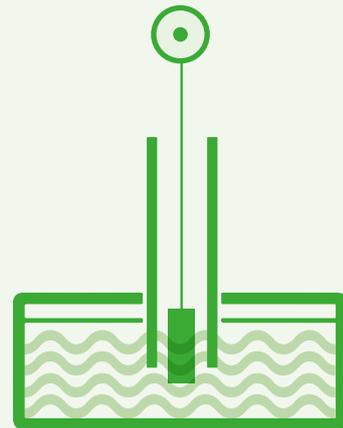
Rund
200
Aktenordner

für den Abschluss-
bericht zur Ursachen-
forschung



186
Aufschluss-
bohrungen

88
Erkundungs-
standorte



184
GRUNDWASSER-
MESSSTELLEN

THEMENKOMPLEX 4

Standortsicherheitsuntersuchungen



Begutachtung und Dokumentation von Bohrkernen, Tagesanlagen Nachterstedt, 2011

KOMPLEXITÄT DER ERSTELLUNG UND UMSETZUNG DER STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN

Autor: Dipl.-Ing. Yves Koitzsch, Dipl.-Ing. Sabine Metzker, Dipl.-Ing. Grit Renker

Nach Abschluss der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung vom 18.07.2009, weiterer geotechnischer Detailuntersuchungen in den südwestlichen und östlichen Kippenabschnitten sowie ersten vorbereitenden Arbeiten im Hauptrutschungskessel (Foto 1) wurden 2015 die Sanierungsarbeiten aufgenommen. Neben dem zu sanierenden Hauptrutschungskessel mit der östlichen Rutschungsflanke und dem kleinen westlichen Rutschungskessel wurden auch auf der Südwestkippe und auf der Ostböschung weitere Sanierungsarbeiten erforderlich.



Foto 1: Blick in den Hauptrutschungskessel im Juli 2014 mit großer Wasserfläche

In dieser neuen Sanierungsphase hat CDM Smith Consult GmbH (CDM Smith) die verantwortungsvolle Aufgabe des Sachverständigen für Böschungen/Geotechnik im Sanierungskomplex übernommen.

Nach nunmehr über 5 Jahren ist ein Großteil der geotechnischen Grundsicherung und Sanierung abgeschlossen. Aufgrund der spezifischen geotechnischen Randbedingungen kamen in den verschiedenen Sanierungsabschnitten neben dem klassischen Erdbau mit Kopfentlastungen und Anstützungen von Böschungsbereichen unterschiedlichste Sanierungstechnologien zum Einsatz, wie z. B. die Rüttelverdichtung (auch mit amphibischer Technik), die Schonende Sprengverdichtung und die Verdichtung mit dem Landpac-Verfahren. In diesem Zusammenhang

wurden zahlreiche Standsicherheitsuntersuchungen, geotechnische Vorgaben, Verhaltensanforderungen, Monitoringprogramme und Verdichtungsnachweise erarbeitet. Bestehende erdstatische Modelle wurden um die Beobachtungen und Ergebnisse von in situ-Messungen erweitert und fortgeschrieben.

BODENMECHANISCHE SCHWERPUNKTE IM SANIERUNGSRAUM

Die bodenmechanischen Schwerpunkte werden im Sanierungsraum durch die geologischen Bildungsbedingungen und die bergbaulichen Eingriffe bestimmt. Durch Subrosionsprozesse weit vor der Kohlebildung sind großräumige Senkungsstrukturen entstanden. In den Südwest-Randsenken des Ascherslebener Salzsattels kam es im Tertiär sowohl zu terrestrischen als auch marinen Ablagerungen sowie zur Entstehung des Nachterstedter Braunkohlevorkommens. Die Sedimentpakete der tertiären Schichten mit ihren Flözen weisen einen muldenartigen Charakter auf. Mehrere Flöze spalten sich in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten auf bzw. dünnen aus.

Im Quartär kam es durch eine fortschreitende Salzauslaugung über dem Sattelnern zu einer kontinuierlichen Geländeabsenkung und damit zur Entstehung des Tals der heutigen Seeländereien. Glazial wurde das Bearbeitungsgebiet während der Elster- und Saale-Kaltzeit überprägt, woraus Vorbelastungen (Überkonsolidierung) resultieren.

Durch den Tief- und Tagebau, der vor mehr als 170 Jahren begonnen worden ist, wurden die Verhältnisse im Sanierungsraum stark verändert. Bereits im Tiefbau führten z. B. technische Probleme mit anfallendem Wasser und Schwimmsanden zu Abbauproblemen. Im Jahr 1857 begann der Tagebaubetrieb in der Grube Concordia, der ab 1928 auf Großgerätebetrieb umgerüstet wurde. Bis zur Mitte der 1960er Jahre erfolgte eine großflächige bergbauliche Inanspruchnahme (Abb. 1).

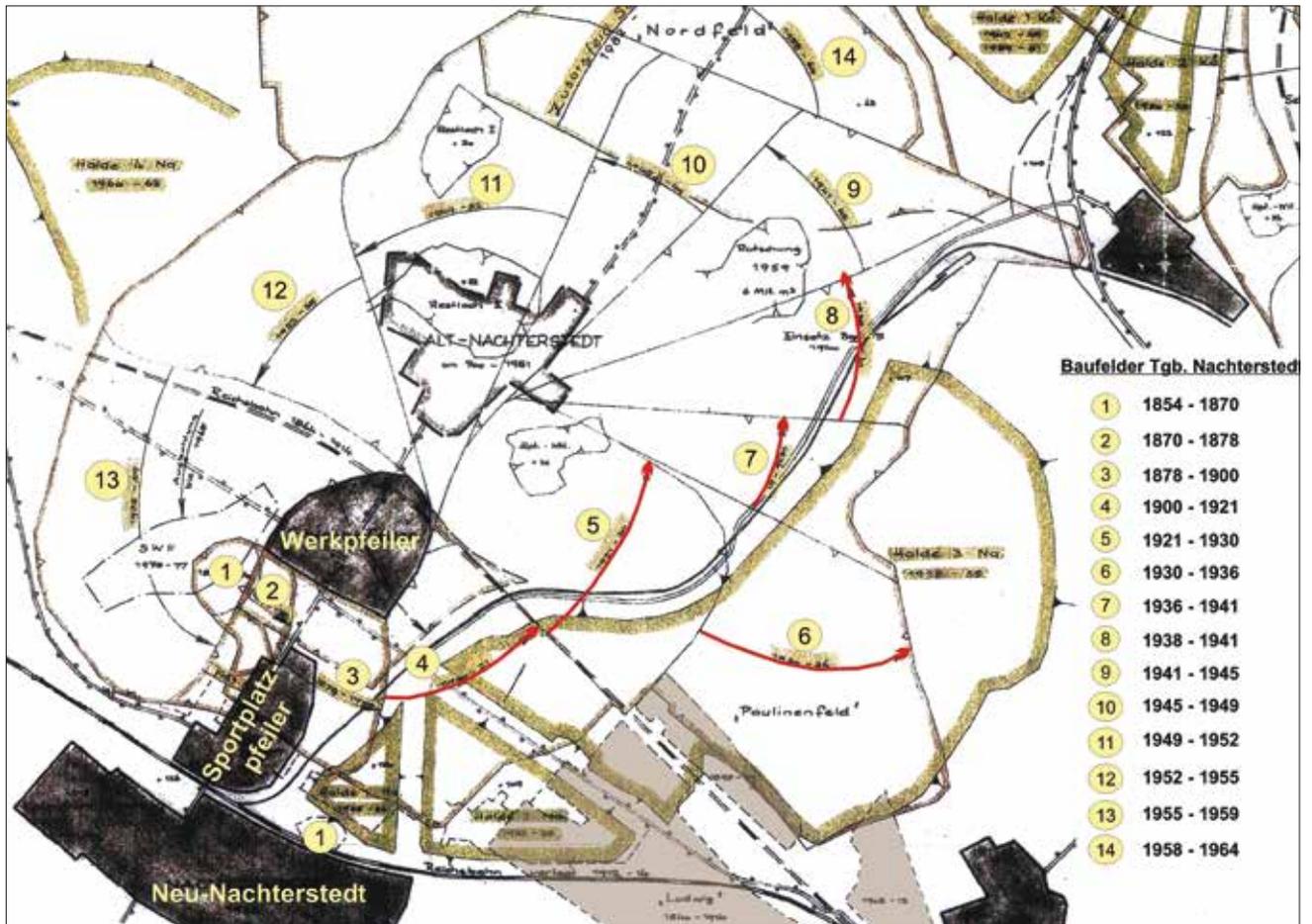


Abb. 1: Bergbauliche Entwicklung im Raum Nachterstedt/Königsau

Im Zuge des Tagebaubetriebes wurden die Nachterstedter Kesselstrukturen großräumig ausgekohlt. Dabei folgte die Auskohlung den Kesselstrukturen, so dass die tertiären Schichten in den gewachsenen Randböschungen zur heutigen Tagebauhohlform einfallen (Abb. 2). Tertiäre Liegendbegleiter wurden mit dem Fortschreiten des Tagebaus entlastet und tendieren dazu, als vorgegebene Gleitflächen zu wirken. Mit der Auskohlung erfolgten starke Eingriffe in die hydrologische Situation durch montanbegleitende Vorfelddentwässerungen (Entwässerungsstrecken) und hydrologische Liegendentspannungen. Um Liegenddurchbrüche zu vermeiden, wurden im aktiven Tagebau Liegendbaugruben/-gräben angelegt. Diese wurden dann z.T. bereits im aktiven Tagebaubetrieb wieder überkippt und sind heute in verschiedenen Bereichen noch hydraulisch wirksam. Die quartären Grundwasserleiter speisen die tertiären in den Mulden.

Teilweise wurden Industrierückstände in die Tagebauhohlform eingespült, an denen in der aktiven

Betriebsphase Brüche eingetreten sind (Bruch Ascheklärteich 1968).



Abb. 2: Geologischer Übersichtsschnitt 1/2015 (DSE 2) NE-SW aus der 5. Akt. 3D-Strukturmodell Nachterstedt (HPC AG), Schnitt 5-fach überhöht

Im aktiven Tagebaubetrieb ist es zu großen Rutschungen gekommen. Die Rutschung des nordöstlichen Innenkippenbereiches am 02.02.1959 war der Ausgangspunkt für die systematische Forschung zu den Phänomenen des Setzungsfließens an der TU Bergakademie Freiberg. 1965 wurde der Tagebau Nachterstedt stillgelegt und galt seinerzeit als ausgekohlt. Innerhalb des südlichen Werkpfeilerbereiches mit der hinterlagernden Altkippe erfolgte der natürliche Wiederaufgang des Grundwasserspiegels. Ein gestiegener Rohstoff-

bedarf führte 1975 bis 1990 zum Abbau vorhandener Restkohlemengen z. B. im Pfeiler Südwestfeld, Werkpfeiler und Kohlepfeiler Sportplatz. Dabei wurde auch der Wasserstand in der Altkippe des Tagebaus erneut abgesenkt und mit der Gewinnung des Werkpfeilers die Altkippe angeschnitten. In der Gewinnungsphase wurden Rampen für die Großgeräte in die Altkippe eingeschnitten und wiederholt Umlagerungen von Kippenmassen vorgenommen. Für die Anstützung der ehemaligen Betriebs- und Randböschungen des Tagebaus standen ab 1989 vordergründig tertiäre sandige Abraummassen (unter granulometrischen Kriterien verflüssigungsempfindlich) aus dem Baufeld Schadeleben zur Verfügung. Mit Absetzern wurden diese im Trockenversturzt als massive Anstützungen verkippt und durch Erdbautechnik sowie hydraulische Maßnahmen (Hydromonitore) auf sanierungstypische Regelneigungen abgeflacht.

Die geotechnischen Erkundungen und Untersuchungen nach der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 haben gezeigt, dass auch an den Stützkippen der Südwestkippe und der Ostböschung außerhalb des Hauptrutschungskessels ein zusätzlicher Sanierungsbedarf bestand.

Unmittelbar nach der Böschungsbewegung am 18.07.2009 wurde die Flutung des Concordia Sees für Erkundungen und Untersuchungen und die Ausführung von Sanierungsarbeiten vorübergehend ausgesetzt. Durch die Sanierung soll die Flutungsbereitschaft wieder hergestellt werden und der Concordia See um mehr als 18 m bis zum prognostischen Endwasserstand von +103 m NHN ansteigen. In diesem Zusammenhang ist den hydrologischen Prognosen zufolge von einer relativ langsamen Flutungsgeschwindigkeit in einer Größenordnung von ca. 1 m pro Jahr auszugehen. Es wird auch erwartet, dass Stagnationen über mehrere Monate in der weiteren Flutung eintreten. Die Liegendentspannung wird flutungszeitlich beibehalten und sukzessive dem Aufgang des Seewasserspiegels angepasst.

NACHWEISFÜHRUNGEN

Die Realisierung der Böschungsprofilierung des Hauptrutschungskessels und der Verdichtungsmaßnahmen auf der Südwest- sowie auf der Ostböschung erforderten entsprechende Tragfähigkeits- und Stand-

sicherheitsberechnungen für Bau- und Endzustände. Für die erdstatischen Untersuchungen kommen konventionelle und analytische Nachweismethoden zur Anwendung. Dabei sind die Erkenntnisse aus der komplexen Ursachenforschung zur Böschungsbewegung vom 18.07.2009 und die Grundsatzuntersuchungen an verflüssigungsempfindlichen Stützkippenmassen auf der Südwestkippe elementar. Ausgehend von der Ursachenforschung wurde die Rutschung am 18.07.2009 durch das Zusammentreffen eines dynamischen Initials und eines hohen artesischen Wasserüberdruckes im Liegendgrundwasserleiter ausgelöst. In den konventionellen Standsicherheitsberechnungen sind neben der Thematik Bodenverflüssigung demnach auch dynamische Einwirkungen und Überdrücke in Liegendgrundwasserleitern entsprechend zu berücksichtigen. Letztere können je nach hydraulischer Kopplung mehrere Meter über dem Niveau des Haupthangend-Grundwasserleiters (Kippe/Quartär) liegen. Standsicherheitsberechnungen werden an repräsentativen geotechnischen Schnitten durchgeführt. Im Sanierungskomplex wurde ein geologisches 3D-Strukturmodell erstellt, aus dem für den jeweiligen Sanierungsabschnitt geotechnische Schnitte generiert wurden und die um aktuelle Aufschlüsse fortgeschrieben werden können. Die zugehörigen Sicker- und Drucklinien werden durch den Hydrologischen Modellbearbeiter zur Verfügung gestellt. Eine Aktualisierung der Hydroisohypsenpläne erfolgt halbjährlich. Mit den 3D-Recherchen zur Kippenentwicklung können zusätzlich zwischen den geotechnischen Schnitten Arbeitsschnitte erstellt werden (Abb. 3).



Abb. 3: Geotechnische Schnittführungen im Sanierungsraum (orange: Geotechnische Schnitte, blau: Arbeitsschnitte)

In den geotechnischen Schnitten und Arbeitsschnitten werden auch die verkippten Materialzusammensetzungen sichtbar. Die Schnitte haben einen hohen Detaillierungsgrad und werden direkt in das erdstatische Berechnungsprogramm übernommen (Abb. 4).

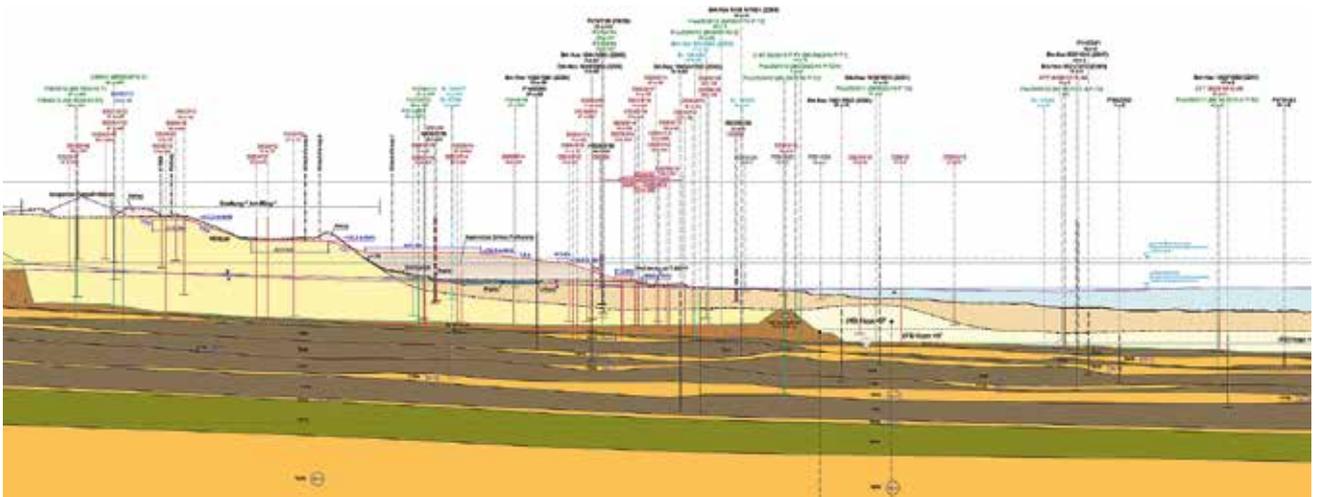


Abb. 4: Auszug Geotechnischer Schnitt GS 01 durch den Hauptrutschungskessel mit Sanierungskontur

Klassische Böschungsbruchberechnungen erfolgen für das Sanierungsgebiet mit der Software SLOPE/W (GeoStudio). Maßgebend sind potentielle kreiszylindrische Versagensmechanismen und/oder vorgegebene ebene Gleitflächen bzw. Kombinationen beider Mechanismen. Als Berechnungsverfahren wird das Verfahren nach Morgenstern/Price eingesetzt. Abhängig von der spezifischen Fragestellung werden die Böschungsbruchberechnungen für unterschiedliche Lastfälle durchgeführt. Das dynamische Initial wird als horizontale (quasi-statische) Ersatzkraft von $k_h = a_{dyn,h} / g = 0,55 \text{ m/s}^2 / 9,81 \text{ m/s}^2 = 0,056$ berücksichtigt.

Die Verflüssigungsneigung lockerer Kippenmassen hat für das Sanierungsgebiet eine zentrale Bedeutung. Insbesondere die Rutschung auf der Südwestkippe am 28.06.2016 hat gezeigt, dass eine latente Gefährdung in ungesicherten Böschungsabschnitten bei entsprechender Initialwirkung besteht und belegt das Erfordernis von Sicherungen in verflüssigungsempfindlichen Böschungsbereichen (Foto 2).

In den Standsicherheitsberechnungen erfolgen daher entsprechende Initialdiskussionen. Potentielle



Foto 2: Setzungsfließrutschung vom 28.06.2016 auf der Südwestböschung

verflüssigungswirksame Initiale sind im Sanierungsraum z. B. der Liegendwasserüberdruck (z.Zt. wirksam entspannt), dynamische Anregungen (Seismik), Wellenschlag, Sackungen und der Lasteintrag durch Baugeräte. Eine geotechnische Grundsicherung verflüssigungsempfindlicher Böschungsabschnitte erfolgte durch die Realisierung von Stützkörpern mit der Rütteldruck- und Rüttelstopfverdichtung (RDV und RSV). Diese wurden als gestaffelte Stützkörper auf dem Geländeneiveau +95 m NHN und +103 m NHN realisiert. Das Konzept der gestaffelten Stützkörper sieht neben der Böschungssicherung auch vor, dass ein schwallwellenrelevantes Abbruchvolumen im Fall

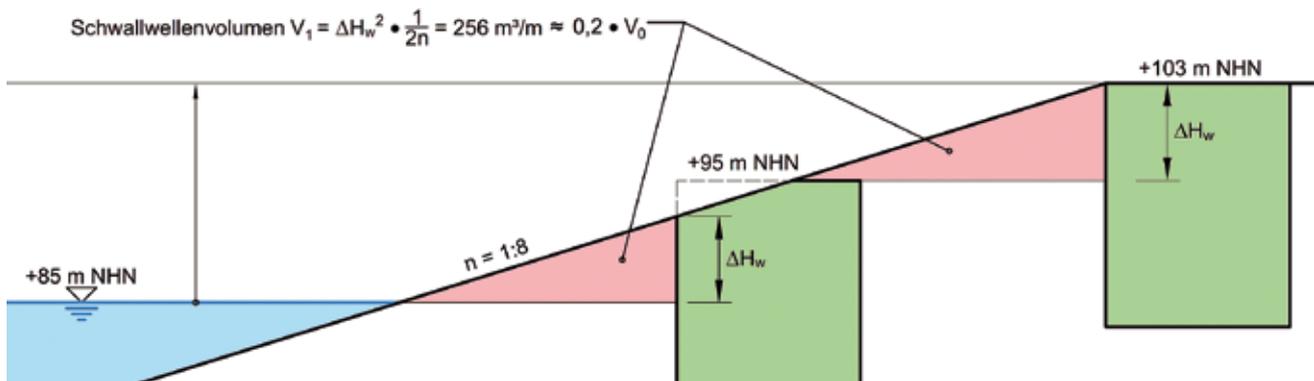


Abb. 5: Prinzip der Anordnung der Stützkörper und Ermittlung des schwallwellenwirksamen Abbruchvolumens bei Verflüssigung (Quelle: G.U.B. Ingenieur AG)

einer Bodenverflüssigung in der weiteren Flutungsphase so reduziert wird, dass keine Gefährdungen für andere Böschungsbereiche auftreten (Abb. 5).

Die Rüttelstützkörper binden in nicht verflüssigungsempfindliche Kippenbereiche oder in das Tagebauliegende ein. Die notwendige Breite wird durch Nachweise zur Gleitsicherheit für den Bau- und Endzustand sowie für einzelne Flutungsphasen des Concordia Sees iterativ bestimmt. Ein Nachweis erfolgt mit Kräfte-Gleichgewichts-Betrachtungen (Abb. 6).

Der Rüttelstützkörper muss in seiner Aufstandsfläche ausreichend hohe Reibungskräfte mobilisieren können, um den im Verflüssigungsfall vor und hinter dem Stützkörper wirkenden Kräften widerstehen zu können. Im Regelfall wird davon ausgegangen, dass eine Verflüssigung beidseitig des Stützkörpers eintreten kann. Das verflüssigte Material wasserseitig des Stützkörpers fließt in den See ab, ein Ausfließen landseitig wird durch den Stützkörper verhindert. Der Stützkörper wird bei der Bodenverflüssigung durch Erd-, Suspensions- und Wasserdruck beansprucht. Zum Zeitpunkt der Verflüssigung treten unterhalb des Stützkörpers weiterhin Porenwasserüberdrücke aus den landseitig und wasserseitig wirkenden Suspensionsdrücken auf, die sich räumlich ausbreiten. Mit der Berücksichtigung des Porenwasserdruckes wird als Reibungswinkel in der Stützkörperaufstandsfläche der wirksame Bruchreibungswinkel verwendet. Die widerstehenden Kräfte ergeben sich aus den Gewichtskräften des Stützkörpers.

Mit der während der Rüttelarbeiten ausgelösten Setzungsfließrutschung am 28.06.2016 auf der

Südwestkippe und den anschließenden Auswertungen wurde deutlich, dass die Bemessungsansätze zur Gleitsicherheit der Stützkörper fortgeschrieben werden mussten (Abb. 7 und Abb. 8). Durch Abrasion infolge hydrodynamischer Zusatzbeanspruchungen ist es zur Schwächung und zum retrogressiven Nachbruch der bis dahin hergestellten Stützkörper auf der Südwestkippe gekommen.

Dabei wurden insbesondere die Strukturen an den nachgebrochenen Stützkörpern der Südwestkippe ausgewertet und in den Modellgrundlagen berücksichtigt. Auch haben die seeseitigen Abbrüche dazu geführt, dass die Sickerlinie im Stützkörper auf der Seeseite relativ schnell und signifikant abgesenkt wurde. In den fortgeschriebenen Dimensionierungsansätzen für die Stützkörper waren derartige Aspekte entsprechend zu berücksichtigen. Seitdem wird ein für den Bauzustand (Herstellung Stützkörper und Flutungsphase) maßgebender ergänzender Lastfall in den Dimensionierungen der Stützkörper berücksichtigt (Abb. 9). Dieser besitzt ausschließlich Gültigkeit für den Nachterstedter Sanierungsraum.

Der objektspezifische Lastfall berücksichtigt den Abbau der Porenwasserüberdrücke an der Stützkörperbasis. Nach Auswertung umfangreicher Porenwasserdruckmessungen (Abb. 10) konnte belegt werden, dass unter realen in situ-Bedingungen ein kurzzeitig erhöhter Porenwasserdruck entfernungs-mäßig begrenzt ist. Weiterführende numerische Berechnungen führten zum gleichen Ergebnis, so dass eine Fortschreibung des bisherigen Berechnungsansatzes erfolgen wird.

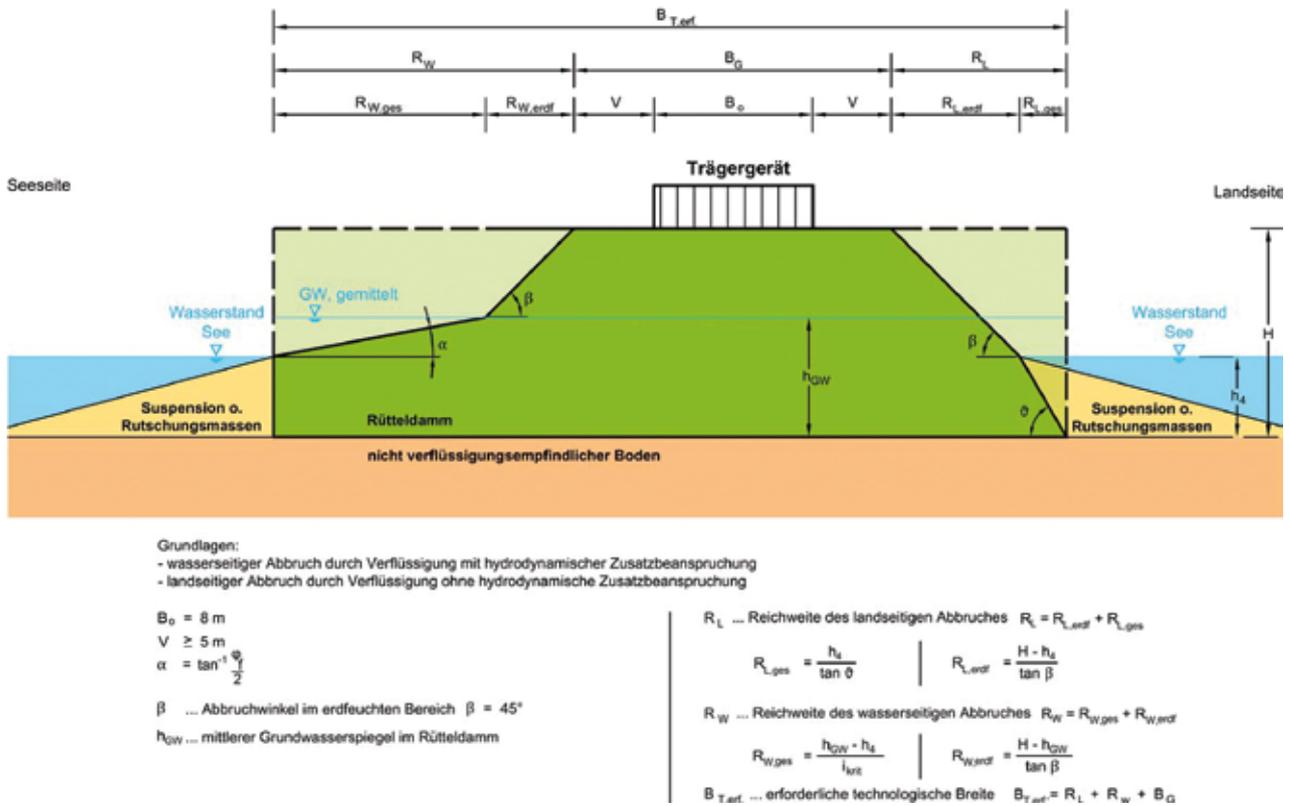


Abb. 8: Bestimmung der technologisch erforderlichen Stützkörperbreite mit hydrodynamischer Zusatzbeanspruchung

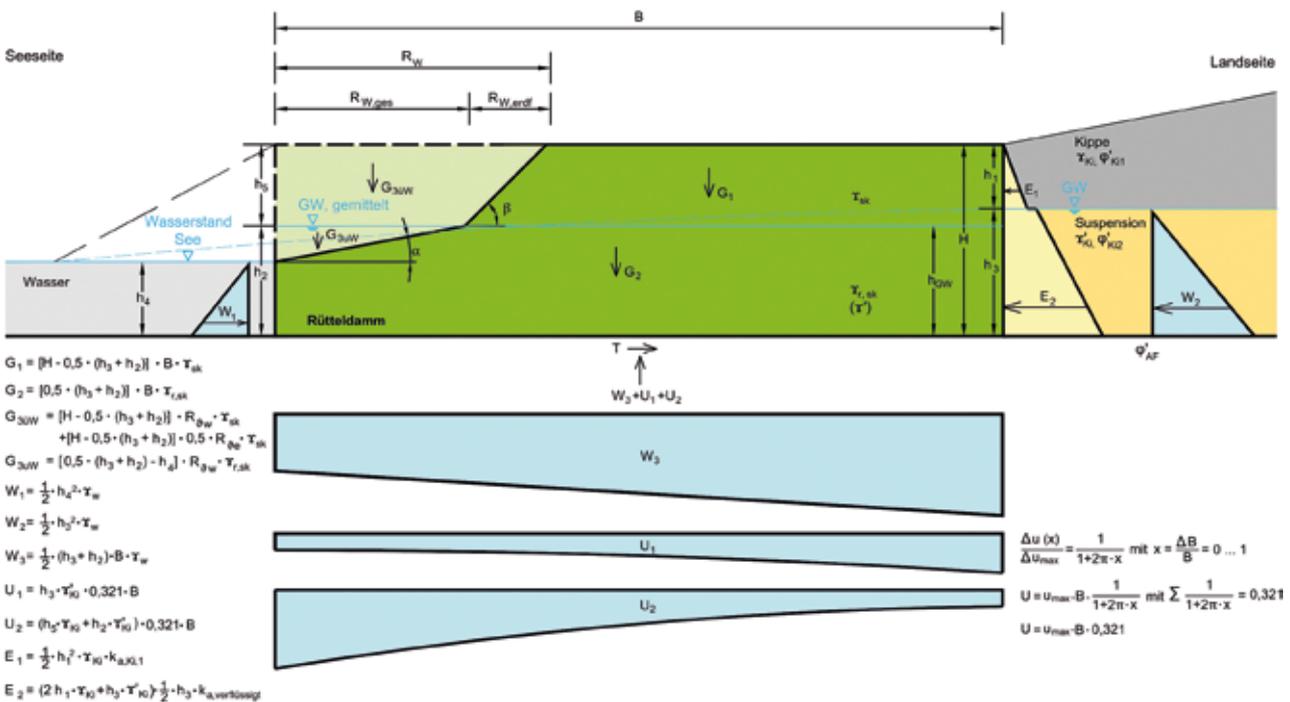


Abb. 9: Nachweis der Gleitsicherheit bei einseitigem Abbruch am Stützkörper infolge hydrodynamischer Zusatzbeanspruchung

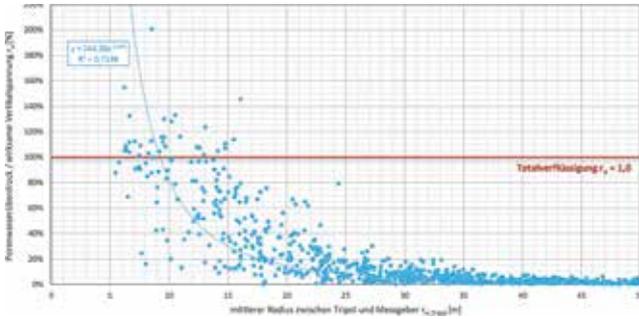


Abb. 10: Entfernungsabhängige Porenwasserüberdrücke bei der Realisierung der T-SSPV im Haupttrutschungskessel Ost im Jahr 2018

AUSGEWÄHLTE SCHWERPUNKTE VON STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN

Die ersten Anstützungen im Haupttrutschungskessel wurden 2015 im westlichen Bereich (HRK West) mit Massen aus der Kopfentlastung im Hinterland des Haupttrutschungskessels vorgenommen. Foto 3 zeigt die Situation im HRK West vor Beginn dieser Maßnahmen.



Foto 3: Situation im westlichen Teil des Haupttrutschungskessels im Oktober 2014 mit Steiflanken im westlichen Bereich

Für die Anstützungen wurde der Nachweis der Standsicherheit als Grundlage der Planungen erarbeitet.

Zunächst war klassisch die Grundbruchsicherheit des im HRK West auf den Rutschungsmassen lagenweise aufzubauenden Stützkörpers sowie die Sicherheit gegen Gelände- und Böschungsbruch nachzuweisen. Die Besonderheit in diesem Böschungsbereich bestand darin, dass die Anstützung für den Zustand einer böschungsparellen Durchströmung und den wirkenden Strömungsdruck sowie einen ggf. erhöhten Aufstau im Kippenhinterland zu dimensionieren war. Dies vor dem Hintergrund, dass aufgrund der existenten Altablagerung, anders als in den übrigen Abschnitten des Haupttrutschungskessels, auf weitere Entwässerungselemente (Flächendränage) bei der Anstützung verzichtet werden musste.

Hydraulische und erdstatische Berechnungen an unterschiedlich steil geneigten Böschungen zeigten, dass die unterhalb der Wasserwechselzone liegenden Böschungen der Sanierungskontur im HRK West bei planmäßigem Verzicht auf die Flächendränage und bei den vorliegenden Materialeigenschaften mit einer Neigung von 1:4 auszuführen sind (Abb. 11).

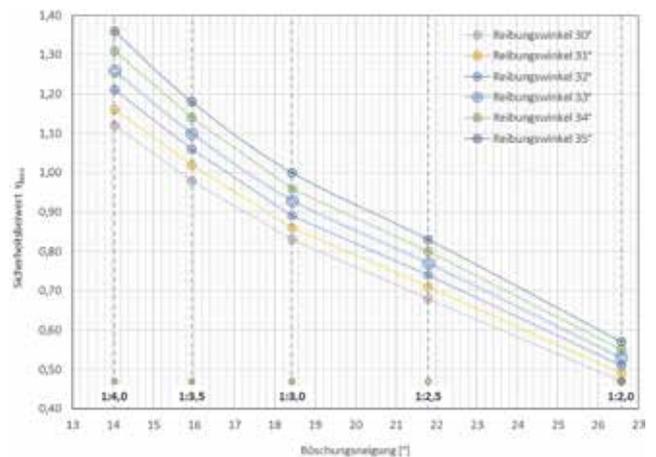


Abb. 11: Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen bei horizontaler Strömung und Variation der Böschungsnäigung

Die Nachweise gegen Grundbruch für ein erstes Überbauen der Rutschungsmassen wurden geführt und erdbautechnische Vorgaben für die Bauausführung abgeleitet. Ausgehend von der ersten Anstützung wurden die weiteren Arbeiten zur Aufweitung, Anstützung und Böschungsprofilierung im Haupttrutschungskessel bis zur heutigen Kontur vorgenommen (Foto 4).



Foto 4: Blick in den sanierten Hauptrutschungskessel Richtung westlicher Teil Ende Juli 2020

Die Setzungsfließrutschung am 28.06.2016 hat dazu geführt, dass das 300 t schwere Trägergerät TG 3 (Liebherr LR 1300), Hilfsgeräte sowie technisches Equipment havarierten. Infolge retrogressiver Nachbrüche während der Rutschung wurden weite Hinterlandbereiche der Südwestkippe erfasst, und es ist hier zu einer erheblichen Schwächung der bis dahin hergestellten Stützkörper gekommen. Das Trägergerät stand nach dem Ereignis auf einem inselförmigen Rest des RDV-Stützkörpers auf dem Niveau +95 m NHN (Foto 5).



Foto 5: Nachgebrochene Böschungsabschnitte und Trägergerät TG 3 am 07.07.2016 (Quelle: Drohnenbefliegung im Auftrag der LMBV)

Nach umfangreichen geotechnischen Bewertungen und der Ersteinschätzung der Situation wurden die Planungen zur Sicherung und Bergung des TG 3 aufgenommen. Eine besondere Herausforderung stellte die Situation dar, dass auch der bis dahin gerüttelte Stützkörper +95 m NHN stark beschädigt worden ist und als Fahrtrasse für das Trägergerät nicht mehr zur Verfügung stand. Die durch Rissstrukturen geprägten Böschungs- und Hinterlandbereiche mussten zur Gefahrenabwehr

kopffentlastet werden, um weitere Abbrüche zu vermeiden. Dafür kam ein Hydroseilbagger HS 895 zum Einsatz (Foto 6), für den das standsichere Arbeiten auf der durch die Setzungsfließrutschung beanspruchten Südwestkippe nachgewiesen werden musste.



Foto 6: Einsatz des Hydroseilbaggers HS 895 zur Kopffentlastung (links) am 24.08.2016 (havariertes Trägergerät TG 3 rechts)

In der Phase der Standsicherheitsuntersuchungen für die Kopffentlastung war erkennbar, dass in der Arbeitsstellung des Hydroseilbaggers keine Einschränkungen vorhanden sind. Ausgehend von den Berechnungen waren die Arbeiten zum Bau einer Sicherungsrampe zum Trägergerät TG 3 jedoch nur mit ferngesteuerter Technik möglich. An zahlreichen Schnitten erfolgten Berechnungen für die besonderen Bauzustände der „Herstellung der Sicherungsrampe“ und der „Bergungsfahrt“ des TG 3 (Abb. 12).



Abb. 12: Schnittführungen für Standsicherheitsberechnungen an der geplanten Sicherungsrampe

Der HS 895 wurde anschließend auch eingesetzt, um das grobstückige Material der Sicherungsrampe auf die Einbaufreite aufzulegen. Da die erforderliche

Standsicherheit nicht für alle Phasen des Baus der Sicherungsrampe nachweisbar war (Abb. 13), erfolgten die Arbeiten zum lagenweisen Auftrag mit einer ferngesteuerten Planierraupe. Auch das Trägergerät wurde auf Fernsteuerung umgerüstet und am 17.11.2016 etwa 10 Wochen nach der Rutschung wieder in eine sichere Montagestellung verfahren.

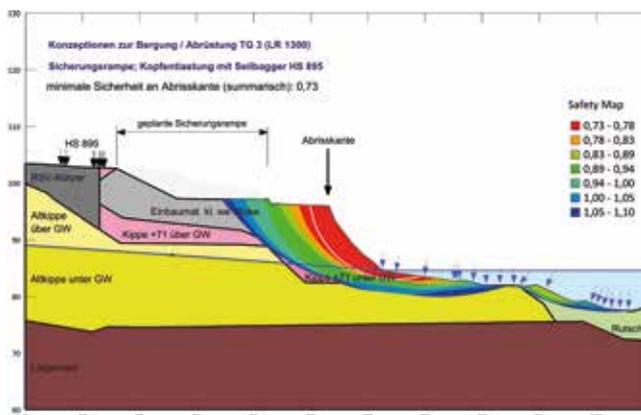


Abb. 13: Ergebnis Standsicherheitsberechnung Kopflastung und Sicherungsrampe für die Bergung des Trägergerätes TG 3

Im östlichen Teil des Hauptrutschungskessels der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurden unterhalb der Rutschungsmassen locker gelagerte verflüssigungsempfindliche Sande in der Altkippe erkundet. Diese mussten als Grundlage der Sanierung des Hauptrutschungskessels verdichtet werden, da in diesem Bereich der Fuß der Anstützung des neuen Böschungssystems liegt. Die Sande wurden in 46 Sprengtagen im Zeitraum März bis Juni 2018 mit der Tiefen Schonenden Sprengverdichtung (T-SSPV) verdichtet (Abb. 14). Die Schonende Sprengverdichtung (SSPV) wurde zuvor in der öst-

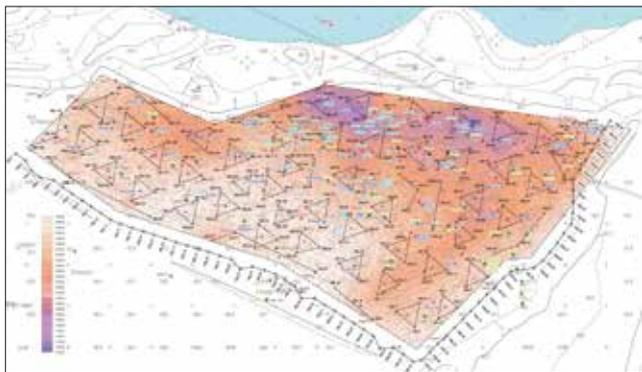


Abb. 14: Fläche der T-SSPV im Hauptrutschungskessel Ost mit Verdichtungsrastrer und Verformungsbild nach Abschluss der Arbeiten (maximale kumulierte Verformungen ca. 1,30 m)

lichen Rutschungsflanke und im Hauptrutschungskessel in Testfeldern erprobt.

Als Grundlage der Realisierung der Arbeiten wurden umfangreiche Berechnungen zur Standsicherheit durchgeführt. Dies vor dem Hintergrund, dass neben der Grundbruchsicherheit bei den Arbeiten im Hauptrutschungskessel die Standsicherheit der angrenzenden Steiflanken des Rutschungskessels bei der T-SSPV zu gewährleisten war. Durch die SSPV erfolgt eine kurzzeitige dynamische Anregung der locker gelagerten Sande im gesättigten Bereich mit einem entsprechenden spontanen Anstieg des Porenwasserdruckes. Eine unkontrollierte Porenwasserdruckausbreitung und eine daraus resultierende Beeinflussung der Böschungen des Hauptrutschungskessels, der östlichen Rutschungsflanke und der im Hinterland liegenden Transporttrasse musste im Rahmen der T-SSPV vermieden werden. Dafür wurden umfangreiche Berechnungen durchgeführt und Vorgaben erarbeitet. In den Standsicherheitsberechnungen wurde der bei der SSPV induzierte Porenwasserüberdruck Δu programmintern unter Verwendung totaler Spannungen σ und eines Porenwasserüberdruckkoeffizienten $R_u = \Delta u / \sigma$ berücksichtigt (Abb. 15). Potentielle Gefährdungen für zu schützende Objekte waren nicht ableitbar. Dennoch wurden die Arbeiten, auch in Hinblick auf den Verdichtungsnachweis, durch ein umfangreiches Monitoring begleitet.

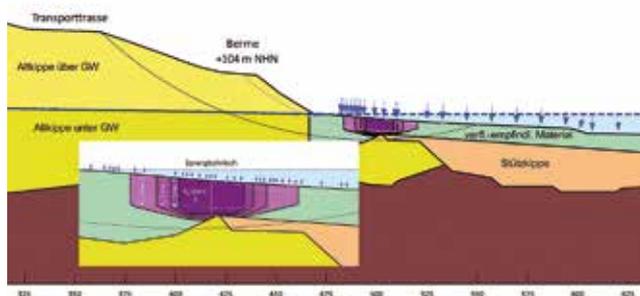


Abb. 15: Abbildung Porenwasserüberdruck infolge SSPV in den Standsicherheitsberechnungen (hier Testfeld östliche Rutschungsflanke)

An jedem Sprengtag erfolgte eine Auswertung des begleitenden Monitorings. Das exemplarisch in Abbildung 16 dargestellte Abklingverhalten der Porenwasserüberdrücke war ein wichtiges Kriterium zur Freigabe und zum Betreten der Sprengfläche nach der dynamischen Anregung.

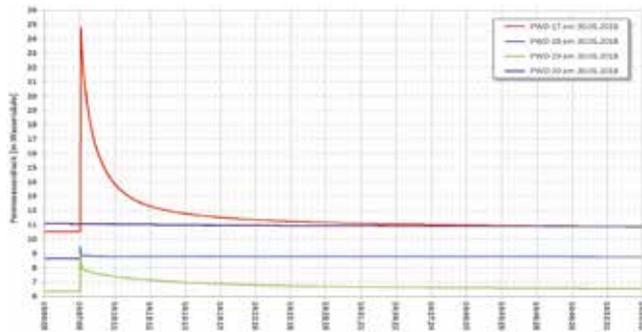


Abb. 16: Porenwasserüberdruck infolge T-SSPV und Abklingverhalten am 39. Sprengtag (30.05.2018)

Die mehrfachen ausgeprägten Reaktionen und die Größenordnung der sprenginduziert erreichten Porenwasserdrücke zeigten, dass der abgegrenzte Bereich mit verflüssigungsempfindlichen Sanden im bodenmechanisch notwendigen Umfang angeregt und abgearbeitet worden ist. Der Erfolg der Sanierung wurde unter Würdigung der Ergebnisse des Monitorings nachgewiesen, so dass mit der T-SSPV die Grundlagen für eine standsichere Böschungprofilierung im östlichen Teil des Hauptrutschungskessels geschaffen worden sind.

Im Übergangsbereich vom östlichen Teil des Hauptrutschungskessels zur östlichen Rutschungsflanke waren aufgrund der steilen Rutschungsstrukturen bisher keine Erkundungen mit größerer Technik möglich. Die Erkundungen beschränkten sich auf seeseitige Sondierungen im Uferbereich sowie Sondierungen auf der Berme +104 m NHN. Mit den voranschreitenden Arbeiten zur Aufweitung des Böschungssystems im Übergangsbereich vom Hauptrutschungskessel zur östlichen Rutschungsflanke konnten aktuell weitere Drucksondierungen ausgeführt werden. Deren Auswertung und durchgeführte Standsicherheitsberechnungen zeigten, dass östlich der mittels T-SSPV verdichteten Fläche im Übergangsbereich zur östlichen Rutschungsflanke nochmals ergänzende Verdichtungsmaßnahmen erforderlich sind (Abb. 17).

Auch die gesamte östliche Rutschungsflanke war in der Vergangenheit aufgrund der durch die Böschungsbewegung vom 18.07.2009 hinterlassenen Geländemorphologie schwer mit Erkundungstechnik erreichbar. Lediglich im Uferbereich waren Bohr- und Rammsondierungen realisierbar. Durch Seeerkundungen im

unmittelbaren Uferbereich wurden locker gelagerte verflüssigungsempfindliche Fein- und Mittelsande erkundet (Abb. 18), die im Böschungsfuß der östlichen Rutschungsflanke durch gemischtkörnige bindige Rutschungsmassen überdeckt sind. Die Durchlässigkeitsbeiwerte k_f unterscheiden sich um bis zu 3 Zehnerpotenzen.

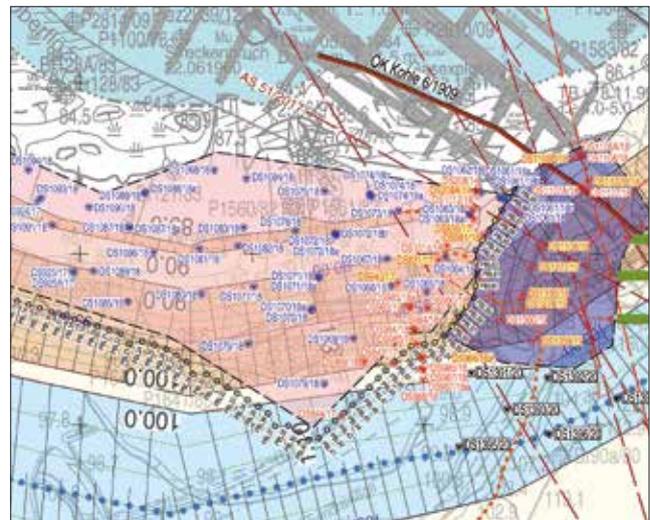


Abb. 17: Fläche mit verflüssigungsempfindlichen Sanden innerhalb der Altkippe östlich der T-SSPV-Fläche (dunkelblaue Fläche)

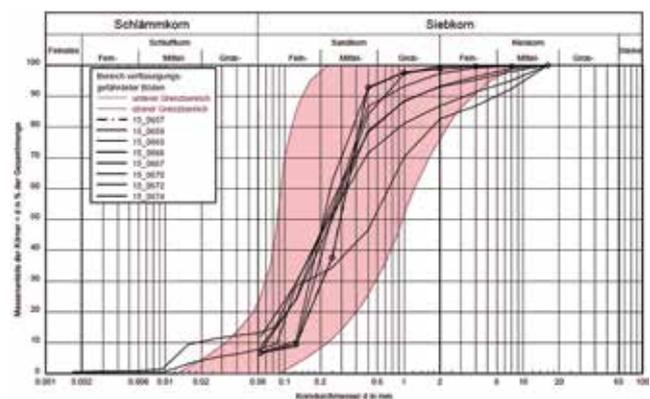


Abb. 18: Bandbreite Korngrößenverteilung sandiger Rutschungs- und Kippenmassen Uferbereich östliche Rutschungsflanke mit verflüssigungsempfindlichem Spektrum

Das führt in der östlichen Rutschungsflanke zu gestörten hydraulischen Entlastungsmöglichkeiten in der Kippe und artesischen Verhältnissen. Im Uferbereich wurden Überdrücke gegenüber dem Seewasserspiegel gemessen. Daraus resultieren Bläschenbildungen und Materialausträge im Ufer und bei Wellenbewegungen sporadische flächige Eintrübungen der Wasseroberfläche vor der östlichen Rutschungsflanke (Foto 7).

Aus den umfangreichen geotechnischen Erkundungen ergaben sich keine Hinweise auf Standsicherheitsgefährdungen.



Foto 7: Eintrübungen vor der östlichen Rutschungsflanke am 10.11.2015 (hohe Windstärken W-E und Wellenbildungen)

Einzelböschungen des Gesamtböschungssystems der östlichen Rutschungsflanke stehen in einem Grenzgleichgewichtszustand. Von elementarer Bedeutung für eine standsichere Sanierungslösung der Steilböschungen war, wie weit sich eine Zone mit locker gelagerten, verflüssigungsempfindlichen Sanden im Uferbereich in das Böschungssystem hinein erstreckt. Diese wurden in worst case-Betrachtungen bis in den Kippenbereich unter der Berme +104 m NHN berücksichtigt (Abb. 19).

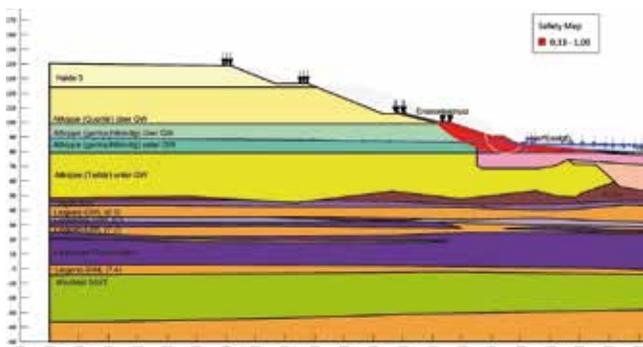


Abb. 19: Standsicherheitsberechnung am aufgeweiteten Böschungssystem mit Berücksichtigung einer in die Böschung hineinreichenden verflüssigungsempfindlichen Zone

Mit den Standsicherheitsuntersuchungen wurde eine Sanierungskontur entwickelt, die im Bereich der östlichen Rutschungsflanke eine Rückverlegung und Abflachung des gesamten Böschungssystems mit Einarbeitung von Bermen beinhaltet. Die erste Berme +90,5 m NHN im Uferbereich wurde als 10 m breiter Opfer- bzw. Zehrstreifen für die weitere Flutung konzipiert. Für die Bauausführung wurden detaillierte Vorgaben erarbeitet, z. B. welche Gerätetorländer und welche erdfeuchten Überdeckungen beim Einsatz verschiedener Baugeräte einzuhalten sind (Abb. 20).

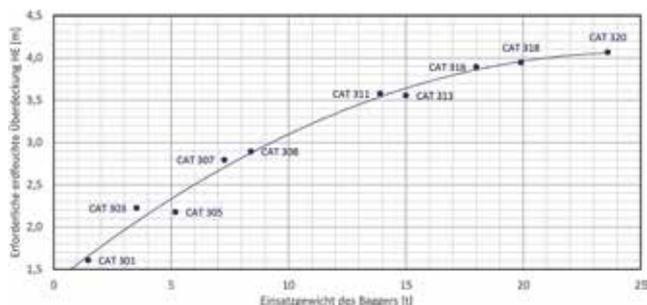


Abb. 20: Erdfeuchte Mindestüberdeckungen zum Ausschluss lokaler Verflüssigungen beim Einsatz von Kettenfahrzeugen

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgten sowohl mit den Sicker- und Drucklinien als auch mit der aus dem hydrologischen Modell generierten Potentialverteilung. Somit wurde insbesondere der Liegendwasserüberdruck in den Berechnungen repräsentativ berücksichtigt.

Die Komplexität der Standsicherheitsuntersuchung wird auch am Beispiel der Dimensionierung und Überprüfung der Stützkörper im Südabschnitt der Ostböschung deutlich. Nach der Rutschung vom 28.06.2016 erfolgte in einem ersten Bearbeitungsteil eine Überprüfung der Stützkörper auf der Basis des objektspezifisch eingeführten Sonderlastfalles für den Istzustand (Wasserstand Concordia See +84,5 m NHN).

Während die Gleitsicherheit des Stützkörpers +103 m NHN nachgewiesen werden konnte, war am Stützkörper +95 m NHN eine Verbreiterung über die gesamte Länge notwendig (Abb. 21). Diese wurde landseitig des Rüttelstützkörpers mit Wiederaufnahme der Rüttelarbeiten nach dem 28.06.2016 bereits realisiert.

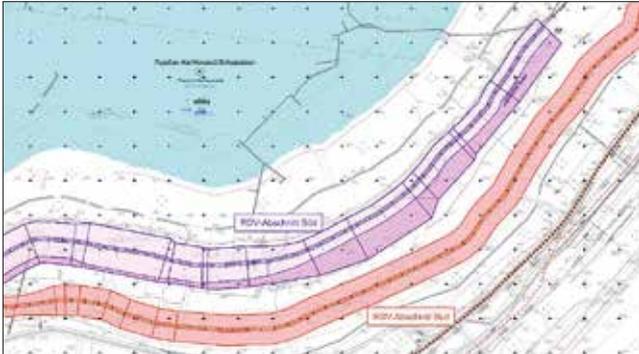


Abb. 21: Rüttelstützkörper +95 m NHN (magenta) und +103 m NHN (rot) im Südabschnitt der Ostböschung (dunkel eingefärbter Bereich Verbreiterung)

In einem zweiten Bearbeitungsteil wurde die Gleitsicherheit der Stützkörper in der weiteren Flutungsphase (entspricht Bauzustand) bis zum prognostischen Endzustand überprüft. Da die Wasserstände in der Kippe generell einen signifikanten Einfluss auf die Nachweise haben, wurden landseitig des Stützkörpers +95 m NHN temporäre Pegel errichtet. Im Ergebnis wurde deutlich, dass relativ große hydraulische Gefälle in den Stützkörpern wirksam sind (Abb. 22), die in den Gleitsicherheitsnachweisen entsprechend berücksichtigt werden müssen.

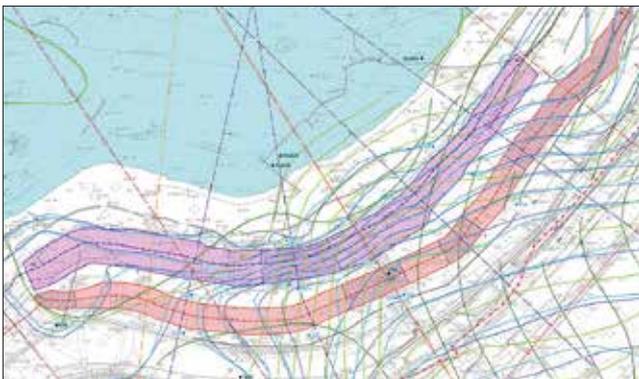


Abb. 22: Rüttelstützkörper +95 m NHN und +103 m NHN im Südabschnitt der Ostböschung mit Hydroisohypsen Hangend- und Hauptmittel-GWL

Aktuell werden die Sanierungen auf der Südwestkippe im Bereich Setzungsfließrutschung vom 28.06.2016 durchgeführt. Die Sanierungslösung sieht die Herstellung eines erdbautechnischen Stützkörpers innerhalb des westlichen Rutschungskessels und die Verfüllung des westlichen Rutschungskessels sowie des östlichen Rutschungsschlauches vor. Als Grundlage der Planung wurden Standsicherheitsberechnungen

für die Endkontur durchgeführt. Im Bereich der Südwestböschung ist die geologische Schicht DSE 7620 als Liegendbegleiter des Flözes Ilu in den Standsicherheitsberechnungen besonders zu berücksichtigen. Sie könnte als vorgegebene Gleitfläche wirksam werden und steht durch den Massenabtrag bei der Setzungsfließrutschung sehr oberflächennah an (Abb. 23).

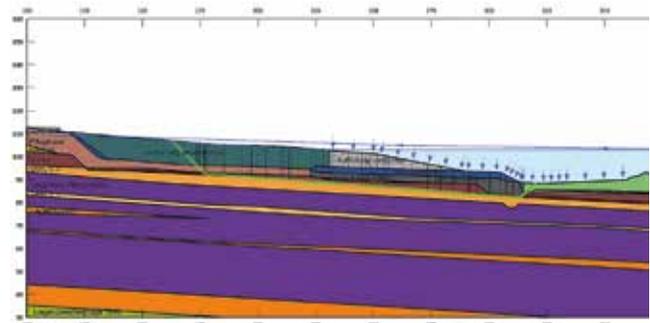


Abb. 23: Ausschnitt Arbeitsschnitt AS 14A mit Sanierungskontur und potentiell vorgegebener Gleitfläche

Durch den Rutschungsbereich wird von Ost nach West zunächst ein erdbautechnischer Sicherungskörper errichtet (Abb. 24), hinter dem später ein Masseneinbau innerhalb des Rutschungskessels erfolgen soll. Der erdbautechnische Sicherungskörper wird auf einem in den Rutschungsmassen liegenden Rüttelstützkörper mit aufgebauter Dränageschicht gegründet.

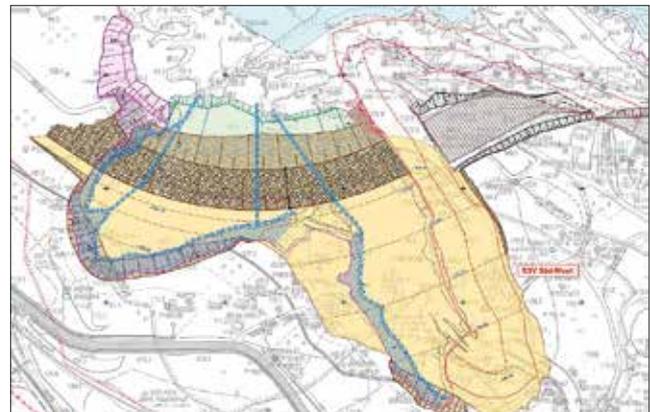


Abb. 24: LRDV-Fläche (hellgrün) im Bereich der Südwestkippe mit geplantem Sicherungskörper und Steinschüttung (grau) sowie Verfüllbereiche (gelb), Quelle: Ausführungsplanung G.U.B. Ingenieur AG

Der Sicherungskörper liegt innerhalb eines Bereiches, in dem im aktiven Tagebaubetrieb ein Ascheklärtisch betrieben worden ist. Auf der Basis umfangreicher

Erkundungen sowie Auswertungen historischer Luftbildaufnahmen (Abb. 25) und Risswerksdaten wurde deutlich, dass im Rüttelbereich tiefe Rinnenstrukturen mit seitlichen Erosionsflanken vorhanden sind. Diese Strukturen sind auf den 1968 erfolgten Dambruch des Ascheklärteiches zurückzuführen. Die durch den Bruch entstandenen Rinnen wurden im Tagebaubetrieb ohne Dokumentation der Arbeiten überkippt. Unter den Aspekten der Arbeitssicherheit und der Dauerstandsicherheit des geplanten Erdbauwerkes wurden technologische Anpassungen für die LRDV vorgenommen.

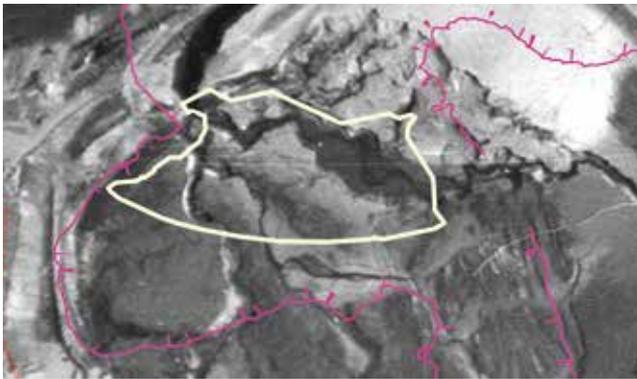


Abb. 25: Chaotische Rinnenstrukturen unterhalb der LRDV-Fläche aus dem Bruch des Ascheklärteiches 1968 (Luftbild 13.06.1969, LMBV) mit umrandetem LRDV-Abschnitt (weiß) und Abbruchkanten der Rutschung vom 28.06.2016 (magenta)

STAND DER GEOTECHNISCHEN BEWERTUNGEN



Foto 8: Eröffnung Nordstrand am 13.07.2019 (Foto: Martin Klindt-worth)

10 Jahre nach der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 und nach Abschluss umfangreicher Sicherungs- und Sanierungsarbeiten wurde eine geotechnische Überprüfung der Böschungsbereiche des Concordia Sees vorgenommen und im Mai 2019 als

Grundlage einer vorgezogenen touristischen Folgenutzung eine nutzungsorientierte Geotechnische Sicherheitsbewertung erarbeitet. Der Nordstrand Schadeleben und das Nordufer des Concordia Sees konnten daraufhin nach Abschluss der Sanierungs- und Sicherungsarbeiten in diesem Abschnitt am 13.07.2019 für eine Zwischennutzung freigegeben werden (Foto 8 und Abb. 26). Die Wiedereröffnung des Schadeleber Ufers wurde am 27.07.2019 mit einem großen Seefest gefeiert.

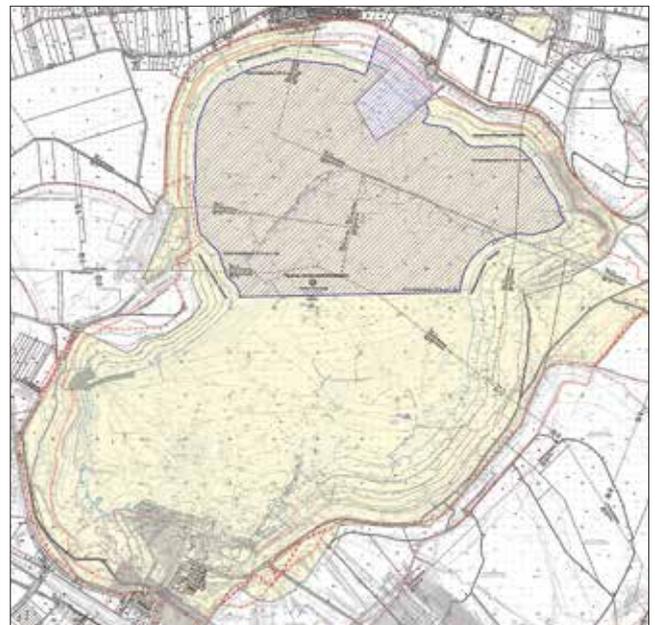


Abb. 26: Nutzungsorientierte Sicherheitsbewertung 2019 mit Freigebeempfehlung eines nördlichen Abschnittes des Concordia Sees

Aktuell werden noch Nachverdichtungen im Nordbereich der Ostböschung durchgeführt. Auch im südlichen Bereich der Ostböschung werden oberflächennah Nachverdichtungen an den Stützkörpern erforderlich. Dies vor dem Hintergrund, dass die Rüttelverdichtung in den erdfeuchten Bereichen der Kippe nicht durchgehend die erforderliche Verdichtungswirkung erzielt hat.

Für das gewachsene westliche und das nördliche Randböschungssystem wurden die Grundlagen zur Erstellung der abschließenden bodenmechanischen Standsicherheitsnachweise weitgehend erarbeitet. Sanierungsmaßnahmen sind hier nicht mehr erforderlich. Auch diese Böschungsbereiche werden in den geotechnischen Kontrollbefahrungen regelmäßig

THEMENKOMPLEX 5

Monitoring



Installation Datenlogger an Grundwassermessstellen

SEISMOLOGISCHES MONITORING

Autoren: Dipl. Geophysiker Jürgen Völkel, Dr. Holger Thoma

Bei den Arbeiten zur Ursachenermittlung der Böschungsbewegung Nachterstedt vom 18.07.2009 wurde ein Zusammenhang zwischen dem Rutschungsereignis und seismischen Aktivitäten im Umfeld um 02:40:44 Uhr UTC (04:40:44 Uhr MESZ) festgestellt. Ein seismisches Ereignis führte zu einer zusätzlichen dynamischen Belastung auf das bestehende Böschungssystem und war damit ein entscheidender Faktor für den Böschungsbruch und die daraus resultierende Lockergesteinsrutschung¹.

SEISMISCHES ÜBERWACHUNGSSYSTEM

Im Rahmen der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr wurde daher neben den standardmäßig angewandten marktscheiderischen, geotechnischen und hydraulischen Mess- und Kontrolleinrichtungen auch ein lokales seismisches Überwachungssystem im Bereich der ehemaligen Wohnsiedlung „Am Ring“ in Nachterstedt installiert (siehe Abbildung 1).

Das geschah mit der Zielstellung, sowohl seismische Vorgänge mit sehr geringer Energieabstrahlung als auch langsam ablaufende Bewegungen bzw. Lageveränderungen des Kippenkörpers der Altkippe unmittelbar südlich der Abbruchkante kontinuierlich zu erfassen. Zur Detektion der dynamischen Vorgänge kamen Akustikaufnehmer und niederfrequente Seismometer zum Einsatz. Die Überwachung langsam ablaufender Bewegungen der Kippe wurde mit Neigungsmessern realisiert. Alle Sensoren waren über analoge Datenverbindungen mit der Messzentrale im Wachdienstcontainer verbunden.

Mit diesem Instrumentarium war eine messtechnische Grundlage zur Unterstützung der Gefahren- und Risikobewertung und zur Alarmierung beim Begehen des Sperrbereiches bzw. bei Arbeiten im Sperrbereich gegeben.

Bei besonders sensiblen Tätigkeiten, wie z. B. dem Betreten der Bebauung zur Räumung persönlicher

Gegenstände der Bewohner und der Bergung umweltgefährdender Stoffe (z. B. Heizöl) erfolgte ein Online-Monitoring direkt vor Ort.

Mit dem Überwachungssystem wurden zahlreiche schwache seismische Ereignisse registriert. Dabei handelte es sich in erster Linie um mikroseismische Vorgänge aus dem Bereich der Wohnbebauung „Am Ring“ und dem vorgelagerten Rutschungskessel. Des Weiteren wurden Ereignisse erfasst, die ihren Ursprung nicht im Überwachungsraum hatten. Ein Teil dieser Vorgänge ist technischem Noise (z. B. Sprengerschütterungen in benachbarten Steinbrüchen) oder Verkehr aus der Umgebung zuzuordnen. Weiterhin wurden auch entfernte Erdbeben registriert. Darüber hinaus gab es aber auch Ereignisse, deren Herkunft im näheren Umfeld lag, die jedoch mit dem bestehenden Überwachungssystem nicht lokalisiert werden konnten.



Abb. 1: Übersicht Messpunktstandorte (MP 1a, 2a, 3, 4 seismische Sensoren, MP 1a+b, MP 2a+b Neigungsgeber)

Zur Verbesserung der Erfassung erfolgte daher im April/Mai 2010 mit der Inbetriebnahme von drei

zusätzlichen Messpunkten eine Erweiterung des Überwachungsgebietes auf den Bereich des Concordia Sees (siehe Abbildung 2).



Abb. 2: Seismisches Messnetz nach der Erweiterung durch die Außenstationen A1 bis A3

Die Messpunkte A1 und A3 wurden über WLAN-Verbindungen und die Station A2 über DSL an die Messzentrale angebunden.

Somit war es neben der bereits genannten Registrierung mikro- bzw. seismischer Vorgänge und der Detektion langsam ablaufender Bewegungen des Kippenkörpers „Am Ring“ in Nachterstedt auch möglich, seismische Vorgänge im Umfeld des Concordia Sees besser zu erfassen und zu lokalisieren.

Durch den Ausbau des Monitoringsystems konnte auch dessen Alarmierungsfunktion erweitert werden. Nun war die Möglichkeit gegeben, zusätzlich zur Sicherung von Arbeiten im Bereich der Wohnbebauung „Am Ring“ auch weitere Tätigkeiten, wie z. B. die Vermessungsarbeiten auf dem Concordia See oder die Installation des GPS-Systems zur Überwachung von Kippenveränderungen messtechnisch zu begleiten.

Im „Dispatchereinsatzkonzept“, welches die verschiedenen Maßnahmen zur Absicherung des umfangreichen Erkundungsprogrammes im Rahmen der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung zusammenfasst, waren auch für die seismische Überwachung Alarmierungskriterien sowohl für Arbeiten im Hinterland der Steilböschung als auch für Tätigkeiten auf dem Concordia See definiert. Auf dieser Basis

wurde eine automatische Alarmierung eingerichtet, bei der alle in der seismischen Messzentrale eingehenden Meldungen der einzelnen Messstationen kontinuierlich bewertet wurden. Bei Überschreitung definierter Alarmierungskriterien erfolgte automatisch eine Alarmausgabe durch Versand von E-Mail und SMS entsprechend der definierten Meldekette.

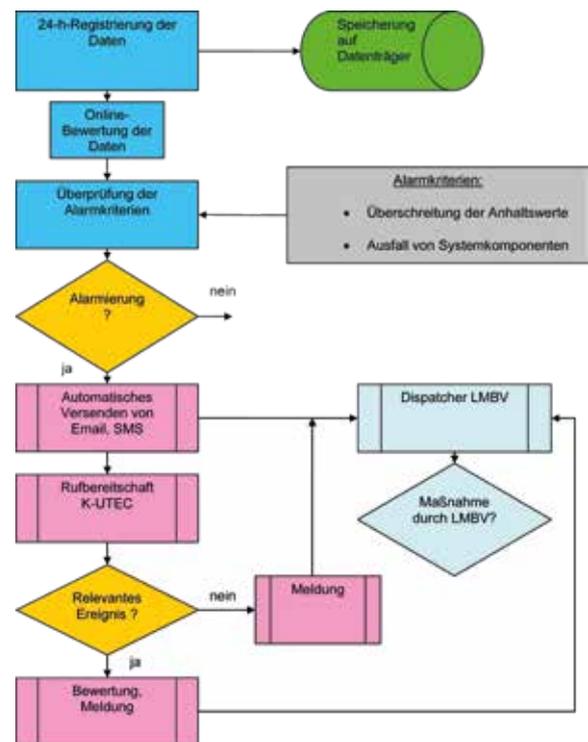


Abb. 3: Alarmierungsplan

Aufgrund der Bedeutung des Systems für die Sicherung der Arbeiten in sensiblen Bereichen wurden auch entscheidende Systemkomponenten des seismischen Monitoringsystems selbst überwacht und eine weitere Alarmierung bei gerätetechnischen Ausfällen installiert. Abbildung 3 zeigt den umgesetzten Alarmierungsplan.

Bei Alarmierungen waren die Registrierungen unmittelbar durch Fachpersonal zu sichten und zu bewerten und das Ergebnis dem Dispatcher der LMBV mitzuteilen. Um das zu gewährleisten, wurde ein Bereitschaftsdienst eingerichtet. Weiterhin war das Messsystem arbeitstäglich vor Beginn der Tätigkeiten im Sperrbereich auf Betriebsbereitschaft und evtl. außerhalb der Arbeitszeit aufgetretene seismische Ereignisse zu überprüfen und eine entsprechende Meldung im Rahmen der arbeitstäglichen Freigaben an den Dispatcher zu senden.

Mit zunehmendem Erkenntnisgewinn bei der Ursachenforschung, neu aufgeworfener Fragestellungen und der Fortschreibung der Sanierungsplanungen musste das seismische Monitoringsystem mehrfach modifiziert werden. Ein grundlegender Umbau war in Vorbereitung der Rückbauarbeiten der Wohnsiedlung „Am Ring“ erforderlich. Hier bestand die Notwendigkeit, alle Sensoren und Kabelverbindungen aus dem späteren Sanierungsbereich und den vorgesehenen Fahrtrassen zurückzubauen.



Abb. 4: Messpunktanordnung (rot dargestellt) im Bereich Nachterstedt, Stand Nov. 2012 nach Umbau

Das seismische Überwachungssystem musste dabei so umgestaltet werden, dass es einerseits weiter zur Sicherung der Sanierungsarbeiten genutzt werden konnte und andererseits die weitere Erfassung und Bewertung seismischer Vorgänge mit der notwendigen Auflösung gewährleistete.

Folgende Änderungen wurden im Rahmen dieses Umbaus vorgenommen (vgl. Abbildung 4):

- Rückbau der Messeinrichtungen in der Siedlung „Am Ring“ Nachterstedt
- Umschließung des Hauptrutschungskessels mit insgesamt fünf Messpunkten
- Einrichtung von zwei zusätzlichen Messpunkten zur Überwachung der Südwestböschung

- Verzicht auf die Neuinstallation der Neigungsgeber
- Umbau und Anpassung der zentralen Messwertfassung, Verlegung der Messzentrale vom Wachdienst- in den Mess-Container

Diese neue Systemkonfiguration führte zu einer Erweiterung des engeren Überwachungsbereiches. Mit den größeren Abständen zwischen den Messpunkten war jedoch auch eine Anhebung der Detektionsschwelle und damit eine Verringerung der Zahl der erfassten mikroseismischen Ereignisse verbunden. Weiterhin gab es temporäre Einbußen beim Erkennen von Ereignissen an einzelnen Messpunkten während der Sanierungsarbeiten durch Überlagerung mit technischem Noise.

Die Alarmierungskriterien wurden angepasst, sodass die Alarmierungsfunktion für geotechnisch relevante Ereignisse weiterhin gewährleistet war.

In dieser Konstellation wurde das Überwachungssystem, von der Verlegung einzelner Messpunkte in Abhängigkeit der voranschreitenden Sanierung abgesehen, bis Januar 2015 betrieben.

In Vorbereitung der geplanten Böschungsstabilisierung mittels Tiefenrüttlern auf der Ost- sowie der Südwestböschung des Concordia Sees war der Rückbau von Messpunkten und Kabeltrassen des bestehenden Monitoringsystems erforderlich, um die notwendige Baufreiheit für die Sanierungsarbeiten zu gewährleisten. Basierend auf den Ergebnissen der Ursachenforschung, des fortgeschrittenen Kenntniszuwachses und den erforderlichen Randbedingungen für die weiteren Sanierungsmaßnahmen im Tagebaurestloch war es möglich, das bestehende seismische Monitoring- und Überwachungssystem an die Erfordernisse und Randbedingungen der zu realisierenden Sanierungsmaßnahmen anzupassen.

Deshalb erfolgte eine Reduktion des Monitoringsystems auf die Messpunkte 3 und 4 in Nachterstedt sowie auf die drei Außenstationen, die den Concordia See umschließen.

Dieses Basisnetz dient weiterhin der Erfassung und Bewertung von dynamischen Energieeinträgen im Umfeld des Concordia Sees und darüber hinaus der Beweissicherung im Rahmen der Sanierungsarbeiten.

Die Alarmierung wurde für das Basisnetz deaktiviert. Eine Auswertung von Registrierungen erfolgt ausschließlich im Bedarfsfall.

Zum Monitoring der Rüttelarbeiten ist entsprechend des fortgeschriebenen Dispatchereinsatzkonzeptes für jeden Tiefenrüttler jeweils ein eigenes Subsystem zur Überwachung und Absicherung der Verdichtungsarbeiten eingerichtet worden. Weiterhin wurde, wie bereits bei Kippenstabilisierungen mittels Schonender Sprengverdichtung (SSPV) in der Lausitz, auch in Nachterstedt neben der obligaten Schwingungsüberwachung und Bewertung nach DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ein seismisches Monitoring der SSPV zur Analyse der Sprengverdichtung und zur Bestimmung der auf die Steilböschung wirkenden Schwingbeschleunigungen durchgeführt. Dies erfolgte sowohl im Rahmen der Testfelder zur SSPV 2016 als auch bei der Tiefen Schonenden Sprengverdichtung (T-SSPV) im Hauptrutschungskessel 2018.

ERGEBNISSE DES MONITORINGS

Im Zeitraum seit Inbetriebnahme des seismischen Überwachungssystems 09/2009 bis zum grundlegenden Umbau 11/2012 wurden insgesamt 657 seismische Ereignisse erfasst. Bei 392 Vorgängen davon handelte es sich um lokale (mikro-) seismische Ereignisse. Diese hatten ihre Herdlage im Umfeld der ehemaligen Wohnsiedlung „Am Ring“, im vorgelagerten Rutschungskessel, im Bereich des Rüttelstützkörpers an der ehemaligen Slipanlage (Westflanke des Hauptrutschungskessels) sowie im nahen Umfeld des Concordia Sees. Sie sind auf Böschungsabbrüche und kleinere Rutschungen im Böschungsbereich, Bruchvorgänge im Untergrund und in wenigen Fällen an der Bebauung zurückzuführen (siehe Abbildung 5). Die Lokalmagnitude (nach Iida) dieser Vorgänge hatte eine Größenordnung von $M_L = -0,7$ bis $M_L = -3,7$.

Nach der Erweiterung des Messnetzes 2010 wurde ein Ereignis im Bereich des Ascherslebener Sattels an den ehemaligen Tagesanlagen Königsau detektiert. Dieses war mit der Magnitude $M_L = 0,1$ der stärkste erfasste Vorgang. Als Ursache dafür sind möglicherweise subrosionsbedingte Phänomene in Betracht zu ziehen.



Abb. 5: Seismische Ereignisse der Beobachtungskampagnen 09/2009 bis 11/2012 (gelb) und 12/2012 bis 12/2014 (blau) im Bereich der ehemaligen Wohnbebauung „Am Ring“

Die Auswertung der Neigungsmessung an Gebäuden unmittelbar südlich der Abbruchkante ließ insgesamt eine leichte Neigungsänderung des Kippenkörpers nach Nordwesten erkennen. Die Änderungsbeträge waren an den einzelnen Messpunkten unterschiedlich ausgeprägt. An den Punkten MP 1a und MP 2a wurden kleinere Kippungswerte gegenüber MP 1b und MP 2b beobachtet. Das resultierte aus der Gründung der Bauwerke, an denen die Sensoren angebracht waren. Die direkt an den Wohngebäuden installierten und damit besser gegründeten Sensoren MP 1a und MP 2a (siehe Abbildung 1) zeigten Veränderungen von $-0,1$ mm/m bis $-2,6$ mm/m zum Ursprungswert. Für die dichter an der Abbruchkante positionierten Messpunkte MP 1b und MP 2b standen derart gut gegründete Bauwerke nicht zu Verfügung. Diese Messpunkte wiesen einen deutlichen Tages- und auch Jahresgang auf und waren somit nicht repräsentativ für die Altkippe.

Nach der Neukonfiguration des Monitoringsystems 11/2012 wurden 185 seismische Ereignisse im Zeitraum Dezember 2012 bis Dezember 2014 registriert. Die überwiegende Mehrheit davon war Erdbeben und anderen Fernereignissen zuzuordnen. Bei elf Vorgängen handelte es sich um lokale seismische Ereignisse. Diese traten im Hinterland der Böschungsbewegung, im Rutschungskessel, auf der Halde 3, sowie nördlich der Südwestböschung im Concordia See auf. Ihre Magnitudenwerte (nach Iida) betragen $M_L = -0,7$ bis $M_L = -1,9$. Damit wird ersichtlich, dass mit der Anpassung des

Überwachungssystem eine Erhöhung der Erfassungsgrenze um ca. zwei Magnitudenklassen verbunden war und ein Großteil der bis dato registrierten mikroseismischen Ereignisse des Gebietes nicht mehr detektiert werden konnte. Die Zielstellung zur Registrierung und Identifikation von Ereignissen ab Magnitude $M_L = 0$ wurde auch mit der neuen Messpunktconfiguration sicher erreicht. Abbildung 5 zeigt die im genannten Beobachtungszeitraum aufgezeichneten seismischen Ereignisse im Bereich der ehemaligen Wohnbebauung „Am Ring“ Nachterstedt.

SEISMISCHE ÜBERWACHUNG UND ABSICHERUNG DER RÜTTELARBEITEN

Zur Stabilisierung der Böschungen des Concordia Sees wurden Rüttelstützkörper sowohl auf der Ost- (Bereiche Nord und Süd) als auch der Südwestböschung mittels Rüttelstopf- bzw. Rütteldruckverdichtung hergestellt. Diese Stützkörper sind auf der beiliegende Übersichtskarte dargestellt. Dabei waren bis zu vier Tiefenrüttler gleichzeitig auf den verschiedenen Rütteltrassen im Einsatz. Zu jeder Rüttleinheit war entsprechend Monitoringprogramm und Dispatchereinsatzkonzept eine separate Überwachung mit Alarmierung einzurichten. Als Alarmwert wurde in Abstimmung mit den Sachverständigen für Geotechnik und dem Obergutachter (TU Darmstadt) ein Wert der Schwingbeschleunigung aus den Ergebnissen der Ursachenforschung zur Böschungsbewegung 2009 abgeleitet. Bei Erreichen bzw. Überschreiten des Alarmwertes waren die Rüttelarbeiten unverzüglich einzustellen. Zur unmittelbaren Bewertung von Alarmierungen war wieder ein Bereitschaftsdienst während der Verdichtungsarbeiten erforderlich.

Das Monitoring bei Rüttelarbeiten auf den Trassen +103 m NHN wurde mit 2 Messpunkten am Ufer des Concordia Sees umgesetzt. Die Uferbereiche waren als potentiell setzungsfließgefährdet eingeschätzt worden und durch Bewuchs nicht einsehbar. Die Alarmierung erfolgte per E-Mail und SMS an einen festgelegten Verteiler. Beim Monitoring der Rüttelarbeiten auf den Trassen +95 m NHN wurde eine Dreiecksanordnung mit zwei Messpunkten am Seeufer und einem böschungseitigen Messpunkt realisiert. Neben der Alarmierung per E-Mail und SMS kam hier

zusätzlich eine Ampel im Sichtbereich des Gerätefahrers zum Einsatz. Diese wurde 2016 mit einem akustischen Signalgeber ergänzt. Damit konnte in diesen sensibleren Bereichen die Signalisierung von Alarmen ohne Zeitverzögerung erfolgen.



Foto 1: Messpunkt für das Monitoring eines Testfeldes

Im Rahmen des planmäßigen Testbetriebes der Rüttler auf definierten Testfeldern wurde ebenfalls das jeweilige Alarmsystem für den Routinebetrieb getestet. Darüber hinaus wurde der Erschütterungseintrag bei den Verdichtungsarbeiten von der Rütteltrasse bis zum Ufer des Concordia Sees bestimmt und daraus Dämpfungsprofile erstellt.

Die oben beschriebenen Messpunktconfigurationen für die Arbeiten in den +95 m NHN - bzw. +103 m NHN - Verdichtungsbereichen wurden in Abhängigkeit des Sanierungsfortschritts auf der jeweiligen Rütteltrasse versetzt, sodass der aktuell in Bearbeitung befindliche Abschnitt des Rütteldammes immer von Messpunkten umschlossen war. Zum Einsatz kamen dabei mobile seismische Messstellen, die über Mobilfunk an einen Datenserver angebunden waren. Um Kabelauslagen zu minimieren, wurden sie über Akkumulatoren versorgt. Außer den Signalkabeln zu den Ampeln wurden keine Kabelverbindungen in den Arbeitsbereichen der Rüttler verlegt.

Am 28.06.2016 ereignete sich um 15:38:40 Uhr UTC (17:38:40 Uhr MESZ) auf der Südwestböschung des Concordia Sees während der Verdichtungsarbeiten eine Böschungsbewegung.

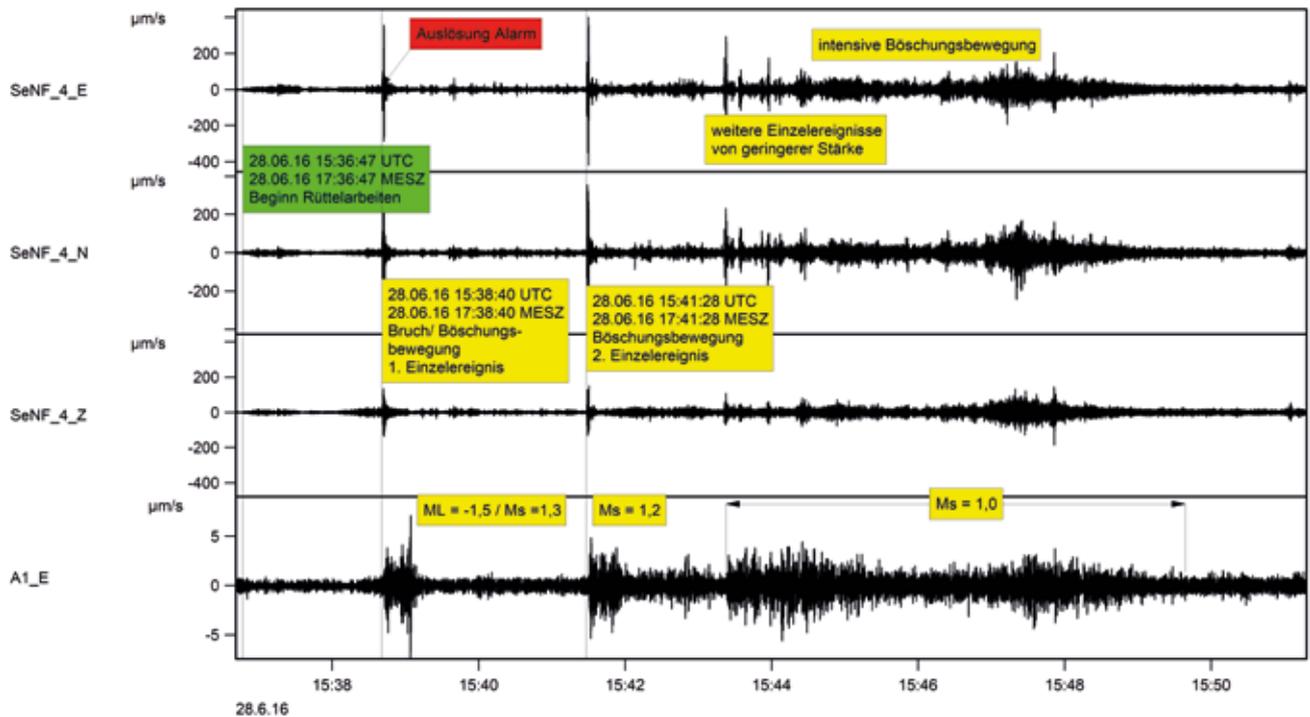


Abb. 6: Zeitlicher Ablauf der Böschungsbewegung vom 28.06.2016

Das Monitoringsystem der hier tätigen Rüttel­einheit Nr. 3 löste entsprechende Alarmierungen aus. Dann wurde die uferseitig installierte Messtechnik von der Böschungsbewegung erfasst und ging verloren, sodass anfänglich nur die Daten des seismischen Basissystems zur Auswertung des Ereignisses zur Verfügung standen.

Anhand der seismischen Registrierungen konnte der Vorgang detailliert analysiert werden. Das Seismogramm in Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Ablauf der Böschungsbewegung mit Markierung grundlegender Phasen am Beispiel des südlich gelegenen Messpunktes MP 4 und der Station Schadeleben A1 (E-W-Komp.). Demnach ist die Böschungsbewegung im Wesentlichen durch zwei stärkere und eine Vielzahl kleinerer seismischer Ereignisse charakterisiert.

Das erste Ereignis beginnt mit einem Bruchvorgang von geringer Stärke. Seine Lokalmagnitude beträgt $M_L = -1,5$. Dem folgt eine energiereiche Böschungsbewegung, die eine Oberflächenwellen­magnitude $M_S = 1,3$ besitzt und durch einen Frequenzinhalt von ca. 1 Hz bis 2 Hz charakterisiert wird.

Nach diesem ersten markanten Ereignis setzt sich die Böschungsbewegung mit geringer Energieabstrahlung bis zum Auftreten eines weiteren markanten Vorganges um 15:41:28 Uhr UTC fort. Dieser ist nur durch Oberflächenwellen charakterisiert und besitzt eine Oberflächenwellen­magnitude von $M_S = 1,2$. Nach weiteren Einzelereignissen geringerer Stärke nimmt die seismische Energieabstrahlung der Böschungsbewegung ab 15:43 Uhr UTC zu und erreicht gegen 15:47 Uhr UTC ihr relatives Maximum ($M_S = 1,0$).

In Abbildung 8 ist das Spektrogramm des ersten Ereignisses dargestellt. Dieses zeigt anschaulich den Bruchvorgang zu Beginn des Ereignisses, gefolgt von der energiestärkeren Böschungsbewegung.

Unter Verwendung eines geologisch-geophysikalischen Untergrundmodells konnten aus den Laufzeitdifferenzen an den verschiedenen seismischen Messstationen die Herdlagen für das erste und das zweite seismische Ereignis bestimmt werden. Die Epizentren (einschließlich des Ortungsfehlers) sind in Abbildung 7 dargestellt.

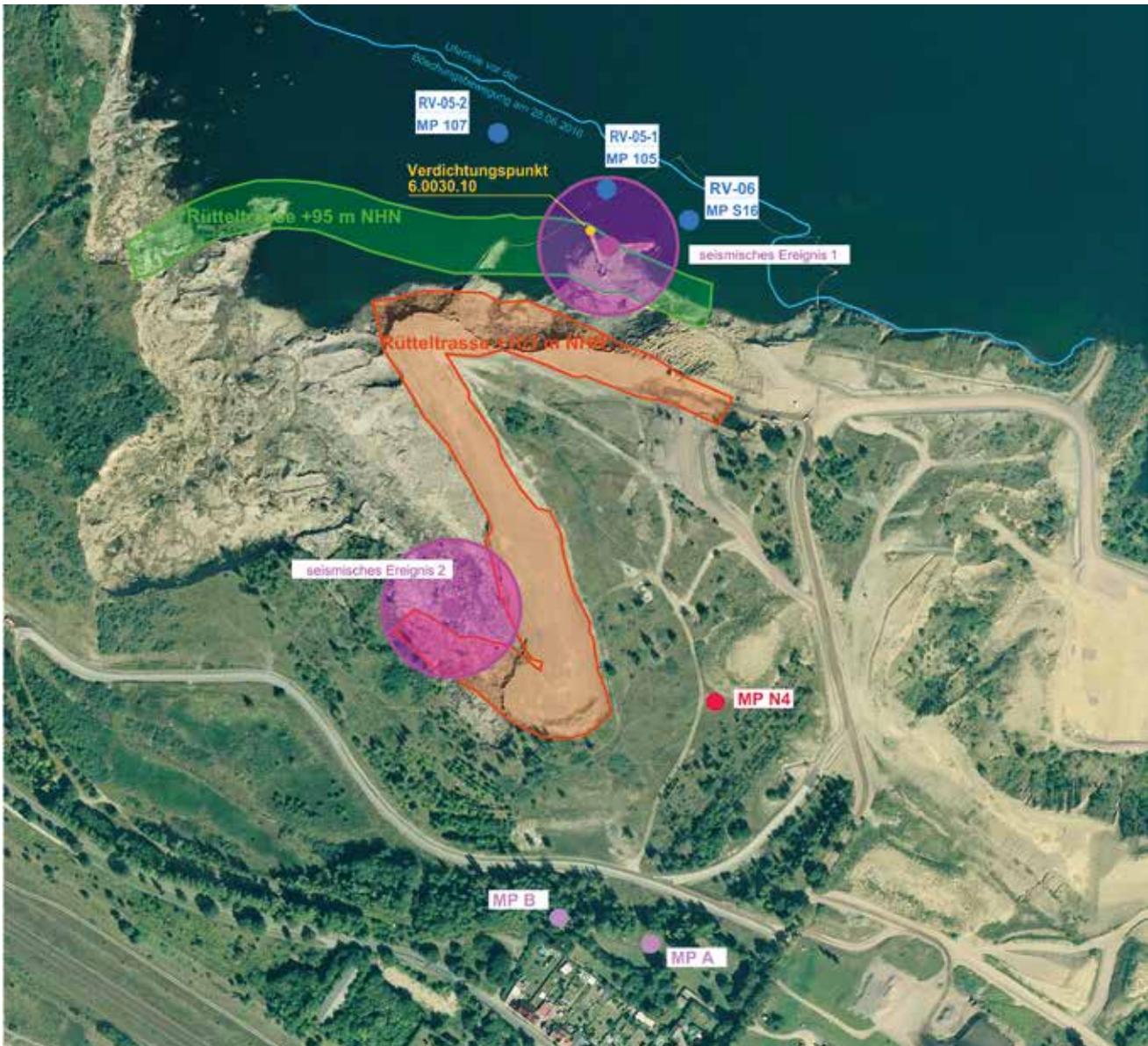


Abb. 7: Epizentren der zwei starken Einzelereignisse der Böschungsbewegung vom 28.06.2016

Das erste Ereignis wurde im wasserseitigen Randbereich des Rüttelstützkörpers +95 m NHN in einer Entfernung von 15 m zum bearbeiteten Verdichtungspunkt lokalisiert. Die Herdlage des zweiten seismischen Ereignisses befindet sich in einer Tieflage im südwestlichen Randbereich der Verdichtungstrasse +103 m NHN.

Die weitere Analyse der Daten ergab, dass das erste seismische Ereignis unmittelbar beim Rütteln

einsetzte, sodass diese Arbeiten als wahrscheinliches Initial anzusehen sind.

Dazu zeigt Abbildung 9 das Seismogramm der geborgenen Registriereinheit für den Messpunkt 105. Auch die Registrierungen an weiteren Messpunkten, insbesondere des hochfrequenten Aufnehmers am Messpunkt MP 4 bestätigen diese Aussage und stützen somit auch das Ortungsergebnis des ersten Einzelereignisses.

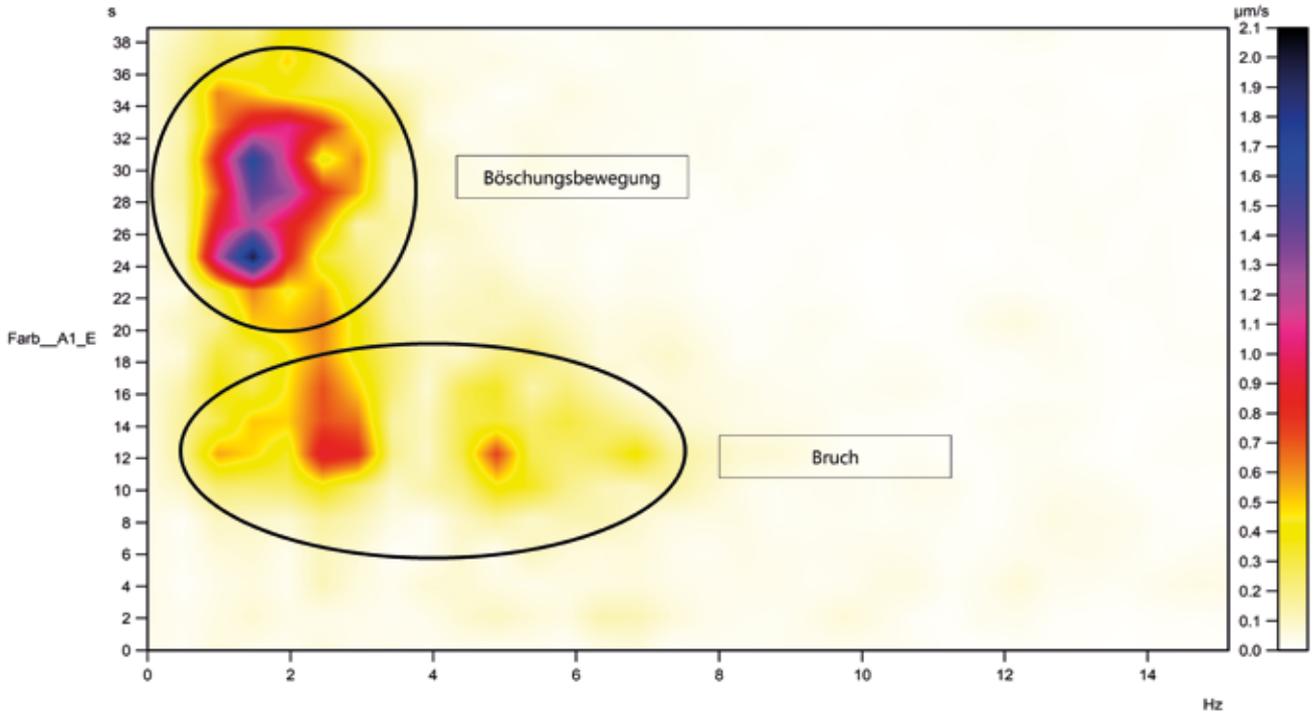


Abb. 8: Spektrogramm am MP A1 (Schadeleben), erstes Ereignis (Bruch/Böschungsbewegung)

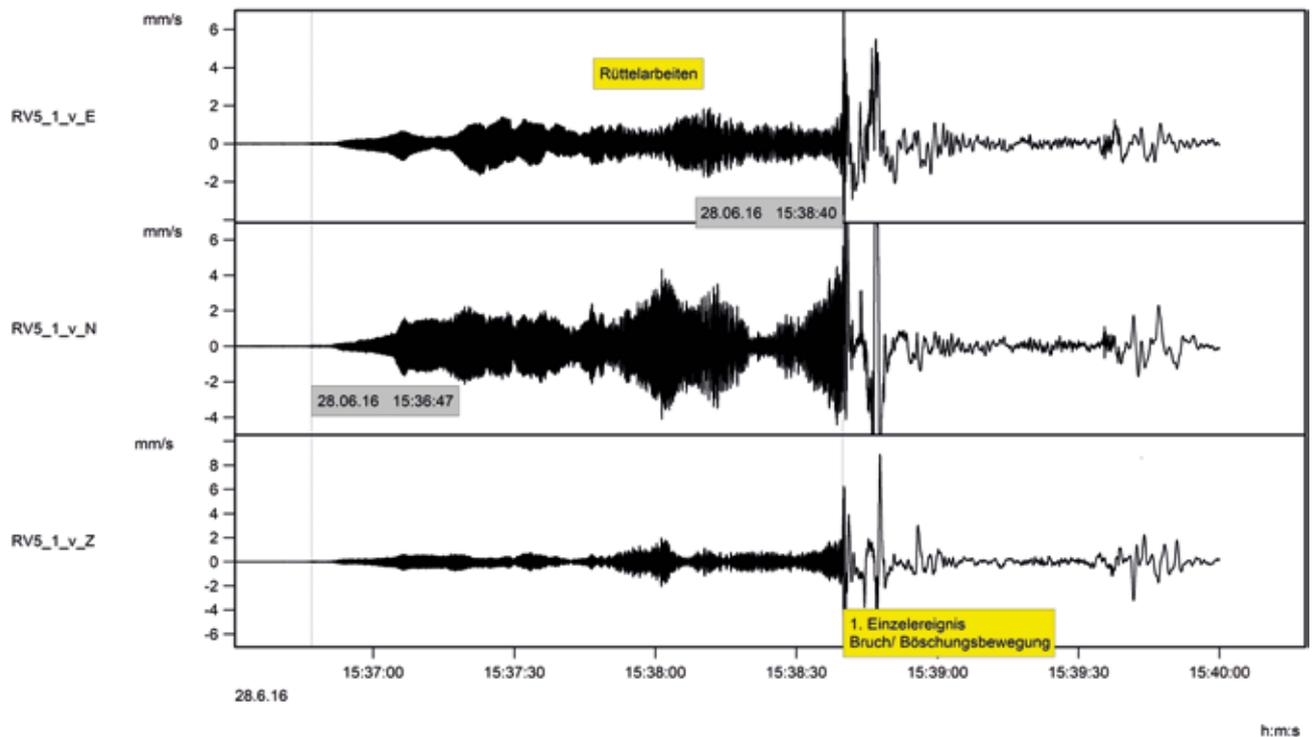


Abb. 9: Zeitablauf vom Beginn der Rüttelarbeiten des Verdichtungspunktes 6.0030.10 bis zum ersten seismischen Ereignis am MP 105 = RV5_1

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser kurze Abriss der mehr als zehnjährigen Tätigkeit in Nachterstedt zeigt, wie das seismische Monitoring als wirksames Instrument zur Online-Überwachung von Erkundungsarbeiten im Rahmen der Ursachenforschung bis hin zur Begleitung der verschiedenen Sanierungstätigkeiten zur Beseitigung der Folgen der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 erfolgreich eingesetzt wurde und durch entsprechende Alarmierungsfunktionen zur Sicherheit der Beschäftigten beim Betreten der Sperrbereiche und den vielfältigen Arbeiten darin beigetragen hat. Darüber hinaus gestatten die seismischen Aufzeichnungen zahlreiche Möglichkeiten der Auswertung und Analyse, wie am Beispiel der Böschungsbewegung vom 28.06.2016 verdeutlicht wurde.



Foto 2: Seismischer Messpunkt am ehemaligen Klärwerk der Fa. NOVELIS

K-UTEC AG Salt Technologies Sondershausen

Die K-UTEC ist die privatisierte Nachfolgegesellschaft des ehemaligen Kali-Forschungsinstituts der mitteldeutschen Kaliindustrie. Unser Tätigkeitsfeld reicht jedoch weit über die Anwendungen im Kalibergbau und die Verarbeitung von Kalirohstoffen hinaus. K-UTEC hat sich vom lokalen Unternehmen zum international anerkannten und global agierenden Ansprechpartner für alle verfahrenstechnischen, analytischen, geomechanischen und geophysikalischen Fragestellungen rund um das Thema Salz entwickelt. Mit etwa 100 Mitarbeitern entwickeln, planen und prüfen wir für die Rohstoffindustrie aus aller Welt.



**Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen
Deutschland
Tel: +49 (0)3632 610 0
Fax: +49 (0)3632 610 105
E-Mail: kutec@k-utec.de**

Literatur/Quellen:

1 Katzenbach, R.: Sachverständigen-Gutachten Nr. G0935-13/01 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Ergebnisse der Ursa-

chenforschung (Abschlussbericht Ursachenforschung), Technische Universität Darmstadt, Darmstadt 2013

NATURSCHUTZFACHLICHE MASSNAHMEN

WÄHREND DER SANIERUNGSARBEITEN



Seeadler-Jungtier mit Rehlauf, 2020 (Foto: Holger Gabriel)

Sanierungsflächen der LMBV bieten neue Lebensräume für viele Arten. So wurden im Laufe der letzten zehn Jahre zahlreiche Tiere im Bereich des Concordia Sees entdeckt und naturschutzfachliche Maßnahmen eingeleitet.

Mit dem **Seeadler** wurde vor einigen Jahren eine streng geschützte Tierart auf der Halde 3 Nachterstedt gesichtet. Der Horst befand sich in einer alten Pappel. Daraufhin wurde um den Horst eine Schutz- und Ruhezone eingerichtet. Seeadler kommen häufig in ausgeräumten Landschaften vor, fangen Kitze oder große Fische und bauen Nester, die bis 1 t schwer sein können. Sie sind standorttreu – dieses Jahr konnte sogar ein Jungadler beringt werden.



Ersatzmaßnahme: Anlage eines Ersatznistplatzes für Uhus (siehe Folgeseite)

Trotz beständiger Sanierungstätigkeit bzw. hohem Verkehrsaufkommen durch Baufahrzeuge nistete sich 2015 ein **Uhu** zunächst an einer Steilkante im zu sanierenden Hauptrutschungskessel ein. Es handelte sich um ein brütendes Uhu-Weibchen, die zwei Jahre ihrem Nistplatz treu blieb und drei Jungen aufzog. Um die Baumaßnahme abschließen zu können, wurde die letzte Brut an eine Ascherslebener Aufzuchtstation übergeben. Als Ausgleichsmaßnahme für den Verlust des Nistplatzes wurde unterhalb der Halde 4 in enger Zusammenarbeit mit der Naturschutzbehörde ein neuer Nistplatz angelegt.

Uhus gelten als die größten Eulen weltweit und können eine Flügelspannweite bis 1,80 m und ein Gewicht bis zu 3,20 kg erreichen.



Bläulinge sind Schmetterlinge, die man nicht nur im Umfeld von Nachterstedt und Schadeleben gesichtet hat, sondern die man überall auf Wiesen und in der Bergbaufolgelandschaft finden kann. Sie leben in Symbiose mit Ameisen und sind geschützt.



Die ebenfalls geschützte **Blaflügelige Ödlandschrecke** liebt offene Rohböden und Magerrasen, weshalb sie typischerweise in Bergbaufolgelandschaften anzutreffen ist. Ihr Vorkommen nimmt jedoch ab. Sie ist ökologisch interessant und auf den Offenflächen des Tagebaurestloches verbreitet.



Fischbesatz: Die LMBV ist Eigentümerin neu entstehender Wasserflächen in der Bergbaufolgelandschaft. Daher beauftragt sie fischereiliche Gutachten beim Institut für Binnenfischerei e.V. in Potsdam. Für den Raum Nachterstedt/Königsau wurde in den Jahren 2007 und 2008 eine erste derartige Expertise erstellt. Die Untersuchung dauerte ein Jahr: Geprüft wurden sowohl die Gewässergüte als auch Fischfänge mithilfe von Elektrofischerei und Stellnetzen in der Uferzone ab April/Mai. Nachdem alles vermessen und bewertet worden war, lag der Bericht im Winter vor. Durch den 2009 entstandenen Sperrbereich musste das entstandene fischfaunistische und fischereiliche Leitbild für den Concordia See und die daraus abgeleitete Hegeverpflichtung der LMBV wieder aufgegeben werden. Mit der teilweisen Aufhebung des Sperrbereichs und der derzeit weit fortgeschrittenen Böschungssanierung kann das fischereiliche Gutachten erneuert und geklärt werden, ob die ökologischen Voraussetzungen für die Bewirtschaftung des Gewässers für die Fischerei und das Freizeitangeln gewährleistet sind. Fest steht jedoch, dass im letzten Jahrzehnt keine starke Versauerung des Gewässers aufgetreten ist und dass die fischereiliche Artenvielfalt infolge des anhaltenden Besatzes durch Wasservögel – sie tragen Fischlaich an ihrem Gefieder ins Gewässer ein – zugenommen hat.

Ausgleichsmaßnahmen: Die wirtschaftliche Sicherung des Rutschungskessels erfordert die Aufweitung der entstandenen Rutschungsflanke in das

Hinterland. So kann Erdstoff gewonnen werden, welcher beginnend am Fuß der Flanke als Stützkörper verdichtet wieder eingebaut wird.

Dieses Vorgehen erfordert einen Eingriff in bereits rekultivierte Flächen, welcher gemäß Umweltgesetzgebung auszugleichen ist.

Beispielhaft sei hier die Anlage einer Streuobstwiese südlich der Ortslage Schadeleben und der Bau von mehreren Amphibientunneln zur Querung der Ortsverbindungsstraße Hoym – Frose in Höhe des Strandbades genannt.



Amphibientunnel



Streuobstwiese

MONTANHYDROLOGISCHES GRUNDWASSERMONITORING

Autoren: Dr. Andreas Schroeter, Andreas Hesse, Frank Heinrich, Stephanie Seitz

VORBEMERKUNGEN UND AUSGANGSSITUATION

Mit dem Unglück der katastrophalen Böschungsbe-
wegung vom 18.07.2009 sind ca. 4,5 Mio. m³ Erd-
massen in den Tagebau Nachterstedt/Schadeleben
und den „Concordia See“ (Wasserspiegel +81,92 m
NHN, Stand 24.06.2009) gerutscht.

Nach dem unvorhergesehenen, plötzlichen Rut-
schungsereignis erfolgte die sofortige Sperrung des
gesamten ehemaligen Tagebaugeländes mit dem
Gewässerbereich sowie der Aufbau eines montan-
hydrologischen Monitoring- und Überwachungssys-
tems. Das Sondermonitoring zur Gefahrenabwehr
und zur Absicherung der Erkundungs- und Sanie-
rungsarbeiten bestand vorerst aus geodätischen
Sicherheitsmesslinien und permanenten, arbeits-
täglichen und wöchentlichen Messungen, zwei
GPS-Messsystemen, seismischen Messgebern,
Rutschungswarnanlagen, Extensometern zur Bewe-
gungsfeststellung sowie 91 Grundwassermess-
stellen (GWM), von denen 36 GWM zeitnah mit
automatischen Wasserstandsmesseinrichtungen
(Datenloggern) ausgerüstet wurden. Zur Gefah-
renabwehr und zur hydraulischen Sicherung der
Böschungsbereiche wurden kurzfristig fünf Brun-
nen errichtet und in Betrieb genommen /1/. Um eine
hydrologische Datenerfassung und -auswertung
schnellstmöglich zu gewährleisten sowie die perma-
nent auflaufenden sehr großen Messdatenmengen
unmittelbar nach der Böschungsbewegung bewäl-
tigen zu können, wurde ab September 2010 mit
dem Aufbau eines datenbankgestützten Grund- und
Oberflächenwassermonitoringsystems begonnen,
die montanhydrologischen Entwicklungsstände kurz-
fristig eingemessen und das Messsystem in einen
Sondermonitoringbetrieb überführt. Die wissen-
schaftlich-ingenieurtechnische Begleitung dieses
montanhydrologischen Monitoringsystems inklusive
des hydrologischen Datenmanagements zur Überwa-
chung des Tagebaus Nachterstedt/Schadeleben und

des Tagebaurestlochs Königsau erfolgte seitdem
online auf Basis des mit der zuständigen Behörde
abgestimmten Überwachungskonzeptes (Vorhaben-
träger LMBV; Gutachter IHU).

Am 28.06.2016 kam es an der Südböschung des
Tagebaus Nachterstedt erneut zu einer Böschungs-
bewegung mit materiellen Schäden. Aufgrund des
Massenverlustes wurden dabei hydrologisch typi-
sche Wasserspiegelabsenkungen an GWM sowie
kurzzeitige Fördermengenabsenkungen an Brunnen
registriert. Infolge des Rutschungsereignisses wur-
den zusätzliche geotechnische Verdichtungsarbeiten
erforderlich.

Im Vorfeld der Böschungsbewegung vom Juni 2016
waren keine Grenzwertalarme an GWM des montan-
hydrologischen Sondermonitorings ausgelöst oder
signifikante hydrologische Veränderungen und Auffäl-
ligkeiten in den gemessenen Grundwasserganglinien
und Wasserspiegeldaten auf dem Hydras-Server als
Warnsignale beobachtet worden.

Durch die zweite Rutschung an der südlichen Berg-
baufolgeseeböschung wurden im Bereich der Abriss-
kante fünf GWM beschädigt sowie 33 seeseitige Pie-
zometermessstellen zerstört. Bis Ende 2017 wurden
einige Messlokationen – soweit technisch möglich
– wieder in Stand gesetzt, die übrigen GWM und Pie-
zometer waren jedoch dauerhaft verloren.

Mit dem vorliegenden Fachbeitrag soll ein kurzer
Überblick zum Aufbau und Betrieb des montanhyd-
rologischen Grundwassermonitorings beim hydro-
logischen Datenmanagement mit Schwerpunkt zur
Vorgehensweise und den methodischen Aspekten
gegeben werden, ohne dass dabei auf die sehr kom-
plexen hydrogeologischen Standortgegebenheiten
des Raumes Nachterstedt und die hydrologischen
Inhalte im vorliegenden Monitoring-Datenpool unter
geowissenschaftlichen Gesichtspunkten im Detail
eingegangen werden kann.

STANDORTGEGEBENHEITEN UND HYDROGEOLOGISCHES MODELL

Die Gewinnung der hochbitumenhaltigen Braunkohle begann im Jahre 1856 mit dem Tagebau „Frühauf“ südlich von Nachterstedt und wurde nach der deutschen Wiedervereinigung im Jahre 1991 beendet. Im Tagebau Nachterstedt/Schadeleben (1856–1991) und im Tagebaurestloch Königsau (1919–1977) wurden in Summe ca. 254,3 Mio. t Braunkohle gefördert, ca. 403,4 Mio. t Abraum bewegt und ca. 1.607 ha Land in Anspruch genommen, wobei sich der Restvorrat auf ca. 85 Mio. t Braunkohle beläuft. Im Ergebnis der bergbaulichen Sanierung und Rekultivierung ist mit dem „Concordia See“ und dem „Königsauer See“ eine Seenlandschaft zur touristischen Nutzung und Erholung im nördlichen Harzvorland geplant.

Die Braunkohlenlagerstätte mit vier Flözbereichen wurde in den Randsenken des Ascherslebener Sattels gebildet, die tektonisch bedingt vom eingesenkten Schadelebener Graben gequert werden. Die tertiären Sedimente werden von pleistozänen und holozänen Sedimenten überlagert. Im Bereich der an den Tagebaukomplex angrenzenden Seeländereien sind quartäre Rinnenstrukturen parallel zum herzyn streichenden Zechsteinsattel entwickelt (Karstgrundwasserleiter/„Gipshut“).

Das hydrogeologische Modell Nachterstedt mit den Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern

(GWL/GWGL) wurde im Zuge der hydrogeologischen Erkundungsarbeiten zur Ursachenermittlung zur Böschungsbewegung im Juli 2009 sowie des Messnetzausbaus schrittweise präzisiert und mit der zuständigen Landesbehörde (Landesamt für Geologie und Bergwesen, LAGB) abgestimmt. Die Neuerrichtung von GWM und Brunnen, die ins Sondermonitoring einfließen, sowie die hydrologisch-hydrogeologischen Bewertungen im Rahmen des Datenmanagements orientieren sich am aktuellen hydrogeologischen Normalprofil (siehe Abbildung 1).

MONITORINGSYSTEM

Monitoringraum und Messnetzaufbau

Im Zusammenhang mit der Ursachenforschung und der Sanierungsplanung erfolgten im Bereich des Tagebaus Nachterstedt/Schadeleben und seiner Randbereiche ab September 2009 ergänzende hydrogeologische Erkundungsarbeiten und geotechnische Untersuchungen. Der Bestand an hydrologischen Messlokationen wurde durch die Errichtung von zusätzlichen GWM und seeseitigen Piezometern sowie Entwässerungsbrunnen schrittweise erweitert. Derzeitig werden im Monitoring 228 GWM beobachtet, an denen Grundwasserspiegel (Datenlogger) und hydrostatische Drücke (Piezometermessstellen) täglich gemessen und automatisch auf den Projektserver

| System / Serie / Fazies / Folge | Schichtenfolge mit GWL-Bezeichnung | | | Stratigraphie Sachsen-Anhalt | DSE STRAT-Code | Schicht-Nr. Schadeleben | |
|---------------------------------|------------------------------------|---|--|--|-------------------------------------|-------------------------|-------|
| | GWL-NEU (Frose/Wilsleben) | GWL-ALT (Schadeleben) | Schichtenfolge (mit Stratigraphiekürzel nach LKQ 50) | | | | |
| Quartär Pleistozän | Holozän (qh) | MB | | Mutterboden | qh | 1010 | 19 |
| | | A | | Auffülle, Bergbaukuppe, Deponie | qh | 1020 | 20 |
| | | Ki-T | | Bergbaukuppe (Tiefschüttung) | qh | 1026 | |
| | | Ki-H | | Bergbaukuppe (Hochschüttung) | qh | 1027 | |
| | | Tbv | | Braunkohleltiefbau (verwahrt) | qh | 1028 | |
| | | Tbu | | Braunkohleltiefbau (unverwahrt) | qh | 1029 | |
| | | T/F | | Torf, Faulschlamm, Seekalk (Ho) | qh | 1030 | 17/18 |
| | | L | | Schluff (sandig, kalkig, humos) (Ho) | qhLJ | 1040 | |
| | | 1.0 | | Auekiese (Ho) | qhFB | 1050 | |
| | | 1.1 | | Niederterrassenschotter der Selke (W) | qn | 1910 | |
| | Weichsel-Kaltzeit (qw) | L6 | | L6B (W), Fließerden (L6Ho-W) | qw | 1920 | 16 |
| | | T/F | | Sand, Fließerden, Mudden, Seekalke, Torf (L6W) | qw | 1960 | 15 |
| | | IEa | | Eeminterglazial (E) | qee | 2000 | |
| | | 1.4u | | Schmelzwassersande und -kiese (L6Si) | qsD | 2360 | 14.1 |
| | | Besu | | Bruckdorfer Beckenschluff (L6Si) | qsD | 2370 | |
| | | 1.5 | | 1. Saale-Grundmoräne (Drenthe) (L6Si) | qsD | 2410 | 14.2 |
| | | »Bt« | | Böhlemer/Lochauer Bänderton (L6Si) | qsBL | 2420 | |
| | | 1.5 | | Hauptterrassenschotter der Selke (Si) | qm | 2430 | |
| | | IH | | Holsteininterglazial (L6H) | qhol | 2440 | |
| | | Elster-Kaltzeit (qe) | 1.6o | | Schmelzwassersande und -kiese (L6E) | qe2 | 2460 |
| Besu | 1 | | Beckenschluff (L6E) | qe2 | 2470 | 13.2/11.3 | |
| 1.6u | | | Schmelzwassersande und -kiese (L6E) | qe2 | 2480 | 11.1 | |
| 1.6.1 | | | 2. Elster-Grundmoräne (L6E) | qe2 | 2510 | 11.2 | |
| »Bt« | | | Schmelzwassersande und -kiese (Vorschüt) (L6E) | qe2 | 2520 | | |
| 1.7o | | | Militzer Bänderton (L6E) | qeMT | 2540 | | |
| 1.7o | | | Schmelzwassersande und -kiese (L6E) | qeMI | 2550 | | |
| 1.7.1 | | | 1. Elster-Grundmoräne (L6E) | qe1 | 2610 | | |
| »Bt« | | | Schmelzwassersande und -kiese (Vorschüt) (L6E) | qe1 | 2620 | | |
| Rinne | | | Leipziger Bänderton (L6E) | qeDL | 2640 | | |
| | | Seeländerdestruktionsrinne (Sand, Kies, Schluff, Kohle) | ohne | 3000 | | | |

| Tertiär | Paläogen | Mittelozeän | Tertiär | | Paläogen | | Mittelozeän | | | | | |
|--------------|----------|---------------------------------|---|-----------|--------------------------------|---|-------------|------|---|----------|------|--|
| | | | U/T | | Schluff/Ton (sog. Grünsandton) | teoSB | 6630 | 10 | | | | |
| Tertiär | Paläogen | Mittelozeän | Obereozän | U/T | | Schluff/Ton (sog. Grünsandton) | teoSB | 6630 | 10 | | | |
| | | | | 3.3 | | Sand | teoSB | 6640 | 10 | | | |
| | | | | 5.8 | | Sand mit Quarztlagen | teoNAc | 7430 | | | | |
| | | | Hangendschichten | U/T | | Hangendschluff | teoNAc | 7440 | | | | |
| | | | | UGL | | Oberbegleiter | teofNAcb | 7450 | | | | |
| | | | | 5.9 | 2.1 | Sand mit Quarztlagen (sog. Hangendsand) | teoNAc | 7470 | 9.1 | | | |
| | | | | U | | Schluff (sandig/kohlig) | teoNAc | 7480 | 9.2 | | | |
| | | | | lllo | | Nachterstedter Oberflöz (Flöz III, obere Bank) | teofNA3 oB | 7490 | 8.0 | | | |
| | | | Oberflözgruppe | U/T | | Schluff/Ton | teonAM3 | 7500 | 8.2 | | | |
| | | | | 6.0 | | Feinsand (schluffig) | teonAM3 | 7510 | 8.1 | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAM3 | 7520 | 8.2 | | | |
| | | | | lllu | | Nachterstedter Oberflöz (Flöz III, untere Bank) | teofNA3 uB | 7530 | 8.0 | | | |
| | | | | U/T | | Liegendschluff/-ton | teonAb2 | 7540 | 7.2 | | | |
| | | | Hauptmittel 2 | 6.1 | | Sand mit Kieslagen (sog. "Spitterkiese") | teonAb2 | 7560 | 7.1 | | | |
| | | | | lllo | | Zwischenflöz (Flöz II, obere Bank) | teofNA2 oB | 7570 | 6.0 | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAM2 | 7580 | | | | |
| | | | | 6.2 | 2.2 | Sand mit Kieslagen (sog. "Spitterkiese") | teonAM2 | 7590 | | | | |
| | | | | U/T | | Ton/Schluff (kohlig, Xytle) | teonAM2 | 7600 | | | | |
| | | | Zwischenflözgruppe | lllu | | Zwischenflöz (Flöz II, untere Bank) | teofNA2 uB | 7610 | 6.0 | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAb1 | 7620 | 5.2 | | | |
| | | | | 6.3 | | Sand mit Kieslagen (sog. "Spitterkiese") | teonAb1 | 7630 | 5.1 | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAb1 | 7640 | 5.1.2 | | | |
| | | | | lo | | Unterflöz (Flöz I, obere Bank) | teofNA1oB | 7650 | 4.0 | | | |
| | | | Unterflözgruppe | U/T | | Schluff/Ton | teonAM1o | 7660 | | | | |
| | | | | 7.1 | | Sand | teonAM1o | 7670 | | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAM1o | 7690 | | | | |
| | | | | lm | | Unterflöz (Flöz I, mittlere Bank) | teofNA1mB | 7700 | 4.0 | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAM1u | 7710 | | | | |
| | | | | 7.2 | | Sand | teonAM1u | 7730 | | | | |
| | | | | U/T | | Schluff/Ton | teonAM1u | 7740 | | | | |
| lu | | Unterflöz (Flöz I, untere Bank) | | teofNA1uB | 7750 | 4.0 | | | | | | |
| U/T | | Liegendschluff | | teonAa | 7760 | 3.3 | | | | | | |
| 7.3 | 3.1.1 | Liegendsand | | teonAa | 7770 | 2.1.2 | | | | | | |
| Liegendfolge | U/T (x) | | Schluff/Ton mit Flöz x | teonAa Fx | 7790 | 2.0.1/2.0.2 | | | | | | |
| | 7.4 | 3.1.2 | Sand | teonAa | 7830 | 2.1.1 | | | | | | |
| | U/T | | Schluff/Ton/Feinsand-Wechselfolge | teonAa | 7840 | | | | | | | |
| Basisfolge | 7.5 | 3.2 | Sand/Schluff-Wechselfolge mit "Spitterkies" | teonAa | 7870 | 1.1 | | | | | | |
| | U/T | | Basisschluff/Ton | teonAa | 7890 | 1.2/1.0 | | | | | | |
| | U/T | | Verwitterungsrinde | ohne | 8990 | 1.3 | | | | | | |
| Prätertiär | Trias | F | Basalt | U/T | | Prätertiär (ungegliedert) | Pr3-TT | ohne | 9000 | 0.0 | | |
| | | | Prätertiär (ungegliedert) | Pr3-TT | | Kreide | K | | Kalkmergelstein wechselnd mit Schluffsteinlagen | kr | 9100 | |
| | | | Jura (Lias) | J | | Jura (Lias) | J | | Dunkle Lias-Tone | ju | 9200 | |
| | | | Keuper | TK | | Keuper | TK | | Schluffstein in Wechsel Tonstein | k (ges.) | 9302 | |
| | | | Oberer Keuper (Rätkeuper) | TK 3 | | Mittlerer Keuper (Steinmergelkeuper) | TK 2 | | Sand-, Schluff- u. Tonstein in Wechsel | ko | 9310 | |
| | | | Mittlerer Keuper (Steinmergelkeuper) | TK 2 | | Mittlerer Keuper (Gipskeuper) | TK 2 | | Sand-, Schluff- u. Tonstein in Wechsel, Dolomitmergel | kmSM | 9320 | |
| | | | Mittlerer Keuper (Gipskeuper) | TK 2 | | Unterer Keuper (Lettenkeuper) | TK 1 | | Schluffstein in Wechsel Tonstein (Fasergips auf Schichtflächen) | kmGo+u | 9320 | |
| | | | Unterer Keuper (Lettenkeuper) | TK 1 | | Oberer Muschelkalk | TM 3 | | Schluff- u. Tonsteine mit Kalksteinbänken u. Pflanzenabdrücken | ku | 9330 | |
| | | | Oberer Muschelkalk | TM 3 | | Mittlerer Muschelkalk | TM 2 | | Schluffstein, Kalkstein | mo | 9340 | |
| | | | Mittlerer Muschelkalk | TM 2 | | Unterer Muschelkalk | TM 1 | | Schluff- u. Tonstein mit Kalksteinbänken (Tonmergel) | mm | 9350 | |
| | | | Unterer Muschelkalk | TM 1 | | Oberer Buntsandstein | TB 3 | | Kalkstein (Wellenkalk) | mu | 9360 | |
| | | | Oberer Buntsandstein | TB 3 | | Mittlerer Buntsandstein | TB 2 | | Ton-Schluffsteine mit Kalzitlagen und Gips | so | 9370 | |
| | | | Mittlerer Buntsandstein | TB 2 | | Unterer Buntsandstein | TB 1 | | Schluff- u. Tonsteine im Wechsel mit Feinsandstein | sm | 9380 | |
| | | | Unterer Buntsandstein | TB 1 | | Zechstein ges. | PO | | Schluffstein mit Rogensteinbänken | su | 9390 | |
| | | | Zechstein ges. | PO | | Gipshut | PO | | Gips, Anhydrit, Steinsalz | z | 9443 | |
| | | | Gipshut | PO | | Salzrücken | PO | | Gips mit Anhydritlagen (verkarstet) | z | 9421 | |
| | | | Salzrücken | PO | | | | | Steinsalz, durch Anhydritlagen gebändert | z | 9432 | |

Abb. 1: Hydrogeologisches Idealprofil

in digitaler Form übertragen werden. Ergänzend werden an weiteren 221 GWM in festgelegten Messzyklen manuelle Wasserspiegelmessungen durchgeführt, die ebenfalls im montanhydrologischen Datenmanagement digital erfasst und ausgewertet werden. Außerdem werden die Grundwasserspiegel und Fördermengen der 29 Entwässerungsbrunnen (Vertikalfilterbrunnen, davon 21 in Betrieb) beobachtet, so dass das montanhydrologische Sondermonitoring

Nachterstedt in Summe ca. 478 Messlokationen aufweist.

In der folgenden Auflistung ist die vertikale Verteilung der GWM in den hydrogeologisch relevanten Beobachtungshorizonten (GWL/GWGL) zusammenfassend dargestellt (IHU, Stand 06/2020):

- Bergbau-Kippe (GWL-GWGL, montan-anthropogene Aufschüttung): 90 GWM

- Hangend-GWL-Komplex (Quartär/Tertiär): 120 GWM
- Liegend-GWL-Komplex – GWL 6.3 (Tertiär): 55 GWM
- Liegend-GWL-Komplex – GWL 7 (Tertiär): 105 GWM
- Liegend-GWL-Komplex Festgestein – GWL Keuper (Prätertiär): 2 GWM
- Liegend-GWL-Komplex Festgestein – GWL Zechstein (Prätertiär): 1 GWM

Der Gesamtüberwachungsraum Nachterstedt ist in folgende Monitoringbereiche (MB, Teilgebiete) untergliedert (siehe Abbildung 2):

- MB I – Südwestliches Böschungssystem
- MB II – Ortslage Nachterstedt
- MB III – Halde 1 und Halde 2 sowie südwestlicher Bereich der Halde 3
- MB IV – Östliches Böschungssystem
- MB V – Grundwasseranstrom Nachterstedt und Frose
- MB VI – Seeländereien
- MB VII – Randgebiet Neu Königsau
- MB VIII – Nördliches und nordwestliches Randgebiet

Gemäß den bergrechtlichen Forderungen sind derzeit 21 GWM mit Schwellen- und Alarmwerten ausgestattet. Im Falle einer Überschreitung der vorgegebenen Grenzwerte erfolgt der automatisierte Versand einer Alarm-SMS an einen definierten Verteilerkreis sowie eine umgehende fachtechnische Überprüfung der Sachlage und zur Ursachenermittlung durch den Monitoringbearbeiter. Danach wird eine gesonderte Sofort-E-Mail inklusive einer Excel-Checkliste erstellt, in der die Auffälligkeiten markiert sowie kurz beschrieben werden, und falls Kenntnisse dazu vorliegen, mit Hinweisen auf mögliche Ursachen der plötzlichen Messwerterhöhung versehen.

Im Monitoringraum existieren derzeit 29 Entwässerungsbrunnen, die mit Tauchpumpen und teilweise mit magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten (MID) zur permanenten Erfassung und Aufzeichnung der Ruhe- und Betriebswasserspiegel (Brunnenabsenkung, Wiederanstiege) sowie der Entnahmemengen (Förderrate) ausgerüstet sind. Die

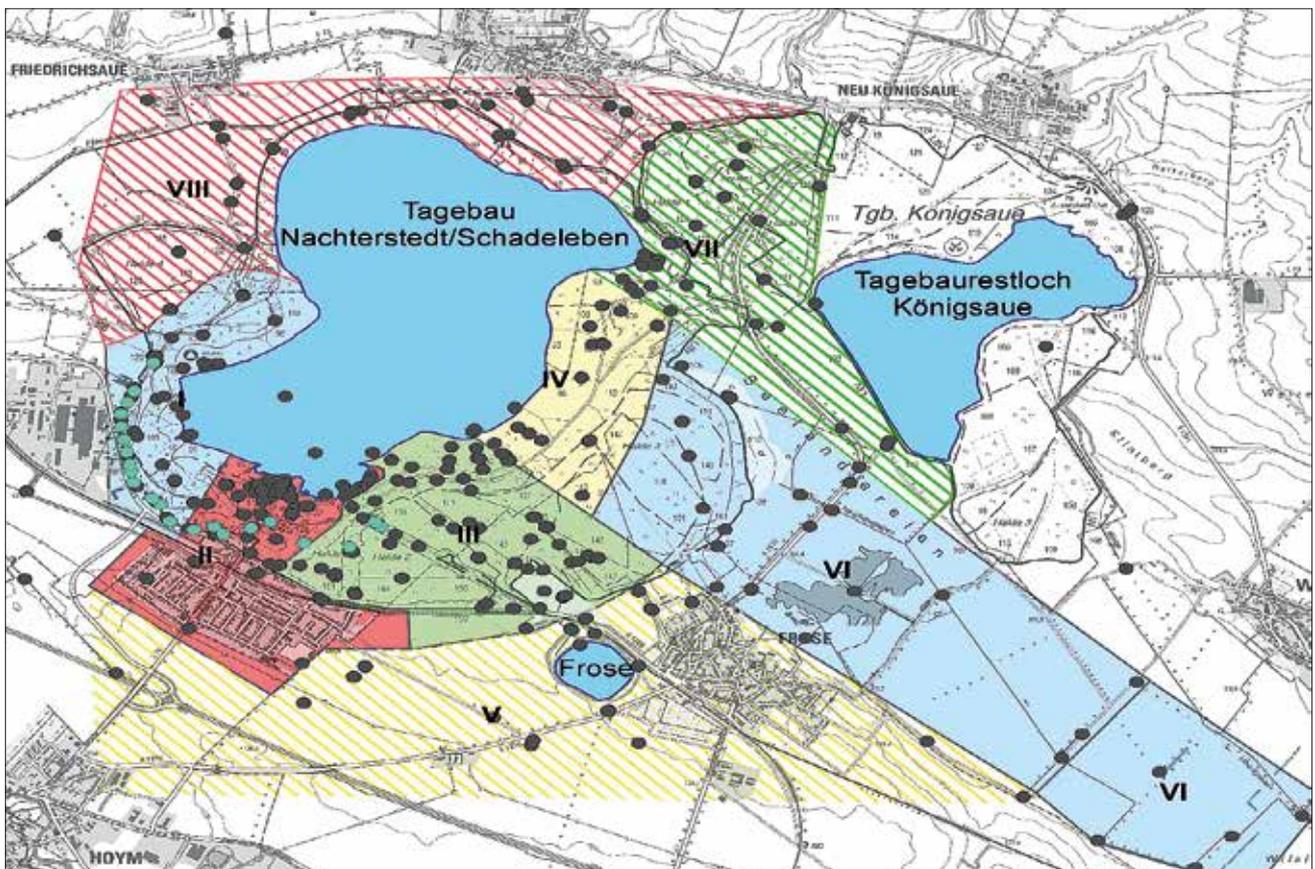


Abb. 2: Übersichtsskizze zum Monitoringraum mit den Teilgebieten MB I bis MB VIII sowie zur Lage der GWM (grau) und Entwässerungsbrunnen (blau); IHU, Stand: 6/2020

Brunnenbetriebskennwerte werden mittels Datenlogger aufgezeichnet und ausgelesen. Zur täglichen Überwachung der Grundwassermonitoringdaten werden für die laufenden Überwachungsauswertungen hierzu insbesondere Fördermengen aufgezeichnet und geprüft, wobei aktuell 21 Filterbrunnen aktiv betrieben und überwacht werden (Brunnenwasserspiegel einmal wöchentlich; manuelle Fördermengenmessung).

Alle automatisiert oder manuell erfassten hydrologischen Daten werden laufend geprüft und die täglichen Maxima in eine eigens für das montanhydrologische Datenmanagement Nachterstedt entwickelte Projektdatenbank importiert und plausibilisiert.

Im Monitoring erfolgt außerdem die Erfassung von Oberflächenwasserspiegeln. Beispielsweise wird der Wasserspiegel des Gewässers „Concordia See“ regelmäßig gemessen und im Sondermonitoring erfasst sowie im Datenmanagement bewertet (siehe Abbildung 3).

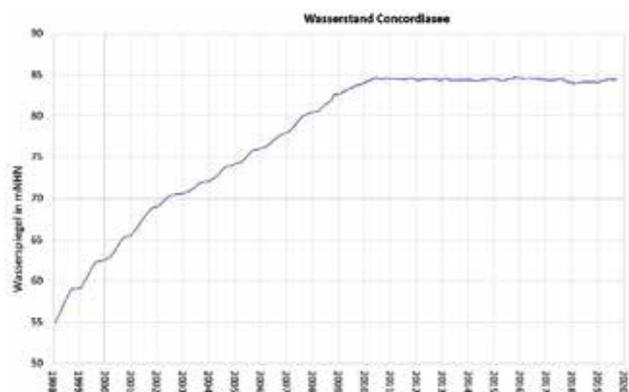


Abb. 3: Seewasserspiegel Concordia See im Zeitraum 1998 bis 2020

Technische Ausstattung des Monitorings

Die GWM mit automatischer Datenaufzeichnung sind mit verschiedenen Messsystemen ausgestattet (Grundwasserdatensammler). Die beiden autark arbeitenden Messsysteme unterscheiden sich im Wesentlichen durch unterschiedliche Daten- und Batteriekapazitäten (Leistung, Laufzeit, Lebensdauer). Zurzeit sind bereits 32 GWM mit dem neuen System ausgestattet. Dies betrifft u. a. die GWM 1870, die eine

wesentliche Funktion zur hydraulischen Überwachung der Standsicherheit der Böschungen hat.

An allen Standorten werden die Wasserspiegel minutlich aufgezeichnet und intern gespeichert. Der Versand der hydrologischen Messwerte erfolgt stündlich bzw. alle zwei Stunden mittels eines integrierten Modems an das zentrale Datenerfassungs- und Auswertesystem der LMBV.

Im Januar 2014 erfolgte der Anschluss ausgewählter GWM, der Piezometermessstellen und der Brunnen an das Zentrale Datenerfassungssystem (ZDE). Die Datenübertragung der aufgezeichneten Messwerte aus den an das ZDE angeschlossenen hydrogeologischen Messlokationen erfolgt zu einer Überwachungszentrale (Leitstand). Die Übertragung der Daten wird stündlich als Gesamtdatei an das zentrale Server-System der LMBV realisiert. Die seeseitig installierten Piezometermessstellen sind über Unterwasserkabel mit einer am Gewässerufer des Concordia Sees installierten Datenlogger-Einheit verbunden und senden von dort aus die Messdaten in das ZDE.

Die Entwässerungsbrunnen sind mit Tauchpumpen ausgerüstet, deren Fördermenge und Wasserstand mittels MID gemessen werden. Auch die Förderdaten werden in das ZDE eingespeist und von dort aus auf das zentrale Datenerfassungs- und Auswertesystem der LMBV übertragen.

Monitoringzyklen und -programm

Die Datenlogger an den GWM und Brunnen (MID) sind so eingerichtet, dass die Grundwasserspiegel im Minutentakt gemessen und aufgezeichnet werden. Die Piezometermessstellen erfassen die hydrostatischen Druckwerte stündlich, wobei diese Messdaten nach dem automatischen Versand auf den LMBV-Server in Grundwasserspiegelhöhen auf mNHN umgerechnet werden. Die Wasserspiegel und Fördermengen der Entwässerungsbrunnen werden ebenfalls einmal pro Minute aufgezeichnet.

Die GWM, die mit autarken Datenloggern ausgestattet sind, sind so konfiguriert, dass sie nicht nur die Grundwasserspiegel aufzeichnen, sondern zudem auch die GSM-Signalstärke, die zur Datenübertragung

via Mobilfunk wesentlich ist, inklusive der Versorgungsspannung/Kapazität der Batterie und die Spannung der Datenübertragungseinheit (ITC) zur Gewährleistung einer permanenten Systemsicherheit des Überwachungsnetzes registrieren und übertragen. Durch die Aufzeichnung und regelmäßige Auswertung der Spannungsdaten sowie der dadurch bei Bedarf eingeleiteten Vor-Ort-Einsätze kann im Rahmen des hydrologischen Datenmanagements rechtzeitig erkannt und verhindert werden, dass GWM-Datenlogger unkontrolliert ausfallen, wenn die Batterie eine zu niedrige Spannung aufweist.

Die Datenlogger der GWM, Piezometermessstellen und Brunnen, die an die ZDE angeschlossen sind, zeichnen Wasserspiegel/Drücke und Fördermengen (Brunnen) auf. Die Aufzeichnung von Versorgungsspannungen ist hier nicht erforderlich, da die Energieversorgung der Messtechnik durch Anschluss an das Kabelnetz permanent gewährleistet ist.

Zur Umrechnung der hydrostatischen Drücke der seeseitigen Piezometer in vergleichbare Grundwasserspiegel in m NHN, werden die am Standort gemessenen Luftdruckwerte einbezogen. Der Luftdruckabgleich erfolgt rechnerisch im ZDE. Die Umrechnung der abgeglichenen hydrostatischen Drücke in Wasserspiegel wird über einen „virtuellen Sensor“ im Server-System realisiert.

MONITORINGROUTINEBETRIEB

Das montanhydrologische Sondermonitoring Nachterstedt wird fachtechnisch seit dem Jahre 2010 begleitet und im Rahmen des hydrologischen Datenmanagements überwacht. Die hierfür erforderlichen Software-Werkzeuge wurden durch den Monitoring-Gutachter IHU in Abstimmung mit dem Vorhabenträger und dem Sachverständigen für Geotechnik unter Berücksichtigung der speziellen technisch-organisatorischen Projektanforderung entwickelt sowie fortschreitend und kontinuierlich optimiert (z. B. Hy-Datenbank-Tools).

Im folgenden Abschnitt werden die aktuell anstehenden, pflichtgemäßen Bearbeitungsschwerpunkte sowie die Gutachterleistungen im Datenmanagement inklusive der Tagesroutinen und notwendigen

Rufbereitschaften im Abgleich auf die laufenden Sanierungsarbeiten im Bereich des Tagebaus Nachterstedt/Schadeleben und des Tagebaurestloches Königsau kurz erläutert.

Ganglinienprüfung

Durch den Monitoring-Gutachter erfolgt jeweils zum täglichen Dienstbeginn die Bearbeitung einer Frühmeldung. Diese beinhaltet zunächst die Prüfung auf mögliche Alarm-SMS-Eingänge. Weiterhin erfolgt auf dem Server eine Sichtung der aktuell erfassten Ganglinien für die GWM, für die Schwellen- und Alarmwerte festgelegt sind. Hierbei wird geprüft, ob zu diesen „Alarm-GWM“ die tagesaktuellen Wasserspiegeldaten an den Server gesendet wurden. Für den Fall, dass ein Alarm-SMS-Eingang registriert wurde oder die Wasserspiegeldaten der „Alarm-GWM“ nicht tagesaktuell vorliegen, werden diese Informationen mit der Frühmeldung an den definierten Monitoring-Verteilerkreis gesendet.

Weiterhin erfolgt dreimal wöchentlich die Erstellung einer Übersicht, welche GWM ausgefallen sind oder eine zu niedrige Spannung aufweisen, was zur Folge hat, dass eine entsprechende Information zum notwendigen Batteriewechsel an die Wartungsfirma erfolgt.

Da an einigen wenigen Messstellen keine Installation einer funktionierenden Übertragungstechnik möglich ist, werden an diesen Lokationen manuelle Auslesungen von Datenloggern durchgeführt. Der Monitoring-Gutachter erhält dazu formatspezifisch passende Dateien, die anschließend auf den Server übertragen werden.

Anschließend erfolgt jeweils vormittags die tägliche Gangliniendurchsicht aller GWM, Piezometermessstellen und Brunnen mit Datenloggern (257 Messstellen) auf dem Server. In diesem Zusammenhang wird eine Tagescheckliste erstellt, in die für den Wasserspiegelverlauf auf dem Server alle Auffälligkeiten, Ausfälle und sonstigen Veränderungen eingetragen werden. Am Nachmittag wird eine zweite tägliche Durchsicht der Grundwasserspiegelganglinien auf dem Server vorgenommen. Sind im Tagesverlauf Alarm-SMS (Schwellen- und Alarmwertüberschreitungen) eingegangen, wird dies in der Tagescheckliste vermerkt und rot gekennzeichnet.

In diesem Fall erfolgt die Versendung der Tagescheckliste an den definierten Verteilerkreis. Die Checkliste wird auch versendet, wenn ein bereits ausgefallener Alarm-Pegel aus der Frühmeldung immer noch keine aktuellen Wasserspiegeldaten auf den Server liefert. Weitere, im Tagesverlauf feststellbare, hydrologische Auffälligkeiten werden analysiert und in der Tagescheckliste als Vermerk notiert. Ein Versand der Datei erfolgt jedoch nur dann, wenn Alarmsignale vorlagen oder Alarm-Pegel ausgefallen sind. Ansonsten wird die Tagesmeldung zur internen Qualitätssicherung und für etwaig auftretende spätere Fragen und die hydrologische Beweissicherung archiviert.

Neben der regelmäßigen schnellstmöglichen Aufklärung der Ursachen von Alarmsituationen oder anderen hydrologischen Auffälligkeiten, z. B. bei einer plötzlichen Trendumkehr oder regional ansteigender hydrostatischer Drücke, wurden im Zuge der täglichen Durchsichten der Wasserspiegelganglinien und Fördermengen auf dem Server verschiedene hydrologische Phänomene, wie die Wasserspiegelabsenkung und -anstiege von GWM aufgrund von Luftdruckschwankungen beobachtet. Zudem können, seitdem minütige Fördermengen für die Brunnen auf dem Server vorliegen, Wechselwirkungen mit Grundwasseranstiegen und -absenkungen in den beobachteten GWL rechtzeitig und besser erkannt sowie zur Klärung von Fragen herangezogen werden.

Datenaufbereitung

Nach erster täglicher Durchsicht der Ganglinien auf dem Server erfolgt der Export von Wasserspiegeldaten und Fördermengen vom Server inklusive der täglichen Maxima der hydrostatischen Drücke sowie Tagessummen der Fördermengen. Diese Daten werden in die hydrogeologische Projektdatenbank eingelesen (Software IHU). Weiterhin werden die täglich manuell gemessenen Wasserspiegel und die wöchentlich gemessenen Wasserspiegel sowie die Fördermengen der Brunnen nach erfolgter Plausibilitätsprüfung in die Datenbank übernommen. Zudem werden alle wichtigen Ereignisse, z. B. Alarm-SMS, Fördermengenveränderungen an Brunnen, Grundwasserspiegelanstiege in der sogenannten Ereignisliste der Datenbank erfasst. Für mögliche spätere Auswertungen werden auch die Wetterdaten (Niederschlagssumme,

Lufttemperatur) der benachbarten Station Gatersleben mit Zustimmung des Betreibers in die Datenbank übernommen.

Ganglinien- und Dateiooutput

Wöchentlich jeweils dienstags erfolgt die Erstellung und der Versand der Dateien für das LAGB (Bergamt). Dieses Datenpaket beinhaltet die Erstellung eines Datenbankauszuges im Excel-Format, in dem alle GWM mit aktuellen täglichen Wasserspiegeln aufgeführt sind, die sich im Sperrbereich und dessen näherem Umfeld befinden. Das betrifft die GWM, Piezometermessstellen und Brunnen, die mit Datenlogger ausgestattet sind, sowie die täglich, wöchentlich und monatlich händisch gemessenen GWM. Weiterhin wird eine PDF-Datei erstellt, die gleichermaßen aufgebaut ist, jedoch nur die Daten der jeweils letzten Überwachungswoche zuzüglich einer Ereignisliste als gesonderte PDF-Datei enthält.

Zudem erfolgt jeweils dienstags die Zusammenstellung aller Tageschecklisten als PDF-Dateien sowie eine Gesamt-Übersicht aller Auffälligkeiten im Wasserspiegelverlauf der jeweils vergangenen Woche (Montag bis Montag) und ein Datenbankausschnitt (Hy-Tool) für den Sachverständigen für Geotechnik.

Wöchentlich erfolgt die Erstellung und der Versand einer dBASE-Datei (M_Nac) als eine Zuarbeit zum HYINFO-System der LMBV, in der alle Wasserspiegeldaten der GWM, Piezometermessstellen und Brunnen über den gesamten Zeitraum fortlaufend erfasst werden.

Zum Donnerstag wird anhand der vorliegenden Wasserspiegeldaten und der in der Datenbank dokumentierten Ereignisse die sogenannte „Gutachterdatei“ erstellt. Diese beinhaltet die Wasserspiegelganglinien von GWM und Piezometermessstellen der vergangenen drei Monate. Die erste Gutachterdatei eines jeden Monats wird jeweils rückwirkend bis Juni 2009 erstellt (siehe Beispiel in der Abbildung 4).

Zusätzlich erfolgt für den Sachverständigen für Tagebauentwässerung die Erstellung und der Versand einer Excel-Datei, in der die wöchentlich manuell gemessenen Wasserspiegel und Fördermengen der Brunnen aufgeführt sind.

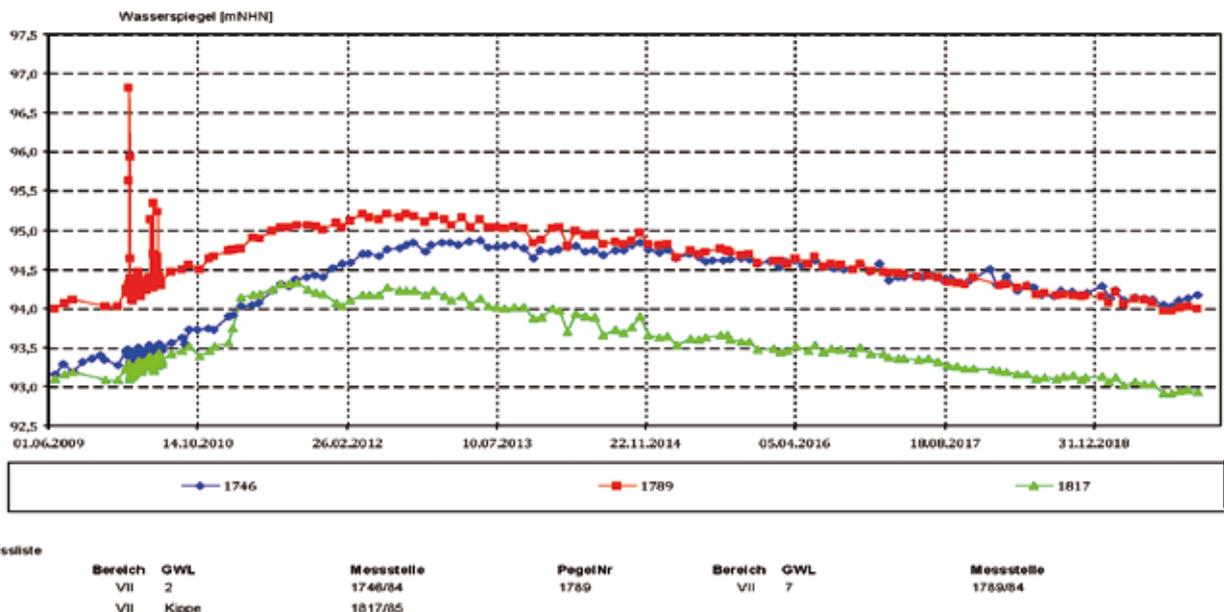


Abb. 4: Beispiel Grundwasserspiegelganglinien in „Gutachter-Datei“ für den Zeitraum ab Juni 2009

Sonderaufgaben

Im Rahmen des hydrologischen Datenmanagements erfolgt im Bedarfsfall die Bearbeitung zusätzlicher Sonderaufgaben. Dies betrifft beispielweise das Führen einer „Loggerübersicht“, in der alle relevanten Daten zur messtechnischen Ausstattung der GWM mit Datenlogger aufgeführt sind und aktuell gehalten werden.

Weiterhin werden auf Anfrage gesonderte Datenbankexporte zur Verwendung im HYINFO-System („M_Nac’s“) erstellt und versendet. Zudem erfolgt jeweils monatlich die Übernahme aller, im Rahmen des montanhydrologischen Monitorings der LMBV, manuell gemessenen GWM in die hydrologische Datenbank.

Bei Ausstattung neuer GWM mit Datenlogger werden außerdem angepasste Konfigurationsdateien erstellt und für die Messstellen auf dem Server angelegt.

Im Rahmen erforderlicher spezieller hydrologischer Betrachtungen und hydrogeologischer Berechnungen war in den vergangenen Jahren mehrfach die Bearbeitung verschiedener Sonderthemen und entsprechende Zuarbeiten für fachtechnische Stellungnahmen, z. B. zur Optimierung des Brunnenbetriebes,

für die numerische Grundwassermodellierung oder zu geotechnischen Berechnungen usw. erforderlich. Auf Basis des umfangreichen Messdatenbestandes erfolgten dabei jeweils bedarfsgerecht aufbereitete Datenexporte zur Weiterverarbeitung bei der LMBV und der Behörde sowie bei den Projektpartnern. Beispielsweise wurden zur Festlegung und Modifizierung der sicherheitsrelevanten Alarm- bzw. Schwellenwerte mehrere Grundwasserspiegelanstiegsversuche durchgeführt, zu denen für den Gesamtzeitraum für die entsprechenden Berechnungen Minutenwerte der Grundwasserspiegel zur Verfügung gestellt wurden. Zudem erfolgten präzise Datenaufbereitungen zur Grundwasserspiegelentwicklung und zur Wasserhebung für die numerische Grundwassermodellierung.

Wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem montanhydrologischen Grundwassermonitoring

Der Aufbau und der Betrieb des montanhydrologischen Sondermonitorings mit dem Datenmanagement diente zur Ursachenermittlung der Böschungsbewegung im südlichen Bereich des Bergbaufolgesees „Concordia See“ und ist zur Absicherung der laufenden, bergbaulichen Sanierungsarbeiten erforderlich. Auf Basis des Sondermonitorings konnten sowohl

wesentliche Erkenntnisse zum hydrogeologischen Systemverständnis der Grundwasserströmung als auch zur Überwachung und Sicherung der laufenden, bergbaulichen Sanierungsarbeiten abgeleitet werden. Die gewonnenen hydrogeologischen Erkenntnisse zur vertikalen und horizontalen Grundwasserdynamik konnten somit in Entscheidungen zur Sicherung und Sanierung des Tagebaus sowie in die Grundwassermodellierung zeitnah einfließen.

Auf Basis der Messnetzdicke und der Messrhythmen mit den zeitlich hochaufgelösten Datenreihen konnte eine Reihe von verschiedenen hydrologischen Phänomenen beobachtet sowie auch plötzliche Wasserspiegelreaktionen in den Grundwasserganglinien grundwasserleiterbezogen erfasst werden, die in

konventionellen Messnetzen üblicherweise so nicht erfasst und in dieser hohen Detaildicke und qualitätsgerechten Aussageschärfe beobachtet werden können. Dies betrifft beispielsweise grundwasserleiterbezogene Auswirkungen von markanten Luftdruckschwankungen auf die Entwicklung der Grundwasserspiegel und der hydrostatischen Druckhöhen, z. B. kurzzeitige Wasserspiegelschwankungen aufgrund starker Veränderungen des Luftdrucks bei Gewitter (sogenannte „Gewitternasen“) oder seismisch initiierte Wasserspiegelreaktionen infolge globalwirksamer Erdbeben, hier z. B. hydrologische Auffälligkeiten in den Grundwasserspiegelganglinien als Reaktion auf das Erdbeben in Honshu (Japan) am 11.03.2011 (s. Abb. 5 und 6). Neben dem Praxisbezug zur Überwachung der bergbaulichen Sanierungsmaßnahmen durch die

Universität Leipzig

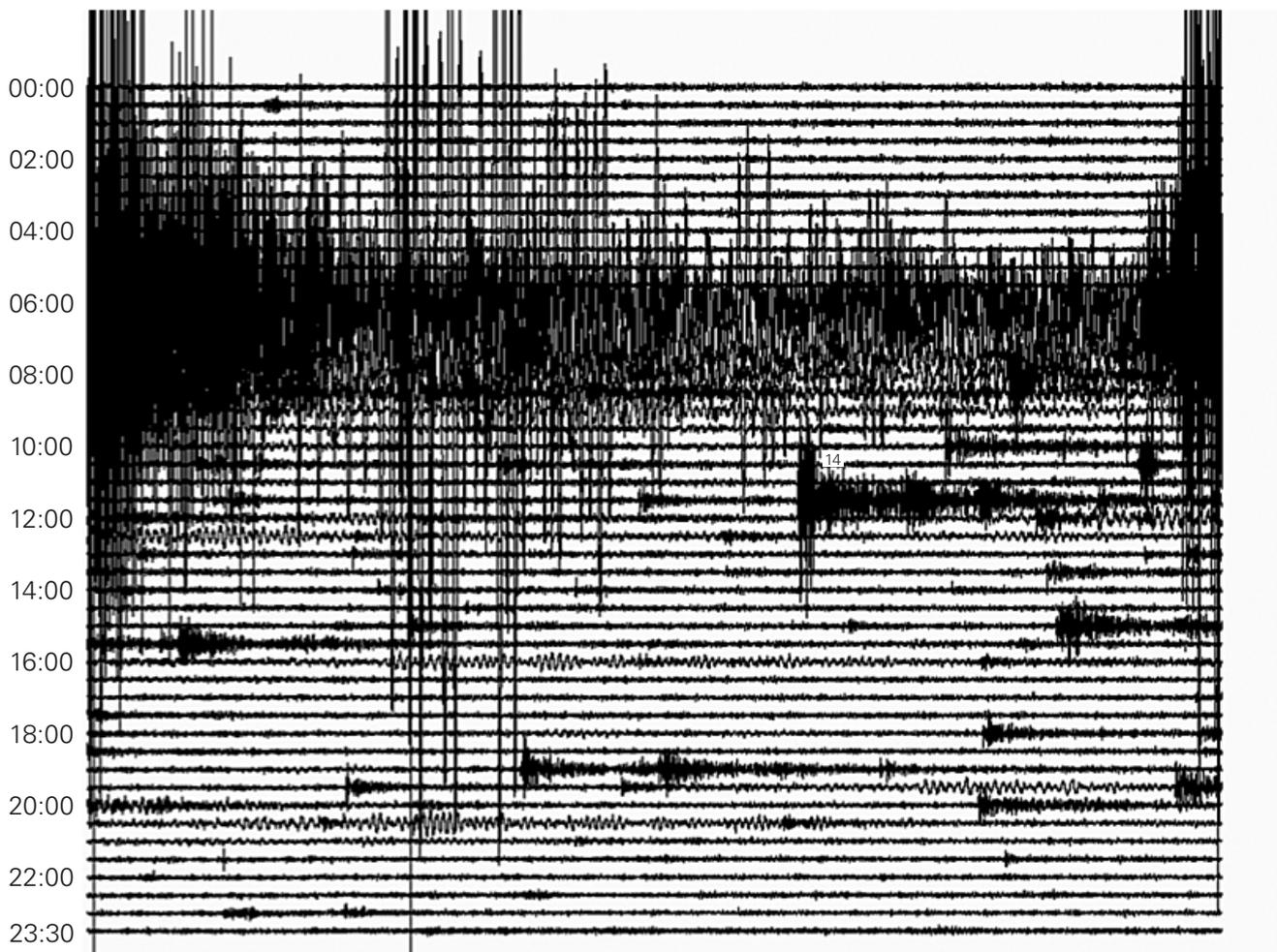


Abb. 5: Messungen an der seismologischen Station Wimmelburg am 03.11.2011 mit Reaktionen auf das Erdbeben in Japan (Honshu) /2/

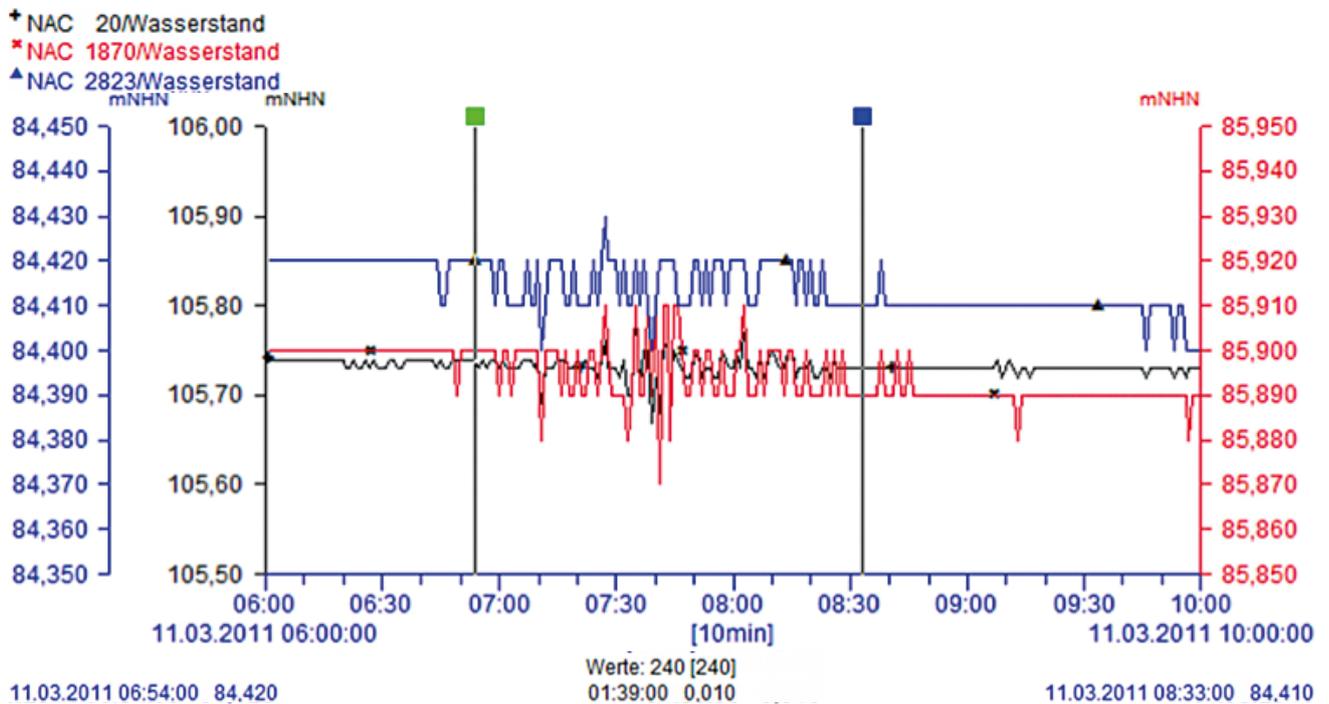


Abb. 6: Reaktionen der Wasserspiegelganglinien der GWM 20, 1870 und 2823 auf das Erdbeben in Japan (Honshu) am 11.03.2011

Beobachtungen und hydrologischen Auswertungen der montanhydrologischen Monitoringdaten konnten so außerdem wissenschaftlich interessante Grunddaten und hydrogeologische Kenntnisse zu hydrologischen Effekten und Phänomen für den Grundwasserbereich gewonnen werden, die unter Nutzung der ab 2009/2010 exakt erfassten Monitoringdaten zukünftig vertiefend betrachtet und wissenschaftlich weiterführend ausgewertet werden können.

FAZIT UND AUSBLICK

Das montanhydrologische Grundwassermonitoring mit dem Datenmanagement trägt als Sonderüberwachungsmaßnahme ganz wesentlich sowohl zur Ursachenermittlung für die Böschungsbewegung vom 18.07.2009 als auch zur Sicherung der bergbaulichen Sanierungsarbeiten im Bereich des Tagebau-Komplexes Nachterstedt mit den Gewässern „Concordia See“ und „Königsauer See“ sowie dessen Umfeld bei. Aufgrund der vergleichsweise hohen vertikalen und horizontalen Messnetzichte sowie des Monitoringumfangs mit der permanenten digitalen Messwerterfassung und den enormen Datenumfängen

infolge der Vielzahl der auf dem Server auflaufenden Wasserspiegeldaten sowie deren täglicher Plausibilitätsprüfung, Aufbereitung, Auswertung und Analyse konnten im Zeitraum 2010 bis aktuell 2020 wesentliche Basisdaten und Erkenntnisse zur Sicherung der Sanierungsarbeiten sowie zur Aufklärung verschiedenster montanhydrologischer Fragestellungen gewonnen werden.

Durch die konstruktive und hoch qualifizierte Zusammenarbeit mit dem Projektträger LMBV und dem hydrologischen Gutachter IHU sowie den weiteren in die Überwachungsmaßnahmen Nachterstedt eingebundenen Partnerfirmen, Institutionen und Behörden konnten zwischenzeitlich aufgetretene Probleme sowie entstandene Fragestellungen jederzeit kurzfristig gelöst werden, so dass die bergbaulichen Sanierungsmaßnahmen permanent überwacht und die hydraulische Sicherheit jederzeit gewährleistet werden konnte.

Die erarbeitete Methodik zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von exceptionell großen hydrologischen Datenmengen unter bergbausicherheitsrelevanten Rahmenbedingungen bietet eine Grundlage zur Lösung vergleichbarer Aufgabenstellungen in der Praxis.

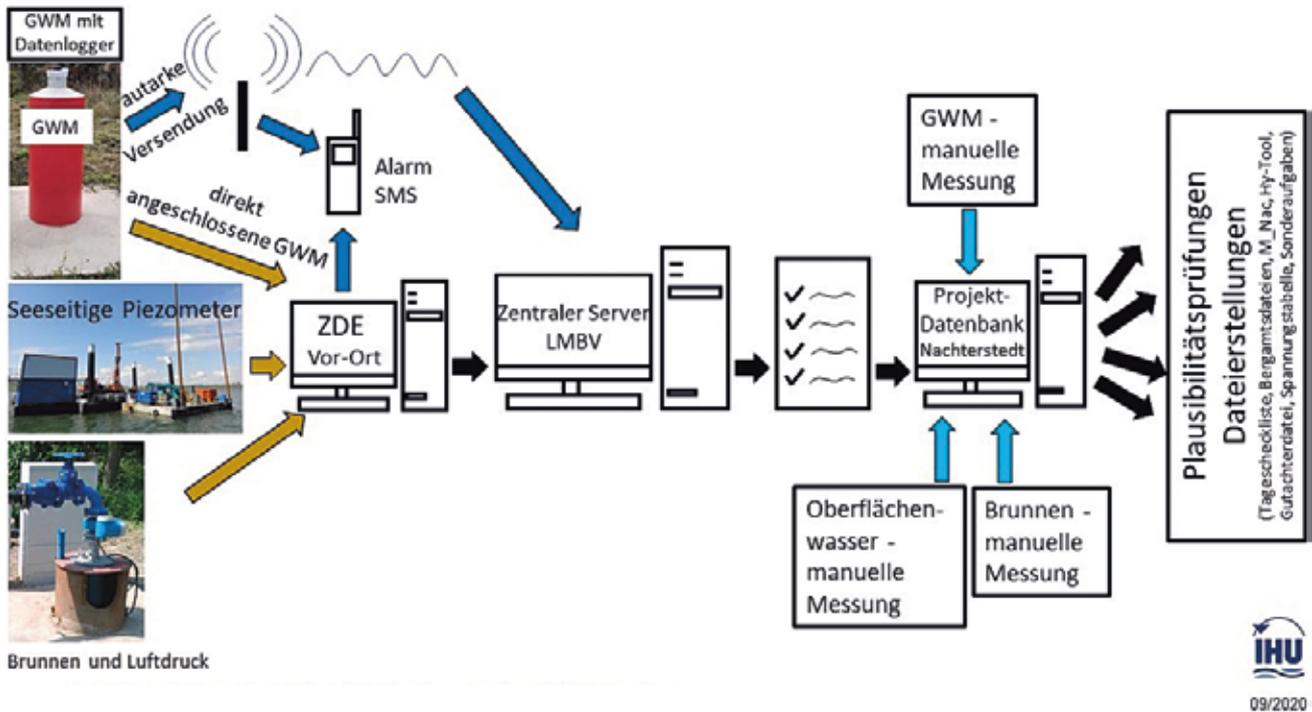


Abb. 7: Schematische Übersicht zum Datenmanagementprozess des montanhydrologischen Monitoring Nachterstedt

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

- Projektsteuerung/-management
- Genehmigungsverfahren
- Rohstofferkundung/-erschließung, Bergbau/Angewandte Geologie
- Hydrogeologie/Grundwasserforschung/-erschließung
- Numerische Strömungsmodelle Grund-/Oberflächenwasser
- Wasserwirtschaft, Wasserversorgung, Hydrologie
- N-A-Modellierung, Abwasserbehandlung, Hochwasserschutz
- Ingenieurgeologie/Geotechnik/Bodenmechanik
- Umweltanalyse, -forschung und -sanierung, Grundwasser-/Bodenschutz
- Bergbau- und Umwelt-/Altlastensanierung
- Kreislauf- und Abfallwirtschaft/Deponiebau und -stilllegung
- Umweltverträglichkeitsprüfung
- Kartographie, Geo-Informationssysteme
- Monitoring, Datenmanagement/-verarbeitung, Datenbanken und Softwareentwicklung

IHU
Gesellschaft für
Ingenieur-, Hydro- und
Umweltgeologie mbH
Am Sportplatz 1
D-99734 Nordhausen
www.ihu-gmbh.com

Literatur/Quellen:

/1/ LMBV, <https://www.lmbv.de/index.php/meldung/tragisches-unglueck-am-18072009-im-sanierungstagebau-nachterstedt-boeschungsbewegung-mit-drei-toten.html>

/2/ Die Erdbebenaufzeichnung in Mitteldeutschland, eine Kooperation in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Rahmen des Seismo-Verbundes Mitteldeutschland, <http://linap6.geo.uni-leipzig.de/sxweb/>

THEMENKOMPLEX 6

Ausgewählte Projekte zur
Ursachenforschung und Sanierung



Durchführung von Bohrarbeiten zur Errichtung von Grundwassermessstellen im Bereich der Ostböschung, 2019

SEESEITIGE ERKUNDUNG – DIE TECHNISCHE HERAUSFORDERUNG

Autoren: Dipl.-Ing. Roberto Quaas, Dr. Rolf Balthes

Die Seeseitige Erkundung im Rahmen des Sonderprojektes „Rutschungsereignis Nachterstedt“ stellte eine besondere technische Herausforderung dar, welche gemeinsam durch die beteiligten Behörden, Gutachter und dem mit der Ausführung beauftragten Unternehmen erfolgreich umgesetzt wurde. Fugro wurde durch die LMBV mit der Ausführung der seeseitigen Erkundungen auf dem Concordia See beauftragt. Der vorliegende Beitrag berichtet zusammenfassend über die technischen Herausforderungen bei der Konzipierung, Planung und Ausführung der Arbeiten im Rahmen der geotechnischen Ursachenermittlung.



Foto 1: Arbeitsplattform vor Rutschungsbereich

AUFGABENSTELLUNG

Der ursprüngliche Ansatz für die seeseitige Erkundung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse sah das Abteufen von Bohrungen und die Errichtung von Grundwassermessstellen bis in Tiefen von maximal 80 m unter dem damaligen Seewasserspiegel mit Ausbau in verschiedenen Grundwasserstockwerken für zukünftige Grundwasserstandmessungen vor. Seitens der LMBV und den

beauftragten Gutachtern, dem Karlsruher Institut für Technologie KIT / Technische Universität Darmstadt unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach und der G.U.B. Ingenieur AG (G.U.B.) unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Dietmar Grießl und Dipl.-Ing. Steffen Hoffmann, waren die vorläufigen Lokationen der Ansatzpunkte im See festgelegt.

Im Untersuchungsbereich variierte die Wassertiefe zwischen ca. 2 und 25 m. Zudem war bekannt, dass einige der zu erkundenden Grundwasserleiter unter erheblichem artesischem Druck standen und der Wasserspiegel des Sees durch Flutung zukünftig um weitere ca. 20 m ansteigen wird.

Im Rahmen der geplanten Erkundungen waren die Anforderungen an den Arbeitsschutz bei Arbeiten auf dem Wasser und in standsicherheitsgefährdeten Bereichen mit besonderen Sicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Es galt nur geringe statische und dynamische Belastungen in den Seeboden einzubringen und damit das Risiko etwaiger weiterer Abbrüche sowie Rutschungen nahezu auszuschließen. Weiterhin waren auch die speziellen Anforderungen an die seeseitige Logistik und Maßnahmen zur Vermeidung von hydraulischen Grundbrüchen im Bohrloch in einem Arbeits- und Sicherungskonzept in Betracht zu ziehen.

TECHNISCHE LÖSUNG/UMSETZUNG

Aufgrund vorgenannter Rahmenbedingungen stellte die Konzipierung, Planung und Ausführung der Arbeiten im Rahmen der seeseitigen Ursachenermittlung eine außergewöhnlich hohe technische Herausforderung dar. Fugro konnte sich mit einer integrierten technischen Lösung durchsetzen, welche die Kriterien des Auftraggebers und der Gutachter erfüllte sowie eine sichere Durchführung der Arbeiten auf dem Gewässer gewährleisten konnte [BGV D20 (1997), Unfallverhütungsvorschrift, Maschinenanlagen auf Wasserfahrzeugen und schwimmenden Geräten], [[1], DGUV Vorschrift 64 (ehem. BGV D21) (1997), Unfallverhütungsvorschrift

schwimmende Geräte] [2], [Bundeswasserstraßengesetz] [3]. Dabei griff Fugro auf umfangreiches Know-how aus einer Vielzahl von Offshore Baugrunderkundungen für Windparks, Pipelines, und anderen Bauvorhaben in der deutschen Nord- und Ostsee zurück.



Foto 2: Arbeitsplattform auf dem Concordia See

In Abstimmung mit den Behörden, Gutachtern und der LMBV wurde durch Fugro ein Arbeits- und Sicherungskonzept erarbeitet, welches eine stufenweise Herangehensweise mit implementierten Gefahrenanalysen vorsah. Zunächst wurden auf Basis der bekannten Hydrogeologie die maximal möglichen Porenwasserdrücke in den zu durchteufenden Aquifere berechnet.

Diese Porenwasserdrücke wurden anschließend ins Verhältnis zu erzielbaren Stützflüssigkeitsauflasten (unter Verwendung von Spülzusätzen im Bohrrohr) gesetzt. Die möglichen Gesamtauflasten wurden dabei aus den verschiedenen Höhendifferenzen zwischen Oberkante Aquifer und Arbeitsebene des Schwimmpontons unter Multiplikation mit Dichten von verschiedenen am Markt verfügbaren Spülzusätzen (z. B. Kalk, Schwerspat [GWE pumpenboese, Spülprodukte in der Rotary Bohrtechnik, <http://www.gwe-gruppe.de/export/shared/documents/pdf/bre/gwe/Prospekte/Spuelung.pdf>] [4]) errechnet und Nomogramme für verschiedene mögliche Lastfälle als Verfahrensgrundlage erstellt.

Im Ergebnis dieser initialen Gefahrenanalyse wurden drei geplante Bohransatzpunkte aus dem Programm

genommen, da erkannt wurde, dass ein hydraulischer Grundbruch im Bohrloch zu unkontrollierbaren artesischen Zuflüssen führen konnte.

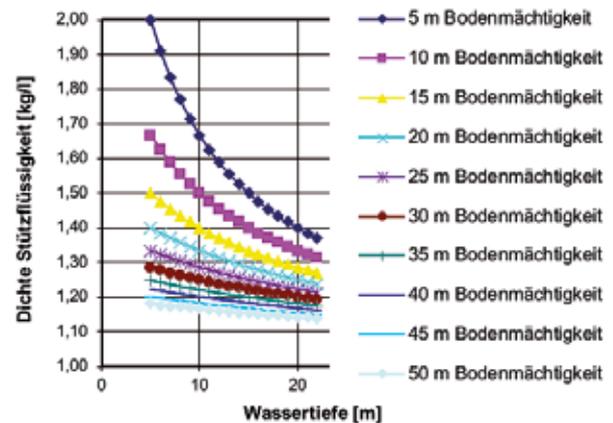


Abb. 1: Nomogramm Dichten Stützflüssigkeit

Für alle weiteren Ansatzpunkte wurde dann wie folgt vereinfacht beschrieben, verfahren:

Zur statischen Unterstützung wurde von der Arbeitsebene aus zunächst eine Bohrverrohrung im Bereich der Wassersäule eingebaut und in den Rutschmassen am Seeboden abgesetzt. Durch eine Stützverrohrung wurde anschließend eine Drucksondierung mit Messung des Porenwasserdruckes gemäß DIN EN ISO 22476-01 [5] bis zum Erreichen des Stauer (1) über dem Aquifer 6.3 durchgeführt. Nach Ausbau des Sondierstranges erfolgte der Einbau einer Rohrtour (1) in den Stauer (1), um im Falle eines hydraulischen Grundbruches, die artesischen Wasserzufuhr örtlich zu begrenzen und kontrolliert zum Stillstand zu bringen.

Im nächsten Schritt wurde die Rohrtour (1) bis zum Stauer unter Stützflüssigkeitsauflast ausgebohrt, um erneut von der Bohrlochsohle zu sondieren. Die Drucksonde wurde nunmehr in den Aquifer 6.3 eingedrückt und die tatsächlichen Porenwasserdrücke mittels Dissipationstests ermittelt. Anschließend wurde die Drucksondierung bis zum Stauer (2) über Aquifer 7.3 fortgeführt.

Eine weitere Rohrtour (2) wurde nunmehr eingebaut, um das Bohrloch bis zur Oberkante des Stauers (2) ebenfalls unter Stützflüssigkeitsauflast niederzubringen. Die Rohrtour (2) sollte im Falle eines hydraulischen Grundbruches diesen sowohl örtlich begrenzen als auch einen hydraulischen Kurzschluss zwischen

den Aquiferen 6.3 und 7.3 verhindern. Die finale Drucksondierung wurde anschließend innerhalb der Rohrtour 2 angesetzt, um die tatsächlichen Porenwasserdrücke im Aquifer 7.3 zu ermitteln (vgl. Abb. 2).

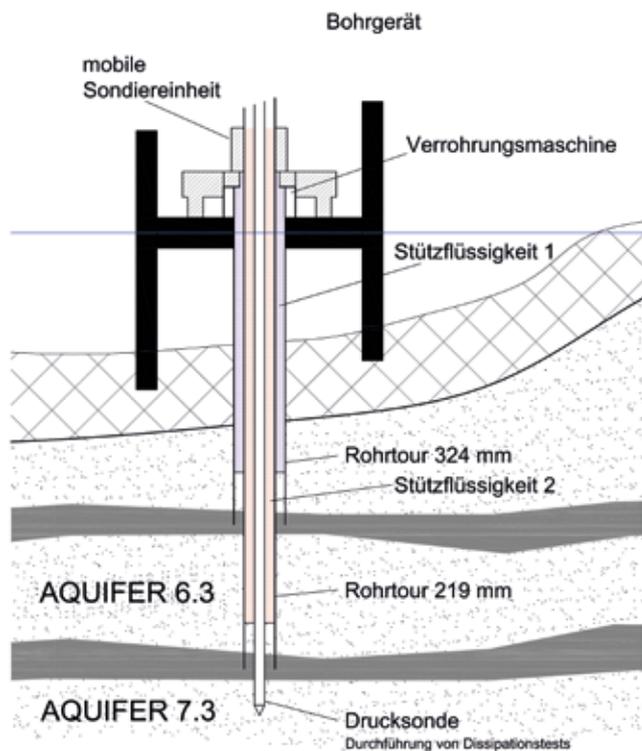


Abb. 2: Verrohrungsschema

Nach Kenntnis der tatsächlichen hydraulischen In-Situ-Drücke wurde eine weitere Gefahrenanalyse durchgeführt und das finale Bohr- und Beprobungsprogramm festgelegt. Die Verrohrungsschemata (Abb. 2) und die Wichten vorzuhaltender bzw. herzustellender Stützsuspensionen (Abb. 1) wurden gemäß den ermittelten örtlichen Druckverhältnissen berechnet und in den Sicherheitsplan übernommen.

Da im Rahmen der Planungen die tatsächlichen Mächtigkeiten und Druckverhältnisse nicht bekannt waren, bestand die theoretische Möglichkeit, dass die Masse der Stützflüssigkeitsauflast im durchfahrenen Gebirge nicht ausreichen könnte, um den in den Aquiferen 6.3 und 7.3 tatsächlich herrschenden hydrostatischen Druck auszugleichen. Um eine Abdichtung der Aquifere für diesen unwahrscheinlichen

Fall (Worst-Case-Szenario) zu gewährleisten, war als letzte Option die Zementation der Bohrverrohrung vorgesehen. Die zementierte Bohrverrohrung sollte dann im See verbleiben.

Das finale, in den Jahren 2011 und 2012 ausgeführte, Programm beinhaltete 59 Drucksondierungen (CPTU's) gemäß DIN EN ISO 22476-01 [5] 25 Bohrungen bis in maximal 80 m Tiefe mit durchgehender Kerngewinnung (Rammkernverfahren) gemäß DIN EN ISO 22475-1 [6] mit ungestörter Probenahme für geotechnische Laborversuche. Unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen wurde die Errichtung von konventionellen Grundwassermessstellen als nicht praktikabel erachtet.



Foto 3: Kernkiste

Anstelle der Grundwassermessstellen wurden insgesamt 50 Porenwasserdruckgeber auf Schwingsaitenbasis (Hersteller GEOKON, Modell 4500) in die verschiedenen Grundwasserstockwerke auf dem Concordia See eingebracht. Dies stellte eine vergleichsweise elegante Lösung dar, welche eine permanente und längerfristige Messung der Porenwasserdrücke in den Aquiferen mit einer hohen Datenfrequenz ermöglicht. Die Porenwasserdruckgeber sind mit einem GeoMonitoring-System (automatisches Messnetz) verbunden und die gemessenen Daten online verfügbar (Online Datenerfassung und Visualisierung). Saisonale Schwankungen der Grundwasserstände bzw. die in den Grundwasserleitern herrschenden Druckverhältnisse sowie künstlich und natürlich induzierte Veränderungen der hydraulischen Verhältnisse konnten somit präzise beobachtet und gemessen werden.

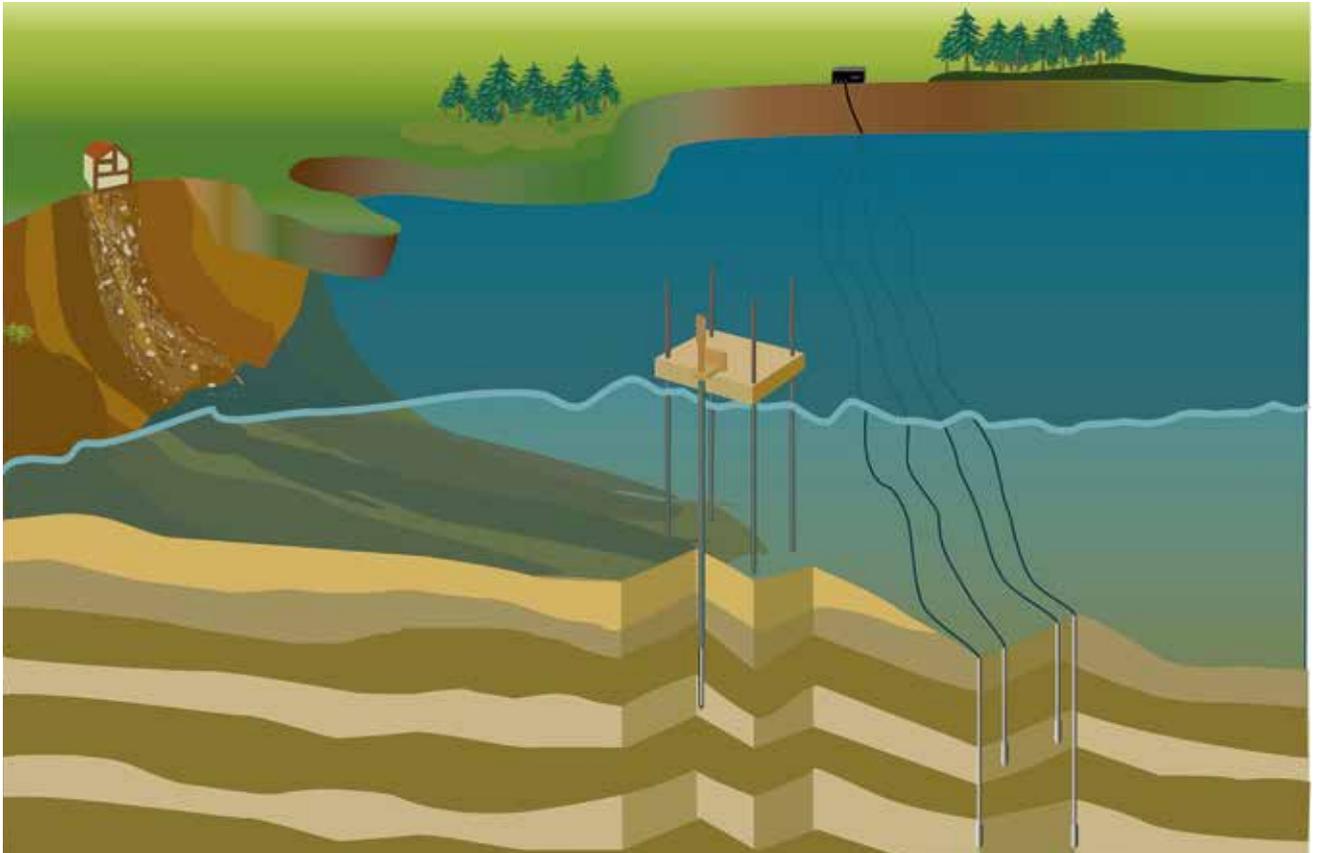


Abb. 3: Schema Monitoring der Porenwasserdrücke in den verschiedenen Grundwasserstockwerken und GeoMonitoring-System

HERAUSFORDERUNG

Neben den in den vorgenannten Kapiteln beschriebenen geotechnischen und hydrogeologischen Herausforderungen stellten die Logistik, die Arbeitssicherheit und der gegebene Zeitplan der umfangreichen seeseitigen Erkundungen große Herausforderungen dar.

Die Zufahrt für die Wasserung der Pontons und Bohrgeräte sowie die Baustelleneinrichtung war nur vom gegenüberliegenden Nordufer an der Marina, Aussichtspunkt Schadeleben möglich. Die zu Beginn der Arbeiten dort vorhandene, hauptsächlich auf Wassersport mit kleinen Booten ausgelegte Zufahrt, war nicht für die geplanten Arbeiten mit schwerem Gerät geeignet und dimensioniert. Im Rahmen der Baustelleneinrichtung waren deshalb umfangreiche Erdarbeiten für die Herstellung einer geeigneten Zufahrt für Sattelschlepper und einer entsprechend dimensionierten Kranstellfläche für Mobilkräne mit großer Auslage

sowie die Flächenvorbereitung für einen Lagerplatz und Container notwendig.



Foto 4: Mobilkran mit großer Auslage am Nordufer

Im Vorfeld der Erdarbeiten wurden geotechnische Erkundungen für die Planungen und Standsicherheitsnachweise durchgeführt. Für den maßgebenden höchsten Lastfall der Hubvorgänge mit größter Auslage des Kranes war die Tragfähigkeit nicht gegeben. Durch die G.U.B. wurde dementsprechend eine Brunnenringgründung für die punktuell hohen Lasten im Bereich der Pratzen geplant und realisiert. Für die schwimmenden Arbeitsplattformen wurden modulare Pontonsysteme der Firmen Baars und Wittmann eingesetzt. Die Einzelelemente wurden mit einem Mobilkran in Bereiche mit ausreichender Wassertiefe zu Wasser gelassen und montiert. Anschließend wurden ausreichend lange, auf die maximal erwartete Wassertiefe ausgelegte, Ankerfüße eingehoben und montiert.



Foto 5: Einheben eines Bohrgerätes

Diese waren lediglich für das Halten der Position der Plattformen an den Bohrlokalationen vorgesehen. Ein Herausheben der Plattformen über die Wasserlinie durfte nicht erfolgen. Die Penetration der Ankerfüße und Eintrag dynamischer Belastungen in den Seeboden sollte so gering wie möglich sein, um das Risiko etwaiger weiterer Abbrüche sowie Rutschungen nahezu auszuschließen.

Die Arbeitsflächen auf den Arbeitsplattformen waren so dimensioniert, dass ausreichend Platz für die konventionellen Bohrgeräte, mobile Drucksondiersysteme, Baustelleneinrichtung (WC- und Bürocontainer), Spülwannen und die vorzuhaltenden Spülzusätze vorhanden war.



Foto 6: Arbeitsfläche auf der Plattform

Die Plattformen wurden mit Schubbooten auf den Erkundungspunkten positioniert und während der Bohrungen mit den Ankerfüßen in Position gehalten. Weiterhin wurden Sicherheits- und Transferboote eingesetzt, um die hohen Anforderungen an den Arbeitsschutz und einen Transport des Personals im Falle von Havarien, Unfällen und Evakuierungsszenarien jederzeit sicherzustellen. Da die Arbeiten überwiegend im Rutschungsbereich ausgeführt wurden war von den Arbeitsplattformen permanent Blickkontakt zu den Rissbeobachtern an Land und die Evakuierung von Personal zu jeder Zeit zu gewährleisten. Bei ungünstigen Sichtverhältnissen wie z. B. Nebel mit geringen Sichtweiten mussten die Arbeiten aus Sicherheitsgründen unterbrochen werden.



Foto 7: Anlieferung Sicherungsboot

Alle schwimmenden Geräte waren entsprechend der gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien durch Personal mit Bootsführerschein zu führen. Zur Realisierung der großen Erkundungsumfanges im vorgegebenen

kurzen Zeitrahmen wurden die Arbeiten in Spitzenzeiten mit drei zeitgleich auf dem See arbeiten Plattformen sowie hohem Personal- und Geräteeinsatz ausgeführt.



Foto 8: Zugefrorener Concordia See mit Steganlage und drei Plattformen

Fugro



Fugro is the world's leading Geo-data specialist, collecting and analyzing comprehensive information about the Earth and the structures built upon it. Adopting an integrated approach that incorporates acquisition and analysis of Geo-data and related advice. With expertise in site characterisation and asset integrity, clients are supported in the safe, sustainable and efficient design, construction and operation of their assets throughout the full lifecycle. Working globally, we employ approx. 10,000 employees in 61 countries. By deploying our fleet of specialised assets and digital solutions we provide a vital contribution to build a safe and livable world.

Fugro Germany Land GmbH
Wolfener Straße 36 U
Berlin, D-12681

+49 30 936 510
www.fugro.com

Literatur/Quellen:

- [1] DIN EN ISO 22476-01, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen, Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck
- [2] DIN EN ISO 22475-01, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenahmeverfahren und Grundwassermessung – Teil 1: Technische Grundlagen und Ausführung
- [3] GWE pumpenboese, Spülprodukte in der Rotary Bohrtechnik (<http://www.gwe-gruppe.de/export/shared/documents/pdf/bre/gwe/Prospekte/Spuelung.pdf>)
- [4] BGV D20 (1997), Unfallverhütungsvorschrift, Maschinenanlagen auf Wasserfahrzeugen und schwimmenden Geräten
- [5] DGUV Vorschrift 64 (ehem. BGV D21) (1997), Unfallverhütungsvorschrift schwimmende Geräte
- [6] Bundeswasserstraßengesetz

RÜTTELVERDICHTUNG UNTER DEN STANDORTSPEZIFISCHEN BESONDERHEITEN IM TAGEBAU NACHTERSTEDT

Autoren: Dr. Steffen Höppner, Dipl.-Ing. Markus Schäffer

ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER RÜTTELDRUCKVERDICHTUNG (RDV) UND RÜTTELSTOPFVERDICHTUNG (RSV)

Nach Beendigung des aktiven Bergbaus müssen die in Anspruch genommenen Flächen in einen geotechnisch sicheren Zustand versetzt werden, damit eine Entlassung aus der Bergaufsicht möglich wird. Dies betrifft sowohl die Innenkippen (flächige Bereiche) als auch die Böschungsbereiche zukünftiger Tagebaurestseen. Bei Letzteren werden versteckte Dämme oder Stützkörper parallel zum Ufer errichtet. Diese sind ca. 50 m bis 150 m breit. Sie können bis zum gewachsenen Untergrund (Liegendes) des ehemaligen Tagebaus reichen bzw. auch als schwimmende Dämme (keine Verzahnung mit dem gewachsenen Untergrund) hergestellt werden. Sie stellen wirksame Widerlager dar, welche ein Abrutschen des aufgeschütteten Hinterlandes (Setzungsfleßen) in das Restloch verhindern und somit eine Standsicherheit gewährleisten.

Die Rütteldruckverdichtung (RDV) und die Rüttelstopfverdichtung (RSV) sind Tiefenverdichtungsverfahren, welche unter anderem hierbei zum Einsatz kommen. Da bei den Tiefenverdichtungsarbeiten im Sanierungsbergbau geotechnische Ereignisse möglich sind, ist ein Vorland in Abhängigkeit der Kippenmächtigkeit notwendig (in der Regel zwischen 20 m und 40 m). Deshalb kommen bei der Rütteldruckverdichtung und bei der Rüttelstopfverdichtung Seilbagger als Trägergeräte zum Einsatz.

Ein wesentlicher Faktor für den Erfolg der Verdichtung ist, in Abhängigkeit von der Bodenart, der eingesetzte Rüttlertyp. Die Rüttler unterscheiden sich nicht nur in Form und Größe, sondern auch in Schlagkraft, Schwingweite, Frequenz usw.

Beim RDV- bzw. RSV-Prozess dient das Zugabewasser als eine Art Gleitmittel, um den Einfahrprozess der Lanze, besonders in den erdfeuchten Bodenschichten, zu erleichtern. Das Zugabewasser kann über die Spitzendüsen und über die Seitendüsen eingesetzt werden. Über die Spitzendüsen wird das Wasser mit

Hochdruck (bis 400 bar) zugegeben, um auch lokale bindige Bodenschichten zu lösen. Weiterhin dient das Zugabewasser der lokalen Verflüssigung der locker gelagerten, verflüssigungsempfindlichen Fein- bis Mittelsande.

Mit Hilfe der Prozessdatenerfassung (PDE) werden beide Tiefenverdichtungsverfahren dokumentiert. Es werden neben den GPS-Koordinaten der Rüttelsäule unter anderem Zeit, Teufe, Stromaufnahme des Rüttlers und Wasserverbrauch aufgezeichnet.

RÜTTELDRUCKVERDICHTUNG

Die Rütteldruckverdichtung (RDV) ist in rolligen, eigenverdichtungsfähigen Kippenböden bis in Teufen von ca. 60 m einsetzbar. Im Kopf der Rüttellanze, dem Rüttler, bewirkt eine rotierende Unwucht die Verdichtungsarbeit. Mit der RDV werden sowohl in wassergesättigten als auch in erdfeuchten (hier durch Wasserzugabe), überwiegend sandigen Kippen gute Verdichtungsergebnisse erzielt. Der Verdichtungsprozess kann wie folgt beschrieben werden:

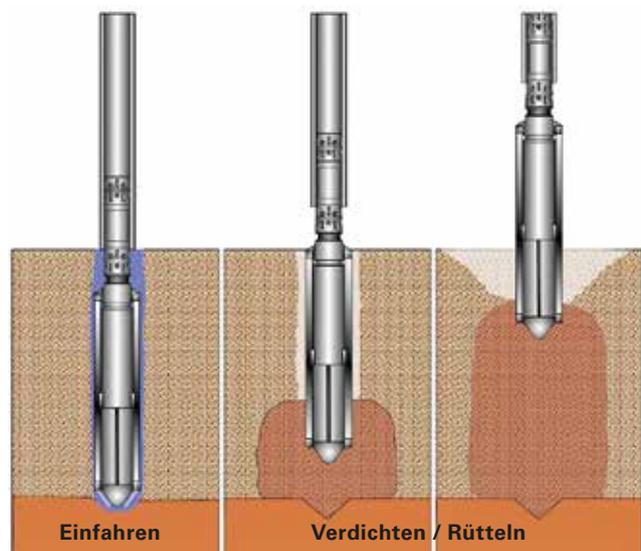


Abb. 1: Prinzipdarstellung der Rütteldruckverdichtung

Einfahren der Rüttellanze

Der vibrierende Rüttler dringt aufgrund seines Eigengewichtes bis zur vorgegebenen Teufe in den Boden ein. Der dafür notwendige Hohlraum wird durch Materialverdrängung geschaffen. Speziell in erdfeuchten Kippen ist die Zugabe von Spülungswasser notwendig. Das Spülungswasser kann gezielt mit Hochdruck über die Spitzendüsen (Durchörterung von bindigen oder vorverdichteten Schichten) oder über Mantelrohdüsen zur Reduzierung der Mantelreibung zugegeben werden.

Verdichtung der Kippe

Nach Erreichen der geplanten Endteufe beginnt der eigentliche Verdichtungsprozess. Dabei haben sich drei Verfahren etabliert:

1. langsames, kontinuierliches Ziehen der Rüttellanze mit einer vorgegebenen Ziehgeschwindigkeit (m/sec)
2. intervallartiges Ziehen der Rüttellanze und Verdichtung auf jeder Hubhöhe (z. B. 0,5 m Ziehen und 30 sec Rütteln)
3. intervallartiges Ziehen der Rüttellanze, Absenken (Stopfen) und Verdichtung auf jeder Hubhöhe (z. B. 1,0 m Ziehen, 0,5 m Absenken und 30 sec Rütteln).

Während des Verdichtungsprozesses entsteht ein Materialdefizit im Boden, welches sich durch Setzungen der Kippenoberfläche um die Rüttelsäule (Absenktrichter) in Zusammenhang mit radialen Setzungsrissen äußert bzw. durch Zugabe von angefahrenem verdichtungsfähigem Material ausgeglichen werden muss. Meist ist es eine Kombination aus beiden. Durch die Rütteldruckverdichtung werden in Abhängigkeit vom anstehenden Boden und der Größe des eingesetzten Rüttlertyps Verdichtungsgebiete von ca. 3 m bis 6 m Durchmesser erreicht.

RÜTTELSTOPFVERDICHTUNG

Im Gegensatz zu rolligen und eigenverdichtungsfähigen Kippen werden in bindigen bzw. gemischtkörnigen Kippen kaum nennenswerte Verbesserungen der Lagerungsdichten durch das Eintragen von Schwingungen erreicht. Aufgrund der Feinkörnigkeit, der geringen Wasserdurchlässigkeit und der Kohäsion

findet keine Kornumlagerung durch den Eintrag von Schwingungen mehr statt. Zur Erhöhung der Verdichtung von gemischtkörnigen Kippen kommt daher die Rüttelstopfverdichtung (RSV) zum Einsatz. Rüttelstopfsäulen werden bis zu einer Teufe von ca. 30 m eingesetzt. Bei der Rüttelstopfverdichtung erfolgt zusätzlich eine Zugabe von rolligem Material, meist Kies der Fraktionen 2/32 mm, 8/32 mm, durch ein Schleusensystem der Rüttellanze zum Schleusenrüttler.

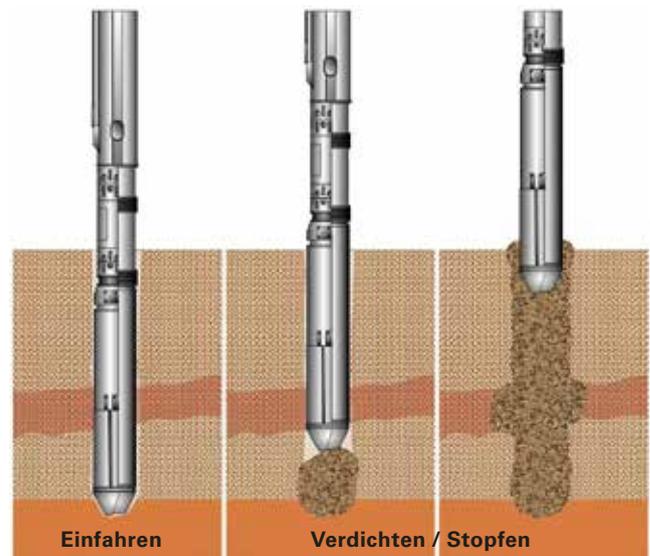


Abb. 2: Prinzipdarstellung der Rüttelstopfverdichtung

Einfahren der Rüttellanze

Der Einfahrprozess unterscheidet sich nicht wesentlich von der Rütteldruckverdichtung. Der anstehende Kippenboden muss beim Einfahren seitlich verdrängt werden. Auch bei der Rüttelstopfverdichtung kommt Zugabewasser als Einfahrhilfe zum Einsatz. Nach dem Erreichen der Endteufe beginnt die Herstellung der Stopfsäule von unten nach oben.

Verdichtung der Kippe

Als Technologie für die Rüttelstopfverdichtung hat sich das intervallartige Ziehen der Rüttellanze unter kontinuierlicher Materialzugabe an der Rüttlerspitze und anschließendes Absenken (Nachstopfen) bewährt. Der Nachstopfvorgang kann wiederholt werden bis eine bestimmte Menge an Zugabematerial pro lfd. m eingebracht bzw. eine bestimmte Stromaufnahme am Rüttler (Abbruchkriterium) erreicht wird. Durch die Rüttelstopfverdichtung entstehen Stopfsäulen mit Durchmessern von 0,5 m bis 1,0 m.

AUSGANGSSITUATION IN NACHTERSTEDT

Nach der Rutschung im Jahr 2009 wurden die angekippten Böschungsbereiche des zukünftigen Concordia Sees unter Federführung der LMBV geotechnisch neu bewertet. Dazu waren umfangreiche Bodenuntersuchungen notwendig. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden die Sanierungskonzepte überarbeitet und die notwendigen Verdichtungsmaßnahmen angepasst. Auch die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen für die Herstellung der versteckten Dämme wurden überarbeitet. So wurden unter anderem eine Betriebsüberwachung der LMBV eingerichtet, Rettungskräfte bereitgestellt, der Wasserstand im Concordia See reguliert, Böschungsbeobachter gefordert und der gesicherte Erdbau eingeführt.

Die TDE hat im Zeitraum von Januar 2015 bis August 2019 bei der Sanierung der Böschungssysteme für den zukünftigen Concordia See mehrere Aufträge der LMBV ausgeführt. Im Einzelnen waren dies:

1. RDV/RSV Südwestböschung (Laufzeit von Juni 2015 bis 28.06.2016)
2. RDV/RSV Ostböschung (Laufzeit von Januar 2015 bis September 2018)
3. RSV Altablagerung Südwestböschung (Laufzeit von September 2018 bis August 2019)
4. Tiefen Schonende Sprengverdichtung im Haupttrutschungskessel (Laufzeit von Februar 2018 bis Juni 2018)
5. Gefahrenabwehr – Bergung Trägergerät LR 1300 nach der Rutschung vom 28.06.2016

In Nachterstedt auf der Ostböschung waren eine Rüttelstopfverdichtung (RSV) auf der Arbeitsebene +103 m NHN und eine Rütteldruckverdichtung (RDV) auf der Arbeitsebene +95 m NHN als Regeltechnologie vorgesehen. Die Verdichtungsarbeiten waren von montags bis samstags im 2-Schicht-System geplant, wobei in Spitzenzeiten 4 Trägergeräte parallel betrieben wurden. Zum Einsatz kamen als Trägergeräte drei Stück LR 1300 und ein Stück LR 1200, Seilkräne der Firma Liebherr, mit Einsatzgewichten zwischen 200 t und 300 t. Zur Komplettierung einer Rüttleinheit wurden zusätzlich jeweils eine Raupe und ein Radlader eingesetzt. Als Lanzenlängen wurden bei der RSV Rüttelstopfplanzen bis 36 m und bei der RDV Rüttellanzen bis 38 m verwendet. Die Tiefe der

herzustellenden Stützkörper betrug bis ca. 30 m. Es bestand die Forderung, möglichst erschütterungsarm zu rütteln. Die Lage der einzelnen Rüttelstützkörper ist aus der beiliegenden Faltkarte am Ende dieser Veröffentlichung ersichtlich.

Die RSV-Arbeiten auf der Trasse +103 sollten über ca. 2,1 km Gesamtlänge, in einer teufenabhängigen Breite von 22 m bis 44 m, im Raster 4 x 4 m ausgeführt werden. Die Abarbeitung der Rüttelsäulen erfolgte intermittierend (benachbarte Punkte dürfen aufgrund möglicher Porenwasserüberdrücke nicht unmittelbar nacheinander abgearbeitet werden) und es war immer die gesamte Breite des Rüttelkörpers in einem Durchgang zu verdichten.

Zwischen der Abarbeitung zweier Rüttelsäulen war eine halbe Stunde Pause als Konsolidierungszeit zum Abbau möglicher Porenwasserüberdrücke einzuplanen. Gemäß Ausschreibung sollte das Trägergerät eine Ausladung von 30 m und eine 30 m langen Lanze sowie eine Ziehsicherheit des 1,5-fachen des Lanzengewichts gewährleisten. Zwischen Trägergerät und RSV-Ansatzpunkt mussten mindestens 20 m Vorland eingehalten werden. Die Massenzugabe war nur im gesicherten Erdbau möglich, d.h. der Radlader, welcher die Beschickung der Lanze durchführt, war über ein mindestens 25 m langes Stahlseil mit einer Halteraupe verbunden. Es sollte ca. 1,0 t Zugabematerial/lfd. m in eine Rüttelsäule eingebaut werden. Dabei lag ca. die Hälfte des herzustellenden Stützkörpers oberhalb des Grundwasserspiegels.

Die RDV-Arbeiten waren zeitgleich zu denen auf der RSV-Trasse +95 über ca. 1,9 km Länge geplant. Mindestens 200 m vorlaufend musste der RSV-Damm fertiggestellt sein, um einen Sicherheitsabstand zwischen den Trägergeräten von mindestens 200 m einhalten zu können. Die Dammbreite sollte zwischen 25 m und 50 m betragen, das Raster der Ansatzpunkte wurde ebenfalls auf 4 x 4 m festgelegt und abgearbeitet. Nach dem Erreichen der Endteufe war das Rüttelregime mit jeweils 0,5 m Ziehen und 30 sec Verweilzeit festgelegt. Der oberhalb des Grundwasserspiegels liegende Stützkörper maß ca. 10 m. Die geotechnischen Sicherheitsbestimmungen zum Einhalten des Vorlandes und des gesicherten Erdbaus waren analog denen der Trasse +103.

Alle Verdichtungstätigkeiten im Sperrbereich sollten von geschulten Böschungsbeobachtern abgesichert werden. Des Weiteren wurden über ein Dispatcher-System der LMBV in den Tagesanlagen alle Arbeiten und Personen im Sperrbereich erfasst und ein Team der Berg- und Rettungskräfte war über die Bauzeit einsatzbereit.

In der folgenden Übersicht werden die Soll-Leistungen gemäß den Vorgaben den Ist-Leistungen gegenübergestellt.

| | RDV/RSV Südwestböschung (06/2015 bis 06.2016) ** | RDV/RSV Ostböschung (01/2015 bis 09/2018) * | RSV Altablagerung Südwestböschung (09/2018 bis 08/2019) |
|---|--|--|---|
| RSV-Rüttelmeter Vertrag Ist | 31.600 m 33.872 m | 104.200 m 139.347 m | 17.820 m 17.311 m |
| RSV-Zugabematerial Vertrag Ist | 31.600 t 65.000 t | 103.800 t 277.000 t | 33.000 t 17.380 t |
| RSV-Zugabewasser Vertrag Ist | 37.800 m ³ 8.868 m ³ | 102.000 m ³ 60.509 m ³ | 1.720 m ³ 920 m ³ |
| RDV Dammvolumen Vertrag Ist | 265.000 m ³ 65.600 m ³ | 750.400 m ³ 1.220.368 m ³ | keine RDV |
| RDV-Zugabematerial Vertrag Ist | 20.000 t 7.000 t | 75.500 t 56.530 t | keine RDV |
| RDV-Zugabewasser Vertrag Ist | 23.200 m ³ 934 m ³ | 68.000 m ³ 24.351 m ³ | keine RDV |
| * Im Ergebnis der Rutschung vom 28.06.2016 wurden die Dämme auf der Ostböschung neu dimensioniert (verbreitert) | | | |
| ** Die Maßnahme RDV/RSV Südwestböschung wurde mit dem Setzungsflißeignis am 28.06.2016 unplanmäßig abgebrochen. | | | |

Tabelle 1: Übersicht der vertraglichen und realisierten Mengen

REALISIERUNG UND BESONDERHEITEN IN DEN BAUABSCHNITTEN

Folgende Informationen aus den Ausschreibungsunterlagen standen zur Verfügung:

„... dass die Ostböschung über größere Bereiche aus locker gelagerten, verflüssigungsempfindlichen Fein- bis Mittelsanden besteht und geotechnisch gesichert

werden muss. ... In Rüttelbereichen sind neben den zu vergütenden enggestuften Fein- und Mittelsanden auch gemischtbindige und kiesige Materialien enthalten. Die Verdichtungsarbeiten können lokal durch Steineinschlüsse, Blockpackungen und verdichtete ehemalige Arbeitsebenen behindert werden.“

Bodengruppen nach DIN 18196: vorwiegend SE, SU, SU*, GU, GU*
Verdichtbarkeit: gut bis mittel

Durch Beobachtungen der Gerätfahrer der TDE, des allgemeinen Bauablaufes und der Aufzeichnungen der Datenerfassungsanlage (PDE) wurden folgende Besonderheiten festgestellt:

Bei der RSV traten nur sehr lokal für die RSV/RDV typische Geländeabsenkungen und damit verbundene Setzungsrisse auf. Das lässt darauf schließen, dass das anstehende Kippenmaterial in großen Bereichen sehr bindig und somit nur gering verdichtbar ist. Bei der RSV wurden durchschnittliche Einfahrzeiten von ca. 72 sec/m im Südbereich und ca. 60 sec/m im Nordbereich gemessen. Die Einfahrzeiten einer RSV-Einheit für die ausgeschriebenen Bodengruppen und einer guten bis mittleren Verdichtbarkeit liegen nach unseren bisherigen Erfahrungen bei ca. 10 bis 20 sec/m (bei der RDV in der Lausitz wurden bei einem sehr hohen bindigen Anteil durchschnittliche Einfahrtgeschwindigkeiten von 32 sec/m gemessen).

Beim Einfahren einer RSV-Einheit in die ausgeschriebenen Bodengruppen und einer guten bis mittleren Verdichtbarkeit bildet sich um den Rüttler ein Hohlraum, der durch Zugabematerial bzw. durch Absenkungen der Geländeoberfläche aufgefüllt werden muss. Größtenteils musste der Rüttler eingespült werden, da er sonst nicht in den Boden eindringen kann. Das Einfahren des Rüttlers in den Kippenboden basiert nur teilweise auf Materialverdrängung im Rüttelloch. Bei den durchgeführten RSV-Arbeiten bildete sich ein Hohlraum, der teilweise durch Ausspülungen des Zugabewassers entsteht. Die Spülkegel aus dem ausgespülten, feinkörnig-bindigen Material und kohlehaltigen Klumpen sind flächendeckend zu beobachten. Dies lässt darauf schließen, dass das angetroffene Kippenmaterial nur in einzelnen Bereichen aus locker gelagerten, verflüssigungsempfindlichen Fein- bis Mittelsanden besteht.

Die Materialzugabe pro Rüttelsäule ist gegenüber der Planung um ca. das 1,7-fache erhöht. Neben dem inhomogenen Aufbau der Kippe (Wechsel von bindigen und lockeren, rolligen Schichten) lag es auch daran, dass der durch das Ausspülen geschaffene größere Hohlraum um die Rüttelstopfmaschine mit dem Zugabematerial, als eine Bodenaustauschmaßnahme, wieder aufgefüllt werden musste.

WASSERZUGABE BEIM RSV-PROZESS

Nach den Ausschreibungsunterlagen sollte ca. 1,0 m³/lfd. m Zugabewasser verwendet werden. Tatsächlich wurden ca. 0,1 m³ bis 0,4 m³/m zugeführt.

Des Weiteren wurde durch die Mitarbeiter festgestellt, dass sich das Zugabewasser mit den bindigen Bestandteilen der Kippe wie eine Bohrspülung aufgeladen hatte. Dies führte dann zu einer Filterkuchenbildung zwischen RSV-Loch und dem anstehenden Kippenboden, so dass eine flächige Verflüssigung nicht stattfinden konnte. Das Zugabewasser, selbst bei diesen geringen Mengen, wurde als Geysir an der Geländeoberfläche ausgetragen. Dies kann eine Ursache darstellen, warum sich die Kippenoberfläche in der RSV-Trasse nicht absenkte.

Ein weiterer Nachteil, der sich aus den Ausspülungen während der RDV/RSV ergab, war, dass das Planum der Trasse, welches mit dem Trägergerät und mit der gesicherten Technik zur Zugabe der Zuschlagsstoffe befahren wurde, aufgrund des wasserempfindlichen Kippenbodens aufgeweicht war (Schlammabtrag, siehe Foto 1).



Foto 1: Verschlammung der Arbeitsebene des Trägergerätes durch die Austritte des Zugabewassers

MATERIALBEREITSTELLUNG FÜR STOPFMATERIAL, MATERIALMEHRVERBRAUCH

Aus dem hohen Verbrauch von Zuschlagsmaterial haben sich eine Reihe von Problemen ergeben. Ursprünglich war ein Zugabematerial 5/32 mm geplant, welches aus der Kiesgrube Westdorf durch kombinierte Nass-/Trockensiebung gewonnen wurde. Den deutlich gestiegenen Bedarf konnte dieses Kieswerk allein nicht mehr abdecken, so dass ein weiteres Kieswerk in Reinstedt beauftragt wurde, welches ebenfalls Material in Nasssiebung aufbereitete. In den Wintermonaten konnte aufgrund der Eisbildung eine Nachproduktion nicht garantiert werden. Als zusätzliches Material wurde, speziell in den Wintermonaten, gebrochener Kies mit einer Körnung von 8/32 mm aus dem Steinbruch Rieder zugefahren.

Der Winter hat noch ein weiteres Materialproblem aufgezeigt. Durch den Frost bildeten sich auf den Haufwerken an der Oberfläche der Halden Frostklumpen, welche die RSV-Lanze verstopft haben. Die Frostklumpenbildung wurde durch Niederschläge, Verunreinigungen bzw. zu hohe Feinkornanteile durch Entmischungsprozesse, z. B. beim Abkippen, erhöht.

Um die Einfahrtgeschwindigkeit der RSV-Lanze zu erhöhen, wurde nach ca. 10 m Eindringtiefe die Lanze mit dem Zuschlagsmaterial befüllt und damit das Lanzengewicht erhöht. Bei den benötigten langen Einfahrtzeiten hat sich das Zuschlagsmaterial dabei sehr oft in der Lanze entmischt. Dadurch wurde der Übergang zwischen Lanzenrohr und Schleusenrüttler als Engstelle verstopft. Dies führte dazu, dass die Lanze, komplett ausgefahren, aus dem Gefahrenbereich herausschwenkte, geöffnet und entleert werden musste.

RDV/RSV SÜDWESTBÖSCHUNG

Feststellungen zur RSV Südwestböschung

Bei der Ausführung der RSV-Arbeiten im Bereich der Südwestböschung wurde die doppelte Menge an Zugabematerial, ca. 2,0 t/lfd. m, in die Rüttelsäulen eingebracht. Vereinzelt kam es speziell beim Einfahrtprozess der RSV-Lanze zu Geysirbildungen und Verschlammungen der Arbeitsebene. Um dem Aufbau

eines Porenwasserüberdrucks und der Verschlammung der Arbeitsebene entgegenzuwirken, wurde die Menge an Zugabewasser für den Einfahrprozess deutlich reduziert (auf ca. 22 % des Vertragswertes). Trotz der deutlichen Wasserreduzierung traten speziell am Trassenende des RSV-Stützkörpers lokale Porenwasserdruckanstiege durch die Arbeit des Rüttlers auf. Der Porenwasserdruck (PWD) wurde im Rahmen des installierten Mess- und Prüfprogramms engmaschig und fortlaufend überwacht. Mit den Porenwasserdruckmessungen wird kontrolliert, ob die durch den Rüttler bewusst erzeugte Verflüssigung lokal im Bereich des Rüttlers gehalten werden kann. Beim Überschreiten eines voreingestellten PWD-Alarmwertes wurden die Arbeiten unterbrochen und es kam dadurch zu Stillstandszeiten für den Trägergerätekomplex. Diese Alarmwertüberschreitungen wurden durch ein optisches und akustisches Warnsignal, welches durch den Gerätefahrer jederzeit einsehbar bzw. hörbar war, angezeigt.

Aufgrund gehäufter Unterbrechungen der RSV-Arbeiten, zum Abbau des Porenwasserüberdrucks, wurden die Verdichtungsarbeiten im Mai 2016 ca. 70 m vor dem geplanten Trassenende unterbrochen. Das Trägergerät wurde zum Startpunkt des RDV-Stützkörpers transportiert und für die RDV umgerüstet.



Foto 2: RSV Arbeiten auf der Trasse +103 kurz vor dem Abbruch der Arbeiten

Feststellung RDV Südwestböschung

Anfang Juni 2016 begannen die RDV-Arbeiten auf der Trasse +95. Aufgrund der während der RSV

beobachteten PWD-Anstiege wurde die RDV in Abstimmung zwischen der LMBV, dem für Nachterstedt zuständigen Sachverständigen für Geotechnik, dem Planer und dem Landesamt für Geologie und Bauwesen (LAGB) nahezu ohne Zugabewasser gefahren. Der Verbrauch an Zugabematerial entsprach den Planvorgaben. Mehrere für die RDV typische Setzungsrisse wurden beobachtet und durch den Sachverständigen bewertet.

Am 28.06.2016 um 17.42 Uhr trat ein Setzungsfließen auf, wodurch die Verdichtungsarbeiten auf der Südwestböschung nicht weitergeführt werden konnten. Nähere Ausführungen zu diesem Ereignis folgen im Abschnitt „Geotechnisches Ereignis vom 28.06.2016“.

RDV/RSV OSTBÖSCHUNG

Feststellung zur RSV Ostböschung

Der Bereich der Ostböschung war in zwei Arbeitsbereiche unterteilt – ein Größerer im Süden mit ca. 1,0 km Länge sowie ein Kleinerer im Norden mit ca. 300 m Länge. In beiden Bereichen waren wieder RSV-Arbeiten auf der Trasse +103 und RDV-Arbeiten auf der parallelen Trasse +93 geplant.

Bei der RSV im Nordbereich wurden einige größere radiale Setzungsrisse um die Verdichtungstrasse beobachtet, welche ebenfalls der Sachverständige bewertete. Im Ergebnis wurde die geplante RDV auf der Trasse +95 in eine RSV-Leistung umgewandelt. Der Verbrauch an Zugabematerial war, bezogen auf die realisierten Stopfmeter, deutlich erhöht. Die Zugabe von Spülungswasser beim Einfahren in das erdfeuchte Kippenmaterial war gegenüber den Vertragswerten auf ca. 50 % im Südbereich und ca. 30 % im Nordbereich reduziert worden. Speziell im Südbereich wurden extrem lange Einfahrzeiten benötigt, um die erforderlichen Rütteltiefen anzufahren. Dabei kam es gehäuft zu Geysirbildungen mit Wasser- und Bodenaustrag beim Einfahren (siehe Foto 3). Beim Materialverbrauch trat ein relativ hoher technologisch bedingter Materialverlust durch Lanzenausfluss am Ende eines Verdichtungspunktes, betriebsbedingte Störungen sowie Streuverluste auf. Dieses Material wurde größtenteils wiedergewonnen und

dem RSV-Prozess zugeführt. Nach dem Setzungsfließen im Juni 2016 an der Südwestböschung wurden die Arbeiten auch an der Ostböschung für mehrere Wochen unterbrochen.



Foto 3: Rüttelstopfverdichtung im Bereich der Ostböschung, Nordbereich

Mit Wiederaufnahme der Arbeiten an der Südwestböschung wurde aus Sicherheitsgründen nur noch bei Tageslicht gearbeitet. Ein 2-Schichtbetrieb war somit nicht mehr möglich und die Bauzeit verlängerte sich dadurch deutlich.

Feststellung RDV Ostböschung

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse zur Setzungsfließrutschung an der Südwestböschung im Juni 2016 wurde die RDV-Trasse deutlich verbreitert und somit die ursprüngliche Vertragsleistung nahezu verdoppelt. Dabei wurde die Wasserzugabe auf nur ca. 6 % der Vertragsmenge reduziert. Während den RDV-Arbeiten traten die typischen radialen Rissbilder auf und es stellten sich Oberflächenabsenkungen von ca. 50 cm aufgrund der Eigenverdichtungsfähigkeit des Kippenbodens ein. Der Verbrauch an Zugabematerial reduzierte sich auf ca. 50 % der vertraglich veranschlagten Mengen. Wegen einer Arbeitsebene des ehemaligen Abraumbetriebes, welche der Rüttler aus eigener Kraft nicht sicher durchstoßen konnte, wurde jeder Rüttelansatzpunkt auf einem 660 m langen Abschnitt über die volle Breite der Trasse bis ca. 12 m Tiefe vorgebohrt.

RSV ERSATZSTÜTZKÖRPER SÜDWESTBÖSCHUNG UND ALTABLAGERUNG

Die Arbeiten an der Südwestböschung und an der Altablagerung begannen im Jahr 2018, d.h. lange nach dem Setzungsfließereignis. An der Südwestböschung wurde mit einer RSV-Maßnahme ein ca. 200 m langer Ersatzstützkörper hergestellt, um den durch das Setzungsfließereignis beschädigten RSV-Damm auf der Trasse +103 zu verstärken.

Die Altablagerung ist ein Böschungsbereich zwischen dem großen Rutschungskessel und der Südwestböschung, in welchem schon zu Beginn der Böschungssicherung (vor der Rutschung im Jahr 2009) RDV-Arbeiten durchgeführt wurden. Nach späteren Profilierungsarbeiten wurde festgestellt, dass der obere Bereich des damals hergestellten Rütteldamms unzureichend verfestigt ist und mit einer Rüttelstopfverdichtung nachgearbeitet werden muss. Aufgrund der vorhandenen Vorverdichtung wurden alle RSV-Ansatzpunkte in der Altablagerung bis auf eine Endteufe von ca. 12 m (in Summe ca. 12.000 Bohrmeter) vorgebohrt (siehe Foto 4). Da in der Altablagerung Schadstoffe nicht ausgeschlossen werden konnten, wurde das Vorbohren nur als Auflockerungsbohrung durchgeführt und die Massenausträge ohne Verdichtung zurück ins Bohrloch verbracht. Des Weiteren wurde praktisch ohne Wasserzugabe gerüttelt, um einen Eintrag von Schadstoffen durch Ausspülungen in den Concordia See zu verhindern. Dies hatte zur Folge, dass sich die Einfahrtgeschwindigkeit des Rüttlers reduzierte, der Verschleiß sich am Rüttler erhöhte und vor allem die Erschütterungen durch den Rüttler zunahmen.



Foto 4: RSV an der Ostböschung im Nordbereich

Feststellung RSV-Altablagerung

Ca. 35 % der RSV-Ansatzpunkte mussten vor dem Erreichen der geplanten Endteufe wegen einer im Bohrloch klemmenden RSV-Lanze bzw. auftretenden Erschütterungen (Überschreitung seismischer Grenzwerte) abgebrochen werden. Der Verbrauch an Zugabematerial war wesentlich geringer als geplant.



Foto 5: Vorbohren der RDV-Ansatzpunkte auf der Altablagerung

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die gemischtkörnigen Kippen sind oft so unterschiedlich strukturiert, dass sich auch während einer Teilmaßnahme bzw. einem Bauabschnitt die bodenmechanischen Gegebenheiten ändern können. Daher ist es aus unserer Sicht wirtschaftlich nicht zielführend, starr über die gesamten Bereiche an einer Verdichtungstechnologie festzuhalten. Das „Lernen“ aus Testfeldern und das ständige Beobachten und Bewerten (Anpassen) des Verdichtungsprozesses sind unabdingbar, um kostengünstig den Sanierungserfolg zu gewährleisten. In Abstimmung zwischen dem Sachverständigen für Geotechnik, dem Planer, der LMBV und dem LAGB wurden in Nachterstedt Anpassungen der Verdichtungstechnologie durchgeführt.

Generell ist das Arbeiten mit freihängenden Rüttellanzeln in setzungsfließgefährdeten Bereichen zur Einhaltung der geforderten geotechnischen Sicherheiten unabdingbar. Der Einsatz von Zugabewasser in Verbindung mit der angewandten Technologie der RSV (Einfahren freihängender Lanzen durch das Eigengewicht) ist bei den stark bindigen (steifen bzw. nicht plastischen) Bodenverhältnissen in Nachterstedt

unverzichtbar. Das notwendige Zugabewasser muss jedoch ständig angepasst werden, um die Ausspülungen von Material und Spülwasser zu minimieren, die Verschlammung der Arbeitsebene zu verhindern und trotzdem das Durchdringen der Rüttellanze von bindigeren Bodenbereichen zu garantieren.

Bereits eine reduzierte Wasserzugabe oder leichte Änderungen der Bodenstruktur bewirken fundamental geänderte Bearbeitungszeiten je Ansatzpunkt. Diese Problematik spiegelte sich in allen RSV-Maßnahmen in unterschiedlicher Weise wider:

- Ostböschung Süd- und Nordbereich mit begrenztem, aber noch relativ hohem Wassereinsatz, sehr schwierigen Einfahrverhältnissen, langen Einfahrzeiten und hohem Materialverbrauch
- Südwestböschung mit geringem Wassereinsatz, guten Einfahrverhältnissen und sehr hohem Materialverbrauch
- Altablagerung ohne Wassereinsatz, mit sehr schwierigen Einfahrverhältnissen (35 % abgebrochene Ansatzpunkte, s.o.) und sehr geringem Materialverbrauch.

Aus heutiger Sicht wäre auf der Arbeitsebene +103 ein RDV-Test im Pilgerschrittverfahren (siehe Abschnitt Rütteldruckverdichtung, Punkt 3 als Verfahren der RDV) anstrebenswert gewesen. Da das Lanzenrohr des Rüttlers dünner ist als bei der RSV, ist nach unseren Erfahrungen die Mantelreibung geringer und damit der Einfahrprozess schneller. Durch Nachstopfen (Pilgern), gesteuert durch die Stromaufnahme des Rüttlers als Abbruchkriterium, kann das Rüttelloch mit Nachweis vollständig verfüllt und somit spätere Nachbrüche verhindert werden.

Die Arbeiten zur Sicherung der Böschungsbereiche in Nachterstedt stellten in jeder Form eine Herausforderung für alle Beteiligten dar. So waren z. B. das Wissen um die Rutschung im Jahr 2009, die permanenten Sicherheitsanforderungen mit Fluchtmöglichkeiten, die dauerhafte Überwachung der Böschungen auf Rissbildung und Porenwasserüberdruck, Sicherheitsfahrweise mit angeseilten Baumaschinen, eine möglichst erschütterungsarme Bodenverdichtung und nicht zuletzt die erneute Rutschung im Jahr 2016 nicht zu unterschätzende mentale Belastungen für die Mitarbeiter und Verantwortlichen der TDE. Diese gingen weit über das Maß hinaus, was üblicherweise bei „normalen“ Bauvorhaben verlangt wird.

Umso mehr ist der erfolgreiche Abschluss der Arbeiten zu würdigen und allen Beteiligten zu danken.

Die Sicherung der hochsensiblen Böschungen wurde abgeschlossen und die vorgegebenen Ziele erreicht. Alle Beteiligten haben in vielfältiger Weise fachliche Herausforderungen gemeistert und eine Vielzahl neuer Erkenntnisse gewonnen.

Ziel sollte unter anderem sein, die Erkenntnisse in künftige Planungen und Realisierungen von ähnlich gearteten Projekten, insbesondere in der Bergbausanierung, einfließen zu lassen.

GEOTECHNISCHES EREIGNIS VOM 28.06.2016 UND BERGUNG DES TRÄGERGERÄTES LR 1300

Ein Schlüsselereignis war die Rutschung vom 28.06.2016, als sich an der Südwestböschung während der Rütteldruckarbeiten der Boden verflüssigte und in den zukünftigen Concordia See strömte. Die TDE hatte, gemäß des geplanten Bauablaufes, die RSV-Arbeiten auf der Trasse +103 bis ca. 80 m vor dem geplanten Bauende ausgeführt. Die RSV-Arbeiten wurden im Rahmen eines umfangreichen Überwachungsprogrammes auch mit Porenwasserdruck- und seismischen Messungen überwacht. Schon mehrere Wochen vor der Unterbrechung der RSV-Arbeiten traten gehäuft Alarmwertüberschreitungen bei der PWD-Messung auf, die sich nur langsam wieder abbauten und zu erheblichen Stillstandszeiten führten. Daher wurde entschieden, dass sich der Bereich erst einmal beruhigen, d.h. auskonsolidieren sollte. Die Rüttelstopfverdichtung wurde am 23.05.2016 abgebrochen und das Trägergerät für die Rütteldruckverdichtung auf der Arbeitsebene +95 umgerüstet. Die RDV-Arbeiten wurden nach Umbau des Trägergerätes am 02.06.2016 begonnen und liefen bis zum Rutschungsereignis ohne größere Auffälligkeiten.

Eintretendes Setzungsfließen vom 28.06.2016

Bei dem Setzungsfließen, welches während der 2. Schicht am 28.06.2016 auftrat, verflüssigten sich mehrere Millionen Kubikmeter Kippenmaterial und flossen samt vorhandener Vegetation in den Concordia See aus. Zum Zeitpunkt waren 4 Mitarbeiter vor Ort (Trägergerätefahrer, Raupenfahrer, Radladerfahrer und

Böschungsbeobachterin). Sofort wurden alle Maßnahmen gemäß des Havarieplanes, wie die Flucht von der Baustelle zum Sammelpunkt und der Einsatz der Bergrettung, eingeleitet. Bei dieser Rutschung kam zum Glück keiner unserer Mitarbeiter ernsthaft zu Schaden. Neben der örtlichen Baustelleneinrichtung wurden die Beistellgeräte, Raupe und Radlader, verschüttet. Der Radlader konnte bis heute nicht geortet werden. Der Radladerfahrer verließ während des Setzungsfließens den Radlader und rettete sich am Seil, welches für den gesicherten Erdbau vorgeschrieben war, in Richtung Trägergerät. Von dort aus wurde der Mitarbeiter von der Bergrettung aus dem Gefahrenbereich gebracht. Zur Beobachtung wurde er für eine Nacht ins Krankenhaus nach Aschersleben eingewiesen.

Glücklicherweise blieb das Trägergerät auf einer kleinen Insel, der Druckzwiebel unter den Fahrwerken, stehen. Durch die Rutschung wurden jedoch Teilbereiche des bereits hergestellten RSV-Dammes (Trasse +103) beschädigt und des RDV-Dammes (Trasse +95) zerstört, so dass kein Fluchtweg mehr vorhanden war.

Wie spätere Lotungen gezeigt haben, wurde der Seeboden durch dieses Ereignis lokal bis zu 20 m angehoben. Die Rückgriffsweite dieses Ereignisses betrug mehrere 100 m. Durch eine Überwachungskamera der LMBV wurde das Setzungsfließereignis aufgezeichnet.



Foto 6: Trägergerät LR 1300 nach der Rutschung



Fotos 7+8: Sicherungsraupe und Teile der Baustelleneinrichtung nach der Rutschung

Vorbereitungsmaßnahmen zur Bergung des Trägergerätes

Nach der Rutschung war allen Beteiligten sofort klar, dass das Trägergerät geborgen werden muss. Ob die Insel unter dem Trägergerät geotechnisch stabil bleibt und welchen Einfluss die Wellen auf die Insel und der Wind auf das Trägergerät haben, war nicht abschätzbar. Nach Durchführung von Erstmaßnahmen, wie die Verwallung von Zufahrten und die Errichtung von Ölbarrieren auf dem Concordia See, wurde gemeinsam ein Bergungskonzept erarbeitet. Für den möglichen Rücktransport musste eine standsichere Rampe aus Sprengstein (umklassifiziertes Material, welches nach der Sprengung aus dem Steinbruch gewonnen wurde) gebaut werden. Das Trägergerät und Festpunkte auf der Insel wurden im gesamten Zeitraum markscheiderisch vermessen.

Die gelieferten Mengen von ca. 27.100 t Sprengstein wurden mit einem Seilbagger, HS 895, im Greiferbetrieb von einem sicheren Standort auf die Böschung gebracht und von einer ferngesteuerten Planierraupe eingebaut, da ein Betreten des Böschungssystems nicht möglich war. Im November 2016 war die Rampe fertig gebaut und die Bergung des Trägergerätes konnte beginnen.

Bergung des Trägergerätes am 17.11.2016

Für die eigentliche Bergung des Trägergerätes waren eine Reihe von vorbereitenden Arbeiten erforderlich. So musste aus Gründen der Sicherheit das Trägergerät auf Fernbedienung umgestellt werden. Die Steuerung des Seilbaggers mit Hilfe einer Fernbedienung stellte für die Gerätefahrer eine besondere Herausforderung dar. Weiterhin mussten die Gerätebatterien getauscht und die Bodenfreiheit des Trägergerätes hergestellt werden. Durch die Rutschung waren die Fahrwerke völlig im Untergrund eingesunken und der Unterboden des Trägergerätes setzte auf der Insel auf.



Foto 9: Trägergerät vor dem Freilegen der Fahrwerke

Um das Gerät wieder bewegen zu können, mussten die Fahrwerke freigelegt und die Bodenfreiheit wiederhergestellt werden. Dafür wurde das Schild der ferngesteuerten Raupe mit einer Stechschaufel umgebaut. Außerdem sollte das Trägergerät zum Anfahren leicht bergab fahren können.



Foto 10: Ferngesteuerte Raupe mit Stechschaufel

Entscheidend bei der Bergung waren die ersten Zentimeter, d. h. der Übergang von der Insel auf den hergestellten Hilfsdamm. Sinken die Fahrwerke beim Anfahren weiter ein? Wie verhält sich die Insel, wenn sich die Auflast durch das Trägergerät ändert? Kommen die Fahrwerke auf die lastverteilenden Elemente? Viele offene Fragen blieben und konnten erst während der Bergung beantwortet werden.



Foto 11: Ferngesteuerte Raupe mit Stechschaufel beim Freilegen der Fahrwerke vom Trägergerät



Foto 13: Stapelschwellen nach der Überfahrt mit dem Trägergerät

Des Weiteren wurden im Übergangsbereich von der Insel zum angeschütteten Damm Holzschwellen als lastverteilende Elemente aufgebracht.

Durch eine konstruktive Zusammenarbeit mit der LMBV, dem Bergamt, dem Planer, der Bauüberwachung, den Bergrettern, der Firma Beuthäuser und der TDE konnte nach umfangreichen Vorbereitungsarbeiten das Trägergerät erfolgreich am 17.11.2016, einen Tag früher als prognostiziert, geborgen werden.



Foto 12: Endabnahme der Rampe und des Trägergerätes vor dem Bergungsbeginn

Dieses Ereignis hat nochmal gezeigt, dass im Bergbau und speziell im Sanierungsbergbau die Anforderungen an die geotechnische Sicherheit zu Recht sehr hoch sind. Auch die Fachkompetenz und Erfahrungen aller Beteiligten, vom Planer bis zum Realisierer, muss den Besonderheiten des Sanierungsbergbaus entsprechen. Diese Voraussetzung zu erfüllen, ist die erste Pflicht, um die Gesundheit aller beteiligten Mitarbeiter zu schützen und letztlich die Sanierung erfolgreich durchführen zu können.

TDE Mitteldeutsche Bergbau Service GmbH

Gegründet 1991 und seit 2007 als TDE Mitteldeutsche Bergbau Service GmbH firmierend, sind wir heute ein zuverlässiger Partner für eine Vielzahl komplexer Bau-Dienstleistungen.

Unsere Vielseitigkeit hat ihren Ursprung in der Braunkohlenindustrie Mitteldeutschlands. Seit 1997 werden nicht nur Leistungen für den Bergbau erbracht, sondern u. a. auch Stahlbrücken gefertigt, Baumaschinen instandgesetzt und Dienstleistungen für den Erd-, Tief- und Wasserbau erbracht.

Mit dem Jahr 2011 kam der Spezialtiefbau hinzu. In kürzester Zeit haben wir uns zu einem kompetenten und zuverlässigen Anbieter entwickelt. Wie in allen anderen Geschäftsfeldern setzen wir auch in diesem Bereich neben dem Einsatz modernsten Equipments auf erfahrene und zuverlässige Mitarbeiter.



**TDE Mitteldeutsche
Bergbau Service GmbH
Leipziger Straße 34A
04571 Rötha
Telefon: +49 34206 743601
E-Mail:
tde@tde-espenhain.de
www.tde-espenhain.de**



Nach der Bergung des Trägergerätes

DIE ANWENDUNG DER TIEFEN SCHONENDEN SPRENGVERDICHTUNG (T-SSPV) IM HAUPTTRUTSCHUNGSKESSEL

Autor: Dipl.-Ing. Kai Reinhardt

ZUSAMMENFASSUNG

Im ehemaligen Tagebau Nachterstedt, im Uferbereich des zukünftigen Concordia Sees, wurde beginnend mit einem Testfeld im Jahr 2016 die Tiefe Schonende Sprengverdichtung (T-SSPV) im Jahr 2018 erfolgreich dazu angewandt, den Untergrund für die erdbautechnische Böschungsanstützung des Haupttrutschungskessels 2009, der vor seiner Sanierung durch eine Steilböschung mit einer Höhe bis ca. 40 m begrenzt war, standsicher herzurichten. Die Schonende Sprengverdichtung diente dazu, die vorhandene Verflüssigungsneigung zu beseitigen und den Baugrund für das nachfolgend zu errichtende Erdbauwerk qualitätsgerecht zu vergüten.

Die Verdichtungstiefen der T-SSPV betragen dabei bis zu 24 m. Die Fläche des Sprengverdichtungsfeldes lag bei ca. 0,8 ha. Im Rahmen der Verdichtungsarbeiten waren insgesamt 235 Sprengbohrlöcher (SBL) herzustellen, mit Sprengstoff zu besetzen und anschließend durch das Zünden der bis zu 4 Teilladungen pro Sprengbohrloch abzuarbeiten. Pro Sprengbohrloch kamen maximal 9 kg Sprengstoff zum Einsatz. Pro Zündvorgang wurden im Regelbetrieb 3 Sprengbohrlöcher (ein Tripol) mit einer Gesamtsprengstoffmenge bis zu 25 kg abgearbeitet. Die maximale tägliche Verdichtungsleistung der T-SSPV lag bei 2 Tripolen bzw. 6 Sprengbohrlöchern pro Tag.

Die Unterschreitung des vorgegebenen kritischen Porenanteils n_{krit} konnte anhand von markscheiderischen Messungen (eingetretene verdichtungsbedingte Geländeabsenkungen) und Drucksondierungen nachgewiesen werden. Es wurden komplexe Auswertungen der während der Sprengverdichtungen gemessenen Porenwasserüberdrücke durchgeführt, die für die Nachweisführung der qualitätsgerechten SSPV-Bemessung und -Durchführung genutzt wurden. Weiterhin erfolgte die Bewertung des Verdichtungsergebnisses anhand innovativer geophysikalischer Messmethoden in Form von seismischen und speziellen geoelektrischen Felduntersuchungen vor und nach der T-SSPV.

EINLEITUNG

Die Sprengverdichtung (SPV) wird seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts weltweit zur Verdichtung von rolligen wassergesättigten Sanden eingesetzt.

Die Zielstellung der Sprengverdichtung besteht in der Beseitigung der Verflüssigungsneigung von wassergesättigten Sanden sowie in der Baugrundvergütung. Die SPV wurde international insbesondere im Zusammenhang mit großen Wasser-, Verkehrs- und Deponiebauvorhaben zur Anwendung gebracht.

National erfolgte der Einsatz der Sprengverdichtung seit den 1980-er Jahren vor allem in der Lausitzer und Mitteldeutschen Braunkohlentagebausanie rung. Speziell um die sprengtechnischen Erschütterungswirkungen auf die an die ehemaligen Tagebaugebiete angrenzenden Ortschaften zu minimieren, wurde in den Jahren 2011 bis 2013 die „normale“ Sprengverdichtung im Rahmen von realisierten Großversuchen und wissenschaftlich-technischen Untersuchungen zur Schonenden Sprengverdichtung (SSPV) weiterentwickelt. Seitdem kommt die SSPV im Sanierungsgebiet der LMBV im Regelbetrieb zum Einsatz.

TECHNOLOGIE DER SSPV GRUNDZÜGE DER SSPV

Im Wesentlichen ist die Schonende Sprengverdichtung durch die folgenden Arbeitsschritte charakterisiert:

- Abteufen der Sprengbohrlöcher (SBL)
- Einbau der Sprengladungen in die hergestellten Bohrlöcher unterhalb des GW-Spiegels
- Zündung der Sprengladungen

Die Verdichtung der zu verbessernden wassergesättigten Sande erfolgt durch die lokale Freisetzung der Explosionsenergie und den sich anschließenden Verflüssigungsprozess (Aufschwimmen und Wiederablag erung der Sandkörner in einer dichteren Lagerung als vor der SSPV).

ANWENDUNG UND BEMESSUNG DER SSPV

Im Frühjahr 2016 wurden im Bereich der Böschungsbewegung 07/2009 Verdichtungstests der SSPV realisiert. Die SSPV wurde dabei in zwei Testbereichen (Haupttrutschungskessel und östliche Rutschungsflanke) ausgeführt. Die getesteten Verdichtungs raster bestanden aus gleichseitigen Dreiecksanordnungen. Der Abstand der Sprengbohrlöcher im Testbetrieb betrug 9 m, 12 m, 15 m und 20 m.

Im Ergebnis der Testauswertung wurde für den Regelbetrieb der SSPV in Nachterstedt ein Rastermaß bzw. Sprengbohrlochabstand von 7,5 m gewählt, um den als Verdichtungsziel vorgegebenen kritischen Porenanteil von $n_{krit.} = 0,40$ zu unterschreiten.

Zur Verdichtung des Untergrundes im Haupttrutschungskessel wurde die Tiefe Schonende Sprengverdichtung (T-SSPV) gewählt. Die oberflächennahe Schonende Sprengverdichtung (On-SSPV), deren Verdichtungstiefe auf ca. 9 m unter Geländeoberfläche begrenzt ist, bot sich unter Berücksichtigung der im Nachterstedter Rutschungsbereich vorliegenden speziellen Randbedingungen und der bestehenden Aufgabenstellung nicht als Lösung an.

Die geotechnische und technologische Situation im Bereich des Verdichtungsfeldes, vor bzw. während des Regelbetriebs der T-SSPV, wird durch den Arbeitsschnitt AS 51/2017 veranschaulicht, siehe nachfolgende Abbildung 1.

Das Grundwasser stand im Bereich des Verdichtungsfeldes zwischen ca. +85 m NHN ... +87 m NHN an, was einem mittleren Grundwasserflurabstand von ca. 3 m entsprach.

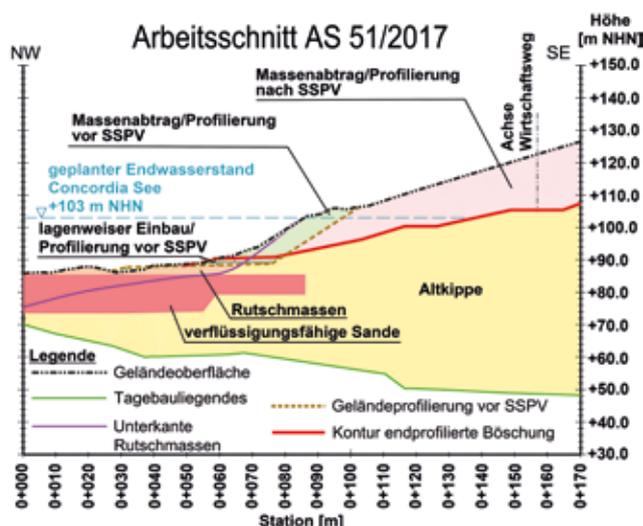


Abb. 1: Arbeitsschnitt AS 51/2017, die zu verdichtenden verfüssigungsfähigen Sande und das angrenzende Böschungssystem sind dargestellt

Die Tiefe Schonende Sprengverdichtung (T-SSPV) wird bei Verdichtungstiefen von etwa 9 m ... 35 m und Grundwasserflurabständen von $h_{erdf.} \geq 2$ m angewandt. Es sind auch größere Bohr- und Verdichtungstiefen möglich. Für die Herstellung der Sprengbohrlöcher kamen selbstfahrende maschinelle Bohrgeräte mit einer Masse von $m \approx 3$ t ... 15 t zum Einsatz. Ein solches Gerät zeigt Foto 1.



Foto 1: Bohrgerät der T-SSPV im Haupttrutschungskessel Nachterstedt 06/2019

Bei der realisierten T-SSPV wurden folgende Parameter bemessen:

- Gesamtladungsmenge pro Sprengbohrloch (SBL)
- Anzahl und Größe der Teilladungen pro Bohrloch
- Einbautiefe der Teilladungen
- Reichweite der Sprengverdichtungswirkung
- Rasterart und Rastermaß (lagemäßige Anordnung der Sprengbohrlochansatzpunkte)
- Anzahl der in einem Zündvorgang abzuarbeitenden Sprengbohrlöcher (SBL pro Sprenggruppe)
- zeitliche Staffelung (Zeitverzögerungen) für die Zündung der Sprengladungen innerhalb eines Bohrloches und zwischen den Bohrlochern

Auf die Bemessung und das Ergebnis der SSPV haben die Mächtigkeit der erdfeuchten Überdeckung (Grundwasserflurabstand) sowie die Höhe der zu verdichtenden Schicht einen wichtigen Einfluss.

Bei der T-SSPV wurden bis zu 4 Teilladungen pro Bohrloch eingebaut. Die Gesamtladungsmengen im Bohrloch betragen 1 bis 9 kg, die auf Teilladungsmassen von 1 bis 3,5 kg aufgeteilt wurden. Es kam patronierter, gelatinöser Industriesprengstoff mit einer spezifischen Energie von ca. 1000 kJ/kg (± 100 kJ/kg) zum Einsatz.

Die Zündzeitverzögerungen, mit der die einzelnen Sprengladungen innerhalb und zwischen den Sprengbohrlöchern zur Detonation gebracht wurden, bewegten sich zwischen 0,1 s und 5 s. In einem Zündvorgang wurden jeweils 3 Sprengbohrlöcher (ein SSPV-Tripol) abgearbeitet. Es wurden elektronische Sprengzünder und programmierbare Zündgeräte verwendet.

Die Sprengerschütterungen der SSPV wurden durch angepasste Sprengladungsdimensionierungen und Zündzeitoptimierungen so gesteuert, dass keine unzulässigen Schwingungsbelastungen für in der Nähe befindliche bauliche Anlagen und Gebäude auftraten. Zur Überwachung der Sprengverdichtungsarbeiten und der dabei auftretenden Erschütterungen wurden seismische Messungen und Schwingungsmessungen nach DIN 4150 im Bereich der Bruchkesselböschung und in Annäherung an die Wohnbebauung der Ortslage Nachterstedt durchgeführt. Priorität bei der Dimensionierung der T-SSPV hatten die Erreichung des Verdichtungsziels und die Vermeidung einer Rutschung im Bereich der Bruchkesselböschung. Wichtige Schutzobjekte stellten die im Böschungsbereich verlaufenden Transporttrassen und Zufahrtswege sowie bereits hergestellte Erdbauwerke (Anstützung des Hauptrutschungskessel West) dar. Es wurden umfangreiche und komplexe Standsicherheitsberechnungen durchgeführt, um die Standsicherheit der Bruchkesselsteilböschung auch für den Zeitpunkt der Sprengverdichtung (Zündung der Sprengladungen) zu gewährleisten bzw. nachzuweisen.

Die vorgenommene Bemessung der SSPV und das Zutreffen der durchgeführten Standsicherheitsberechnungen wurden im Rahmen der praktischen Bauausführung mit Erfolg nachgewiesen. Die Umsetzung der Sprengverdichtungsmaßnahme war durch einen planmäßigen und reibungslosen Ablauf sowie das Erreichen des Sanierungsziels gekennzeichnet.

DRÄNAGEN ZUR ABFÜHRUNG DER PORENÜBERDRÜCKE

Bei der Sprengverdichtung entstehen systemimmanent Porenüberdrücke (Porenwasser- und Porengasdrücke). Diese können mittels Perforationen bzw.

Dränagen gezielt abgeführt sowie hinsichtlich ihrer radialen Ausdehnung eingedämmt werden [1]. Die Installation solcher Porendruckbarrieren erfolgt zur großemäßigen Begrenzung der beim Verdichtungsprozess entstehenden Verflüssigungszone, in der Nähe zu schützender Objekte.

Hinsichtlich ihrer Ausbauf orm können die Perforations- bzw. Dränageelemente wie folgt klassifiziert werden, siehe auch Abbildung 2:

- 1) **Sollausbruchsstelle** in der erdfeuchten Deckschicht, meist als unverrohrtes Bohrloch
- 2) **unvollkommene Dränage**, die mit Dränagerohr verbaute Bohrung reicht bis in die zu verdichtende wassergesättigte Schicht hinein, sie wird jedoch nicht bis zur Basis der verflüssigungsfähigen und zu verdichtenden Schicht geführt
- 3) **vollkommene Dränage**, prinzipiell vergleichbare Ausführung wie bei 2), der Ausbau der Bohrung erfolgt jedoch über die komplette Höhe der zu verdichtenden Schicht

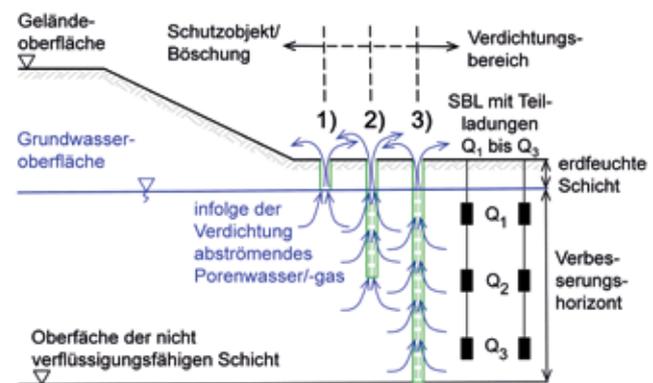


Abb. 2: Technische Elemente für den Porendruckabbau während der Sprengverdichtung

Für die T-SSPV in Nachterstedt stellte das angrenzende, nahezu im erdstatischen Grenzgleichgewicht stehende Bruchkesselböschungssystem mit einer Höhe bis ca. 40 m das relevante Schutzobjekt dar. Es kamen vollkommene Dränagen zum Einsatz. Der Abstand der Dränagen betrug untereinander 3,5 m. Sie waren linienartig, in ca. 2 m ... 90 m Entfernung zu der zu schützenden Böschung angeordnet. Der minimale Abstand der Dränagebohrungen zu den Sprengbohrlöchern der T-SSPV lag bei ca. 2,8 m.

VERDICHTUNGSKONTROLLE MONITORING DER SSPV

Im Rahmen der Nachterstedter T-SSPV wurden die folgenden Messungen durchgeführt:

Hydraulische Messungen (Porenwasserdrücke)

- Messung der verdichtungsbedingt aufgetretenen Porenwasserüberdrücke, das Verhältnis von Porenwasserüberdruck und wirksamer Vertikalspannung ($r_u = \Delta u / \sigma'_v$) wurde zur Bewertung des Verdichtungsergebnisses herangezogen.
- Messungen in Grundwassermessstellen, die aufgetretenen Grundwasseranstiege korrelierten mit den gemessenen Porenwasserüberdrücken

Beim Vorliegen verflüssigungsfähiger Sande und Abständen der Messgeber zum SBL von 5 m ... 15 m konnte eine vollständige Verflüssigung ($r_u = 100\%$) festgestellt werden, was als Beleg für die korrekte SSPV-Bemessung und die gute Verdichtungswirkung der T-SSPV anzusehen war.

Seismische Messungen

- Messungen von Schwinggeschwindigkeiten und Beschleunigungen, Analyse der auftretenden Frequenzen, Nutzung von Amplitudenspektren und Spektrogrammen um die Art, Größe und „Effizienz“ des Verdichtungsvorgangs zu bewerten
- Erschütterungsmessungen nach DIN 4150, Teil 2 und 3, in und an Gebäuden sowie baulichen Anlagen, um die auftretenden sprengtechnischen Erschütterungseinwirkungen zu minimieren bzw. die Zündtechnologie zu steuern

In einer Entfernung $x \geq 125$ m ... 140 m zu den T-SSPV-Tripolen wurden Schwinggeschwindigkeiten $v_{\text{Schwing}} < 5$ mm/s gemessen. Die maximale Schwinggeschwindigkeit von $v_{\text{Schwing, max}} = 15$ mm/s wurde in einem Abstand von 64 m zu einem SSPV-Tripol festgestellt.

Die maximale gemessene Schwingbeschleunigung mit $a_{\text{max}} \approx 52$ mm/s² trat in 5,8 m Entfernung zu einer abgearbeiteten Sprenggruppe auf. Ab einer Entfernung von $x > 100$ m lagen die bei der T-SSPV aufgetretenen Beschleunigungswerte in einem Niveau von ca. $a \approx 1,25$ mm/s². Bei Abständen $x > 180$ m ... 200 m zur Sprengverdichtung waren Beschleunigungswerte in einer Größenordnung von ca. $a \leq 0,41$ mm/s² zu verzeichnen.

FELD- UND LABORUNTERSUCHUNGEN

Auf Basis der nachfolgend aufgeführten Untersuchungen, erfolgte die Bewertung der erreichten Verdichtungsqualität.

Geotechnische Feld- und Laboruntersuchungen

- Durchführung von Vor- und Nachsondierungen (Drucksondierungen)
- Probenahme aus Kleinrammbohrungen zur Bodenklassifikation und Durchführung von Laborversuchen (Ermittlung materialbeschreibender Kennzahlen)

Aus der Abbildung 3 geht der in den rollig aufgebauten Kippenschichten (Teufenhorizonte mit gelb gefärbter Reibungsverhältniskurve) erzielte Verdichtungseffekt anhand des Vergleichs von Drucksondierungen, die vor (DS 203/14) und nach der T-SSPV (DS 1068/18) im Bereich des SSPV-Tripols Nr. 11 (Ansatzpunkte siehe Abbildung 4) durchgeführt wurden, hervor.

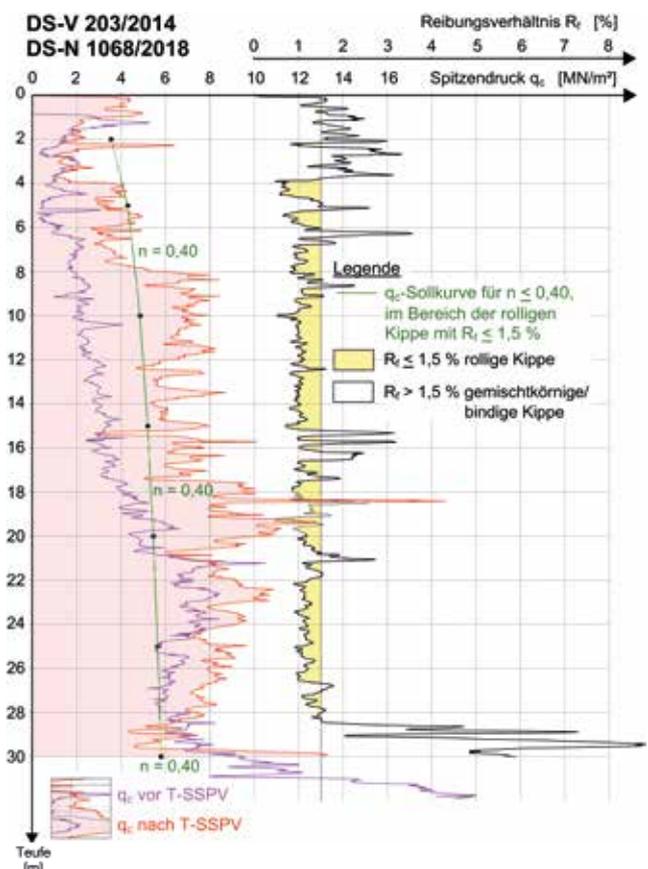


Abb. 3: Vergleich einer Vor- (DS-V 203/2014) und Nachsondierung (DS-N 1068/2018) im Bereich des SSPV-Tripols Nr. 11



Foto 2: Sprengbohr- und Perforationsbohrlöcher am östlichen Rand der Sprengfeldfläche

**BIUG Beratende Ingenieure
für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH**
Freiberg – Senftenberg – Zeitz



Die BIUG GmbH ist ein mittelständisches, inhabergeführtes Ingenieurunternehmen mit 30-jähriger Erfahrung auf den Gebieten Geotechnik, Altlastensanierung und Umweltschutz, Deponiebau, Hydrogeologie, Bodenmechanik und Grundbau, Bergbau, Gewinnung von Roh- und Werkstoffen sowie Altbergbausanierung. Hochqualifizierte Ingenieure und Naturwissenschaftler - darunter 6 Sachverständige für Geotechnik bzw. Böschungen sowie 1 ö.b.u.v. Sachverständiger für Erd-, Grund- und Felsbau - bearbeiten Projekte für öffentliche Auftraggeber, Firmen und private Bauherrn.

**BIUG Beratende
Ingenieure für Umwelt-
geotechnik und
Grundbau GmbH**
Weisbachstraße 6,
D-09599 Freiberg
Tel.: +49 (0)3731 26010
Fax: +49 (0)3731 260123
info@biug-geotechnik.de
www.biug-geotechnik.de

Literatur/Quellen:

[1] BIUG GmbH und LMBV mbH (2014) Handlungsempfehlung für eine „Schonende Sicherung der Kippe mittels Sprengverdichtung“ (unveröffentlichter, interner Bericht), Freiberg

[2] Interne Berichte und Planungsunterlagen der LMBV, erstellt unter Mitwirkung von CDM Smith AG, GUB Ingenieur AG und BIUG GmbH, 2015 bis 2018

INNOVATIVES SICHERUNGSKONZEPT FÜR DIE „ALTABLAGERUNG SCHWELEREIRÜCKSTÄNDE“

Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Maik Harles, Dipl.-Hydrol. Wieland Philipp

EINLEITUNG

Bei Sanierungsarbeiten zur Erstellung eines Rüttel-druckverdichtungs-Dammes (RDV-Dammes) im Bereich der Südböschung am Concordia See wurden 2007 bis dato unbekannte Schadstoffe angetroffen. Die im Anschluss durchgeführten umwelt-technischen Untersuchungen (orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung) ergaben Kontaminationen durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), monoaromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), Kohlenwasserstoffe (KW) und Alkylphenole, die mit den anfallenden und verkippten Schwelwässern der ehemaligen Braunkohleveredelung in Verbindung zu bringen sind. Der kontaminierte Bereich wird daher im Weiteren als „Altablagerung Schwelereirückstände“ bezeichnet.

Auf Grund der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde die Diskussion eines ersten Sanierungskonzeptes mit den zuständigen Behörden seinerzeit nicht beendet. Von der Böschungsbewegung von 2009 war auch ein Teil der „Altablagerung Schwelereirückstände“ betroffen, da der entstandene Rutschungskessel unmittelbar östlich an diesen Bereich anschließt.

Nach den grundlegenden Erkundungsarbeiten für die Ursachenermittlung der Böschungsbewegung wurde im Jahr 2013 auch die Altlastenbearbeitung wieder aufgenommen. Nach Auswertung der vorliegenden Erkenntnisse von vor 2009 wurde entschieden, weitere Erkundungsarbeiten durchzuführen, um die ablaufenden hydrogeologischen, hydrochemischen und limnologischen Prozesse besser verstehen zu können und auf Basis dessen eine begründete Gefährdungsabschätzung der Altablagerung Schwelereirückstände zu erarbeiten.

GEOTECHNISCHE, GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Der Bereich der Altablagerung liegt im südlichen Bereich des Concordia Sees und ist im Lageplan im Anhang als Sanierungsabschnitt III gekennzeichnet. Er wird östlich und westlich durch die Böschungsbewegungen von 2009 und 2016 eingegrenzt. Im Uferbereich war durch die Rutschung von 2009 ein Kliff von bis zu 7 m Höhe entstanden. Als geotechnische Baumaßnahme ist geplant, den Bereich durch eine Rüttelstopfmaßnahme zu sichern und anschließend durch eine Aufschüttung abzudecken. Anschließend erfolgt im Uferbereich der Auftrag einer 1,5 m mächtigen Steinschüttung.

Die Altablagerung befindet sich im Bereich einer Alt- und Stützkippe, welche eine ungeordnete Wechsellaagerung bestehend aus Fein- und Mittelsanden sowie Kohle mit eingelagerten kleinräumigen Ton- und Schluffhorizonten darstellt. Im Liegenden der Kippe befinden sich die Reste der abgebauten Braunkohleflöze, die im Untersuchungsgebiet flächendeckend verbreitet sind. In einigen Bereichen der Flöze sind noch verwarhte und teilverwarhte Altbergbauauffahrungen vorhanden.

Der Bereich der Altablagerung wird hydrogeologisch durch den im Norden liegenden und in Flutung befindlichen Concordia See mit einem Seewasserstand während der Bearbeitung von ca. + 84,5 m NHN und Grundwasserständen südlich der Altablagerung von ca. + 90/91 m NHN charakterisiert. Folglich durchströmt das Grundwasser den Bereich der Altablagerung von Süd nach Nord in Richtung Concordia See. Gemäß den vorliegenden Planungsunterlagen und den hydrogeologischen Berechnungen wird sich die prinzipielle Grundwasserströmungsrichtung vom Hinterland in Richtung See während der

Flutung aber auch im stationären Endwasserzustand nicht ändern. Die Altablagerung selbst befindet sich bei einem aktuellen Wasserstand von ca. + 84,5 m NHN zum Teil in der gesättigten und zum Teil in der ungesättigten Bodenzone und wird perspektivisch komplett durch Grundwasser mit steigendem See-wasserstand eingestaut.

ERMITTLUNG DER QUELLTERME UND DEREN VERTEILUNG IM UNTERGRUND

Datengrundlage für die in den Jahren zwischen 2007 und 2009 erstellten Unterlagen der Orientierenden Untersuchung, der Detailerkundung und der daraus abgeleiteten Sanierungskonzeption waren historische Recherchen zur Entstehung der Altablagerung sowie Feld- und Laboruntersuchungen. Dabei wurden zahlreiche Schürfe, Rammkernsondierungen, Kernbohrungen und Schneckenbohrungen durchgeführt sowie Grundwassermessstellen errichtet. Aus den Aufschlüssen wurden Boden-, Wasser- und Sedimentproben gewonnen und im Labor untersucht. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde festgestellt, dass die angetroffene Kontamination durch die Schadstoffparameter PAK, KW, BTEX (insbesondere Benzol), Alkylphenole und Phenol charakterisiert ist und die Schadstoffe innerhalb der Kippe inhomogen mit punktuellen Aufkonzentrationen in schluffigen, tonigen und kohlehaltigen Einlagerungen verteilt sind.

Für die Bearbeitung der vor 2009 erstellten Unterlagen wurden die Ergebnisse der Detailerkundung in das bereits für andere Fragestellungen verwendete Grundwasserströmungsmodell aufgenommen, um den Schadstofftransport im Grundwasser berechnen zu können. Dabei wurde ausschließlich der Summenparameter PAK berücksichtigt, da die Datengrundlage für eine hinreichend genaue Abgrenzung der Schadstoffquelle und der Schadstofffahne für die anderen Parameter nicht gegeben war. Darüber hinaus fehlten für eine belastbare Schadstofftransportmodellierung standortspezifische Parameter des Schadstoffabbaus und der Retardation.

Durch den Modellbearbeiter wurde für eine belastbare Schadstofftransportmodellierung weiterer Unter-

suchungsbedarf durch den Bau von zwölf Grundwassermessstellen angezeigt. Darüber hinaus waren für die Modellkalibrierung längere Zeitreihen der Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen an den Grundwassermessstellen erforderlich.

Mit der Wiederaufnahme der Bearbeitung nach der Böschungsbewegung von 2009 wurde unter Beachtung der vorliegenden Erkenntnisse sowie auf Grundlage der Anforderung des Modellbearbeiters ein Untersuchungskonzept zur weiteren Erkundung der hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse als Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan (ABP) im Jahr 2014 eingereicht. Im Rahmen der Erkundungsarbeiten zur Umsetzung der Ergänzung zum ABP wurden 22 Erkundungsbohrungen an elf Bohrstandorten abgeteuft und 21 Grundwassermessstellen errichtet. In der Regel wurde an einem Bohrstandort eine Stammbohrung (geologisches Erkundungsziel Kippenbasis), zur Gewinnung gekernter und ungestörter Bodenproben und eine Nebenbohrung ausgeführt. Die Bohrungen wurden anschließend als Grundwassermessstellen (Beschaffenheitsmessstellen) für die Gewinnung von qualifizierten Grundwasserproben ausgebaut. An den ungestörten Bodenproben wurden im Labor die Schadstoffkonzentrationen am Feststoff zur Untersuchung der Schadstoffverteilung bestimmt. Weitere Bodenproben, welche an den Nebenbohrungen gewonnen wurden, waren Grundlage für die Untersuchungen zur Schadstofffreisetzung (s. Folgekapitel). Des Weiteren wurden zur Verifizierung der in den Voruntersuchungen 2008/2009 ermittelten Eluatgehalte, an ausgewählten Proben die Konzentrationen der Prioritätskontaminanten MKW, BTEX, PAK, Phenole/Alkylphenole auch im „klassischen“ Eluat analysiert.

Bereits in den Unterlagen aus den Jahren 2008/2009 wurde neben der Kontaminationsquelle in der Kippe postuliert, dass eine weitere Kontaminationsquelle an der Basis des Kippengrundwasserleiters, d. h. am unterlagernden Braunkohlenhorizont, existiert. Mit den neuen Untersuchungen waren die Aussagen zur Schadstoffverteilung innerhalb der Kippe (inhomogene Verteilung mit lateral kleinräumig abgegrenztem Kontaminationskörper) weiter zu verifizieren und gleichzeitig auch der unterlagernde

Braunkohlenhorizont (Flöz Ilu) eindeutig als offensichtlich flächenhaft verbreiteter Kontaminationskörper auszuhalten. Die Beladung dieses Braunkohlenhorizontes erfolgte dabei, unter Verweis auf die Ergebnisse einer parallel durchgeführten vertieften historischen Recherche, über den Sickerwassereintrag im Top der Braunkohle, wo unter dem Einfluss des vorlaufenden Bruchfeldbergbaus eine unregelmäßige Oberfläche („Trichterbildung“ und Auflockerungsbereiche) entstand. Weitergehend lagen Hinweise vor, wonach über eine Bohrung auch eine direkte Einleitung der betrieblichen Abwässer aus der Schwelerei in die aufgelassenen untertägigen Auffahrungen stattfand und damit auch über diesen Weg eine Beladung des Braunkohlenhorizontes erfolgte.

Zur Abklärung eines Einflusses der Schadstoffbelastung des Braunkohlenhorizontes auf den unterlagerten Grundwasserleiter 6.3 wurde der Ausbau von zwei Grundwassermessstellen auch im Grundwasserleiter 6.3 umgesetzt.

Im Ergebnis der im Rahmen der Ergänzung zum ABP erfolgten Auswertung der Bohrungen und Laboruntersuchungen ließen sich drei Quellterme aushalten, welche für die Schadstofffreisetzung und den über das laufende Grundwassermonitoring nachweisbaren altlastenbedingten Grundwasserschaden maßgeblich sind. Die drei Quellterme selbst wurden dabei wie folgt charakterisiert und sind in Abbildung 1 schemenhaft grafisch dargestellt

Quellterm 1: Ablagerungen in der Kippe, Vorkommen und Größe stark differierend

Quellterm 2: Braunkohlenhorizont mit flächenhafter Freisetzung von Schadstoffen in den GWL Kippe über den Kontaktbereich Braunkohle-Kippe

Quellterm 3: Eintrag über Kopplungsbereiche von verwahrten bzw. auch teilverwahrten Altbergbauauffahrungen (Strecke, Schächte), über welche mit diffusen Schadstoffeinträgen zu rechnen ist; hier Befrachtung des GWL Kippe als auch des GWL 6.3 möglich, räumlich schwer abgrenzbar und Freisetzungsraten schwer bilanzierbar

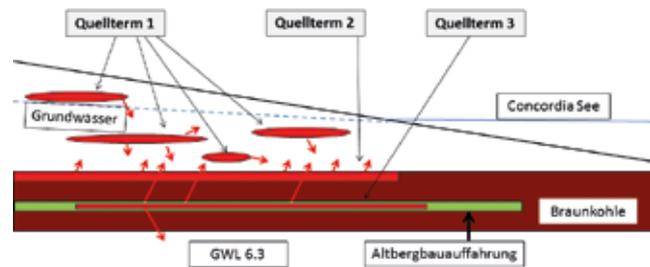


Abb. 1: Schematische Darstellung der drei Quellterme (Quellterm 1: Kippe, Quellterm 2: Top des Braunkohleflözes, Quellterm 3: Altbergbauauffahrungen) der „Ablagerung Schwelereirückstände“ im Tagebaurestloch Nachterstedt

Als Voraussetzung bzw. als Eingangsgröße für das Schadstofftransportmodell zur Berechnung der Ausbreitung der Schadstofffahne im Grundwasser und zur Quantifizierung des Schadstoffeintrags in den Concordia See wurden die drei Quellterme für die Prioritätskontaminanten bzw. die Leitparameter dreidimensional interpoliert.

Einschub Leitparameter:

Als Leitparameter, die gleichermaßen als Stellvertreter für eine Stoffgruppe zu betrachten sind, wurden unter Beachtung der räumlichen Ausbreitung des altlastenbedingten Grundwasserschadens bzw. deren Konzentrationen, der Exposition des Oberflächengewässers und der Mobilitäts- und Toxizitätsdaten festgelegt:

- **Dimethylphenol & Trimethylphenol** (beide charakterisieren die Stoffgruppe Phenol und Alkylphenole),
- **Benzol** (charakterisiert die Stoffgruppe der monoaromatischen Kohlenwasserstoffe),
- **Naphthalin** (charakterisiert die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe).

Für die Interpolation wurde das Softwareprogramm GMS (Groundwater Modeling System) verwendet. Dabei dienten insbesondere die vor und nach 2009 analysierten Eluatkonzentrationen als Stützstellen für das dreidimensionale Quelltermmodell. Auf Grund des insbesondere schwierig zu bilanzierenden Austrags des Quellterms 3, aber auch auf Grund der inhomogenen Verbreitung der Kontamination in der Kippe (Quellterm 1) wurden die Quellterme im Abgleich mit den Ergebnissen des Schadstofftransportmodells iterativ interpoliert. Hierfür erfolgte eine „inverse

Modellierung“ bzw. eine Verifikation der interpolierten Eluatwerte (Quellterme) durch die im Modell berücksichtigten Grundwasseranalysen. Am Beispiel Dimethylphenol ist das Ergebnis der dreidimensionalen Modellierung für den Quellterm 1 in der Abbildung 2 dargestellt.

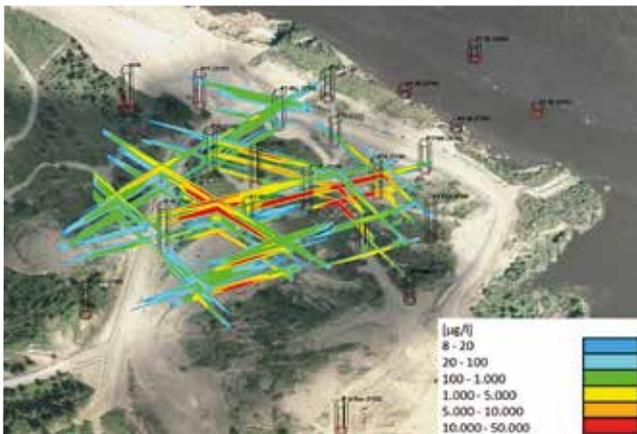


Abb. 2: Ergebnis der Interpolation des Quellterm 1 für die Dimethylphenole, Luftbild auf Kippenbasis drapiert (Quelle: IBGW GmbH)

ERMITTLUNG UND VERSTÄNDNIS DER ABLAUFENDEN PROZESSE BEI DER SCHADSTOFFAUSBREITUNG

Die Entwicklung einer konzeptionellen Modellvorstellung für die relevanten ablaufenden Prozesse im Bereich der Altablagerung und der daraus abgeleiteten physikalisch begründeten Schadstofftransportmodellierung machten es erforderlich, die Grundwasserdynamik und das Transport- und Abbauverhalten der Schadstoffe zu verstehen. Hierfür wurden umfangreiche Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Eluierbarkeit, zur Retardation und zum mikrobiellen Abbau sowohl im Grundwasser als auch im Seewasser durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Versuchsreihen und der Ergebnisse sind der Unterlage zu entnehmen. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Quelltermuntersuchungen:

- Quellterm 1 ergab nur für die Phenole und Alkylphenole eine hohe Eluierbarkeit, BTEX, PAK und MKW zeigten trotz hoher Feststoffkonzentrationen nur geringe bis sehr geringe Eluierbarkeit → beständige Schadstoffquelle mit geringem Austrag

- Quellterm 2 ergab für die Alkylphenole eine hohe Eluierbarkeit, BTEX und PAK zeigten geringe Eluierbarkeit → beständige Schadstoffquelle mit geringem Austrag. Die Konzentrationen von MKW lagen bei den Feststoff- und Wasseranalysen unter der Bestimmungsgrenze, folglich konnte hierzu keine Aussage getroffen werden.

Migrationsparameter

(mikrobieller Abbau und Retardation):

- In Abhängigkeit des TOC-Gehaltes erfolgreiche Bestimmung der standortspezifischen Retardationskoeffizienten.

Mikrobieller Abbau im Grund- und Seewasser

- Grundwasser: Di- und Trimethylphenole zeigten typische Abbaufunktionen erster Ordnung. Die Summe der Alkylphenole wurde während der Versuchszeit (6 Monate) zu ca. 57 % abgebaut. Abbauraten der Dimethylphenole liegen leicht über denen der Trimethylphenole. Nach 4 Monaten waren die PAK fast vollständig abgebaut. Für die BTEX war innerhalb der ersten zwei Monate ein deutlicher Abbau erkennbar, nach 4 Monaten lagen die Konzentrationen konstant zwischen 10 bis 20 µg/l.

- Seewasser: Die Versuche zeigten, dass unter aeroben Bedingungen (Seewasserkörper) deutlich höhere Abbauraten ermittelt wurden. Schon nach einer Versuchszeit von 30 Tagen lagen bei allen untersuchten Schadstoffen die Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenze. Die parameterspezifisch ermittelten Halbwertszeiten lagen im Bereich von etwa 4 - 10 Tagen.

Für die Bestimmung der Schadstoffgehalte im Grundwasser und für Messungen der Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet standen insgesamt 25 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Davon sind 23 Grundwassermessstellen in der Kippe im unteren und im oberen Bereich des anstehenden Grundwassers ausgebaut und zwei Grundwassermessstellen im GWL 6.3. Für die Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells wurden weitere Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet des Concordia Sees hinzugezogen. Mit Hilfe des bestehenden Messnetzes ließ sich die Schadstofffahne im Grundwasser hinreichend genau eingrenzen.

Die mit dem Schadstofftransportmodell berechnete Schadstoffverteilung zum Zeitpunkt der Erstellung der Gefährdungsabschätzung ist beispielhaft am Leitparameter Dimethylphenole in der Abbildung 3 dargestellt.

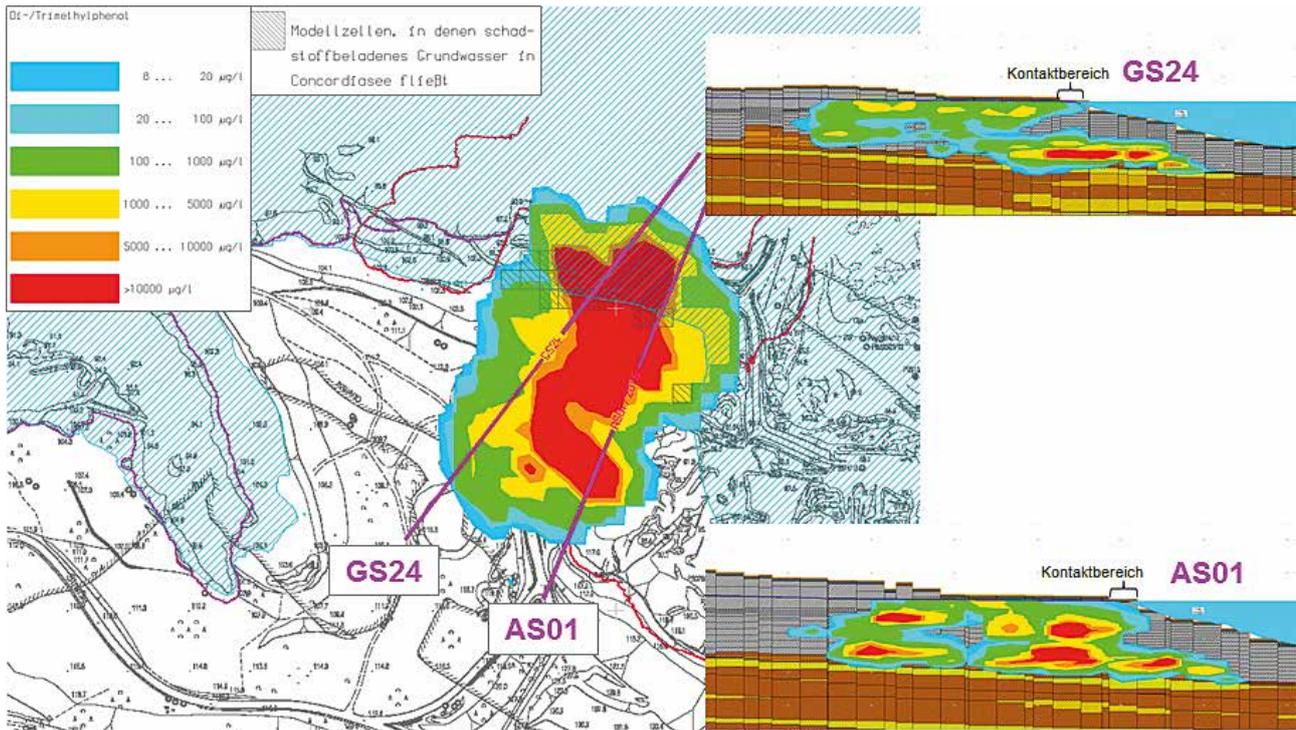


Abb. 3: Berechnete Verteilung Dimethylphenole (Quelle: IBGW GmbH)

GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Für die Altlastenverdachtsfläche waren unter Beachtung der bereits in 2008 vorgenommenen ersten Gefährdungsabschätzung, der aktuellen Untersuchungen zur Schadstoffverteilung (Boden, Grundwasser) und Schadstofffreisetzung sowie der Umsetzung der geotechnischen Sicherungsmaßnahmen (Sicherung der Kliffbildung im Uferbereich) für die Bewertung der aktuellen und künftigen Situation die folgenden Ausbreitungspfade relevant:

- Wirkungspfad Boden – Grundwasser
- Wirkungspfad Grundwasser – Oberflächenwasser (- Mensch)

Unter besonderer Beachtung der in Umsetzung des geotechnischen Sicherungskonzeptes aufzubringenden Aufschüttung im Uferbereich (Überdeckung) sowie der im seeseitigen Böschungsbereich vorgesehenen

Steinschüttungen waren folgende Wirkungspfade für eine Gefahrenbewertung nicht relevant:

- Boden – Mensch**
Ein direkter Kontakt zwischen kontaminierten Bodenbereichen war unter Beachtung der in der BBodSchV [U 1] definierten Kontaktbereiche (Tiefen) für orale und dermale Schadstoffaufnahmen (maximal 0,35 m) nach Auftrag der Aufschüttung bzw. der Steinschüttungen ausgeschlossen und eine Exposition des Menschen über diesen Wirkungspfad dementsprechend nicht gegeben.
- Boden – Nutzpflanze**
Ausgehend von den nach BBodSchV [U 1] definierten Hauptwurzelbereichen bzw. Bearbeitungshorizonten (max. 0,6 m unter GOK) leitet sich unter Beachtung der in Mächtigkeiten von flächenhaft mehr als 1 m aufzutragenden Aufschüttung ebenfalls keine Gefährdung über diesen Pfad ab

bzw. war dieser Pfad im Bereich der seeseitigen Böschung mit der dortigen Schüttung von Wasserbausteinen nicht relevant.

- c) Boden – Bodenluft – Atmosphäre (- Mensch)
 Aufgrund der flächenhaft in mehr als 1 m Mächtigkeit aufzubringenden Überdeckung, der Tiefenlage der ermittelten Hauptbelastungsbereiche sowie der bereits aus bekannten Untersuchungen zur Bodenluft war eine öffentlich-rechtlich relevante Gefährdung über diesen Pfad nicht zu erwarten.

Das Ausmaß der aktuellen und künftigen Grundwasserunreinigung ist anhand der Konzentration, der Geringfügigkeitsschwellenwerte der entsprechenden Leitparameter sowie der betroffenen Flächen mit den aktuellen Grundwasseruntersuchungen belegt und für den künftigen stationären Zustand mit Hilfe des Schadstofftransportmodells berechnet. Bezüglich der festgelegten Normen differenziert die OGeWV [U 2] zwischen der Bewertung von Einzelwerten (zulässige Höchstkonzentration) und Durchschnittswerten (Jahresdurchschnittswerte). Unter Beachtung der methodischen Herangehensweise waren die im konkreten Fall festzulegenden Schwellenwerte an den Jahresdurchschnittswerten auszurichten.

Demzufolge wurden gemäß den Jahresdurchschnittswerten der OGeWV von 2016 [U 2] für **Benzol** ein Schwellenwert von **10 µg/l** und für **Naphthalin** ein Schwellenwert von **2 µg/l** festgelegt.

Die für die Altablagerung Schwelereirückstände abgeleiteten Leitparameter Dimethylphenole (bestehend aus 6 Einzelverbindungen) und Trimethylphenole (bestehend aus 4 Einzelverbindungen) existieren derzeit keine entsprechenden Richt- oder Orientierungswerte. Unter Berücksichtigung aktueller Untersuchungen [U 3, U 4] war für die Einzelstoffe der Dimethylphenole und der Trimethylphenole von einer grundsätzlich mit dem Einzelstoff Phenol vergleichbaren Stoffgefährlichkeit auszugehen. Der Geringfügigkeitsschwellenwert für das Grundwasser gemäß LAWA-Richtlinie [U 5] wird mit 8 µg/l angegeben, weshalb auch für die anderen Einzelstoffe der Alkylphenole ein solcher Wert angesetzt wurde. Als Leitparameter wurden die Summen der Hauptgruppen Dimethylphenole und Trimethylphenole definiert, was es erforderlich machte, einen Schwellenwert für jede der beiden Hauptgruppen abzuleiten. Da auch geringe Gehalte an

stärker toxischen Einzelsubstanzen bestimmend für die Toxizität von Di- und Trimehtylphenolen sein können, sollte der Wert für die sensitivste Einzelsubstanz auch bestimmend für die Bewertung der Hauptgruppe sein. Im konkreten Fall wurden dementsprechend die nachfolgenden Schwellenwerte abgeleitet:

Dimethylphenole (6 Einzelsubstanzen): 8 µg/l
Trimethylphenole (4 Einzelsubstanzen): 8 µg/l

Auf Grundlage der abgeleiteten Schwellenwerte und unter Hinzunahme der Schadstofftransportmodellierung ließ sich anschließend mit einem vereinfachten Ansatz die Auswirkung des eingetretenen Grundwasserschadens auf das Schutzgut Oberflächengewässer beurteilen. Dabei wurden die Frachten der einzelnen Leitparameter, die unmittelbar in den Concordia See strömen, mit Hilfe des Modells berechnet. Gleichzeitig war der Bereich auszuhalten, in dem das kontaminierte Grundwasser in den See eintritt. Mit der konservativen und theoretischen Annahme, dass sich der Seewasserkörper in dem das Grundwasser in den Concordia See eingeströmt ist, nicht mit dem restlichen Seewasser vermischt, ließ sich unter Berücksichtigung des Seewasserstandes und der Morphologie des Seebodens ein Volumen für einzelne Zeitschritte berechnen, in dem die Konzentration des Wassers dem Schwellenwert entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Volumens die Schadstoffkonzentration gleich ist. Darüber hinaus konnte angenommen werden, dass sich bei den relativ hohen Abbauraten im aeroben Seewasser ein Gleichgewicht einstellt, bei dem die zuströmenden Schadstofffrachten den mikrobiell abgebauten Schadstofffrachten entsprechen. Folglich wird das Volumen bzw. der Seekörper, in dem die Konzentration dem Schwellenwert entspricht, nicht größer. Mit Hilfe der vereinfachten geometrischen Berechnung wurden an Hand der maximalen Größe der Volumina (zuströmende Schadstofffracht = abgebaute Schadstofffracht) der einzelnen Leitparameter der Einfluss des einströmenden kontaminierten Grundwassers auf das Oberflächengewässer abgeschätzt. Das maximale Volumen wurde als limnologischer Reaktionsraum bezeichnet. Der Ansatz stellt einen worst-case Ansatz dar, da vernachlässigt wurde, dass sich das kontaminierte Seewasser mit dem restlichen Seekörper vermischt, was den mikrobiellen Abbau der Schadstoffe deutlich beschleunigen würde. Mit Hilfe der beschriebenen Methodik konnte auf eine aufwendige und nur

schwierig verifizierbare limnologische Strömungsmodellierung verzichtet werden.

ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Nach den vorliegenden Berechnungen fließen dem Seewasserkörper nur Schadstoffe in einer Größenordnung zu, die im Oberflächenwasser nicht zu messbaren Konzentrationsveränderungen bzw. Unterschreitungen der abgeleiteten Schwellenwerte führen. Unter dem Einfluss eines weiter ansteigenden Seewasserspiegels wird sich künftig ein limnologischer Reaktionsraum in der Größenordnung von maximal 2.674 m³ (für Trimethylphenole) ausbilden, innerhalb dessen im Uferbereich des Concordia Sees die Wasserkonzentrationen (theoretisch) oberhalb der abgeleiteten Schwellenwerte liegen. Über eine betroffene Eintrittsfläche von maximal 3.418 m² (Übertritt Grundwasser – Seewasser) leiten sich dabei parameterspezifisch theoretische Schichtdicken von bis zu 0,78 m ab. Damit ist nach den vorliegenden Ergebnissen bereits in einem Abstand von einem Meter nach der theoretischen Betrachtung nicht mehr mit Überschreitungen der abgeleiteten Schwellenwerte für das Oberflächenwasser zu rechnen. Die dem Seewasserkörper im stationären Zustand zugehenden Schadstofffrachten ergaben sich für die vier Leitparameter wie folgt:

| | |
|------------------|-----------|
| Dimethylphenol: | 0,70 kg/a |
| Trimethylphenol: | 0,55 kg/a |
| Naphthalin: | 0,04 kg/a |
| Benzol: | 0,01 kg/a |

Im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Grundwasser resultierte aus den dargestellten hohen Schadstoffbelastungen in den drei ermittelten Quelltermen ein hohes Gefährdungspotential, wobei sich diese Gefahr in dem heute schon eingetretenen Grundwasserschaden bezüglich des Schutzgutes Grundwasser bereits realisiert hat.

Auch wenn eine Beeinträchtigung des Oberflächenwassers durch das schadstoffbelastete Grundwasser noch nicht feststellbar war, wird nach den vorliegenden Modellierungen künftig ein flächenhaft begrenzter (kleinräumiger) Schadstoffeintrag in den Concordia See zu erwarten sein. Die nach der

Schadstofftransportmodellierung zuströmenden Schadstofffrachten aus der Altablagerung in der Größenordnung von insgesamt 1,3 kg/a sowie das betroffene Volumen der ermittelten parameterbezogenen Reaktionsräume (maximal 2.674 m³) werden aus fachtechnischer Sicht in Bezug zum Gesamtvolumen des Seewasserkörpers als gering und tolerierbar bewertet. Eine nachteilige Einwirkung auf den Gewässerkörper in seiner Gesamtheit ist daraus nicht zu schlussfolgern.

Ausgehend von den mit der Schadstofftransportmodellierung ermittelten (theoretischen) Schichtdicken von maximal 0,78 m läuft der (aerobe) Schadstoffabbau im Oberflächenwasser im potentiellen Kontaktbereich (Schutzgut Mensch) noch vollständig innerhalb der nach dem aktuellen Sicherungskonzept im oberen Böschungsbereich aufzutragenden Steinschüttung (Mächtigkeit 1,5 m) ab. Damit besteht eine hinreichende Sicherheit, eine relevante Gefährdung auf das Schutzgut Mensch über das Oberflächenwasser auszuschließen. Eine Gefährdung des Menschen über den Pfad Grundwasser selbst ist aufgrund einer fehlenden Grundwassernutzung am Standort nicht gegeben.

Den Ergebnissen der Gefährdungsabschätzung folgend ist eine langfristige Kontrolle der Schadstoffveränderungen (insbesondere dem Schadstoffrückhalt und dem Schadstoffabbau) im Grundwasser und die Überwachung der Seewasserqualitäten während der Flutungsphase und im stationären Endwasserstand als Sicherungsmaßnahme und zur Verifizierung der Modellergebnisse ausreichend. Das aufgestellte Überwachungsprogramm beinhaltet auch vorsorglich einen Reaktionsplan, der umzusetzen ist, wenn signifikante Abweichungen zwischen den gemessenen Konzentrationen der Leitparameter und den Modellergebnissen festgestellt sowie wenn Überschreitungen der Schwellenwerte im See gemessen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine im Jahr 2007 entdeckte Altablagerung am in Flutung befindlichen Concordia See mit schwelereitypischen Schadstoffen wie BTEX, Alkylphenolen, KW und PAK, die während der aktiven Abbau- und Kohleveredlungsphase des Tagebaus Nachterstedt

entstand, wurde sowohl vor der Böschungsbewegung 2009 als auch danach eingehend untersucht und das Gefährdungspotential für die Schutzgüter bewertet. Dafür wurden Grundwassermessstellen zur Abgrenzung der Schadstofffahne im Grundwasser errichtet, Boden- und Grundwasserproben genommen, Transport- und Abbauparameter standortspezifisch bestimmt und ein Schadstofftransportmodell aufgebaut.

Die umfangreichen und detaillierten Untersuchungen erforderten ein enges Zusammenwirken von Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und auch ausführenden Unternehmen (Bohrunternehmen, Labore, etc.). Die im Einzelfall zeit- und auch kostenintensiven Untersuchungen ermöglichten letztlich eine

eingehende Beschreibung der für die Schadstoffverteilung und Schadstoffverbreitung relevanten Prozesse sowie eine begründete Überführung in das Schadstofftransportmodell. Mit Hilfe der Modellierungsergebnisse konnte nachgewiesen werden, dass eine nachteilige Einwirkung auf das Schutzgut Oberflächengewässer und auch den Menschen nicht geschlussfolgert werden kann. Eine aufwendige und in der Regel äußerst kostenintensive Sanierungsmaßnahme war dementsprechend nicht erforderlich.

Die Ergebnisse werden durch ein langfristiges Überwachungsprogramm während der Flutungsphase und im stationären Endwasserzustand kontinuierlich verifiziert.

Sakosta SKB GmbH



Die SakostaSKB GmbH bietet als Teil der Sakosta Holding AG an mehreren Standorten in Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Berlin/Brandenburg Ingenieur- und Sachverständigenleistungen in den Bereichen Boden, Bauten und Umwelt. Unsere interdisziplinär zusammengesetzten Teams von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern sind dabei sowohl gutachterlich und beratend als auch im Bereich der Projektsteuerung (z. B. Ökologische Großprojekte in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) tätig.

SakostaSKB GmbH
Hauptsitz Ziegelheim
Schulgasse 18, 04603 Nobitz
m.harles@SakostaSKB.de
Tel.: 034494-8 3112

Literatur/Quellen:

- [U 1] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodschV) vom 12. Juli 1999
- [U 2] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV). 20.06.2016
- [U 3] Altlastenbezogene Bewertungs- und Analyseempfehlung für kurz-kettige Alkylphenole (SCAP) und NSO-Heterozyklen (NSO-HET) - Modul 3 (Projekt-Nr. B 2.11). DVGW- Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, 28. Mai 2014
- [U 4] Altlastenbezogene Bewertungs- und Analyseempfehlungen für kurz-kettige Alkylphenole. Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten e. V. Pirna, 31.05.2010
- [U 5] Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser.- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2004



Nach der Böschungsbewegung verbliebenes Gleisstück der Slipananlage, 2009

THEMENKOMPLEX 7

Seeherstellung
und Folgenutzung



HARZER SEELAND: TOURISMUS AM CONCORDIA SEE

Autor: Sebastian Kruse



Foto 1: Schadelebener Ufer mit Steganlage mit Blickrichtung Königsauer See

Der Concordia See ist das Zukunftsprojekt für die Stadt Seeland. In einer wirtschaftlich eher schwachen Region entsteht mit dem Harzer Seeland ein attraktives Naherholungsgebiet für Einheimische, Tagesausflügler und Urlauber. Neue Arbeitsplätze, bessere Infrastruktur, gesteigerte Lebensqualität und eine überregionale Wahrnehmung wirken sich bereits heute positiv auf die Wirtschaft und das Leben in der Stadt Seeland mit ihren Ortsteilen Friedrichsaue, Frose, Gatersleben, Stadt Hoym, Nachterstedt und Schadeleben aus. Insbesondere mit dem Blick auf den demografischen Wandel lassen sich durch Zuzug von Familien zukunfts-fähige Entwicklungen ablesen. Für die kommenden Jahrzehnte wird das Harzer Seeland wirtschaftlicher, sozialer und touristischer Dreh- und Angelpunkt der Stadt Seeland und der Region werden.

ZUKUNFTSVISIONEN: WAS WIRD AUS DEM BERGBAUFOLGESEE?

Der Braunkohlenbergbau bestimmte 135 Jahre lang das Geschehen im Gebiet der heutigen Stadt Seeland.

Bereits 1856 erfolgte der Aufschluss des Tagebaus. 255 Mio. Tonnen Braunkohle wurden in über einem Jahrhundert gefördert. Was den Bewohnern der Region Arbeit, Sicherheit und Wohlstand erschuf, fand 1991 ein jähes Ende. Nach der Wende wurde der Tagebau eingestellt und somit vielen Menschen in der Region ihre Lebensgrundlage genommen. Bis 1994 wurde die bereits freigelegte Kohle noch von einer Fremdfirma veräußert, doch dann war endgültig Schluss. Die bis dato noch eigenständigen Gemeinden Friedrichsaue, Frose, Gatersleben, Stadt Hoym, Nachterstedt und Schadeleben verloren ihren größten Arbeitgeber. Einen Masterplan für die Nachnutzung von Tagebauen gab es noch nicht.

So standen Bürger und Politiker gleichermaßen im wahrsten Sinne des Wortes vor einem riesigen Loch, in dem über ein Jahrhundert lang ihre Zukunft lag. Und so sollte es auch wieder werden: Die Menschen in der Region wollten nicht aufgeben, sondern eine Lösung finden, die ihnen Perspektiven bietet. Kurzzeitig war die Nutzung der über 500 Hektar großen Fläche als Mülldeponie im Gespräch. Der Bedarf war da

und erste LKW-Ladungen wurden bereits abgekippt, ehe sich Thomas Leimbach, Landrat des Landkreises Aschersleben, engagiert für eine touristische Folgenutzung des Tagebaus einsetzte. Schon damals war ihm bewusst, dass die Region nur eine Zukunft haben würde, wenn ein attraktives Lebensumfeld entsteht und Arbeitsplätze geschaffen werden. Eine Mülldeponie hätte zur Aufgabe der Orte und zur Verödung der Landschaft geführt.

„Die Zukunft unserer Region liegt im Tourismus, nicht in der Abfallwirtschaft.“

Thomas Leimbach, ehem. Landrat Landkreis Aschersleben und Mitgründer der Seeland GmbH

Ohne Masterplan, ohne Vorbild, dafür mit Leidenschaft und Biss wurde 1993, allen Widrigkeiten zu Trotz, die Seeland Gesellschaft für Tagebauentwicklung mbH gegründet. Als Ziele benannt wurden die touristische Folgenutzung der Bergbaulandschaft, der Ausgleich weggefallener Arbeitsplätze und die Schaffung eines attraktiven Lebensumfeldes. Damit war der Tagebau Nachterstedt/Königsau die erste Bergbaufolgelandschaft nach der Wende, für die eine touristische Nachnutzung angestrebt wurde.

„Unser Dank gilt den Stadträten, die das Projekt konsequent unterstützen.“

Heidrun Meyer, Bürgermeisterin Stadt Seeland

Dass dieses Projekt ein Zukunftsprojekt sein würde, zeigte allein die Zeitplanung. Das Ende der Flutung des gesamten Tagebaus wird auf 2027 geschätzt. Die ehrgeizigen Ziele der Seeland GmbH stießen glücklicherweise auch bei der Landespolitik auf offene Ohren. Stadt und Land unterstützen das Projekt finanziell und ideell bereits seit vielen Jahren. Beim Festakt zum 25-jährigen Jubiläum der Seeland GmbH 2018 betonte Sachsen-Anhalts Minister für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung, Prof. Dr. Armin Willingmann, welche hohe Priorität das Harzer Seeland und der Concordia See im Land genießt. Er unterstrich in seiner Rede, dass die geplante Wassersport- und Badelandschaft des Harzer Seelands für den gesamten Harz eine perfekte und noch fehlende Ergänzung im touristischen Angebot darstellt. Die Unterstützung von Seite des Landes und vor allem des Wirtschaftsministeriums wurde der Stadt und der Gesellschaft zugesichert.

Auch die LMBV, die als Projektträgerin für die Braunkohlesanierung zuständig ist, unterstützt das Vorhaben

Harzer Seeland. So erfolgten frühzeitig enge Abstimmungen zwischen der Seeland GmbH und der LMBV, um bei den Sanierungsmaßnahmen stets die touristische Folgenutzung im Blick zu behalten.

Der Weitblick von Thomas Leimbach, das Engagement der Menschen in der Region sowie die Unterstützung seitens Stadt, Landkreis und Land haben dafür gesorgt, dass im Harzvorland eine besondere Landschaft entsteht. Das umfassende Angebot aus Wassersport, Badelandschaft, Veranstaltungsort und Abenteuerspielplatz ist einzigartig in einem Umkreis von 100 km. Durch die besonderen Windbedingungen am Concordia See ist die Nutzung als Wassersportrevier ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal. Die zentrale Lage in Mitteldeutschland – die Oberzentren Magdeburg, Halle (Saale), Dessau-Roßlau und Leipzig sind nur 40 bis 100 km entfernt – macht den Standort auch als Lebensmittelpunkt für Familie attraktiv. Weiterhin großes Potenzial steckt in der Ansiedlung von touristischen Dienstleistern, Hotels und Ferienunterkünften. So werden Arbeitsplätze geschaffen und die eher industriegeprägte Region mit einem weiteren Standbein gestärkt. Die Wünsche und Hoffnungen aus der Anfangszeit gehen auf.

Trotz schwieriger Rahmenbedingungen zeigen sich positive Auswirkungen auf Wirtschaft und Bevölkerungsentwicklung, die es nun zu verstetigen und auszubauen gilt. Dafür steht die Seeland GmbH.

HERAUSFORDERUNGEN UND VORTEILE EINER TOURISTISCHEN NUTZUNG

Als „Harzer Seeland“ soll das ehemalige Braunkohlenabbaugebiet im Harzvorland zwischen Magdeburg, Braunschweig und Kassel zu einem attraktiven Freizeit- und Naherholungsgebiet entwickelt werden. Der Standort ist denkbar günstig, denn ein vergleichbares Wassersportrevier, eine vergleichbare Seenlandschaft in der Dimension des Concordia Sees ist im Harz und im Harzer Umland nicht vorhanden. Mit der Namensgebung soll die Nähe zum Harz hervorgehoben werden. Denn vom Ufer des Concordia Sees ist die eindrucksvolle Silhouette des Harzes mit dem Brocken als höchster Berg in guter Sichtweite. Besonders in den Abendstunden, wenn die Sonne hinter den Bergen untergeht, entsteht hier eine außergewöhnliche Stimmung. Einer von vielen Vorteilen für eine touristische Nutzung des Bergbaufolgesees.



Foto 2: Abendstimmung am rund 400 m langen Strand

Das Harzer Seeland gehört zu den weniger besiedelten Gebieten in Sachsen-Anhalt und in Mitteldeutschland. Die dazugehörige Stadt Seeland mit ihren sechs Ortsteilen sowie der Ortsteil Neu Königsau der Stadt Aschersleben besiedeln eine Fläche von rund 8.800 Hektar mit etwas über 8.300 Einwohnern. Wirtschaftlich ist die Novelis Deutschland GmbH (Aluminiumindustrie) in Nachterstedt mit über 1000 Mitarbeitern der größte Arbeitgeber der Region. Das Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben (> 500 Mitarbeiter), die Schloss Hoym Stiftung (> 250 Mitarbeiter), die Lebenshilfe Harzvorland GmbH (ca. 400 Mitarbeiter) und Pressmetall Hoym (ca. 200 Mitarbeiter) sind weitere größere Unternehmen. Im touristischen Bereich jedoch war die Region bisher sehr spärlich entwickelt. Kleinere Pensionen und Gasthäuser existierten, jedoch gab es keinen nennenswerten Anreiz für die Besucher.

Landwirtschaft und Industrie sind bisher die Hauptbranchen, die allerdings in den vergangenen Jahren durch stetigen Stellenabbau zunehmend unsicherer werden. Der Concordia See, der Königsauer See und der Froser See sind die Namensgeber für das Gebiet. Der Froser See dient als ruhiger Badesee und der Königsauer See ist ein Biotop ohne touristische Nutzung. Die Entwicklung des touristischen Angebots am Concordia Sees stand somit von Beginn an im Fokus und soll langfristig eine wichtige Ergänzung zum Industriestandort werden.

Die Flutung startete am 20.12.1996 mit dem Abstellen der Pumpen und 1998 symbolisch: Hunderte Bürger,

Neugierige und Unterstützer „fluteten“ mit unzähligen Wassereimern den ehemaligen Tagebau. Das Wasser kam aus der nahegelegenen Selke. Diese Aktion war ein besonderer Auftakt, denn er zeigte den Zusammenhalt in der Region und verdeutlichte, wie wichtig den Einheimischen die sinnvolle und zukunftsfähige Nachnutzung des Braunkohletagebaus ist. Denn ein neues, attraktives Umfeld ist ein wesentlicher Schritt, um dem prognostizierten Bevölkerungsrückgang von 25 Prozent bis 2025 entgegenzuwirken. Nur als lebenswerter Standort für Familien und junge Menschen haben die kleinen Gemeinden eine Überlebenschance. Entsprechend ist das Harzer Seeland ein hoffnungsvolles Zukunftsprojekt.

Ein wichtiges Herzstück des Harzer Seelands, der Abenteuerspielplatz (siehe Foto 4), wurde schon 2001 eröffnet. Das Abenteuerland erstreckt sich auf rund 8 ha. Eine ehemalige Bergbauhalde wurde saniert und zum größten Outdoor-Spielplatz Sachsen-Anhalts ausgebaut. Über 50 Spielgeräte für Groß und Klein, Grill- und Picknickplätze und eine große Bühne machen dieses Areal attraktiv für Familienausflüge und Veranstaltungen.



Foto 3: Wassersportler nutzen die guten Windverhältnisse auf der Wasserfläche

Ebenfalls schon recht früh ließ der ansteigende Grundwasserspiegel Wassersport zu. Von 2002 an konnte der Concordia See touristisch genutzt werden. Zum Baden, Surfen und Segeln kamen Menschen aus nah und fern. Erste Infrastruktureinrichtungen, wie eine Steganlage, eine Sliptrasse und Gastronomie wurden eingerichtet.



Foto 4: Der Abenteuerspielplatz auf der Halde 1 nordöstlich des Concordia Sees.

2005 nahm das Fahrgastschiff MS „Seelandperle“ ihren Dienst auf. Mit dem Apart Hotel Seeland wurde das erste neue Hotelprojekt in der Region eröffnet. Entsprechend des Sanierungs- und Flutungsstandes konzentrierten sich die ersten Maßnahmen der touristischen Inwertsetzung auf das Nordufer bei Schadeleben. Bereits die Entwicklung der ersten Jahre zeigt das große Potenzial einer touristischen Nachnutzung des Bergbaufolgesees.



Foto 5: Restaurant Arche Noah an der Schadelebener Seepromenade

Der 18. Juli 2009 sollte aller Euphorie und jeglicher tourismuswirtschaftlichen Entwicklung des Harzer Seelands vorerst ein jähes Ende setzen. Es ereignete sich ein Erdbeben am Südufer bei Nachterstedt, das drei Doppelhaushälften in die Tiefe riss und drei Todesopfer forderte. Das komplette Seeufer des Concordia Sees wurde mit sofortiger Wirkung gesperrt und jegliche Nutzung untersagt. Die aufwendigen Untersuchungen und Sanierungsarbeiten sind in den anderen Kapiteln ausführlich beschrieben. Für das Harzer Seeland als touristisches Projekt war dieses Ereignis eine Katastrophe. Alle bis dato erfolgten Maßnahmen waren hinfällig, die Umsetzung bestehender Planungen mehr als ungewiss, die Investorensuche unmöglich. 10 Jahre lang sollte der Abenteuerspielplatz mit Veranstaltungsareal die einzige Attraktion sein, die das Harzer Seeland nutzen durfte.

Langer Atem war gefragt und den steuerten die Politiker des Ortes und der Region bei. So wurde die Weiterfinanzierung der Seeland GmbH auch über die ungewissen Jahre hinweg gesichert. Die Infrastruktur wurde so gut es ging erhalten. In enger Abstimmung mit der LMBV wurde die Sanierung systematisch vorangetrieben, stets mit dem Ziel

der Öffnung des Sees und der touristischen Nutzung des Gebietes im Blick. 2016 wurde ein neuer Masterplan „Das Mehr am See – Entwicklungsstrategien des Harzer Seelands“ erstellt. Mit einer umfassenden Stärken-Schwächen-Analyse und Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung nach der Sanierung ist dieser eine wesentliche Basis für die nächsten Schritte.



Foto 6: Zahlreiche Gäste kamen nach der Teilfreigabe des Sees an den Badestrand im Bereich der Schadelebener Aussichtsplattform

Im Juli 2019 wurde das Nordufer in Teilbereichen wieder für den Wassersport freigegeben. Obwohl die Öffnung sehr kurzfristig angekündigt wurde, konnte die Seeland GmbH den Badestrand und die wassersportliche Infrastruktur weitestgehend herrichten, um einen soliden Neustart zu ermöglichen. Die Zeichen stehen nun auf Zukunft!

AUSFLUGSZIEL CONCORDIA SEE

Mit der Wiedereröffnung des Badebetriebs und der Wassersportmöglichkeiten im Sommer 2019 startet das Harzer Seeland erneut auf Erfolgskurs in Richtung touristische Destination. Denn bereits die kurze und kaum beworbene Saison im vergangenen Jahr zeigte die große Nachfrage am Angebot, was der Concordia See zu bieten hat.



Foto 7: Steganlage mit Bootsanliegeplätzen

Als Wassersportrevier ist der Concordia See prädestiniert. Durch seine exponierte Lage im Harzvorland herrschen hier besondere Windverhältnisse, die das Gebiet für Segler, Surfer und Kitesurfer attraktiv machen. Nach vollständiger Flutung wird die Wasserfläche ca. 578 ha betragen. Damit bietet der See mehr als die doppelte Wasserfläche der größten, für Wassersport freigegebenen Talsperre im Harz, der Okertalsperre mit ca. 225 ha. Derzeit sind etwa 220 ha Wasserfläche am Concordia See zur touristischen Nutzung freigegeben.

Touristische Angebote am Concordia See:

- Abenteuerland Harzer Seeland (Abenteuerspielplatz)
- Badestrand mit Hundestrand (15.000 qm)
- Kiteschule
- Bootslichegeplätze
- Steganlage
- Sliptrasse
- Segeln, Surfen, Kitesurfen
- Strandimbiss
- Eventfläche
- Ferienhaussiedlung Friedrichsaue
- Apart Hotel Seeland, Schadeleben

Sehenswertes in unmittelbarer Nähe:

- Romanische Stiftskirche Frose
- Badesee Frose
- Schloss Hoym
- Heimatstuben in Friedrichsaue, Frose, Gatersleben, Nachterstedt und Schadeleben

Der Concordia See und das Harzer Seeland sind bereits heute mit den bestehenden Angeboten ein attraktives Tagesausflugsziel. Im Umkreis von 100 km leben rund 5 Millionen Menschen, die erreicht werden können. Familien mit Kindern, Wassersportler, Naturliebhaber und Radfahrer sind die Zielgruppen, die vom Harzer Seeland angezogen werden.

WASSERSPORTREVIER HARZER SEELAND

Mit Segeln, Surfen und Kitesurfen hat der Concordia See ein Angebot mit Alleinstellungspotenzial zu bieten.



Foto 8: Wassersport auf dem Concordia See

In unmittelbarer Nähe gibt es keine Seen mit dieser Vielfalt. Die KiteSchule Harz hat bereits im Sommer 2019 nach der Wiedereröffnung ihr Wassersportzentrum vor Ort eingerichtet. Bereits vor dem Unglück 2009 war der Concordia See bei Seglern beliebt, die nun nach und nach dieses Revier wiederentdecken.

Badespaß für die ganze Familie ist am großen Sandstrand zu finden. Auf derzeit 15.000 qm finden Wasserserratten und Sonnenanbeter gleichermaßen ausreichend Platz.



Foto 9: Alleinstellungsmerkmal - Kitesurfen ist erlaubt

Der See ist zum Baden freigegeben. Das seichte Ufer ist ideal für Familien mit Kindern. Badesportler nutzen die weitläufige Wasserfläche des Sees für ausgiebiges Training, beispielsweise für einen Triathlon. Etwas weniger Trubel bietet der kleine Froser See mit Badestelle.

EVENTLOCATION HARZER SEELAND

Ob Sportevents, Strandpartys oder Live-Konzerte: Im Harzer Seeland ist immer etwas los.



Foto 10: Feuerwerk auf dem Concordia See anlässlich der Teilfreigabe am 13.07.2009

Die Flächen am Nordufer des Concordia Sees und im Abenteuerland haben sich als Eventlocation bewährt. Bis zu 5.000 Personen finden bei den aktuellen Gelegenheiten zu Konzerten Platz. Das Parkplatzangebot ist großzügig, so dass auch Großveranstaltungen sehr gut durchführbar sind. Durch die besondere Lage mit dem Harz als Kulisse sind Abendveranstaltungen im Harzer Seeland von einer ganz besonderen Atmosphäre umgeben.

ABENTEUERLAND HARZER SEELAND

Als größte Outdoor Spielplatz harzweit und des Landes Sachsen-Anhalt ist das Abenteuerland seit fast 20 Jahren beliebtes Ausflugsziel für Familien, Kindergärten, Schulen und Jugendgruppen. Die ehemalige Halde gleicht heute einem riesigen Wald- und Parkgebiet.

Das Gelände wurde konzipiert, damit Familien mit Kindern und Gruppen eine unbeschwernte Zeit zu bieten. Viele überdachte Sitzgruppen sowie zu mietende Grills stehen zur Verfügung. Ausreichend Platz ist auch für Hunde, die an der Leine ihre Menschen begleiten dürfen.

Annehmlichkeiten, wie der Miet-Bollerwagen, werden gern genutzt.



Foto 11: **Abenteuerspielplatz als beliebtes Ausflugsziel**

Über 50 überwiegend aus Holz gefertigte Spielgeräte und Figuren wecken Abenteuerlust. Dabei sind sie so konzipiert, dass auch die Eltern mitmachen können. Die meisten Geräte sind ohne Altersbeschränkung. Gegen einen kleinen Eintritt können sich Familien hier einen ganzen Tag lang tummeln.

Die Attraktivität des Concordia Sees ist anziehend. Nachdem nun die ursprünglich angedachte touristische Nutzung wieder möglich ist, wird die Region aktiv beworben. Ziel ist es, mehr Tagestouristen anzuziehen und die tourismuswirtschaftlichen Potenziale auszuschöpfen. Durch einen wachsenden Bekanntheitsgrad werden sowohl potenzielle Neubürger als auch Investoren für weitere touristische Projekte auf das Harzer Seeland aufmerksam. Die Umsetzung des Masterplans wird dadurch vorangetrieben.

AUSBLICK: IDEEN UND VISIONEN FÜR DAS HARZER SEELAND

Die Bedeutung des Harzer Seelands und der touristischen Nutzung der Bergbaufolgelandschaft wurde in einem Masterplan festgehalten (Stand 2016; die genannten Projekte befinden sich im Entwurfsstatus). Nach der Wiedereröffnung 2019 werden nun die nächsten Schritte veranlasst, um die Region aktiv und nachhaltig voranzubringen. Dabei wird das Harzer Seeland thematisch und örtlich in drei Regionen aufgeteilt, die sich nach und nach etablieren werden:

- „Concordia Beach“ am Nordufer: Der große Uferbereich am Nordufer soll zum touristischen Mittelpunkt werden mit Campingplatz, Ferienhaussiedlung, großzügiger Badewelt und Badestrand, Wassersportmöglichkeiten, Familienangebote, Bootsanleger, etc.
- „Marina Concordia“ am Südufer: Entwicklung eines attraktiven maritimen Standortes mit Sportboothafen (bis zu 200 Liegeplätze für Boote bis 10 m Länge), Fun- und Trendsportzentrum für Aktivitäten an Land und im/auf dem Wasser, Gastronomie, Beherbergung, begehbare Mole für Ausflügler,
- „Naturerlebnis Concordia“ am Ostufer: Das Ostufer wird der Bereich für Naturliebhaber und Angebote zur Umweltbildung mit Vogelbeobachtungsstationen, Aussichtsturm, Lehrpfaden, Naturerlebniszentrum Frose etc.

Der Ausbau der Teilregionen ist abhängig vom Sanierungsstand der Uferbereiche und vom Flutungsstand. Der Fokus liegt vorerst auf dem Bereich des Nordufers, der bereits mit dem Badestrand, dem Abenteuerland und ersten Ferienhäusern touristischer Anziehungspunkt ist.



Foto 12: Aussichtspunkt Schadeleben am Ende der Strandpromenade

Priorität bei den Planungen und Entwicklungen hat die Einrichtung eines Camping- und Wohnmobilstellplatzes. In attraktiver Lage nahe am Seeufer ist ein weitläufiger Platz mit etwa 400 Parzellen geplant. Sowohl touristische als auch Dauercampingplätze sind geplant. Man kann mit etwa 15.000 Übernachtungen und 700 Dauercampern rechnen. Das Gelände ist bereits vorgesehen. Die Stadt Seeland unterstützt dieses Vorhaben, so dass potenzielle Investoren schnell und unbürokratisch das Projekt umsetzen könnten. Zusätzlich ist auch für das Südufer ein Wohnmobilstellplatz angedacht.

Ein weiterer wichtiger Baustein bei der Entwicklung des Harzer Seelandes ist die Infrastruktur, insbesondere die Anbindung an die Hauptverkehrswege. Durch die unmittelbare Nähe zur A 36 (Braunschweig–Bernburg) mit Anschluss an die A 2 und die A 14 ist das Seeland aus den wichtigen Quellmärkten Braunschweig/Hannover/Wolfsburg, Magdeburg, Halle/Leipzig schnell erreichbar.

Allerdings sind die Straßenverhältnisse auf den letzten Kilometern von der Abfahrt Hoym durchaus verbesserungswürdig. Insbesondere für Yacht- oder Bootsbesitzer, die ihre Boote sicher und entspannt zum Liegeplatz bringen möchten. Bei der Anreise zählt der erste Eindruck, so dass auch die Infrastruktur auf die Ziele des Harzer Seelandes einzahlen muss.

Der Ausbau eines Seerundweges wird die Attraktivität der Landschaft für Tagestouristen, Urlauber und Einheimische weiter erhöhen.



Foto 13: Fahrrad- und Informationsstützpunkt

Ziel ist es, damit eine eigene Attraktion zu schaffen. Radfahrer oder Skater sollen den Rundweg nutzen können, Erlebnisstationen und Aussichtsplattformen sind geplant. Auf dem autofreien Weg könnte eine Seeland-Ausflugsbahn eingesetzt werden, die die touristischen Angebote miteinander verbindet. Gastronomische Stationen entlang der Promenade sind ebenfalls einzuplanen ebenso wie kleinere Ankerplätze für die Bootstouristen.

Das Seeland als Wassersport- und Aktivzentrum bietet zahlreiche Perspektiven: Radfahren, Wandern, Reiten, Surfen, Kitesurfen, Segeln und Schwimmen sind bereits möglich. Die Angebote werden sehr gut angenommen.



Foto 14: Für die weitere Entwicklung am Concordia See gibt es bereits viele Ideen

Angedacht ist es, die Ausflugsschiffahrt wieder zu reaktivieren und eine Wasserskianlage einzurichten. Mit Kitesurfen, Wasserski und Ausflugsschiffahrt hätte der Concordia See absolute Alleinstellung. Ein ähnliches Angebot gibt es bisher im Umkreis von 150 bis 200 km nur im Leipziger Neuseenland.

Die Ideen und Visionen für die Entwicklung der Bergbaufolgelandschaft haben großes Potenzial. Angebunden an die Marketingkonzeption des Harzes und mit einer überregionalen Bekanntheit erschließt sich dem Harzer Seeland ein großer Markt. Allein für den Campingplatz werden 15.000 Übernachtungen geschätzt. Ein Besucherpotenzial für einzelne Attraktionen von rund 80.000 Gästen im Jahr ist durchaus realistisch.

Doch um all diese Ideen und Visionen umzusetzen, werden sowohl finanzielle Mittel als auch infrastrukturelle Investitionen seitens Kommune, Landkreis, Land und Bund benötigt. Für die Stadt Seeland mit rund 8.000 Einwohnern ist die Nachnutzung des Bergbaufolgesees ein riesiges Projekt. Es hat das Potenzial, Lebensqualität, Wirtschaftskraft und Arbeitsmarkt nachhaltig positiv zu stärken und auch auf die umliegenden Ortschaften abzustrahlen. Doch dafür ist eine aktive Unterstützung aller Seiten notwendig. Die Stadt Seeland hat bereits in den zehn Jahren der Seesperrung deutlich gemacht, dass sie an dem Projekt festhält und hat jährlich Gelder für die Harzer Seeland GmbH zur Verfügung gestellt. Nun gilt: volle Kraft voraus in die Zukunft des Harzer Seelandes!

Seeland GmbH

Bereits 1993 gegründet, hat die Seeland Gesellschaft für Tagebauentwicklung mbH die Aufgabe, den Concordia See und die Bergbaufolgelandschaft des ehemaligen Braunkohlentagebaus Nachterstedt/Schadeleben zu einem überregionalen touristischen Ziel zu entwickeln. Geschäftsführer Sebastian Kruse und sein achtköpfiges Team engagieren sich für die Umsetzung des Projektes. Die GmbH ist Betreiber des Abenteuerlandes und der Badelandschaft am Nordufer. Für Investoren ist die Seeland GmbH Ansprechpartner und Türöffner bei Ämtern und Behörden. Die Zukunft des Harzer Seelandes erfolgreich gestalten ist das Anliegen von Sebastian Kruse und seinem Team.



Seeland GmbH
OT Schadeleben
Seepromenade 1
D-06449 Seeland
Tel. +49 (0)34741-91341
Fax +49 (0)34741-91343
Mobil +49 (0)170 8053584
E-Mail: kruse@seeland.de
www.harzerseeland.de

PLANFESTSTELLUNGSVERFAHREN ZUR GEWÄSSERHERSTELLUNG DER TAGEBAUSEEN NACHTERSTEDT UND KÖNIGSAUE

Autor: Dr. Steffen Popp-Hofmann

Die LMBV saniert die beiden ehemaligen Braunkohlentagebaue Nachterstedt/Schadeleben und Königsau mit dem Ziel der Wiedernutzbarmachung der ehemals vom Bergbau beanspruchten Flächen. Für die beiden noch unter Bergaufsicht stehenden Tagebaue sind unterschiedliche Nachnutzungsziele definiert. Während der zukünftige Concordia See im Restloch Nachterstedt/Schadeleben touristisch als Freizeit- und Naherholungsgebiet genutzt werden soll, ist der Königsauer See im gleichnamigen Tagebaurestloch als Landschaftssee und Naturschutzgebiet geplant.

Für eine öffentliche Nachnutzung und die Beendigung der Bergaufsicht müssen alle Gefahren, die von den ehemaligen Bergbauflächen ausgehen und die öffentliche Sicherheit gefährden können, beseitigt oder zumindest minimiert werden. Diese Maßnahmen, wie z. B. der Rückbau von Gebäuden und Tagebauinfrastruktur, die Anstützung von Böschungen oder die Sicherung von bergbaulichen Altlasten, erfolgen unter Bergrecht. Der hierfür aufgestellte und zugelassene Abschlussbetriebsplan (ABP) beschreibt die Sanierungsziele und die dafür notwendigen bergmännischen Arbeiten. Ergänzungen zum ABP präzisieren die einzelnen Sanierungsarbeiten entsprechend der technischen und auch gesetzlichen Randbedingungen.

Für die Gewässerherstellung in der unter Bergrecht hergestellten Hohlform ist zusätzlich ein Zulassungsverfahren nach Wasserrecht nötig. Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG, § 68) besagt: „Der Gewässer Ausbau bedarf der Planfeststellung durch die zuständige Behörde“, wobei als Gewässer Ausbau nach WHG „die Herstellung, die Beseitigung und die wesentliche Umgestaltung eines Gewässers oder seiner Ufer“ definiert ist. Für das wasserrechtliche Zulassungsverfahren ist ein entsprechender Planantrag einzureichen, der neben dem geplanten Vorhaben und aller dazu notwendigen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen auch umfangreiche Unterlagen für eine Umweltprüfung nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) beinhalten muss.

Die Untersuchungsziele der Umweltprüfung sind durch das UVPG vorgegeben. Für artenschutzrechtliche und

naturschutzfachliche Belange ist das Bundesnaturschutzgesetz (BNatschG) zu berücksichtigen. Diese und ggf. weitere Bundes- und Landesgesetze stellen die wesentlichen Randbedingungen für die Umweltprüfungen dar. Der genaue Untersuchungsumfang wird auf der sogenannten Antragskonferenz (Scopingtermin) mit den beteiligten Behörden und betroffenen Trägern öffentlicher Belange abgestimmt. Die Ergebnisse werden protokolliert und bilden die Arbeitsgrundlage für die Antragserstellung.

HISTORIE DES PLANFESTSTELLUNGS- VERFAHRENS

Auf Basis der Antragskonferenz im Jahr 1996 wurde die Antragsbearbeitung für die Gewässerherstellung in den Tagebauen Nachterstedt/Schadeleben und Königsau begonnen. Gleichzeitig wurde im Rahmen des Gesamtvorhabens ein Plangenehmigungsantrag für eine Teilflutung des Tagebaurestloches Nachterstedt/Schadeleben bis zu einer Höhe von +70 m NHN erarbeitet und eingereicht. Die Plangenehmigung wurde im Jahr 2000 erteilt. Ein erster Planfeststellungsantrag für die Gewässerherstellung wurde im Jahr 2002 eingereicht. Dieser musste nach Auswertung der dazu eingegangenen Stellungnahmen überarbeitet und ergänzt werden. Um die Flutung des Tagebaurestloches Nachterstedt weiterhin zu ermöglichen, ist auf Basis des eingereichten Planantrages ein vorzeitiger Maßnahmebeginn für eine weitere Teilflutung bis zu einer Höhe von +85 m NHN beantragt worden. Die Zulassung wurde durch das Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt (LVwA) im Jahr 2004 erteilt. Weitere Aktualisierungen sowie die Berücksichtigung des zwischenzeitlich genehmigten Baus der Tagebaurestlochverbindung zwischen Königsau und Nachterstedt/Schadeleben erforderten eine weitere Präzisierung der Antragsunterlagen.

Im Juni 2009 wurde schließlich ein überarbeiteter wasserrechtlicher Planantrag für die Gewässerherstellung der Tagebauseen Nachterstedt und Königsau



Foto 1: Der geflutete Königsauer See (vorn) und der teilgeflutete Concordia See (hinten), Schrägluftbild aus Befliegung 2019

beim LVwA in Halle/Saale eingereicht. Infolge der Böschungsbewegung vom 18. Juli 2009 wurde das Verfahren ausgesetzt. Der Antrag wurde von der LMBV jedoch nicht zurückgezogen. Mit Schreiben vom 28.08.2009 teilte das LVwA mit, dass nach der Ursachenforschung und der Aufstellung eines Sanierungskonzeptes die Grundlagen des Planfeststellungsantrages überprüft und ggf. präzisiert werden müssten. Dieser Zeitpunkt war im Jahr 2014 erreicht, die Wiederaufnahme des wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahrens wurde vorbereitet.

Auf der Auftaktkonferenz am 28.04.2015 wurden der Genehmigungsbehörde und den Trägern öffentlicher Belange die aktuellen Planungsgrundlagen und die beabsichtigte Antragsaktualisierung vorgestellt. Auf Grundlage der protokollierten Abstimmung wurden Fachgutachter mit der Überarbeitung der Antragsunterlagen beauftragt. Sämtliche Antragsbestandteile sollten auf Aktualität geprüft und nachfolgend ergänzt werden. Mit dem zweiten Böschungsereignis vom 28.06.2016 wurde die erst kurz zuvor begonnene Antragsüberarbeitung jedoch wieder unterbrochen.

Neben der erneuten Aufarbeitung des Böschungsereignisses und der Erstellung eines Sanierungskonzeptes für den betroffenen Böschungsbereich im Tagebau Nachterstedt wurde auch die noch laufende Nacherkundung von Kippen im Tagebau Königsau vertieft. Das daraus entwickelte geologische Strukturmodell soll, wie schon für den Bereich Nachterstedt, Grundgerüst für das hydrogeologische Modell werden. Nach der Vorlage des geotechnischen Abschlussgutachtens Königsau im April 2018 sowie der Überprüfung und Anpassung aller Sanierungsleistungen gemäß den Vorgaben der Sachverständigen war 2019 ein Kenntnisstand erreicht, mit dem die hydrologische Modellierung aktualisiert und der Bearbeiter beauftragt werden konnte. Im Juni 2020 ist ein aktueller Modellstand mit der Prognose der sich nach Ende der Gewässerherstellung einstellenden Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsraum vorgestellt worden. Mit Vorlage des vollständig überarbeiteten hydrologischen Modells, welches auch den instationären Verlauf der Flutung abbildet, liegt ab voraussichtlich Ende 2020 das zentrale Fachgutachten für die Wiederaufnahme der Antragsbearbeitung vor.

ANTRAGSGEGENSTAND UND WASSERREGIME

Der Antragsgegenstand des wasserrechtlichen Planfeststellungsantrages ist unverändert die Herstellung von Standgewässern in den ehemaligen Tagebauen Nachterstedt/Schadeleben und Königsau mit den jeweiligen Regelprofilen der Gewässerbegrenzung. Zum Antragsgegenstand gehören weiterhin die bereits gebaute Rohrleitung als hydraulische Verbindung zwischen den Tagebaurestlöchern, die Hebung und Ableitung des Überschusswassers in den Hauptseegraben Nordwest sowie die Errichtung und der Betrieb der dafür benötigten wasserwirtschaftlichen Einrichtungen.

Im Gegensatz zum Antrag von 2009 wird mit der 2015 begonnenen Antragsüberarbeitung keine Fremdflutung mit Wasser aus der Selke mehr vorgesehen. Die Investitions- und Wartungskosten der entsprechenden Flutungsleitung stehen in keinem Verhältnis zu den eher geringen jährlichen Wassermengen, die aus der Selke entnommen werden können. Stattdessen wird das Wasser, was aus den Filterbrunnen im Randbereich des Tagebaus Nachterstedt aus geotechnischen Gründen sowieso gehoben werden muss, in den Tagebausee eingeleitet. Eine präzise Steuerung der Pumpen in den Filterbrunnen wird die Wasserförderung dem zukünftig steigenden Grund- und Seewasserspiegel anpassen.

Einen größeren Zufluss erhalten die Tagebauseen über den Hauptseegraben Südost aus Richtung Aschersleben. Der Hauptseegraben wurde im 19. Jahrhundert zur Entwässerung der Seeländereien für eine landwirtschaftliche Nutzung angelegt und durch die wachsenden Braunkohlegruben in einen südöstlichen und nordwestlichen Verlauf getrennt. Der Hauptseegraben Südost mündet in den Königsauer See ein, dessen Wasser über die Rohrverbindung in den Concordia See übergeleitet wird. An dessen nordwestlichem Ufer wird derzeit mit einer temporären Pumpstation und Rohrleitung das Überschusswasser aus der Wasserhaltung für die +85 m NHN in den Hauptseegraben Nordwest gepumpt und dem Vorfluter Selke zugeführt. An gleicher Stelle soll auch nach Flutungsende das Überschusswasser aus der Wasserhaltung für den geplanten Endwasserstand +103 m NHN mit einer angepassten wasserwirtschaftlichen Anlage dauerhaft in den Hauptseegraben übergehoben werden.



Foto 2: Temporäre Einleitstelle des übergehobenen Wassers aus dem Concordia See in den Hauptseegraben Nordwest, Foto: R. Engelmann, 2014

Aufgrund der Lage der Tagebaue in der Geländeniebung der Seeländereien ist keine nachsorgefreie Anbindung an die Vorflut möglich. Ein freier Ablauf aus dem Concordia See wäre aufgrund der Geländehöhen erst ab einem Seewasserspiegel bei +107,3 m NHN in den Grenzgraben und weiter in den Hauptseegraben möglich. Dieser Seewasserspiegel würde durch höhere Grundwasserstände jedoch zu beträchtlichen Vernässungen in den Randbereichen der Tagebauseen und sogar zu offenen Wasserflächen in den südöstlichen Seeländereien führen. Um diese negativen Auswirkungen auf die Infrastruktur, einschließlich der Wohnbebauung und landwirtschaftlichen Flächen, zu vermeiden, ist ein Zwangswasserstand unvermeidlich.

Für die Antragserstellung sind verschiedene Seewasserspiegelhöhen geprüft worden. Als Ergebnis dieser Prüfung ist der Wasserstand von +103 m NHN im zukünftigen Concordia See als zweckmäßigste und wirtschaftlichste Variante abgeleitet worden. Ein tieferer Wasserstand von +100 m NHN oder darunter verursacht zum einen höhere Pumpkosten, da mehr Wasser dauerhaft über eine größere Höhe in den Hauptseegraben übergehoben werden müsste. Zum anderen würden negative Auswirkungen sowohl auf die Standsicherheit von Böschungen durch die Ausbildung von hydraulischen Gradienten als auch auf die Ökologie der Feuchtgebiete in den Seeländereien erwartet. Ein Wasserstand von +105 m NHN wäre hinsichtlich der Pumpanlage und den daraus entstehenden Kosten eine wirtschaftlichere Lösung. Jedoch wiegen die Folgen durch die höheren Grundwasserstände im Randbereich der Tagebauseen mit



Foto 3: Die Seeländereien zwischen Königsauer See (Hintergrund) und Frose (links unten), von rechts unten bis Bildmitte im Hintergrund verläuft der Hauptseegraben Südost geradlinig bis kurz vor der Mündung in den Königsauer See, Schrägluftbild aus Befliegung 2009

negativen Auswirkungen auf die dortige Infrastruktur, Bebauung und landwirtschaftlichen Nutzflächen ungleich schwerer.

Zusätzlich wäre bei diesem höheren Seewasserstand die Entwässerung der südöstlichen Seeländereien einschließlich des Randbereichs von Aschersleben über den Hauptseegraben Südost nicht gesichert bzw. nur mit technischen Maßnahmen umsetzbar. Der Hauptseegraben Südost weist ein nur geringes mittleres Gefälle von kleiner 1 % auf und bindet derzeit bei einer Höhe von +103,4 m NHN in den Königsauer See ein. Ein dauerhaft höherer Wasserstand oberhalb des bisher beantragten Schwankungsbereiches von +103,5 m NHN im Königsauer See hätte unmittelbar negative Auswirkungen auf das Abflussvermögen des Hauptseegrabens.

Bereits unter den gegebenen Bedingungen ist der leistungsangepasste Ausbau des Hauptseegrabens Südost, wie er derzeit vom zuständigen Landesbetrieb für Hochwasser Sachsen-Anhalt (LHW) geplant wird, eine Herausforderung.

UMWELTPRÜFUNGEN

Im Planfeststellungsverfahren werden die Auswirkungen der Gewässerherstellung auf die Umwelt einschließlich der menschlichen Gesundheit geprüft. Hierzu sind verschiedene Fachgutachten und eine Umweltverträglichkeitsstudie zu erstellen. Die Untersuchungen gehen grundsätzlich von einem Ausgangszustand zu Beginn des Verfahrens aus, im Allgemeinen ein trockenes, standsicher sanier-tes Tagebaurestloch. In den Fachgutachten wird ausgehend vom Ausgangszustand eine Prognose der Entwicklung des Untersuchungsgegenstandes bis zum Planzustand (geflutetes Tagebaurestloch) gegeben. Im Planantrag von 2009 waren die Fachgutachten Flora und Fauna, Boden, Geologie und Limnologie enthalten. Das Fachgutachten Limnologie gibt z. B. eine Prognose der Entwicklung der Wasserqualität bis zum Erreichen des Endwasserspiegels. Sofern bereits eine teilgefüllte Hohlform vorliegt, kann dieser Zwischenstand mit aktuellen Messdaten in die Prognoserechnung einfließen. Das Fachgutachten Boden untersucht die Auswirkungen

des Grundwasserwiederanstiegs auf Böden in den Seeländereien. Im Fachgutachten Geologie wird die natürliche und ggf. anthropogen verursachte Senkung der Geländeoberfläche dokumentiert und bewertet. Für das Fachgutachten Flora und Fauna wurden geschützte und seltene Tier- und Pflanzenarten in der Tagebauregion kartiert. Da sich seit den ersten Kartierungen des Ausgangszustandes sowohl die gesetzlichen Rahmenbedingungen (z. B. Anforderungen des besonderen Artenschutzes gemäß BNatschG) als auch das Artenvorkommen in der sich entwickelnden Bergbaufolgelandschaft geändert haben, muss die Bestandserfassung für eine Antragsüberarbeitung aktualisiert werden. Nach den Kartierungen, die eine Vegetationsperiode abdecken sollen, sind die Auswirkungen auf die ermittelten Arten in einem weiteren, bisher nicht enthaltenen Gutachten, dem artenschutzrechtlichen Fachbeitrag, entsprechend des jeweiligen Schutzstatus auszuwerten. Sofern Beeinträchtigungen streng geschützter Tier- und Pflanzenarten vorliegen, sind entsprechende Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, wie z. B. Herstellung von Ersatzhabitaten, vorzusehen und wirksam umzusetzen.

In der Umweltverträglichkeitsstudie werden die Auswirkungen des Vorhabens auf definierte Schutzgüter beschrieben. Die Schutzgüter gemäß UVPG sind: Menschen (menschliche Gesundheit), Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Fläche, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, kulturelles Erbe sowie die Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern. Die Schutzgüter haben jeweils eigene, räumlich unterschiedlich ausgedehnte Untersuchungsräume, die auf der Antragskonferenz abgestimmt und festgelegt worden sind. Die Umweltverträglichkeitsstudie ist aufgrund der übergreifenden Betrachtung kein unmittelbarer Planungsbeitrag, sondern dient im Rahmen der Umweltprüfung als Entscheidungsvorbereitung für das Gesamtvorhaben.

Die Gewässerherstellung in den Tagebauhohlformen ist alternativlos und im Allgemeinen von hohem öffentlichen Interesse. Ein qualifizierter Planantrag wird, unter Berücksichtigung der Bearbeitungszeiträume, mit Ende der Hauptsanierungsleistungen eingereicht werden. Die LMBV ist zuversichtlich, dass auf Basis dieses Planantrags ein Planfeststellungsbeschluss im Ergebnis des förmlichen Verfahrens steht.

LMBV – Projektträgerin der Braunkohlesanierung

Hauptziel des Unternehmens ist die schnelle und wirtschaftliche Sanierung der im Zuge der Wiedervereinigung Deutschlands Anfang der 1990er Jahre stillgelegten Tagebaue und Veredlungsbetriebe. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung zur Nachnutzung dieser Standorte für die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe, für Land- und Forstwirtschaft, den Naturschutz sowie für die touristische Nutzung.

Die Wiedernutzbarmachung der ehemaligen Betriebsflächen erfolgt gemäß den im Bundesberggesetz festgelegten Verpflichtungen. Die LMBV zeichnet als Bergbauunternehmen und Projektträgerin insbesondere verantwortlich für die Erreichung der in den Regionalplänen der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen definierten Sanierungsziele, die Herstellung der öffentlichen Sicherheit und die Vorbereitung der geplanten Nachnutzungen. Die Verwahrung stillgelegter Kali-, Spat- und Erzbergwerke ist seit Mitte 2014 ebenfalls ein Sanierungsbereich der LMBV.

Damit leistet die LMBV bzw. ihre Rechtsvorgänger seit 25 Jahren einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung des Lausitzer und mitteldeutschen Braunkohlereviere.

LMBV 

Lausitzer und Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

**Lausitzer und
Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungs-
gesellschaft mbH
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
www.lmbv.de**



Grundwassermessstellen in der Südwestböschung mit Blick in den Rutschungskessel 2016 (Foto: Sep. 2020)



Herstellung Anfangsdamm zur Sicherung des Rutschungskessels 2016 (Foto: Sep. 2020)

MEILENSTEINE

Böschungsbewegung
Nachterstedt



Altablagerung und Hauptrutschungskessel, Mai 2020



18.07.2009 BÖSCHUNGSBEWEGUNG



Nach Einstellung der touristischen Nutzung – Erste Bergung Segelboote



Absperrung der Siedlung „Am Ring“ vor unbefugtem Betreten durch Umzäunung mit Natodraht

16.10.2009 Bergung des Fahrgastschiffes „Seelandperle“



Lotung des Seegrundes mit funkferngesteuertem Boot vom begleitenden Helikopter



16.09.2009

Errichtung und Inbetriebnahme der ersten Liegendbrunnen 301 und 302 mit umfangreichem Rohrleitungssystem um die Halde 2 und 3 zur Ableitung in die Selke



Errichtung Seismometer

Aufbau eines erweiterten Monitoringsystems

- geodätisches Messpunktnetz zur kontinuierlichen Kontrolle der Abrisskante
- Errichtung Grundwassermessstellen
- Errichtung Seismometer im Wohngebiet als Hilfsmittel zur Risikobewertung und Alarmierung bei seismischen Ereignissen



Errichtung der Tagesanlagen mit Büro- und Sanitärcontainern für Behörden, Ingenieur-Büros und LMBV



04/2010

Errichtung des Entwässerungsbrunnen 304



03.11.2010

Inkrafttreten Dispatcher-einsatzkonzept zur Erfassung und Registrierung aller im Sperrbereich tätigen Personen



Lotung des Seeboden mit Sonartechnik

11.10.2010

Inbetriebnahme der provisorischen Wasserhaltung zur Stationierung des Wasserstandes im See bei max. +85 m NHN



Untersuchungen zur Ermittlung der Schadensursache:

- Kernbohrungen
- Sichtung und Recherche von Altunterlagen
- Erkundungen Druck- und Rammsondierung
- Wasserstands- und Brunnenmessungen



04/2011

Durchführung von Bohrungen zur Erkundung von Altbergbaustrecken



02/2011

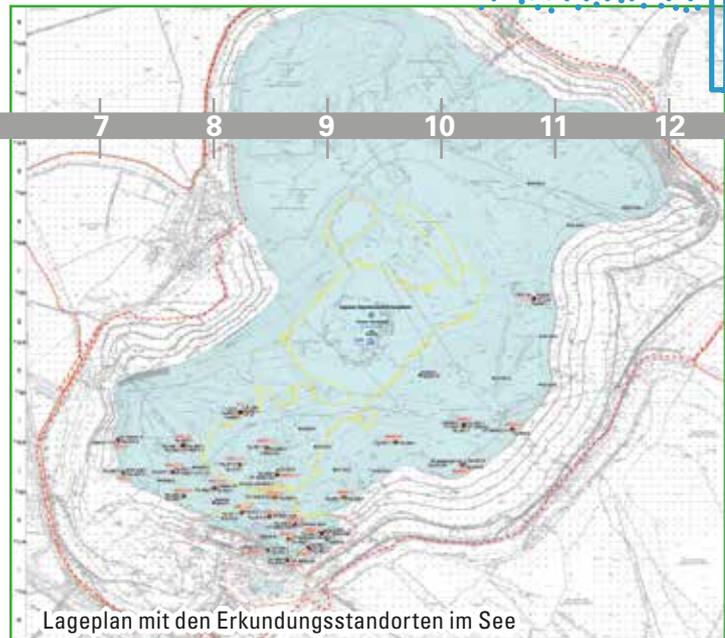
Beginn der Bohrarbeiten zur Errichtung Brunnenriegel Südwestböschung



**Ursachenermittlung -
Seeerkundung**



Errichtung Kranaufstandsfläche am Schadelebener Ufer



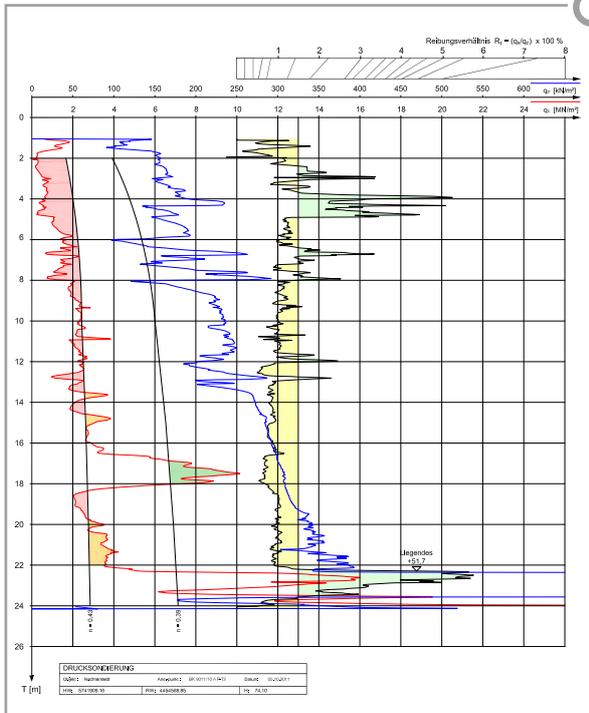
Lageplan mit den Erkundungsstandorten im See



Einheben von Bohrgerätetechnik auf die Pontons



Im Einsatz befindliches Ponton vor dem Hauptrutschungskessel



Erkundung im Testfeld Südwestböschung zur Ermittlung tiefenabhängiger Dichte- und Porositätsbestimmung der Kippensande:

- Ermittlung der kritischen Porosität setzungsfließempfindlicher, locker gelagerter Sande



Durchführung von Rammsondierungen



Fertigstellung und Inbetriebnahme des Brunnenriegels Südwestböschung



10/2012

Beginn des Rückbaus der Siedlung „Am Ring“



08/2012

Begehung des Haupttrutschungskessels zur Entnahme von Wasserproben



09.07.2013

Vorstellung des Abschlussberichts Ursachenforschung zur Rutschung vom 18.07.2009 und Übergabe an das Wirtschaftsministerium Sachsen-Anhalt

01/2013

Errichtung und Inbetriebnahme des Leitstandes für die Überwachung der Wasserstände und Wasserhebungen



08/2013

Rückbau Häuser Siedlung „Am Ring“ abgeschlossen



05.03.2013

Probetrieb des errichteten Rohrleitungssystems zur möglichen Ableitung der gehobenen Wässer in den Concordia See oder in die Selke



09/2013

Ortung des abgerutschten Doppelhauses durch kombinierte geophysikalische Erkundungsverfahren



07/2013

Wiederinbetriebnahme des noch vorhandenen Altbrunnens 176 im Bereich der Siedlung „Am Ring“



09/2013

Ufersicherung Halde 1 Königsau gegen Abrasion durch Wellenschlag - Verbau von Sandsäcken



05/2014

Anlegen der ersten Zuwegung in den Hauptrutschungskessel mit mobiler Erdbautechnik



24.07.2014

Suche nach den Vermissten mit Spürhunden der Polizei



ab 10/2014

Erstsicherung der Böschung des Hauptrutschungskessels durch Kopfentlastung



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

03/2014

Rückbau der Leitungssysteme und befestigten Flächen im Bereich der Siedlung „Am Ring“ und Fundamentresten im Bereich der ehemaligen Kohlebahnausfahrt



09/2014

Beginn der mobilen Erdbautätigkeiten im Hauptrutschungskessel



ab 11/2014

Holzungsarbeiten im Bereich der Halde 1 und Halde 3 für die geplante Aufweitung

09/2014

Errichtung von Grundwassermessstellen im Bereich der „Altablagerung Schwelerei-rückstände“



12/2014

Beginn Leichte Rütteldruckverdichtung zur anschließenden Verfüllung des kleinen westlichen Rutschungskessels



05/2015

Fertigstellung der 1,6 km langen und 6,5 m breiten innerbetrieblichen Transporttrasse um den Durchgangsverkehr durch die Ortslage Nachterstedt zu minimieren



05/2015

Abschluss der Arbeiten zum lagenweisen verdichteten Einbau von Erdmassen im kleinen westlichen Rutschungskessel



Bau einer befestigten Zufahrt in den Hauptrutschungskessel für den weiteren Masseneinbau



19.03.2015

Rüttelverdichtung Ostböschung Süd
Beginn der Rüttelstopfverdichtung auf der Ostböschung im Abschnitt Süd Stützkörper +103 m NHN



Vorbohrarbeiten zur Realisierung des herzustellenden Stützkörpers +95 m NHN Abschnitt Süd haben begonnen.

06/2015

Rüttelverdichtung Südwestböschung
Beginn der Rüttelstopfverdichtung im Bereich Südwestböschung auf dem Stützkörper +103 m NHN



06/2015

Rüttelverdichtung Ostböschung Nord
Beginn der Rüttelstopfarbeiten Stützkörper +103 m NHN Abschnitt Nord, anschließend Stützkörper +103/95 m NHN



Rüttelverdichtung Nordböschung
Herstellung der Trittsicherheit im Uferbereich auf einer Länge von 750 m



Vollständige Sumpfung und anschließende Verfüllung der Wasserflächen im Haupttrutschungskessel

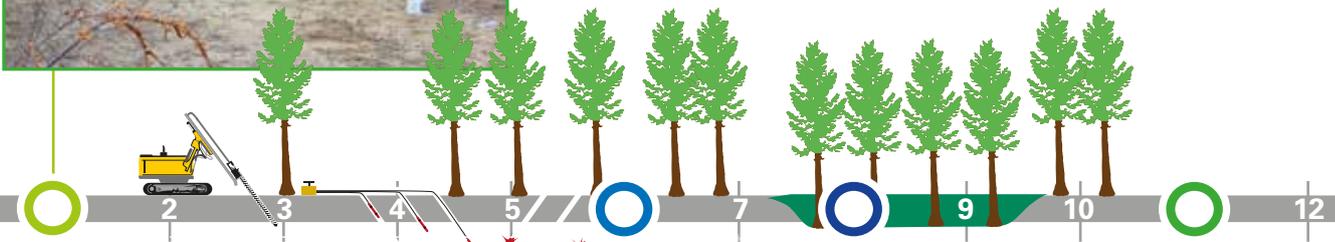


Aufbau einer Arbeitsebene +90 m NHN im Haupttrutschungskessel



ab 01/2016

Erfolgreiche Erprobung der Anwendbarkeit der Tiefen schonenden Sprengverdichtung zur Verbesserung der Lagerungsdichte der nach der Rutschung 2009 verbliebenen setzungsfließempfindlichen Sande im Haupttrutschungskessel



28.06.2016

Ein Setzungsfließen wurde durch die Rütteldruckverdichtung im Bereich der Südwestböschung ausgelöst.



17.11.2016

Erfolgreiche Bergung des mit Fernsteuerung ausgerüsteten Trägergerätes aus dem Gefahrenbereich



08/2016

Vorbereitende Arbeiten zur Bergung des Trägergerätes mit Herstellung einer Bergerampe unter Einsatz einer ferngesteuerten Raupe



Herstellung eines Arbeitsplanums im östlichen Rutschungskessel zur Vorbereitung der Tiefen Schonenden Sprengverdichtung

02/2017

Beginn zum Aufbau eines Stützkörpers im Hauptrutschungskessel West.



10/2017

Fertigstellung des Stützkörpers im Hauptrutschungskessel West



07/2017

Rüttelverdichtung Ostböschung Nord

Im Nordabschnitt wurden die Rüttelstopfarbeiten zur Herstellung des Stützkörpers + 103/+95 m NHN) Anfang Juli abgeschlossen.



09/2017

Herstellung Trittsicherheit Nordböschung

Aufbringen eines 0,5 m mächtigen Kiesauflagers im zukünftigen Strandbereich mit Hilfe eines schwimmfähigen Arbeitsgerätes



Rüttelverdichtung Ostböschung Süd

Die Arbeiten auf dem Stützkörper +103 m NHN Abschnitt Süd wurden abgeschlossen. Insgesamt hat dieser Stützkörper eine Länge von ca. 1.200 m. Die gestundeten Arbeiten auf dem Stützkörper +95 m NHN Abschnitt Süd wurden wieder aufgenommen.



27.03.2018 - 08.06.2018
Tiefe schonende Sprengverdichtung im Hauptrutschungskessel

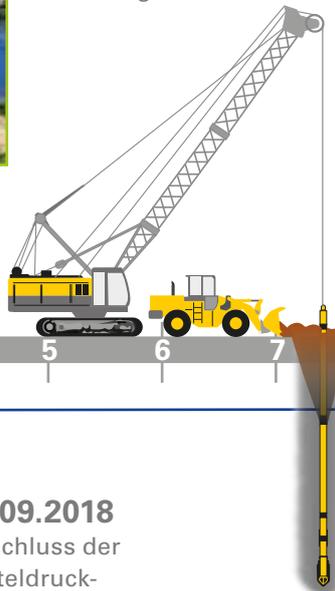
Beseitigung der Verflüssigungseigenschaft anstehender locker gelagerter Sande mittels zeitlich versetzter Sprengungen



03/2018
Bau einer neuen befestigten Zufahrts-trasse in den Haupt-rutschungskessel



11/2018
Beginn der Aufweitung der Halden 1 und 3 Nachterstedt



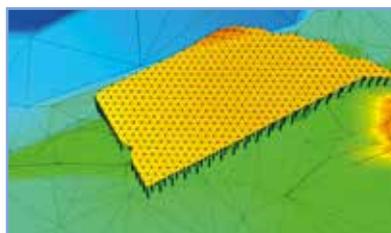
19.09.2018
Abschluss der Rütteldruckverdichtung im Bereich der Ostböschung Abschnitt Süd +95 m NHN



11/2018
Vorbohrarbeiten in Vorbereitung der Rüttelstopfverdichtung im Bereich der „Altablagerung“



10/2018 - 02/2019
Herstellung eines Ersatzstützkörpers im Bereich der Südwestböschung für den in Folge der Setzungsfließrutschung 2016 teilweise beschädigten Rüttelstützkörper +103 m NHN





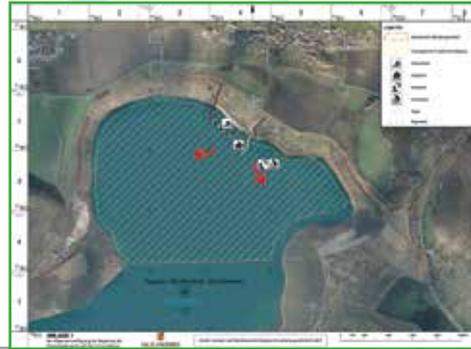
10/2019

Einbringen und Installation von schwimmenden Wellenbrechern zur Vermeidung einer fortschreitenden Abrasion im Kliffbereich der Altablagung



02/2019

Beginn der Rüttelstopfverdichtung im Bereich der „Altablagung“



13.07.2019

Teilfreigabe des nördlichen Teilabschnittes des Concordia Sees für die vorgezogene touristische Folgenutzung



03/2019

Weitere Böschungsaufweitung im Bereich Halde 3 Nachterstedt



08/2019

Testbetrieb für oberflächennahe Nachverdichtung mittels Landpac-Walze auf dem Stützkörper +103 m NHN Abschnitt Süd Ostböschung



04/2019

Aufweiten der östlichen Rutschungsflanke



09/2019

Herstellung der Flächendrainage im Bereich Hauptrutschungskessel



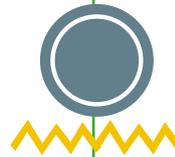
09/2020

Durchführung der oberflächennahen Nachverdichtung auf dem Rüttelstützkörper +103 m NHN Ostböschung mittels Landpac-Walze



01/2020

Sicherung der zukünftigen Unterwasserböschung des Hauptrutschungskessels mit Wasserbausteinen



2

3



5

6

7

8



11

12

04/2020

Fortsetzung des lagenweisen Einbaus zur Verfüllung im Bereich Hauptrutschungskessel



12/2019 - 10/2020

Fertigstellung der leichten Rütteldruckverdichtung als Voraussetzung zur Sanierung des Rutschungskessels 2016



09/2020

Herstellen einer Anspritzbegrünung auf den zukünftigen Endböschungssystemen des sanierten Hauptrutschungskessels



| Seite | | Seite | |
|-------|---|-------|---|
| 10 | Foto 1: Rutschungskessel vom 18.07.2009 und Siedlung „Am Ring“ | 40 | Foto 6: Sanierungsstand nach der Verfüllung der beiden Restseen |
| 10 | Foto 2: Hubschraubereinsatz zur Suche nach den Vermissten | 42 | Foto 7: Vorbereitung der Tiefen Schonenden Sprengverdichtung - Herstellung Perforationsbohrlöcher |
| 12 | Foto 3: Absperrung Sperrgebiet durch Einzäunung mit Natodraht | 43 | Foto 8: Aufbau Stützkörper außerhalb der Flächen der T-SSPV |
| 12 | Foto 4: Vermessungsingenieur mit Sicherungsequipment | 44 | Foto 9: Böschungssicherung unterhalb +100 m NHN im Bereich Hauptutschungskessel |
| 13 | Foto 5: Aufbau seismischer Messpunkt in einem Wohnhaus der Siedlung „Am Ring“ | 46 | Foto 10: Rüttelstopfverdichtung im Bereich der RDV-Körper Altablagelagerung |
| 14 | Foto 6: Sachverständige und Vertreter des Generalplaners bei einer Befahrung des Rutschungskessels | 47 | Foto 11: Schwimmende Wellenbrecher vor Kliffkante RDV-Körper Altablagelagerung |
| 14 | Foto 7: Prof. Dr.-Ing. Katzenbach und der Leiter der Projektgruppe der LMBV Dirk Henssen bei einer Begehung des Schadensbereiches | 47 | Foto 12: Herstellung Aufschüttung Altablagelagerung |
| 14 | Foto 8: Bohrarbeiten zur Errichtung Brunnen 302 und von Grundwassermessstellen Halde 1 Nachterstedt | 48 | Foto 13: Stützbauwerke zur Verlängerung der Grundwassermessstellen |
| 15 | Foto 9: Bohrarbeiten Filterbrunnen im Bereich Südwestböschung | 50 | Foto 14: LRDV-Maßnahmen im kleinen westlichen Rutschungskessel |
| 15 | Foto 10: Blick in den Rutschungskessel mit Wasseransammlungen, 2010 | 50 | Foto 15: Situation unmittelbar nach der Setzungsfließbrutschung vom 28.06.2016 |
| 16 | Foto 11: Wasserhaltung zur Ableitung in den Hauptseegraben | 50 | Foto 16: Herstellung Sicherungsdamm als Fahrtrasse für havariertes Trägergerät |
| 16 | Foto 12: Sicherung Flüssiggastank in der Siedlung „Am Ring“ durch den Sachverständigen für Geotechnik Dr. Wittig, Juli 2009 | 53 | Foto 17: LRDV und Herstellung Dränageschicht im Bereich der SW-Böschung |
| 16 | Foto 13: Abriss der Häuser der Siedlung „Am Ring“ | 55 | Foto 18: Herstellung der Rütteldämme im südlichen Abschnitt |
| 17 | Foto 14: Dispatcher und Unternehmerkontrolleure LMBV | 56 | Foto 19: Trägergerät Rüttelstopfverdichtung |
| 18 | Foto 15: Dispatcherarbeitsplatz | 56 | Foto 20: Oberflächennahe Nachverdichtung mittels LandPac-Verfahren im Testfeld |
| 18 | Foto 16: Einsatz der Drohnen für geotechnische Kontrollen | 57 | Foto 21: Leichte Rütteldruckverdichtung zur Herstellung der Trittsicherheit |
| 19 | Foto 17: Tagebau Concordia 1876 etwa im Bereich der Böschungsbewegung 2009 | 86 | Foto 1: Blick in den Hauptutschungskessel im Juli 2014 mit großer Wasserfläche |
| 19 | Foto 18: Luftbild Tagebau Nachterstedt 13.06.1969 mit Abrisskanten der Böschungsbewegungen 2009 und 2016 | 89 | Foto 2: Setzungsfließbrutschung vom 28.06.2016 auf der Südwestböschung |
| 20 | Foto 19: Bohrgeräte auf Ponton im Bereich der östlichen Rutschungsflanke | 93 | Foto 3: Situation im westlichen Teil des Hauptutschungskessels im Oktober 2014 mit Steiflanken im westlichen Bereich |
| 20 | Foto 20: Bohrgerät im Bereich Ostböschung beim Teufen einer Grundwassermessstelle | 94 | Foto 4: Blick in den sanierten Hauptutschungskessel Richtung westlicher Teil Ende Juli 2020 |
| 21 | Foto 21: Rutschungskessel mit Kennzeichnung der Teilfreilegung Altablagelagerung und Slipanlage | 94 | Foto 5: Nachgebrochene Böschungsabschnitte und Trägergerät TG 3 am 07.07.2016 (Quelle: Drohnenbefliegung im Auftrag der LMBV) |
| 21 | Foto 22: Wasserprobenahme aus dem Rutschungskessel mit Sicherung durch die Rettungs- und Sicherungskräfte | 94 | Foto 6: Einsatz des Hydroseilbaggers HS 895 zur Kopfentlastung (links) am 24.08.2016 (havariertes Trägergerät TG 3 rechts) |
| 22 | Foto 23: Übergabe der Ursachenberichte im Magdeburger Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft durch Dr.-Ing. Michael Clostermann, Minister Hartmut Möllring, Prof. Dr.-Ing. Mahmut Kuyumcu und Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach (v. l.) | 97 | Foto 7: Eintrübungen vor der östlichen Rutschungsflanke am 10.11.2015 (hohe Windstärken W-E und Wellenbildungen) |
| 22 | Foto 24: Abstimmungen zur Sanierung zwischen Generalplaner und der Projektgruppe der LMBV | 99 | Foto 8: Eröffnung Nordstrand am 13.07.2019 (Foto: Martin Klindtworth) |
| 23 | Foto 25: Pressekonferenz nach dem Böschungsunfall vor Medienvertretern (vorne links Landrat Ulrich Gerstner, daneben Projektmanager der LMBV Mathias Siebert) | 106 | Foto 1: Messpunkt für das Monitoring eines Testfeldes |
| 23 | Foto 26: symbolische Wegnahme des Zaunes zur Aufhebung des Sperrbereiches am Nordufer Schadeleben | 110 | Foto 2: Seismischer Messpunkt am ehemaligen Klärwerk der Fa. NOVELIS |
| 25 | Foto 1: Luftbildaufnahme des Rutschungskessels nach der Böschungsbewegung in Nachterstedt am 18.07.2009 (Befliegung am 18.07.2009) | 126 | Foto 1: Arbeitsplattform vor Rutschungsbereich |
| 25 | Foto 2: Strudellöcher mit Materialauswurf im Bereich des Rutschungskessels (Aufnahmedatum 28.08.2009) | 127 | Foto 2: Arbeitsplattform auf dem Concordia See |
| 27 | Foto 3: Erkundung auf dem Concordia See vom Ponton aus | 128 | Foto 3: Kernkiste |
| 37 | Foto 1: Tagesanlagen Nachterstedt | 129 | Foto 4: Mobilkran mit großer Auslage am Nordufer |
| 38 | Foto 2: Einsatz Longfrontbagger im Zuge Abbruch der Gebäude an der Abbruchkante | 130 | Foto 5: Einheben eines Bohrgerätes |
| 39 | Foto 3: Abbruch Siedlung „Am Ring“ | 130 | Foto 6: Arbeitsfläche auf der Plattform |
| 39 | Foto 4: Hauptutschungskessel nach Rückbau der Siedlung „Am Ring“ | 131 | Foto 7: Anlieferung Sicherheitsboot |
| 40 | Foto 5: Suche nach Vermissten mit Spürhunden der Polizei | 131 | Foto 8: Zugefrorener Concordia See mit Steganlage und drei Plattformen |

| Seite | |
|-------|---|
| 136 | Foto 1: Verschlammlung der Arbeitsebene des Trägergerätes durch die Austritte des Zugabewassers |
| 137 | Foto 2: RSV Arbeiten auf der Trasse +103 kurz vor dem Abbruch der Arbeiten |
| 138 | Foto 3: Rüttelstopfverdichtung im Bereich der Ostböschung, Nordbereich |
| 138 | Foto 4: RSV an der Ostböschung im Nordbereich |
| 139 | Foto 5: Vorbohren der RDV-Ansatzpunkte auf der Altablagerung |
| 140 | Foto 6: Trägergerät LR 1300 nach der Rutschung |
| 141 | Fotos 7+8: Sicherungsraupe und Teile der Baustelleneinrichtung nach der Rutschung |
| 141 | Foto 9: Trägergerät vor dem Freilegen der Fahrwerke |
| 142 | Foto 10: Ferngesteuerte Raupe mit Stechschaufel |
| 142 | Foto 11: Ferngesteuerte Raupe mit Stechschaufel beim Freilegen der Fahrwerke vom Trägergerät |
| 142 | Foto 12: Endabnahme der Rampe und des Trägergerätes vor dem Bergungsbeginn |
| 142 | Foto 13: Stapelschwellen nach der Überfahrt mit dem Trägergerät |
| 145 | Foto 1: Bohrergerät der T-SSPV im Hauptrutschungskessel Nachterstedt 06/2019 |
| 149 | Foto 2: Sprengbohr- und Perforationsbohrlöcher am östlichen Rand der Sprengfeldfläche |
| 160 | Foto 1: Schadelebener Ufer mit Steganlage mit Blickrichtung Königsauer See |
| 162 | Foto 2: Abendstimmung am rund 400 m langen Strand |
| 162 | Foto 3: Wassersportler nutzen die guten Windverhältnisse auf der Wasserfläche |
| 163 | Foto 4: Der Abenteuerspielplatz auf der Halde 1 nordöstlich des Concordia Sees. |
| 163 | Foto 5: Restaurant Arche Noah an der Schadelebener Seepromenade |
| 164 | Foto 6: Zahlreiche Gäste kamen nach der Teilfreigabe des Sees an den Badestrand im Bereich der Schadelebener Aussichtsplattform |
| 164 | Foto 7: Steganlage mit Bootsanliegeplätzen |
| 165 | Foto 8: Wassersport auf dem Concordia See |
| 165 | Foto 9: Alleinstellungsmerkmal - Kitesurfen ist erlaubt |
| 165 | Foto 10: Feuerwerk auf dem Concordia See anlässlich der Teilfreigabe am 13.07.2009 |
| 166 | Foto 11: Abenteuerspielplatz als beliebtes Ausflugsziel |
| 167 | Foto 12: Aussichtspunkt Schadeleben am Ende der Strandpromenade |
| 167 | Foto 13: Fahrradrast- und Informationsstützpunkt |
| 168 | Foto 14: Für die weitere Entwicklung am Concordia See gibt es bereits viele Ideen |
| 170 | Foto 1: Der geflutete Königsauer See (vorn) und der teilgeflutete Concordia See (hinten), Schrägluftbild aus Befliegung 2019 |
| 171 | Foto 2: Temporäre Einleitstelle des übergehobenen Wassers aus dem Concordia See in den Hauptseeграben Nordwest, Foto: R. Engelmann, 2014 |
| 172 | Foto 3: Die Seeländereien zwischen Königsauer See (Hintergrund) und Frose (links unten), von rechts unten bis Bildmitte im Hintergrund verläuft der Hauptseeграben Südost geradlinig bis kurz vor der Mündung in den Königsauer See, Schrägluftbild aus Befliegung 2009 |

Die Urheberrechte für die in den Fachbeiträgen verwendeten Fotos liegen bei den jeweiligen Autoren, es sei denn in der Bildunterschrift ist ein anderer Urheber vermerkt. Für alle weiteren Fotos sind die Urheber: LMBV, Christian Bedeschinski, Peter Radke, Filmart Potsdam.

| Seite | | Seite | |
|-------|---|-------|---|
| 11 | Abb. 1: Sperrgebiet Erdbeben Nachterstedt 2009 | 65 | Abb. 6: Aus dem lithologischen Modell abgeleitete hydrodynamisch wirksame Rinnenstrukturen im Liegendkomplex des Flözes II |
| 17 | Abb. 2: Checkliste zur täglichen Freigabe der Arbeitsbereiche | 66 | Abb. 7: Räumliche Darstellung des in den Prätertiärbohrungen gemessenen Schichteinfallens, leicht überhöht, Schichtpakete bis zum Zechstein abgedeckt (blau: Zechstein, rote Linie: Bohrung) |
| 26 | Abb. 1: Schematischer Prinzipschnitt durch das Braunkohlebecken und die Seeländereien (überhöhte Darstellung) | 67 | Abb. 8: Synoptische Blockdarstellung, leicht überhöht, Schichtpakete am Störungssystem teilweise abgedeckt (blau Zechstein, rote Linie: Salzspiegel, gelb: Buntsandstein, rot: Muschelkalk, dunkelbraun: Keuper, braun: Destruktionsrinne, grau: GOK) |
| 26 | Abb. 2: Tektonische Karte Subherzyn mit Lage der Athensleben-Störung (geändert nach Rappsilber & Heckner, 2012) | 68 | Abb. 9: Darstellung zur maximalen Erstreckung der Tagebauhohlform im 3D-Modell |
| 27 | Abb. 3: Bohrstandorte im und um den Concordia See; Erkundungsbohrstandorte (rot), Brunnenbohrstandorte (gelb) | 69 | Abb. 1: Ausschnitt Fundamentalriss Blatt Ball – Bereich Bahnhofstraße (unmaßstäblich) |
| 27 | Abb. 4: Bestimmung der Scherfestigkeit des locker gelagerten Sandes im anisotrop konsolidierten, undrainierten Triaxialversuch (CU-Versuch); Porenanteil $n = 0,42 > n_{krit}$ | 69 | Abb. 2: Digitalisierung Tiefbau - Bereich Bahnhofstraße (unmaßstäblich) |
| 28 | Abb. 5: Ablauf der Standsicherheitsbeurteilung für verflüssigungsempfindliche Böden | 69 | Abb. 3: Ausschnitt „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ im Bereich Bahnhofstraße |
| 28 | Abb. 6: Gemessenes Primär- und Sekundäreignis; Seismogramme mit identischen Zeitabständen bei unterschiedlicher Stationsentfernung von Staßfurt und Wimmelburg | 70 | Abb. 4: Auszug aus dem digitalen „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ – Stand 10/2016, Bereich „Sportplatzfeld“ nach Einarbeitung der Erkenntnisse |
| 29 | Abb. 7: Gemessenes Primär- und Sekundäreignis Frequenzspektren des an der Station Staßfurt (STF1, Ost-West-Richtung) (Originaldaten BGR, LAGB; Farben und Marken a und b ergänzt) | 70 | Abb. 5: Rissausschnitt Haldenstraße in Nachterstedt mit Darstellung der Kontrollversatzbohrungen 2010-2012 |
| 29 | Abb. 8: Seismogramm, Frequenzspektrum und Foto des Grundbruchs Düne Süd Spreetal | 71 | Abb. 6: Bruchfeld der 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaues (Konfliktbereich 10) vor Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ - Stand 2013 |
| 30 | Abb. 9: Lage der Grundwassermessstelle GWM 1870 mit der Seewasserfläche vor/nach der Böschungsbewegung | 71 | Abb. 7: Bruchfeld der 8. Tiefbausohle im Bereich des untertägigen Nachbaues (Konfliktbereich 10) nach Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ - Stand 2016 |
| 30 | Abb. 10: Ermittlung der Differenz zwischen dem Zustand vor der Böschungsbewegung zum extrapolierten Zustand nach dem Wiederanstiegsversuch | 71 | Abb. 8: 6. Tiefbausohle im Bereich zwischen Haldenstraße und ehemaligem Tagebau im Verschnitt mit dem geologischen Liegenden, „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ - (Stand 04/2013) vor Anpassung an „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ |
| 30 | Abb. 11: Druckblase unter dem Rutschungskessel infolge der im Rahmen der Ursachenforschung identifizierten hydrogeologischen Anomalie einer Rinnenstruktur im Grundwasserleiter GWL 6.3 | 71 | Abb. 9: gleicher Bereich wie Abb. 8, Verschnitt mit dem geologischen Liegenden „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ – (Stand 04/2013) nach Anpassung an das „3D-Strukturmodell (GEOL 1)“ |
| 32 | Abb. 12: Lageplan Erkundungsbohrungen Altbergbau, Streckensystem Stand 10/2010 | 72 | Abb. 10: Ausschnitt „3D-Tagebauliegendmodell (LIEG)“ – Bereich Sportplatzfeld |
| 33 | Abb. 13: Druckblase: Böschungsbruchberechnung mit hydraulischem Fenster (Bereich 1+530), Geotechnischer Schnitt 20 mit dynamischem Initial; Umhüllende der Gleitkreise mit der Standsicherheit $\eta < 1$ | 73 | Abb. 11: Visualisierung des „idealisierten“ Modells (id-LIEG) - (Stand 2013) mit diversen Gräben im Bereich des ehemaligen Werkpfeilers |
| 33 | Abb. 14: Ursachen und Ablauf der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 | 73 | Abb. 12: Historische Bildaufnahme des Alttagbaues der Braunkohlengrube „Concordia“ bei Nachterstedt, aufgenommen am 7. Juli 1876 |
| 34 | Abb. 15: Gemessenes Seismogramm, Station Staßfurt STF1HZ | 74 | Abb. 13: Visualisierung des „idealisierten“ Tagebauliegenden (id-LIEG) - Stand 2013 im Bereich des untertägigen Nachbaues |
| 34 | Abb. 16: Druckblase im GWL 6.3 | 74 | Abb. 14: Visualisierung des „idealisierten“ Tagebauliegenden (id-LIEG) – Stand 2016 mit dem Bruchfeld der 7. Tiefbausohle aus dem „3D-Tiefbaumodell (TIEF 4)“ im Bereich des untertägigen Nachbaues |
| 38 | Abb. 1: Gliederung in Sanierungsabschnitte | 74 | Abb. 15: 3D-Darstellung Tagebauliegendmodell LIEG + 3D-Tiefbaustreckenmodell TIEF |
| 41 | Abb. 2: Einteilung Hauptrutschungskessel in Teilbereiche | 75 | Abb. 16: Rissausschnitt Tiefbaustrecken mit Darstellung der Änderungen (orange) durch Verschnitt des aktualisierten „3D-Tagebauliegendmodells (LIEG)“ mit dem fortgeführten digitalen „3D-Tiefbaumodell (TIEF)“ |
| 41 | Abb. 3: Lageplan Anstützung Hauptrutschungskessel-West und Kopffentlastung Hauptrutschungskessel-Ost | 77 | Abb. 1: Diskretisierung der Grundwasserleiter in finite Volumen |
| 41 | Abb. 4: Prinzipdarstellung Flächendränage | 77 | Abb. 2: Finites Volumenelement mit Darstellung der Grundwasserbilanz |
| 44 | Abb. 5: Technologischer Ablauf Aufweitung östliche Rutschungsflanke | 78 | Abb. 3: Prinzipdarstellung der Berücksichtigung von Fließgewässern (oben) und Standgewässern (unten) in der Modellstruktur |
| 45 | Abb. 6: Lageplan Endböschungssystem Hauptrutschungskessel und östliche Rutschungsflanke | 78 | Abb. 4: Modelldiskretisierung, mit roter Umrandung die Rasterung im Bereich Böschungsbewegung 2009 |
| 46 | Abb. 7: Sicherung der Ablagerung durch eine Nachverdichtung des RDV-Dammes und anschließende Aufschüttung | 79 | Abb. 5: Beispielhafter West-Ost-Schnitt durch das GW-Modell |
| 49 | Abb. 8: Konzipierte Rütteldämme zur Sicherung der SW-Böschung | 80 | Abb. 6: Korrelogramm der mittleren gemessenen und berechneten Grundwasserstände |
| 52 | Abb. 9: Technologische Vorgaben zur LRDV | | |
| 54 | Abb. 10: Lageplan Rütteldämme im Bereich der östlichen Kippenböschungen | | |
| 63 | Abb. 1: Verschneidung einer Schichtgrenze mit den Aufschlüssen der Bohrendatenbank und mit geologischen Referenzschnitten | | |
| 63 | Abb. 2: Rohflächen der Schichtgrenzen | | |
| 63 | Abb. 3: Geologisches 3D-Strukturmodell Nachterstedt, dargestellt als Schichtgrenzenmodell | | |
| 64 | Abb. 4: Ausschnitt aus dem 3D-Strukturmodell mit Darstellung der Schichtgrenzen, der Bohraufschlüsse und des digitalen Gelände- und Altbergbaumodells | | |
| 65 | Abb. 5: Ausschnitt aus dem lithologischen Blockmodell – die Farbgebung der Blöcke beschreibt die jeweilige lithologische Klasse (gelb: Kies, rot: Sand, grün: Schluff, blau: Ton, braun: Kohle) | | |

| Seite | | Seite | |
|-------|---|-------|--|
| 81 | Abb. 7: Prognosevariante Flutung des Concordia Sees durch Eigenaufgang und Einleitung von Filterbrunnenwasser | 100 | Abb. 27: Auszug aus dem Geotechnischen Schnitt GS 06 nördliches Endböschungssystem (schraffiert Massenumlagerungen aus Profilierung der Zwickelbereiche) |
| 81 | Abb. 8: Rekonstruktion des Druckwasserspiegelniveaus im GWL 6.3 vor der Böschungsbewegung | | |
| 87 | Abb. 1: Bergbauliche Entwicklung im Raum Nachterstedt/Königs- aue | 102 | Abb. 1: Übersicht Messpunktstandorte (MP 1a, 2a, 3, 4 seismische Sensoren, MP 1a+b, MP 2a+b Neigungsgeber) |
| 87 | Abb. 2: Geologischer Übersichtsschnitt 1/2015 (DSE 2) NE-SW aus der 5. Akt. 3D-Strukturmodell Nachterstedt (HPC AG), Schnitt 5-fach überhöht | 103 | Abb. 2: Seismisches Messnetz nach der Erweiterung durch die Außenstationen A1 bis A3 |
| 88 | Abb. 3: Geotechnische Schnittführungen im Sanierungsraum (orange: Geotechnische Schnitte, blau: Arbeitsschnitte) | 103 | Abb. 3: Alarmierungsplan |
| 89 | Abb. 4: Auszug Geotechnischer Schnitt GS 01 durch den Haupt- rutschungskessel mit Sanierungskontur | 104 | Abb. 4: Messpunktanordnung (rot dargestellt) im Bereich Nach- terstedt, Stand Nov. 2012 nach Umbau |
| 90 | Abb. 5: Prinzip der Anordnung der Stützkörper und Ermittlung des schwallwellenwirksamen Abbruchvolumens bei Verflüssi- gung (Quelle: G.U.B. Ingenieur AG) | 105 | Abb. 5: Seismische Ereignisse der Beobachtungskampagnen 09/2009 bis 11/2012 (gelb) und 12/2012 bis 12/2014 (blau) im Bereich der ehemaligen Wohnbebauung „Am Ring“ |
| 91 | Abb. 6: Nachweis der Gleitsicherheit des Stützkörpers bei wirken- der Bodenverflüssigung ohne hydrodynamische Zusatzbe- anspruchung | 107 | Abb. 6: Zeitlicher Ablauf der Böschungsbewegung vom 28.06.2016 |
| 91 | Abb. 7: Bestimmung der technologisch erforderlichen Stützkörper- breite ohne hydrodynamische Zusatzbeanspruchung | 108 | Abb. 7: Epizentren der zwei starken Einzelereignisse der Bö- schungsbewegung vom 28.06.2016 |
| 92 | Abb. 8: Bestimmung der technologisch erforderlichen Stützkörper- breite mit hydrodynamischer Zusatzbeanspruchung | 109 | Abb. 8: Spektrogramm am MP A1 (Schadeleben), erstes Ereignis (Bruch/Böschungsbewegung) |
| 92 | Abb. 9: Nachweis der Gleitsicherheit bei einseitigem Abbruch am Stützkörper infolge hydrodynamischer Zusatzbeanspruchung | 109 | Abb. 9: Zeitablauf vom Beginn der Rüttelarbeiten des Verdich- tungspunktes 6.0030.10 bis zum ersten seismischen Ereignis am MP 105 = RV5_1 |
| 93 | Abb. 10: Entfernungabhängige Porenwasserüberdrücke bei der Rea- lisierung der T-SSPV im Haupt- rutschungskessel Ost im Jahr 2018 | 116 | Abb. 1: Hydrogeologisches Idealprofil |
| 93 | Abb. 11: Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen bei hori- zontaler Strömung und Variation der Böschungsneigung | 117 | Abb. 2: Übersichtsskizze zum Monitoringraum mit den Teilgebie- ten MB I bis MB VIII sowie zur Lage der GWM (grau) und Entwässerungsbrunnen (blau); IHU, Stand: 6/2020 |
| 94 | Abb. 12: Schnittführungen für Standsicherheitsberechnungen an der geplanten Sicherungsrampe | 118 | Abb. 3: Seewasserspiegel Concordia See im Zeitraum 1998 bis 2020 |
| 95 | Abb. 13: Ergebnis Standsicherheitsberechnung Kopfentlastung und Sicherungsrampe für die Bergung des Trägergerätes TG 3 | 121 | Abb. 4: Beispiel Grundwasserspiegelganglinien in „Gutachter-Da- tei“ für den Zeitraum ab Juni 2009 |
| 95 | Abb. 14: Fläche der T-SSPV im Haupt- rutschungskessel Ost mit Ver- dichtungsraster und Verformungsbild nach Abschluss der Arbeiten (maximale kumulierte Verformungen ca. 1,30 m) | 122 | Abb. 5: Messungen an der seismologischen Station Wimmelburg am 03.11.2011 mit Reaktionen auf das Erdbeben in Japan (Honshu) /2/ |
| 95 | Abb. 15: Abbildung Porenwasserüberdruck infolge SSPV in den Standsicherheitsberechnungen (hier Testfeld östliche Rutschungs- flanke) | 123 | Abb. 6: Reaktionen der Wasserspiegelganglinien der GWM 20, 1870 und 2823 auf das Erdbeben in Japan (Honshu) am 11.03.2011 |
| 96 | Abb. 16: Porenwasserüberdruck infolge T-SSPV und Abklingverhal- ten am 39. Sprengtag (30.05.2018) | 124 | Abb. 7: Schematische Übersicht zum Datenmanagementpro- zess des montanhydrologischen Monitoring Nachterstedt |
| 96 | Abb. 17: Fläche mit verflüssigungsempfindlichen Sanden innerhalb der Altkippe östlich der T-SSPV-Fläche (dunkelblaue Fläche) | 127 | Abb. 1: Nomogramm Dichten Stützflüssigkeit |
| 96 | Abb. 18: Bandbreite Korngrößenverteilung sandiger Rutschungs- und Kippenmassen Uferbereich östliche Rutschungsflanke mit verflüssigungsempfindlichem Spektrum | 128 | Abb. 2: Verrohrungsschema |
| 97 | Abb. 19: Standsicherheitsberechnung am aufgeweiteten Bö- schungssystem mit Berücksichtigung einer in die Böschung hineinreichenden verflüssigungsempfindlichen Zone | 129 | Abb. 3: Schema Monitoring der Porenwasserdrücke in den ver- schiedenen Grundwasserstockwerken und GeoMonitoring- System |
| 97 | Abb. 20: Erdfeuchte Mindestüberdeckungen zum Ausschluss loka- ler Verflüssigungen beim Einsatz von Kettenfahrzeugen | 132 | Abb. 1: Prinzipdarstellung der Rütteldruckverdichtung |
| 98 | Abb. 21: Rüttelstützkörper +95 m NHN (magenta) und +103 m NHN (rot) im Südabschnitt der Ostböschung (dunkel eingefärb- ter Bereich Verbreiterung) | 133 | Abb. 2: Prinzipdarstellung der Rüttelstopfverdichtung |
| 98 | Abb. 22: Rüttelstützkörper +95 m NHN und +103 m NHN im Süd- abschnitt der Ostböschung mit Hydroisohypsen Hangend- und Hauptmittel-GWL | 135 | Tabelle 1: Übersicht der vertraglichen und realisierten Mengen |
| 98 | Abb. 23: Ausschnitt Arbeitsschnitt AS 14A mit Sanierungskontur und potentiell vorgegebener Gleitfläche | 145 | Abb. 1: Arbeitsschnitt AS 51/2017, die zu verdichtenden verflüssi- gungsfähigen Sande und das angrenzende Böschungssys- tem sind dargestellt |
| 98 | Abb. 24: LRDV-Fläche (hellgrün) im Bereich der Südwestkippe mit geplantem Sicherungskörper und Steinschüttung (grau) sowie Verfüllbereiche (gelb), Quelle: Ausführungsplanung G.U.B. Ingenieur AG | 146 | Abb. 2: Technische Elemente für den Porendruckabbau während der Sprengverdichtung |
| 99 | Abb. 25: Chaotische Rinnenstrukturen unterhalb der LRDV-Fläche aus dem Bruch des Ascheklärteiches 1968 (Luftbild 13.06.1969, LMBV) mit umrandetem LRDV-Abschnitt (weiß) und Ab- bruchkanten der Rutschung vom 28.06.2016 (magenta) | 147 | Abb. 3: Vergleich einer Vor- (DS-V 203/2014) und Nachsondierung (DS-N 1068/2018) im Bereich des SSPV-Tripols Nr. 11 |
| 99 | Abb. 26: Nutzungsorientierte Sicherheitsbewertung 2019 mit Frei- gabeempfehlung eines nördlichen Abschnittes des Con- cordia Sees | 148 | Abb. 4: Geländeabsenkungen und Tripole Nr. 5, 11 und 13 der T- SSPV, Ansatzpunkte der DS 203/14 und 592/16 (vor SSPV) sowie DS 1068/18 (nach SSPV) |
| | | 152 | Abb. 1: Schematische Darstellung der drei Quellterme (Quell- term 1: Kippe, Quellterm 2: Top des Braunkohleflöz, Quell- term 3: Altbergbauauffahrungen) der „Altblagerung Schwelereirückstände“ im Tagebaurestloch Nachterstedt |
| | | 153 | Abb. 2: Ergebnis der Interpolation des Quellterm 1 für die Dimethyl- phenole, Luftbild auf Kippenbasis drapiert (Quelle: IBGW GmbH) |
| | | 154 | Abb. 3: Berechnete Verteilung Dimethylphenole (Quelle: IBGW GmbH) |

- ABP** – Abschlussbetriebsplan
- AS** – Arbeitsschnitt
- BBodSchV** – Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
- BGR** – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- BGV** – Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit
- BMF** – Bundesfinanzministerium
- BNatschG** – Bundesnaturschutzgesetz
- BTEX** – Benzol-Toluol-Ethylbenzol-Xylol
- BTG** – Braunkohlentiefbaugrube
- BWHM** – Bodenwasserhaushaltsmodell
- DGUV** – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
- DIN** – Deutsches Institut für Normung
- DS** – Drucksondierung
- DSE** – Einheitlicher Datenspeicher Erkundung
- DSL** – digital subscriber line
(= digitale Anschlussleitung)
- GMS** – Groundwater Modeling System
- GOK** – Geländeoberkante
- GSM** – Global System for Mobile Communications
(früher Groupe Spécial Mobile)
- GU** – Kies-Schluff
- GW** – Grundwasser
- GWGL** – Grundwassergeringleiter
- GWL** – Grundwasserleiter
- GWM** – Grundwassermessstelle
- HRK** – Hauptrutschungskessel
- HS** – Hydroseilbagger
- ITC** – Spannung der Datenübertragungseinheit
- kf** – Durchlässigkeitsbeiwert
- kNm** – Kilonewton
- KW** – Kohlenwasserstoffe
- LAGB** – Landesamt für Geologie und Bergwesen
- LAWA** – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
- LHW** – Landesbetrieb für Hochwasser
- LRDV** – Leichte Rütteldruckverdichtung
- LSA** – Land Sachsen-Anhalt
- LvwA** – Landesverwaltungsamt
- MB** – Monitoringbereich
- MESZ** – Mitteleuropäische Sommerzeit
- MID** – magnetisch-induktives Durchflussmessgerät
- MKW** – Mineralölkohlenwasserstoffe
- ML** – Lokalmagnitude
- MP** – Messpunkt
- MPa** – Megapascal
- MS** – Oberflächenwellenmagnitude
- NHN** – Normalhöhennull
- OGewV** – Oberflächengewässerverordnung
- On-SSPV** – Oberflächennahe Schonende Sprengverdichtung
- PAK** – polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- PDE** – Prozessdatenerfassung
- PDF** – Portable Document Format
(= universelles Dateiformat)
- PWD** – Porenwasserdruck
- RDV** – Rütteldruckverdichtung
- RSV** – Rüttelstopfverdichtung
- SBL** – Sprengbohrloch
- SE** – Enggestufte Sande
- SfG** – Sachverständiger für Geotechnik
- SIP** – Spektrale Induzierte Polarisation
- SPV** – Sprengverdichtung
- SSPV** – Schonende Sprengverdichtung
- StuBA** – Steuerungs- und Budgetausschuss für die Braunkohlesanierung
- SU** – Sand-Schluff
- SW** – Südwest
- T-SSPV** – Tiefe Schonende Sprengverdichtung
- TG** – Trägergerät
- TOC** – Total Organic Carbon
(= organischer Kohlenstoff)
- TU** – Technische Universität
- UNB** – Untere Naturschutzbehörde
- UTC** – Coordinated Universal Time
(= koordinierte Weltzeit)
- UVPg** – Umweltverträglichkeitsprüfung
- WHG** – Wasserhaushaltsgesetz
- ZDE** – Zentrales Datenerfassungssystem

Herausgeber:

Lausitzer und Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
(verantw. Dietmar Onnasch)
Walter-Köhn-Str. 2, 04356 Leipzig
Telefon: +49 341 22222188
www.lmbv.de

Text:

LMBV und die in den Fachbeiträgen genannten Autoren

Konzept/Redaktion:

LMBV (Dietmar Onnasch, Mirko Werner, Lisa Sander,
Mathias Siebert, Claudia Hermann),
agreement werbeagentur GmbH (Marcus Blanke)

Gestaltung und Satz:

agreement werbeagentur GmbH

Fotos:

LMBV und die in den Fachbeiträgen genannten Urheber/
Autoren, Christian Bedeschinski, Holger Gabriel, Peter Radke,
Filmart Potsdam, Martin Klindtworth, Landesamt für
Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (Luft-
foto Seite 19 unten), Grafik Radar (Seite 177)©natrada
kittirangsee/Shutterstock.com, Grafik Fahrzeug + Bohrung
(Seiten 178+179)©Nadiinko/Shutterstock.com, Grafik
Aktenordner (Seite 180)©anemad/Shutterstock.com,
Grafik LKW (Seite 181)©matsabe/Shutterstock.com

Titelfoto:

Concordia See mit Rutschungsbereich Nachterstedt
und Bohrponton, 2011 (Foto: Peter Radke)

Foto Rückseite:

Segler auf dem teilweise freigegebenen
Concordia See vor dem Hauptrutschungskessel
Nachterstedt, 2019 (Foto: Christian Horn, Filmart Potsdam)

Abbildungen:

LMBV und die in den Fachbeiträgen genannten
Urheber/Autoren, Manuela Boy (Einsteckkarte)

Oktober 2020





LMBV 

Lausitzer und Mitteldeutsche
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH