

Examination of geotechnical aspects in the approval of residual lakes

Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen

ANNIKA MITTMANN, ROLF PETRI, KLAUS BUSCHHÜTER, Germany

Approval practice requires geotechnical aspects to be considered in addition to many other factors in the creation of residual lakes. The proof of stability is furnished in the course of various Special Operating Plan procedures, and the due date for the submission of these plans is determined by the provisions of the Master and Main Operating Plans. The Geological Survey of North Rhine-Westphalia (GD NRW) is involved in the approval process as the technical inspection body.

1 Guideline for Stability Investigations (RfS) as the basis for the examination of geotechnical aspects in NRW's opencast lignite mines

Since 1976, the Guideline for Stability Investigations (RfS) has ensured the stability of slopes in the opencast lignite mines of the Rhenish mining area [1]. The scope of the Guideline covers the investigation and evaluation of the stability of rim slopes and permanent slopes in the opencast mines, the associated outside dumps and the resulting residual voids. Besides the definition of Guideline-specific terms and principles, the Guideline explains the proofs to be provided and describes the monitoring measures to be taken. In addition, it regulates the submission and contents of Operating Plans and their scrutiny by experts.

The three-stage examination procedure is structured as follows: In a Special Operating Plan procedure, the mine operator proves the stability of the planned slopes of the lignite mines to the Arnsberg regional government on the basis of ancillary provisions laid down in the relevant approvals. As a rule, the NRW Geological Survey examines the mine operator's stability investigations from a

Die Anlage von Restseen bedingt in der Genehmigungspraxis neben zahlreichen anderen Faktoren auch die Beachtung geotechnischer Aspekte. Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt im Zuge verschiedener Sonderbetriebsplanverfahren, die in ihrer Vorlagefrist durch Rahmen- und Hauptbetriebsplanbestimmungen gesteuert werden. Der Geologische Dienst NRW (GD NRW) ist als fachliche Prüfinstanz in den Genehmigungsprozess eingebunden.

1 Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen (RfS) als Grundlage für die Prüfung geotechnischer Aspekte im Braunkohlentagebau in NRW

Die Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen (RfS) gewährleistet seit 1976 die Standsicherheit von Böschungen der Braunkohlentagebaue im Rheinischen Revier [1]. Der Anwendungsbereich der Richtlinie umfasst die Untersuchung und Beurteilung der Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen der Braunkohlentagebaue, der zugehörigen Außenkippen sowie der entstehenden Restlöcher. Inhaltlich werden in der RfS neben richtlinienspezifischen Begriffserklärungen und Grundsätzen die zu führenden Nachweise erläutert sowie zu ergreifende Beobachtungsmaßnahmen beschrieben. Des Weiteren werden Vorlage und Inhalt von Betriebsplänen wie auch die Prüfung durch Sachverständige geregelt.

Das dreistufige Prüfungsverfahren ist folgendermaßen aufgebaut: Der Bergbauunternehmer weist im Sonderbetriebsplanverfahren die Standsicherheit der geplanten Böschungen gegenüber der Bezirksregierung Arnsberg aufgrund von Nebenbestimmungen in den Zulassungen nach. Die fachliche Prüfung der standsicherheitslichen Untersuchungen des Unternehmers und die Durchführung eigener Standsicherheitsberechnungen erfolgt im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg i.d.R. durch den Geologischen Dienst NRW. Das Ergebnis ist eine Stellungnahme zur Standsicherheit.

Auf Grundlage der Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW nimmt die Bezirksregierung Arnsberg die Prüfung des Betriebsplans unter Berücksichtigung von bergtechnischen und bergsicherheitlichen Aspekten vor. Die Zulassung des Betriebsplans erfolgt üblicherweise unter Formulierung von Nebenbestimmungen, die der Unternehmer bei Erstellung und Betrieb der Böschung einzuhalten hat. Das können beispielsweise Nebenbestimmungen zur Böschungsüberwachung, Anlage von Inklinometermessstellen oder zu einem Soll-Ist-Vergleich der Böschungsgeometrie sein.

Dieses aufgrund der drei am Nachweis- und Prüfprozess beteiligten Parteien sogenannte „Sechs-Augen-Prinzip“ gewährleistet

Dipl.-Geol. ANNIKA MITTMANN,
Bezirksregierung Arnsberg – Abt. Bergbau und Energie in NRW,
Dez. 61, Josef-Schregel-Straße 21, 52349 Düren, Germany
Tel. +49 (0) 2421-9440-23, Fax +49 (0) 2931-824-0941
e-mail: annika.mittmann@bezreg-arnsberg.nrw.de

Ltd. Bergdirektor Dipl.-Ing. ROLF WILHELM PETRI,
Bezirksregierung Arnsberg – Abt. Bergbau und Energie in NRW,
Dez. 61, Josef-Schregel-Straße 21, 52349 Düren, Germany
Tel. +49 (0) 2421-9440-12
e-mail: rolf.petri@bezreg-arnsberg.nrw.de

Dipl.-Ing. KLAUS BUSCHHÜTER,
Geologischer Dienst NRW, De-Greif-Straße 195,
47803 Krefeld, Germany
Tel. +49 (0) 2151-897-243, Fax +49 (0) 2151-897-542
e-mail: klaus.buschhueter@gd.nrw.de

technical point of view and performs its own stability calculations on behalf of the Arnsberg regional government. The result is an advisory opinion on slope stability.

Based on the opinion delivered by the NRW Geological Survey, the Arnsberg regional government then examines the Operating Plan, taking account of mining-technology and mining-safety aspects. The Operating Plan is usually approved subject to the stipulation of ancillary provisions the mine operator has to meet in the construction and operation of slopes. These can be ancillary provisions on slope monitoring, the creation of inclinometer measuring points or an Actual/Target comparison of the slope geometry, for instance.

This so-called “six eyes principle” – three parties are involved in the examination and verification process – ensures that the slopes in NRW’s lignite mines feature a high level of safety.

The Guideline takes account of the particular boundary conditions in opencast lignite mining and, as a special regulation in North Rhine-Westphalia, it replaces the EC 7 standard [2] that does not apply to opencast lignite mines and the associated DIN 1054 (Subsoil) [3]. The level of safety required by the two sets of rules is comparable, however.

The Arnsberg regional government, the NRW Geological Survey and the mine operator, RWE Power AG, are maintaining a constant dialogue to develop the Guideline further. The experience gained in the implementation of the RfS is shared at regular intervals during “Stability Colloquia”.

Moreover, a permanent working group “Geomechanics in Rhenish lignite mining” was established under the auspices of the Arnsberg regional government in November 2009 to deal with current and long-term geomechanical issues and ensure a systematic development of the state of the art and hence the examination and further enhancement of the RfS.

In recent years, the key focus of the working group has been on the evaluation of the stability of existing residual lakes and elevated dumps in the Rhenish lignite area, more specific regulations for the inclusion of seismic impact on permanent slope systems and on other geomechanical issues surrounding residual lakes.

2 Further development of the RfS to take account of seismic impact on permanent slopes of residual lakes

The 2003 revision of the RfS already explicitly requires proper consideration of the effects of possible earthquakes on permanent slopes. Since no binding or reliable information was available at the time to define how the impact of earthquakes on permanent slopes can appropriately be taken into account, RWE Power AG commissioned several expert opinions and developed a process to include seismic impact into stability investigations. This process was subjected to a scientific evaluation led by the Geomechanics working group. Besides the examination of the process developed by the experts, it was also important – with a view to a further development of the existing standards (DIN 19700 Dam plants [4], Information Sheet 58 of NRW’s State Environmental Agency [5], Eurocode 8 [6] (DIN EN 1998 replacing the standard DIN 4149 [7])) – to establish a binding approach to earthquakes in the RfS. Furthermore, at the time when the Guideline was being revised, it became apparent that the dumping of the first slope areas for the Inden residual lake would start in late 2014, which required the prior submission and examination of Special Operating Plans for stability.

The working group decided to adopt a tiered approach to enable an independent scrutiny and extension of the results. The examination of the load side – seismic acceleration, in particular – was

ein hohes Sicherheitsniveau der Böschungen im Braunkohlenbergbau von NRW.

Die Richtlinie berücksichtigt die besonderen Randbedingungen des Braunkohlentagebaus und ersetzt als Spezialregelung in Nordrhein-Westfalen das nicht für Braunkohlentagebaue gültige Regelwerk EC 7 [2] mit zugehöriger DIN 1054 (Baugrund) [3]. Das Sicherheitsniveau beider Regelwerke ist aber vergleichbar.

Zur Weiterentwicklung der Richtlinie befinden sich die Bezirksregierung Arnsberg, der Geologische Dienst NRW und der Bergbaubetreiber RWE Power AG im ständigen Dialog. Über Erfahrungen mit der Umsetzung der RfS wird im Rahmen regelmäßiger „Standesicherheitslicher Kolloquien“ berichtet.

Im November 2009 wurde federführend durch die Bezirksregierung Arnsberg zudem ein fester Arbeitskreis „Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ etabliert, welcher neben der Bearbeitung aktueller und langfristiger gebirgsmechanischer Fragestellungen auch für eine systematische Fortentwicklung des Standes der Technik und somit Prüfung und Weiterentwicklung der RfS verantwortlich ist.

In den letzten Jahren waren die Bewertung der Standesicherheit bestehender Restseen und Hochkippen im Rheinischen Revier sowie die Konkretisierung der Berücksichtigung von Erdbebenwirkungen auf bleibende Böschungssysteme sowie weitere gebirgsmechanische Fragen der Restseen Schwerpunktthemen des Arbeitskreises.

2 Weiterentwicklung der RfS zur Berücksichtigung von Erdbebenwirkungen bei bleibenden Böschungen von Restseen

Bereits in der 2003 überarbeiteten Fassung der RfS ist für bleibende Böschungen eine angemessene Berücksichtigung von Einwirkungen durch mögliche Erdbeben explizit gefordert. Da zum damaligen Zeitpunkt noch keine verbindlichen oder verlässlichen Angaben zu einer angemessenen Berücksichtigung von Erdbeben auf die Standesicherheit bleibender Böschungen vorlagen, wurden seitens der RWE Power AG mehrere Gutachten in Auftrag gegeben und ein Verfahren zur Berücksichtigung von Erdbebenwirkungen bei Standesicherheitsuntersuchungen entwickelt. Dieses wurde unter Federführung des Arbeitskreises Gebirgsmechanik einer wissenschaftlichen Prüfung unterzogen. Neben der Prüfung der durch die Gutachter entwickelten Verfahren galt es im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Normenwelt (DIN 19700 Stauanlagen [4], LUA NRW-Merkblatt 58 [5], Eurocode 8 [6] (DIN EN 1998 – als Ersatz für DIN 4149 [7])) auch, einen verbindlichen Erdbebenansatz in der RfS festzuschreiben. Weiterhin zeichnete sich zum Zeitpunkt der Richtlinienüberarbeitung die Verkippung der ersten Böschungsbereiche des Restsees des Braunkohlentagebaus Inden ab Ende 2014 ab, verbunden mit der Erfordernis einer vorlaufenden Vorlage und Prüfung von Sonderbetriebsplänen zur Standesicherheit.

Der Arbeitskreis entschloss sich zu einem gestuften Verfahren zur unabhängigen Überprüfung und Erweiterung der bisherigen Erkenntnisse. Die Prüfung der Einwirkungsseite – im Speziellen die Erdbebenbeschleunigungen – wurde unter Einbindung des Landeserdbebendienstes, Geologischer Dienst NRW (GD NRW); der Erdbebenstation der Universität zu Köln und des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) Potsdam vorgenommen. Die Prüfung der standesicherheitlichen Aspekte zu Berechnungsverfahren und Berechnungsansätzen erfolgte durch das Institut für Boden- und Felsmechanik (IBF) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) unter Einbindung eines für die RWE Power AG gutachterlich tätigen ehemaligen Mitarbeiters des IBF.

Die Prüfung der Einwirkungsseite ergab für die Ermittlung der Erdbebenbeschleunigungen größere anzusetzende Wiederkehrperioden

performed in consultation with the State Seismological Survey of NRW's Geological Survey, the seismic observatory of the Cologne University and the GFZ German Research Centre for Geosciences at Potsdam. The examination of the stability-related aspects of calculation methods and assumptions was carried out by the Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics (IBF) of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) involving a former employee of the IBF providing services as an expert for RWE Power AG.

The examination of the load side yielded larger recurrence periods in line with existing DIN standards for the determination of seismic acceleration. DIN 19700 assumes a recurrence period of 500 years for "operating basis earthquakes" in large dams (dam category 1). In Eurocode 8, with DIN EN 1998-1/NA as the planned successor standard to DIN 4149, a comparable recurrence period of 475 years equivalent to a probability of exceedance of 10 % in 50 years is used as hazard level. This corresponds to the hazard level assumed for ordinary buildings and civil engineering works worldwide and to that of the applicable German standard for buildings in earthquake areas (DIN 4149). Since the duration of the filling phase for a residual lake is limited and more or less identical to the life of a building structure, a recurrence period of 500 years has been assumed as safety level for the filling phase in line with Eurocode 8.

There is agreement among the working group members and experts that a residual lake does not fulfil the criteria of a large dam and, in particular, is no retaining structure. The requirements of DIN 19700 in principle apply only to the actual retaining structure but not to the slopes and inclines that are situated below the surrounding terrain and are comparable to the residual-lake slopes. Residual lakes in the Rhenish mining area do not feature fluctuating lake water tables, are embedded in the terrain, have no sealing or hydraulic gradients and are hence not comparable to a large dam in terms of hazard potential. Although permanent slopes in the Rhenish lignite area can thus be expected to pose a lower secondary hazard in event of a failure than retaining dams, for example, the safety level for the final stage of the residual lake is dimensioned by analogy with a large dam plant above ground according to DIN 19700 or Information Sheet 58 "Consideration of Seismic Loading in accordance with DIN 19700" (State Environmental Authority). As a result, stronger earthquakes with a recurrence period of 2500 years are assumed for slope systems of residual lakes than for slopes and inclines of dam lakes that – according to DIN 19700 – are subject to Eurocode 8. The dimensioning of residual-lake slopes thus exceeds the requirements of DIN EN 1998 (Eurocode 8) with a view to a possible future use for building purposes.

The current revision of the Guideline for Stability Investigations (RfS) by the Arnsberg regional government including an amendment regarding earthquakes of 8.8.2013 therefore requires the same earthquakes to be considered for lake-slope systems that are taken into account as "maximum design earthquakes" for the retaining structures of large dams in NRW pursuant to the above sets of rules.

Consequently, earthquakes with a recurrence period of 2500 years are assumed for the lake-slope systems. Individual slopes of residual lakes are deemed to be subject to a recurrence period of 500 years that also applies to elevated dumps in the Rhenish mining area. To determine the relevant ground acceleration, the RfS either provides for consultation of the GFZ Potsdam web application [8] or the preparation of a site-specific seismic expert opinion. At the initiative of the Geomechanics working group, the query option of the GFZ application was extended in this connection to include a numeric indication of peak ground acceleration (PGA).

The KIT expert opinion on stability aspects [9] confirms the suitability of pseudo-static methods for stability investigations that also take account of the influence exerted by earthquakes, provided a

in Anlehnung an bestehende DIN-Normen. In der DIN 19700 werden für große Stauanlagen (Talsperrenklasse 1) Wiederkehrperioden von 500 Jahren als „Betriebserdbeben“ angesetzt. Im Eurocode 8 mit DIN EN 1998-1/NA als geplante Nachfolgenorm der DIN 4149 ist als Gefährdungsniveau eine vergleichbare Wiederkehrperiode von 475 Jahren entsprechend einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10 % in 50 Jahren zu Grunde gelegt. Dies entspricht dem für Anlagen üblicher Hoch- und Ingenieurbauten weltweit und dem der gültigen deutschen Erdbebenbaunorm (DIN 4149) angesetzten Gefährdungsniveau. Da die Dauer der Befüllphase eines Restsees zeitlich begrenzt ist, und der Größenordnung der Lebensdauer eines Hochbaus entspricht, wird das Sicherheitsniveau der Befüllphase angelehnt an den Eurocode 8 mit einer Wiederkehrperiode von 500 Jahren berücksichtigt.

Es besteht Einvernehmen bei Arbeitskreis und Gutachtern darüber, dass ein Restsee nicht die Kriterien einer Stauanlage erfüllt und insbesondere kein Absperrbauwerk darstellt. Die Anforderungen der DIN 19700 gelten grundsätzlich nur für das eigentliche Absperrbauwerk, nicht aber für die bezüglich ihrer Lage unterhalb des umgebenden Geländes liegenden Böschungen und Hänge der Staubecken, welche vergleichbar mit den Restseeböschungen sind. Restseen im Rheinischen Revier weisen keine wechselnden Seewasserspiegel auf, liegen eingebettet im Gelände, weisen keine Abdichtung und keine hydraulischen Gradienten auf und sind deswegen hinsichtlich des Gefährdungspotenzials nicht mit einer Stauanlage vergleichbar. Obwohl bei bleibenden Böschungen im Rheinischen Revier gegenüber beispielsweise Staudämmen somit von einer geringeren Sekundärgefährdung im Versagensfall auszugehen ist, wird für den Endzustand eines Restsees die Dimensionierung des Sicherheitsniveaus an eine über Gelände liegende große Stauanlage nach DIN 19700 bzw. des Merkblattes 58 „Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700“ (LANUV) angelehnt. Demnach werden damit für Böschungssysteme von Restseen gegenüber dem für die Hänge und Böschungen von Staubecken entsprechend DIN 19700 anzuwendenden Eurocode 8 stärkere Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 2500 Jahren angesetzt. Die Bemessung der Restseeböschungen geht damit über die Anforderungen der DIN EN 1998 (Eurocode 8) im Hinblick auf eine mögliche spätere bauliche Nutzung hinaus.

Die aktuelle Neufassung der Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen (RfS) der Bezirksregierung Arnsberg mit Ergänzung zu Erdbeben vom 8. August 2013 sieht somit eine Berücksichtigung von Erdbeben für die Seeböschungssysteme vor, wie sie entsprechend der o.g. Regelwerke auch für die Absperrbauwerke großer Stauanlagen in NRW als „Bemessungserdbeben“ herangezogen werden.

Berücksichtigt wird folglich für die Seeböschungssysteme ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 2500 Jahren. Für die Einzelböschungen der Restseen gilt eine Wiederkehrperiode von 500 Jahren, die auch für die Hochkippen im Rheinischen Revier heranzuziehen ist. Zur Ermittlung der anzusetzenden Bodenbeschleunigung sieht die RfS entweder eine Abfrage in der Webanwendung des GFZ Potsdam [8] oder ein standortspezifisches seismisches Gutachten vor. Die Abfragemöglichkeit der GFZ-Anwendung wurde auf Initiative des Arbeitskreises Gebirgsmechanik in diesem Zusammenhang um die zahlenmäßige Ausweisung der Spitzenbodenbeschleunigungen (PGA) ergänzt.

Das KIT-Gutachten zu den standsicherheitlichen Aspekten [9] bestätigt die Geeignetheit pseudo-statischer Verfahren zur Untersuchung der Standsicherheit unter Berücksichtigung von Erdbebeneinfluss, unter der Voraussetzung eines stabilen Korngerüsts. Die entsprechende Erweiterung zur Berücksichtigung der Erdbebenlasten auf die Feststoffmasse und das Wasser nach dem Vorschlag von GOLDSCHIEDER [10] wird aus Gutachtersicht empfohlen, da Porenwasserüberdrücke entsprechend diesem Ansatz auf der sicheren Seite liegend eingeschätzt werden können. Das Gutachten kommt

stable grain skeleton is in place. An extension to include the effect of seismic loading on the solid mass and the water as proposed by GOLDSCHIEDER [10] is recommended here since this approach allows assessing the excess pore-water pressures on the safe side. The expert opinion concludes that a global stability of $\eta > 1$ is sufficient for a slope, i.e. that it suffices to demonstrate that the stabilizing forces in the relevant slip circle that prevent a slide in the event of an earthquake are larger than the driving forces. When η is equal to or lower than 1, deformation must be expected to occur at the slopes but no slope failure, so that dynamic methods are recommended to establish stability in this case. Based on the relevant standards and using dynamic calculation methods, KIT performed a backward calculation of the pseudo-static coefficients to be used in pseudo-static methods. Overall, the pseudo-static coefficients were found to be subject to low fluctuations irrespective of the operational or final state and of seismic loading. The expert opinion therefore recommends constant χ values for near-surface and deep-lying slip circles that are independent on peak ground acceleration and the recurrence period. The χ values can be determined by linear interpolation between high- and low-lying slip circles or, to be on the safe side, the higher value $\chi = 0.25$ can be applied to near-surface failure mechanisms.

Regarding the revision of the Stability Guideline [11] that was published on 8.8.2013 in the Electronic Bulletin, the following aspects relating to the effects of earthquakes are to be highlighted:

- The amendment to the RfS expressly applies to the consideration of seismic impact on permanent slopes of residual lakes and elevated dumps in NRW's opencast lignite mines.
- Recurrence periods (500 or 2500 years) and pseudo-static coefficients are defined with binding effect. The slopes of residual lakes in the Rhenish lignite area are thus designed to withstand the same seismic impact as large dams.
- Conformity with EC 8 in respect of subsequent building use ($T = 500$ a) is ensured.
- The peak ground acceleration (PGA) to be used can be established in a transparent manner without time-consuming and costly site surveys.
- The effects of earthquakes on permanent slopes are to be investigated by means of pseudo-static or dynamic methods.
- The prerequisite for any investigation using these methods is the absence of liquefaction effects in the materials used for slope construction. Permanent slopes are to be designed and constructed to ensure that soil liquefaction is impossible. This is to be demonstrated by the mine operator in a suitable manner.
- Stability η of permanent individual slopes and slope systems that is determined by pseudo-static methods for the event of an earthquake must be above the limit equilibrium ($\eta = 1$).
- Where the calculated stability η is ≤ 1 , the deformation of the permanent slope to be expected as a result of an earthquake must be established by further dynamic investigations and evaluated by experts in terms of consequences and risks.

3 Examination of quasi-static investigations for residual-lake slopes by the NRW Geological Survey (GD NRW)

As a basis for the amendment to the Inden Lignite Plan (residual lake instead of backfilling), the slope systems were investigated in the years 2006 and 2008 by means of a total 11 geological sections provided by RWE Power AG in order to evaluate their basic feasibility in terms of stability, and the results were submitted as "Planning Notification" to the Arnsberg regional government

zu dem Schluss, dass für die Standsicherheit der Böschung eine globale Standsicherheit von $\eta > 1$ ausreicht, es also zu zeigen genügt, dass in dem maßgebenden Gleitkreis die stabilisierenden Momente gegen eine Böschungsrutschung im Falle von Erdbeben größer sind als die treibenden Momente. Sofern $\eta = 1$ erreicht oder unterschritten wird, ist zwar von Verformungen an den Böschungen, aber nicht von einem standsicherheitlichen Versagen auszugehen. Daher werden in diesem Fall dynamische Verfahren zum Nachweis empfohlen. Unter Berücksichtigung einschlägiger Normen und durch Einsatz dynamischer Berechnungsverfahren erfolgte durch das KIT eine Rückrechnung der in pseudo-statischen Verfahren anzusetzenden pseudo-statischen Koeffizienten. Insgesamt wurden relativ gering schwankende pseudo-statische Koeffizienten unabhängig vom Betriebs- und Endzustand und der seismischen Belastung festgestellt. Auf der sicheren Seite liegend werden daher konstante, folglich von der Spitzenbodenbeschleunigung und der Wiederkehrperiode unabhängige χ -Werte für die oberflächennahen und tiefliegenden Gleitkreise vom Gutachter empfohlen. Die χ -Werte können zwischen hoch- und tiefliegenden Gleitkreisen linear interpoliert werden oder aber auf der sicheren Seite liegend der höhere Wert $\chi = 0,25$ für oberflächennahe Bruchmechanismen angewendet werden.

In der Neufassung der Richtlinie für Standsicherheit [11], welche am 8. August 2013 im elektronischen Sammelblatt der Bezirksregierung Arnsberg veröffentlicht wurde, sind nachfolgende Aspekte hinsichtlich der Berücksichtigung von Erdbebenwirkungen zu betonen:

- Die Ergänzung der RfS gilt ausdrücklich für die Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei bleibenden Böschungen von Restseen und Hochkippen der Braunkohlentagebaue in NRW.
- Wiederkehrperioden (500 bzw. 2500 Jahre) und pseudo-statische Koeffizienten werden verbindlich festgelegt. Die Böschungen der Restseen im Rheinischen Revier werden damit auf Erdbebeneinwirkungen ausgelegt, die denen großer Stauanlagen entsprechen.
- Konformität mit EC 8 bzgl. späterer baulicher Nutzung ($T = 500$ a) ist gegeben.
- Anzusetzende Spitzenbodenbeschleunigungen (PGA) können transparent und ohne aufwändige Standortgutachten ermittelt werden.
- Die Auswirkungen von Erdbeben auf bleibende Böschungen sind mittels pseudo-statischer oder dynamischer Verfahren zu untersuchen.
- Voraussetzung für die Untersuchung mit diesen Verfahren ist das Nichtauftreten von Verflüssigungseffekten der Materialien, mit denen die Böschungen hergestellt werden. Bleibende Böschungen sind so zu gestalten und aufzubauen, dass eine Bodenverflüssigung nicht zu besorgen ist. Dies ist vom Unternehmer in geeigneter Weise darzulegen.
- Die mit pseudo-statischen Verfahren für den Erdbebenfall ermittelte Standsicherheit η von bleibenden Einzelböschungen und Böschungssystemen muss über dem Grenzgleichgewicht $\eta = 1,0$ liegen.
- Soweit die rechnerisch ermittelte Standsicherheit $\eta \leq 1,0$ ist, müssen die im Erdbebenfall zu erwartenden Verformungen der bleibenden Böschung mittels weiterführender dynamischer Untersuchungen ermittelt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen und des Risikos gutachterlich bewertet werden.

3 Prüfung quasi-statischer Untersuchungen für Restseeböschungen durch den GD NRW

Als Grundlage für die Änderung des Braunkohlenplans Inden („Restsee statt Verfüllung“) wurden in den Jahren 2006 und 2008 die Böschungssysteme anhand von insgesamt 11 geologischen

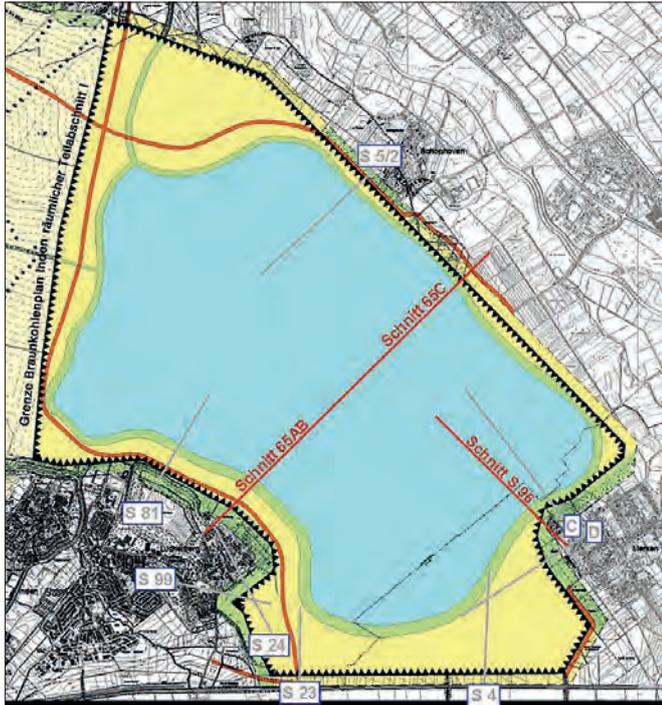


Fig. 1: Geological sections investigated for the planned residual lake in connection with the procedure to amend the Inden II Lignite Plan

Abb. 1: Im Zusammenhang mit dem Verfahren zur Änderung des Braunkohlenplans Inden II untersuchte Schnittlagen für den geplanten Restsee

(Figure 1). GD NRW was asked by the Arnberg regional government to verify the submitted proofs of stability. Besides the future residual-lake slopes, the rim slopes existing after depletion of the mine and the dump slopes were scrutinized.

In compliance with the RfS (2003) applicable at the time, seismic impact was already taken into account for the filling phase and the final state. For the north side of the Inden residual lake, the examination of more detailed slope planning in the Operating Plan procedure took place for the first time on the basis of the new RfS (2013). Under the terms of the Master Operating Plan approval for the Inden residual lake, the mine operator has presented a further Special Operating Plan for stability in the area of the Schophoven township. This plan is currently being examined.

In addition to viewing and evaluating the data base, the examination by GD NRW (Figure 2) also includes stability calculations using circular sliding bodies according to BISHOP and those applying the rigid-body method. In these calculations, all RWE sliding bodies are "recalculated" and possible differences assessed as well as the GD's "own" sliding bodies investigated.

All sliding bodies examined and their results are documented along with a textual evaluation in a report submitted to the Arnberg regional government. This report is discussed with the Mining Authority and RWE Power AG. If specific matters have to be clarified, comparable slope areas that have already been completed are inspected.

The stability calculations are based on the BISHOP method mentioned above and described in DIN 4084 and on the rigid-body method. Comments by experts regarding calculation methods and load effects are considered. The RfS requires that the global definition of safety be applied. In the present case, the final lake-slope structure is to be regarded as the boundary slope. In line with the requirements of RfS (2013), a safety of $\eta \geq 1.3$ must be demonstrated for the overall system. If seismic impact is to be taken into account, $\eta > 1.0$ applies.

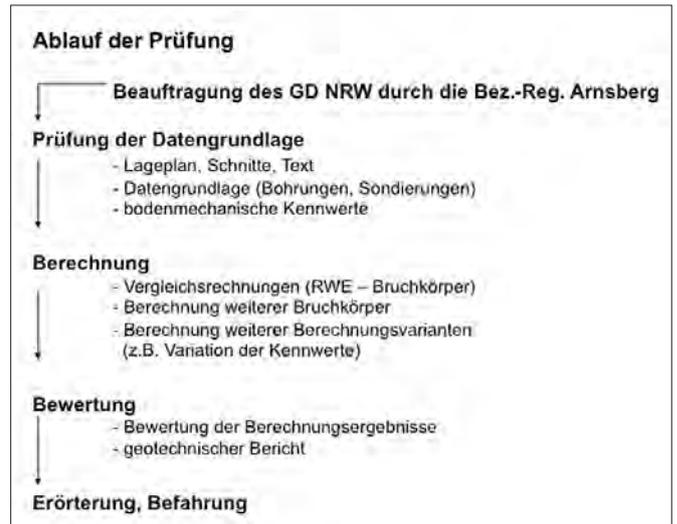


Fig. 2: Examination process (schematic)

Abb. 2: Schematische Darstellung eines Prüfungsablaufes

Schnitten von der RWE Power AG hinsichtlich der grundsätzlichen Standsicherheitsnachweise untersucht und die Nachweise als „Planerische Mitteilung“ der Bezirksregierung Arnberg vorgelegt (Abbildung 1). Der GD NRW wurde von der Bezirksregierung Arnberg mit der Prüfung der Standsicherheitsnachweise beauftragt. Neben den späteren Restseeböschungen wurden die Randböschungen im Auskohlungs Zustand und die Kippenböschungen betrachtet.

Entsprechend der zu diesem Zeitpunkt geltenden RfS (2003) wurden für Befüllphase und Endzustand bereits Erdbeeinwirkungen berücksichtigt. Für die Nordseite des Restsees Inden erfolgte Ende 2013 die Prüfung der weiter konkretisierten Böschungsplanung im Betriebsplanverfahren erstmals auf der Grundlage der neuen RfS (2013). Gemäß den Vorgaben aus der Rahmenbetriebsplanzulassung für den Restsee Inden wurde vom Bergbaubetriebenden ein weiterer Sonderbetriebsplan zur Standsicherheit im Bereich der Ortslage Schophoven vorgelegt. Dieser befindet sich derzeit in der Prüfung.

Neben der Sichtung und Bewertung der Datengrundlage beinhaltet die Prüfung durch den GD NRW (Abbildung 2) Standsicherheitsberechnungen mittels kreisförmiger Bruchkörper nach BISHOP und nach der Starrkörpermethode (SKM). Dabei werden sowohl sämtliche RWE-Bruchkörper „nachgerechnet“ und eventuelle Differenzen bewertet, als auch „eigene“ Bruchkörper untersucht.

Die Dokumentation aller untersuchten Bruchkörper und deren Ergebnisse und die textliche Bewertung erfolgen in einem Bericht an die Bezirksregierung Arnberg. Dieser Bericht wird zusammen mit der Bergbehörde und der RWE Power AG erörtert. Zur Klärung bestimmter Sachverhalte werden Befahrungen von bereits erstellten, vergleichbaren Böschungsbereichen genutzt.

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgen nach den bereits erwähnten in der DIN 4084 beschriebenen Verfahren BISHOP und nach der Starrkörpermethode. Weitere Hinweise von Fachleuten bezüglich Rechenverfahren und Lasteinwirkungen werden beachtet. Nach der RfS wird die globale Sicherheitsdefinition angewandt. Als Endböschung ist im vorliegenden Fall das endgültige Bauwerk der Seeböschung anzusehen. Für das Gesamtsystem ist dabei entsprechend der Vorgabe aus der RfS (2013) eine Sicherheit $\eta \geq 1,3$ nachzuweisen. Bei Berücksichtigung von Erdbeeinwirkungen gilt $\eta > 1,0$.

Die Standsicherheit einer Böschung ist bekanntermaßen von vielen Faktoren abhängig. Der Einfluss eines ansteigenden Wasserstandes ist in Abbildung 3 dargestellt. Nach Fertigstellung der Kippe wird die Hohlform befüllt und es kommt zu einem allmählichen

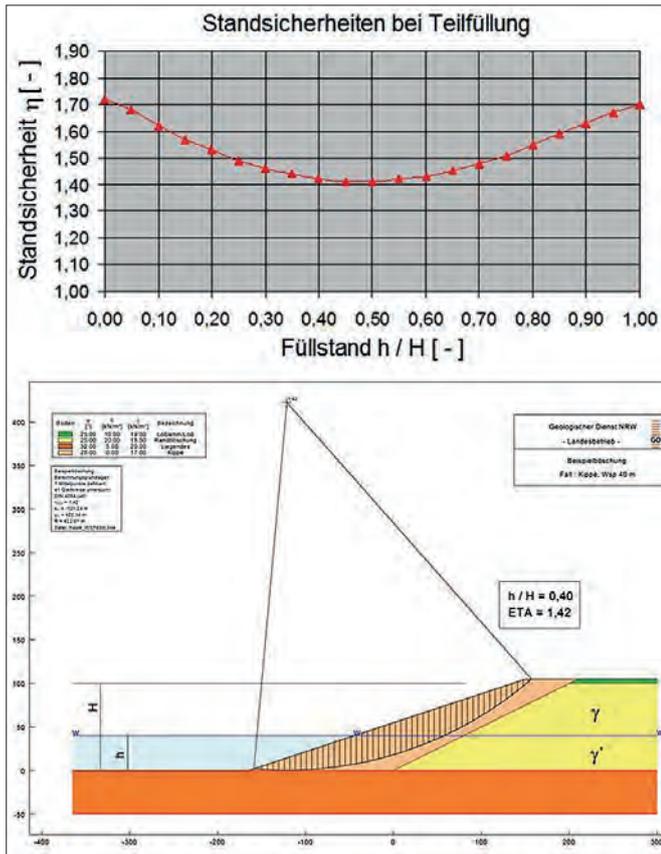


Fig. 3: Example illustrating the dependence of the stability of an individual slope on the level of a changing external water table; exemplary results for a dump slope with an inclination of 1:3 ($\varphi' = 28^\circ$, $c' = 0$ kPa, without seismic impact)

Abb. 3: Beispiel für die Abhängigkeit der Böschungsstandsicherheit einer Einzelböschung von der Höhe eines veränderlichen Außenwasserspiegels, Ergebnisse exemplarisch für eine Kippenböschung in 1:3 ($\varphi' = 28^\circ$, $c' = 0$ kPa; ohne Erdbebeeinwirkung)

As is widely known, the stability of a slope depends on a number of factors. The influence exerted by a rising water level is illustrated in Figure 3. Upon completion of the dump, the hollow body is being filled and the lake water table gradually rises. Using the example of a dump slope with an inclination of 1:3, the figure shows that this results in an initial reduction in stability of approx. $\eta = 1.70$ to approx. $\eta = 1.42$ to 1.41. As the basin is being filled, stability again increases to its original level. The minimum stability in the example is reached at a filling level of approx. $h/H = 0.4$ to 0.5. This is due to a decrease in the supporting forces acting on the slope toe, which is caused by a decline in the soil's unit weight. The saturation with water reduces the weight from approx. $\gamma = 19$ to 20 kN/m^3 (moist unit weight) to approx. $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ (buoyant unit weight) while the driving forces are still effective in line with the moist unit weight. This process is of importance both for the overall system and for each partial or individual slope.

The water influences stability in several respects (Figure 4). Besides the water level, further influences exerted by water must be considered. These aspects must be taken into account by adjusting the dump structure and providing an appropriate slope geometry. Even if the final completion of the overall "residual lake" structure is still some way ahead (Inden: about 2060, cp. Figure 5), multiple use perspectives already exist today for the filling phase. What will initially be a bar to this use is that the area involved is that of a mining operation. Although calculations have shown the slopes to be sufficiently stable, erosion, transformation and maybe even small slides cannot entirely be ruled out for the filling phase

Anstieg des Seewasserspiegels. Am Beispiel einer 1:3 geneigten Kippenböschung ist im Bild erkennbar, dass es dabei zunächst zu einem Absinken der Standsicherheit von im Beispiel ca. $\eta = 1,70$ auf etwa $\eta = 1,42$ bis 1,41 kommt. Mit zunehmender Beckenfüllung steigt die Standsicherheit wieder auf das Ursprungsniveau an. Das Minimum der Standsicherheit tritt im Beispiel bei einem Füllstand von etwa $h/H = 0,4$ bis 0,5 ein. Der Grund hierfür liegt in der Verminderung der stützenden Kräfte am Böschungsfuß durch die Verminderung der Wichte des Bodens. Durch die Wassersättigung nimmt die Wichte von ca. $\gamma = 19$ bis 20 kN/m^3 (Feuchtwichte) auf ca. $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ (Wichte unter Auftrieb) ab, während die antreibenden Kräfte noch mit der Feuchtwichte wirksam sind. Dieser Prozess ist sowohl für das Gesamtsystem als auch für jede Teil- oder Einzelböschung von Bedeutung.

Das Wasser beeinflusst die Standsicherheit in mehrfacher Hinsicht (Abbildung 4). Es sind neben dem Wasserstand noch weitere Einflüsse des Wassers zu beachten. Diesen Aspekten muss durch einen angepassten Kippenaufbau und eine entsprechende Böschungsgeometrie Rechnung getragen werden. Auch wenn die endgültige Fertigstellung des Gesamtbauwerks „Restsee“ noch in weiter Ferne liegt (Inden: ca. 2060, vgl. Abbildung 5), gibt es bereits zum jetzigen Zeitpunkt vielfache Nutzungsperspektiven während der Befüllphase. Dieser Nutzung steht zunächst entgegen, dass es sich um einen bergbaulichen Betrieb handelt. Auch wenn rechnerisch ausreichend standsichere Böschungen nachgewiesen wurden, so lassen sich dennoch in der viele Jahre andauernden Befüllphase Erosionen, Umbildungen und gegebenenfalls auch



Fig. 4: Water – a factor influencing stability that needs to be examined with a view to use perspectives

Abb. 4: Wasser als zu prüfender Einflussfaktor der Standsicherheit in Bezug auf Nutzungsperspektiven



Fig. 5: Planned Inden residual lake with the township of Merken, photomontage (source: RWE Power AG)

Abb. 5: Geplanter Restsee Inden mit Ortslage Merken, Fotomontage (Quelle: RWE Power AG)

that will take many years. Interim access and use is therefore not possible everywhere and must be examined on a case-by-case basis. This will require further geotechnical investigations to be carried out in due time.

In the geological section S 5/2 (Schophoven) (Figure 6), the proofs of stability for the rim slopes existing after depletion of the mine and the dump slopes were scrutinized. After creation of the rim slope and extraction of the lignite, the slope system will be supported by the dump. The figure shows a sliding body that was a major determinant for the partial slope (2008). In the investigations exploring the basic feasibility of a residual lake, the dump was initially assumed to be a “homogenous” layer, with a uniform shear strength being applied (friction angle: $\varphi' = 28^\circ$, cohesion $c' = 0$ kPa). The most unfavourable failure mechanism is influenced by the shear strength of the footwall strata. The most unfavourable lake water table corresponds to a filling level of some 1/3 to 1/2.

Following the completion of more detailed planning, section S 5/2 (Schophoven) is currently undergoing further scrutiny pursuant to an ancillary provision of the Master Operating Plan approval. The slope geometry has been slightly modified in the process (Figure 7). The dump structure has been differentiated on the basis of dumping schemes. The dump surface that will constitute the future underwater slope is planned to have a thickness of at least 20 m and consist of Mixed Soil 1 (displayed in light grey and yellow).

For the dump materials containing up to 30 % of cohesive components (Mixed Soil 1, displayed in light grey and yellow), a friction angle of $\varphi' = 35^\circ$ (with $c' = 0$ kPa) is assumed. For materials with larger cohesive portions (Mixed Soil 2, displayed in brown) undrained shear strengths of $c_u = 42$ kPa to $c_u = 182$ kPa are used depending on the thickness of the overlying strata and the degree of consolidation.

kleinere Rutschungen nicht vollständig ausschließen. Eine zwischenzeitliche Zugänglichkeit und Nutzung ist daher nicht überall möglich und muss im Einzelfall geprüft werden. Dies erfordert zu gegebenem Zeitpunkt weitere geotechnische Untersuchungen.

Im geologischen Schnitt S 5/2 (Schophoven) (Abbildung 6) wurden die Standsicherheitsnachweise für die Randböschung im Auskohlungszustand und die Kippenböschung geprüft. Nach der Herstellung der Randböschung und der Gewinnung der Kohle wird das Böschungssystem durch die Kippe gestützt. Dargestellt ist ein Bruchkörper, der für die Teilböschung maßgebend war (2008). Die Kippe wurde bei den Untersuchungen zur grundsätzlichen Machbarkeit des Restsees zunächst als „homogene“ Schicht mit einem einheitlichen Scherfestigkeitsansatz (Reibungswinkel $\varphi' = 28^\circ$, Kohäsion $c' = 0$ kPa) angenommen. Der ungünstigste Bruchmechanismus wird durch die Scherfestigkeiten der Liegend-schichten beeinflusst. Der ungünstigste Seewasserspiegel liegt bei ca. 1/3 bis 1/2 Füllhöhe.

Der Schnitt S 5/2 (Schophoven) befindet sich in einer konkretisierten Planung aktuell entsprechend einer Nebenbestimmung der Rahmenbetriebsplanzulassung in einer weiteren Prüfung. Die Böschungsgeometrie wurde dabei leicht modifiziert (Abbildung 7). Der Kippenaufbau wurde anhand von Regelprofilen differenziert. Die Kippenoberfläche als spätere Unterwasserböschung wurde mit einer Dicke von mindestens 20 m aus Mischboden 1 (hellgrau und gelb dargestellt) geplant.

Für die Kippenmaterialien mit bindigen Bestandteilen bis zu 30 % (Mischboden 1, hellgrau und gelb dargestellt) wurde dabei ein Reibungswinkel von $\varphi' = 35^\circ$ (bei $c' = 0$ kPa) angesetzt. Für die Materialien mit größerem bindigen Anteil (Mischboden 2, braun dargestellt) wurden je nach Überlagerungshöhe und Konsolidierungsgrad undrainierte Scherfestigkeiten zwischen $c_u = 42$ kPa bis $c_u = 182$ kPa angesetzt.

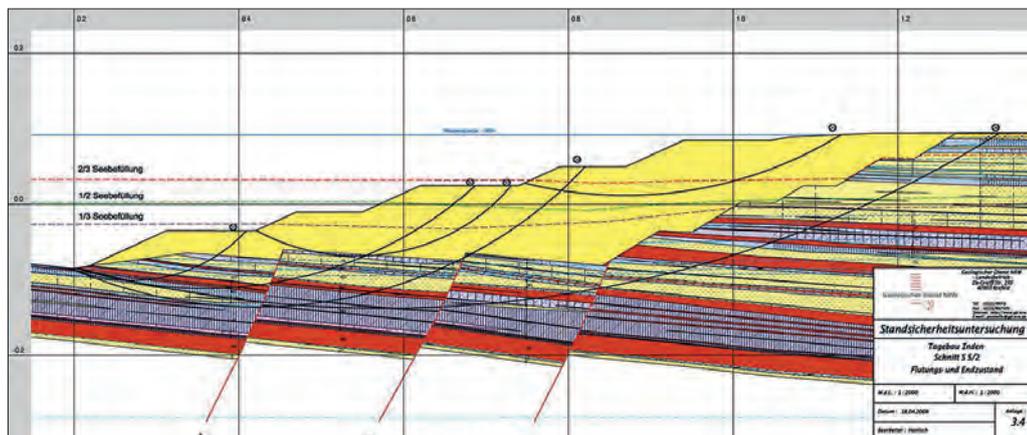


Fig. 6: GD sliding body in the advisory opinion of 2008 based on homogeneous dump material ($\varphi' = 28^\circ$, $c' = 0$ kPa in section S 5/2 Schophoven)

Abb. 6: Darstellung der GD-Bruchkörper in der Stellungnahme von 2008 unter Berücksichtigung von homogenem Kippenmaterial ($\varphi' = 28^\circ$, $c' = 0$ kPa im Schnitt S 5/2 Schophoven)

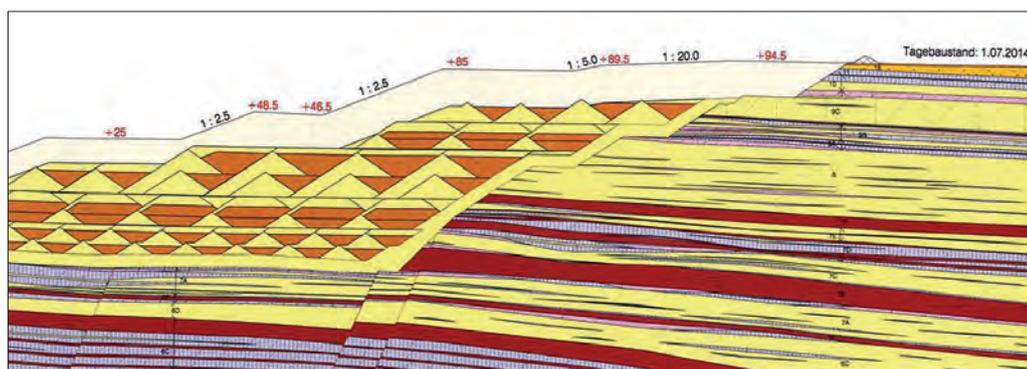


Fig. 7: Slope geometry of the Inden residual lake based on the example of section 5/2 (inclination of the individual slopes of 1:2.5, upper individual slope of 1:5, min. berm width of 50 m, splash zone inclination of 1:20, width of 100 m, dump surface consisting of Mixed Soil 1, thickness of 20 m)

Abb. 7: Darstellung der Böschungsgeometrie des Restsees Inden am

Beispiel des Schnitts S 5/2 (Neigung der Einzelböschungen 1:2,5, obere Einzelböschung 1:5, Bermenbreite mind. 50 m, Wellenschlagzone 1:20, Breite 100 m, Kippenoberfläche Mischboden 1, Mächtigkeit 20 m)

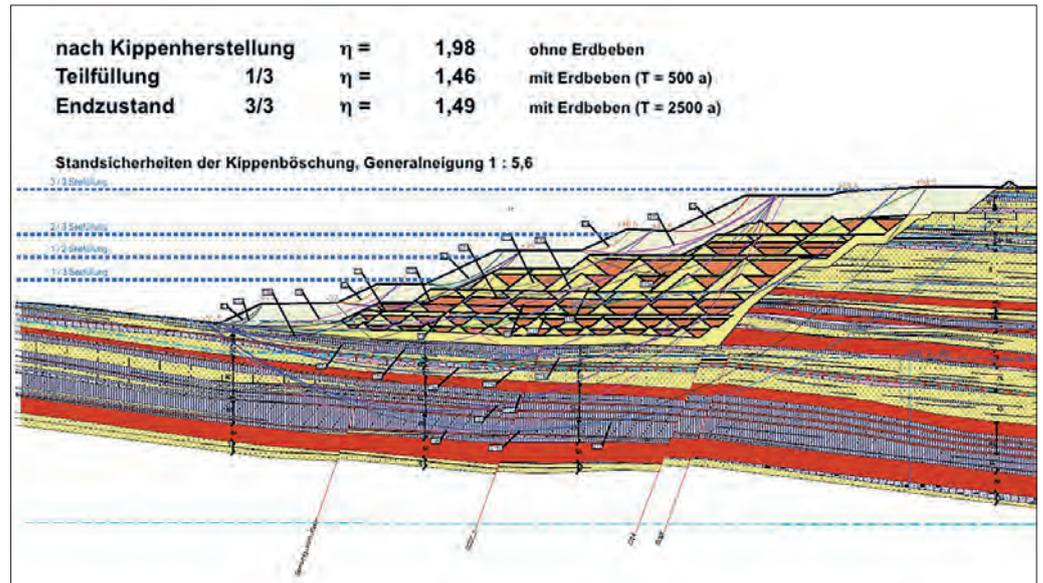


Fig. 8: Results of the stability calculations for section S 5/2 taking account of the operating condition
 Abb. 8: Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen zum Schnitt S 5/2 unter Berücksichtigung des Betriebszustandes

This shear strength approach in connection with the dumping schemes is on the safe side, since water-saturated, highly cohesive dump materials do not occur in every case. The determining sliding body (Figure 8) runs through the dump and the footwall. During filling, the most unfavourable condition is reached at $h/H = 1/3$. In the final state, the stability is determined to be $\eta = 1.49$ in the event of an earthquake (without earthquake: $\eta = 2.49$).

4 Evaluation of the calculation results

The comparative calculations have revealed no significant differences between RWE's and the GD's sliding bodies. The safety requirements specified by the RfS are fulfilled, with minimum shear strengths and unfavourable filling levels – and even earthquake loading – being assumed. This means that stability is ensured during the depletion, dumping and filling phases as well as in the lake's final state.

The dump structure, the various filling levels and possible seismic impact are of great importance to the stability of residual-lake slopes. Thanks to in-depth discussions in the Geomechanics working group and with the help of recognized experts from the fields of mining, soil mechanics, geomechanics and seismics, it was possible to describe and successfully provide the required proofs of stability.

In coming years, the key challenges of the filling phase will therefore be to reconcile the uses intended by the municipalities with geotechnical aspects. It must be assumed, in particular, that monitoring and maintenance of the slope system will be imperative in the filling phase. Any use may only be approved if an appropriate network of roads and paths including the required rescue routes has been built and the use is sufficiently safe (in terms of time and space), which is to be proven by local geotechnical investigations. One focus of the geotechnical examination will be on the lake's use for leisure and bathing purposes since, due to the slopes' geometry and the constantly changing water level, the temporary lakeshore areas during the filling phase are not designed for these purposes and will therefore be closed to the public.

The building development of dump areas on the future lakeshore requires special geotechnical investigations to be performed, but they will have to be deferred until the expected settlement of the overall system has taken place. Following an appropriate waiting period, the construction of buildings on dump areas in the lake

Dieser Scherfestigkeitsansatz liegt in Verbindung mit den Regelprofilen auf der sicheren Seite, da nicht in jedem Fall wassergesättigte, stark bindige Kippmassen anfallen. Der maßgebende Bruchkörper (Abbildung 8) verläuft durch die Kippe und das Liegende. Während der Befüllung tritt der ungünstigste Zustand bei $h/H = 1/3$ ein. Im Endzustand wird mit Erdbeben eine Standsicherheit $\eta = 1,49$ (ohne Erdbeben: $\eta = 2,49$) ermittelt.

4 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei den Vergleichsrechnungen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen RWE- und GD-Bruchkörpern. Unter Berücksichtigung minimaler Scherfestigkeiten und ungünstiger Füllzustände wurden – selbst bei Ansatz von Erdbebenlasten – die nach RfS erforderlichen Sicherheiten nachgewiesen. Die Standsicherheit ist somit für die Auskohlungs-, Kippen- und Befüllphase sowie im Endzustand gewährleistet.

Für die Standsicherheit der Restseeböschungen sind der Kippenaufbau, die jeweiligen Füllzustände und eventuelle Erdbebeneinwirkungen von großer Bedeutung. Durch intensive Beratungen des AK Gebirgsmechanik und mit Hilfe von anerkannten Fachleuten aus den Fachgebieten Bergbau, Boden- und Gebirgsmechanik und Seismik ist es gelungen, die erforderlichen Nachweise zu beschreiben und erfolgreich zu führen.

Die größten Herausforderungen in den kommenden Jahren werden während der Befüllphase somit darin bestehen, die Nutzungsvorstellungen der Gemeinden in Einklang zu bringen mit geotechnischen Aspekten. Hier ist insbesondere davon auszugehen, dass eine Überwachung und Unterhaltung des Böschungssystems in der Befüllphase zwingend notwendig ist. Eine Freigabe für eine bestimmte Nutzung ist nur dann denkbar, wenn ein entsprechendes Wegenetz einschließlich erforderlicher Rettungswege konzipiert wird und die Nutzung (zeitlich und räumlich) ausreichend sicher ist. Dies ist durch lokale geotechnische Untersuchungen nachzuweisen. Insbesondere geotechnisch zu prüfen ist die Freizeit- und Badenutzung, da die temporären Uferbereiche in der Befüllphase wegen der Böschungsgeometrie und der ständig veränderlichen Wasserstände dafür nicht konzipiert sind. Die temporären Uferbereiche werden daher nicht für die Öffentlichkeit zugänglich sein. Für die Bebauung von Kippenflächen am späteren Seeufer sind besondere geotechnische Untersuchungen erforderlich; hier sollten zunächst die zu erwartenden Setzungen des Gesamtsystems abgewartet werden. Nach entsprechenden Wartezeiten

environment is basically possible when stability has been proven and mining supervision has ended.

Full use of the permanent lakeshore areas (e.g. for building purposes), however, will only be possible after filling has been completed and mining supervision come to an end.

5 Examination of dynamic aspects including soil liquefaction

In line with the latest amendment to the Guideline, both static and dynamic calculation methods can be used to take account of seismic impact on permanent slopes. Dynamic calculations are usually applied if the proof of sufficient stability cannot be furnished by the conservative, quasi-static method.

The Special Operating Plan for the north side of the lake was hence approved subject to a resolatory condition.

It specifies that, within a fixed time limit, the mine operator must provide proof, in the form of an opinion based on current scientific knowledge and prepared by an authorized expert or an authorized expert body, that the execution of the requested and approved slope structure or of a modified slope structure proposed by the expert, if necessary, will not allow any soil liquefaction even in the event of seismic impact possible in the Rhenish lignite mining area (maximum design earthquake 2, recurrence period $T = 2500$ years). Moreover, the consequences of earthquakes possible in the Rhenish mining area for the permanent residual-lake slope in the area of the geological section (slope system) described in the Special Operating Plan must be investigated by an authorized expert or an authorized expert body using an appropriate dynamic method based on the latest scientific findings. The Mining Authority reserves the right, after submission of the investigation results, to stipulate any necessary adjustments to the design and structure of the permanent residual-lake slopes to be constructed on the basis of this Special Operating Plan. If the proof was not furnished, the approval of the Operating Plan would be null and void. The required expert opinion is currently being prepared by KIT.

6 Summary

The examination of geotechnical aspects in the approval of residual lakes in NRW is subject to the Guideline for Stability Investigations of the Arnsberg regional government as the Mining Authority in charge. It provides for a "six eyes principle" with the mine operator, the NRW Geological Survey and the Mining Authority being involved in the examination process. The further development of the Guideline and the exploration of special stability issues are ensured by the Geomechanics working group under the auspices of the Arnsberg regional government. The working group calls in further experts of scientific institutions and competent bodies as needed. The investigations carried out so far and the further systematic processing of issues arising in connection with residual lakes guarantees a high level of safety for the residual lakes planned in NRW.

References/Literatur

- [1] Richtlinien für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinien für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS) Landesoberbergamt NRW; Fassung vom 4.3.1976.
- [2] Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, DIN EN 1997-1 mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA
- [3] DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1/NA.

sind Bebauungen auf Kippenflächen im Seeumfeld nach Nachweis der Standsicherheit und Beendigung der Bergaufsicht aber grundsätzlich möglich.

Eine vollständige Nutzung der dauerhaften Uferbereiche (z.B für bauliche Zwecke) wird allerdings erst nach Abschluss der Befüllung und erst nach Ende der Bergaufsicht möglich sein.

5 Prüfung dynamischer Aspekte einschließlich Bodenverflüssigung

Gemäß der aktuellen Richtlinienergänzung können zur Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen auf bleibende Böschungen sowohl statische als auch dynamische Berechnungsverfahren angewendet werden. Üblicherweise finden dynamische Berechnungen dann Anwendung, wenn der Nachweis einer ausreichenden Standsicherheit mittels der auf der sicheren Seite liegenden quasi-statischen nicht möglich ist.

Die Zulassung des Sonderbetriebsplans für die Nordseite des Restsees Inden wurde daher mit einer sogenannten auflösenden Bedingung erteilt.

Danach hat der Unternehmer bis zu einer definierten Frist einen gutachterlichen Nachweis auf der Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse eines benannten Sachverständigen oder einer benannten sachverständigen Stelle vorzulegen, dass bei Durchführung des beantragten und zugelassenen Böschungsaufbaus oder eines erforderlichenfalls vom Gutachter vorgeschlagenen modifizierten Böschungsaufbaus eine Bodenverflüssigung auch im Fall der im Rheinischen Revier möglichen Erdbebeneinwirkungen (Bemessungserdbeben 2, Wiederkehrperiode $T = 2500$ Jahre) nicht zu besorgen ist. Zudem sind die Auswirkungen von im Rheinischen Revier möglichen Erdbebeneinwirkungen auf die bleibende Restseeböschung im Bereich der im Sonderbetriebsplan beschriebenen Schnittlage (Böschungssystem) zusätzlich mittels eines geeigneten dynamischen Verfahrens durch einen benannten Sachverständigen oder eine benannte sachverständige Stelle auf der Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse untersuchen zu lassen. Es bleibt vorbehalten, nach Vorlage der Untersuchungsergebnisse gegebenenfalls erforderliche Anpassungen zur Gestaltung und Aufbau der auf Grundlage dieses Sonderbetriebsplanes zu erstellenden bleibenden Restseeböschungen festzulegen. Würde der Nachweis nicht erbracht, wäre die Betriebsplanzulassung hinfällig. Das geforderte Gutachten wird derzeit durch das KIT erarbeitet.

6 Zusammenfassung

Die Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen erfolgt in NRW unter Anwendung der Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen der Bezirksregierung Arnsberg als zuständiger Bergbehörde. Sie sieht ein sogenanntes „Sechs-Augen-Prinzip“ vor, bei dem Bergbauunternehmer, Geologischer Dienst NRW und Bergbehörde im Prüfprozess tätig werden. Die Weiterentwicklung der Richtlinie und die Untersuchung spezieller standsicherheitlicher Fragestellungen erfolgt unter der Federführung der Bezirksregierung Arnsberg durch den Arbeitskreis Gebirgsmechanik unter bedarfsweiser Einbindung weiterer Gutachter wissenschaftlicher Institutionen und sachverständiger Stellen. Durch die bisherigen Untersuchungen und das weitere strukturierte Bearbeiten der im Zusammenhang mit den Restseen anstehenden geotechnischen Fragestellungen wird in NRW für die geplanten Restseen ein hohes Sicherheitsniveau gewährleistet.

- [4] DIN 19700: Stauanlagen.
- [5] Merkblatt 58 (2006): Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen. – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.

- [6] Eurocode 8 (DIN EN 1998): Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.
- [7] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten; April 2005.
- [8] Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ Potsdam): Interaktive Abfrage von Karten der Erdbebengefährdung und Beschleunigungs-Antwortspektren für die Gefährdungsniveaus gemäß DIN 19700; http://www-app1.gfz-potsdam.de/pb53/Koor/Koordinatenabfrage_DIN_html.php bzw. <http://dx.doi.org/10.5880/GFZ.2.6.2012.001>
- [9] TRIANTAFYLIDIS, T. (2013): Gutachterliche Stellungnahme zu Standsicherheitsberechnungen mit Ansatz von „Erdbebenbeschleunigungen für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ – Überprüfung des quasistatischen Ansatzes der Erdbebenbeschleunigung bei Standsicherheitsuntersuchungen und Bewertung der Rechenverfahren zur Böschungsstabilität, Juni 2013.
- [10] GOLDSCHIEDER, M. et al. (2010): Berücksichtigung von Erdbeben bei Standsicherheitsberechnungen für tiefe Endböschungen unter Wasser. – *World of Mining* **62**, 5: 252-261.
- [11] Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS). – Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW; Neufassung vom 16.5.2003, Neufassung mit 1. Ergänzung vom 8.8.2013.
- [12] Angaben für die Umweltverträglichkeitsprüfung einschließlich Umweltprüfung im Braunkohlenplanverfahren zur Änderung der im Braunkohlenplan I den, räumlicher Teilabschnitt II, festgelegten Grundzüge der Oberflächengestaltung und Wiedernutzbarmachung, Kapitel 8.6 Standsicherheit, Stand 31.10.2006.