

Standortsicherheitsuntersuchungen für den geplanten Restsee Inden unter Berücksichtigung von Erdbeben

ROLF PETRI, KLAUS BUSCHHÜTER, DIETER DAHMEN, Germany

Stability examinations for the envisaged Inden residual lake with due consideration of earthquakes

In connection with the amendment to the Inden II Lignite Mining Plan (residual lake instead of backfilling) stability tests for the planned residual-lake slopes have already been performed early on to demonstrate the general feasibility of a lake in the envisaged size, taking also account of possible impact from earthquakes. The investigation areas were selected with a view to the objects located in the environs of a future lake that require protection (surrounding villages, A 4 motorway).

The calculations that were performed using conservative shear-strength values (minimum values) invariably indicate sufficient stability. According to today's knowledge as reflected in the geological, hydrological and geomechanical records the examined slopes are to be considered stable for the time needed to fill the residual lake and in their permanent final state. This is also true if effects of earthquakes are considered. As part of the investigations the stability of the examined temporary rim slopes was also evidenced for the duration of extraction activities, so that the stability of the slopes is ensured in all areas at all times.

The planned 1:20 inclined wave-action zone ensures that the final, fully filled lake is hydromechanically stable and can withstand

wind-generated waves. Potential erosion or cliff formation at the slopes caused by wind-generated waves at the filling stage would be fixed, if necessary, within the scope of slope maintenance. The filling phase will be closely monitored (monitoring of slopes, hydrogeological measurements).

Further studies of the opencast mine rim slopes, the design and stability of the residual lake's single and part-slopes and the local and temporal use of the residual-lake slopes will be conducted at the next planning and approval stages of the proceedings under mining law. Specific investigation areas and dates are included in the collateral requirements of the Master Operating Plan approval dated 20 December 2012. The necessary records are to be submitted by the mining company to the mining authority in due time. Detailed examinations as required by the utilisation concept will also be conducted in subsequent processes.

This phased approach safeguards that the latest geological, hydrogeological as well as geomechanical findings and the current state of the art are considered in further planning activities and that the stability of slopes is ensured at all times.

1 Änderung des Braunkohlenplanes Inden II

Für das Abbaufeld Inden II wurde durch den Bergbauunternehmer bereits 1984 die Anlage eines Restsees beantragt. Dieser wurde durch die Bergbehörde aufgrund von Vorgaben aus dem

Braunkohlenplan seinerzeit nicht zugelassen; stattdessen wurde vorgesehen, das Restloch Inden mit Abraummassen aus dem Tagebau Hambach geländegleich zu verfüllen.

Diese Planung wurde durch eine Initiative aus der Indeland-Region (Gemeinde Inden) im Jahre 2000 nochmals hinterfragt und stattdessen angeregt, einen See anzulegen um damit die Attraktivität der Region weiter zu steigern (Ziel: „Wertschöpfung in Freizeit- und Erlebnislandschaft, die auch ökologischen Anforderungen gerecht werden kann.“) Das formale Verfahren der Braunkohlenplanänderung wurde durch einen Antrag der Gemeinde Inden vom 04.07.2000 ausgelöst [1]. Nach Beschluss des Braunkohlenaussschusses wurden unter Federführung der Bezirksregierung Köln Fragen zu landwirtschaftlichen, wasserwirtschaftlichen, rechtlichen und finanziellen Aspekten eines Restsees unter Einschaltung entsprechender Gutachter geklärt [2]. In einem Scoping-Termin wurde am 09.03.2006 mit den Verfahrensbeteiligten festgelegt, welche weiteren Aspekte im Rahmen der Umwelt- bzw. Umweltverträglichkeitsprüfung zu untersuchen waren. Dabei wurde auch der Aspekt der Böschungsstandsicherheit unter Einfluss von Erdbeben diskutiert.

Üblicherweise erfolgen konkrete Standsicherheitsuntersuchungen erst nach Abschluss eines Braunkohlenplanverfahrens im Zuge des nachfolgenden Rahmenbetriebsplanverfahrens. Diese werden dann im Hauptbetriebsplanverfahren weiter konkretisiert, in dem

Ltd. Bergdirektor Dipl.-Ing. ROLF WILHELM PETRI,
Bezirksregierung Arnsberg, Bergverwaltung Düren/Dez. 61,
Josef-Schregel-Str. 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-Str. 195, 47803 Krefeld, Germany
Tel. +49 (0) 2151-897-243, Fax +49 (0) 2151-897-542
e-mail: klaus.buschhueter@gd.nrw.de

Dr.-Ing. DIETER DAHMEN,
RWE Power AG, Abt. Gebirgs- und Bodenmechanik,
Zum Gut Bohlendorf, 50126 Bergheim, Germany
Tel. +49 (0) 2271-751-22780, Fax +49 (0) 2271-751-22122
e-mail: dieter.dahmen@rwe.com

entsprechend der für NRW gültigen „Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS“ [3] die Anfertigung spezieller und detaillierter Sonderbetriebspläne zur Standsicherheit erfolgt. Damit wird sichergestellt, dass in den jeweiligen Prüfungsschritten die aktuellen und sich mit den weiteren Untersuchungen und den Aufschlüssen durch den Tagebau erweiternden Erkenntnisse zu den geotechnischen Verhältnissen sowie die aktuelle Tagebauplanung berücksichtigt werden.

Die standsicherheitsliche Prüfung für das Abbaufeld Inden II war entsprechend der in 2006 gültigen Rahmenbetriebsplanzulassung bis spätestens 2020 vorgesehen, wurde aber aufgrund der grundsätzlichen Bedeutung der Standsicherheit für die Realisierbarkeit des geplanten Restsees – an die geänderte Folgenutzung angepasst – vorgezogen und erstmals frühzeitig parallel zu einem Braunkohlenplan-Änderungsverfahren unter Federführung des für standsicherheitsliche Fragen zuständigen damaligen Bergamtes Düren durchgeführt.

Ziel der Untersuchungen war dabei der frühzeitige Nachweis der grundsätzlichen gebirgsmechanischen Machbarkeit des geplanten Restsees sowie der Nachweis der Standsicherheit der Restseeböschungen unter Berücksichtigung möglicher Erdbebeneinwirkungen für die Befüllphase und den Endzustand in Bezug auf die Ortslagen als zu schützende Objekte. Ebenfalls geprüft wurde die Standsicherheit der temporären Randböschungen.

Das Ergebnis dieser standsicherheitslichen Prüfung ging als Anlage zu den UVP-Unterlagen in das Braunkohlenplan-Änderungsverfahren bei der Bezirksregierung Köln ein, d.h. der Aspekt der Standsicherheit wurde vor der Zulassung des geänderten Braunkohlenplans Inden II entgegen anderslautender Einschätzungen [4] bereits unter Federführung der Bergbehörde umfangreich untersucht, wie im Nachfolgenden ausgeführt wird.

2 Nachweis der Standsicherheit von Böschungen im Braunkohlentagebau in NRW

Für die Untersuchung und Beurteilung der Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen der Braunkohlentagebaue und der zugehörigen Außenkippen sowie der Restlöcher gilt in NRW die o.g. Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS).

Unter einer Randböschung ist danach eine Böschung zu verstehen, die entlang zur Abbaugrenze des Tagebaus angelegt und zu einem späteren Zeitpunkt überkippt, überbaggert oder umgestaltet wird. Eine bleibende Böschung wird dagegen weder überkippt noch überbaggert, sondern bleibt als Landschaftsbestandteil auf Dauer bestehen. Auch wenn die später unterhalb des Seewasserspiegels liegenden Böschungen eines Restsees kein sichtbarer Landschaftsbestandteil sind, gelten solche Böschungen als bleibend.

Böschungen sind entsprechend der Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen grundsätzlich so anzulegen und zu unterhalten, dass die Sicherheit des Bergwerkbetriebs, die persönliche Sicherheit und die zu schützenden Objekte während der vorgesehenen Standzeit nicht gefährdet werden. Um Rutschungen zu vermeiden, müssen die standsicherheitslichen Erfordernisse bereits bei der Planung der Böschungen in hinreichender Weise berücksichtigt werden. Dies setzt eine rechtzeitige Erkundung der geologischen und hydrologischen Gegebenheiten voraus.

Während der Betriebsdauer des Tagebaus ist für eine ausreichende Bewirtschaftung der Böschungflächen und Unterhaltung notwendiger wasserwirtschaftlicher Anlagen Sorge zu tragen. Bleibende Böschungen sind unter Berücksichtigung der endgültigen wasserwirtschaftlichen und bodenmechanischen Verhältnisse

dauerhaft standsicher so anzulegen, dass eine regelmäßige Unterhaltung und eine Überwachung der Verformungen nach Einstellung des Betriebs nicht erforderlich sind. Für Restseeböschungen ist dies der Zeitraum nach Abschluss der Befüllung und Einstellen stationärer Grundwasserverhältnisse.

Entsprechend der Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen hat der Bergbauunternehmer die Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen der zuständigen Aufsichtsbehörde nachzuweisen. Der Nachweis einer hinreichenden Standsicherheit dient dem Schutz der im Tagebau beschäftigten Personen, der betrieblichen Anlagen und insbesondere auch der im Böschungsrandbereich liegenden zu schützenden Objekte. Solche Objekte sind bspw. nichtbetriebliche bauliche Anlagen und Gebäude, die für den ständigen oder zeitweiligen Aufenthalt von Menschen bestimmt sind oder Einrichtungen und Bauwerke, die dem öffentlichen Verkehr dienen.

Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt i.d.R. mittels Standsicherheitsberechnungen auf Basis geotechnischer, d.h. geologischer, hydrologischer und geomechanischer Untersuchungen und markscheiderischer Unterlagen im Rahmen bergrechtlicher Betriebspläne.

Standsicherheitsberechnungen sind, entsprechend der RfS unter Verwendung der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen, nach von der Bezirksregierung Arnsberg – Abteilung Bergbau und Energie in NRW – anerkannten Verfahren durchzuführen, die für die vorliegenden Gegebenheiten geeignet sind und dem Stand der Technik entsprechen.

Unter Verwendung der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen, der markscheiderischen Unterlagen und der Berechnungsergebnisse ist unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen zu beurteilen, ob die Böschung standsicher ist. Dabei sind das Gefährdungspotential für die im Böschungsrandbereich gelegenen zu schützenden Objekte, die vorgesehene Standzeit der Böschung und die geplante Nutzung zu berücksichtigen. Bei bleibenden Böschungen sind zusätzlich durch mögliche Erdbeben bedingte Einwirkungen angemessen zu berücksichtigen.

Soweit solche Standsicherheitsuntersuchungen als Nachweis der Standsicherheit von Randböschungssystemen im Sinne § 37 Abs. 1 Bergverordnung für Braunkohlenwerke (BVOBr) dienen, sind diese im Rahmen des bergrechtlichen Zulassungsverfahrens (Rahmen- und Hauptbetriebsplan) durch den Geologischen Dienst NRW oder durch Sachverständige bzw. sachverständige Stellen, welche die Bezirksregierung Arnsberg – Abteilung Bergbau und Energie in NRW – hierfür benannt hat, zu prüfen. Entsprechend § 37 Abs. 2 BVOBr müssen Verformungen von Randböschungssystemen überwacht werden.

3 Prüfung der Standsicherheit für das Abbaufeld Inden II

3.1 Historie (Rand- und Seeböschung)

Bereits in 1984 und 1985 wurden im damaligen Rahmenbetriebsplanverfahren erste Standsicherheitsuntersuchungen für das Abbauvorhaben Tagebau Inden (1995 bis Abbauende) einschließlich des bereits damals beantragten, seinerzeit nicht zugelassenen Restsees durch die damalige Rheinbraun AG durchgeführt und der Bergbehörde im Rahmen planerischer Mitteilungen vorgelegt. Untersucht wurden in 1984 verschiedene Schnittlagen, betreffend u.a. die zu schützenden Ortslagen Schophoven, Merken und Lucherberg sowie die Autobahn A 4. Dabei wurde auch die erforderliche Sümpfung des Lucherberger Sees berücksichtigt. Anhand des Schnitts 65 wurde bereits der damals geplante Restsee unter Berücksichtigung der Ortslagen Schophoven und Inden standsicherheitslich geprüft. Entsprechend der seinerzeit gültigen RfS-Fassung aus 1976 wurden Erdbebeneinwirkungen dabei noch nicht explizit berücksichtigt.

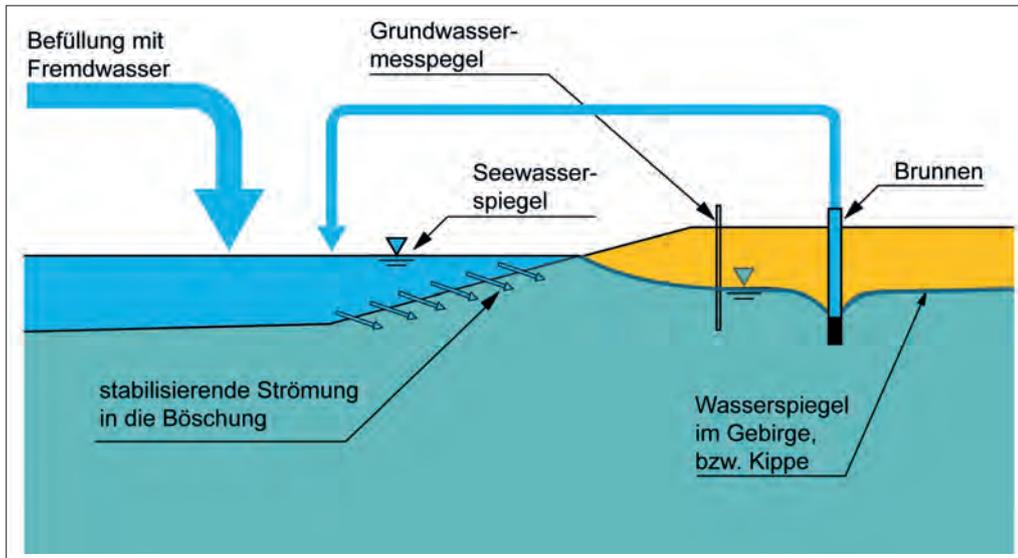


Abb. 1:
Befüllkonzept für Restseen im Rheinischen Revier
Fig. 1:
Filling concept for residual lakes in the Rhenish lignite mining area

Im Jahr 1985 wurden die Auskohlungs-situationen für den Bereich der Ortslage Lucherberg in den Schnittlagen S 24 (Lucherberger See) und S 65, für den Bereich Schophoven in der Schnittlage S 5 und für die Autobahn A 4 in der Schnittlage S 23 betrachtet. Dabei wurde auch der Altbergbau (Tagebaue Lucherberg 1, 2 und 3) im Raum Lucherberg berücksichtigt. In der Stellungnahme des damaligen Geologischen Landesamtes (GLA) NRW, heute Geologischer Dienst (GD) NRW, zur planerischen Mitteilung aus 1985 wird die Standsicherheit der untersuchten Randböschungssysteme bestätigt.

3.2 Standsicherheitsliche Dimensionierung der Seeböschung

Nach Anregung der Gemeinde Inden in 2000 wurden bei RWE Power zunächst planerische Überlegungen angestellt, wie ein solcher Restsee unter standsicherheitslichen Aspekten hinsichtlich seiner Böschungsneigungen konkret zu bemessen sei. Grundsätzliche Überlegungen zur Gestaltung von Seeböschungen sowie zum Befüllkonzept von Restseen wurden bereits im Jahre 1996 veröffentlicht [5]. Es war damit klar, dass eine sichere und wirtschaftliche Befüllung der tiefen Restseen im Rheinischen Revier nur mittels „Fremdbefüllung“ möglich ist. Dabei erfolgt die Befüllung nicht passiv durch Aufgang des Grundwassers, sondern aktiv durch die Einbringung von Wasser aus der Vorflut oder aus Sumpfburgen in die Seemulde in einer Weise, dass der Seewasserspiegel stets oberhalb des Grundwassers im Inneren der Böschungen liegt. Damit wird das umgebende Lockergebirge über den See mit Wasser „aufgefüllt“. Die Regulierung des Grundwasserspiegels erfolgt dabei über den gezielten Weiterbetrieb von Sumpfburgen oder mittels eigens an-

gelegter Steuerungsbrunnen. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Wasserströmung von der Seemulde in die Böschungen erfolgt und diese zusätzlich stabilisiert werden (Abbildung 1).

Vorlaufend zur Änderung des Braunkohlenplanes wurden bei RWE Power im Jahr 2003 interne Berechnungen für die Seeböschungen angestellt, deren Ergebnisse die Grundlage der weiteren Restseeplanung darstellten. Zunächst intern untersucht wurden exemplarisch Schnitte sowohl im Bereich der gewachsenen Randböschungen als auch reine Kippenböschungen; dabei sind seinerzeit auch Erfahrungen aus der Anlegung von Restseen in Ostdeutschland eingeflossen, wie beispielsweise bei der Gestaltung der Wellenschlagzone.

Als Ergebnis dieser Standsicherheitsberechnungen des Bergbauunternehmers wurde als weitere Planungsgrundlage für den Restsee Inden eine Generalneigung für das Unterwasser-Böschungssystem von 1:5 festgelegt. Die Anlage dieses Böschungssystems erfolgt dabei in einer Weise, dass vor dem geschnittenen Randböschungssystem¹ eine keilförmige Kippenschüttung (Abbildung 2) eingebaut wird, die entsprechend der genannten Generalneigung gestaltet ist. Als weitere geotechnische Randbedingungen wurden neben der Generalneigung eine 100 m breite, in 1 : 20 geneigte Wellenschlagzone², eine in 1:5 geneigte obere

¹ Durch dieses Vorgehen ist sichergestellt, dass für die zunächst geschnittene steilere Randböschung der Aspekt des Lagerstätten-schutzes mit seinen volks- und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen berücksichtigt wird und anschließend eine auf Dauer standsichere Seeböschung (als sog. Endböschung) entsteht.

² Grundlage war hier die aufgrund von Windprognosen maximal auf dem See zu erwartende Höhe der Windwellen von kleiner 1 m.

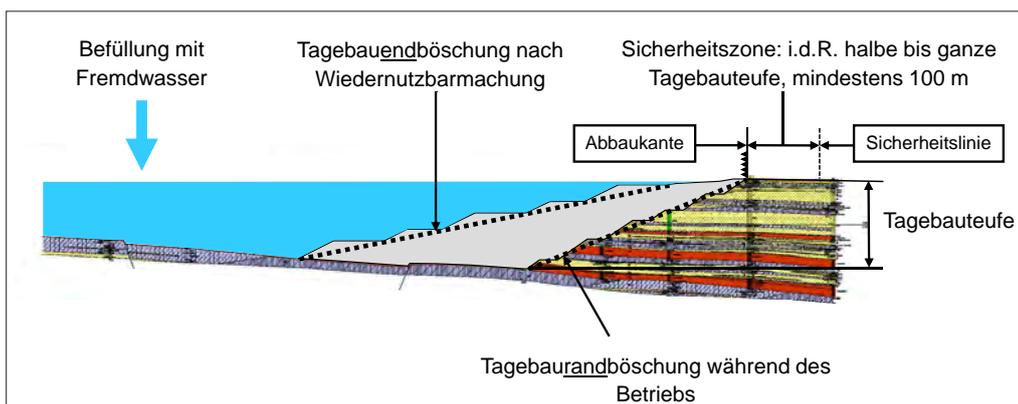


Abb. 2:
Restseeböschung vor der Randböschung
Fig. 2:
Residual-lake slope ahead of the rim slope

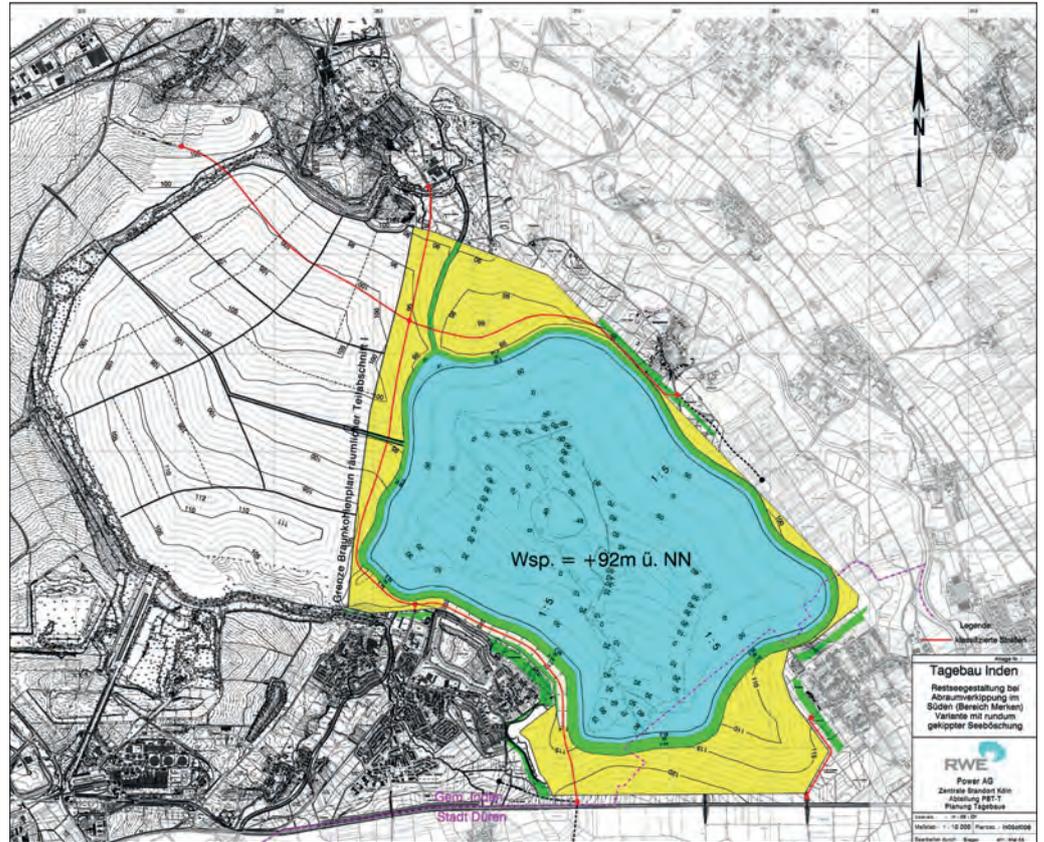


Abb. 3: Restsee Inden (aus Scoping-Termin 2006)

Fig. 3: Inden residual lake (from the 2006 scoping hearing)

Einzelböschung unmittelbar unterhalb dieser Wellenschlagzone sowie nicht steiler als in 1:3 geneigte Einzelböschungen oberhalb der Wellenschlagzone (sogenannte „Überwasserböschungen“) festgelegt.

Aufgrund der vorhandenen Abraummassen und dieses stand-sicherheitlich festgelegten Böschungsdesigns ergab sich daraus unmittelbar die Größe des Restsees zu rd. 1100 ha (Abbildung 3). Die anhand dieser Vorgaben konkretisierte Planung des Restsees wurde vorlaufend zu den hier beschriebenen Prüfschritten durch interne Standsicherheitsuntersuchungen bei RWE Power nochmals verifiziert, wobei aber noch keine explizite Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen erfolgte.

3.3 Prüfung der Standsicherheit der geplanten Seeböschungen parallel zum Braunkohleplan-Änderungsverfahren

Nach der Abstimmung im Rahmen des o.g. Scoping-Termins wurde im Jahr 2006 nach Festlegung des Untersuchungsumfanges durch die Bergbehörde die Standsicherheit der geplanten Rest-seeböschungen anhand von drei repräsentativen geologischen Schnitten für den Bereich der angrenzenden Ortslagen Inden, Schophoven und Merken durch RWE Power nachgewiesen. Dabei wurden für die dauerhaft als Landschaftsbestandteil verbleibenden Seeböschungen auch Einwirkungen infolge möglicher Erdbeben entsprechend der seinerzeit gültigen, in 2003 aktualisierten und um den Erdbebenaspekt ergänzten RfS berücksichtigt. Es erfolgte der Ansatz von Erdbeben sowohl für den dauerhaften Endzustand des vollständig gefüllten Restsees als auch für die zeitlich begrenzte Befüllphase des Sees.

Es wurden hier unterschiedliche Erdbebeneinwirkungen angesetzt, je nach betrachteter Zeitdauer und Auftretenswahrscheinlichkeit³. Für den geplanten Restsee wurden in Abstimmung mit und unter Federführung der Bergbehörde in 2006 folgende repräsentative Untersuchungen für den Restsee Inden durchgeführt:

- Schnittlage 65 AB im Bereich der Ortslage Lucherberg,
- Schnittlage 65 C im Bereich südlich von Schophoven repräsentativ für die Ortslage,
- Schnittlage S 96 im Bereich der Ortslage Merken.

Betrachtet wurden jeweils folgende Situationen:

- Situation während der Auskohlung mit geschnittener Randböschung (ohne Kippe, temporärer Zustand),
- Befüllphase mit gekippter Seeböschung für verschiedene Füllstände des Restsees (temporäre Zustände),
- Endsituation mit gekippter Seeböschung und vollständig gefülltem Restsee (dauerhafter Endzustand).

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Schnittlage 65 AB im Bereich der Ortslage Lucherberg. Erkennbar ist die gewachsene Randböschung mit der davorliegenden Kippe; ebenfalls erkennbar ist der ehemalige Bergbaubereich Goltsteingrube⁴ im rückwärtigen Teil.

Erdbebeneinflüsse wurden für die Seeböschungen in den statischen Berechnungen als Zusatzkräfte und in Form von Wasserspiegel- bzw. Porenwasserdruckschwankungen berücksichtigt. Weiterhin wurden die Einwirkungen von Windwellen auf die Rest-seeböschungen für den Flutungszeitraum und den Endzustand qualitativ betrachtet.

³ Dieser Aspekt wurde im Rahmen der Neufassung der RfS und 1. Ergänzung vom 08.08.2013 ebenfalls berücksichtigt; entsprechende Wiederkehrperioden sind für die Befüllphase und den Endzustand angegeben.

⁴ Für die ehemaligen Bergbaubereiche der Braunkohle im Raum Lucherberg erfolgte unter Federführung der Bergbehörde im Rahmen eines Präventivprogramms zur Erkundung und Sicherung tagesbruchgefährdeter Bereiche ab 2006 eine Untersuchung der Hinterlassenschaften der Goltsteingrube.

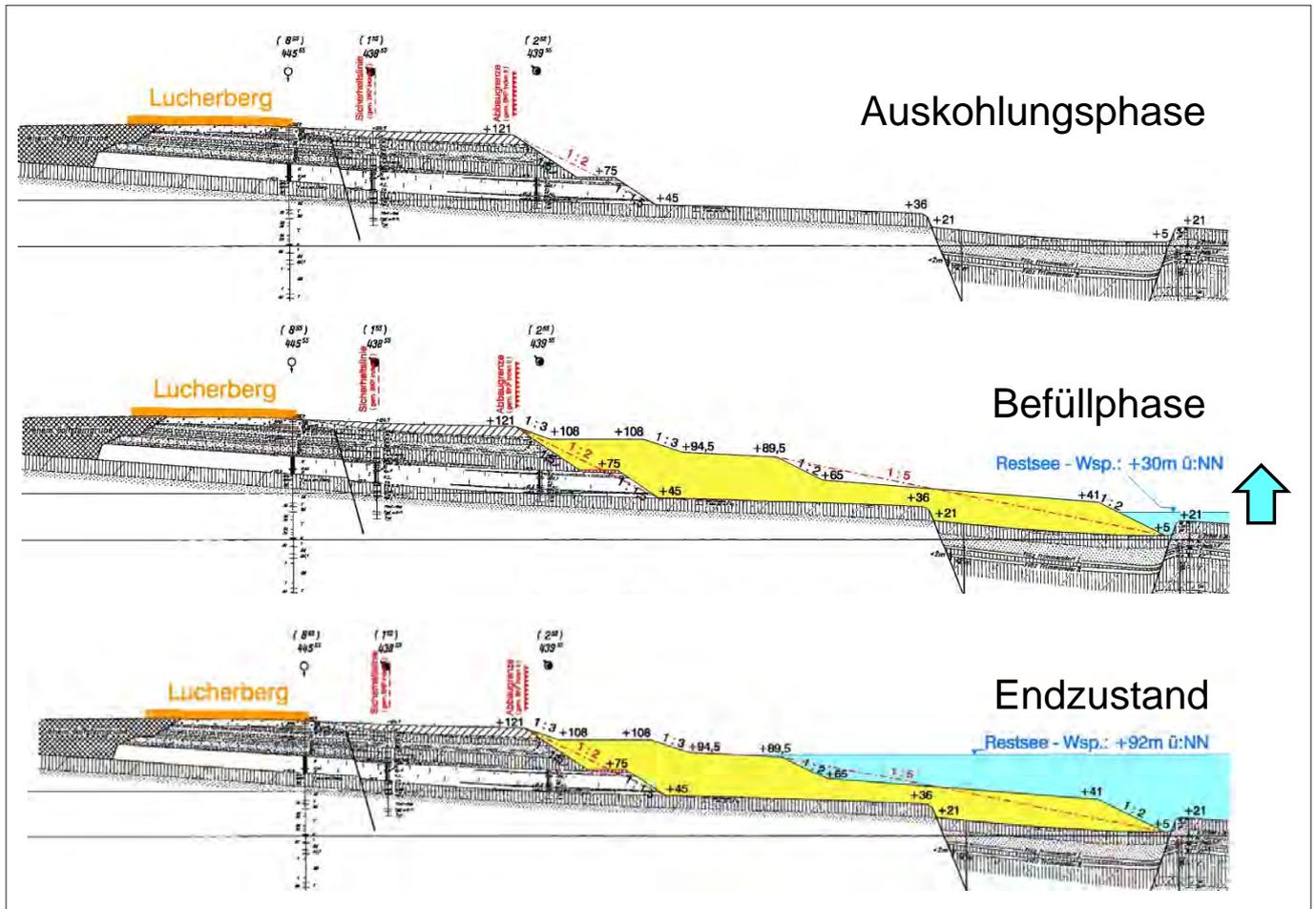


Abb. 4: Schnittlage 65 AB Ortslage Lucherberg

Fig. 4: Section 65 AB, Lucherberg village

Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Annahmen erfolgten zur sicheren Seite hin, d.h. es wurden Minimalwerte der Scherfestigkeiten zum Ansatz gebracht und die Kohäsion in einzelnen tonig-schluffig ausgebildeten Horizonten blieb unberücksichtigt⁵.

Die Untersuchungen des Bergbautreibenden wurden der Bergbehörde im Rahmen einer Planerischen Mitteilung Mitte 2006 vorgelegt. Diese wurde im Auftrag der Bergbehörde durch den Geologischen Dienst NRW fachlich geprüft; der Bergbehörde wurde eine entsprechende Stellungnahme durch den GD NRW vorgelegt, die die Standsicherheit der untersuchten Böschungen grundsätzlich bestätigt. Die Prüfung durch den Geologischen Dienst NRW erfolgte dabei sowohl durch die Nachrechnung der von RWE Power vorgelegten Standsicherheitsuntersuchungen als auch zusätzliche eigene Berechnungen. Auch der Ansatz der gebirgsmechanischen Kennwerte wurde seitens des Geologischen Dienstes NRW geprüft.

Auf Basis der Planerischen Mitteilung des Bergbauunternehmers und der Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW erfolgte dann die abschließende Prüfung durch das damalige Bergamt Düren, das dabei auch bergbautechnische und bergsicherheitliche Aspekte berücksichtigte. Das Ergebnis wurde in einem Prüfvermerk der Bergbehörde zusammengefasst, der Eingang in die UVP-Unterlagen und damit das Änderungsverfahren für den Braunkohlenplan Inden II unter Federführung der Bezirksregierung Köln fand. Im Ergebnis war festzuhalten, dass neben der erneut nachgewiesenen Standsicherheit der Randböschungen für be-

sonders ausgesuchte, repräsentative geologische Schnitte bei den Ortslagen Lucherberg, Merken und Schophoven insbesondere

1. die grundsätzliche gebirgsmechanische Machbarkeit des geplanten Restsees und
 2. die Standsicherheit der Restseeböschungen für die Befüllphase und den Endzustand in Bezug auf die o.a. Ortslagen als zu schützende Objekte
- nachgewiesen wurde.

In der Sitzung des Arbeitskreises „AK-Restsee“ des Braunkohlenausschusses erfolgte am 20.10.2006 die abschließende Behandlung des Themas Standsicherheit unter Würdigung der unter der Federführung der Bergbehörde und unter Einbindung des Geologischen Dienstes NRW durchgeführten Prüfung der Standsicherheitsnachweise des Bergbauunternehmers. Die abschließende Beschlussfassung zur Erarbeitung des Braunkohlenplans Inden, Räumlicher Teilabschnitt II, geänderte Grundzüge der Oberflächengestaltung und Wiedernutzbarmachung (Restsee statt Verfüllung) erfolgte in der 131. Sitzung des Braunkohlenausschusses am 15.12.2006.

Da die Prüfung in 2006 nicht alle Randbereiche des geplanten Restsees umfasste, forderte die Behörde den Bergbauunternehmer nachfolgend auf, bis Anfang 2008 weitere Schnittlagen zu untersuchen, die sowohl die Ortslagen, als auch beispielsweise die Autobahn A 4 oder einen ehemaligen Bergbaubereich (vgl. [6, 7]) mit vorhandener Kettenförderstrecke⁶ bei Inden sowie die Goltsteinkuppe umfassten. Diese von RWE Power durchgeführten

⁵ Dieses Vorgehen entspricht der Forderung aus der RfS zu den geomechanischen Untersuchungen (vgl. Ziffer 4.2.3).

⁶ Die vorhandene Kettenförderstrecke wurde 2008 im Hinblick auf den Tagebau Inden vorsorglich mit hydraulisch abbindendem Verfüllstoff gesichert.

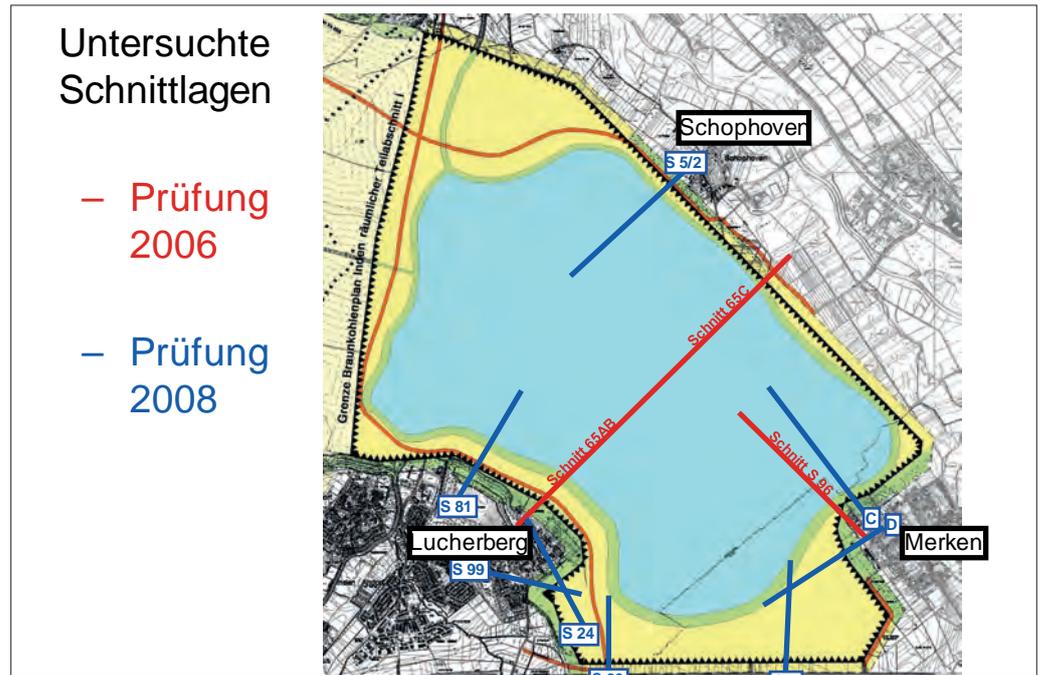


Abb. 5: Untersuchte Schnittlagen
Fig. 5: Investigated sections

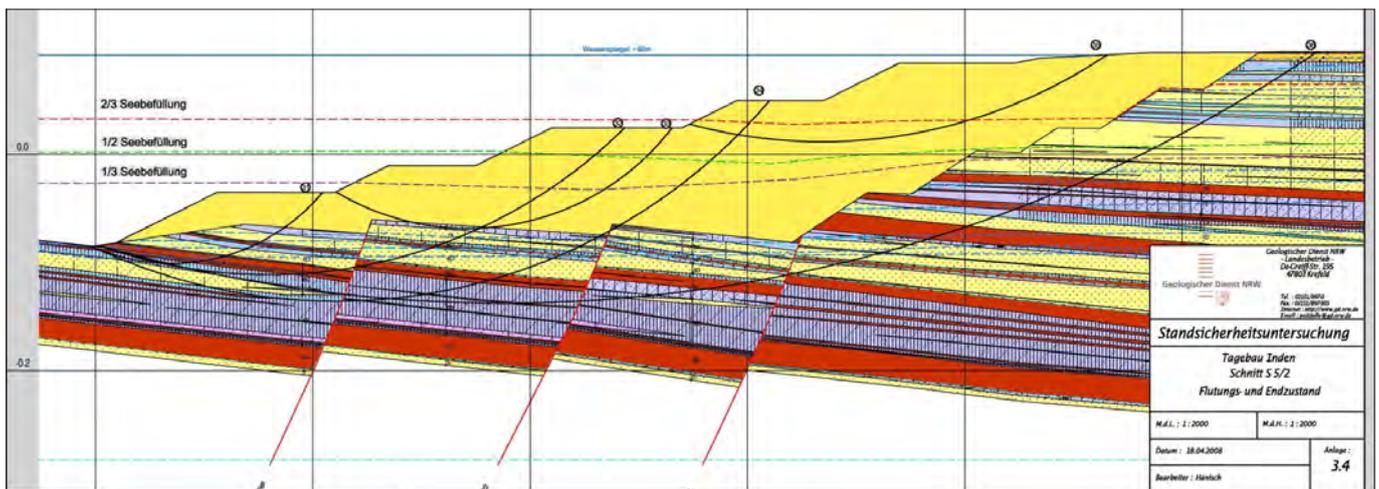


Abb. 6: Schnittlage S 5/2 Restsee bei Schophoven (GD NRW)
Fig. 6: Section S 5/2, residual lake near Schophoven (GD NRW)

ergänzenden Standsicherheitsuntersuchungen wurden in 2008 im Rahmen einer weiteren planerischen Mitteilung der Bergbehörde vorgelegt; Abbildung 5 zeigt die Lage der in 2006 und 2008 untersuchten geologischen Schnitte in Bezug auf den geplanten Restsee. In Abbildung 6 ist die Schnittlage S 5/2 für die Ortslage Schophoven beispielhaft dargestellt (aus dem Prüfbericht des Geologischen Dienstes NRW [8]).

Auch in diesem Falle erfolgte die Prüfung in der oben beschriebenen Weise durch die Bergbehörde mit fachlicher Unterstützung durch den Geologischen Dienst NRW. Die entsprechenden Stellungnahmen und Prüfvermerke lagen zum Zeitpunkt des Erörterungstermins (06.05.2008 bis 09.05.2008) des Braunkohlenplanänderungs-Verfahrens mit öffentlicher Beteiligung bereits vor, ein formaler Eingang in das Braunkohlenplanänderungsverfahren war allerdings nicht erforderlich, da auch diese Untersuchung die grundsätzliche standsicherheitsliche Machbarkeit des Restsees Inden sowohl in der Befüllphase als auch für den dauerhaften Endzustand nochmals bestätigt hatten⁷.

⁷ Dies galt auch für die im Zuge der Prüfung nachgewiesene Standsicherheit der geplanten Randböschungen.

Das Ergebnis der standsicherheitslichen Prüfung, die begleitend zum Braunkohlenplan-Änderungsverfahren durchgeführt wurde, ist neben den Ausführungen in den UVP-Unterlagen im Rahmen des geänderten Braunkohlenplans Inden, Räumlicher Teilabschnitt II entgegen anderslautender Aussagen wie folgt nachvollziehbar dokumentiert worden (Zitate):

1. „Standsicherheit der Restseeböschungen ist gutachterlich belegt.“
2. „Die Standsicherheit der Böschungen ist für den Zeitraum der Auskohlung, den Zeitraum für die Seebefüllung und für den dauerhaften Endzustand gegeben.“

Weitere Ausführungen zur Standsicherheit finden sich auch in [1]. Die beschriebene Prüfung wurde seitens der Bergbehörde auch im Rahmen des Prüfprozesses für das anschließende Rahmenbetriebsplanverfahren herangezogen, der mit der Zulassung am 20.12.2012 endete.

4 Bewertung

Für den geplanten Restsee Inden erfolgte im Rheinischen Revier 2003 erstmals entsprechend der RfS eine explizierte Berücksichtigung

sichtigung von Einwirkungen infolge möglicher Erdbeben. Das für die Untersuchung in den Jahren 2006 und 2008 angewandte quasistatische Verfahren wird in [9] ausführlich beschrieben. Es wurde nach wissenschaftlicher Überprüfung in modifizierter Form weiter konkretisiert und inzwischen als 1. Ergänzung der Richtlinie RfS festgelegt. Es sieht den Ansatz einer erdbebenbedingten Zusatzbeschleunigung bei den durchgeführten statischen Standsicherheitsberechnungen vor. In diesem Zusammenhang wurde auch nochmals bestätigt, dass die bergbauliche Aktivität und die spätere Befüllung selbst keinen merklichen Einfluss auf diese Seismizität besitzen, es also dadurch insbesondere nicht zu zusätzlicher seismischer Aktivität kommt⁸.

Unter Erdbebeneinfluss untersucht wurden die bleibenden Seeböschungen sowohl für die zeitlich begrenzte Befüllung als auch den dauerhaften Endzustand des vollständig gefüllten Sees. Nach der RfS werden dabei Erdbebeneinwirkungen berücksichtigt, die in Analogie zu großen Talsperren von Wiederkehrperioden von 500 Jahren in der Befüllphase und von 2500 Jahren für den Dauerzustand ausgehen.

Für den Befüllzeitraum wurden die auf die jeweils untersuchte Böschungshöhe bezogenen Füllstände des noch leeren, des zu einem Drittel, des zur Hälfte und des zu zwei Dritteln gefüllten Sees untersucht; auf der sicheren Seite liegend wurde dabei der Seewasserspiegel in horizontaler Fortsetzung auch im Inneren der Böschung angenommen (auch wenn dadurch die zusätzlich stabilisierenden Effekte keine Berücksichtigung fanden). Für den vollständig gefüllten Restsee wurden die endgültigen stationären See- und Grundwasserverhältnisse herangezogen. Der Seewasserspiegel befindet sich dabei in der Mitte der 100 m breiten und in 1:20 sehr flach geneigten Wellenschlagzone. Mittels dieser flachen Zone ist der spätere Übergangsbereich vom See- zum Grundwasser stand- und erosionssicher dimensioniert. Erosionen durch Windwellen sind aufgrund dieser angepassten Wellenschlagzone ebenfalls auszuschließen. Mögliche Schwallwellen infolge von Erdbeben liegen in ihrer Höhe nur bei etwa einem Drittel der maximalen Windwellenhöhen, daher ist die spätere Wellenschlagzone auch für diesen Lastfall ausreichend bemessen.

Die Berücksichtigung von Erdbeben erfolgte über einen quasistatischen Ansatz. Im statischen Berechnungsverfahren nach BISHOP [10] wurden dazu entsprechende horizontal und vertikal wirkende Zusatzkräfte infolge Erdbeben angesetzt (quasistatisches Verfahren). Entsprechend einem Vorschlag von GOLDSCHIEDER [11] wurde dabei die Änderung der Porenwasserdrücke sowohl infolge der sich ändernden Normalkräfte als auch infolge der Wirkung der Erdbebenbeschleunigung auf die Masse des Porenwassers berücksichtigt. Weiterhin ging auch die erdbebeninduzierte Welle (Absenk des Wasserspiegels) in die Berechnung ein.

Für den Bereich des Restsees Inden wird bei Annahme eines Gefährdungsniveaus wie bei großen Talsperren mit einer Wiederkehrperiode von 2500 Jahren von einer Horizontalbeschleunigung von $a_{PGA} = 2,1 \text{ m/s}^2$ (Bemessungserdbeben) ausgegangen.

In den statischen Berechnungen wird gemäß 1. Ergänzung der RfS für das Böschungssystem nach der Formel $a_h = a_{PGA} \cdot \chi$ eine zusätzliche Horizontalbeschleunigung von etwa $0,5 \text{ m/s}^2$ für den Endzustand angesetzt. Diese Größenordnung der Zusatzbeschleunigung infolge Erdbeben wurde im Rahmen einer im Zeitraum 2011 bis 2013 durchgeführten wissenschaftlichen Überprüfung des verwendeten Erdbebenansatzes nochmals bestätigt. Die Ergebnisse der Prüfungen aus 2006 und 2008 haben

damit weiterhin Gültigkeit, werden aber aktualisiert und ergänzt um Detailuntersuchungen im Rahmen der nachfolgenden Prüf- und Genehmigungsverfahren (vgl. Kapitel 5).

Alle Ergebnisse zeigen auch unter Erdbebeneinfluss Standsicherheiten, die deutlich über dem für diesen kurzzeitigen Bemessungsfall als Bezugsgröße heranzuziehenden Grenzwert liegen. Damit konnte die grundsätzliche Machbarkeit und Standsicherheit der geplanten Restseeböschungssysteme bestätigt werden. Weitere konkrete Untersuchungen, die auch die Gestaltung von Einzel- und Teilböschungssystemen berücksichtigen, sind vom Bergbauunternehmer entsprechend den Nebenbestimmungen der Rahmenbetriebsplanzulassung für den Restsee Inden II vom 20.12.2012 für die einzelnen Böschungsabschnitte rechtzeitig vor deren Herstellung in Form von Sonderbetriebsplänen vorzulegen. Deren Prüfung und Zulassung erfolgt entsprechend der aktuellen RfS vom 08.08.2013 in bewährter Weise durch den Geologischen Dienst NRW und die Bezirksregierung Arnsberg als Bergbehörde in NRW. Durch die konsequente Anwendung der Vorgaben aus der RfS einschließlich des darin festgeschriebenen „6-Augen-Prinzips“ ist für den geplanten Restsee Inden sowie die späteren Restseen Garzweiler und Hambach sichergestellt, dass Rutschungsereignisse wie in den ostdeutschen Braunkohlen-Sanierungsgebieten in NRW nicht zu befürchten sind.

Randböschungen werden während ihrer Lebensdauer überwacht. Eine Überwachung der Restseeböschungen bei der Erstellung sowie vor und während des Befüllzeitraumes ist ebenfalls vorgesehen. Sollten sich bei der Befüllung bspw. infolge Windwellen nicht grundsätzlich auszuschließende oberflächennahe Umbildungen an den Böschungen ergeben, so werden bei einer möglichen Gefährdung in für die Öffentlichkeit freigegebenen Bereichen entsprechende Sanierungsmaßnahmen und u.U. örtlich und zeitlich begrenzte Sperrungen durchgeführt. Für den Endzustand mit gleichbleibendem Wasserspiegel im Bereich der Wellenschlagzone sind aufgrund deren Gestaltung Erosions- oder Umbildungseffekte auszuschließen und daher keine besonderen Überwachungsmaßnahmen erforderlich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zusammenhang mit dem Änderungsverfahren des Braunkohlenplans Inden II (Restsee statt Verfüllung) wurden bereits frühzeitig Standsicherheitsuntersuchungen für die geplanten Seeböschungen durchgeführt, um die grundsätzliche Machbarkeit des Sees in der geplanten Größenordnung auch unter Berücksichtigung von Einwirkungen infolge möglicher Erdbeben nachzuweisen. Die Untersuchungsbereiche orientierten sich an den im späteren Seemfeld vorhandenen zu schützenden Objekten (umliegende Ortslagen, Autobahn A 4).

Die durchgeführten Berechnungen unter Ansatz konservativer Festigkeitsansätze (Minimalwerte) zeigen ausnahmslos ausreichende Standsicherheiten. Die untersuchten Böschungen sind damit entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand der geologischen, hydrologischen und geomechanischen Unterlagen als standsicher für den Zeitraum der Befüllung des Restsees und den dauerhaften Endzustand zu beurteilen. Dies gilt auch unter Berücksichtigung von Erdbebeneinflüssen. Ebenfalls wurde im Rahmen der Untersuchungen die Standsicherheit der untersuchten temporären Randböschungen für die Auskohlungsituation nachgewiesen. Die Standsicherheit der Böschungen ist damit in allen Bereichen zu jedem Zeitpunkt gewährleistet.

Mit den in 1:20 geplanten Wellenausgleichsprofilen sind für den Endzustand des vollständig gefüllten Sees dauerhaft hydro-mechanisch standsichere Verhältnisse in Bezug auf Windwellen gewährleistet. Während der Befüllphase eventuell auftretende Ausspülungen oder Kliffbildungen an den Böschungen infolge von Windwellen würden erforderlichenfalls im Rahmen der Böschungsunterhaltung saniert. In der Befüllphase erfolgt ein

⁸ Der Braunkohlenplan Inden, Räumlicher Teilabschnitt II, Textliche Darstellung und Erläuterungsbericht, 2009 führt dazu aus: „Die Anlage eines Restsees führt zu einer sehr geringen Entspannung der Erdkruste. Diese marginale Änderung bewirkt keine Veränderung der natürlichen Erdbebenaktivität, durch die Böschungen und Ufer gefährdet werden könnten.“

intensives Monitoring (Böschungsbeobachtung, hydrogeologische Messungen).

Weitere Untersuchungen zu den Tagebaurandböschungen, zur Gestaltung und Standsicherheit der Einzel- und Teilböschungen des Restsees sowie zu örtlichen und zeitlichen Nutzungen der Restseeböschungen erfolgen im Rahmen der weiteren Planungs- und Genehmigungsschritte im Zuge der bergrechtlichen Verfahren. Konkrete Untersuchungsbereiche und Terminvorgaben sind in den Nebenbestimmungen der Rahmenbetriebsplanzulassung vom 20.12.2012 enthalten, entsprechende Unterlagen sind vom Bergbauunternehmer der Bergbehörde fristgerecht vorzulegen. Detailuntersuchungen werden in Abhängigkeit vom Nutzungskonzept ebenfalls in nachgelagerten Verfahren durchgeführt.

Mit diesem gestaffelten Vorgehen ist sichergestellt, dass für die weiteren Planungen die aktuellen geologischen, hydrogeologischen und geomechanischen Erkenntnisse sowie der jeweils gültige Stand der Technik berücksichtigt werden und die Standsicherheit der Böschungen zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist.

References/Literatur

- [1] DIEHL, J. (2013): Aufstellung des Braunkohlenplanes Inden II (Restsee statt Verfüllung), Beitrag beim Expertengespräch zum Thema „Standsicherheit der Böschungen des geplanten Restsees Tagebau Inden“ am 19. September 2013, Bezirksregierung Arnsberg.
- [2] Bezirksregierung Köln (2009): Braunkohlenplan Inden, Räumlicher Teilabschnitt II, Textliche Darstellung und Erläuterungsbericht, 2009.
- [3] Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW: Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS). – Fassung vom 04.03.1976, Neufassung vom 16.05.2003, Neufassung mit 1. Ergänzung vom 08.08.2013.
- [4] LERSOW, M. (2012): Bewertung des gültigen BKP hinsichtlich der Aussagen zur dauerhaften Standsicherheit des TRS Inden II sowohl in der Betriebs- als auch in der Einstauphase. Welche Standsicherheitsnachweise sollten vom Bergbaubetriebenden dem Braunkohlenausschuss bei der Bezirksregierung Köln im Beteiligungsverfahren vorgelegt werden. – Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren TRS Inden II; Breitenbrunn, 01.12.2012.
- [5] PIERSCHKE, K.-J. & BOEHM, B. (1996): Geomechanische und wasserwirtschaftliche Aspekte bei der Restseegestaltung im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Braunkohle/Surface Mining **48**, 6: 647-653.
- [6] HEITFELD, M., KRINGS, K. & SCHAEFER, W. (2009): Braunkohlen-Altbergbau Goltsteingrube – Einwirkungen des Altbergbaus auf die Tagesoberfläche im Randbereich des Tagebaus Inden. – World of Mining **61**, 6: 373-381.
- [7] WILDEN, U. (2011): Sicherung eines ehemaligen Kettenförderstollens – Am Rande der Ortslage Lucherberg, westlich des Lucherbergersees. – Bergbau 2011, 6: 258-262.
- [8] HANISCH, J. (2013): Standsicherheit der Böschungen des geplanten Restsees Tagebau Inden – Prüfung der Standsicherheit durch den Geologischen Dienst NRW. – Beitrag beim Expertengespräch zum Thema „Standsicherheit der Böschungen des geplanten Restsees Tagebau Inden“ am 19. September 2013, Bezirksregierung Arnsberg.
- [9] DAHMEN, D., HINZEN, K.-G. & KUNTSCHKE, K. (2014): Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei bleibenden Böschungen des Braunkohlentagebaus im Rheinischen Revier – World of Mining **66**, 2: 91-100.
- [10] DIN 4084:2009-01: Baugrund – Geländebruchberechnungen.
- [11] GOLDSCHIEDER, M., DAHMEN, D. & KARCHER, C. (2010): Berücksichtigung von Erdbeben bei Standsicherheitsberechnungen für tiefe Endböschungen unter Wasser. – World of Mining **62**, 5: 252-261.