

# Significance of geotechnical boundary conditions in planning and designing residual lakes in the Rhenish lignite mining area illustrated by the example of the Inden opencast mine

## Bedeutung geotechnischer Randbedingungen bei Planung und Gestaltung von Restseen im Rheinischen Revier am Beispiel des Tagebaus Inden

MICHAEL EYLL-VETTER, Germany

### 1 Introduction

Planning and designing residual lakes has been a key focus of mine planning in the Rhenish lignite area during recent years. The reason for this was a change in the planned rehabilitation of the Inden opencast mine that had been initiated by the region. This paper discusses the aspects to be considered in the process and underlines the importance of systematically observing and addressing geotechnical issues. Following a brief presentation of the Rhenish lignite area, the requirements and the general process

### 1 Einleitung

Planung und Gestaltung von Restseen bildeten im Rheinischen Revier einen wesentlichen Schwerpunkt in der Bergbauplanung der letzten Jahre. Anlass war eine aus der Region initiierte Änderung der Wiedernutzbarmachung für den Tagebau Inden. Die dabei zu berücksichtigenden Aspekte werden vorgestellt; besonders auf die Bedeutung der konsequenten Beachtung und Umsetzung geotechnischer Gesichtspunkte wird eingegangen. Nach einer kurzen Vorstellung des Rheinischen Reviers werden die Anforderungen

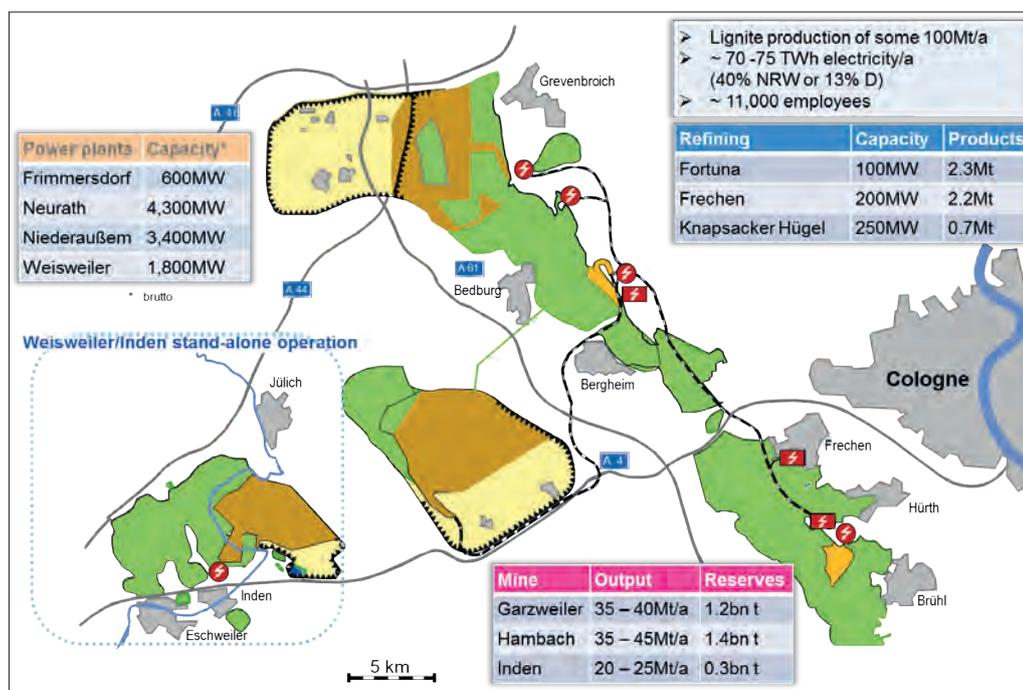


Fig. 1:  
Rhenish lignite mining area, 2015  
Abb. 1:  
Rheinisches Braunkohlerevier  
2015

Dipl.-Ing. MICHAEL EYLL-VETTER,  
RWE Power AG, Bereich Bergbauplanung,  
Stüttgenweg 2, 50935 Köln, Germany  
Tel. +49 (0) 221-480-20111  
e-mail: michael.eyll-vetter@rwe.com

und das grundsätzliche Vorgehen bei der Anlegung von Seen in dieser Bergbauregion erläutert. Am Beispiel des Genehmigungsverfahrens für die Änderung der Wiedernutzbarmachung im Tagebau Inden werden die planerischen und gebirgsmechanischen Überlegungen, die letztlich zu einem sicher beherrschbaren See in der Bergbaufolgelandschaft führen, aufgezeigt.

for creating lakes in our mining region are explained. Finally, the example of the approval procedure to alter the rehabilitation of the Inden opencast mine is used to highlight the planning and geomechanical considerations that ultimately result in a safe and manageable lake in the post-mine landscape.

## 2 Rhenish lignite mining area

For more than 100 years, lignite has been extracted and used in the Rhenish mining area (Figure 1). It has played a pivotal role in the industrial and economic development of the region. Today, with the Garzweiler, Hambach and Inden opencast mines, there are three highly productive operations that supply the lignite-fired power plants and refining factories with about 90 to 100 million tons of raw lignite per year. This is converted into some 75 terawatt-hours of electricity and more than 5 million tons of refined products for distributed use. While the reserves in the area of the Inden mine will last until ca. 2030, the Garzweiler and Hambach mines are planned to produce lignite until the middle of the century on the basis of the approved reserves.

## 3 Reclamation planning in the Rhenish mining area

While the significantly smaller mines, in particular those in the southern part of the mining area near Cologne, have long since been recultivated for agricultural or forestry use or by creating small lakes, the construction of two large residual lakes was originally planned in the area of the Garzweiler and Hambach mines and complete backfilling incl. agricultural and forestry recultivation for the Fortuna, Frechen, Bergheim and Inden mines (Figure 2). The lakes in the Garzweiler and Hambach opencast mines were always intended to be filled externally, i.e. with water from the Rhine, which offers significant benefits in terms of water management and geotechnical engineering.

## 2 Rheinisches Braunkohlenrevier

Seit mehr als 100 Jahren wird im Rheinischen Braunkohlerevier (Abbildung 1) Braunkohle gewonnen und genutzt. Sie hat die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung der Region maßgeblich mitgeprägt. Heute stellen mit den Tagebauen Garzweiler, Hambach und Inden drei leistungsfähige Gewinnungsbetriebe zur Versorgung der Braunkohlekraftwerke und Veredlungsbetriebe rund 90 bis 100 Mio. t Rohkohle jährlich zur Verfügung. Hieraus werden ca. 75 TWh Strom und mehr als 5 Mio. t Veredlungsprodukte für dezentrale Nutzungen hergestellt. Während im Bereich des Tagebaus Inden die Vorräte bis etwa 2030 reichen, sollen die Tagebaue Garzweiler und Hambach noch bis zur Mitte des Jahrhunderts auf Basis der genehmigten Vorräte Kohle fördern.

## 3 Rekultivierungsplanung im Rheinischen Revier

Während die deutlich kleineren Tagebaue insbesondere im Südrevier nahe Köln seit langem landwirtschaftlich, forstlich und mit kleinen Seen rekultiviert sind, war ursprünglich die Anlegung von zwei großen Restseen im Bereich der Tagebaue Garzweiler und Hambach sowie die vollständige Verfüllung mit landwirtschaftlicher und forstlicher Rekultivierung der Tagebaue Fortuna, Frechen, Bergheim und Inden (Abbildung 2) geplant. Für die Seen im Bereich der Tagebaue Garzweiler und Hambach war immer die Fremdbefüllung mit Wasser aus dem Rhein vorgesehen, was wasserwirtschaftlich und geotechnisch große Vorteile bringt.

## 4 Anforderungen an die Rekultivierungsplanung

Das bei der Gewinnung im Tagebau entstehende Massendefizit ist maßgeblich für die Lage und Größe eines Restsees. Es ergibt sich aus der entnommenen Menge des Wertminerals, hier der Braun-

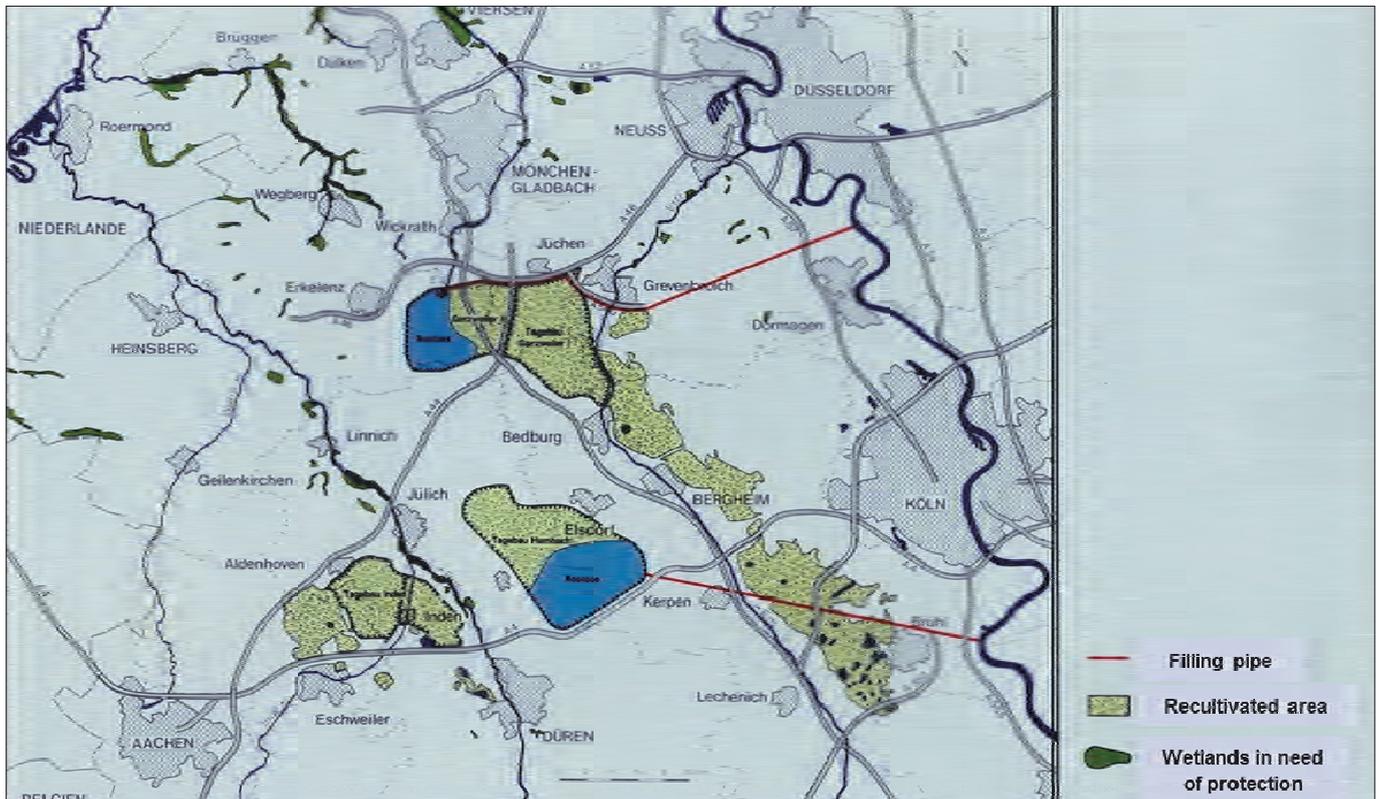


Fig. 2: Original reclamation planning in the Rhenish mining area  
 Abb. 2: Ursprüngliche Rekultivierungsplanung im Rheinischen Revier

## 4 Requirements to be met by reclamation planning

The deficit of material produced by opencast mining is the key factor determining the location and size of a residual lake. It is the result of the extracted quantity of valuable mineral, lignite in this case, and of the overburden amounts deposited on outside dumps. If an opencast mine is not to be backfilled with overburden from another mine after depletion, numerous requirements must be considered in planning the creation of a lake. Among other things, it is the water-management situation in the environment of the mine, the possible supply of water for filling the lake, the groundwater quality to be expected, in particular, but also nature conservation and environmental protection aspects that need to be taken into account. The agricultural sector, an important stakeholder, is always interested in maximising the amount of farmland produced by rehabilitation. Regional interests must be considered as well. The municipalities and counties are involved in the approval procedures so that not only aspects of local recreation but also benefits for the regional economy offered by a lake are taken into consideration.

All this only works if rehabilitation and, in particular, the construction of a lake are technically feasible and manageable. Essential preconditions for this are the early examination and the demonstration of geotechnical manageability. This must also be clear beyond doubt to the public, since it is the only way to gain acceptance for planning.

## 5 Principles of residual lake construction

The construction of lakes in the Rhineland requires creating slightly elevated slopes by backfilling after the depletion of the opencast mine section concerned (Figure 3). In theory, it would also be possible to directly cut slightly elevated slopes, but this would substantially reduce the lignite quantity that can be extracted in the mining field. In the area of the final water line, a shallow splash zone will be pre-profiled.

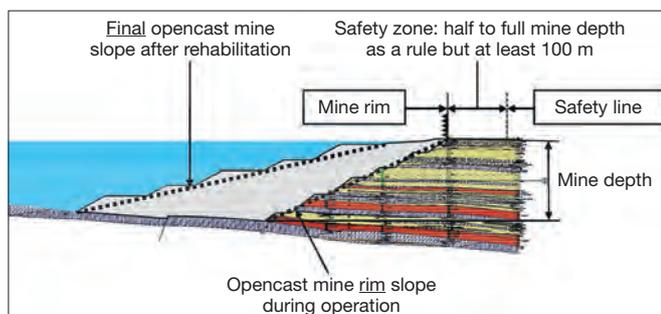


Fig. 3: Schematic design of a residual-lake slope

Abb. 3: Böschungsgestaltung am Restsee (schematisch)

A key determinant in the stability of slopes is the ratio of the water table in the lake to the water table in the surrounding strata or the overburden dump (Figure 4).

During the filling of the lake with water from external sources, pumps will continue to be used to ensure that the water table in the dump and the adjacent strata is always below the lake water table. Flow forces are therefore directed into the slope, which is conducive to stability. Filling of the lake also means that the groundwater body is replenished more rapidly, with the groundwater level being monitored by piezometers.

## 6 Inden II Lignite Plan with a focus on agricultural rehabilitation (1990)

The Lignite Plan for the Inden II mining field was drawn up in the 1980s and approved in 1990 (Figure 5). In accordance

with the plan, as well as the amount of overburden material used in external dumps. One must take into account the fact that the filling of a residual lake is not done with overburden from another mine, so that numerous requirements for the construction of a lake must be taken into account. In particular, the water-management situation in the environment of the opencast mine, the possible supply of water for filling the lake, the groundwater quality to be expected, in particular, but also nature conservation and environmental protection aspects that need to be taken into account. The agricultural sector, an important stakeholder, is always interested in maximising the amount of farmland produced by rehabilitation. Regional interests must be considered as well. The municipalities and counties are involved in the approval procedures so that not only aspects of local recreation but also benefits for the regional economy offered by a lake are taken into consideration.

All this only works if rehabilitation and, in particular, the construction of a lake are technically feasible and manageable. Essential preconditions for this are the early examination and the demonstration of geotechnical manageability. This must also be clear beyond doubt to the public, since it is the only way to gain acceptance for planning.

## 5 Grundsätze bei der Anlegung von Restseen

Bei der Anlegung der Seen im Rheinland ist vorgesehen, flache gekippte Seeböschungen nach Auskohlung des entsprechenden Tagebaubereichs anzulegen (Abbildung 3). Zwar wäre auch eine direkte Herstellung (flacher) geschnittener Seeböschungen grundsätzlich denkbar, dies würde allerdings erkennbar die im Abbaufeld gewinnbare Kohlemenge deutlich reduzieren. Im Bereich der endgültigen Wasserlinie wird eine flache Wellenschlagzone vorprofiliert.

Für die Standsicherheit der Böschungen ganz wesentlicher Einflussfaktor beim Befüllvorgang ist das Verhältnis des Wasserspiegels im See zum Wasserspiegel im umgebenden Gebirge bzw. der Kippe (Abbildung 4).

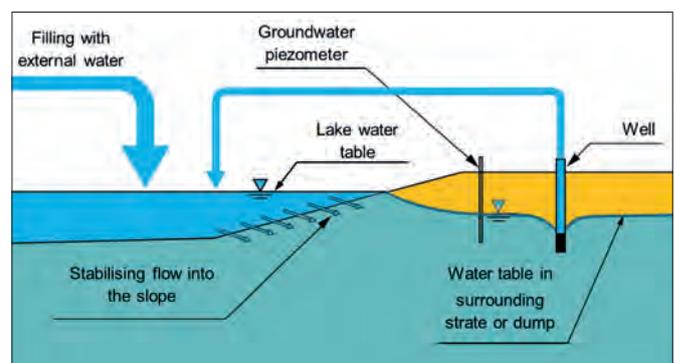


Fig. 4: Water-management conditions during the filling phase of lakes

Abb. 4: Wassermanagement bei der Seebefüllung

Während der Fremdbefüllung wird der Wasserspiegel in der Kippe und dem angrenzenden Gebirge durch den Weiterbetrieb von Brunnen stets unterhalb des Seewasserspiegels gehalten. Strömungskräfte sind damit in die Böschung hinein gerichtet, dies ist günstig für die Standsicherheit. Der Grundwasserkörper wird über den See wieder beschleunigt aufgefüllt. Die Überwachung der Grundwasserstände erfolgt durch Messpegel.

## 6 Braunkohlenplan Inden II mit landwirtschaftlicher Wiedernutzbarmachung (1990)

In den 1980er-Jahren wurde der Braunkohlenplan für das Abbaufeld Inden II erarbeitet und 1990 genehmigt (Abbildung 5). Dabei

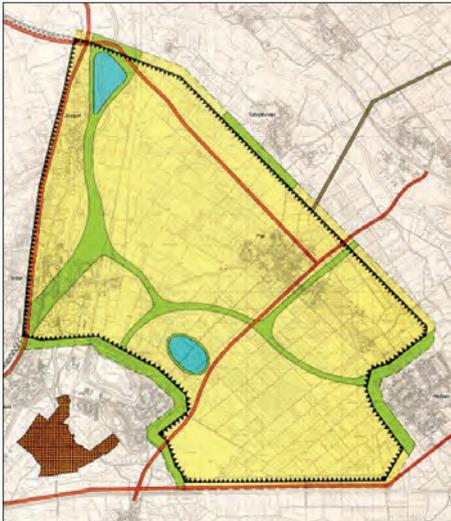


Fig. 5:  
Lignite Plan of 1990  
Abb. 5:  
Braunkohlenplan  
Inden II (Genehmigung 1990)

with state-level planning, it provided for backfilling of the Inden opencast mine after depletion using material from the Hambach mine and for recultivating most of the surfaces affected by subsequent agricultural use. At this time recultivation featuring a lake had already been discussed for the Inden mine as well not least due to planning considerations by the mine operator. Ultimately, however, a different decision was taken in view of arguments put forward by the agricultural sector and questions surrounding the safe construction of large residual lakes that could not be fully answered at the time. A long-distance conveyor belt was planned to deliver the necessary overburden material from the Hambach mine in the period from 2020 to 2040 while the loess was to be supplied by the Garzweiler mine.

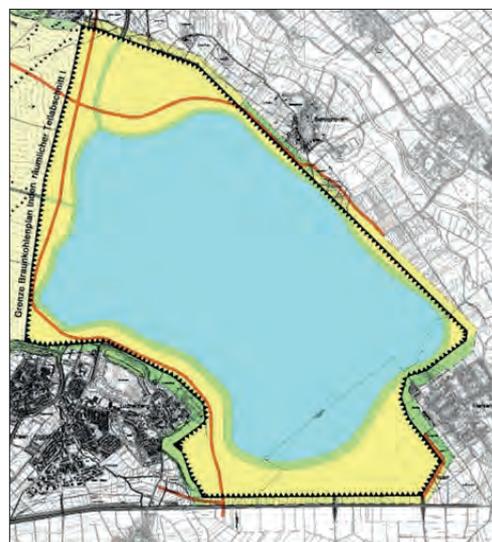
### 7 Initiative for changing land rehabilitation in the Inden opencast mine

Prompted by visits of regional stakeholders to the numerous lakes in the recultivated parts of the Lusatian and Central German lignite mining areas, among others, it was increasingly being discussed in the region after 2000 whether agricultural rehabilitation of the Inden mine should be abandoned in favour of reclamation featuring a residual lake. Natural scenery and regional economy structure aspects, in particular, induced the municipalities and the county of Düren to advocate a change in land rehabilitation. Prior to the

wurde landesplanerisch festgelegt, dass der Tagebau Inden nach Auskohlung mit Massen aus dem Tagebau Hambach zu verfüllen und im Wesentlichen landwirtschaftlich zu rekultivieren sei. Bereits damals wurde schon, nicht zuletzt durch die planerischen Überlegungen des Bergbautreibenden, eine Rekultivierung mit einem See auch für den Tagebau Inden diskutiert. Letztlich wurde dies allerdings aufgrund der Argumente der Landwirtschaft und der damals noch nicht vollständig zu beantwortenden Fragen zur sicheren Anlegung großer Restseen anders entschieden. Mit einer Fernbandanlage sollten aus dem Tagebau Hambach im Zeitraum 2020 bis 2040 die notwendigen Abraummassen herbeigeschafft werden, während die Lössbereitstellung aus dem Tagebau Garzweiler erfolgen sollte.

### 7 Initiative zur Änderung der Wiedernutzbarmachung im Tagebau Inden

Ausgelöst u.a. durch das Kennenlernen zahlreicher Seen im Re-kultivierungsbereich der Braunkohletagebaue im Lausitzer und Mitteldeutschen Revier wurde ab dem Jahr 2000 in der Region verstärkt darüber diskutiert, statt der landwirtschaftlichen Rekultivierung für den Tagebau Inden auch eine Wiedernutzbarmachung mit einem Restsee vorzusehen. Insbesondere Aspekte des Landschaftsbildes und der regionalen Wirtschaftsstruktur waren ausschlaggebend dafür, dass sich die Kommunen und der Kreis Düren für eine Änderung der Wiedernutzbarmachung aussprachen. Vorlaufend wurde herausgearbeitet, dass ein See von rd. 1170 ha Größe und einer Tiefe von bis zu 180 Meter grundsätzlich machbar ist. Dabei wurde zugrunde gelegt, dass die Böschungen flach mit einer Generalneigung von 1:5 gestaltet werden, während in der Wellenschlagzone eine Neigung von 1:20 im Bereich der späteren Wasserlinie vorgesehen ist (Abbildung 6). Dies gewährleistet hydrodynamisch und hydrostatisch stabile Randbedingungen im späteren Anbindungsbereich zum Grundwasser. Nach erster Bewertung vielfältiger planerischer, wasserwirtschaftlicher, regionalwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Aspekte wurde geprüft, ob die nach Landesplanungsgesetz vorgesehenen Hürden für eine Änderung des genehmigten Braunkohlenplanes überwunden werden können. Als sich dieses abzeichnete, wurden der Bezirksregierung Köln im Jahr 2005 die erforderlichen Unterlagen für die überschlägige Beurteilung der Umweltverträglichkeit vorgelegt, so dass der Braunkohlenausschuss schließlich die Erarbeitung eines Vorentwurfes für den Braunkohlenplan beauftragt hat. Dem schloss sich bis 2009 das formale Braunkohlenplanverfahren zur Änderung des bestehenden Planes an.



- Lake size: ~1170 ha, depth: max. 180 m, 80 m on average
- General inclination of 1:5 as planning basis
- Splash zone inclination of 1:20 in the area of the future water line
- Seegröße ca. 1170 ha, Tiefe max. 180 m, durchschnittlich 80 m
- Generalneigung 1:5 als planerische Grundlage
- Wellenschlagzone 1:20 im Bereich der späteren Wasserlinie

Fig. 6:  
Key figures of the Inden lake  
Abb. 6:  
Eckdaten Restsee Inden

official procedure, it was established that a lake with a size of 1170 hectares and a depth of up to 180 metres was basically feasible. It was assumed that the slopes would be given a slightly elevated design with a general inclination of 1:5 while an inclination of 1:20 was envisaged for the area of the future water line in the splash zone (Figure 6). This ensures stable hydrodynamic and hydrostatic conditions in the future groundwater link-up zone. Following an initial evaluation of multifaceted planning, water management, regional economy and agricultural aspects, it was examined whether the hurdles defined by North Rhine-Westphalia's State Planning Act (LPIG NW) for an amendment to the approved Lignite Plan could be overcome. When this proved to be possible, the documents required for an initial assessment of the environmental impact were submitted to the Cologne regional government in 2005, so that the Lignite Commission ultimately authorised the preparation of a draft proposal for the Lignite Plan. This was followed by the formal Lignite Plan procedure to amend the existing plan that was concluded in 2009.

## 8 Stability investigations in parallel with the state-level planning procedure

It was becoming clear in the course of the procedure that, from a geomechanical point of view, the calculation methods used had to be developed further to take account of the special boundary conditions of residual lakes, i.e. external water and earthquakes. Since 2003, the Guideline for the Stability of Permanent Slopes (RfS) of the Arnsberg regional government has explicitly required due consideration of possible seismic impact.

To resolve the question of how seismic impact on permanent slopes in the Rhenish mining area can be taken into consideration and ensured in line with the requirements stipulated in the guideline, RWE Power commissioned several expert opinions after 2003:

Following an expert opinion rendered by Professor Dr. Kuntsche of RheinMain University of Applied Sciences, another opinion by Professor Dr. Hinzen of Cologne University investigated the seismic loads to determine slope stability. In addition, Dr. Goldscheider of Karlsruhe Technical University prepared various expert reports in which he developed and compared calculation methods, taking account of earthquakes and external water.

The "quasistatic" calculation method developed on the basis of these expert opinions was subsequently incorporated in modified form in the amended and supplemented RfS version of 2013.

In order to assess early enough the feasibility of the lake from a geotechnical perspective, it was decided to extensively investigate the future stability of the mine-rim slopes during the filling phase and after the lake has reached its final stage as early as in the state-level planning procedure on the basis of planning notifications submitted by the company to the mining authority which were prepared and reviewed simultaneously.

This approach was prompted by questions from policy-makers asking whether the construction of a lake was safe in geotechnical terms in view of the former mine structures existing in the surroundings of the future Inden lake and the dip of the strata.

Section S 5/2 (Figure 7) was used by way of example to explore this question for the township of Schophoven.

The depicted sections (Figure 8) show how the dump body connects to the natural ground in the area of the Inden township of Schophoven. The general slope inclination is 1:5. In its final, stationary stage, the lake will have a water table of 92 metres above sea level as indicated in the last diagram for Figure 8.

For the slope dimensions displayed, stability was proven by RWE Power's Geomechanical department, using the quasistatic method. The calculation was then reviewed in parallel with the Lignite Plan amendment procedure lead and managed by the

## 8 Untersuchungen zur Standsicherheit parallel zum landesplanerischen Verfahren

Bereits bei den vorlaufenden Überlegungen zur standsicherheitslichen Gestaltung der Seeböschungen zeichnete sich aus gebergsmechanischer Sicht ab, dass die Berechnungsverfahren für die speziellen Randbedingungen (Außenwasser, Erdbeben) von Restseen weiterzuentwickeln waren. Seit 2003 fordert zudem die Richtlinie für Standsicherheit der Bezirksregierung Arnsberg für bleibende Böschungen explizit eine angemessene Berücksichtigung von möglichen Erdbeben bedingten Einwirkungen.

Zur Klärung der Frage, wie eine „angemessene Berücksichtigung“ von Erdbebeneinwirkungen für die bleibenden Böschungen im Rheinischen Revier entsprechend der Forderung aus der RfS erfolgen kann, wurden nach 2003 seitens RWE Power mehrere Gutachten in Auftrag gegeben:

Nach einem grundlegenden Gutachten durch Professor Dr. Kuntsche von der Hochschule RheinMain hat Professor Dr. Hinzen von der Universität Köln die seismischen Lasten für die Ermittlung der Böschungsstandsicherheit gutachterlich untersucht. In verschiedenen Gutachten wurden darüber hinaus durch Dr. Goldscheider, ehemals Institut für Boden- und Felsmechanik der TU Karlsruhe, Berechnungsverfahren unter Ansatz von Erdbeben und Außenwasser entwickelt/gegenübergestellt.

Das auf Grundlage dieser Gutachten entwickelte „quasistatische“ Berechnungsverfahren wurde später in modifizierter Form in die Neufassung bzw. Ergänzung der RfS aus 2013 aufgenommen.

Um die grundlegende Machbarkeit des Sees auch aus geotechnischer Sicht frühzeitig beurteilen zu können, wurde entschieden, bereits im landesplanerischen Verfahren durch parallel erarbeitete und geprüfte planerische Mitteilungen des Unternehmens an die Bergbehörde die Standsicherheit der Randböschungen in der Auskohlungsphase sowie der bleibenden Seeböschungen

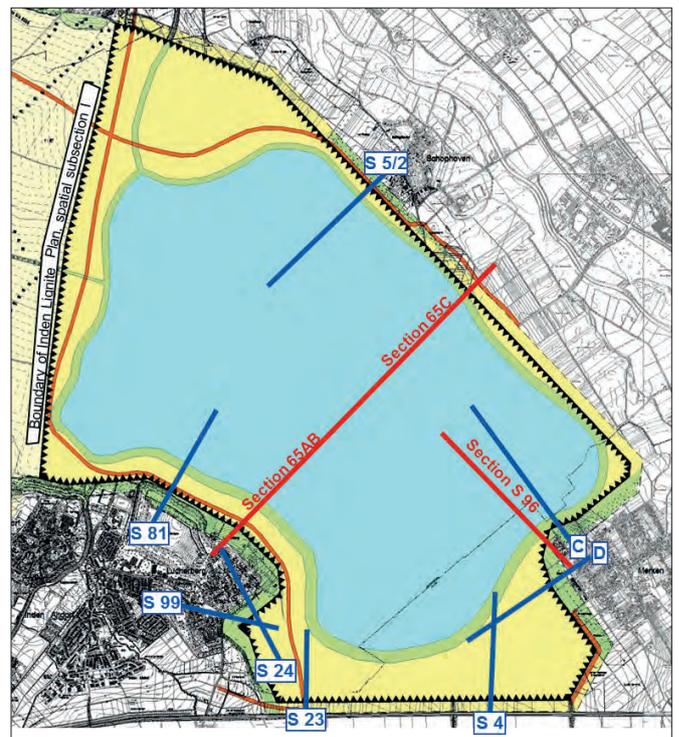


Fig. 7: Geological sections for stability investigations in 2006 and 2008

Abb. 7: Restsee Inden, Schnittpuren für Standsicherheitsuntersuchungen

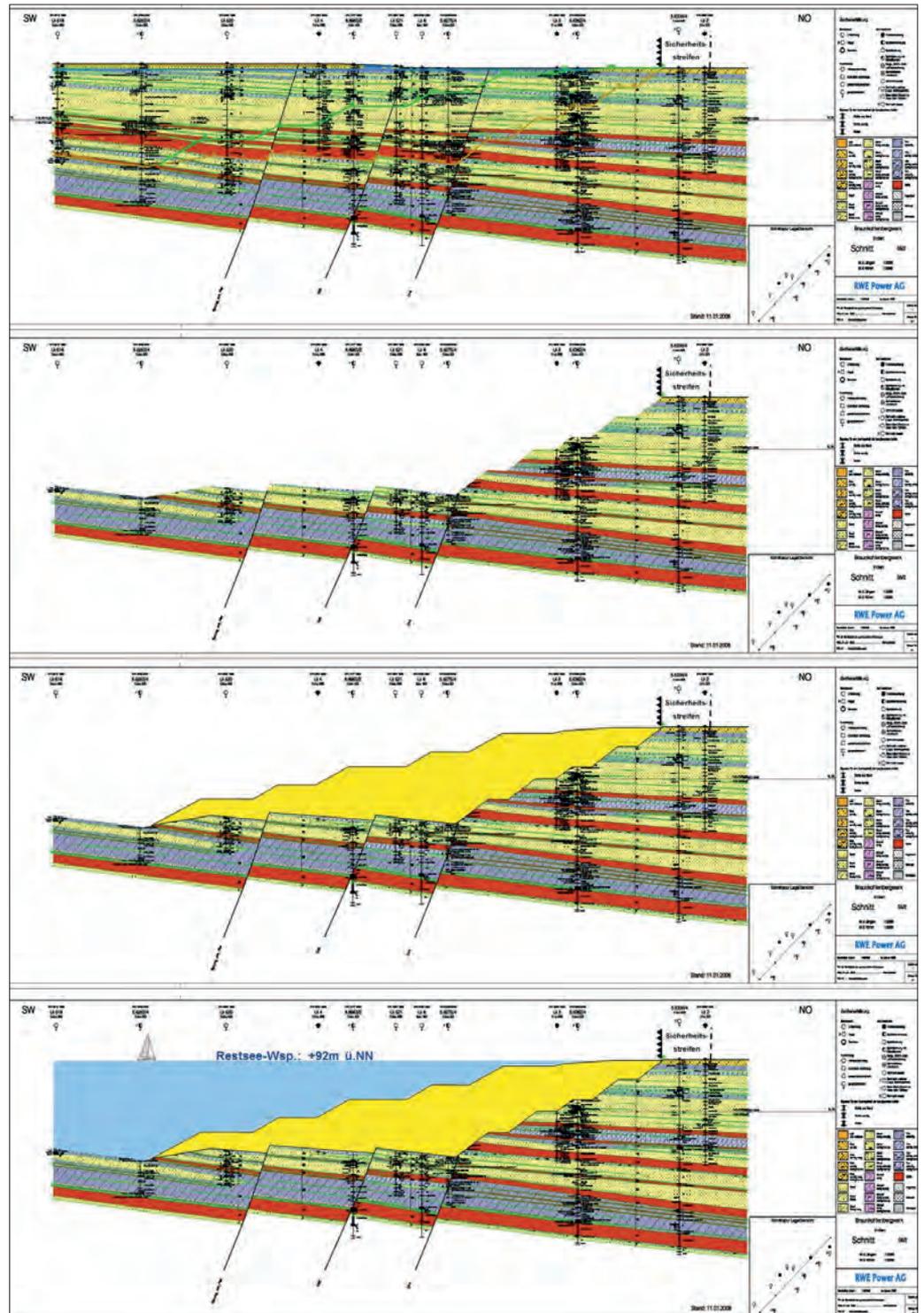


Fig. 8: Slope design outside the township of Schophoven (S 5/2)

Abb. 8: Böschungsgestaltung vor der Ortschaft Schophoven (S 5/2); gewachsenes Gebirge, Auskohlung, Verkippung, Befüllung

Cologne regional government and by the Arnsberg regional government as the mining authority in charge. Applying the “six eyes principle” established in North Rhine-Westphalia, the Geological Service was involved in the detailed technical review. It was argued plausibly that slope stability is ensured as a matter of principle for all townships/properties to be protected. This applies both to temporary mine-rim slopes and to the various phases of permanent residual-lake slopes.

The review statement issued by the mining authority was then entered into the approval procedure conducted by the Cologne regional government. The key results were presented in 2006 to the relevant working group of the Lignite Commission, with the participation of the Arnsberg regional government and NRW's

in der Befüllphase und im Endzustand des Sees umfassend zu untersuchen.

Auslöser waren Fragen aus dem politischen Umfeld, ob angesichts des ehemaligen Bergbaus im Umfeld des künftigen Indener Sees und dem gegebenen Einfallen der Schichten die Anlegung eines Sees insbesondere in Bezug auf die umliegenden Ortschaften geotechnisch sicher möglich ist.

Am Beispiel des Schnittes S 5/2 (Abbildung 7) wurde die Standsicherheit der Seeböschung für den Ortsteil Schophoven untersucht.

Die dargestellten Schnitte (Abbildung 8) zeigen, wie sich der Kippenkörper an die im gewachsene Gebirge hergestellte Randbö-

Geological Service. A central review point of the Lignite Plan was thus successfully resolved.

After examination of numerous other aspects including a comprehensive environmental impact assessment, the Lignite Commission in late 2008 decided to draw up an amended Lignite Plan that was approved by the state government in the middle of 2009.

## 9 Proof of stability in mining-law procedures

With the Lignite Plan procedure and the following Master Operating Plan procedure, the examination of the geomechanical aspects involved in the construction of a lake in the area of the Inden opencast mine was not concluded, however. Via Special Operating Plans, the stability of the residual-lake slopes in the area of a temporary overburden dump body and of the residual-lake slope near Schophoven was described in detail and proven in 2013 and 2014 (Figures 9 and 10). After the quasistatic calculations in the Special Operating Plan had been examined by the Geological Service, the mining authority requested additional evidence to be furnished by the end of 2015 that soil liquefaction in the wake of earthquakes can be excluded for the bank slopes of the residual lake. This issue was investigated in an expert opinion by Professor Triantafyllidis of the Karlsruhe University.

Besides multi-faceted recultivation, the region is particularly interested in the lake and its environment being available for follow-up uses early on during the time of lake filling. In order to ensure this as far as possible, the progress of mining operations in the surroundings of the townships must be systematically geared to this objective. This is done in the relevant Special Operating Plans (Figure 11). The mine operator has presented options to design the existing and future overburden dump areas around

schung im Bereich der Indener Ortslage Schophoven anschließt. Die generelle Böschungsneigung beträgt 1:5. Der See wird im stationären Endzustand einen in der Abbildung enthaltenen Wasserspiegel von 92 Meter über NN erhalten.

Für die dargestellte Böschungsdimensionierung wurde durch die Abteilung Gebirgs- und Bodenmechanik die Standsicherheit nach dem quasistatischen Verfahren nachgewiesen. Die Prüfung der Berechnung erfolgte anschließend – parallel zu dem unter Federführung der Bezirksregierung Köln geführten Braunkohlenplanänderungsverfahren – durch die zuständige Bezirksregierung Arnberg als Bergbehörde. Dabei wurde nach dem in Nordrhein-Westfalen bewährten Sechs-Augen-Prinzip der Geologische Dienst zur detaillierten fachlichen Prüfung hinzugezogen. Es konnte plausibel dargelegt werden, dass die Standsicherheit in Bezug auf alle zu schützenden Ortslagen/Objekte grundsätzlich gewährleistet ist. Dies gilt sowohl für temporäre Randböschungen als auch für die verschiedenen Befüllungsphasen der bleibenden Restseeböschungen.

Der Prüfvermerk der Bergbehörde wurde anschließend in das Genehmigungsverfahren bei der Bezirksregierung Köln eingespeist. Die wesentlichen Ergebnisse wurden im Jahr 2006 unter Beteiligung der Bezirksregierung Arnberg und des Geologischen Dienstes NRW dem entsprechenden Arbeitskreis des Braunkohlenausschusses vorgestellt. Damit war ein wesentlicher Prüfpunkt des Braunkohlenplanes erfolgreich abgeschlossen.

Nach Begutachtung zahlreicher anderer Aspekte einschließlich einer umfassenden Umweltverträglichkeitsprüfung hat der Braunkohlenausschuss Ende 2008 die Aufstellung des geänderten Braunkohlenplans beschlossen, der dann Mitte 2009 von der Landesregierung genehmigt wurde.

## 9 Standsicherheitsnachweise in bergrechtlichen Verfahren

Mit dem Braunkohlenplanverfahren und dem sich anschließenden Rahmenbetriebsplanverfahren war die Betrachtung der gebirgsmechanischen Aspekte zur Anlegung eines Sees im Bereich des Tagebaus Inden jedoch noch nicht abgeschlossen. Über Sonderbetriebspläne wurden im Jahr 2013 und 2014 die Standsicherheit der Restseeböschungen im Bereich eines temporären Depotkörpers für ein Abraumdepot und die Restseeböschung im Bereich Schophoven detailliert dargelegt und nachgewiesen (Abbildungen 9 und 10). Nach Prüfung der quasistatischen Berechnungen des Sonderbetriebsplans durch den Geologischen Dienst forderte die Bergbehörde, einen zusätzlichen Nachweis bis Ende 2015 zu erbringen, dass Bodenverflüssigungen infolge von Erdbeben für die Böschungen des Restsees auszuschließen sind. Dies wurde durch Professor Triantafyllidis vom KIT gutachterlich untersucht.

Neben einer vielfältigen Rekultivierung ist der Region besonders daran gelegen, den See und das Umfeld frühzeitig in der Zeit der Seebefüllung für Folgenutzungen zur Verfügung zu haben. Um dies möglichst weitgehend sicherzustellen, muss die Führung des Tagebaus im Umfeld der Ortschaften hierauf konsequent ausge-

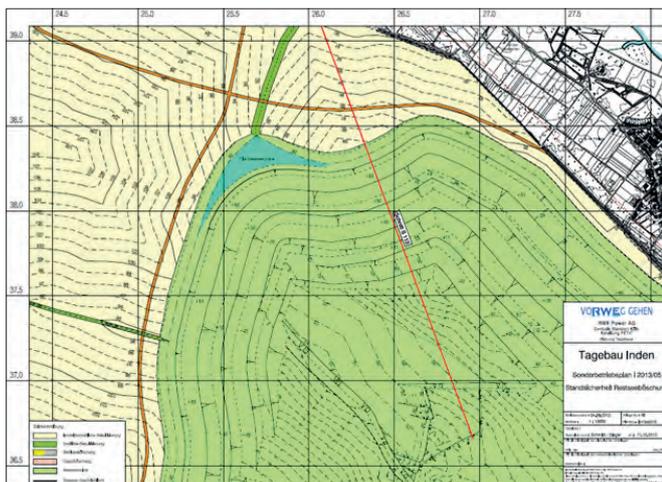


Fig. 9: Geological section S113

Abb. 9: Schnittspur S113

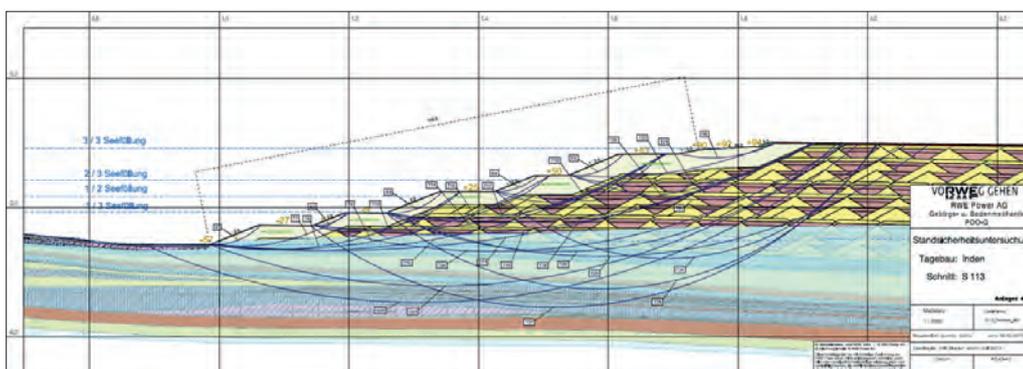


Fig. 10:

Stability examination of S113 with planned dumping scheme

Abb. 10:

Standortspezifische Prüfung S113 mit geplantem Regelaufbau

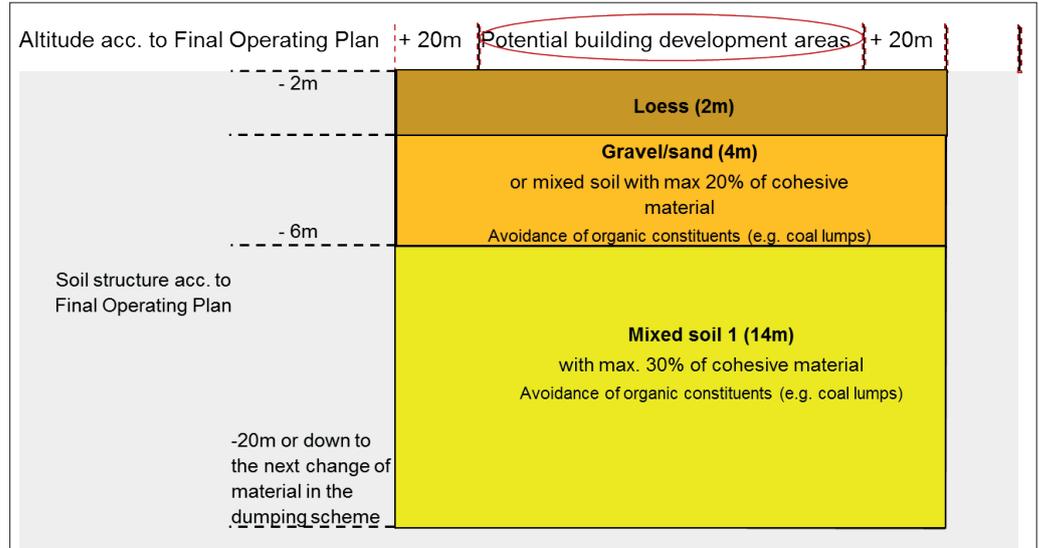


Fig. 11:  
Stratigraphic sequence in municipal development areas  
Abb. 11:  
Schichtenaufbau im Bereich kommunaler Entwicklungsgebiete

the lake to make them stable and capable of bearing loads so that they can also be used for construction purposes after the required resting time. In connection with the regional Indeland initiative, for example, first buildings are already planned to be erected on the original natural soil in the area of Schophoven shortly after 2020. Building measures on dumped soil will be possible some 15 years after spreading of the overburden once mining supervision has ended.

The materials to be used in dumping operations are specified by the accredited laboratory of RWE Power's Geomechanical department that also checks their quality after dumping.

### 10 Summary

Geotechnical boundary conditions must be observed in all stages of residual lake planning and implementation. Substantiated, technical evidence of stability must be provided for the safe design and subsequent construction of lake slopes with an unlimited lifetime. Here, the "six eyes principle" (mine operator, mining authority, Geological Service) has been successfully applied in NRW. The boundary conditions prevailing in the Rhenish mining area must be taken into account by using adjusted investigation methods, e.g. with regard to seismic impact. These methods are constantly being developed further, under the leadership of the mining authority. This is carried out through intensive professional cooperation with the partners involved in the geotechnical review process within the scope of the Geomechanical working group's activities, using the latest scientific findings. The result is the creation of permanently safe residual lakes that can support a natural landscape and a diverse variety of structures, which provide longterm sustainable use for communities in any post-mine region.

richtet werden. Dies erfolgt in entsprechenden Sonderbetriebsplänen (Abbildung 11). Seitens des Bergbautreibenden wurden Möglichkeiten dargelegt, die vorhandenen und künftigen Kippenflächen im Umfeld des Sees unter geotechnischen Aspekten so zu gestalten, dass sie als Baugrund gut geeignet und tragfähig sind und nach entsprechender Liegezeit auch einer baulichen Nutzung zugeführt werden können. So ist in Zusammenhang mit der regionalen Initiative Indeland vorgesehen, beispielsweise im Bereich der Ortschaft Schophoven bereits kurz nach 2020 auf gewachsenem Untergrund erste Gebäude zu errichten. Auf gekipptem Untergrund werden nach Beendigung der Bergaufsicht ab etwa 15 Jahre nach der Ankipfung Baumaßnahmen möglich sein. Sowohl die Vorgabe der einzubringenden Kippenmaterialien als auch die Kontrolle der verkippten Materialqualitäten erfolgen durch das akkreditierte Gebirgs- und Bodenmechanische Prüflabor von RWE Power.

### 10 Zusammenfassung

Geotechnische Randbedingungen sind bei Planung und Umsetzung von Restseen durchgängig zu beachten. Fachlich fundierte Standsicherheitsnachweise sind für die sichere Gestaltung und spätere Realisierung von Seeböschungen mit unbegrenzter Lebensdauer zu erbringen. Dabei hat sich das Sechs-Augen-Prinzip (Bergbautreibender, Bergbehörde, Geologischer Dienst) in NRW bewährt. Den Randbedingungen im Rheinischen Revier ist durch angepasste Untersuchungsmethoden Rechnung zu tragen, z.B. in Bezug auf Erdbebeneinwirkungen. Durch intensive fachliche Auseinandersetzung der am geotechnischen Prüfprozess beteiligten Partner werden die Methoden unter Federführung der Bergbehörde im Rahmen der Tätigkeit des Arbeitskreises Gebirgsmechanik unter Nutzung jeweils neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse ständig weiter entwickelt. Im Ergebnis entstehen so dauerhaft standsichere Restseen, die in einer vielfältig strukturierten Bergbaufolgelandschaft nachhaltig nutzbar sind.