

Elements and Aspects of the Post-Mining Era

The subsidised German coal industry will cease to exist on 31.12.2018. The post-mining era will then set in, not just in the coal-fields of North Rhine-Westphalia and Saarland, but in many other German mining regions too, where it has already been a reality for some time. The elements and aspects of the post-mining age will mean a permanent weighing-up of opportunities and risks, and this is a task that will also face coming generations. The post-mining era will be a time for risk prevention, restoration and the

re-development of former mining sites. Two of the key challenges will be to protect and secure surface structures and to manage mine-water flow. Specially developed monitoring systems will play a vital role here, while in terms of land recycling and conversion the focus will be on drawing up plans for attracting and establishing new businesses, developing renewable-energy production facilities, ecological upgrading and promoting tourism and cultural attractions.

Elemente und Aspekte des Nachbergbaus

Der subventionierte deutsche Steinkohlenbergbau wird am 31.12.2018 endgültig beendet. Die Zeit des Nachbergbaus wird dann nicht nur in den Kohlereviere in Nordrhein-Westfalen und im Saarland beginnen – in vielen anderen deutschen Bergbaureviere ist sie längst Realität. Die Elemente und Aspekte des Nachbergbaus erfordern ein permanentes Abwägen von Chancen und Risiken. Dies ist eine Aufgabe auch für kommende Generationen. Der Nachbergbau umfasst die Bereiche Gefahrenabwehr, Sanierung und Nachnutzung der aufgegebenen Bergwerksareale. Be-

sondere Aspekte stellen die Sicherheit der Tagesoberfläche und der Umgang mit den anfallenden Grubenwässern dar. In diesem Zusammenhang haben geeignete Monitoringmaßnahmen eine große Bedeutung. Im Rahmen des Flächenrecyclings und der Konversion gilt es, Konzepte für die Ansiedlung von Unternehmen, die Gewinnung von regenerativen Energien, die ökologische Aufwertung sowie für kulturelle und touristische Nutzungen zu entwickeln.

1 Introduction

Over recent decades the German mining industry has seen many of its mines and collieries close down for ever. This process has affected the ore mining sector and the coal industry alike and has generated a huge demand for environment-friendly and sustainable decommissioning procedures. The cessation of coal production in the Saar coalfield in 2012 after a history of more than 200 years means that at the end of 2018 when the last active colliery in the Ruhr is closed down, along with Ibbenbüren mine to the north, the German coal industry will cease to exist (Figure 1).

Germany's largest coalfield, the Ruhr Basin, poses a special challenge when it comes to resolving the conflict between the mining industry (disused mines as well as active sites), the high population density and the intensive surface area usage. The region's infrastructure in the form of traffic routes, buildings and drainage systems is very extensive and highly sensitive to disruption and interference. With a population density of around 2,800 people/km² and a total population of almost five million the Ruhr is Germany's largest urban agglomeration. The area is also regarded as the most densely populated mining region in the world.

Coal has been mined locally since the 12th century, with about 10 bn t extracted to date. The workings eventually extended more

1 Einleitung

Der deutsche Bergbau wurde in den vergangenen Jahrzehnten durch eine Vielzahl von Bergwerksschließungen geprägt. Davon ist neben dem Metallerzbergbau auch der Steinkohlenbergbau betroffen, wodurch sich ein erheblicher Bedarf an umweltgerechten und nachhaltigen Stilllegungsverfahren ergibt. Nachdem bereits im Jahr 2012 der über 200 Jahre währende Steinkohlenbergbau im Saarland sein Ende fand, werden im Jahr 2018 das letzte noch aktive Bergwerk im Ruhrgebiet und das Bergwerk Ibbenbüren ihre Produktion einstellen (Bild 1).

Im größten deutschen Steinkohlenrevier, dem Ruhrgebiet, gilt es in besonderer Weise, die Konflikte zwischen dem (Alt-)Bergbau, der hohen Bevölkerungsdichte und der intensiven Oberflächennutzung zu lösen. Die Infrastruktur in diesem Raum an Verkehrswegen, Bebauung und Entwässerungssystemen ist umfangreich und empfindlich gegen störende Eingriffe. Mit einer Bevölkerungsdichte von rund 2.800 Menschen/km² und einer Gesamtbevölkerung von etwa 5 Mio. Menschen bildet das Ruhrgebiet die größte urbane Region Deutschlands. Diese Region ist weltweit gesehen wohl auch das am dichtesten besiedelte Kohlerevier.

Hier wurde seit dem 12. Jahrhundert Kohle abgebaut. Bis heute sind rund 10 Mrd. t Steinkohle gefördert worden. Der Ab-

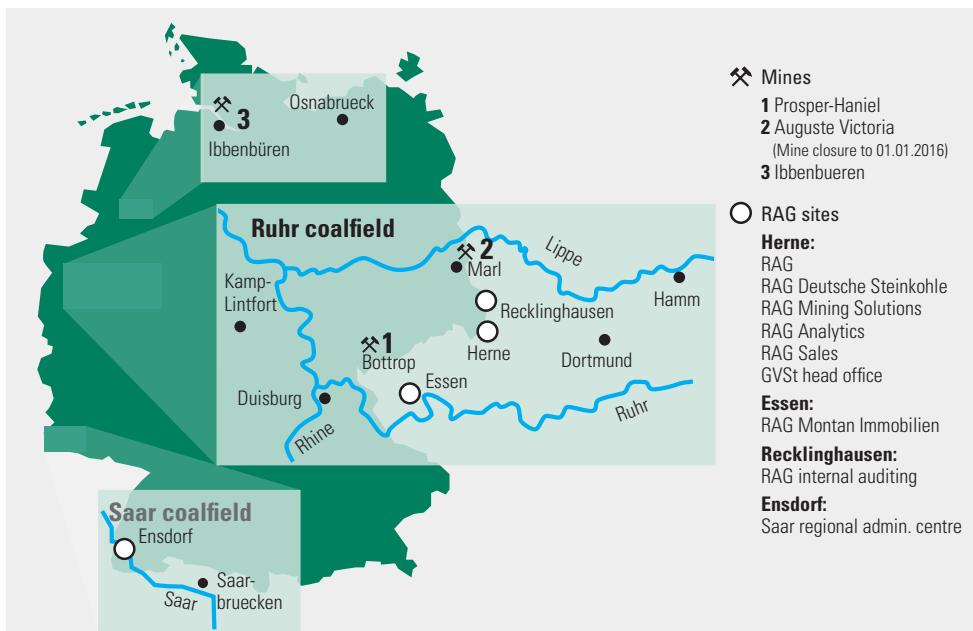


Fig. 1. Map showing the coalfields of the Ruhr, Saar and Ibbenbüren.

Bild 1. Karte der Steinkohlenreviere Ruhr, Saar und Ibbenbüren. Source/Quelle: GVST

than 1,500 m below ground and over the last 120 years or so these activities resulted in surface subsidence of up to 25 m at some locations. During the most intensive phase of coal mining in the Ruhr area between 1930 and 1960 the industry employed around 500,000 mineworkers and produced as much as 130 mt/year. Coal provided the basis for Europe's largest industrial zone, with mining, iron and steel production, engineering and services (1).

The region's infrastructural basis was built around mining and many of the main transport routes, such as roads, railways and canals, developed from that industry's need to transport men, materials and coal. The townships that formed around the collieries often grew to become large cities and together these ultimately created a vast metropolitan area that today has no parallel anywhere in Europe. Social structures were also established as a result of the comradeship that developed between the mineworkers.

Every mineral winning process must inevitably come to an end, either due to geological exhaustion or economic constraints. This heralds the start of the post-mining phase, which in itself represents a new challenge of major proportions.

Such a transition raises the following questions and problems:

- How can mining be brought to a close without leaving behind dangers and restrictions for future generations?
- Has the mining era left us with important and sustainable institutions, achievements or principles that can be conserved for the future, used anew or upgraded in value?
- How can a mining region be altered after mining ceases and how can it provide the basis for the livelihood of future generations?

The post-mining aspects should be something that every active colliery has to take account of. True to the old maxim 'quidquid agis, prudenter ages et respice finem' ('whatever you do, do it prudently and look to the end') any modern, sustainable and environmentally compatible mining industry has to take account of the post-mining imperatives right from the production phase.

bau hat eine Teufe von über 1.500 m unter Tage erreicht und in den vergangenen 120 Jahren Senkungen der Tagesoberfläche an einzelnen Orten von bis zu 25 m hervorgerufen. In der Phase der intensivsten bergbaulichen Aktivität, also zwischen den Jahren 1930 und 1960, haben rd. 500.000 Bergleute bis zu 130 Mio. t Steinkohle pro Jahr gefördert. Dies war die Basis für das größte europäische Industriegebiet mit Bergbau, Eisen und Stahl, Maschinenbau und Dienstleistungen (1).

Die infrastrukturelle Basis der Region wurde durch den Bergbau gelegt. Wesentliche Verkehrswege wie Straßen, Eisenbahnlinien und Kanäle sind aus den Notwendigkeiten des Bergbaus zum An- und Abtransport von Menschen, Material und Kohle entstanden. Aus Siedlungen, die um die Bergwerke entstanden, haben sich zum Teil große Städte entwickelt. Gemeinsam bilden sie heute einen europaweit einzigartigen Metropolraum. Die sozialen Strukturen sind aus der Kameradschaft der Bergleute erwachsen.

Jeder bergbauliche Gewinnungsprozess findet zwangsläufig sein Ende. Die Gründe liegen in der Erschöpfung der Lagerstätte oder in ökonomischen Zwängen. Damit beginnt die Nachbergbauphase, die eine neue zentrale Herausforderung darstellt.

Sie wirft u.a. folgende zentrale Fragen und Probleme auf:

- Wie wird der Bergbau beendet, dass er zukünftig für die nachfolgenden Generationen keine Gefahr oder Einschränkung darstellt?
- Können aus der Bergbauzeit wichtige und zukunftsfähige Einrichtungen, Errungenschaften oder Prinzipien für eine Zukunft erhalten, neu genutzt oder in Wert gesetzt werden?
- Wie wird eine Bergbauregion nach dem Bergbau verändert und dient zukünftigen Generationen als Lebensgrundlage?

Die nachbergbaulichen Aspekte sollten auch die eines jeden aktiven Bergbaus sein. Getreu dem alten Grundsatz "quidquid agis, prudenter ages et respice finem" (Was du auch tust, handele klug und bedenke das Ende) wird ein moderner, nachhaltiger und umweltgerechter Bergbau schon in der Produktionsphase nachbergbauliche Notwendigkeiten berücksichtigen.

2 Requirements to be met by measures for closing mining facilities above and below ground

When the post-mining era commences a mining region will inevitably lose its economic, technical and social basis. Former mining sites no longer have a specific purpose. The land, buildings and installations fall into disrepair and pose an increasing risk to the public. Perhaps more importantly, the familiar social forms and traditions – in other words the mining culture – can be lost. There are huge risks attached to this. And yet the post-mining era also marks the beginning of a new dawn. The key is to minimise the risks and exploit the opportunities as they arrive.

2.1 Themes of the post-mining age

In Table 1 the main issues of the post-mining era are broken down into categories:

Water and gas	Land and development
<ul style="list-style-type: none"> mine-water management rising mine-water levels mine-water treatment ground-water purification polder drainage measures mine-gas migration mine-gas utilisation water management [polders] 	<ul style="list-style-type: none"> land development recultivation follow-up use spoil tips renewable energies mining subsidence arrangements
Soil and shafts	General
<ul style="list-style-type: none"> surface openings near-surface and shallow mine workings shaft safety soil contamination structural safety drainage adits subsidence and uplift 	<ul style="list-style-type: none"> preserving the mining heritage impact analysis financing of all work, especially long-term liabilities consequence analysis: recommendations for the active mining industry knowledge management

Table 1. Post-mining themes.

2.2 Water and gas

Controlling water make is also of crucial importance once mining operations come to an end (2). In order to protect the surface levels, and particularly the built-up areas, from flooding and the burdens caused by rising mine-water levels, any potential water-related problems have to be examined and managed separately. The remaining water regime has to be designed as effectively as possible, especially considering the long-term financing of the costs of the ongoing pumping operations (3, 4, 5). If necessary the de-watering measures will even have to be continued well into the future and so will add to the so-called eternity burdens (6). The long-term drainage measures being planned for the Ruhr Basin provide for some 70 million m³ of mine water to be pumped away every year (7).

One of the most challenging aspects of the Ruhr situation is the need to safeguard vital drinking water reservoirs (8). The Herne-based RAG company, which has overall responsibility for the coal industry, is therefore planning measures to ensure that the mine water levels are maintained at a safe distance from the drinking water horizons.

Measures aimed at controlling the region's mine water, whose levels are bound to rise once the industry's dewatering operations cease, have to be treated separately from operations for managing surface water resources. In the latter case the surface water courses, rainwater and ground-water management measures and receiving streams all have key roles to play. The lowering of ground

2 Anforderungen an die Maßnahmen zur Stilllegung von Bergwerken unter und über Tage

Mit dem Eintritt in die Nachbergbauphase verliert eine Bergbauregion ihre ökonomische, technische und soziale Grundlage. Die ehemaligen Bergbauareale haben keine konkrete Nutzung mehr. Flächen, Gebäude und Einrichtungen verfallen und bilden zunehmend eine Gefahr. Nicht zuletzt können gewohnte soziale Formen und Traditionen, also die Bergbaukultur, verloren gehen. Die sich daraus ergebenden Risiken sind umfangreich. Aber der Nachbergbau ist auch der Beginn einer Zukunft. Es gilt, die Risiken zu minimieren und die Chancen zu nutzen.

2.1 Themen des Nachbergbaus

In der Tabelle 1 sind die zentralen Themen des Nachbergbaus in die Hauptaspekte aufgegliedert:

Wasser und Gas	Fläche und Entwicklung
<ul style="list-style-type: none"> Grubenwassermanagement Grubenwasseranstieg Grubenwasseraufbereitung Grundwasserreinigung Poldermaßnahmen Grubengasmigration Grubengasnutzung Wasserwirtschaft [Polder] 	<ul style="list-style-type: none"> Flächenentwicklung Rekultivierung Nachnutzung Bergehalde Erneuerbare Energien Bergschadensbearbeitung
Boden und Schächte	Allgemein
<ul style="list-style-type: none"> Tagesöffnungen Oberflächennaher und tagesnahe Bergbau Schachtsicherheit Bodenkontamination Bauwerkssicherheit Wasserlösestollen Senkungen und Hebungen 	<ul style="list-style-type: none"> Bewahrung des Bergbauerbes Betroffenheitsanalyse Finanzierung aller Arbeiten insbesondere der Ewigkeitslasten Konsequenzanalyse: Empfehlungen für den aktiven Bergbau Wissensmanagement

Tabelle 1. Themen des Nachbergbaus.

2.2 Wasser und Gas

Die Beherrschung der anfallenden Wässer ist auch nach Beendigung des Bergbaus von herausragender Bedeutung (2). Um die übertägigen Flächen, insbesondere aber die bebauten Flächen vor Überflutungen oder Belastungen durch ansteigendes Grubenwasser zu schützen, ist es erforderlich, die möglichen wasserbedingten Auswirkungen gesondert zu betrachten. Vor dem Hintergrund einer langfristigen Finanzierbarkeit der mit dem Pumpen verbundenen Kosten, ist das verbleibende Wasserregime besonders effektiv zu gestalten (3, 4, 5). Bei Erfordernis müssen die Maßnahmen zur Wasserhaltung aber langfristig weiterbetrieben werden, bilden somit sogenannte Ewigkeitsaufgaben (6). Für das Ruhrrevier sieht die langfristige Wasserhaltung vor, jährlich etwa 70 Mio. m³ Grubenwasser zu heben (7).

Eine besondere Herausforderung stellt im Ruhrgebiet der Schutz wichtiger Trinkwasserreservoir dar (8). Es ist daher seitens der den Bergbau betreibenden RAG Aktiengesellschaft, Herne, geplant, das Grubenwasser auf einem Niveau zu halten, mit dem ein hinreichender Sicherheitsabstand zu den Trinkwasserhorizonten gewährleistet wird.

Die Beherrschung des unter Tage anfallenden und bei Aufgabe der bergbaulichen Wasserhaltung ansteigenden Grubenwassers ist zu trennen von der übertägigen Wasserwirtschaft. Hierbei spielen die Oberflächengewässer, das Regenwasser- und Grundwassermanagement sowie die Vorfluter eine wesentliche Rolle. Letz-



Fig. 2. Polder meadow in the Ruhr Basin (10).

Bild 2. Poldergebiet im Ruhrrevier (10).

levels as a result of underground mining activities often resulted in surface streams and tributaries losing their natural flowability. Even during the active mining years these water courses could only be maintained by means of an artificial system of pumps and polder meadows.

Over the centuries mining has had a lasting impact on the morphology of the landscape. During the last 120 years parts of the Ruhr Basin have been affected by subsidence amounting to as much as 25 m in some areas (9). The originally flat land lying between the Ems and Lippe rivers has been transformed by underground mining activities and 30 % of this area now comprises non-draining polders that have developed all over the mining-induced subsidence troughs (Figure 2). The streams and tributaries flowing into the Rhine have therefore had to be enclosed behind embankments, resulting in the development of a hydraulic system that has largely been reshaped by man. More than 300 pumping stations are now in operation to replace the loss of natural drainage and to keep the surrounding land dry (10, 11). These installations pump some 850 million m³ of rainwater and ground-water from the polder meadows every year.

The upwelling effect of the water and the presence of natural sources within the rock leads to a rise in mine-water levels that produces uplift at the ground surface. Previous observations of rising mine-water processes of this kind that have taken place in various coalfield areas indicate that the resulting surface uplift can be as much as 30 cm. However, phenomena of this kind can be effectively controlled in the vast majority of cases and only in a few exceptional instances does this problem cause damage to buildings and surface infrastructure. In the latter case there is a clear correlation with large-scale tectonic elements present in the deposits (Figure 3).

The rise in mine-water level can mobilise free methane in the geological deposits and this can lead to an escape of gas at the surface. Using mine gas by means of a planned drainage programme helps mitigate this risk.

2.3 Soil and shafts

Many mine shafts, deep mine workings and near-surface cavities require long-term care and maintenance in order to prevent surface damage and permit some form of re-use, or to restore the original morphological conditions as far as possible. For this reason

tere haben durch die Absenkung der Tagesoberfläche nach dem untertägigen Abbau vielfach ihre natürlichen Fließfähigkeiten verloren und waren schon zu den Zeiten des aktiven Bergbaus nur mit künstlichen Systemen über Pumpen und Polder beherrschbar.

Im Laufe der Jahrhunderte hat der Bergbau die Morphologie der Landschaft nachhaltig beeinflusst. In Teilen des Ruhrreviers haben sich in den letzten 120 Jahren Senkungen der Tagesoberfläche bis zu 25 m ergeben (9). Die durch Bergsenkungen geprägte, ursprünglich flache Landschaft zwischen den Flüssen Emscher und Lippe weist bis zu 30 % abflusslose Polderflächen in den entstandenen Senkungsmulden auf (Bild 2). Daher mussten die dem Rhein zufließenden Gewässer eingedeicht werden und es entwickelte sich ein sehr stark anthropogen überprägtes Hydrosystem. Als Ersatz für den Verlust der natürlichen Vorflut und zur Trockenhaltung der Tagesoberfläche werden aktuell über 300 Pumpwerke betrieben (10, 11). Mit ihrer Hilfe werden jährlich etwa 850 Mio. m³ Regen- und Grundwasser aus Poldergebieten gepumpt.

Der Anstieg des Grubenwassers in der Lagerstätte wird durch die Auftriebskraft des Wassers sowie natürliche Quellvorgänge des Gebirges Hebungen der Tagesoberfläche bewirken. Die Erfahrungen aus bereits abgelaufenen Grubenwasseranstiegsprozessen in verschiedenen Bergbaurevieren zeigen, dass Hebungen in Größenordnungen bis zu 30 cm auftraten. Diese sind jedoch überwiegend beherrschbar. Nur in Ausnahmefällen bewirkten die Hebungen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen an der Tagesoberfläche. In diesen Fällen besteht ein eindeutiger Zusammenhang zu tektonischen Großelementen der Lagerstätte (Bild 3).

Mit dem Anstieg des Grubenwassers kann freies Methan in der Lagerstätte mobilisiert werden. Dieses kann zu Gasaustritten an der Tagesoberfläche führen. Die Nutzung des Grubengases durch Absaugung wirkt diesem Risiko entgegen.

2.3 Boden und Schächte

Zahlreiche Schächte, tiefe Bergwerke und tagesnahe Hohlräume bedürfen einer dauerhaft sicheren Verwahrung, um Schäden an der Tagesoberfläche zu vermeiden, Folgenutzungen zu ermöglichen oder die früheren morphologischen Verhältnisse so gut als möglich wiederherzustellen. Aus diesen Gründen ist vor einigen Jahren sowohl bei den Bergwerksbetreibern, als auch bei den Behörden ein Risikomanagement eingeführt worden (13).

Die Sicherung der Schächte und der oberflächennahen Grubenbaue durch eine standsichere Verfüllung mit Beton oder anderen Materialien findet heute mit einer weitentwickelten Technik und gesicherten statischen Berechnungen statt. Trotz allem ist die Vielzahl der zu sichernden und zu verfüllenden Schächte und Grubenbaue für ein Bergbaurevier von der Größe des Ruhrgebiets eine enorme, vor allen Dingen finanzielle Herausforderung (14). Für Nordrhein-Westfalen ergeben sich nach jetzigem Kenntnisstand etwa 70.000 Tagesöffnungen.

Die Dekontamination der im Zuge früherer bergbaulicher Tätigkeiten verunreinigten Flächen wird aufgrund der Gesetzgebungen, z.B. dem Bundesbodenschutzgesetz, in Deutschland zwingend eingefordert. Hier ist eine Vielzahl von einzelfallbezogenen Alternativen denkbar. Vom Bodenaustausch und der Verbrennung der dekontaminierten Massen in speziellen Anlagen, über die Reinigung am Ort des Auftretens bis zur sicheren Verwahrung der Böden in speziellen Erdbauwerken reicht die Bandbreite.

a risk-management programme was introduced some years ago by both the mine operators and the local mining authorities (13).

Stabilisation work on shafts and near-surface mine workings, which involves installing a stable filling of concrete or other material, is now undertaken using highly developed technology based on reliable static calculations. Even so, the huge number of mine shafts and disused workings that have to be secured and filled constitutes a major challenge, particularly in financial terms, for a coalfield the size of the Ruhr (14). According to the latest figures North Rhine-Westphalia has in the region of 70,000 surface openings of this kind.

The decontamination of land that has been polluted by former mining activities is compulsory under German legislation such as the Federal Soil Protection Act. There is a series of alternative solutions available here on a case-by-case basis. These range from soil replacement, the burning of the decontaminated material in special incinerators and targeted cleansing through to the deposition of the soil in specially protected earthworks.

Once the land has been professionally restored and the redundant surface buildings demolished these former mining sites become a valuable resource for future development.

2.4 Land and development

As well as dealing with built-on mining sites and land that has been intensively used over the years the remediation programme also has to develop special and sustainable solutions for abandoned spoil tips. Unless these colliery tips have been part-replanted during their operational phase they will have to be recultivated and properly stabilised as soon as mining operations come to a halt. Steeply inclined flanks need to be flattened out, an efficient drainage system has to be put in place covering the entire body of the tip in order to prevent gullying and landslips and the surface of the tip has to be planted up as densely as possible to prevent blowing dust and to stabilise the surface layers (Figure 4).

As soon as these obligatory tasks have been completed the tips can be developed by providing arrangements for different leisure pursuits, establishing ecological facilities or creating some other form of urban, aesthetic or artistic space. An abandoned spoil tip can become a new nature area, populated by plants and animals and used by local people for recreation, sport and relaxation.

3 Analysis of the risks and opportunities arising in the post-mining era

The problems associated with the long-term control and prevention of hazards and risks emanating from the mining industry will however be offset by the opportunities that will arise in the

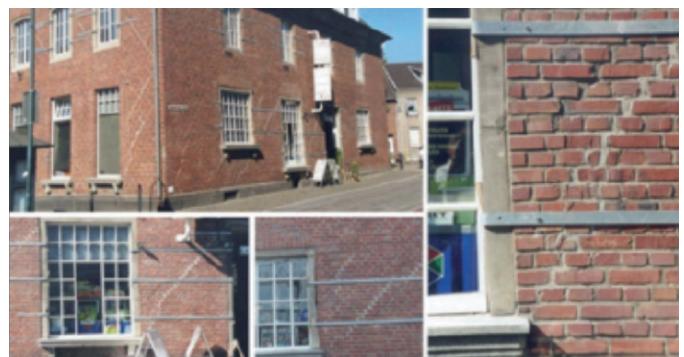


Fig. 3. Damage caused by surface uplift following mine-water flooding (12).

Bild 3. Schadensbilder bei Bodenhebungen nach einer Grubenwasserflutung (12).

Nach der fachgerechten Sanierung der Flächen und dem Abriss nicht weiter nutzbarer Bergwerksgebäude sind die ehemaligen Bergbauareale wertvolle Flächenressourcen für eine zukünftige Verwendung.

2.4 Fläche und Entwicklung

Neben den bebauten und intensiv genutzten Bergwerksflächen sind die ehemaligen Bergehalde in besonderer Weise nachhaltig zu behandeln. Wenn die Bergehalde nicht schon während der Schüttphase teilreklutiert wurden, sind die Rekultivierung und der sichere Abschluss der Halden nach Beendigung des Bergbaus vorzunehmen. Besonders steile Haldenflanken sind flacher zu gestalten, ein geordnetes Entwässerungssystem für den ganzen Haldenkörper zur Vermeidung von Auswaschungen und Hangrutschungen ist herzustellen und eine möglichst dichte Bepflanzung der Haldenoberflächen zum Schutz vor Staub und zur Stabilisierung der oberflächennahen Schichten ist anzustreben (Bild 4).

Nach diesen „Pflichtaufgaben“ können die Halden durch entsprechende Ausgestaltung den Freizeitinteressen der Menschen, einer besonderen ökologischen Entwicklung oder städtebaulichen, ästhetischen und künstlerischen Gesichtspunkten dienen. Eine alte Bergehalde wird neue Natur, die von den Pflanzen und Tieren bevölkert und von den Menschen für Erholung und Sport genutzt wird.

3 Analyse der Risiken und Chancen im Nachbergbau

Der nachhaltigen Beherrschung und Vermeidung von Gefahren und Risiken aus dem Bergbau stehen jedoch auch Chancen für die Zukunft gegenüber. Zunehmend stellen sich Fragen nach der Nutzung der enorm großen Bergbauflächen für die



Fig. 4. Disused colliery spoil tip before and after recultivation.

Bild 4. Bergehalde des Steinkohlenbergbaus vor und nach der Rekultivierung. Photo/Foto: Karl Kleineberg

years ahead. There is now a growing awareness of options for using the huge areas of former mining land for the production of renewable energy, for the construction of new development areas that will create job opportunities and economic structures, and for various cultural and leisure activities. The purpose of the risk management process is to present the risks involved and assess the opportunities arising in a competent and qualified way.

Table 2 presents a summary view of the main areas that have to be managed and the risks and opportunities they present. The essential task is to avoid or minimise the basic risks and to generate added value while taking due account of the opportunities that will arise in the years ahead (15).

4 Monitoring

While the active mining industry may have a finite lifespan, many of the tasks belonging to the post-mining era will not be of such limited duration. Some of these will require such long-term treatment that they can be regarded as 'eternity burdens'.

Long-term monitoring tasks will constitute a key feature of the post-mining landscape:

- An efficient mine-water system needs to be kept under long-term control in the same way as the water-resources management of the polder areas.
- The filled mine workings and shafts have to undergo long-term safety monitoring and may require additional stabilisation measures.

The development and subsequent application of monitoring plans will play a major role in the post-mining era. These operations commence with the development of forecasting models for the phenomenon under observation. Monitoring systems are then set up, preferably featuring automatic data collection.

Element	Risk	Opportunity
Near-surface mine workings, surface openings, shafts	stability, damage	methane recovery, pumped storage stations, thermal stores, geotopes/geoparks
Subsidence zones	water-logging	ecological benefits of wetlands
Uplift	damage	counteracts post-mining subsidence
Terracing	damage	---
Mine-gas leakage	safety	gas usage
Polders	flooding	ecological restoration of wetlands and areas of open water
Mine water/mine-water management	pollution of water courses, ground water and drinking water	heat recovery, balancing-energy use
Spoil tips	stability	wind turbines, recreational use and nature
Disused mining land	soil contamination/brownfield sites, lack of economic development	business parks, housing, cultural facilities etc., renewable energy parks/contribution to the energy transition, future development sites

Table 2. Review of risks and opportunities associated with post-mining elements.

Gewinnung regenerativer Energie, dem Aufbau neuer Ansiedlungen für Arbeitsplätze und ökonomischer Strukturen sowie für Kultur und Freizeit. Das qualifizierte Beschreiben der Risiken und die Formulierung von Chancen ist die Aufgabe eines Risikomanagements.

Die Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die zentralen Elemente, die zu betrachten sind sowie deren Risiken und Chancen. Die Aufgabe besteht darin, die elementaren Risiken zu verhindern oder zu minimieren und unter Berücksichtigung der Chancen für die Zukunft einen Mehrwert zu erarbeiten (15).

4 Monitoring

Wenn auch der aktive Bergbau endlich ist, so sind es viele Aufgaben des Nachbergbaus nicht. Einige müssen so langfristig behandelt werden, dass von Ewigkeitsaufgaben zu sprechen ist.

Ein wesentliches Element des Nachbergbaus ist das langfristige Beobachten der Situation:

- Ein optimiertes Grubenwassersystem bedarf ebenso wie die Wasserwirtschaft der Poldergebiete einer dauerhaften Kontrolle.
- Die verfüllten Grubenbaue und Schächte sind hinsichtlich ihrer Sicherheit ebenso dauerhaft zu überwachen und möglicherweise ergänzend zu sichern.

So haben die Entwicklung und die danach folgende Anwendung von Monitoring-Konzepten eine große Bedeutung im Nachbergbau. Diese Konzepte beginnen mit der Entwicklung von Vorausberechnungsmodellen für das zu beobachtende Phänomen. Danach sind Überwachungssysteme aufzubauen, bestmöglich mit einer automatischen Datenerfassung.

Element	Risiko	Chance
Oberflächennahe Grubenbaue, Tagesöffnungen, Schächte	Sicherheit, Schäden	Methangewinnung, Pumpspeicheranlage, Wärmespeicher, Geotop/Geopark
Bergsenkungen	Vernässung	ökologische Verbesserung durch Feuchtgebiete
Hebungen	Schäden	wirkt postmontanen Senkungen entgegen
Erdstufen	Schäden	---
Grubengasaustritte	Sicherheit	Nutzung
Polder	Überflutung	Ökologische Gestaltung von Feuchtgebieten und freien Wasserflächen
Grubenwasser/Grubenwasserhaltung	Belastung von Fließ-, Grund- und Trinkwasser	Wärmegewinnung, Regelenergienutzung
Bergehalden	Standsicherheit	Windkraftanlagen, Freizeitnutzung, Natur
Bergwerksareale	Bodenbelastung/Brachflächen, mangelnde Ökonomie	Gewerbeansiedlung, Wohnen, Kultur etc., Flächen für erneuerbare Energien/Beitrag zur Energiewende, zukünftige Potentialflächen

Tabelle 2. Übersicht der Risiken und Chancen zu den Elementen des Nachbergbaus.

The result is a responsible, sustainable and reliable system for managing the various facets of the post-mining age, and one that holds out good prospects for the future. The long-term acceptance by society of our mining legacy, and more importantly the activities of the post-mining era, can only be achieved by transparent and responsible actions.

5 Reclamation of disused mining land as a future resource

Old industrial premises such as disused colliery sites provide space for new business and cultural developments and create employment opportunities for former mineworkers and their children (16).

A large colliery with its surface shafts, operating facilities, coal preparation plant, railway sidings, coke works and spoil tip will typically cover some 140 ha of land (Figure 5). Mining was the dominant feature of a multi-layered industrial society as represented by large-scale industrial units. It will never be possible to recreate these in a future business world. The structures that we are currently developing in central Europe are smaller, more effective, more adaptable and more sustainable than they were in the past.

New ideas, innovations and developments are the fuel of the future in the developed nations. Knowledge is the vital potential and the capacity for innovation is the useable resource. Creativity, curiosity and the will to change are the tools. The industrial culture of the mining era, with its buildings, assets and challenges, are special idea generators. The old industrial structure will enable a new creativity to grow within its ancient walls.

Our human story has meant that the landscape of spoil tips, slurry ponds and abandoned mining sites has been altered to such a degree from its original state that it is all available for a complete and unconditional make-over. These open spaces present huge opportunities for sporting and recreational facilities. Natural habitats that establish themselves on often very difficult and extreme locations can turn out to be particularly dynamic and therefore of enormous value. In industrial regions this land can also be used for developing infrastructure for renewable-energy projects.

Mine water has geothermal potential and where it is being pumped to the surface on a permanent basis it represents a useful source of energy. The Ruhr and Saar coalfield areas already operate installations in which heat exchangers and heat pumps are used to generate thermal energy from mine water.

There are huge areas of land available where efficient photovoltaic systems generating up to 15 MWp can be set up each capable of supplying electricity to around 5,000 households, as the first such installations are already demonstrating (Figure 6).



Fig. 5. Reden colliery, Saar coalfield, circa 1960.

Bild 5. Bergwerk Reden, Saarland um 1960. Photo/Foto: Karl Kleineberg

Im Ergebnis entsteht ein verantwortlicher, nachhaltiger und sicherer Umgang mit den Aspekten des Nachbergbaus, der wichtige Zukunftsperspektiven ermöglicht. Eine langfristige Akzeptanz der bergbaulichen sowie im Besonderen der nachbergbaulichen Aktivitäten ist in der Gesellschaft nur über ein verantwortliches und transparentes Handeln zu erreichen.

5 Wiedernutzbarmachung der stillgelegten Bergbauareale als Ressource der Zukunft

Alte Industriestandorte wie Bergwerke bieten Raum für neue Perspektiven der Wirtschaft und Kultur sowie Arbeitsplätze für die Bergleute und deren Kinder (16).

Ein typisches großes Bergwerk mit Schächten, Betriebsanlagen, Aufbereitung, Eisenbahnanlagen, Kokerei und Bergehalde ist rund 140 ha groß (Bild 5). Die Bergbauindustrie war der bestimmende Teil einer vielschichtigen Industriegesellschaft mit großen industriellen Einheiten. Es wird nicht gelingen, gleichartige industrielle Einheiten aufzubauen. Die heutigen Strukturen in Mitteleuropa sind kleiner, effektiver, anpassungsfähiger und nachhaltiger als in der Vergangenheit.

Neue Ideen, Innovationen und Entwicklungen sind der Treibstoff für die Zukunft in den entwickelten Nationen. Wissen ist das entscheidende Potential und die Fähigkeit zu Innovationen ist die nutzbare Ressource. Kreativität, Neugier und Veränderungswille sind die Werkzeuge. Die Industriekultur der Bergbauzeit mit ihren Gebäuden, Werten und Herausforderungen sind besondere Ideengeber. Im alten Industriegebäude entsteht eine neue Kreativität in alten Mauern.



Fig. 6. Photovoltaic plant at Göttelborn mine, Saarland.

Bild 6. Photovoltaikanlage Bergwerk Göttelborn, Saarland. Photo/Foto: RAG



Fig. 7. Wind turbine operating on a former spoil tip in the Ruhr Basin.
Bild 7. Windkraftanlage auf einer Halde im Ruhrgebiet. Photo/Foto: RAG

Large spoil tips can be 80 to 100 m in height and as such benefit from strong wind conditions. Wind turbines have already been installed on a number of former colliery tips and these are generating electricity on a fairly continuous basis (Figure 7).

Former mining sites also have real potential as cultivation areas for biomass production.

One of the elements of the post-mining era will be to develop something new out of the quality features of the past and to ensure that this is made good use of (Figure 8). What is important here is to seek out the unusual, to exploit it and to make it a brand name for innovative thinking.

These changes should have their foundations in the qualities and standards of the past. This could be the architecture, spatial layout or perspectives of the old collieries, for these structures have a character all of their own and can readily be distinguished from the more commonplace.

The innovative capabilities and services output of the new company that builds a future for itself on former colliery land will profit from foundations such as these, for space and architecture have always been a clear and confident sign of quality.

6 Research Centre for Post-Mining Activities

Given the importance of surface protection measures, the long-term nature of water pumping operations and the need for an orderly management of inherited liabilities and eternity burdens the RAG Foundation in Essen took the decision three years ago to fund an endowed professorship for the newly created degree course on 'Geotechnical engineering and post-mining' to run at the Technische Hochschule Georg Agricola University (THGA) in Bochum. This master's course is designed to provide students with the knowledge that will be required to deal with the problems of the post-mining age.

The endowment professorship and team will be responsible for setting up the study course and also for creating the Post-Mining Research Centre. The aim of the project is to maintain expertise and in this way to preserve and develop the intellectual heritage of the mining industry. This will mean in-house research and a greater focus on collaborative partnerships. The related projects include:

Die durch den Bergbau entstandenen Landschaften der Berghelden, Schlammweiher und Bergwerksareale sind durch die menschliche Geschichte so weit weg von der ursprünglichen Natur, dass über sie völlig frei neu verfügt werden kann. Sie sind Freiraum für Sport und Erholung der Menschen. Die sich neu entwickelnde Natur auf den oft sehr schwierigen und extremen Standorten gilt als besonders dynamisch und damit wertvoll. Diese Areale können auch dem Aufbau einer Infrastruktur zur Nutzung regenerativer Energien in den industriellen Regionen dienen.

Das anfallende Grubenwasser besitzt ein geothermische Potential. Dort, wo es dauerhaft gepumpt wird, stellt es eine nutzbare Energiequelle dar. Hierzu gibt es bereits exemplarische Anlagen im Ruhrgebiet und im Saarland, die das Grubenwasser über Wärmetauscher und Wärmepumpen als Heizenergie nutzen.

Es gibt große Freiflächen, um leistungsfähige Photovoltaikanlagen bis zu 15 MWp zu errichten und damit bis zu 5.000 Haushalte zu versorgen, wie die ersten bereits installierten Anlagen beweisen (Bild 6).

Die großen Berghalden stellen mit ihrer Höhe von 80 bis 100 m sehr windstarke Standorte dar. Einige Windenergieanlagen sind darauf bereits errichtet und liefern kontinuierlich Strom (Bild 7).

Die weiten Bergwerksareale stellen auch interessante Anbauflächen für die Biomasseproduktion dar.

Zu den Elementen des Nachbergbaus gehört es, aus den Qualitäten der Vergangenheit etwas Neues zu entwickeln und zu nutzen (Bild 8). Dabei ist es wichtig, das Ungewöhnliche zu suchen, es zu nutzen und zur Marke des innovativen Denkens zu machen.

Die Veränderungen sollten ihr Fundament in den Qualitäten der Vergangenheit finden. Das können die Architekturen, Raumsituationen oder Perspektiven der alten Bergwerke sein. Diese haben einen besonderen Ausdruck und unterscheiden sich vom Gewöhnlichen.

Die Innovation oder die Dienstleistung des neuen Unternehmens, das sich im ehemaligen Bergwerk eine Zukunft aufbaut, wird davon profitieren. Raum und Architektur waren schon immer das selbstbewusste Zeichen von Qualität.

6 Forschungszentrum Nachbergbau

Angesichts der Bedeutung der Sicherheit der Tagesoberfläche sowie der Langfristigkeit der Wasserhaltung und der geordneten Bearbeitung der Alt- und Ewigkeitslasten hat die RAG-Stiftung, Essen, vor drei Jahren eine Professur für den neugeschaffenen Studiengang „Geingenieurwesen und Nachbergbau“ an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) zu Bochum gestiftet. In diesem Studiengang mit dem Abschluss „Master“ werden die Fachleute ausgebildet, die zukünftig das erforderliche Wissen zum Nachbergbau bewahren werden.

Der Stiftungsprofessor ist mit seinem Team neben dem Aufbau des Studiengangs mit der Bildung des Forschungszentrums „Nachbergbau“ beauftragt. Ziel ist der Wissenserhalt und damit das intellektuelle Bergbauerbe zu bewahren und weiterzuentwickeln. Hierzu werden eigene Forschungsarbeiten betrieben und der Aufbau von Kooperationen gestärkt. Zu den Projekten gehören u.a.:



*Fig. 8. Renovated buildings of the former Reden colliery.
Bild 8. Neu gestaltete ehemalige Bergwerksanlage Reden.
Photo /Foto: Karl Kleineberg*

- Measurements to determine density layering in water bodies;
- monitoring of the processes involved in rising mine-water levels;
- investigation of water-bearing adits and tunnels and
- analysis of increased mine-water levels encountered in Germany, Europe and overseas.

The THGA and its Post-Mining Research Centre has the capacity to adopt a holistic approach to all aspects of the post-mining age.

Post-mining operations represent a key challenge. This is in some respects a never-ending task that therefore has to be treated as a perpetual academic mission. It is an assignment of both national and international import. And former mine operators will have a special responsibility in seeing it through.

- Messungen in Grubenwasserkörpern zur Bestimmung von Dichteschichtungen,
- Monitoring von untertägigen Grubenwasseranstiegsprozessen,
- Untersuchungen an wasserführenden Stollen bzw. Erbstollen und
- Analysen von bereits erfolgten Grubenwasseranstiegen in Deutschland, Europa und Übersee.

Die THGA mit ihrem Forschungszentrum Nachbergbau ist in der Lage, sämtliche Elemente und Aspekte des Nachbergbaus ganzheitlich zu bearbeiten.

Nachbergbau ist eine zentrale Aufgabe, die zum Teil ewig andauern wird und somit auch eine akademische Ewigkeitsaufgabe ist. Dies gilt national wie international. Hierbei kommt dem ehemaligen Bergbaubetreiber eine besondere Verantwortung zu.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Regionalverband Ruhr (2012): Kleiner Zahlenspiegel der Metropole Ruhr – Zahlen, Daten, Fakten. Stand Dezember 2011, Essen, S. 9.
- (2) RAG Aktiengesellschaft (2014): Neue Wasser – Wege: Die Konzepte zur Grubenwasserhaltung der RAG. In: Steinkohle – Das Mitarbeitermagazin der RAG Aktiengesellschaft, Herne, Vol. 12, S. 4–5.
- (3) Melchers, C., Dogan, T. (2014): Studie zu erfolgten Grubenflutungen in Steinkohlenrevieren Deutschlands und Europas. Altbergbaukolloquium, Essen: VGE Verlag GmbH, S. 300–305.
- (4) Goerke-Mallet, P., Drobniowski M. (2013): Planning long-term mine-water management for the Ibbenbüren coal basin. XV. International ISM Congress, Aachen, pp. 319–324.
- (5) Goerke-Mallet P., Mersmann J., Beermann T., Stöttner M. (2014): Optimierung der langfristigen Wasserhaltung von Bergbaubetrieben mit Hilfe langer, gerichteter Bohrlöcher und Schlauchliner-Technik. Altbergbaukolloquium, Essen: VGE Verlag GmbH, S. 163–171.
- (6) RAG-Stiftung (ed) (2014): Ewigkeitsaufgaben, Essen, viewed 12 January 2015, <http://www.rag-stiftung.de/ausgelagert/impressum/>.
- (7) RAG AG (2016): www.Verantwortung.rag.de/ewigkeitsaufgaben/wasserhaltung/ (abgerufen am 29.4.2016).
- (8) Terwelp, T. (2014): Bergwerksstilllegungen unter Berücksichtigung der Grubenwassersituation im Zuge der Stilllegung des Steinkohlenbergbaus im Ruhrrevier aus Sicht der Bergbehörde. In: Bergbau – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt, Essen, Vol. 65 (10), S. 454–459.
- (9) Harnischmacher, S. (2010): Quantification of mining subsidence in the Ruhr District (Germany). In: Géomorphologie: relief, processus, environnement, Vol. 3, pp. 261–274.
- (10) EGLV (ed) (2013): Booklet Fließgewässer im Emscherraum – Biologie, Beschaffenheit, Bachsysteme, Essen, S. 71.
- (11) LINEG (2016): LINEG 2015 Natürlich Niederrhein. Jahresbericht 2015.
- (12) Baglikow, Volker (2003): Bergschäden nach Beendigung der Grubenwasserhaltung im tiefen Bergbau, Zeitschrift Das Markscheidewesen 2003, Nr.2.
- (13) Sikorski, A., Reinersmann, N. (2010): Altbergbau in Nordrhein-Westfalen. In: Bergbau – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt, Essen, Vol. 61 (1), S. 9–14.
- (14) Welz, A. (2014): Gefahren des Altbergbaus aus der Sicht der Bergbehörde. Praktikerseminar Rechtsfragen des Altbergbaus, Ruhr-Universität Bochum, 2 September 2014.
- (15) Kretschmann, J. and M. Hegemann (2012): New chances from old shafts – Risk Management in Abandoned Mine Sites in Germany. In: Proceedings of the annual meeting of the Society for Mining, Metallurgy & Exploration in Seattle, Washington, USA. Red Hook, NY: Curran Associates, 2012, pp. 153–158.
- (16) Kretschmann, J. (2014): Sustainable Land Management in Urban Areas: The Ruhr as a Role Model. Kuzbass Staatliche Technische Universität, wissenschaftlich-technische Zeitschrift, S.127.

Authors / Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Christian Melchers und
Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet, Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA),
Dipl.-Ing. Karl Kleineberg,
DMT Gesellschaft für Lehre und Bildung mbH, Bochum