

## Constructing underground water barriers in areas subject to ground movement – a real engineering challenge

Between 2011 and 2014 two new high-pressure water barriers were constructed at Ibbenbüren Mine, RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, to provide a long-term seal capable of resisting the ground movements expected as a result of the planned extraction of the Beustfeld panel. Two water stoppings had already been erected at the end of the 1970s for the hydrological separation of the western and eastern districts at a depth of about 300 m, the aim being to dam the water in the western

district to about + 65 m. The two stoppings now had to be renewed, mainly to counter the influence of the approaching mine workings in the eastern district. The new water barriers with their special sealing segments were completed on time and without accident or incident in the summer of 2014. The two high-pressure dams were of a kind that had never before been constructed anywhere in the German coal industry.

## Untertägige Wasserdammbauwerke unter Gebirgsbewegung – eine Herausforderung an die Bauausführung

Auf dem Bergwerk Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH wurden in den Jahren 2011 bis 2014 zwei neue Hochdruckwasserdämme unter dem Gesichtspunkt einer dauerhaften Dichtfunktion bei zu erwartenden Gebirgsbewegungen infolge des geplanten Abbaus im Beustfeld errichtet. Ende der 1970er Jahre wurden zur hydrologischen Trennung von Westfeld und Ostfeld in einer Teufe von ca. –300 m zwei Wasserdämme errichtet, um das Wasser im Westfeld bis auf ca. + 65 m

anstauen zu können. Diese beiden Dämme waren vor allem durch die Einwirkungen der näher rückenden Abbautätigkeit im Ostfeld neu zu errichten. Die Bauausführung der neuen Wasserdammbauwerke mit ihren speziellen Dichtsegmenten konnte zeitgerecht und unfallfrei Mitte 2014 abgeschlossen werden. Diese beiden auf dem Bergwerk Ibbenbüren hergestellten Hochdruck-Wasserdammbauwerke sind einzigartig im deutschen Steinkohlenbergbau

### Introduction

Since 1979 anthracite production at Ibbenbüren mine has been concentrated exclusively on the eastern district. Prior to this the mine operators (Preussag AG Kohle) had also been engaged in working the western panels. Lying between these two districts (Figure 1) is the Bockraden Trench containing the potential new 'Beustfeld' panels. With the closure of the western workings it was decided to construct two water dams, number 71 and number 59, as static barriers at a depth of around 300 m. This would create a hydrological separation between the eastern and western districts. The water in the western district was dammed to a level of about +65 m and fed via a drift to the treatment plant at Gravenhorst. The future extraction plans for the as yet unworked Beustfeld panels meant that the stability of these two dams, which had been in service for more than 30 years, now had to be reviewed.

### Einführung

Das Bergwerk Ibbenbüren fördert seine Anthrazitkohlen seit 1979 ausschließlich aus dem Ostfeld. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde unter der damaligen „Preussag AG Kohle“ zeitgleich auch im Westfeld gefördert. Zwischen den beiden Baufeldern (Bild 1) liegt der Bockradener Graben mit dem sogenannten Beustfeld. Bei der Schließung des Westfeldes wurden zwei Wasserdämme, Damm 71 und Damm 59, als statische Wasserdämme geplant und in einer Teufe von ca. –300 m errichtet. Dies führte zur hydrologischen Trennung von Ostfeld und Westfeld. Das Wasser im Westfeld wurde bis auf + 65 m angestaut und über einen Stollen der Kläranlage in Gravenhorst zugeführt. Die im bisher unverritzten Beustfeld für die Zukunft geplanten Abbaubetriebe machten nach über 30 Jahren eine Überprüfung der Standfestigkeit dieser beiden Dämme erforderlich.



Fig. 1. Coal extraction in the Bockraden Trench  
Bild 1. Abbausituation im Bockradener Graben

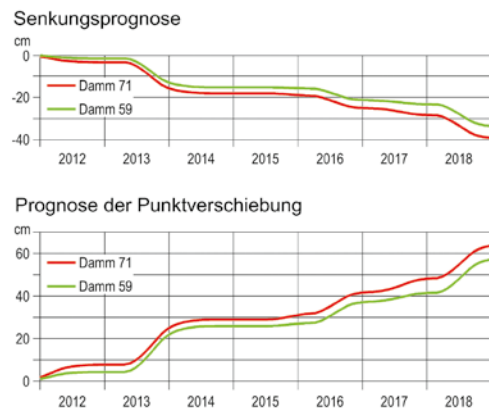


Fig. 2. Subsidence and displacement predictions for original dams 71 and 59  
Bild 2. Senkungs- und Verschiebeprognozen für die Altdämme 71 u. 59

## Planning

When planning coal production in the Beustfeld it quickly became clear that the two dams had to be examined to see whether, when under the influence of nearby coal winning, they would also be capable of resisting a water pressure of about 30 bar from the western district. If not, two new barriers would have to be built as replacements.

The overall situation was examined in collaboration with Dortmund-based geotechnical consultants Dr.-Ing. Michael Clostermann – Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting and Zerna Planen und Prüfen GmbH, Bochum, together with the Ruhr University in Bochum (1).

The specified sealing requirements for the two structures were defined as follows: long-term provision of an effective seal capable of withstanding the strata deformation likely to result from coal extraction in the nearby Beustfeld panel.

At the time of the assessment it was planned to commence winning in the Beustfeld in 2012. As far as the existing dams were concerned this raised the following questions:

1. When will the dams come under the influence of mining operations?
2. Will the existing dams remain stable and therefore fit for service?

In order to answer these questions ground movement calculations were carried out to establish the tilt, slope, distortion and compression movements likely to take place.

## Conclusion

The findings produced the following conclusions:

1. The amount of settlement of the two strata-enclosed dams was estimated at up to 40 cm, while the maximum displacement towards the eastern district was put at 70 cm (Figure 2).
2. The anticipated strata deformation  $\epsilon$  resulting from the extraction of the Beustfeld could be as much as 0.25 %.

This yielded the following assessment of the stress level in the concrete:

$$\sigma_{eq} \approx E_{concrete} \cdot \epsilon_{concrete} = 30.000 \text{ MPa} \cdot 0,25 \% = 75 \text{ MPa}$$

## Planung

Mit der Planung der Förderaktivitäten im Beustfeld wurde schnell klar, dass geprüft werden musste, ob die Dämme auch unter Abbaueinwirkung dem Westfeldwasser mit einem Wasserdruck von rd. 30 bar standhalten würden. Andernfalls müssten für diese beiden Wasserdämme zwei Ersatzbauwerke erstellt werden.

In Zusammenarbeit mit den Ingenieurbüros Dr.-Ing. Michael Clostermann – Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting, Dortmund, und Zerna Planen und Prüfen GmbH, Bochum, sowie der Ruhruniversität Bochum wurde die Sachlage gemeinsam überprüft (1).

Die Anforderung an die Dichtfunktion der Bauwerke lautete: Dauerhafte Gewährleistung der Dichtfunktion insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden Gebirgsverformungen infolge des umhergehenden Abbaus im Beustfeld.

Der Abbau im Beustfeld war zum Zeitpunkt der Prüfung für das Jahr 2012 vorgesehen. In Bezug auf die vorhandenen Dammbauwerke stellten sich folgende Fragen:

1. Wann geraten die vorhandenen Dämme unter Abbaueinwirkung?
2. Bleiben die bestehenden Dämme standsicher und somit gebrauchstauglich?

Zu ihrer Beantwortung wurde eine Bodenbewegungsvorausberechnung durchgeführt, um die voraussichtlichen Schiefstellungen, Schiefklagen, Zerrungen und Pressungen zu ermitteln.

## Das Ergebnis

Die Untersuchung führte zu folgendem Ergebnis:

1. Die Absenkung der beiden im Gebirge eingeschlossenen Dämme würde bis zu 40 cm, die Verschiebung Richtung Ostfeld bis zu 70 cm betragen (Bild 2).
2. Die zu erwartende Gebirgsverformung  $\epsilon$  in Folge des Abbaus im Beustfeld könnte bis zu 0,25 % betragen.

Hieraus erfolgte eine Abschätzung des Spannungsniveaus im Beton:

$$\sigma_{eq} \approx E_{Beton} \cdot \epsilon_{Beton} = 30.000 \text{ MPa} \cdot 0,25 \% = 75 \text{ MPa}$$

Damit war das Spannungsniveau im Baustoff etwa um den Faktor 4 zu hoch.

The stress acting on the material was therefore too high by a factor of 4.

The upper limit of the joint opening expected between the rock and the structures was calculated as:

$$\Delta u \approx 4 \text{ m} \cdot 0,25 \% = 10 \text{ mm}$$

This figure was also considered unacceptable, given the existing water pressures and the fact that the water dams were more than 30 years old.

The conclusion was obvious. Two new high-pressure water barriers would have to be designed and erected to replace dams 59 and 71.

The first step was to select precise locations for the construction of the two barriers. As well as identifying zones where the strata would promote structural stability it was also necessary to ensure good access to the barriers and to present as little interference as possible to the normal mine operations. The following two locations were chosen on the basis of these parameters (Figure 3):

Watertight structure I was sited below mine level 3 and directly in the Bockraden shaft, while structure number II was placed in the Buchholz ventilation drift close by the original dam 71.

One of the drawbacks of these chosen sites was the strong air current in the Bockraden shaft. Because of the role this shaft plays as one of the mine's two upcast shafts both the strong air current and the high noise level generated by the main fan, which is installed some 300 m above the barrier sites, had to be taken into account for the duration of the construction work. The high water inflow in the shaft also caused concerns for the problem free placement of the different materials.

After an assessment had been made of the quantity of spoil that would be produced it was concluded that the volume of space existing in the Bockraden shaft beneath the proposed barrier number I was sufficient for the purpose; this was a major advantage from a debris disposal viewpoint.

In view of the planned commencement of coal winning in panel 9/10 north, seam 54, the completion deadline for the construction work was set for June 2014.

### Functional requirements of the barrier structures

The proposed barriers were to serve both as an abutment and as a seal.

The abutment was to be created using non-reinforced concrete or mining-grade concrete with material properties similar to B25. The choice fell on mining concrete with a retarder based on CEM II/A\_S 42.5 N (Elskes, 08471B). This product attains a compressive strength of 25 N/mm<sup>2</sup> after 7 days and 40 N/mm<sup>2</sup> after 28 days. It is also capable of withstanding the highly aggressive nature of the shaft water.

The requirements for the sealing element were as follows:

- The sealing element was to exhibit low permeability, this to include the joint around the rock face.
- In order to be able to withstand strata deformation forces without fracturing the element had to display a high degree of plasticity and even some self-healing properties.

Weiterhin wurde die Obergrenze der zu erwartenden Fugenöffnungen zwischen Gebirge und Bauwerken berechnet:

$$\Delta u \approx 4 \text{ m} \cdot 0,25 \% = 10 \text{ mm}$$

Auch dieses Ergebnis war bei den vorhandenen Wasserdrücken und den über 30 Jahre alten Wasserdämmen als inakzeptabel anzusehen.

Die Schlussfolgerung war eindeutig. Sie erforderte die Planung und den Neubau zweier Hochdruckwasserdämme als Ersatz für die beiden Wasserdämme 59 und 71.

In einem ersten Schritt waren die genauen Standorte für die jeweiligen Bauwerke auszuwählen. Neben geeigneten Gebirgseigenschaften für die Standfestigkeit der Bauwerke waren u. a. eine gute Zugänglichkeit zu den Bauwerken sowie möglichst keine Beeinträchtigung des aktiven Betriebs gefordert. Daraus ergaben sich folgende zwei Standorte (Bild 3):

Das Dichtbauwerk I wurde unterhalb der 3. Sohle direkt im Bockradener Schacht vorgesehen, das Dichtbauwerk II in der Wetterstrecke Buchholz direkt im Anschluss an das alte Bauwerk 71.

Nachteilig an diesen Standorten war u. a. der starke Wetterzug im Bockradener Schacht. Aufgrund seiner Funktion als einer von zwei Abwetterschächten des Bergwerks mussten sowohl der starke Wetterzug als auch der hohe Geräuschpegel des Hauptventilators, der etwa 300 m oberhalb der Baustellen installiert ist, während der gesamten Bauphase in Kauf genommen werden. Weiterhin bereitete der starke Wasserzufluss im Schacht Sorgen in Hinblick auf ein einwandfreies Einbringen der verschiedenen Baustoffe.

Nach der Inhaltsbestimmung des geplanten Abraums konnte das vorhandene Volumen im Bockradener Schacht unterhalb des geplanten Dichtbauwerks I als ausreichend bezeichnet werden; dies erwies sich bei der Entsorgung des Ausbruchsmaterials als besonders vorteilhaft.

In Hinblick auf den Beginn des Abbaus der Bauhöhe 9/10 Norden, Flöz 54, wurden die Fertigstellungstermine auf Juni 2014 festgelegt.

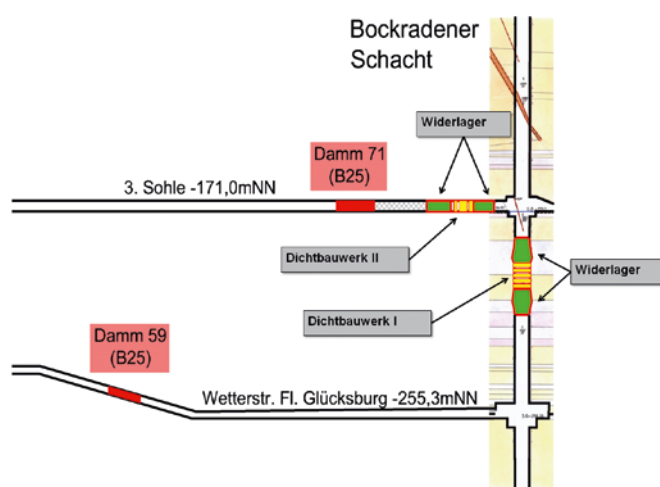


Fig. 3. Sealing concept for dam 59/71  
Bild 3. Abdichtungskonzept Damme 59/71

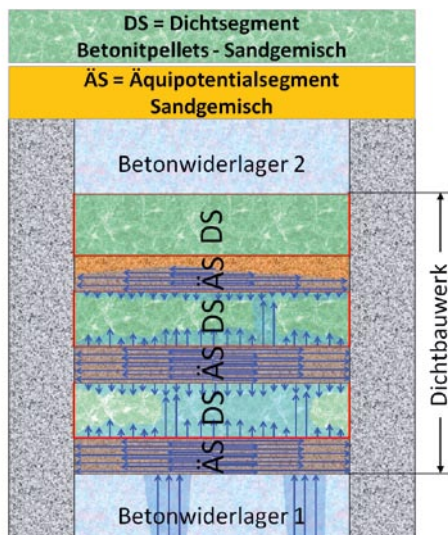


Fig. 4. Structure and function of the watertight dam  
Bild 4. Prinzip Aufbau und Funktionsweise des Dichtbauwerks

- In order to achieve a balanced development of the swelling pressure the water front had to be uniformly distributed over the sealing element.
- To prevent damage to the surrounding strata the swelling pressure was to be limited to a maximum of 3 MPa.
- In order to compensate for the anticipated rock deformation a dilatation potential of > 1% was to be achieved after full swelling.

The sealing element is based on a patent drawn up by the Karlsruhe Research Centre (Figure 4) and consists of two segments:

1. The equipotential segment

This employs a viscid sand material developed by the Karlsruhe Institute of Technology (Patent DE 101 49 972 C1) that ensures a uniform dispersal of any incoming water. This means that the inflow from any small cracks is distributed evenly over the entire surface of the dam like the spreading of fingers.

2. The sealing segment proper

Because of the aforementioned material properties, and in view of various technological considerations, such as dust make during transport and processing, the cohesive properties when in transit in the pipeline and the results of various conveying trials, it was decided to use a bentonite-sand mixture (binary mix) for this operation. This comprises 70% by weight bentonite pellets or granulate and 30% by weight quartz sand S 35 H.

Bentonite consists of various clay minerals and has excellent water absorbency properties and a high swellability factor. In the event of water ingress bentonite swells and becomes highly compacted. This effectively means that the barrier closes itself against any incoming water.

In order to establish the structural properties of this binary mixture various trials were conducted on a test bench at the Ruhr University in Bochum. The findings were used to determine the required density for the bentonite mixture (1.67 g/cm<sup>3</sup>) so that the minimum and normal quantities could be calculated, and verified, for the different voids and cavities.

### Funktionsweise des Bauwerks

Die geplanten Bauwerke sollten zum einen Widerlagerfunktionen und zum anderen Dichtfunktionen übernehmen.

Das Widerlager wurde aus unbewehrtem Beton bzw. Bergbaubeton mit vergleichbaren Eigenschaften eines Baubetons Klasse B 25 geplant. Zum Einsatz kam ein Bergbaubeton mit Verzögerer auf Basis CEM II/A\_S 42,5 N (Elskes, 08471B). Er erreicht nach sieben Tagen eine Druckfestigkeit von 25 N/mm<sup>2</sup>, nach 28 Tagen von 40 N/mm<sup>2</sup>. Gleichzeitig hält er auch der hohen Aggressivität der Schachtwässer stand.

Die Anforderungen an das Dichtelement lauteten:

- Inklusiv der Fuge zum Gebirge sollte das Dichtelement eine geringe Durchlässigkeit haben.
- Um Gebirgsverformungen bruchfrei ertragen zu können, musste es ausgeprägte plastische Eigenschaften sozusagen zur Selbstheilung aufweisen.
- Für eine ausgewogene Quelldruckentwicklung sollte eine gleichmäßige Verteilung der Wasserfront im Dichtelement erreicht werden.
- Um Beschädigungen an dem umgebenden Gebirge zu vermeiden, sollte der Quelldruck max. 3 MPa betragen.
- Zur Kompensation der zu erwartenden Gebirgsverformungen sollte ein Dehnungspotential von > 1% nach dem vollständigen Quellen erreicht werden.

Das Dichtelement basiert auf einem Patent des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH (Bild 4) und besteht aus zwei Teilen:

1. Das Äquipotentialsegment

Hier wird ein am Karlsruher Institut für Technologie (Patentschrift DE 101 49 972 C1) entwickeltes zähfließendes Sandmaterial eingesetzt, welches bei Wasserzutritt für eine gleichmäßige Verteilung des Zuflusses sorgt. Der Wasserzutritt aus einem kleinen Riss soll so auf die gesamte Dammfäche verteilt werden, was auch als „Brechen von Fingern“ bezeichnet wird.

2. Das eigentliche Dichtsegment

Auf Grund der beschriebenen Eigenschaften und aus technologischen Erwägungen, wie der Staubentwicklung bei Transport und Verarbeitung, den Klebeeigenschaften während des Transports in den Rohrleitungen und den Ergebnissen von durchgeführten Förderversuchen wurde ein Betonit-Sandgemisch (Binärgemisch) ausgewählt. Dieses besteht aus 70 MA-% Bentonitpellets bzw. Bentonitgranulat und 30 MA-% Quarzsand S 35 H.

Bentonit besteht aus verschiedenen Tonmineralien und weist als besondere Eigenschaft eine starke Wasseraufnahmefähigkeit bei gleichzeitig starker Quellfähigkeit auf. Bei Wasserzutritt quillt Bentonit auf und verdichtet sich stark. Auf diese Weise verschließt sich das Bauwerk bei Wasserzutritt quasi selbst.

Zur Charakterisierung der konstruktiven Eigenschaften dieser Binärmischung wurden Versuche auf einem Prüfstand an der Ruhr Universität Bochum durchgeführt. Aus den Ergebnissen konnte die erforderliche Dichte der Bentonitmischung (1,67 g/cm<sup>3</sup>) bestimmt werden, um für die entsprechenden Hohlräume die Mindest- bzw. die Normalmengen errechnen und entsprechend nachweisen zu können.

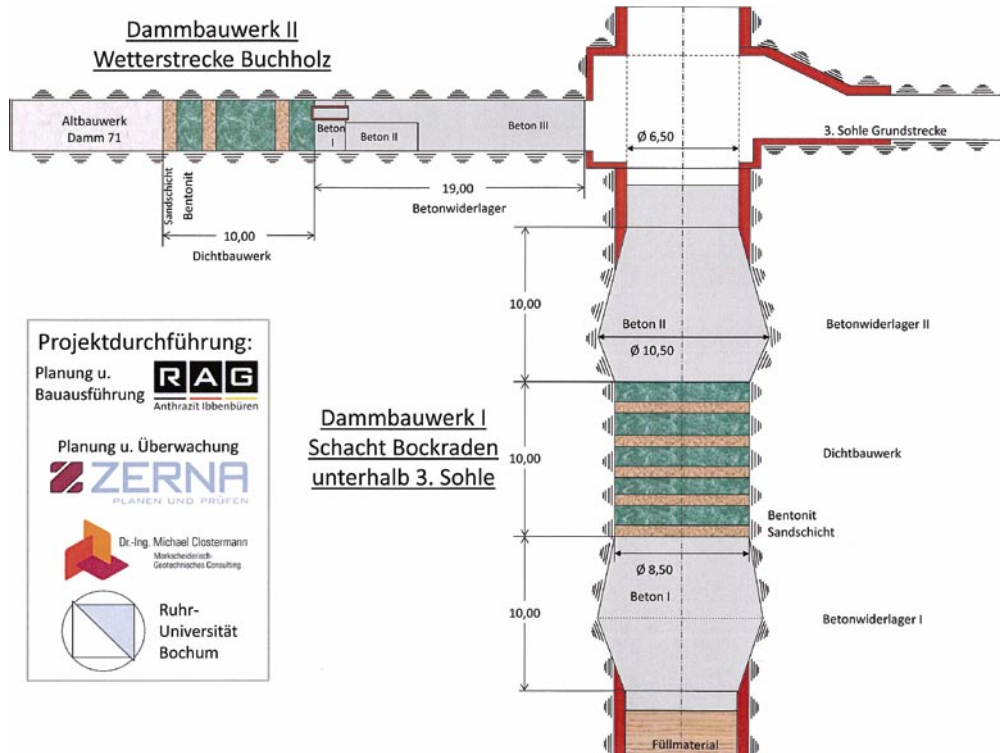


Fig. 5. Schematic representation of the two watertight barriers  
Bild 5. Schematische Darstellung der beiden Wasser-Damm-Bauwerke

The pumpability and processing characteristics of this mixture were also examined in field trials. These indicated that the proposed 80-mm pipe was unsuitable for the purpose and tended to cause sticking and blockages. A drop test with a new 100-mm pipe achieved the required degree of success. A batch of mixture tipped directly into the 100-mm pipe from a silo vehicle achieved a compaction density of 1.74 g/cm<sup>2</sup>.

### Structural planning

The two barriers were to be designed as shown in Figure 5.

- Barrier number I in the Bockraden shaft below level 3 with:
  1. Concrete abutment I, overall height = 10 m.
  2. Watertight structure, 10 m thick, comprising five equipotential segments each of 0.50 m and five watertight segments each 1.5 m thick.
  3. Final concrete abutment II also 20 m in height.
- Barrier number II in the Buchholz ventilation drift with:
  1. Original dam number 71 as abutment number 1.
  2. Three equipotential segments each 1.00 m in width and three watertight segments 1.50, 4.00 and 1.50 m thick.
  3. Installation of a concrete abutment in three sections with an overall length of 19 m.

### Construction

Preparations commenced in the Bockraden shaft in 2011. All structural works and technical equipment were submitted, and duly approved, by the Operational Planning Department at Arnsberg District Authority.

Work then commenced immediately on barrier number I. This initially involved a technical refurbishment of the water drainage system, as the bentonite had to be delivered in a perfectly dry

Förderbarkeit und Verarbeitung dieser Mischung wurden ebenfalls in Feldversuchen getestet mit dem Ergebnis, dass die geplante 80er Leitung nicht geeignet war. Es kam zu Verklebungen und Verstopfungen in der Leitung. Ein Sturzversuch über eine neue 100er Leitung brachte den gewünschten Erfolg. Mit der direkt aus dem Silofahrzeug in die 100er Leitung verkippten Mischung wurde eine Einbaudichte von 1,74 g/cm<sup>2</sup> erreicht.

### Bauplanung

Die beiden Dammbauwerke wurden nun wie in Bild 5 dargestellt vorgesehen.

- Dammbauwerk I im Bockradener Schacht unterhalb der 3. Sohle mit:
  1. Betonwiderlager I, Gesamthöhe = 10 m.
  2. Dichtbauwerk, 10 m mächtig, bestehend aus fünf Äquipotentialsegmenten je 0,50 m und fünf Dichtsegmenten je 1,50 m Mächtigkeit.
  3. Abschlussbetonwiderlager II mit ebenfalls 10 m Höhe.
- Dammbauwerk II in der Wetterstrecke Buchholz mit:
  1. Altbauwerk Damm 71 als Widerlager Nr. 1.
  2. Drei Äquipotentialsegmenten von je 1,00 m Breite und drei Dichtsegmenten von 1,50 m, 4,00 m und 1,50 m Mächtigkeit.
  3. Der Erstellung des Betonwiderlagers in drei Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 19 m.

### Bauausführung

Im Jahre 2011 wurde mit den vorbereitenden Arbeiten im Bockradener Schacht begonnen. Für alle vorgesehenen Bauausführungen und die dazugehörigen technischen Einrichtungen wurden bei der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 6, Betriebspläne eingereicht und von dieser zugelassen.

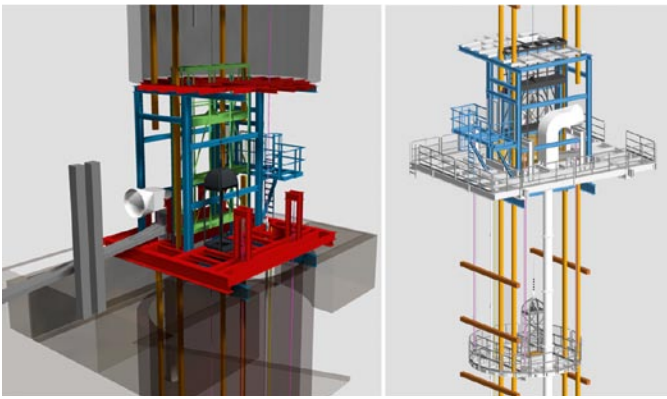


Fig. 6. Operating gear and working platform in Bockraden shaft  
Bild 6. Verlagerungskonstruktion und Arbeitsbühne Bockradener Schacht  
Source / Quelle: Ingenieurbüro Hachmann und Partner GbR

state to prevent any premature swelling. The concrete also had to be kept as free as possible from run-off water.

In order to protect the working site from the water inflow of 17,5 l/min from the shaft walls, and the 7,5 l/min of rainwater (spray entrained in the air current), new water garlands had to be installed in the Bockraden shaft. Membranes were placed above the working platforms in order to protect the site from spray water. The water level in the shaft sump was to be reduced to a minimum and maintained thus.

A travelling platform was built, installed and technically certified. The travelling gear was operated from level 3. For this purpose all the fixtures below shaft level 3 (guides, pipework, etc.) first had to be dismantled and removed (Figure 6).

As described above, the barrier was to have an overall length of 30 m (concrete abutment I to be 10 m, watertight structure to be 10 m and concrete abutment II also 10 m). The cavity beneath the barrier was to be large enough so that all the broken rock material could be tipped into the available space. At both points chosen for the concrete abutments the shaft had to be widened from 6,5 m to over 10,0 m in diameter, while the section provided for the watertight structure was to be extended to 8,5 m.

This meant that the entire brickwork had to be removed over a shaft length of 30 m. This was done working downwards from the travelling platform. The clinker bricks were drilled and blasted out and the rock behind was also blasted away in relatively small sections and allowed to fall down the shaft.

Blasting block by block was deemed to be the safest approach. The circumference of the shaft was divided up into as many as seven blocks and these were blasted away one by one (Figure 7). The delay stages were chosen so that most of the blasting debris fell down the shaft. Material remaining on the blasting floor was pushed over the edge by the shaft crew wielding scraper tools. A total of 6,052 shotholes were drilled and some 2,596 kg of category WI and WIII explosive was used to remove about 1,350 m<sup>3</sup> of clinker masonry and rock, representing 1.92 kg of explosive per m<sup>3</sup>. This compares with a specific consumption of between 1.0 and 1.5 kg of explosive per m<sup>3</sup> in roadway drivages at Ibbenbüren mine. The blasting debris was sufficient to fill about 30 m of shaft column.

Rockbolts were used to provide support and protection from falling debris. The bolt length and density were determined by a

Sodann wurde mit dem Dammbauwerk I begonnen. Hier galt es zunächst, die Wasserhaltung in einen technisch einwandfreien Zustand zu bringen, da das Einbringen des Bentonits zwingend trocken zu erfolgen hatte, um sein vorzeitiges Quellen zu verhindern. Auch der Beton sollte möglichst frei von fremden Wässern gehalten werden.

Um den Wasserzufluss von rd. 17,5 l/min aus der Schachtwandung und 7,5 l/min durch Niederschlag (Gischt im Wetterzug) von der Einbaustelle fernzuhalten, mussten neue Traufenrinnen im Bockradener Schacht eingebaut werden. Mittels Folien über den Bühnen sollte ein Spritzwasserschutz erstellt werden. Der Wasserspiegel im Schachtsumpf sollte auf ein Minimum reduziert und dort gehalten werden.

Für die Schachtarbeiten wurde eine verfahrbare Arbeitsbühne konstruiert, eingebaut und technisch abgenommen. Die Verlagerung der Bühne erfolgte auf der 3. Sohle. Dafür mussten im Schacht zunächst unterhalb der 3. Sohle alle vorhandenen Einbauten (Spurlatten, Rohrleitungen, etc.) demontiert und entsorgt werden (Bild 6).

Das Bauwerk sollte, wie oben beschrieben, eine Gesamtlänge von 30 m haben (Betonwiderlager I mit 10 m, Dichtbauwerk mit 10 m und Betonwiderlager II mit 10 m). Unterhalb des Bauwerks sollte so viel Hohlraum vorhanden sein, dass dorthin das hereingebrochene Gestein verstrützt werden konnte. An den beiden Stellen für die Betonwiderlager musste der Schacht im Durchmesser von 6,5 m auf über 10,0 m, im Bereich des Dichtbauwerkes auf 8,5 m erweitert werden.

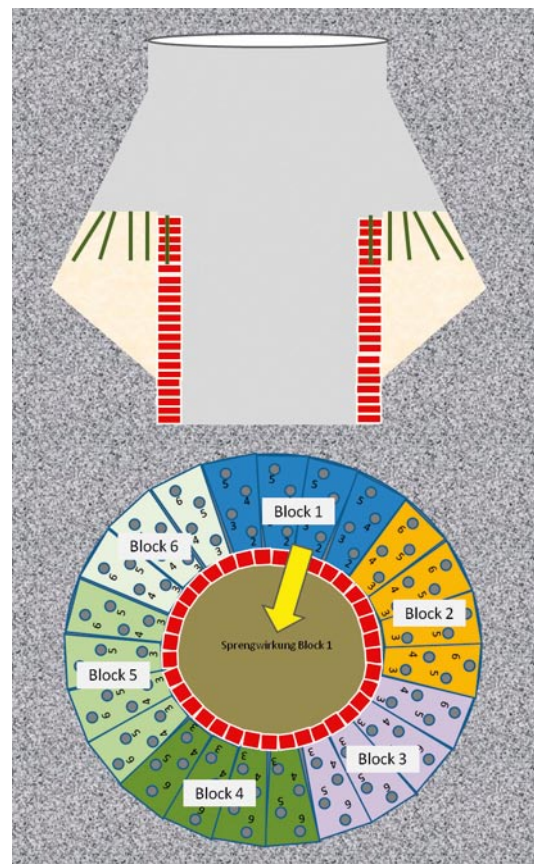


Fig. 7. Schematic of the block by block blasting pattern used in the shaft (in this case six blocks)  
Bild 7. Schematische Darstellung des blockweisen Sprengens im Schacht (hier sechs Blöcke)

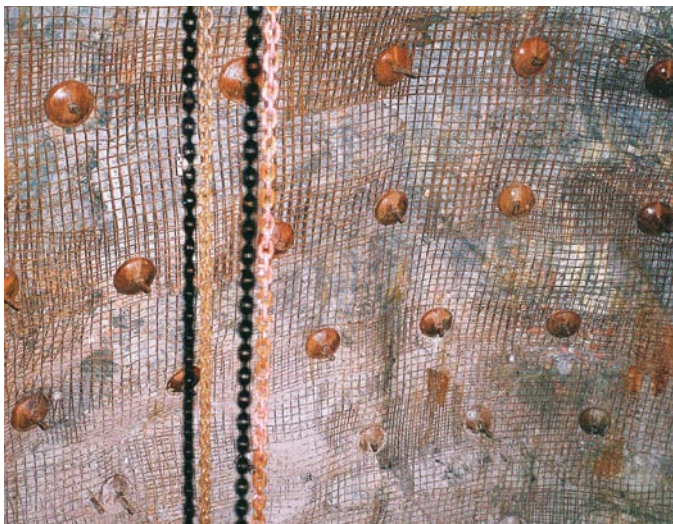


Fig. 8. Fractured shaft wall with rockbolt supports and wire mesh  
Bild 8. Aufgebrochene Schachtwandung mit eingebrachter Ankerung mit Maschendraht

DMT expert report that recommended 43 rows of fully resin-bonded GW25 bolts with a rated load-bearing force of 340 kN. Rows 1 to 38 would have bolt lengths of 2.5 m, of which 2.4 m was to be fully grouted, while rows 39 to 43 would have bolt lengths of 2.0 m, of which 1.9 m was to be fully grouted. The bolts in each row would be set at a constant spacing of 1.0 m. The bolt spacing between rows was specified at 0.8 m for rows 1 to 35 and, given the favourable strata composition, at 1.0 m for rows 36 to 44. Each row was to comprise between 26 and a maximum of 36 bolts, this representing a rockbolting density of up to 1.27 bolts/m<sup>2</sup> (Figure 8).

After all the chambers and cavities in question had been cleared and secured a number of laborious sealing measures were required to counter the strata water entering the shaft above the location chosen for the proposed concreting work. The first step was to fill the remaining shaft section below concrete abutment I with a total of 274 m<sup>3</sup> of concrete. The material delivered by the concrete mixing trucks was pumped directly down the 100-mm shaft pipe to the placement point. During the months of November and December 2013 concrete abutment I was then poured in four sections using the same technique. This required some 569 m<sup>3</sup> of concrete in all. Local residents near the Bockraden shaft were always notified in good time about the exact times of these journeys so that deliveries of concrete by mixer truck and supplies of sand and binary mixture arriving in silo vehicles would not present a problem, even at night.

After the specified curing period had elapsed the sealing structure was installed in early February 2014, this comprising alternate layers of sand (Figure 9) and bentonite pellets with fine sand (Figure 10). It was vital for this material to be installed absolutely dry and for this reason the entire area was protected from water ingress and water droplets. Here too the materials were delivered into place via a drop pipe connecting directly to the silo vehicles.

A wet-type dust extractor from CFT GmbH of Gladbeck was procured and installed in order to minimise dust exposure levels for those engaged in placing the mixture and to prevent mechanical damage to the blades of the main fan just 300 m away.

Das bedeutete, dass das komplette Ziegelmauerwerk auf 30 m Schachtlänge zu entfernen war. Diese Arbeiten erfolgten von der Arbeitsbühne aus von oben nach unten. Mittels Bohr- und Sprengarbeit wurde das Klinkermauerwerk und das Gestein in relativ kleinen Mengen hereingesprengt und im unteren Schachtteil verstürzt.

Das blockweise Hereinsprengen erwies sich als die sicherste Variante. Der Schachtfumfang wurde in bis zu sieben Blöcke eingeteilt, die nacheinander gesprengt wurden (Bild 7). Die Zündstufen wurden so gewählt, dass das Haufwerk zum größten Teil durch die Sprengung in den Schacht verstürzte. Das restliche, auf der Sprengsohle verbliebene Haufwerk wurde mit Handkratzern von den Schachthauern in den Schacht verstürzt. Insgesamt wurden 6.052 Sprengbohrlöcher gebohrt. Mit 2.596 kg Sprengstoff der Klassen WI und VIII wurden rd. 1.350 m<sup>3</sup> Klinkermauerwerk und Gestein hereingesprengt, das entspricht spezifisch 1,92 kg Sprengstoff/m<sup>3</sup> Gestein. Zum Vergleich: In den Streckenvortrieben auf dem Bergwerk Ibbenbüren werden spezifisch zwischen 1,0 und 1,5 kg Sprengstoff/m<sup>3</sup> verbraucht. Mit dem gesprengten Haufwerk konnten rd. 30 m Schachtsäule verfüllt werden.

Als Ausbau und Sicherung gegen Steinfall war Ankerausbau vorgesehen. Ankerlänge und -dichte hatte ein Gutachten der DMT GmbH festgelegt. Danach waren 43 Ankerreihen mit vollverklebten GW25-Ankern mit einer Tragkraft von 340 kN einzubringen. Für die Ankerreihen 1 bis 38 sollten Ankerlängen von 2,5 m, davon 2,4 m vollverklebt, und für die Ankerreihen 39 bis 43 Ankerlängen von 2,0 m, davon 1,9 m vollverklebt, eingebracht werden. Der Ankerabstand in der Reihe wurde mit 1,0 m für alle Ankerreihen konstant gehalten. Der Ankerreihenabstand wurde für die Ankerreihen 1 bis 35 auf 0,8 m festgelegt, für die Ankerreihe 36 bis 44 auf Grund des günstigen Gebirgsaufbaus auf 1,0 m. Je Reihe waren 26 bis maximal 36 Anker einzubringen, es ergaben sich Ankerdichten von bis zu 1,27 Anker/m<sup>2</sup> (Bild 8).

Nach Aufwältigung und Sicherung aller erforderlichen Räumlichkeiten waren aufwendige Abdichtungsarbeiten gegen das in den Schacht zufließende Gebirgswasser oberhalb der Einbaustelle für die geplanten Betonierarbeiten erforderlich. Zunächst wurde der noch verbliebene Teil Restschacht unterhalb des Betonwiderlagers I mit einer Menge von 274 m<sup>3</sup> Beton verfüllt. Der von Betonmischfahrzeugen angelieferte Beton wurde direkt durch die 100er Schachtleitung zum Einbauort gepumpt. Im Anschluss wurde von November bis Dezember 2013 das Betonwiderlager I auf die gleiche Art und Weise in vier Abschnitten gegossen. Hierfür waren insgesamt 569 m<sup>3</sup> Beton erforderlich. Die Anwohner am Bockradener Schacht wurden immer zeitnah und ausführlich über die Aktivitäten unterrichtet, so dass der Antransport des Betons mit Betonmischfahrzeugen bzw. von Sand und Binärgemisch in Silofahrzeugen selbst nachts kein Problem darstellte.

Nach vorgegebener Aushärtungszeit wurde Anfang Februar 2014 das Dichtbauwerk eingebracht, abwechselnd eine Sandschicht (Bild 9) und eine Schicht Bentonitpellets mit Feinsand (Bild 10). Besonders wichtig war hier der trockene Einbau des Materials. Deshalb wurde nochmals der gesamte Bereich gegen zufließendes und tropfendes Wasser gesichert. Die Materialien wurden auch hierbei direkt aus den Silofahrzeugen über eine Fallleitung zum Einsatzort geschickt und eingebracht.

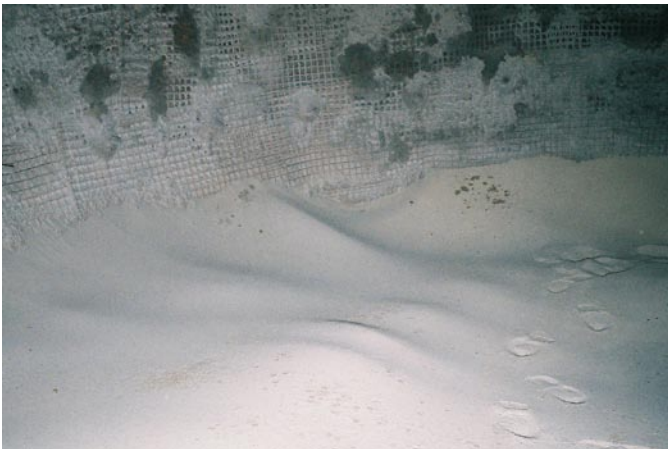


Fig. 9. Sand mixture for the equipotential segment  
Bild 9. Sandgemisch für das Äquipotentialsegment



Fig. 10. Binary mixture of bentonite pellets and sand  
Bild 10. Binärgemisch aus Bentonitpellets und Sand

A simple technique was used to distribute the material evenly over the circular area. Four pull ropes were attached to the discharge end of the pipe so that the delivery could be controlled by a man pulling on each rope as required.

One important task assigned to the colliery surveyors was to mark the exact line for each layer of fill on the shaft wall. The exact volume of material to be used for each construction step also had to be measured and calculated so that once the filling work had been completed the achieved density levels could be established from the weight of material installed. In all, this part of the operation consumed 179.2 t of sand and 784.4 t of binary mixture.

At the end of February 2014 abutment number II was then constructed in four sections using some 737.5 m<sup>3</sup> of concrete.

### Barrier number II, Buchholz ventilation drift

A similar system was employed for barrier number II in the Buchholz ventilation drift. The first step here was to clear and secure the drift, which had been filled with a type of anhydrite material, over a distance of 29 m. This operation was carried out using an EQ 200 mini excavator from Deilmann-Haniel Mining Systems GmbH, Dortmund, which proved extremely flexible with its great range of multifunctional attachments, including a bucket, ripping hammer and drill feed.

As the original dam 71 was still in excellent condition it was decided that it could serve as a concrete abutment. This meant that work could start immediately on the construction of the seal.

The successive application of the individual layers in the shaft did not present any difficulties. The problem now arose of how to get the sand to stand up like a wall. The solution was to employ rockbolts as tension points for a system of chains, wire and permeable fabric and this was to prove effective in keeping the individual layers separate (Figure 11).

The individual sections were filled one by one working from rear to front. The 1.0 m-thick equipotential segments were filled with a total of 78.6 t of sand and the sealing segments were built using a total of 204.2 t of binary mixture comprising bentonite pellets and fine sand. The material density was continuously checked by an expert assessor using the recorded dimensions as a basis. The density results were between 1.71 and 1.74 t/m<sup>3</sup>, which was above the specified minimum of 1.67 t/m<sup>3</sup>.

Um die Staubbelastung für die Mitarbeiter beim Einbringen der Mischung so gering wie möglich zu halten und die Schaufelräder des nur 300 m entfernten Hauptventilators nicht mechanisch zu beschädigen, war zuvor ein Nassentstauber der Firma CFT GmbH, Gladbeck, angeliefert und eingebaut worden.

Das gleichmäßige Einbringen der Baustoffe über die Kreisfläche erfolgte auf einfache Art und Weise. Am Schlauchaustrag waren vier Zugseile angebracht, mit denen der Austrag durch einen Mitarbeiter in die entsprechende Position gezogen werden konnte.

Eine wichtige Aufgabe der Vermessungsingenieure der Markscheiderei des Bergwerks bestand darin, die genauen Markierungen für die jeweiligen Schichten an die Schachtwandung anzuzeichnen. Darüber hinaus war das genaue Volumen für alle Bauabschnitte zu messen und zu berechnen, um nach dem anschließenden Verfüllen über die eingebrachte Tonnage die erzielten Dichten ermitteln zu können. Insgesamt wurden hier 179,2 t Sand und 784,4 t Binärgemisch eingebracht.

Ende Februar 2014 wurde abschließend das Betonwiderlager II in vier Abschnitten mit 737,5 m<sup>3</sup> Beton gegossen.

### Dambbauwerk II, Wetterstrecke Buchholz

Eine ähnliche Vorgehensweise wurde für das Dammbauwerk II in der Wetterstrecke Buchholz gewählt. Zunächst musste die ehemals mit einer Art Anhydritbaustoff verfüllte Strecke auf einer Länge von 29 m aufgewältigt und gesichert werden. Hierzu kam ein Kompaktbaggerfahrzeug EQ 200 der Firma Deilmann-Haniel Mining Systems GmbH, Dortmund, zum Einsatz, welches sich durch Flexibilität und Multifunktionalität bei den Anbaugeräten – Schaufel, Ripphammer und Bohrlafette – auszeichnete.

Da sich das Altbauwerk, Damm 71, in einem sehr guten Zustand befand, konnte es als Betonwiderlager genutzt werden. Somit konnte hier sofort mit dem Einbringen des Dichtbauwerks begonnen werden.

Im Schacht war es kein Problem, die einzelnen Schichten nacheinander einzubringen. Hier bestand nun das Problem, wie man Sand dazu bringt, als Wand zu stehen. Anker als Verspannung für Ketten, Draht und wasserdurchlässiges Gewebe waren die Lösung, die für die erforderliche Trennung der einzelnen Schichten sorgte (Bild 11).





Fig. 11. Partition system in the Buchholz drift  
Bild 11. Trennwand in der Wetterstrecke Buchholz

In the meantime, work was completed on the construction of section I of the concrete abutment, which was to be positioned at the end of the seal, and then at the end of May 2014 the final abutment was poured in two stages using a total of 270 m<sup>3</sup> of concrete.

### Completion

The barriers were completed and approved as planned in early June 2014. Not a single notifiable accident was reported at the site throughout the construction phase. This is quite remarkable, given the extremely complex nature of the work and the difficult environmental factors, including water inflow into the shaft, a strong air current and a high level of noise from the main fan. This result is a tribute both to the accurate planning of the engineers involved and to the conscientious and precise manner in which the work was carried out by the colliery team, which was reinforced by skilled personnel leased from the Dortmund-based firm MEC GmbH.

The two high-pressure water barriers at Ibbenbüren mine are the only ones of their type ever to be constructed for the German coal industry.

Abschnittsweise wurden die einzelnen Felder von hinten nach vorne verfüllt, die 1,0 m dicken Äquipotentialsegmente mit insgesamt 78,6 t Sand, die Dichtsegmente mit dem Binärgemisch aus Betonitpellets und Feinstsand mit insgesamt 204,2 t. Die Materialdichte wurde von einem Gutachter an Hand der aufgenommenen Aufmaße immer wieder überprüft. Sie betrug zwischen 1,71 und 1,74 t/m<sup>3</sup> und lag damit über der geforderten Mindestdichte von 1,67 t/m<sup>3</sup>.

Zwischenzeitlich wurde der am Ende des Dichtbauwerks geplante Betonabschnitt I des Betonwiderlagers erstellt und Ende Mai 2014 konnte das Abschlusswiderlager in weiteren zwei Abschnitten mit insgesamt 270 m<sup>3</sup> Beton gegossen werden.

### Fertigstellung

Anfang Juni 2014 waren die Bauwerke planmäßig fertiggestellt und abgenommen. Während der gesamten Bauphase ereignete sich kein meldepflichtiger Unfall auf der Baustelle. Dies ist gerade wegen der sehr komplexen Arbeiten und schwierigen Umgebungseinflüsse – Wasserzufluss im Schacht, starker Wetterzug und Lärmbelästigung durch den Hauptventilator – bemerkenswert. Es spricht einerseits für eine hohe Planungsgenauigkeit der beteiligten Ingenieure, andererseits für eine gewissenhafte und akkurate Bauausführung durch die bergwerkseigene Mannschaft, die mit qualifizierten Mitarbeitern in Arbeitnehmerüberlassung von der Firma MEC GmbH, Dortmund, verstärkt war.

Diese beiden auf dem Bergwerk Ibbenbüren hergestellten Hochdruckwasserdammbauwerke sind bisher einzigartig im deutschen Steinkohlenbergbau.

### References / Quellenverzeichnis

- (1) Kunz, J., Clostermann, M., Schanz, T., Heimer, S.: Untertägige Bauwerke unter Gebirgsbewegung – eine Herausforderung an die konstruktive Durchbildung. Bergbau 11/2014, S. 486 – 490.

### Author / Autor

Dipl.-Ing. Jürgen Beimdieck,  
Leiter Produktion der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren

**Dolezych**  
einfach sicher

Seile • Ketten • Hebebänder • Zurrgurte  
Rundschlingen • Hebezeuge • Krane  
Beratung • Prüfung • Wartung  
Schulung • DIN EN ISO 9001 und 14001

[www.dolezych.de](http://www.dolezych.de)