

# Working the Zollverein 1/2 Seam at Prosper-Haniel Colliery Using Dedicated Fire and Explosion Protection Measures

The plan was to extract three coal faces in the Zollverein 1/2 twin seam in the Prosper North district at Prosper-Haniel colliery of RAG Aktiengesellschaft, Herne/Germany. A new safety concept was specially developed for this operation and its essential features would then be adopted for use in the subsequent production faces in Zollverein 1/2 seam. Coping with the high desorb-

able methane content of the seam placed huge demands on the team responsible for the first winning face (panel 123). The high risk of spontaneous combustion in Zollverein seam was another real challenge that had to be faced. This paper describes the procedures that were used to combat these hazards, with a focus on preventive and protective fire control measures.

## Abbau des Flözes Zollverein 1/2 auf dem Bergwerk Prosper-Haniel aus brand- und explosionschutz-technischer Sicht

Drei Abbaubetriebe sollen im Doppelflöz Zollverein 1/2 im Bau-feld Prosper Nord des Bergwerks Prosper-Haniel der RAG Aktien-gesellschaft, Herne, verhauen werden. Dafür wurde ein neues Si-cherheitskonzept ausgearbeitet, das in seinen Grundzügen auch für die folgenden Abbaubetriebe im Flöz Zollverein 1/2 umgesetzt werden soll. Die Bewältigung der hohen desorbierbaren Methan-

gehalte im Flöz stellte große Anforderungen an die Mannschaft im ersten Betrieb, der Bauhöhe 123. Die hohe Selbstentzündungs-gefahr des Flözes Zollverein stellte eine weitere Herausforderung dar. Die zur Beherrschung dieser Gefahren nötigen Maßnahmen, insbesondere der vorbeugende und abwehrende Brandschutz werden im vorliegenden Beitrag beschrieben.

### Introduction

The plan was to extract three coal faces in the Zollverein 1/2 twin seam in the Prosper Nord working district at Prosper-Haniel colliery of RAG Aktiengesellschaft, Herne/Germany. The new safety concept that was developed for this operation was then to be implemented again, with a few modifications, for the follow-up faces in Zollverein 1/2 seam.

Coping with the high desorbable methane levels in the seam, which could be as high as 12 m<sup>3</sup>/t, made enormous demands on the team working on the first production face (panel 123). This zone was provided with a 70 m<sup>3</sup>/s Y-type ventilation scheme for advancing working. Another challenge to be faced was the Zollverein seam's well-known susceptibility to spontaneous ignitions. A new system was developed in collaboration with the Bochum engineering firm ZPP Ingenieure GmbH in order to provide ribside protection when starting-up the first face. Because of the size of the shield supports a new solution also had to be found for the installation of the explosion protection barriers.

The measures taken to meet these requirements meant a lot of additional effort for the face team and called for an increased

### Einleitung

Drei Abbaubetriebe sollen im Doppelflöz Zollverein 1/2 im Bau-feld Prosper Nord auf dem Bergwerk Prosper-Haniel der RAG Aktien-gesellschaft, Herne, verhauen werden. Dafür wurde ein neues Sicherheitskonzept ausgearbeitet, das, abgesehen von kleinen Änderungen, auch für die folgenden Abbaubetriebe im Flöz Zollverein 1/2 umgesetzt werden soll.

Die Bewältigung der hohen desorbierbaren Methangehal-te von bis zu 12 m<sup>3</sup>/t im Flöz stellte große Anforderungen an die Mannschaft im ersten Betrieb, der Bauhöhe 123. Die Bauhöhe wurde mit 70 m<sup>3</sup>/s Y-förmig im Vorbau bewettert. Die bekann-termaßen hohe Selbstentzündungsgefahr des Flözes Zollverein stellte eine weitere Herausforderung dar. Für die Anlaufkanten-sicherung wurde ein neuartiges System in Zusammenarbeit mit der Firma ZPP Ingenieure GmbH, Bochum, entwickelt. Auch für die Anordnung des konstruktiven Explosionsschutzes musste aufgrund der Dimensionen des Schildausbaus eine neue Lösung gefunden werden.

Die aus diesen Anforderungen resultierenden Maßnahmen stellten einen erhöhten Aufwand für die Belegschaft dar und

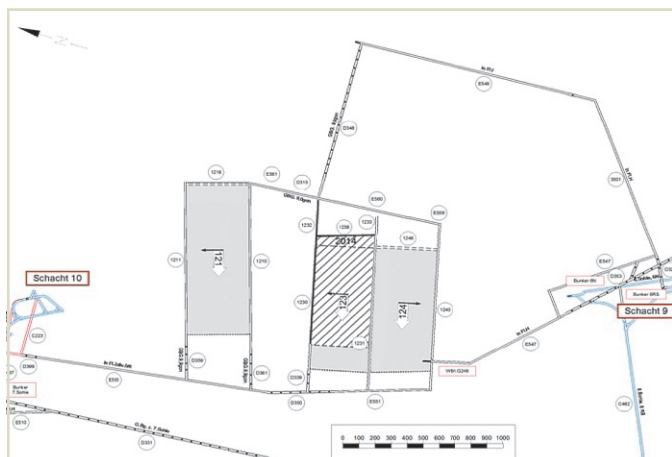


Fig. 1. Position of the Zollverein panels.

Bild 1. Lage der Zollverein-Bauhöhen. Source/Quelle: RAG

sense of awareness and a high-precision approach. This was all implemented very effectively. The winning phase ran to plan and coal production targets were successfully met.

### Preliminary gas drainage

Preliminary gas drainage was achieved by deploying an electro-hydraulic jumbo to drill a series of holes into the seam from both gate roads and from the face line. Particular importance was attached to this drainage operation in order to eliminate any possibility of a gas outburst and to avoid the need for time-consuming and labour-intensive measures when the production process got under way. A total of 25 km or so of drainage holes were drilled with hole lengths of up to 220 m. This drainage work relieved 91% of the total area of the seam and released 6.7 m<sup>3</sup> of gas. The drainage holes helped reduce the gas content in large sections of the seam to below 5 m<sup>3</sup>/t (1). A gas extraction system was set up at roof level and at floor level in the return air road in order to prevent large quantities of gas being released into the air stream.

According to guidelines on the prevention of hazards in the form of the sudden release of large amounts of mine gas with or without the discharge of coal or stone (Gas Outburst Guidelines), as issued by the Chief Mines Inspectorate of North Rhine-Westphalia on 29th May 1996, the threat of a gas outburst may be said to exist when the desorbable methane content exceeds 9 m<sup>3</sup>/t, or 5.5 m<sup>3</sup>/t when particular forms of rock stress are present as in the case of tectonic faults and when there are ribslides or pack lines in the roof or floor. Such conditions require stress-relief holes to be drilled in the seam. This operation also requires a number of safety measures to be put in place as follows:

- drilling with remote control;
- CH<sub>4</sub> concentrations displayed at the drilling station;
- oxygen self-rescuers kept at the ready; and
- the area to remain voltage-free when drilling is under way.

Emergency breathing dispensers must also be kept ready every 15 m along the face and every 50 m along the return airway.

### Face equipment for panel 123

The shield supports for the coal face in panel 123 were assembled in the main seam road D 315 (Figure 1). The units were then

erforderten ein hohes Maß an Sensibilisierung sowie präzises Arbeiten. Dies wurde von der Abbaumannschaft gut umgesetzt. Der Abbau verlief planmäßig und erbrachte die geforderten Kohlemengen.

### Gasvorabsaugung

Zur Vorentgasung wurden aus beiden Abbaubegleitstrecken mittels eines elektrohydraulischen Bohrwagens und aus dem Streb heraus Bohrungen ins Flöz erstellt. Zur Beseitigung des Gasausbruchsverdachts und zur Vermeidung von zeit- und personalintensiven Maßnahmen im laufenden Produktionsprozess, wurde der Vorentgasung ein hohes Gewicht beigemessen. Mit Bohrlochtlängen bis zu 220 m wurden insgesamt rd. 25 km abgebohrt. Dabei sind 91% der Flözfläche entlastet worden. Die gelöste Gasmenge betrug 6,7 Mio. m<sup>3</sup>. Mit den Bohrungen wurde der Gasinhalt in großen Teilen des Flözes auf unter 5 m<sup>3</sup>/t reduziert (1). In der Abwetterstrecke des Betriebs wurde zur Vermeidung des Freisetzens größerer Gasmengen eine Gasabsaugung sowohl im Hangenden als auch im Liegenden betrieben.

Nach den Richtlinien des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen über die Abwehr von Gefahren des plötzlichen Freiwerdens großer Grubengasmengen mit oder ohne Auswurf von Kohle oder Gestein (Gasausbruchs-Richtlinien) vom 29.05.1996 liegt bei Überschreitung eines desorbierbaren Methangehalts von 9 m<sup>3</sup>/t, oder 5,5 m<sup>3</sup>/t und dem Vorliegen besonderer Gebirgsbeanspruchungen, wie tektonischen Störungen oder Abbau- oder Versatzkanten im Hangenden oder Liegenden, ein Gasausbruchsverdacht vor. Für diesen Fall sind Entspannungsbohrungen im Flöz durchzuführen. Dabei sind eine Reihe von Schutzmaßnahmen zu beachten:

- Bohren mit einer Fernbedienung,
- Anzeige der CH<sub>4</sub>-Konzentration am Bohrstand,
- Bereithalten von Sauerstoff-Selbstrettern und
- Spannungsfreiheit während der Bohrarbeit.

Weiterhin wurden alle 15 m im Streb und alle 50 m im Abwetterbereich Notatemspender bereit gehalten.

### Herrichtung der Bauhöhe 123

Bei der Herrichtung des Abbaubetriebs Bauhöhe 123 wurden in der Basisstrecke D 315 die Schilde montiert (Bild 1). Der Transport in den Streb erfolgte über die Kohlenabfuhrstrecke 1230. Um die komplett montierten Schilde in den Streb zu fahren, wurde dort der EHB-Strang in die Streckenmitte auf eine Höhe von 3,6 m (Unterkante EHB-Schiene) umgebaut. Die Höhe der Transporteinheit der kompletten Schilde beträgt von der Unterkante der EHB-Schiene mindestens 3,2 m bei einer Breite von 2,1 m.

Die Kohlenabfuhrstrecke 1230 war, im Abstand von 75 m vom Streckeneingang, mit einer konzentrierten Wassertrögsperre explosionstechnisch abgesichert. Nach DIN EN 14591-2 ist der konstruktive Explosionsschutz so anzuordnen, dass die Unterkante der Wassertröge eine maximale Höhe von der Sohle von 2,6 m hat. In den einzelnen Zeilen darf zwischen zwei Wassertrögen ein maximaler Abstand von 1,5 m vorhanden sein. Aufgrund einer Sonderregelung darf für die Dauer von Schwerlasttransporten der konstruktive Explosionsschutz entweder mit einem Abstand zur Sohle von 3 m oder mit einer seitlichen Lücke bis zu 2 m zeit-

transported to the new face along coal loader gate 1230. In order to manoeuvre the fully assembled shields on to the face line the overhead monorail track in this area was relocated to the centre of the gate at a height of 3.6 m, measured from the lower edge of the rail. Each transport unit of complete shields, measured from the bottom edge of the monorail, was at least 3.2 m in height and 2.1 m in width.

Coal loader gate 1230 was protected from explosion by a concentrated water-trough barrier system set up some 75 m from the entrance to the roadway. According to DIN EN 14591-2 explosion protection systems of this kind are to be sited in such a way that the lower edge of the water troughs is no more than 2.6 m above the roadway floor. The standard also stipulates a maximum distance of 1.5 m between two adjacent troughs in each row. A special provision exists according to which structural barriers of this type may, for the duration of a heavy-load transport operation, be installed with a 3 m vertical distance to the floor or with a lateral gap of up to 2 m, provided this is only done on a temporary basis in the section of roadway concerned. Only one deviation from the standard is permitted per extinguishing unit. Given the dimensions of the total transport unit neither of the two special barrier arrangements available would have resulted in a viable solution.

A new type of layout therefore had to be found for the water-trough barrier system (1). It was subsequently decided to employ a mobile arrangement for the rows of troughs. Pneumatic cylinders were fitted to the system in such a way that when these were retracted the frames carrying the water troughs would be pulled back against the side-walls. Rollers were also fitted front and back so that the carrier frames could be deployed with the troughs. The rollers run in U-channels mounted outboard the system. When the cylinders are activated the gap at the overhead monorail increases from 2 to 2.7 m (Figure 2). Approval for this explosion barrier arrangement was granted under the following conditions:

- No coal winning was to take place in panel 123 during the shield transport operation.
- Transport personnel were to be given clear instructions that the oversized lateral gap in the concentrated water-trough barrier was only to be used for the transit of the heavy transport unit. When the convoy had fully passed through the barrier zone the lateral gap was to be reduced back to 2 m.
- When the shield transport operation had been completed the water-trough barrier was to be restored back to the standard design.
- The whole area was to be inspected by the explosion protection deputy on a weekly basis.

Because of the space required for the coal winning equipment it was deemed necessary to create a face start-up heading with a finished cross-section of around 50 m<sup>2</sup> (2). This heading, which was excavated in two separate sections, was provided with type A combination supports. The first phase created a floor width of 7.2 m (Figure 3). Stage 2 then excavated a parallel entry that widened the floor to 9.9 m. The heading had a finished height of 4.7 m and measured 370 m in length.

### Winning zone

The face edge zones were protected by an elaborate system of

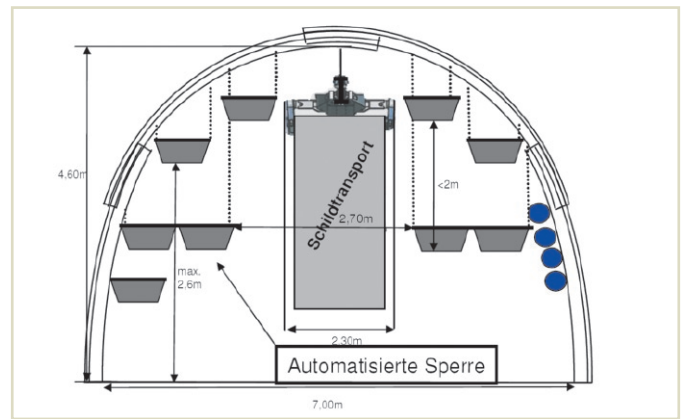


Fig. 2. Mobile explosion protection barrier in its open position.

Bild 2. Mobile Explosionsschutzsperre im geöffneten Zustand.

Source/Quelle: RAG

lich befristet im betroffenen Streckenabschnitt gebaut werden. Pro Löscheinheit ist nur eine Abweichung zulässig. Bei den Maßen der gesamten Transporteinheit führte keine der beiden Sonderbauformen zu einer brauchbaren Lösung.

Es war also eine neuartige Anordnung des konstruktiven Explosionsschutzes erforderlich (1). Die Entscheidung fiel zugunsten einer mobilen Anordnung der Explosionsschutzzeilen. Auf den Tragrahmen der Wassertröge sind Pneumatikzylinder montiert, die beim Einfahren der Zylinder den Tragrahmen in den Stoß ziehen. Um die Tragrahmen mit den Trögen verfahren zu können, sind diese vorn und hinten mit Rollen versehen worden. Diese Rollen laufen in außen angebrachten U-Profilen. Wird der Zylinder angesteuert, vergrößert sich die Lücke im Bereich der EHB-Schiene von 2 auf 2,7 m (Bild 2). Die Genehmigung für diese Art der Explosionsschutzsperre erfolgte mit folgenden Auflagen:

- Für die Dauer des Schildtransports fanden in der Bauhöhe 123 keinerlei Gewinnungsarbeiten statt.
- Durch Unterweisung der Transporteure war sicherzustellen, dass die vergrößerte seitliche Lücke innerhalb der konzentrierten Sperre nur für die Dauer der Durchfahrt genutzt werden darf. War die Transporteinheit komplett durch die Sperre gefahren, war die seitliche Lücke wieder auf 2 m zu verkleinern.
- Nach Abschluss der Schildtransporte wurde der konstruktive Explosionsschutz wieder normgerecht hergestellt.
- Die Örtlichkeiten waren vom Explosionsschutzsteiger wöchentlich zu befahren.

Aufgrund des Platzbedarfs der Gewinnungsausrüstung war die Erstellung einer Strebstartstrecke mit einem lichten Querschnitt von rd. 50 m<sup>2</sup> notwendig (2). Die Strecke wurde in zwei unabhängig voneinander zu erstellenden Abschnitten im Kombinationsausbau Typ A aufgeföhren. Das Vorfeld hatte eine Sohlenbreite von 7,2 m (Bild 3). Im zweiten Schritt wurde das Vorfeld durch ein Begleitfeld auf eine Sohlenbreite von 9,9 m erweitert. Die lichte Streckenhöhe betrug 4,7 m, die Streckenlänge 370 m.

### Abbau

Die Strebsäume wurden durch aufwändige Streckenbegleitdämme gesichert, wobei auch die ausbau- und wettertechnischen Anforderungen zu berücksichtigen waren. Die 2,4 m breiten Dämme

roadside packs that were designed to comply with the relevant mine support and ventilation requirements. The 2.4 m-wide packs comprised rows of TH frames with roofbars and props, the spaces between being taken up with Bullflex casings filled with building material. In order to control the gas emissions in the goaf zone a mine climate and gas emission window was kept open in the roadside pack at a distance of about 15 m behind the face line on the return air side. The methane that was systematically drawn off in this way could be diluted to a sufficient degree. The following safety measures were also laid down for the coal winning phase:

- After each shearer cut the coal face was to be assessed for signs of microtectonic events.
- When winning is under way the face personnel must remain on the fresh-air side.
- When the cutting operation has ended face personnel must be able to move on to the face immediately on the return-air side, provided no anomalies have arisen, e.g. CH<sub>4</sub>-related shut-down, gas blowers.
- The shearer operator is to be on the fresh-air side at all times and must remain within the protected travelway created by the shield supports.

### Ventilation

The ventilation system in panel 123 was designed for advancing winning with a Y-type layout and regeneration of the face airflow. Some 50 m<sup>3</sup>/s of the total airflow of 70 m<sup>3</sup>/s was drawn-in via the conveyor roads. This meant that 20 m<sup>3</sup>/s of fresh air was obtained via the tail gate. The loader gate was abandoned at regular intervals behind the face line using a series of explosion-resistant intermediate stoppings. A special CH<sub>4</sub> exemption was in place for the return air zone and methane concentration levels were permitted to rise to a maximum of 1.5 % before reaching the next air regeneration point.

### Fire protection plan

According to experiences all bituminous coal seams in the Rhineland-Westphalian coalfields are prone to spontaneous ignition. This problem can usually be attributed to loose remnant coal in the goaf and the supply of oxygen due to air leakages. These spontaneous ignitions are often triggered in and around the edges of start-up faces, residual-coal pillars, geological faults, rider seams within 10 m of the roof and end positions of longwall faces (3).

One standard technique that is used in mine workings prone to spontaneous ignition is to protect the face start-up edges with building material and to interlock all the gate roads that are left open behind the face line. This interlocking method is practised in Zollverein seam, not by extracting the coal and pouring concrete but by employing the injection sealing method – which is made possible by the excellent quality of the roadways with their type A combination supports.

It is recommended that a coal face which has been started-off from a rise heading should have a pack thickness that is calculated at three times that of the seam (3). For a heading some 5 m in height this would mean that the start-up edge would have to be sealed on both sides with 15-m long packs. Notwithstanding the high safety requirements that apply, a pack of such a length would be oversized and would also be difficult to realise. A struc-



Fig. 3. First stage of the start-up heading with a floor width of 7.2 m.

Bild 3. Erstellung des Vorfelds mit einer Sohlenbreite von 7,2 m.

Source/Quelle: RAG

bestanden aus einer Kombination von TH-Stabreihen aus Kappen und Stempeln, deren Zwischenräume mit Bullflex-Pfeilern versehen und mit Baustoff verfüllt wurden. Zur Beherrschung der Ausgasung wurde im Bruchfeld im Abstand von rd. 15 m hinter dem Streb auf der Abwetterseite ein sogenanntes Klima- und Ausgasungsfenster im Streckenbegleitdamm offen gehalten. Das so gezielt abgeführte Methan konnte ausreichend verdünnt werden. Für den Abbaubetrieb wurden darüber hinaus folgende Sicherheitsmaßnahmen festgelegt:

- Beurteilung des Kohlenstoßes nach jedem Walzenschnitt bezüglich Kleintektonik.
- Bei der Gewinnung dürfen sich die Mitarbeiter im Streb nur auf der Frischwetterseite aufhalten.
- Der Streb darf nach Beendigung des Schneidvorgangs auf der Abwetterseite sofort befahren werden, sofern keine Anomalien aufgetreten sind, z. B. CH<sub>4</sub>-Abschaltung, Bläser.
- Der Walzenfahrer befindet sich immer im Frischwetterbereich und im geschützten Fahrweg des Schildausbaus.

### Wettertechnik

Die Bewetterung der Bauhöhe 123 erfolgte im Vorbau mit Y-Zuschnitt und einer Auffrischung des Strebwetterstroms. Von der Gesamtwettermenge von 70 m<sup>3</sup>/s zogen 50 m<sup>3</sup>/s über die Bandstrecke ein. Die Auffrischung über die Kopfstrecke betrug demnach 20 m<sup>3</sup>/s. Die Bandstrecke wurde hinter dem Streb in regelmäßigen Abständen mit explosionsfesten Zwischenabdämmungen abgeworfen. Für den Abwetterbereich bestand eine CH<sub>4</sub>-Ausnahmegenehmigung. Bis zum nächsten Wetterauffrischungspunkt durfte die Methankonzentration auf maximal 1,5 % ansteigen.

### Brandschutzkonzept

Alle in der rheinisch-westfälischen Steinkohlenlagerstätte gebauten Fettkohlenflöze neigen erfahrungsgemäß zur Selbstentzündung. Die Ursache dafür ist meistens aufgelockerte Restkohle im Alten Mann und die Sauerstoffzufuhr durch Schleichwetter. Die Schwerpunkte für diese Selbstentzündungsbrände liegen im Bereich von Anlaufkanten, Restkohlepfeilern, geologischen Stö-

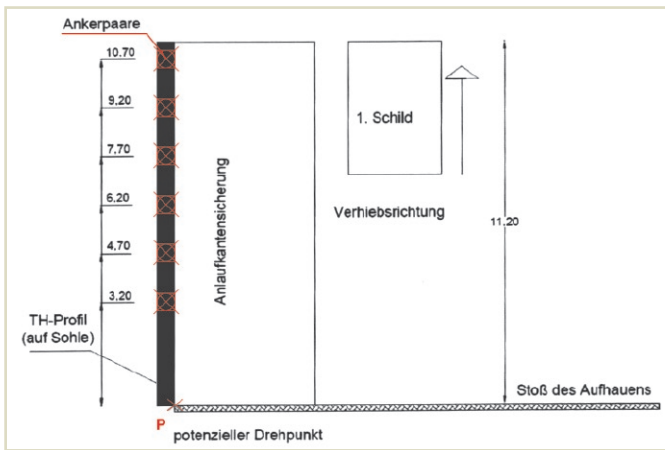


Fig. 4. New variant of the explosion-proof face-edge protection system.  
 Bild 4. Neue Variante der explosionsfesten Anlaufkantensicherung.  
 Source/Quelle: ZPP

turally sufficient alternative, in the form of an explosion-resistant pack capable of withstanding a pressure load of 5 bar, was therefore developed in collaboration with ZPP Ingenieure GmbH. The edge protection system was similar in design to the standard roadside packs and essentially consisted of three main elements:

- Bullflex casings filled with hydraulic-setting building material;
- building material infill between the individual rows of Bullflex casings; and
- TH frames to help align the rows of Bullflex.

The TH frames were attached to the roofbars and then actively braced between the roof and floor by means of hydraulically inflatable floor-plates known as jackpots. They were also bolted together at several points over the entire height of the heading. When the Bullflex casings had been properly aligned they were filled under pressure. All the intermediate spaces were then filled with hydraulic-setting material. In order to ensure that the pack would remain completely gas-tight particular attention was paid to achieving a form-fit and force-fit bond with the roadway floor and roof. The structural analysis carried out by ZPP Ingenieure GmbH produced the following conclusions: The pack with four rows of Bullflex casings and three rows of intermediate infills requires a TH 34 profile beam to be installed at the floor of the parallel heading in order to prevent any movement of the pack into the roadway. The beam is to be fixed with six pairs of retaining bolts and serves as a restraint. This additional safeguard allows the pack to be reduced in length to 4.2 m. After consultation with the KOP Centre (Competence Centre for Mine Roadway Support Planning), which is the central department for rock mechanics, strata injection, rockbolting and support technology at RAG Deutsche Steinkohle AG, this version of the face-edge protection concept was ultimately chosen for the winning zone (Figure 4).

Other standard fire-protection measures for workings at risk of spontaneous ignition include compact roadside packs that can be tested, and if need be re-compacted, after about 200 m of face advance. This is done in order to minimise any air leakage through the goaf area. A sure sign that the seat of a fire is not far away from an area under continuous ventilation would be the development of a benzene-like smell in the early stages of the fire.

rungen, hangenden Begleitflözen im Abstand unter 10 m und den Endstellungen der Abbaubetriebe (3).

Eine Standardmaßnahme für alle selbstentzündungsgefährdeten Betriebe ist die Anlaufkantensicherung aus Baustoff mit Rückverzahnung in allen hinter dem Streb offen bleibenden Abbaustrecken. Diese Rückverzahnung erfolgt im Flöz Zollverein nicht durch Auskohlen und Betonieren, sondern aufgrund der guten Streckenqualität der Kombi Typ A-Auffahrungen durch Abdichtinjektionen.

Für einen Abbaubetrieb, der aus einem Aufhauen anläuft, wird eine Dammdicke von dreifacher Flözmächtigkeit empfohlen (3). Bei einer Aufhauenhöhe von rd. 5 m würde das bedeuten, die Anlaufkante beidseitig mit etwa 15 m langen Dämmen abzudichten. Diese Dammlänge ist trotz der hohen sicherheitlichen Anforderungen überdimensioniert und betrieblich nur schwer darzustellen. Daher wurde mit der Firma ZPP Ingenieure GmbH eine statisch ausreichende Alternative – ein explosionsfester Damm, der einer Druckbelastung von 5 bar standhält – erarbeitet (4). Die Anlaufkantensicherung bestand im Wesentlichen – analog zur Technik der Streckenbegleitdämme – aus drei Elementen:

- mit hydraulisch abbindendem Baustoff gefüllten Bullflex-Pfeilern,
- Baustofffüllungen zwischen den einzelnen Bullflex-Pfeiler-Reihen und
- TH-Stützen, die der Ausrichtung der Bullflex-Pfeilerreihen dienen.

Die TH-Stützen waren in der Firste an den Kappen befestigt und durch sogenannte Jackpots – hydraulisch aufblähbare Stempelfußplatten – zwischen Firste und Sohle aktiv verspannt. Zusätzlich wurden sie über die gesamte Höhe des Aufhauens untereinander mehrfach durch Verbolzung fixiert. Nach ihrer Ausrichtung wurden die Bullflex-Schläuche unter Druck befüllt. Abschließend erfolgte die Verfüllung aller Zwischenräume mit hydraulisch abbindendem Baustoff. Zur Gewährleistung der Gasdichtigkeit des Damms richtete die Bauausführung besonderes Augenmerk auf einen kraft- und formschlüssigen Verbund in der Sohle und in der Firste. Die von ZPP Ingenieure GmbH durchgeführten statischen Berechnungen führten zu folgendem Ergebnis: Am Damm mit vier Bullflex-Pfeilerreihen und drei Reihen Zwischenverfüllungen muss zur Verhinderung der Bewegung des Damms in die Strecke auf der Sohle der Begleitstrecke ein TH 34-Profil angeordnet werden, das mit sechs Halteankerpaaren zu fixieren ist und als Schubsicherung dient. Mit dieser zusätzlichen Absicherung lässt sich die Dammlänge auf 4,2 m verkürzen. In Absprache mit dem Kompetenzzentrum für Streckenausbauplanung (KOP-Center), der zentralen Abteilung für Gebirgsmechanik, Injektions-, Anker- und Ausbautechnik der RAG Deutsche Steinkohle AG, wurde diese Version der Anlaufkantensicherung für den Abbau gewählt (Bild 4).

Weitere brandschutztechnische Standardmaßnahmen für selbstentzündungsgefährdete Betriebe sind dichte Streckenbegleitdämme, die nach ca. 200 m Abbaufortschritt auf Dichtigkeit geprüft und bei Bedarf nachverdichtet werden. Dies geschieht zur Minimierung des Schleichwetterstroms im Alten Mann. Ein sicheres Zeichen für die Nähe eines Brandherds zu durchgehend bewetterten Grubenbauen wäre das Auftreten eines Benzin-Benzolgeruchs im Anfangsstadium des Brands. Bei un-

However, if the air leakage situation is unfavourable this smell will not be perceptible. In such cases the presence of remnant coal in the caved goaf close to the face and roadway should by itself be considered a sufficient criterion for a fire source (5). Potential air entry points from adjacent seam horizons or worked-out areas in the same seam should also be investigated and sealed if necessary. Operations to work through geological faults should if possible be undertaken without leaving any roof coal and areas of remnant or roof coal should be marked on mine survey maps. The roadside packs in panel 123 were additionally sealed to roof level with phenol resin foam.

A fixed CO measuring instrument was positioned on the fresh-air side of the face in both gate-roads in order to monitor gas levels. Another CO meter was used to monitor the entire return-air flow. By these means it was possible to specify more accurately the source of any increase in CO levels and in the event of an emergency developing to issue a timely warning to any exposed persons and to organise the speedy implementation of the required fire control measures. Another CO measuring instrument was installed in the gas collector pipe of the gas extraction system. In view of the high risk of spontaneous ignition in Zollverein seam the CO warning and alarm values, which are controlled from the computer-aided mine safety station, were reduced to 5 and 10 l/min above the background level. The sniffer pipes installed at 30 to 50 m intervals in the roadside pack on the return-air side – this is reduced to less than 25 m if the ribside is friable – were sampled manually on a weekly basis. Differential pressure measurements were also taken at the same time in order to check the effectiveness of the interstitial filling. This was done to ensure that no large areas of cavitation had developed in the goaf zone close to the coal face. In parallel with this the goaf zone was monitored by an in-situ combustion-gas laboratory equipped with a gas chromatograph that was set up to analyse gases such as methane, carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen and ethylene.

Significant ethylene concentrations provide some indication of a developing spontaneous-ignition fire, as this gas normally only forms at temperatures of 150 °C and above. The fire and explosion characteristics were calculated at the same time on the basis of the gas concentration levels. The combustion-gas laboratory can be linked up to seven different measuring points that can be switched-in alternately in order to analyse the incoming gas samples.

In order to establish a nitrogen inertisation system that could be deployed rapidly, if required, a 2.5 km-long DN 150 pressurised pipeline was also run from the intake shaft as far as the conveyor gate. This pipe terminated in a nitrogen valve that was to serve as a discharge point for the inert nitrogen gas. Shutting down the pipe and reducing the pressure causes the nitrogen valve to open. As this creates an open discharge point there is no need for underground personnel to enter the threatened area.

When applying this technique it is necessary to distinguish between zonal inertisation and object inertisation. If there is still no risk of explosion from the heating, it is sufficient to flush nitrogen through the goaf zone. However, if there is a real threat of explosion then zonal inertisation will be necessary. In such cases the deployed mine rescue brigade must be withdrawn to a safe

günstiger Schleichwettersituation ist dieser Geruch allerdings nicht wahrnehmbar. In solchen Fällen sollte schon das alleinige Vorhandensein streb- und streckennaher Restkohle im Bruchfeld als hinreichendes Kriterium für einen Brandherd gewertet werden (5). Außerdem sind mögliche Schleichwetterzutritte aus benachbarten Flöz niveaus oder abgebauten Flächen im gleichen Flöz zu untersuchen und ggf. auch nachzuverdichten. Störungsdurchörterungen sollten möglichst ohne das Stehenlassen von Hangendkohle erfolgen. Hangend- oder Restkohlenbereiche sollten marscheiderisch erfasst werden. Die Streckenbegleitdämme in der Bauhöhe 123 wurden mit Phenolharzhartschaum bis zum Hangenden zusätzlich abgedichtet.

Zur messtechnischen Überwachung war in beiden Abbaubegleitstrecken ein ortsfestes CO-Messgerät auf der Frischwetterseite des Strebs positioniert. Außerdem überwachte ein weiteres CO-Messgerät den Gesamtabwetterstrom. Auf diese Weise konnte ein Ansteigen der CO-Werte räumlich besser zugeordnet und für den Ernstfall außerdem eine rechtzeitige Warnung gefährdeter Personen sowie die schnelle Einleitung der erforderlichen Brandbekämpfungsmaßnahmen ermöglicht werden. Ein weiteres CO-Messgerät war in der Gassammelleitung der Gasabsaugung installiert. Aufgrund der hohen Selbstentzündungsgefahr von Flöz Zollverein waren die Warn- und Alarmwerte für CO, die von der rechnergestützten Sicherheitswarte kontrolliert werden, auf 5 bzw. 10 l/min oberhalb der Grundbelastung reduziert worden. Die abwetterseitig im Streckenbegleitdamm eingebauten Schnüffelrohre im Abstand von 30 bis 50 m – bei bruchhaftem Streckensaum < 25 m – wurden wöchentlich mittels Handmessungen beprobt. Dabei wurden gleichzeitig Differenzdruckmessungen zur Kontrolle der Wirksamkeit der Zwickelverfüllung durchgeführt, um sicherzustellen, dass sich keine größeren Hohlräume im Alten Mann in Strebnähe befinden. Parallel dazu wurde der Alte Mann durch ein mit einem Gaschromatographen ausgerüstetes Brandgaslabor unter Tage überwacht, das die Gase Methan, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff und Ethylen analysierte.

Nennenswerte Ethylen-Konzentrationen lassen Rückschlüsse auf einen beginnenden Selbstentzündungsbrand zu, da dieses Gas sich in der Regel erst bei Temperaturen von 150 °C bildet. Gleichzeitig wurden anhand der Gaskonzentrationen die Brand- und die Explosionskennziffern errechnet. An das Brandgaslabor können bis zu sieben Messstellen angeschlossen werden, die abwechselnd geschaltet, die angesaugten Gasproben im Brandgaslabor analysieren.

Um im Bedarfsfall eine zügige Inertisierung durchführen zu können, wurde vom Frischweterschacht aus zusätzlich eine 2,5 km lange unter Druck stehende Rohrleitung DN 150 bis in die Fördererstrecke eingebaut. Am Ende der Leitung befand sich eine Stickstoffklappe, die im Inertisierungsfall als Austrittsstelle für den Stickstoff dienen sollte. Durch das Schließen der Leitung und die Reduzierung des Drucks öffnet sich die Stickstoffklappe. Es entsteht ein offener Austrag, ohne dass sich Mitarbeiter in den gefährdeten Bereich begeben müssen.

Bei Inertisierungen ist zwischen einer Raum- und einer Objektivinertisierung zu unterscheiden. Liegt noch keine Explosionsgefahr durch den verdeckten Brand vor, reicht es aus, den Alten Mann mit Stickstoff zu beaufschlagen. Im Fall einer Explosionsgefahr muss eine Rauminertisierung durchgeführt werden. Dabei müssen die

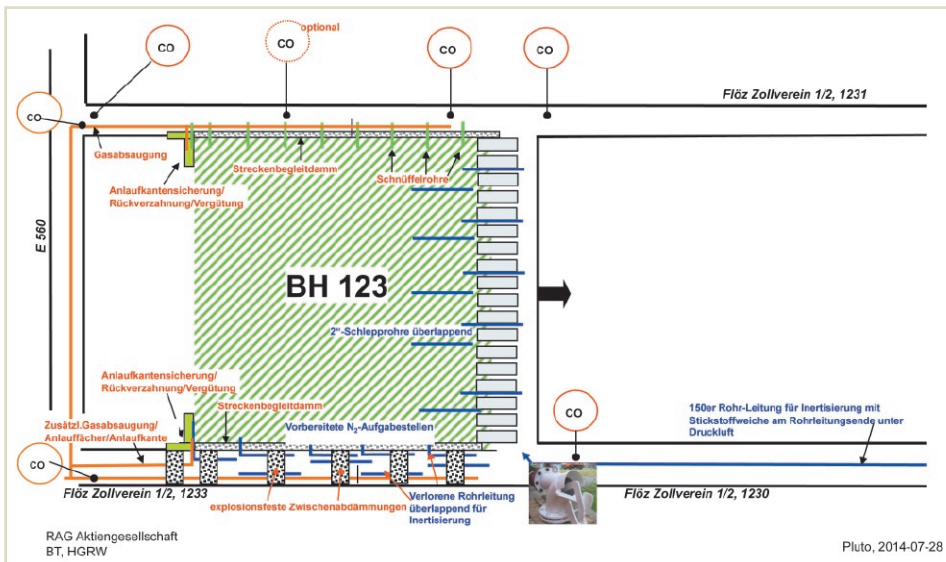


Fig. 5. Overview of the fire protection and prevention measures.  
 Bild 5. Übersicht über alle brandschutz-technischen Präventionsmaßnahmen.  
 Source/Quelle: ZPP

distance of 1 km from the source of danger. In addition, an airtight stopping has to be erected so that nitrogen can then also be pumped into the gate roads serving the coal face. By these means the oxygen concentration can be reduced relatively quickly to below 10 %, with the result that there will no longer be any risk of an explosion. When the situation has been restored in this way it is then possible to revert to object inertisation. In this case nitrogen feed points were also prepared in the roadside pack of the abandoned conveyor gate. All these measures are depicted in Figure 5.

Connection points for the supply of fire-fighting water were installed at 15 m intervals along the face as a preventive fire-safety measure. Hose units with spray pipes, hoses and adaptors were suspended at minimum every 50 m, while portable fire extinguishers were set up every 25 m or less. Fire extinguishers were also recommended when dealing with on-face faults or when cutting into surrounding rock. As a preparatory measure every member of the face winning team was also given theoretical and practical training as a fire fighter.

eingesetzten Grubenwehrtrupps einen Sicherheitsabstand von 1 km um die Gefahrenquelle einhalten. Dies bedeutet, dass auch die Abbaubegleitstrecken, nach Erstellen eines wetterdichten Verschlags mit Stickstoff beaufschlagt werden müssen. So kann die Sauerstoffkonzentration relativ schnell auf weniger als 10 % reduziert werden, womit keine Explosionsgefahr mehr gegeben ist. In diesem Fall kann dann auf eine Objektinertisierung zurückgebaut werden. Des Weiteren waren im Streckenbegleitdamm der abgeworfenen Bandstrecke Aufgabestellen für den Stickstoff vorbereitet. Alle Maßnahmen sind in Bild 5 dargestellt.

Zum vorbeugenden Brandschutz befanden sich im Streb Löschwasserversorgungen mit Anschlüssen im Abstand von 15 m. Schlauchtaschen mit Sprühstrahlrohr, Schläuchen und Übergangstücken waren mindestens alle 50 m aufgehängt, tragbare Feuerlöscher mindestens alle 25 m. Für die Störungsbearbeitung oder den Mitschnitt von Nebengestein war die Bereithaltung von Feuerlöschern empfohlen worden. Im Vorfeld wurden alle Belegschaftsmitglieder des Abbaubetriebs theoretisch und praktisch als Löschhelfer geschult.

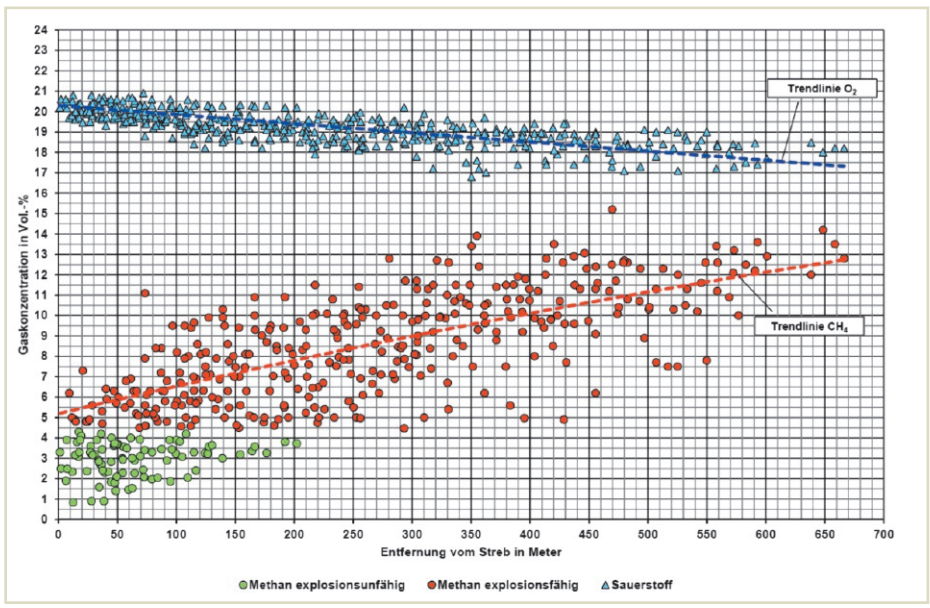


Fig. 6. Distribution of oxygen and methane concentrations in the goaf of panel 123 (6).  
 Bild 6. Verteilung der Sauerstoff- und Methankonzentration im Alten Mann der Bauhöhe 123 (6).

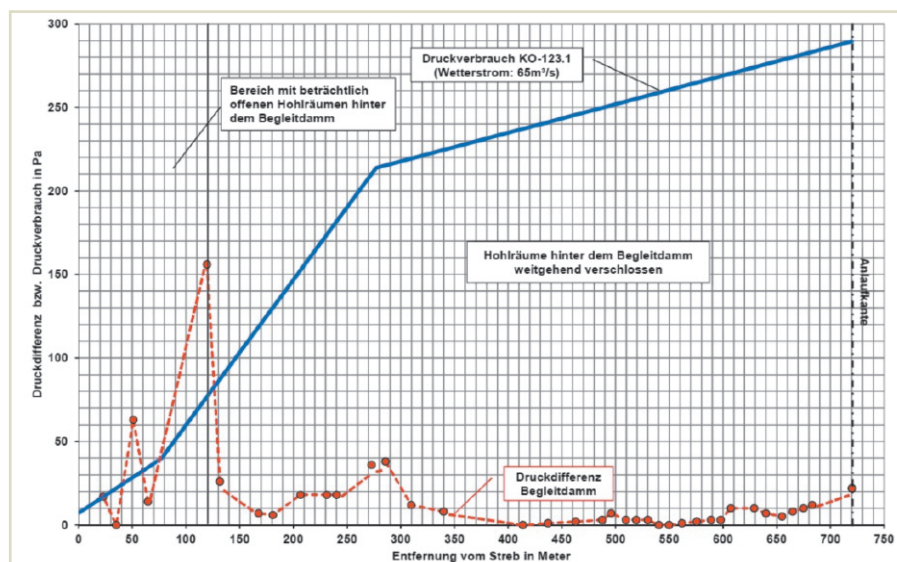


Fig. 7. Pressure difference and pressure usage (6).  
Bild 7. Druckdifferenz bzw. Druckverbrauch (6).

### Measures adopted in accordance with the guideline “Measures to combat the risk of explosion from the goaf area” (Interstice Order) of 20th December 1988

The continuous sampling operation performed by the gas laboratory in order to monitor the goaf zone in panel 123 showed that explosive mixtures were extensively present throughout the goaf area. The manner in which these gas concentrations were distributed is shown in Figure 6.

According to the guideline “Measures to combat the risk of explosion from the goaf area” of 20th December 1988, also known as Interstice Order, any large area of cavitation in the goaf that connects up with a section of open mine workings, such as the coal face, and particularly the interstices between the roadside pack and the goaf zone, is to be filled with material if there is a possibility of combustible gas-air mixtures forming at this point. If, in spite of intensive gas extraction efforts, combustible gas-air mixtures are to be expected, or arise, in the goaf area close to the face, the area in question is to be ventilated by creating adequate porosity in the ribside, or inertised by the admission of nitrogen, in such a way that ignition hazards are effectively averted. Inertisation is especially necessary when there are indications of a spontaneous-ignition fire in the goaf zone.

According to the measurement data there has been no indication of a spontaneous-ignition fire in panel 123. The CO concentration remained below 50 ppm across the board. Based on the differential pressures measured at the sniffer pipes (Figure 7) the Mine Ventilation Testing Laboratory was able to draw the following conclusions (6):

“Even when gas apertures have been created in the roadside pack explosive mixtures can still form temporarily in the zone close to the face. The gas concentration levels behind the roadside pack indicated that the throughflow in the goaf edge zone was moving away from the face. As a result, the collapsing roof beds will close up the flow paths almost completely at a distance of about 100 m from the face towards the start-up edge.” It was therefore possible to rule out the possibility of large cavity areas with gas reservoirs being present, apart from in the area extending up to about 100 m behind the face.

### Getroffene Maßnahmen nach der Richtlinie „Maßnahmen gegen Explosionsgefahren aus dem Alten Mann“ (Zwickelverfügung) vom 20. Dezember 1988

Bei der ständigen Beprobung des Alten Manns der Bauhöhe 123 durch das Brandgaslabor wurde festgestellt, dass im Bruchraum über weite Strecken explosionsfähige Gemische anstanden. Die Verteilung der Gaskonzentrationen zeigt Bild 6.

Gemäß der Richtlinie „Maßnahmen gegen Explosionsgefahren aus dem Alten Mann“ vom 20. Dezember 1988, der sogenannten Zwickelverfügung, sind Hohlräume großer Erstreckung im Alten Mann mit Verbindung zu offenen Grubenbauen – z. B. zum Streb – insbesondere im Zwickel zwischen Streckenbegleitdamm und Bruch zu verfüllen, wenn sich dort zündfähige Gas/Luft-Gemische bilden können. Wenn zündfähige Gas/Luft-Gemische im strebnahen Bruchfeld trotz intensiver Gasabsaugung zu erwarten sind oder auftreten, ist das Bruchfeld durch ausreichend wetterdurchlässige Gestaltung des Streckensaums so zu belüften oder durch Stickstoffaufgabe so zu inertisieren, dass Zündgefahren vermieden werden. Eine Inertisierung ist erst recht notwendig, wenn Anzeichen für einen Selbstentzündungsbrand im Bruchfeld vorliegen.

Anzeichen für einen Selbstentzündungsbrand haben nach den Messergebnissen in der Bauhöhe 123 nicht vorgelegen. Die CO-Konzentration lag flächendeckend unter 50 ppm. Aufgrund der an den Schnüffelrohren gemessenen Differenzdrücke (Bild 7) konnte von Seiten der Prüfstelle für Grubenbewetterung folgende Aussage getroffen werden (6):

„Im strebnahen Bereich konnten sich auch in Verbindung mit Gasfenstern im Streckenbegleitdamm zeitweilig explosionsfähige Gemische bilden. Die Gaskonzentrationen hinter dem Streckenbegleitdamm wiesen auf eine Durchströmung der Bruchfeldrandzone vom Streb weg. Dabei verschließen sich die Strömungswege ab etwa 100 m vom Streb zur Anlaufkante hin durch die hereinbrechenden Hangendschichten praktisch völlig.“ Somit konnte ausgeschlossen werden, dass bis auf einen Bereich ca. 100 m hinter dem Streb größere Hohlräume mit Gasreservoirs anstanden.

### Brandschutzkonzept Endstellung

Endstellungen von Abbaubetrieben weisen aufgrund der stationären Situation ein erhöhtes Risiko für einen Selbstentzündungsbrand



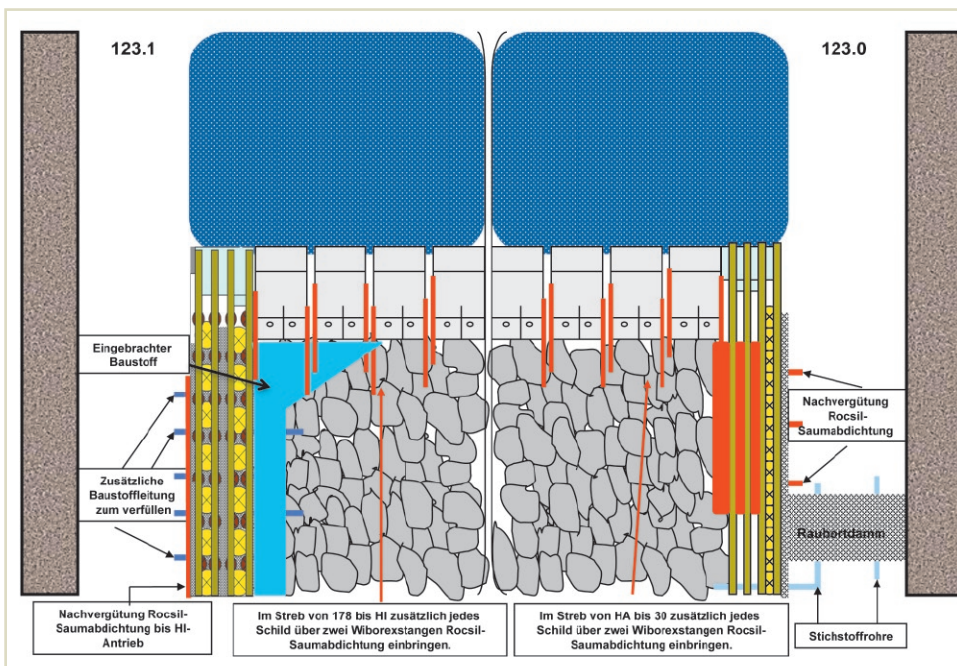


Fig. 8. Overview of fire protection measures for the end position of panel 123. Bild 8. Übersicht über die brandschutztechnischen Maßnahmen für die Endstellung der Bauhöhe 123. Source/Quelle: ZPP

### Fire protection plan for the face end position

Because of the stationary nature of the situation, face end positions present an increased risk of spontaneous-ignition fires breaking out. For this reason extensive fire-protection measures had to be put in place, which included the end position of panel 123 (7). Phenol resin foam was injected as a goaf sealing medium on the fresh-air side between the main drive and the roadside pack and also along the first 50 m of coal face from the main drive. The lost pipes that followed behind the face advance were also kept accessible when the face reached its end position.

The operation to salvage the shield supports commenced at the main drive in the conveyor gate. The substitute supports and the seal for the goaf were constructed from building materials. Lost 100 mm pipes were laid every ten shields as potential N<sub>2</sub> discharge points for inertisation. An explosion-proof stopping with lost and overlapping N<sub>2</sub> pipes was installed in the loader-gate salvage area as near as possible to the main drive.

The structural explosion protection system was converted into concentrated barriers and set up at the entrances to the salvage area as close as possible to the face. A dispersed explosion protection system was also installed in the empty face zone. A special version with movable troughs to permit shield transport operations was provided for the tail gate. This system had also been employed when equipping panel 123.

The monitoring and measurement instruments were retained and used as they had been during the coal winning phase. The various measures taken are shown in Figure 8.

### Conclusions

When preparing to work the coal faces in Zollverein 1/2 seam at Prosper-Haniel colliery the planning team had to find solutions to a number of problems, including the high desorbable gas content, the high risk of spontaneous ignition and the need to protect the start-up edge zones and to construct explosion-proof barriers. The measures and procedures described in the paper posed a real challenge for the mineworkers involved. The

auf. Deshalb mussten umfangreiche Brandschutzmaßnahmen auch für die Endstellung der Bauhöhe 123 getroffen werden (7). Auf der Frischwetterseite wurde zwischen dem Hauptantrieb und dem Streckenbegleitdamm und auf den ersten 50 m vom Hauptantrieb in den Streb Phenolharzhartschaum als Abdichtung zum Alten Mann eingebracht. Die während des Abbaus mitgeführten, verlorenen Leitungen wurden auch in der Endstellung bereit gehalten.

Das Rauben der Schilde begann am Hauptantrieb in der Bandstrecke. Der Ersatzausbau und die Abdichtung zum Alten Mann wurden aus Baustoff erstellt. Alle zehn Schilde wurden verlorene 100er Rohrleitungen als mögliche N<sub>2</sub>-Aufgabestellen zur Inertisierung verlegt. Im Raubort der Bandstrecke war eine explosionsfeste Abdämmung mit verlorenen und überlappenden N<sub>2</sub>-Leitungen möglichst nah am Hauptantrieb erstellt worden.

Der konstruktive Explosionsschutz wurde zu konzentrierten Sperren an den Zugängen des Raubbetriebs möglichst nah am Streb umgebaut. Im ausgeräumten Bereich im Streb wurde aufgeteilter Explosionsschutz eingebaut. Für die Kopfstrecke war eine Sonderbauform mit beweglichen Trögen für den Schildtransport vorgesehen, die auch schon für die Herrichtung der BH 123 verwendet wurde.

Die messtechnische Überwachung wurde analog zum laufenden Abbaubetrieb weiter genutzt. Die einzelnen Maßnahmen zeigt Bild 8.

### Fazit

Bei der Planung der Abbaubetriebe im Flöz Zollverein 1/2 auf dem Bergwerk Prosper-Haniel galt es, Lösungen zur Bewältigung der hohen desorbierbaren Gasinhalte, der hohen Selbstentzündungsgefahr, der Anlaufkantensicherung und im konstruktiven Explosionsschutz zu finden. Die im Artikel beschriebenen Maßnahmen und Vorgehensweisen stellten erhöhte Anforderungen an die Mannschaft. Der sichere Verhieb der Bauhöhe bei Einhaltung der geplanten Fördermenge hat dazu geführt, dass der Abbau der Folgebauhöhen unter Beibehaltung dieses Sicherheitskonzepts erfolgen wird.

success of the operation, which saw the coal panel extracted safely and in line with planned production levels, meant that the same safety concept can now be employed for the follow-up panels in this district.

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Heinz, G.; Fischer, P.; Borkent, F.; Rotert, T.: Planung und Durchführung des ersten Direktumzugs in Flöz Zollverein des Bergwerks Prosper-Haniel. Mining Report Glückauf (152) Heft 4/2016, S. 308 – 319.
- (2) Schmidt, R.; Barth, U.: Planung und Auffahrung einer Strebstartstrecke mit Sonderquerschnitt in großer Teufe auf dem Bergwerk Prosper-Haniel. Mining Report Glückauf (151) Heft 2/2015, S. 120 – 128.
- (3) Hermülheim, W.; Uhlenbrock, R.: Selbstentzündungsbrände im Steinkohlenbergbau. In: Glückauf 131 (1995) Heft 11/1995, S. 565 – 570.
- (4) Heimer, S.; Nilotzki, S.: Anlaufkantensicherung Flöz Zollverein 1/2, statische Auslegung gegen Explosionsdruck. ZPP Ingenieure GmbH, unveröffentlicht.
- (5) Hermülheim, W. et al.: Handbuch für das Grubenrettungswesen im Steinkohlenbergbau. VGE Verlag, Essen, 2007.
- (6) Christensen, J.; Betka, A.: Gutachterliche Stellungnahme zu den Strömungsverhältnissen und explosionsgefährdeten Bereichen der Bruchrandzone der Bauhöhe 123, Flöz Zollverein, des Bergwerks Prosper-Haniel. DMT GmbH & Co. KG, unveröffentlicht.
- (7) Betka, A.: Empfehlung vorbeugender und überwachender Brandschutzmaßnahmen für die im Baufeld Prosper Nord geplante Endstellung 123 in Flöz Zollverein 1/2 auf dem Bergwerk Prosper-Haniel. DMT GmbH & Co. KG, unveröffentlicht.

#### Authors / Autoren

Dipl.-Ing. Jörg Ritter, Hauptstelle Grubenrettungswesen,  
Dipl.-Ing. Thomas Rotert, Wetteringenieur Bergwerk Prosper-Haniel,  
RAG Aktiengesellschaft, Herne