

Explosion-Proof Casing-Pipe Obturator with Flap Valve Mechanism

Optimising the mine de-watering arrangements involves converting the centralised drainage systems to water wells. In order to retain access to the mine water a series of casing pipes has to be cemented section by section into the filling column. These pipes can then be used at some future date to accommodate a number of submersible pumps. In view of the fact that gases can be released both from the abandoned mine workings, which are no longer being ventilated, and from the coal-bearing rock beds, there is a real risk of an explosive gas mixture being developed as the casing pipes are being installed and during the cohesive backfilling operation within the shaft. Because of the potential danger this poses, and in order to maintain a safe working environment inside the shaft during the construction phase, each column of casing pipe has to be provided with an explosion-proof

seal at its lower end. This pipe obturator also has to be designed in such a way as to allow future water drainage operations to be carried out, which means that it must be possible to open it from a surface position. All casing-pipe obturators employed hitherto have had their disadvantages and these issues have now been resolved thanks to the development of a special sealing valve mechanism.

In order to determine the usability and practicality of the opening mechanism two DN1,400 prototype casing-pipe obturators were manufactured and tested in the presence of a technical expert. Following the successful conclusion of these trials it has now been decided that the new explosion-proof devices will henceforth be fitted to all casing pipes being installed in every part-filled mine shaft in the Ruhr coalfield.

Der explosionsfeste Hüllrohrverschluss mit Klappenmechanismus

Die Optimierung der Wasserhaltungen erfolgt durch den Umbau der zentralen Wasserhaltungen zu Brunnen. Um den Zugriff auf die Grubenwässer sicherzustellen, werden sogenannte Hüllrohre abschnittsweise in die Verfüllsäule einbetoniert. In diese Hüllrohre können dann zu einem späteren Zeitpunkt Tauchmotorpumpen eingehängt werden. Während des Einbaus der Hüllrohre und somit auch während der kohäsiven Verfüllung im Schacht besteht die Gefahr der Entwicklung eines explosiven Gasgemisches, da Gase sowohl aus alten, nicht mehr bewetterten Grubenbauen als auch aus steinkohleführenden Gesteinsschichten austreten können. Aufgrund dieser potentiellen Gefährdung müssen zur Einhaltung der Arbeitssicherheit im Schacht während der Bau-phase die Hüllrohrleitungen am unteren Ende explosions-sicher

verschlossen ausgeführt werden. Gleichzeitig darf dieser Hüllrohrverschluss die spätere Wasserhaltung nicht behindern und muss deshalb von der Tagesoberfläche aus zu öffnen sein. Alle bisher eingesetzten Hüllrohrverschlüsse wiesen Nachteile auf, die durch die Entwicklung des Klappenmechanismus als Verschluss-system beseitigt wurden.

Zur Prüfung der Gebrauchs- bzw. Praxistauglichkeit des Öffnungsmechanismus wurden zwei Hüllrohrverschlussprototypen DN1.400 hergestellt und unter Einbeziehung eines Sachverständigen getestet. Nach der erfolgreichen Durchführung der Versuche, werden die neu entwickelten, explosions-sicheren Verschlüsse zukünftig bei allen Teilverfüllungen von Schächten mit Hüllrohren im Ruhrgebiet vorgesehen.

1 Introduction

As part of the conversion operation the underground pumping systems installed at each of the region's water pumping sites were dismantled and casing pipes, or in some cases well casings, were concreted into the shaft section by section by a team working from a formwork stage. In the course of this conversion work, and therefore during the shaft backfilling operation too, there was a danger of an explosive gas mix developing due to the fact that gases could be released both from the abandoned mine workings, which are no longer being ventilated, and from the coal-bearing rock beds.

1 Einleitung

Im Rahmen des Umbaus werden an allen Wasserhaltungsstand-orten die untertägig installierten Pumpenanlagen demontiert und die Schächte ausgehend von einer Schalungsbühne abschnitts-weise mit Hüllrohren oder einer Brunnenröhre in Betonbauweise ausgestattet. Während dieser Umbauarbeiten und somit auch während der Teilverfüllung der Schächte besteht die Gefahr der Entwicklung eines explosiven Gasgemisches, da Gase sowohl aus alten, nicht mehr bewetterten Grubenbauen als auch aus stein-kohleführenden Gesteinsschichten austreten können.

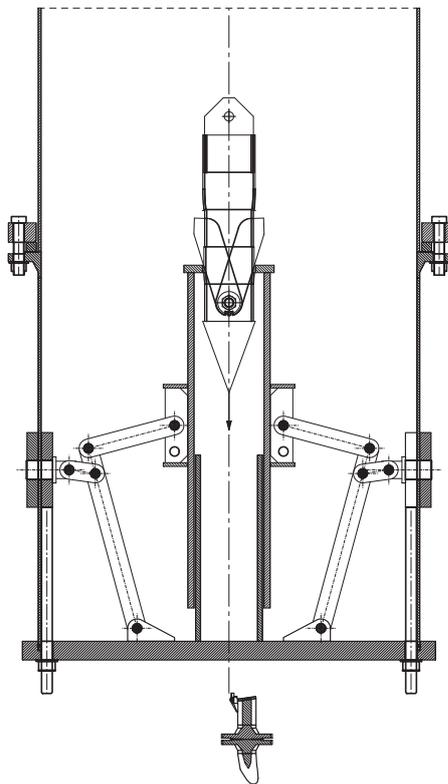


Fig. 1. Casing-pipe obturator with scissors mechanism in closed position.
Bild 1. Hüllrohrverschluss mit Scherenmechanik geschlossen.
Source/Quelle: RAG

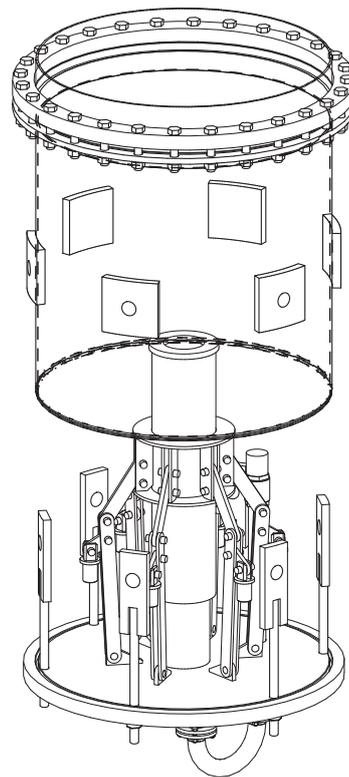


Fig. 2. Casing-pipe obturator with scissors mechanism after opening.
Bild 2. Hüllrohrverschluss mit Scherenmechanik nach der Öffnung.
Source/Quelle: RAG

Because of the potential danger this poses, and in order to maintain a safe working environment inside the shaft during the construction phase, each column of casing pipe has to be provided with an explosion-proof seal at its lower end. This pipe obturator also has to be designed in such a way as to allow future water drainage operations to be carried out, which means that it must be possible to open it from a surface position.

2 Development of the casing-pipe obturators

Three different arrangements have been tried out as part of the development of a casing-pipe sealing system, namely the pipe obturator with a scissors mechanism, the obturator with a spring mechanism and/or concrete plug and the current development status, which is a “casing-pipe obturator with a flap valve mechanism”.

2.1 Casing-pipe obturator with scissors mechanism

For the first attempt the bottom of the casing pipe was sealed off by a steel plate that was retained in the pipe wall by means of a scissors mechanism (Figure 1). Gas tightness was provided by an O-ring incorporated into the plate. With this particular obturator design any ingress of water would be removed via a siphon with a swing check valve. The obturator release system uses a resetting pin and a centring mechanism that are operated by a winch cable. During the opening process a sluice system provides for explosion protection at the upper mouth of the casing pipe (Figure 2).

The greatest drawback with this particular obturator system is its vulnerability to invasive foreign matter (objects falling down the shaft, concrete intrusion). Furthermore, the release

Aufgrund dieser potentiellen Gefährdung müssen zur Einhaltung der Arbeitssicherheit im Schacht während der Bauphase die Hüllrohrleitungen am unteren Ende explosionsicher verschlossen ausgeführt werden. Gleichzeitig darf dieser Hüllrohrverschluss die spätere Wasserhaltung nicht behindern und muss deshalb von der Tagesoberfläche aus zu öffnen sein.

2 Entwicklung der Hüllrohrverschlüsse

Bisher kam es im Rahmen der Entwicklung von Hüllrohrverschlüssen zu drei unterschiedlichen Mechanismen. Der Hüllrohrverschluss mit Scherenmechanik, der Hüllrohrverschluss mit Federmechanik bzw. mit Betonpfropfen und der aktuelle Entwicklungsstand „Hüllrohrverschluss mit Klappenmechanismus“.

2.1 Hüllrohrverschluss mit Scherenmechanik

Im ersten Ansatz wurde das Hüllrohr am unteren Ende mit einer Stahlplatte verschlossen, die über eine Scherenmechanik in der Hüllrohrwandung arretiert war (Bild 1). Die Gasdichtigkeit wurde durch einen in die Stahlplatte eingearbeiteten O-Ring gewährleistet. Eventuell eingedrungenes Wasser sollte bei diesem Verschluss durch einen Siphon mit Froschklappe abgeleitet werden. Die Entriegelung dieses Verschlusses erfolgte über einen Entriegelungsdorn und eine Zentriervorrichtung, die mit einem Windenseil abgelassen wurden. Die Explosionsicherheit an der tagesseitigen Hüllrohröffnung erfolgte während des Öffnungsvorgangs über ein Schleusensystem (Bild 2).

Nachteil dieses Verschlusses ist vor allem seine Anfälligkeit gegen eindringende Fremdkörper (herabfallende Gegenstände, eindringender Beton). Weiterhin ist der Entriegelungsvorgang

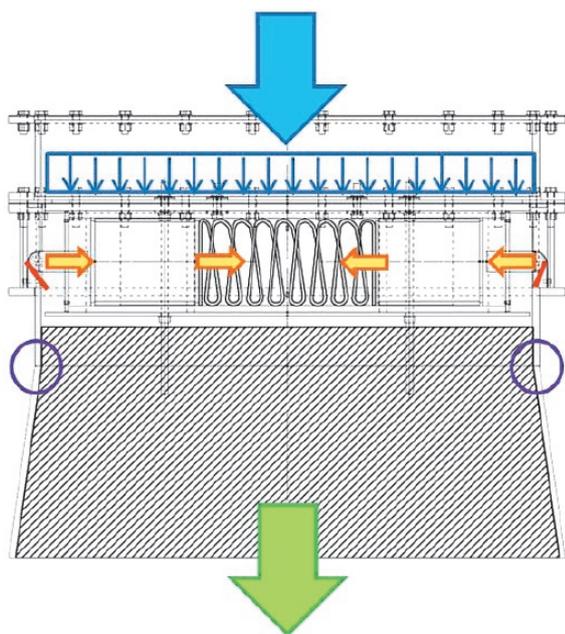


Fig. 3. Operating principle of the casing-pipe obturator with concrete plug. // Bild 3. Funktionsprinzip des Hüllrohrverschlusses mit Betonpfropfen. Source/Quelle: RAG

procedure can only be observed if a camera is also lowered down the shaft at the same time. This type of obturator, which was designed for 1,000 mm diameter systems, was employed for the first time in Rossenray No. 2 shaft at the former West colliery.

2.2 Casing-pipe obturator with concrete plug type DN 1,000/DN 1,400

This type of obturator is composed of two individual components. The conical sealing body, which is manufactured from mining-industry approved HT33 material, can absorb an explosion impact of up to 8 bar and transmit this into the casing column by way of positive form locking. The obturator's opening mechanism essentially consists of a compression spring that bears against a sloping contact surface on two brass bolts. This makes for positional stability when the system is in operation and also ensures that the opening is maintained by way of a vertically applied load in the form of water pressure. The two components are connected together by four brass threaded rods.

This type of obturator was used for the first time on DN 1,000 type casing pipes at the Hansa shaft in Dortmund. The pipe sealing system was then modified to a diameter of 1,400 mm for the planned operation to convert to well-type dewatering at the former Auguste Victoria colliery in Marl. No changes were made in this regard to the structural design and operating principle. The associated tests have now concluded and the obturator has been approved for use.

Figure 3 shows the operating principle of the casing obturator with concrete plug. When there is a build-up of water pressure an internal sealing gasket ensures that this pressure is able to develop. The water pressure produces a vertically acting surface load (blue). Inclined bearing points ensure that the vertical load is transferred sideways (red). This also creates a horizontal component (orange) that in turn compresses the springs and results in a continuous vertical movement of the obturator (green).

nur durch eine parallel abgelassene Kamera zu beobachten. Erstmals ist der Verschluss für Hüllrohre mit einem Durchmesser von 1.000 mm auf der Schachanlage Rossenray 2 des ehemaligen Bergwerks West zum Einsatz gekommen.

2.2 Hüllrohrverschluss mit Betonpfropfen DN 1.000/DN 1.400

Dieser Verschluss setzt sich aus zwei Teilkonstruktionen zusammen. Der konische Verschlusskörper aus dem bergbaulich zugelassenen Baustoff HT33 nimmt die auftretende Explosionsbelastung von bis zu 8 bar auf und leitet sie in die Hüllrohrleitung über Formschluss weiter. Der Öffnungsmechanismus des Verschlusses besteht hauptsächlich aus einer Druckfeder, die über zwei Messingbolzen auf schrägen Auflagerflächen lagert. Dadurch wird zum einen die Lagestabilität im Gebrauchszustand und zum anderen die Öffnung über eine vertikal aufgebrachte Auflast in Form eines Wasserdrucks gewährleistet. Die Verbindung der beiden Teilkonstruktionen erfolgt über vier Messinggewindestangen.

Dieser Verschluss ist erstmalig bei DN 1.000 Hüllrohren am Standort Hansa in Dortmund zum Einsatz gekommen. Für die geplante Umrüstung der Schachanlage Auguste Victoria in Marl auf Brunnenwasserhaltung wurde der Hüllrohrverschluss für einen Durchmesser von 1.400 mm überarbeitet. Aufbau und Funktionsprinzip wurden in diesem Zusammenhang nicht geändert. Die Versuchsdurchführungen sind abgeschlossen und der Verschluss ist zugelassen worden.

Das Funktionsprinzip zur Öffnung des Hüllrohrverschlusses mit Betonpfropfen verdeutlicht Bild 3. Beim Wasserdruckaufbau stellt eine Dichtung den Druckaufbau sicher. Der Wasserdruck bewirkt eine vertikal wirkende Flächenlast (blau). Schräge Auflager sorgen für eine Ableitung der vertikalen Last (rot). Dadurch entsteht auch eine horizontale Komponente (orange), die zur Stauchung der Druckfeder und einer kontinuierlichen Vertikalbewegung des Verschlusses (grün) führt. Beim Überschreiten der Stempel des konischen Hüllrohrbereichs (violett) gibt es dann keine haltenden Kräfte mehr und die Hüllrohrleitung wird geöffnet.

2.3 Entwicklungsstand „Hüllrohrverschluss mit Klappenmechanismus“

Die Entwicklungsansätze bzw. die Zielsetzung der Weiterentwicklung resultieren aus den Vor- und Nachteilen der vorhergegangenen Modelle.

Vorteile:

- Der Druckfedermechanik hat sich bewährt.
- Es handelt sich um ein robustes und einfaches System.
- Die Öffnungskraft ist klar definiert.

Nachteile:

- Die Herstellung des Verschlusskörpers ist aufwändig.
- Die Eigenmasse des Verschlusskörpers (DN 1.400) ist mit 1.900 kg hoch.
- Die Gesamtmasse des Verschlusses (DN 1.400) beträgt rd. 3.600 kg.
- Für den Transport nach unter Tage ist eine Winde erforderlich.

Ziel ist in erster Linie der Entfall des explosionsfesten Verschlusskörpers aus dem hydraulisch abbindenden Baustoff HT33. Er macht mit einer Masse von rd. 1.900 kg bei einem Hüllrohrdurchmesser

When events move beyond the plunger point of the conical casing zone (purple) there are no longer any holding forces and the casing column is opened.

2.3 Development status of the “casing-pipe obturator with flap valve mechanism”

The development efforts and aims associated with the latest embodiment reflect the advantages and drawbacks of the preceding models.

Advantages:

- The pressure spring mechanics operate effectively.
- The system is simple and robust.
- The opening force is clearly defined.

Drawbacks:

- The obturator body is expensive to manufacture.
- The obturator body (DN 1,400) has a high net weight of 1,900 kg.
- The obturator system (DN 1,400) weighs some 3,600 kg in all.
- A winch is required to transport the system below ground.

The main objective is to omit the explosion-proof obturator body from the HT33 hydraulic-setting material. Weighing-in at around 1,900 kg for a casing diameter of 1,400 mm this component makes up practically half of the total mass of the entire system. The explosive impact of up to 8 bar is now to be absorbed by fitting a suitably designed metal plate to the underside. It is then transferred into the casing column, thereby significantly reducing the net weight of the entire assembly. The steel plate has to be attached and rendered positionally stable by means of a bolted connection. This requires the fitting of a flange on the underside of the casing pipe. The obturator opening process is based on the planned failure of the bolt connections when they reach their limit tension load. The use of a bolt joint to ensure the positional stability of the explosion-proof metal plate means that the system can dispense with the previously employed compression-spring opening mechanism. The water load that is applied to open the casing-pipe column must be spread almost uniformly over all the bolts in order to ensure that the latter fail in a targeted manner and practically simultaneously. This requires the use of a load distribution cylinder. The minimal spacing between the load distribution cylinder and the casing pipe counteracts any tendency to tilt. For this reason the casing pipe and the load distribution cylinder are manufactured to the kind of tolerances found in the machine engineering industry.

Using water to apply the opening load calls for a gasket sealing system that will not only ensure the required level of tightness until the bolts fail but will also itself fail, according to plan, when the bolts have exceeded their limit tension load. The latest embodiment also uses a slightly modified sealing system featuring a silicon mat borrowed from the pre-existing casing-pipe obturator. Figure 4 illustrates the operating principle of the pipe obturator with its flap valve mechanism.

Here too a sealing gasket is used to ensure that pressure is generated as the water pressure builds up. The build-up of water pressure (blue) creates a vertically acting surface load on the upper face of the load distribution cylinder. This load is then transferred via the lateral surface of the cylinder (orange). The surface

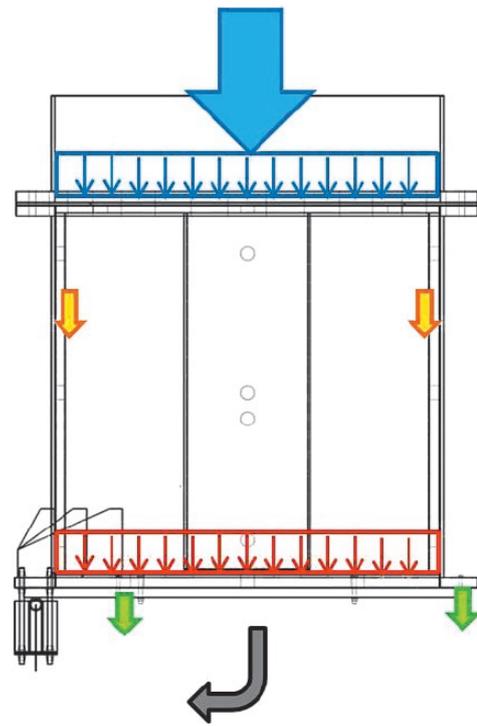


Fig. 4. Operating principle of the casing-pipe obturator with flap valve mechanism. // Bild 4. Funktionsprinzip des Hüllrohrverschlusses mit Klappenmechanismus. Source/Quelle: RAG

von 1.400 mm knapp 50% der Gesamtmasse des Verschlusses aus. Die Explosionsbelastung von bis zu 8 bar soll nun über eine entsprechend ausgelegte Metallplatte auf der Unterseite aufgenommen und in die Hüllrohrleitung weitergeleitet werden, was die Eigenmasse des gesamten Verschlusses deutlich reduziert. Die Befestigung bzw. die Lagestabilität der Stahlplatte müssen über eine Schraubenverbindung erfolgen. Hierzu ist am Hüllrohr des Verschlusses an dessen Unterseite die Installation eines Flansches notwendig. Das Öffnungsprinzip des Verschlusses basiert auf einem planmäßigen Versagen der Schraubenverbindungen bei Erreichen ihrer Grenzzugkraft. Mit der Sicherstellung der Lagestabilität der explosionsfesten Metallplatte über eine Schraubenverbindung entfällt die bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzte Öffnungsmechanik mit einer Druckfederkonstruktion. Die zum Öffnen der Hüllrohrleitung aufgebrauchte Wasserauflast muss annähernd an allen Schrauben gleichmäßig wirken, um ein gezieltes, möglichst gleichzeitiges Versagen aller Schrauben zu gewährleisten. Dazu dient der Einsatz eines sogenannten Lastverteilungskörpers. Geringe Spaltmaße zwischen Lastverteilungskörper und Hüllrohr wirken einem Verkanten entgegen. Daher werden das Hüllrohr und der Lastverteilungskörper mit Fertigungstoleranzen in Anlehnung an den Maschinenbau ausgeführt.

Das Aufbringen der Öffnungsaflast mittels Wasser erfordert eine Abdichtung, die einerseits die erforderliche Dichtigkeit bis zum Versagen der Schrauben sicherstellt und andererseits planmäßig versagt, wenn die Schrauben ihre Grenzzugkraft überschritten haben. Das Dichtungssystem aus einer Silikonmatte aus dem bereits existierenden Hüllrohrverschluss kommt in leicht modifizierter Form auch bei der Neuentwicklung zum Einsatz. Das Bild 4 verdeutlicht das Funktionsprinzip des Hüllrohrverschlusses mit Klappenmechanismus.

Bauteil	Material oder Eigenschaft	Durchmesser [mm]	Länge [mm]	Materialstärke [mm]
Hüllrohr				
Hüllrohr	S355JR	1.425	1.320	12,5
Flansch oben	S355JR	1.675 / 1.400	--	40
Flansch unten	S355JR	1.675x1.860 / 1.400	--	40
explosionsfeste Stahlplatte				
Stahlplatte	S355JR	1.620	--	35
Klappenmechanismus				
Aufnahme Gelenk	S355JR	RO 48,3	820	5
Gelenk	42CrMo4	RD 35	1.080	--
Gewindestangen	12.9	M16	353	--
Lastverteilungszylinder (Konstruktion und Fertigung durch Firma Amiblu)				
Hüllrohr	GFK	1.395	1.400	37
Abschluss oben	GFK	1.395	--	25
Abschluss unten	GFK	1.395	--	50
Stützrohr	GFK	DN 450	ca. 1.325	--
Dichtungssystem				
Dichtungsmatte	Silikon	1.675	--	0,5
Schutzdichtung	Gummi	1.675 / 1.140	--	10
Abschlussplatte	Messing	1.150	--	5
Befestigungsschrauben (Öffnungskonstruktion)				
Schrauben (3 Stück)	Messing CuZn	M12	100	--

Table 1. Technical data relating to the individual components of the casing-pipe obturator with flap valve mechanism.

Tabelle 1. Technische Daten der Einzelkomponenten des Hüllrohrverschlusses mit Klappenmechanismus.

Source/Quelle: RAG

load (red) on the upper face of the explosion-proof cover plate produces tensile loading of the bolts (green). When the limit tension load is exceeded the planned failure of the bolts allows the steel plate to swing open (grey). The opening of the casing-pipe column is therefore achieved, as it were, by “dumping” the load distribution cylinder.

3 The individual components

The individual components that make up the casing-pipe obturator with valve mechanism are described below. The relevant technical data are compiled in Table 1.

3.1 Explosion-proof steel plate

The steel plate serves to absorb and transfer the explosive impact, which may be as much as 8 bar or 0.8 MPa. The explosion-proof steel plate, which is manufactured from S355 material, is structurally designed as an articulated circular cover with a constant loading of $p = 0.8 \text{ MPa ex}$. The plate has a diameter of 1,620 mm and is attached to a flap valve mechanism that acts as a hinge during the opening process. When the three bolts fail, as they are designed to do when the opening load is applied, the steel plate swings down and is then held in place by the hinge. As the explosion-proof plate does not therefore fall down into the shaft it can quite acceptably be constructed from steel. The more favourable mechanical properties of steel, as opposed to brass, permit the use of a slimmer design and this is reflected in a reduction in net weight and also a lower cost. The required thickness is 35 mm and this results in a steel plate with a net weight of around 580 kg.

3.2 Flap valve mechanism

The flap valve mechanism (Figure 5) acts as a hinge. It is installed between the flange and the explosion-proof steel plate and it both allows the latter to swing down during the opening proc-

Auch hier stellt beim Wasserdruckaufbau eine Dichtung den Druckaufbau sicher. Durch den Wasserdruckaufbau (blau) entsteht eine vertikal wirkende Flächenlast auf der Oberseite des Lastverteilungskörpers. Die Weiterleitung der Last erfolgt über die Mantelfläche des Lastverteilungskörpers (orange). Die Flächenlast (rot) auf der Oberseite der explosionsfesten Abschlussplatte führt zu einer Zugbelastung der Schrauben (grün). Das planmäßige Versagen der Schrauben bei Überschreiten der Grenzzugkraft lässt die Stahlplatte aufschwenken (grau). Die Öffnung der Hüllrohrleitung erfolgt also sozusagen durch ein „Verstürzen“ des Lastverteilungskörpers.

3 Die Einzelkomponenten

Die Einzelkomponenten des Hüllrohrverschlusses mit Klappenmechanismus werden nachfolgend beschrieben. Die Tabelle 1 fasst die technischen Daten der Einzelkomponenten zusammen.

3.1 Explosionsfeste Stahlplatte

Die Stahlplatte dient der Aufnahme und Weiterleitung der Explosionsbelastung von bis zu 8 bar beziehungsweise 0,8 MPa. Die statische Auslegung der explosionsfesten Stahlplatte aus S355 erfolgt als gelenkige Kreisplatte mit einer konstanten Auflast von $p = 0,8 \text{ MPa ex}$. Der Durchmesser der Stahlplatte liegt bei 1.620 mm. Die Stahlplatte ist an einem Klappenmechanismus befestigt, der als Scharnier während des Öffnungsprozesses fungiert. Versagen die drei Schrauben planmäßig beim Aufbringen der Öffnungslast, schwingt die Stahlplatte nach unten und wird anschließend durch das Scharnier gehalten. Da die explosionsfeste Platte deshalb nicht in den Schacht verstürzt, ist eine Ausführung aus Stahl zulässig. Die günstigeren mechanischen Eigenschaften des Stahls gegenüber Messing erlauben eine schlankere Ausführung der Platte, was sich in einer geringeren Eigenmasse und auch geringeren Kosten widerspiegelt. Die erforderliche Dicke beträgt 35 mm, was zu einer Eigenmasse der Stahlplatte von rd. 580 kg führt.



Fig. 5. Flap valve mechanism. // Bild 5. Klappenmechanismus.
Photo/Foto: RAG



Fig. 6. Load distribution cylinder. // Bild 6. Lastverteilungskörper.
Photo/Foto: RAG

ess and ensures that the plate remains positionally stable after it has swung open. For this purpose the steel plate is provided with a welded-on circular hollow section measuring 48.3 x 5.0 mm and 740 mm in length. The latter is also fitted with a free-moving circular profile of $d = 35$ mm and overall length 1,000 mm. Two metal sheets (BL 5 x 110 x 110) are also attached at both ends of the construction to act as abutments for the circular profile when the steel plate is in an open position. The abutment point is about 100 mm below the steel plate, which gives the plate sufficient vertical movement during the opening process. This arrangement counteracts the risk of the steel plate jamming against the flange and also prevents the failing bolts from becoming jammed in the flange or in the steel plate. Two flat bars fitted to both abutments provide guidance for the circular profile during the opening process and subsequent vertical movement. The guide elements are braced by stiffening ribs. The two "abutments" are each firmly attached by four M16 threaded rods. These rods are bolted to a 20 mm thick plate at their upper end, whereby each plate bears against the casing-pipe flange and is also attached to it by means of an appropriate welded joint. Ribs are also used to stiffen the structure against the casing pipe. Because of the relatively low net weight of the explosion-proof steel plate of 580 kg (equivalent to 5.8 kN) there is no need to verify the strength of the eight threaded rods that hold the supports for the hinge.

3.3 Load distribution cylinder

The role of the load distribution cylinder (Figure 6) is to ensure that the opening load is uniformly transferred first to the upper side of the explosion-proof steel plate and then on to the bolts until the point where the latter fail completely under tension. This results in the opening of the casing-pipe column and the subsequent collapse of the load distribution cylinder into the shaft.

In order to prevent as far as possible the risk of the load distribution cylinder becoming jammed during the opening process the cylinder itself must have a design length that is at least one times the diameter of the casing pipe of 1,400 mm and must

3.2 Klappenmechanismus

Der Klappenmechanismus (Bild 5) hat die Funktion eines Scharniers. Er ist zwischen Flansch und explosionsfester Stahlplatte installiert und gewährleistet ein Abschwingen der Stahlplatte während des Öffnungsprozesses sowie deren anschließende Lagestabilität im geöffneten Zustand. Hierzu befindet sich an der Stahlplatte ein angeschweißtes, kreisförmiges Hohlprofil 48,3 x 5,0 mm mit einer Länge von 740 mm, in dem wiederum ein Rundprofil $d = 35$ mm mit einer Gesamtlänge von 1.000 mm freibeweglich installiert ist. Als Auflager für das Rundprofil im geöffneten Zustand der Stahlplatte dienen an beiden Enden jeweils zwei Bleche BL 5 x 110 x 110. Dieses Auflager liegt rd. 100 mm unterhalb der Stahlplatte. Hierdurch besteht die Möglichkeit einer ausreichend langen Vertikalbewegung der Stahlplatte während des Öffnungsprozesses. Dadurch wird sowohl der Gefahr des Verkantens der Stahlplatte gegen den Flansch als auch der des Verkantens der versagenden Schrauben im Flansch oder in der Stahlplatte entgegengewirkt. Die Führung des Rundprofils während des Öffnens bzw. während der Vertikalbewegung der Stahlplatte übernehmen an beiden Auflagern zwei Flacheisen. Eine Aussteifung der Führungselemente erfolgt konstruktiv über Rippen. Die beiden „Auflager“ sind an jeweils vier M16 Gewindestangen fest verbunden. Die Gewindestangen werden an ihrem oberen Ende an einem 20 mm starken Blech verschraubt, das wiederum auf dem Hüllrohrflansch auflagert und mit ihm über eine entsprechende Schweißverbindung verbunden ist. Rippen steifen die Konstruktion zum Hüllrohr hin aus. Aufgrund der vergleichsweise geringen Eigenmasse der explosionsfesten Stahlplatte von 580 kg bzw. einem Eigengewicht von 5,8 kN ist ein Nachweis der insgesamt acht Gewindestangen, die das Auflager des Scharniers halten, nicht erforderlich.

3.3 Lastverteilungskörper

Die Aufgabe des Lastverteilungskörpers (Bild 6) besteht in der gleichmäßigen Weiterleitung der Öffnungslast zur Oberseite der explosionsfesten Stahlplatte und weiter in die Schrauben, bis diese vollständig auf Zug versagen, so dass die Hüllrohrleitung sich öffnet und der Lastverteilungskörper in den Schacht stürzt.

also exhibit tight tolerances in respect of the amount of clearance available to the casing pipe. For this reason every effort is made to apply the kind of manufacturing tolerances that are common in the machine engineering sector. The cylinder has an outer diameter of 1,395 mm, which creates a circumferential gap to the casing pipe of 2.5 mm.

The load distribution cylinder is manufactured from glass reinforced polyester (GRP). For all three components the required proof of resistance to loss of stability and to stress failure indicates that the chosen wall thicknesses effectively prevent any risk of dents or bulging occurring and that the permissible loading and stress conditions can be met.

The load distribution cylinder is manufactured from a hollow body with an upper and a lower cover plate. The lower plate does not have any static function and merely serves to lower the centre of gravity of the cylinder so as to ensure that the latter falls in a straight line down the shaft. The connections between the cylinder and the cover plates are made using an inner laminate on the upper side and an outer laminate on the bottom side. An internal cylinder is used to reduce the span width of the upper cover plate, thereby also serving to lower the stresses arising at the circumferentially fixed rim. The connection to the upper cover plate is again ensured by an inner laminate. The load distribution cylinder is manufactured from a mining-industry approved material. Depending on the quality of the original manufacturing process the assembly may have to be re-machined in order to obtain the desired dimensional precision. As the cylinder has to “collapse” into the shaft, as described above, the perimeter of the load distribution body, along with the two cover plates and the inner cylinder, are provided with flooding ports that are designed to prevent the assembly from floating at a later time.

3.4 Brass bolts

The bolt connection between the explosion-proof steel plate and the flange of the casing pipe forms the main element of the opening mechanism. When the system is operational the bolt connection holds the explosion-proof plate and the load distribution cylinder in position. During the opening process water pressure acts on the load cylinder and the latter transfers this load almost uniformly to the explosion-proof steel plate. This in turn produces tensile stress at the bolts. The loading effect is gradually increased to the point where the bolts reach their tension limit and fail, as they are designed to do. The challenge presented by this opening and bolt failure process is how to determine the limit tension load of the bolts so as to enforce a failure. The manufacturer’s specifications always refer to the lower fractile value of the absorbable tensile force. Generally speaking a bolt will fail at a much higher tensile force than that specified.

In order to obtain a good estimation of the anticipated limit tension load the ongoing process of developing a new type of obturator began with a series of tests in which tension loading was applied to the bolts to the point of failure. A sample size of around 20 bolts was deemed adequate to provide a sufficiently high level of confidence in the results, this being demonstrated by applying t-distribution during the statistical analysis process.

The failure load for the relevant brass bolts was significantly lower than originally expected. Based on a 97.5 % probability the

Um die Gefahr eines Verkantens des Lastverteilungskörpers während des Öffnungsprozesses weitgehend zu vermeiden, muss der Körper einerseits eine Länge von mindestens einmal dem Durchmesser des Hüllrohrs von 1.400 mm und zudem geringe Toleranzen hinsichtlich des Spaltmaßes zum Hüllrohr aufweisen. Daher werden Fertigungstoleranzen in Anlehnung an den Maschinenbau angestrebt. Der Außendurchmesser des Zylinders beträgt 1.395 mm, woraus sich umlaufend ein Spalt zum Hüllrohr von 2,5 mm ergibt.

Die Ausführung des Lastverteilungszylinders erfolgt aus glasfaserverstärktem Kunststoff GFK. Die Nachweise sowohl gegen Stabilitätsverlust als auch gegen Spannungsversagen zeigen bei allen drei Bauteilen, dass mit den gewählten Wandstärken kein Beulen auftreten kann und die zulässigen Beanspruchungen eingehalten werden.

Der Lastverteilungskörper wird aus einem Hohlzylinder mit einer oberen und einer unteren Abschlussplatte gefertigt, wobei die untere Abschlussplatte keine statische Funktion aufweist. Sie dient der Absenkung des Schwerpunkts des Lastverteilungskörpers, um einen geraden Fall im Schacht zu gewährleisten. Die Verbindungen zwischen Zylinder und Abschlussplatten untereinander erfolgen an der Oberseite über ein Innenlaminat sowie an der Unterseite über ein Außenlaminat. Ein innenliegender Zylinder reduziert die Spannweite der oberen Abschlussplatte und somit auch die auftretenden Spannungen am umlaufend eingespannten Rand. Die Verbindung zur oberen Abschlussplatte gewährleistet erneut ein Innenlaminat. Die Fertigung des Lastverteilungskörpers erfolgt mit einem bergbaubehördlich zugelassenen Werkstoff. Produktionsbedingt ist die Konstruktion mechanisch nachzubearbeiten, um die gewünschten Maße beziehungsweise Genauigkeiten zu erzielen. Da der Zylinder wie beschrieben in den Schacht „verstürzt“ wird, erhalten der Mantel des Lastverteilungskörpers wie auch die beiden Abschlussplatten und der innenliegende Zylinder sogenannte Flutungsöffnungen, um ein späteres Aufschwimmen zu vermeiden.

3.4 Messingschrauben

Die Schraubverbindung zwischen der explosionsfesten Stahlplatte und dem Flansch des Hüllrohrs bildet das Hauptelement des Öffnungsmechanismus. Im Betriebszustand hält die Schraubverbindung die explosionsfeste Stahlplatte wie auch den Lastverteilungszylinder in Lage. Während des Öffnungsprozesses erfolgt eine Wasserbeaufschlagung auf den Lastverteilungszylinder. Dieser leitet die Auflast nahezu gleichmäßig an die explosionsfeste Stahlplatte weiter. Hieraus resultiert eine Zugbeanspruchung der Schrauben. Die Auflast wird so weit gesteigert, dass die Schrauben ihre Grenzzugkraft erreichen und planmäßig versagen. Herausforderung bei diesem Öffnungs- oder Versagensprozess ist die Bestimmung der Grenzzugkraft der Schrauben, um Versagen zu erzwingen. Herstellerangaben beziehen sich immer auf einen unteren Fraktilenwert der aufnehmbaren Zugkraft. Generell versagt eine Schraube somit bei deutlich höheren Zugkräften als angegeben.

Um eine gute Schätzung der zur erwartenden Grenzzugkraft zu erhalten, sind in einem ersten Schritt der weiteren Entwicklung des neuen Verschlusses die einzusetzenden Schrauben auf Zug bis zum Versagen in einer Testreihe zu belasten. Einen aus-

average limit tension load amounts to just below 37 kN when the entire sample of 20 tensile tests is considered.

It was calculated that the three pipe obturator bolts (M12 x 100) will fail at the very latest at a maximum pressure head of the applied water column of around 7 m, which corresponds to a pressure of 0.7 bar. In this respect the casing-pipe obturator was adequately designed for a water pressure of 3 bar, or more specifically somewhat overdimensioned.

3.5 Casing pipe

In the event of a mine-gas explosion the explosion-proof steel plate will be subjected to a load of as much as 8 bar. The surface load thereby produced is transferred into the casing pipe. The 8 bar of pressure from the explosion will also affect the perimeter of the casing pipe in a radial direction. The wall thickness of 10 mm is demonstrably sufficient for the purpose.

3.6 Casing-pipe flange

The casing-pipe flange acts via the bolt connection as a mounting for the explosion-proof steel plate and also supports the flap valve mechanism.

The supporting construction for the valve mechanism requires a flange with a sufficiently large outer diameter. In order to take account of this requirement the type of flange chosen was as specified in DIN 2632. In this particular specification the weld neck flange as presented is designed for a nominal pressure of 10 bar (PN10) and has an outer diameter of 1,675 mm. This diameter was adopted and the flange thickness b of 42 mm was reduced to 40 mm. It was felt that the flange for the present application was technically overdimensioned and required no further verification. The weld connection between the casing pipe and the flange has been executed as a circumferential fillet weld.

3.7 Sealing system

The sealing system used on the previous design of casing-pipe obturator that is currently in service, which features a concrete plug and a fixed silicon sealing pad, was taken on board, albeit in a slightly modified form. The main component of the sealing system comprises a 0.5 mm thick silicon sealing pad with a diameter of 1,540 mm. This pad rests on the 25 mm thick GRP cover plate of the load distribution cylinder and is fixed in place circumferentially to the flange joint between the casing pipe at obturator level and the casing-pipe column above. A 10 mm thick rubber ring is used to protect the sealing gasket. The silicon seal is clamped in place circumferentially to the flange joint between the obturator and the rest of the pipe column and is attached by three brass bolts to the load distribution cylinder. For this purpose the cylinder is provided with a brass cover plate to create a "sandwich effect".

4 Test phase

The aim of the test phase was to verify the system's suitability for use in a 1:1 trial run. The overall functionality of the refined casing-pipe obturator was assessed as part of a simultaneous trial aimed at testing the sealing system as an elemental component for the application of the water load (Figure 7). In order to perform the trial three brackets were temporarily welded to

reichend hohen Vertrauensgrad der Ergebnisse erhält man bei einem Stichprobenumfang von etwa 20, was sich mit Hilfe einer t -Verteilung bei der statistischen Auswertung nachweisen lässt.

Die Versagenslast der einzusetzenden Messingschrauben fällt deutlich niedriger aus als ursprünglich erwartet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 97,5% liegt die mittlere Grenzzugkraft knapp unterhalb von 37 kN, wenn man die gesamte Stichprobe der durchgeführten 20 Zugversuche betrachtet.

Die Druckhöhe der aufzubringenden Wassersäule, bei der die drei Schrauben (M12 x 100) des Hüllrohrverschlusses spätestens versagen, berechnet sich zu ungefähr 7 m, was einem Druck von 0,7 bar entspricht. Insofern wurde der Hüllrohrverschluss für den Wasserdruck von 3 bar ausreichend bemessen bzw. etwas überdimensioniert.

3.5 Hüllrohr

Bei einer Grubengasexplosion wirkt eine Last von bis zu 8 bar auf die explosionsfeste Stahlplatte. Die auftretende Flächenlast wird in das Hüllrohr weitergeleitet. Weiterhin wirken die 8 bar aus dem Explosionsereignis auch auf den Mantel des Hüllrohrs in radialer Richtung. Die Wandstärke von 10 mm ist nachweislich hinreichend bemessen.

3.6 Hüllrohrflansch

Der Hüllrohrflansch dient der Aufnahme der explosionsfesten Stahlplatte über die Schraubverbindung sowie der Aufnahme des Klappenmechanismus.

Die Befestigungskonstruktion des Klappenmechanismus bedingt einen ausreichend großen Außendurchmesser des Flansches. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, erfolgt die Wahl eines Flansches in Anlehnung an die DIN 2632. Der dort aufgeführte Vorschweißflansch ist für einen Nenndruck von 10 bar (PN10) ausgelegt und weist einen Außendurchmesser von 1.675 mm auf. Der Durchmesser wird übernommen und die Flanschdicke b von 42 auf 40 mm reduziert. Es lässt sich festhalten, dass der Flansch für den vorliegenden Einsatz formal überdimensioniert ist und keiner weiteren Nachweisführung bedarf. Die Schweißverbindung zwischen Hüllrohr und Flansch wird als umlaufende Kehlnaht ausgeführt.

3.7 Dichtungssystem

Das Dichtungssystem aus dem bereits eingesetzten Hüllrohrverschluss mit Betonpfropfen mit einer eingespannten Silikon-dichtungsmatte wird hier übernommen, wenn auch in leicht modifizierter Form. Das Hauptelement des Dichtungssystems bildet eine 0,5 mm starke Silikondichtungsmatte mit einem Durchmesser von 1.540 mm. Sie liegt auf der 25 mm dicken GFK-Abschlussplatte des Lastverteilungszylinders auf und ist an der Flanschverbindung zwischen dem Hüllrohr des Verschlusses und der darüber angeschlossenen Hüllrohrleitung umlaufend eingespannt. Den Schutz der Dichtung gewährleistet ein 10 mm starker Dichtungsring aus Gummi. Die Silikondichtung ist an der Flanschverbindung Verschluss/übrige Hüllrohrleitung umlaufend eingeklemmt und mittels drei Messingschrauben am Lastverteilungszylinder befestigt. Hierzu verfügt der Zylinder über eine Messingabschlussplatte, wodurch eine „Sandwichwirkung“ erreicht wird.

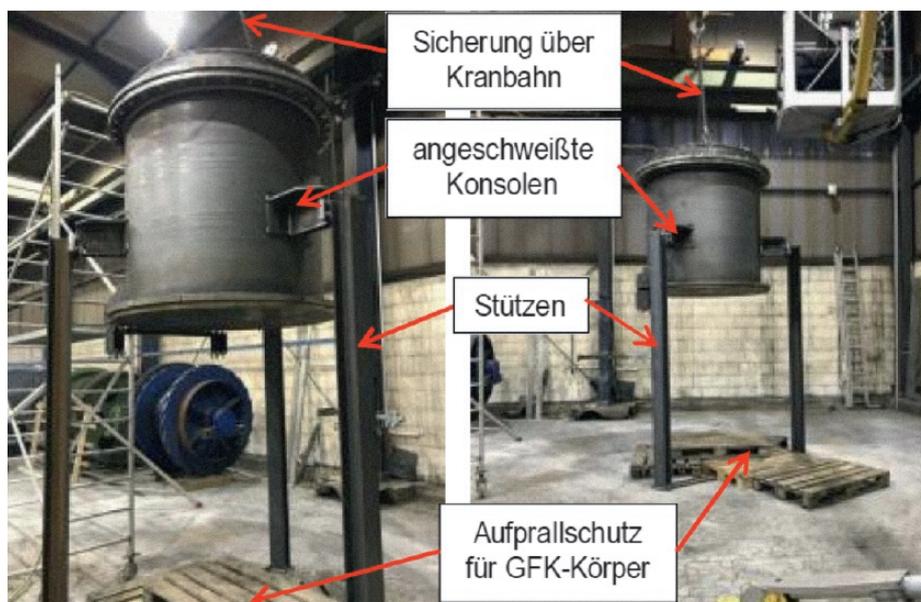


Fig. 7. Test rig for assessing the overall functionality of the refined casing-pipe obturator.
Bild 7. Versuchsaufbau zur Prüfung der Gesamtfunktionalität des weiterentwickelten Hüllrohrverschlusses. Photo/Foto: RAG

the casing pipe at intervals of 120° and these were then fixed to three HEB stanchions. The height of the stanchions was chosen in order to create a free height of 2,000 mm beneath the obturator. This clearance would allow the 1,620 mm diameter steel plate to fully swing open and enable the load distribution body to fall out unimpeded. In order to absorb the fairly considerable forces generated as the steel plate swings open the test rig was also secured to the craneway by a series of chains. A pressure-tight section of pipe was fitted on to the obturator in order to generate the required water pressure. The protective rubber seal also acted as a flange seal. All 36 bolts (M20-10.9) used on the flange joint were tightened to the specified torque. The welded-on cover of the pipe section was provided with a connection point for the in-house water supply together with a vent valve and pressure gauge.

The test was then carried out in the presence of district government monitors and the technical expert who oversaw the entire development process (Figure 8).

5 Summary

The development work achieved its objective of reducing the overall mass of the casing-pipe obturator. By doing away with the obturator body, which was created using hydraulic-setting material, and eliminating the compression-spring mechanism it was possible to reduce the original mass of 3.6 t by about 1 t. One of the benefits of this is the reduction in stress on the transport winch due to the smaller payload. The casing-pipe obturator assembly is effectively now the largest individual load to be transported.

The use of an explosion-proof steel cover plate to absorb the explosive impact of 8 bar also helps to reduce the mass of the system. Fixing the steel plate to the flap valve mechanics successfully prevents any “dumping” of the plate.

The new design also allows the casing-pipe column to be opened from the surface by water load. The sealing system en-

4 Testphase

Die Zielsetzung der Testphase war, die Gebrauchstauglichkeit in einem 1:1-Versuch nachzuweisen. Mit der gleichzeitigen Prüfung des Dichtungssystems als elementare Systemkomponente zum Aufbringen der Wasserlast wurde die Gesamtfunktionalität des weiterentwickelten Hüllrohrverschlusses getestet (Bild 7). Für die Prüfungen wurden am Hüllrohr über einen Abstand von 120° drei Konsolen temporär angeschweißt und diese an HEB-Stützen befestigt. Die Höhe der Stützen wurde so gewählt, dass unterhalb des Hüllrohrverschlusses eine freie Höhe von 2.000 mm zur Verfügung stand, um die Stahlplatte mit ihrem Durchmesser von 1.620 mm vollständig und frei aufschwingen lassen zu können und den Lastverteilungskörper ungehindert herausfallen zu lassen. Um die nicht unerheblichen Kräfte während des Aufschwingens der Stahlplatte abzufangen, wurde der Prüfstand zusätzlich an der vorhandenen Kranbahn über Ketten gesichert. Zum Aufbau des erforderlichen Wasserdrucks wurde auf dem Verschluss ein druckdichtes Rohrstück montiert. Die Schutzdichtung aus Gummi übernahm zusätzlich die Aufgabe der Flanschdichtung. Alle 36 Schrauben M20-10.9 der Flanschverbindung wurden mit dem erforderlichen Drehmoment angezogen. Der angeschweißte Deckel des Rohrstücks verfügte über einen Wasseranschluss für die Hausleitung und ein Entlüftungsventil mit Manometer.

Abschließend wurde der Versuch in Anwesenheit eines Sachverständigen, welcher die gesamte Entwicklung begleitet hat, und der Bezirksregierung durchgeführt (Bild 8).

5 Zusammenfassung

Die Zielsetzung, eine Reduzierung der Gesamtmasse des Hüllrohrverschlusses zu bewirken, wurde erfüllt. Von vorher ca. 3,6 t konnte die Masse um ca. 1 t durch Verzicht auf den Verschlusskörper aus hydraulisch abbindendem Baustoff und den Wegfall der Druckfedermechanik verringert werden. Dies führt zu einer geringeren Anforderung an die Transportwinde in Hinsicht auf



Fig. 8. Photographic record of the opening process. // Bild 8. Fotodokumentation des Öffnungsvorgangs. Photos/Fotos: RAG

sures that the water pressure is able to build up, the latter then being transferred via the load distribution body into the bolted connection at the lower flange. After the bolts have failed according to their design brief the plate swings open and the load distribution cylinder collapses into the shaft.

The tests showed that a water load of about 7 m was needed to cause the bolts to fail.

An application for general approval was submitted so that the new system could be used at all relevant sites in the Ruhr area that are equipped with casing pipes. The relevant approval (reference number 62.15.16.92-2018-1) was subsequently granted on 1st October 2018. The development time to final approval lasted twelve months.

Finally, it should also be noted that the further development of the casing-pipe obturator resulted in a cost saving of around 10,000 € per obturator when compared with the previous embodiment.

Authors / Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Benjamin Röhl, und Dipl.-Ing. Dieter Harges,
RAG Aktiengesellschaft, Essen/Germany

die Nutzlast. Der Hüllrohrverschluss ist in der Regel die größte zu fördernde Einzellast.

Die Aufnahme der Explosionsbelastung von 8 bar über eine explosionsfeste Abschlussplatte aus Stahl trägt zur Massenreduzierung bei. Durch die Befestigung der Stahlplatte an die Klappenmechanik kann ein „Verstürzen“ der Stahlplatte verhindert werden.

Ein Öffnen der Hüllrohrleitung über Wasserauflast von über Tage ist weiterhin gewährleistet. Das Dichtungssystem stellt den Wasserdruckaufbau sicher und leitet diesen über den Lastverteilungskörper in die Schraubenverbindung am unteren Flansch weiter. Nach planmäßigem Versagen der Schrauben schwingt die Platte auf und der Lastverteilungszylinder verstürzt in den Schacht.

Die durchgeführten Versuche ergaben eine Wasserauflast von ca. 7 m bis die Schrauben versagt haben.

Es wurde eine allgemeine Zulassung für alle Standorte an der Ruhr beantragt, die mit Hüllrohren ausgestattet werden. Mit Aktenzeichen 62.15.16.92-2018-1 ist die Zulassung am 01. Oktober 2018 erfolgt. Die Entwicklungsdauer bis zur Zulassung betrug zwölf Monate.

Abschließend soll auch noch erwähnt werden, dass die Weiterentwicklung des Hüllrohrverschlusses eine Kostenersparnis von ca. 10.000 € je Hüllrohrverschluss gegenüber dem vorherigen Entwicklungsstand bewirkt hat.