

One Seven® MINING – an Innovative System for Firefighting and Prevention in Mining

By adding a special foam concentrate and compressed air to water the One Seven MINING system produces compressed air foam (CAF). The foaming agent is a surfactant and a non-flammable substance unlike phenol or polyurethane. By inundating a mine space with foam it displaces any explosive gases and prevents oxygen contact with the fuel. The foam has strong penetrating and lasting inhibitory properties. In spite of many efforts being made to improve occupational safety, the risk of fire and explosions in mines remains due to a risk of spontaneous combustion of the

materials, e.g. coal or waste, and because of the presence of explosive gases and dusts, e.g. methane gas and coal dust. The CAF system can be used preventively to cover dangerous areas in the goaf, preventing fire damps and dust explosions. It can also be used for actual fire suppression both on machinery and on the coal itself. Examples for both preventive and active firefighting will be given in this article. One Seven MINING has references from applications in the Czech Republic, in Germany, China and Turkey.

One Seven® MINING – ein innovatives System zur Brandbekämpfung und Prävention im Bergbau

Durch Hinzufügen eines speziellen Schaummittels und von Druckluft zu Wasser produziert das One Seven MINING-System Druckgasschaum, im Englischen „Compressed Air Foam“ (CAF). Das Schaummittel ist ein Tensid und keine brennbare Substanz wie Phenol oder Polyurethan. Das Verfüllen eines Grubenraums mit Schaum verdrängt sämtliche explosiven Gase und unterbindet den Sauerstoffkontakt mit Brandgut. Der Schaum dringt in ein Brandgut ein und hat nachhaltige inhibierende Eigenschaften.

Trotz vielfacher Bemühungen zur Verbesserung der Sicherheit im Bergbau verbleiben Brand- und Explosionsrisiken durch Selbstent-

zündung von Kohle oder Reststoffen und durch explosive Gase und Stäube wie Methangas und Kohlenstaub. Das Druckgasschaumsystem kann präventiv genutzt werden, um gefährdete Bereiche im Alten Mann mit Schaum zu bedecken sowie zur Vorbeugung von Schlagwetter- und Staubexplosionen. Es kann ebenso zur aktiven Brandbekämpfung an Maschinen wie an der Kohle angewendet werden. Im vorliegenden Beitrag werden Beispiele sowohl für die präventive als auch die aktive Brandbekämpfung aufgezeigt. One Seven MINING verfügt über Referenzen in der Tschechischen Republik, in Deutschland, China und der Türkei.

1 The CAF system

Figure 1 demonstrates where the name comes from: By adding a special foam concentrate and compressed gas to water, the volume of one drop of water expands into seven foam bubbles. The result is a compressed air foam (CAF).

The AM foam of One Seven of Germany GmbH, Luckenwalde/Germany, is a surfactant (tenside) and non-flammable substance unlike phenol or polyurethane foams. The foam does not solidify making it unsuitable for strata consolidation or permanent backfill. The foam concentrate is a Class A fire extinguishing agent for solid fuels and was developed for application in underground coal mines (A for Class A, M for Mining). The foaming agent is biodegradable and has all the required European approvals and authorizations.

A frost resistant foam concentrate AMF is also available. It can be stored at temperatures down to -15°C . The storage life for both mining foam concentrates is 20 years.

1 Das Druckgasschaum-System

Bild 1 zeigt, woher der Name kommt: Durch Hinzufügen eines speziellen Schaummittels und von Druckluft zu Wasser werden aus einem Wassertropfen sieben Schaumblasen erzeugt. Man erhält einen Druckgasschaum (Compressed Air Foam = CAF).

Der AM-Schaum der One Seven of Germany GmbH, Luckenwalde, ist ein Tensid und nicht brennbar wie Phenol oder Polyurethan. Weil sich dieser Schaum nicht verfestigt, kann er nicht für Gebirgsverfestigungen oder die dauerhafte Verfüllung von Hohlräumen verwendet werden. Das Schaumkonzentrat gehört zu den Klasse A-Feuerlöschmitteln für festes Brandgut und wurde für die Anwendung im untertägigen Kohlebergbau entwickelt (A für Klasse A, M für Mining). Das Schaummittel ist biologisch abbaubar und hat alle erforderlichen europäischen Zulassungen.

Ein frostgeschütztes Schaumkonzentrat AMF ist ebenfalls lieferbar. Dieses kann bei Temperaturen bis -15°C gelagert werden. Die Haltbarkeitsdauer beider Schaumkonzentrate beträgt 20 Jahre.

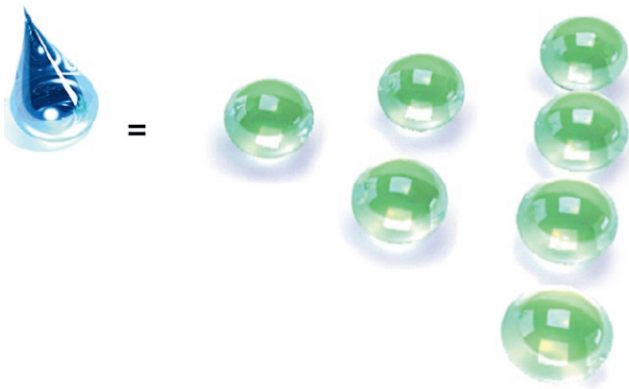


Fig. 1. The One Seven working principle.
Bild 1. Das Funktionsprinzip von One Seven.

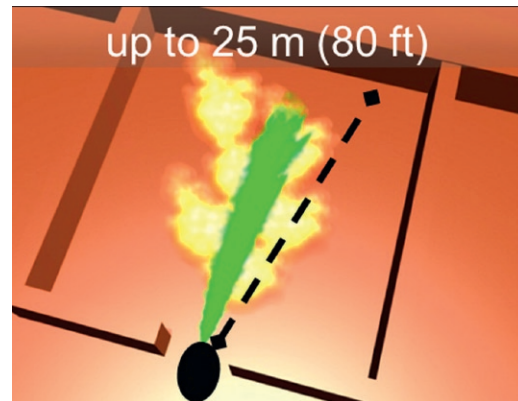


Fig. 2. Typical throwing distance with a handline.
Bild 2. Übliche Wurfweite mit einem Strahlrohr.

The result of the described mixing process is a micro-cellular, homogeneous foam structure with reproducible properties. The One Seven AM foam has a stable structure with large bubble surface areas giving it a strong cooling capability (20 °C/s). Good adhesive properties improve this cooling effect. Energy from compressed gas and pressurized water remains in the discharged foam and gives it high energy content for throwing velocity and penetration property. Strong and lasting wetting power is a property important for preventive application in coal mines.

Due to its long throwing distance and high discharge velocity (Figure 2) the foam penetrates deeply into the burning space to reach the source of the fire and surrounding structures like walls and ceilings.

The foam bubbles stick to vertical and horizontal surfaces (Figure 3) and cool these items within seconds from e.g. 500 °C down to about 100 °C.

As it clings to the surfaces, the increased surface area of the foam is exposed to the heat of the fire and the adjacent structures. Vaporization occurs over a period of over 30 s. Figure 4 shows the penetrating of the water-foam solution, which is released when the bubbles burst, into the Class A fuel due to its high wetting effectiveness. Soaked fuel, e.g. coal, has rapidly diminished oxygen reactivity for an extended period of time.

Das Ergebnis des beschriebenen Mischprozesses ist eine mikrozellulare, gleichförmige Schaumstruktur mit reproduzierbaren Eigenschaften. One Seven AM-Schaum hat eine stabile Struktur und große Schaumblasen, die ihm ein starkes Abkühlungsvermögen verleihen (20 °C/s). Gute Anhaftung verbessert diesen Abkühlereffekt. Verbleibende Energie aus der Druckluft und dem Wasserdruck im ausgebrachten Schaum verleihen ihm einen hohen Energiegehalt bezüglich Wurfgeschwindigkeit und Eindringvermögen. Für die präventive Anwendung in Kohlebergwerken ist die gute und nachhaltige Benetzungs- und Durchnässungsfähigkeit ein wichtiges Merkmal des Schaums. Durch die großen Wurfweiten und Austrittsgeschwindigkeiten (Bild 2) dringt der Schaum tief in den Brandraum ein und erreicht das Brandgut und die umliegenden Strukturen wie Wände und Decken.

Die Schaumblasen haften an vertikalen und horizontalen Flächen (Bild 3) und kühlen diese innerhalb von Sekunden z.B. von 500 °C auf 100 °C herunter.

Aufgrund der Anhaftung an den Oberflächen ist die große Oberfläche des Schaums der Hitze des Feuers und der Flächen ausgesetzt. Die Wasserverdunstung benötigt dabei über 30 s.

Bild 4 zeigt das Eindringen der Wasser-/Schaumlösung, welche bei der Auflösung der Schaumblasen freigesetzt wird, in das Klasse A-Brandgut. Ein so benetztes Brandgut, z. B. die Kohle, hat für längere Zeit eine erheblich verminderte Sauerstoffreaktivität.



Fig. 3. Result of the foam's adhesive properties in a practical demonstration.
Bild 3. Ergebnis eines Adhäsionsversuchs.

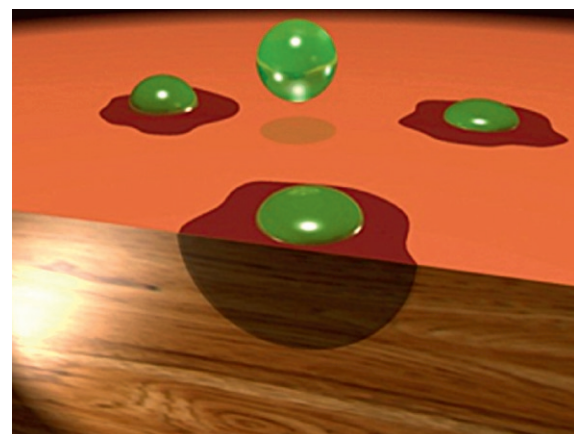


Fig. 4. Water-foam solution penetrates into the solid fuel.
Bild 4. Eindringen der Wasser-/Schaumlösung in ein festes Brandgut.

2 The One Seven MINING System

2.1 Description of the One Seven MINING system

The One Seven MINING System includes two machine types, the MINING 6000 (Figure 5) and the MINING 12000. The MINING 6000 discharges up to 6,000 l (1,585 gal US) of foam per minute, the MINING 12000 is capable of producing 12,000 l (3,170 gal US) of foam per minute. Both CAF extinguishing systems were developed specifically for applications in coal mines.

The pressurized water and compressed gas used by the machine must be provided by the mine. The compressed gas can either be air or nitrogen. The required operational pressures for the MINING 6000 range from 2 bar (29 psi) up to 10 bar (145 psi) and for the MINING 12000 from 4 bar (58 psi) up to 10 bar (145 psi). Table 1 concludes the technical data for both machines.

The entire system – machine and foam concentrate – has an ATEX approval. With this One Seven MINING is the only explosion proof CAF system worldwide approved for use in underground coal mines. The Class A foam concentrate developed for the MINING system comprises a mixture of just 0.3% foam concentrate and water, corresponding to a foam concentrate consumption of only 0.9 l/min (MINING 6000) or 1.8 l/min (MINING 12000). All technical components and materials used in the machines' construction are made from stainless steel, brass or gunmetal, none of which are a potential source of ignition. The entire production process for the compressed air foam occurs without the application of electrical energy.

In addition to a 150 l stainless steel tank for the foam concentrate, a base frame contains the foaming module in which the compressed air foam is produced by mixing water with compressed air or nitrogen and the foam concentrate AM or AMF. The stainless steel foam concentrate tank is designed for the continuous production of CAF for at least 160 min (MINING 6000) or 80 min (MINING 12000).

The MINING 12000 machine incorporates an integrated pump which allows it to switch suction from the integrated 150 l



Fig. 5. One Seven MINING 6000 machine.

Bild 5. One Seven MINING 6000 Maschine.

2 Das One Seven MINING-System

2.1 Beschreibung des One Seven MINING-Systems

Zum One Seven MINING-System gehören zwei Maschinentypen, die MINING 6000 (Bild 5) und die MINING 12000. Die MINING 6000 kann bis zu 6.000 l/min., die MINING 12000 bis zu 12.000 l/min. Schaum produzieren. Beide Löschsyste wurden speziell für die Anwendung im Kohlebergbau entwickelt.

Druckwasser und Druckgas zum Betrieb der Maschine müssen vom Bergwerk bereitgestellt werden. Das Druckgas kann sowohl Luft wie auch Stickstoff sein. Die erforderlichen Arbeitsdrücke für die MINING 6000 liegen zwischen 2 und 10 bar und für die MINING 12000 zwischen 4 und 10 bar. Tabelle 1 gibt die technischen Daten für beide Maschinen wieder.

Das Gesamtsystem – Maschine und Schaumkonzentrat – hat eine ATEX-Zulassung. Damit ist One Seven MINING weltweit das einzige zugelassene Druckgasschaumsystem für den Einsatz im explosionsgefährdeten untertägigen Kohlebergbau. Durch das entwickelte Klasse A-Schaummittel müssen nur 0,3% Schaummittel dem Wasser zugemischt werden, was einem Schaummittelverbrauch von lediglich 0,9 l/min. (MINING 6000) bzw. 1,8 l/min. (MINING 12000) entspricht. Alle technischen Bauteile und Materialien, die in den MINING-Maschinen Verwendung finden, bestehen aus Edelstahl, Messing oder Rotguss, welche keinerlei potentiellen Zündquellen besitzen. Der gesamte Herstellungsprozess des Druckgasschaums erfolgt ohne Einsatz elektrischer Energie.

Innerhalb eines Grundgestells befindet sich neben einem 150 l fassenden Edelstahltank für das Schaumkonzentrat das Verschäumungsmodul, in welchem die Herstellung des Druckgasschaums durch Vermischung von Wasser, Druckluft bzw. Stickstoff und One Seven Schaummittel AM oder AMF stattfindet. Der Edelstahlschaummittel-tank ist für eine permanente Druckgasschaumproduktion von mindestens 160 min. (MINING 6000) bzw. 80 min. (MINING 12000) ausgelegt. Durch eine integrierte Pumpe verfügt die MINING 12000 darüber hinaus über die Funktion der Umschaltung von Tanksaugbetrieb auf externen Schaumansaugbetrieb. Somit ist ein unterbrechungsfreier Einsatz der Anlage gewährleistet. Die MINING 12000 wurde für hohe Schaumleistungen und einen unterbrechungsfreien Betrieb ent-

MINING 6000 / MINING 12000	
Dimensions (LxWxH)	2,550 x 990 x 1,420 mm
Weight (dry)	1,550 kg
Weight (operational)	1,750 kg
Foam concentrate	One Seven Foam Class AM or AMF (0.3%)
Foam concentrate tank	150 l (built-in)
Foam expansion ratio	Freely adjustable from 1:5 (wet/firefighting) to 1:26 (dry/preventive application)
Life-time of dry foam	about 5 h
MINING 6000	
Water consumption	max. 300 l/min @ min. 2 bar (29 psi) and max. 10 bar (145 psi)
Gas consumption	max. 6,000 l/min @ min 2 bar (29 psi) (nitrogen or air) and max. 10 bar (145 psi)
MINING 12000	
Water consumption	max. 600 l/min @ min. 4 bar (58 psi) and max. 10 bar (145 psi)
Gas consumption	max. 12,000 l/min @ min 4 bar (58 psi) (nitrogen or air) and max. 10 bar (145 psi)

Table 1. Technical Data. // Tabelle 1. Technische Daten.



Fig. 6. Control panel and inlet connectors for water, nitrogen and air.
Bild 6. Bedienfeld und Maschineneingänge für Wasser, Stickstoff und Druckluft.

stainless steel tank to an external foam concentrate source. This ensures continuous operation. The MINING 12000 is designed for high performance and continuous generation of CAF.

Both machines have their own pressure and volume balancing function. All relevant volume flows and pressures are permanently set when the machine is calibrated during commissioning, and do not require subsequent modification.

The side walls are lined with stainless steel plates. All assemblies and filter equipment that must be accessible for maintenance purposes are to reach via maintenance flaps set into the side panels. There are transport lugs on top of the units at the four corners to facilitate underground transportation. In order to level the machines, the underframes have stainless steel trapezoidal thread spindles at its corners. The system is supplied with gas on the inlet side via two manual ball valves installed in parallel. This design guarantees that if the required inlet volume flow and/or inlet pressure for nitrogen supply is not achieved, it is possible to connect and switch over to the compressed air system manually. Figure 6 shows the three inlets, the red inlet is for water, green is for nitrogen and the blue inlet is for air. Built-in non-return valves inside prevent the undesired inflow of compressed air or nitrogen into the other pipe.

To monitor the inlet pressures of water and gas, a pressure gauge is installed for each before the pressure regulation valve. The gauges are clearly visible and safely integrated into the metal paneling. There is a manual control valve available for regulating the wet/dry characteristics of the CAF. This valve is easily operable and safely integrated into the metal paneling, as shown by the red hand wheel in figure 6.

On the outlet side of the foaming module, where the ready-to-use compressed air foam is delivered, two manual ball valves installed in parallel enable the following applications:

1. Switch-over of the CAF from one pipe network to another.
2. By shutting off the inlet ball valves for gas and water and opening both outlet ball valves for CAF, it is possible to use the system to drain a rising main foam pipe.

The first machine was brought into operation in early 2012. As there are no wear parts in the machines, no parts have needed

wickelt. Beide Maschinen verfügen über eine eingebaute Druck- und Volumenbalancierung. Sämtliche relevanten Volumenströme und Drücke sind nach der Inbetriebnahmekalibrierung fest eingestellt und müssen nicht mehr verändert werden.

Alle Seitenwände sind mit Edelstahlblechen verkleidet. Sämtliche Baugruppen und Filtereinrichtungen, die zu Wartungszwecken zugänglich sein müssen, sind über entsprechende Wartungskappen innerhalb der Seitenwände zu erreichen. Auf der Maschine befinden sich an allen vier Ecken Transportösen für den Transport untertage. Der Grundrahmen verfügt zur Ausnivellierung der Anlage an allen vier Ecken über Edelstahl-Trapezgewindespindeln. Die Druckluft-/Stickstoffversorgung der Maschine erfolgt eingangsseitig über zwei parallel zueinander installierte manuelle Kugelhähne. Durch diese Konstruktion ist gewährleistet, dass bei Unterschreitung der notwendigen Eingangsvolumenströme und/oder des Eingangsdrucks in der Stickstoffversorgung eine Umschaltung oder zusätzliche Aufschaltung auf das Druckluftnetz manuell vorgenommen werden kann (oder umgekehrt). Bild 6 zeigt die drei Eingänge der Maschine, rot der Wasseranschluss, grün der Stickstoffanschluss und blau der Druckluftanschluss. Eingebaute Rückschlagklappen verhindern das unerwünschte Einströmen von Druckluft oder Stickstoff in das jeweils andere Rohrleitungsnetz.

Zur Überwachung der Eingangsdrücke von Wasser und Gas ist vor der Druckregulierung jeweils ein Manometer angeschlossen, welches gut sichtbar und geschützt in das Bedienfeld integriert ist. Zur Regulierung der Nass-/Trockenqualität des Druckgasschaums steht ein manuelles Regelventil zur Verfügung, das gut bedienbar und geschützt in das Bedienfeld integriert ist (rotes Handrad in Bild 6).

Auf der Ausgangsseite der Maschine, an welcher der fertige Druckgasschaum abgegeben wird, bieten zwei parallel zueinander installierte manuelle Kugelhähne die Möglichkeit folgender Anwendungen:

1. Umschaltung des Druckgasschaums von einem Rohrleitungsnetz auf ein anderes.
2. Durch Schließen der Eingangskugelhähne und Öffnen beider Ausgangskugelhähne für Druckgasschaum ist es möglich, eine aufsteigende Schaumhauptleitung über die Maschine zu entwässern und sicher vom Druck zu entlasten.

Die erste Maschine wurde Anfang 2012 ausgeliefert. Da die Maschinen keine Verschleißteile enthalten, war bisher kein Teiletasch erforderlich. Hinter den Eingangskugelhähnen befinden sich zwei Filter zur Reinigung des Versorgungswassers und der Versorgungsdruckluft (oder Stickstoff), um das Verschäumungsmodul vor Verschmutzungen zu schützen. Für einen störungsfreien Betrieb der Maschinen ist lediglich die regelmäßige Kontrolle und Reinigung der Filterkartuschen erforderlich.

Das One Seven MINING-System ist sowohl für die präventive Anwendung wie auch für die aktive Brandbekämpfung geeignet. Mit dem im Bedienfeld integrierten Handrad ist die stufenlose Regulierung der gewünschten Schaumqualität möglich. Die Einstellungen reichen von „Nassschaum“ mit einem Wasser/Luftverhältnis von 1:5 bis zu „Trockenschaum“ mit einem Wasser/Luftverhältnis von 1:26. Beste Fließigenschaften des Schaums und

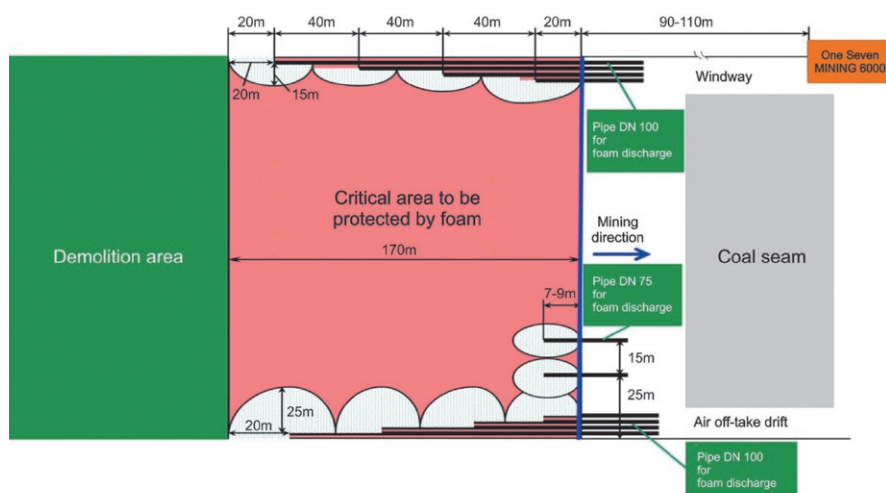


Fig. 7. Schematic applications for a longwall panel with U ventilation circuit.

Bild 7. Anwendungen in einem Streb mit U-Bewetterung.

replacing as of yet. Two filters behind the inlet ball valves clean incoming air/gas and water to ensure clean media supply for the foaming module. Only frequent control and cleaning of the filter cartridges is necessary for trouble-free operation.

The One Seven MINING system is suitable for preventive applications as well as for active firefighting. With the hand wheel integrated in the control panel a stepless adjustment of the required foam quality is possible. Settings can be chosen from “wet” foam with a water/air ratio of 1:5 to “dry” foam with a water/air ratio of 1:26. The best flow characteristics and maximum surface area coverage are achieved by producing wet foam. The best filling characteristics to fill hollow spaces are achieved by choosing dry foam.

The tables 2 and 3 give examples of foam surface coverage using a 250 m DN150 pipe (6 inches) and unhindered discharge over a flat and open area.

2.2 Scope of mining applications

2.2.1 Preventive application

Figure 7 shows a typical longwall design with U ventilation circuit and its most endangered zones. One likely area for hot spot development is along the goaf edges. The second likely hot spot development area is just behind the shield support prior to full roof collapse and consolidation occurring. This area is coloured pink. In the green coloured area, the goaf is fully consolidated and without any air flow.

Wet foam with water/air ratio 1:5					
Foaming time in min.	1	2	3	4	5
Foamed surface in m ²	20	60	120	180	220
Height of foam layer in cm	15	15	15	15	15

Table 2. Foaming with wet foam. // Tabelle 2. Schäumen mit Naßschaum.

Dry foam with water/air ratio 1:26					
Foaming time in min.	1	2	3	4	5
Foamed surface in m ²	15	25	35	45	55
Height of foam layer in cm	70	85	100	100	100

Table 3. Foaming with dry foam. // Tabelle 3. Schäumen mit Trockenschaum.

größtmögliche Flächenbeschäumung werden mit der Verwendung von Nassschaum erreicht, beste Fülleigenschaften zum Verfüllen von Hohlräumen mit der Verwendung von Trockenschaum. Die Tabellen 2 und 3 zeigen beispielhaft die Flächenbeschäumungen unter Verwendung eines 250 m langen Rohrs DN150 bei freiem Schaumaustrag auf ebener und freier Fläche.

2.2 Anwendungsfelder im Bergbau

2.2.1 Prävention

Bild 7 zeigt einen typischen Strebbetrieb mit U-Bewetterung und seinen Gefährdungsbereichen. Ein möglicher Entwicklungsbereich für Brandentstehung sind die Übergänge vom Alten Mann zu den Begleitstrecken. Ein zweiter möglicher Entwicklungsbereich ist der Bereich zwischen dem Schildausbau und dem vollständig abgesenkten und verdichteten Hangenden. Dieser Bereich ist im Bild pink gekennzeichnet. Der grüne Bereich soll den verdichteten Bruchraum darstellen, in dem es keinerlei Bewetterung mehr gibt.

Zur vorbeugenden Behandlung dieser typischen Grubenbrandrisiken zeigt Bild 7 zwei Anwendungsmöglichkeiten:

- Gestaffelte lange Rohre an den Rändern des Alten Manns: Hier wird der Schaum anstelle einer Streckensaumhinterfüllung mit Beton oder aushärtenden Schäumen eingebracht. Der Zweck ist ein hermetischer Abschluss des offen stehenden Alten Manns und abgeworfener Strecken von der Wetterführung.
- Kurze, zwischen den Schildausbaueinheiten durchgeschobene Rohre, um Bereiche zu beschäumen, in denen größere Mengen Kohle im Alten Mann verblieben sind, z.B. in Störungszonen. Das Bedecken der Kohle mit Schaum hat zwei Effekte. Der erste ist eine Isolation von Luft und damit Sauerstoff während der Standzeit des Schaums. Der zweite Effekt ist die inhibierende Wirkung. Die Wasser/Schaumlösung dringt in die Kohle ein und reduziert deren Sauerstoffreaktivität und damit ihre Fähigkeit zur Selbstentzündung. Diese Anwendung kann auch mit Strahlrohren von Hand durchgeführt werden (Bild 8).

Beide Anwendungsmöglichkeiten haben sich im tschechischen untertägigen Kohlebergbau bewährt. Bild 9 zeigt, wie trockener Schaum aus einer abgeworfenen Abbaustrecke und dem mit Schaum gefüllten Alten Mann austritt.



Fig. 8. Treating an area behind the shield support with a handline.
Bild 8. Beschäumung hinter dem Schildausbau mit Strahlrohr.



Fig. 9. In order to reduce the oxygen-reactivity of the coal the goaf is covered with relatively „dry“ foam.
Bild 9. Aus einer abgeworfenen Abbaubegleitstrecke und dem Alten Mann austretender Trockenschaum.

To prevent these typical mine fire dangers two applications are shown in figure 7:

- Long staggered pipes at goaf edges: The foam is injected instead of roadside backfill with solid materials like concrete or solid foams. The purpose is to seal off the open goaf zone and abandoned galleries to avoid undesirable air flow in these zones.
- Short pipes projecting between shield units: To treat certain areas with foam where larger amounts of coal are left behind in the goaf, e.g. in fault zones. Covering this coal with foam has two effects. The first is isolation from air or oxygen exposure during the lifetime of the foam. The second is an inhibitory effect. The water/foam solution penetrates into the coal and reduces the oxygen reactivity of the coal and its capability for spontaneous combustion. This task can also be done with handlines instead of pipes (Figure 8).

Both applications are well established in Czech underground coal mines. Figure 9 gives an impression of an abandoned gallery with dry foam pouring out of the gallery and the inundated goaf area.

The purpose of this preventive application is to improve work safety, avoid run-off times caused by firefighting activities and lastly to avoid total loss of a panel in the case of a hidden fire that is impossible to extinguish, e.g. because of re-ignition.

In the case of coal types that are prone to spontaneous combustion and have short incubation periods, measures are required when the working face is stopped for maintenance, at weekends or for removals. These are periods of heightened risk. The same can be said for slow advance rates due to bad roof conditions. These periods can be secured by discharging foam.

There are three preventive properties of the CAF system which have not been described above. The first is a displacement effect. By inundating the total space of a gate or a goaf with AM foam any explosive gases will be displaced. The second effect is spark suppression. No sparks can occur in cavities or surfaces that have been soaked with foam. This may also be of interest in improving explosion protection at longwall faces. The third and last effect is dust suppression. Coal dust soaked with foam is no longer explosive and too wet to be whirled up.

Ziele der präventiven Anwendung sind die Verbesserung der Arbeitssicherheit, die Vermeidung von Stillstandszeiten infolge Brandbekämpfungsmaßnahmen und der Totalverlust von Gewinnungsbetrieben im Fall von verdeckten und nicht löschbaren Bränden, z.B. wegen Rückzündungen.

Bei selbstentzündungsfähigen Kohlen mit kurzen Inkubationszeiten müssen schon bei kurzen Ruhezeiten der Betriebe, wie z.B. für Wartung, an Wochenenden oder bei Strebumzügen gesonderte Maßnahmen ergriffen werden. All dies sind Zeiten erhöhten Risikos. Das Gleiche gilt in Phasen mit verminderten Verbiegeschwindigkeiten wegen schwieriger Hangendbedingungen. Diese Zeiträume können durch vorheriges Beschäumen abgesichert werden.

Drei präventive Eigenschaften des Systems sind bisher noch nicht erwähnt worden. Die erste ist ein Verdrängungseffekt. Das Verfüllen eines Grubenraums mit Schaum verdrängt sämtliche explosiven Gase. Die zweite ist die Unterdrückung von Zündfunken. In mit Schaum verfüllten Hohlräumen oder an beschäumten Flächen können keine Funken entstehen. Diese Eigenschaft kann den Explosionsschutz in Strebbetrieben erheblich verbessern. Die dritte und letzte Eigenschaft ist die Staubbindung. Mit Schaum bedeckter Kohlestaub ist nicht mehr explosibel und zu feucht, um aufgewirbelt zu werden.

2.2.2 Löschen eines Grubenbrands auf dem Bergwerk Amasra

Das untertägige Kohlebergwerk Amasra gehört zur türkischen Bergbaugesellschaft TTK. Am 8. Februar 2014 wurde im Streb in Flöz Kalın Damar ein Brand entdeckt, Rauch trat im mittleren Strebabschnitt aus dem Alten Mann (Bild 10). Der Streb musste eine Störung (im Bild cyan) durchhörtern und es kam zu Nachfall aus dem Hangenden. Die Mächtigkeit des Flözes Kalın Damar beträgt rd. 2 m. Die Kopfstrecke liegt in 250 m, die Fußstrecke in 300 m Teufe, die Streb ist 70 m lang. Die Bewetterung erfolgt in U-Form. Die Hohlräume im Hangenden wurden mit Phenolschaum verfüllt. Vermutete Brandursache war entweder die Selbstentzündung von Störungskohlen hinter dem Strebausbau oder die Selbstentzündung des zur Verfüllung benutzten Phenolschaums oder beides. Aufgrund einer dramatischen Kohlenmon-

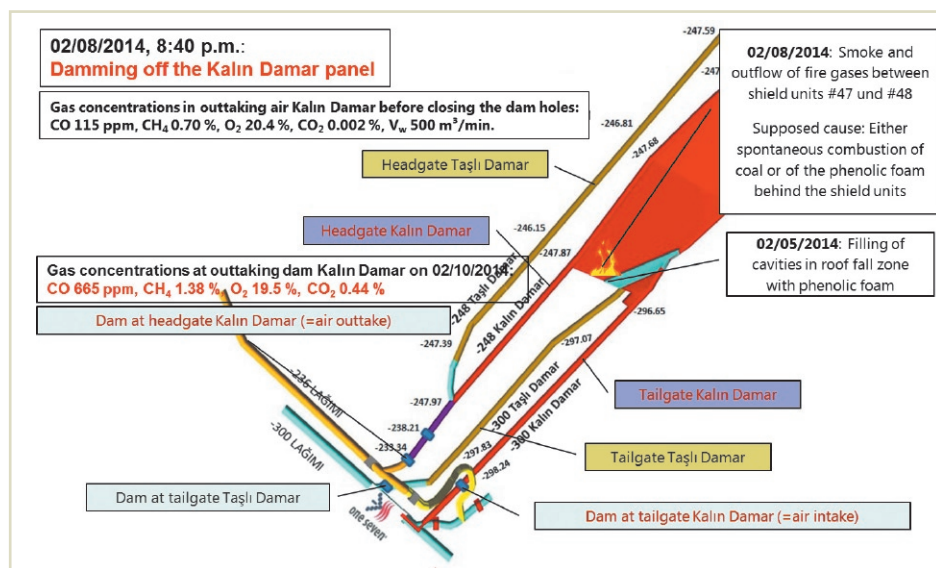


Fig. 10. Amasra coal mine, southeastern working section with Kalin Damar seam (red) and fire history.

Bild 10. Südöstliches Baufeld des Bergwerks Amasra mit dem Flöz Kalin Damar und der Brandentwicklung.

2.2.2 Firefighting at TTK'S Amasra coal mine

The Amasra underground coal mine is owned by the Turkish hard coal company TTK. On 8th February 2014 a fire in the Kalin Damar seam was discovered when smoke came out of the goaf in the middle section of the longwall panel (Figure 10). Because the longwall face had to cross a fault (coloured blue) there was rock fall in the affected roof section. The seam height of Kalin Damar is about 2 m, its depth ranges between 250 m at the headgate and 300 m at the tailgate. The face length was 70 m. The ventilation design was a U-circuit. Cavities in the roof were healed with phenolic foam fillings. The suspected ignition cause was either spontaneous combustion of coal left behind the shield support in the fault zone or the combustion of phenolic foam used to refill the cavities above the shield support, or both. Due to the rapid carbon monoxide development the mine management decided to abandon the working section with explosion proof dams at the entries of headgate and tailgate at the same day. Two days later the carbon monoxide concentration had increased to 665 ppm, a significant indicator of a fire in the working section. In March 2014 the mine management at last started a nitrogen inerting attempt, which was unsuccessful despite discharging approx. 50,000 m³ of nitrogen gas.

After delivery, transportation and some preparation work the firefighting deployment of One Seven started on 16th July 2014. Because the working face was in a steep formation (42°), the firefighting operations were carried out in three phases:

1. From 16th July to 20th July 2014 the tailgate gallery was back-filled with foam, which was also the intake airway at the same time to cut off completely the fire area from air supply.
2. After the machine's removal to the headgate dam the fire area was completely inundated with foam over the headgate gallery from 21st July to 2nd August 2014.
3. So the mine rescue brigade was able to penetrate using auxiliary ventilation and a continuous pumping of foam into the area from 3rd August 2014.

The foam could be pumped into tailgate and headgate through 75 mm diameter inerting pipes in the dams.

oxid-Entwicklung musste die Bergwerksleitung noch am selben Tag die vollständige Abdämmung des Betriebs an den Eingängen von Kopf- und Fußstrecke anordnen. Zwei Tage später war die Kohlenmonoxid-Konzentration auf 665 ppm angestiegen, ein signifikanter Indikator für einen Grubenbrand. Im März 2014 wurde eine Stickstoffinertisierung des Brandfelds eingeleitet und nach Einbringen von ca. 50.000 m³ Stickstoffgas ohne Löscherfolg wieder aufgegeben.

Die Löscharbeiten mit dem One Seven System starteten nach Auslieferung, Transport und einigen Vorbereitungsarbeiten am 16. Juli 2014. Da der Streb mit 42° Einfallen steil gelagert war, mussten die Löscharbeiten in drei Phasen durchgeführt werden:

1. Vom 16. bis zum 20. Juli 2014 wurde die Fußstrecke mit Schaum verfüllt. Da die Fußstrecke einziehend war, wurde das Brandfeld so von der Wetterführung abgeschnitten.
2. Nach dem Umsetzen der Maschine zum Damm an der Kopfstrecke wurde das Brandfeld vom 21. Juli bis zum 2. August 2014 vollständig zugeschäumt.
3. Am 3. August 2014 konnte dann die Grubenwehr unter Sonderbewetterung und kontinuierlichem Vortragen von Schaum in den Bereich eindringen.

Zum Schaumaustrag in die Kopf- und Fußstrecke wurden die Inertisierungsleitungen DN 75 in den jeweiligen Dämmen benutzt.

Zur Beobachtung der Situation im Brandfeld wurden ständig Brandgasproben aus einem Schnüffelrohr im Damm an der Kopfstrecke genommen und im Labor ausgewertet (Bild 11).

Da auf dem Bergwerk Stickstoff mit dem erforderlichen Mindestdruck von 2 bar nicht verfügbar war, musste die Maschine mit Druckluft betrieben werden. Dies war auf den ersten Blick ein Nachteil, da nun mit der Luft auch Sauerstoff in das Brandfeld eingetragen wurde. Es war davon auszugehen, dass ein Löscherfolg nur durch den direkten Kontakt des Schaums mit dem Brandherd zu erzielen sei.

Ziel von Phase 1 war der hermetische Abschluss des Brandfelds von der allgemeinen Wetterführung. Daher zeigen die Gaswerte in Phase 1 auch keinen Löscherfolg an. Dies ändert sich direkt mit Beginn von Phase 2 und verbessert sich kontinuierlich bis

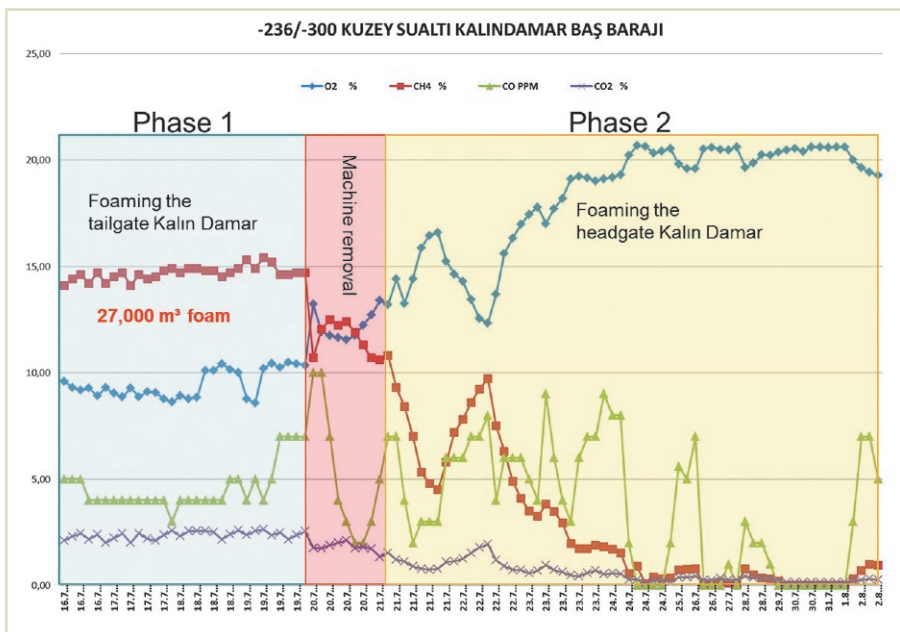


Fig. 11. Gas concentrations at the outtaking dam of the Kalin Damar seam during phases 1 and 2.
 Bild 11. Gasentwicklung am ausziehseitigen Damm in der Kopfstrecke im Flöz Kalin Damar während der Phasen 1 und 2.

To monitor the situation in the affected area gas samples were frequently taken at the air-outtaking dam in the headgate and evaluated in a laboratory (Figure 11).

Due to the fact that there was no pressurized nitrogen with 2 bar (minimum required pressure for the machine) available on site the machine was operated with compressed air. At first sight this appeared to be a disadvantage as air oxygen would be brought into the fire area with the foam. It had to be assumed that a successful extinguishing of the fire could only be achieved by direct contact between the foam and the source of fire.

The purpose of phase 1 was to cut off the fire area from the mine's ventilation supply. Gas values in phase 1 did not therefore indicate that the fire had been successfully extinguished. This changed with the start of the second phase and the values continued to improve until the fire was finally extinguished. The development of CO concentrations shows re-ignitions during phase 2 because the methane-air mixture switches frequently at the edge of the well-known Coward-Triangle between "explosive" and "non-explosive" states. At the end of phase 2 a displacement of undesirable gases like CH₄, CO and CO₂ by the foam can be seen clearly. The concentration of CH₄, CO and CO₂ was reduced to zero at the end.

An impression of foam discharge operations after the dams have been opened shows figure 12. The Kalin Damar headgate is totally inundated with foam. This foam filling provides insurance against re-ignitions in this precarious phase. The key finding is that the opening of the fire area and the safe entry of the mine rescue team into the fire area was possible only under the protection of the previously placed foam and the discharge of new foam into the area. Finally, the equipment was recovered undamaged and the excavation of the Kalin Damar seam could be continued.

In a 20 day continuous operation from 16th July to 3rd August 2014 a covered mine fire, that had started five and a half months before, could be extinguished using a One Seven MINING 6000 machine and the foam concentrate One Seven AM. A total volume of about 91,000 m³ wet and dry foam was brought into the dammed fire area. The water consumption was 4,200 m³; the

zur endgültigen Löschung des Brands. Die CO-Entwicklung zeigt Rückzündungen während Phase 2, da das Methan-Luft-Gemisch im Grenzbereich des Coward-Dreiecks mehrfach zwischen den Zuständen „explosiv“ und „nicht-explosiv“ wechselt. Am Ende von Phase 2 ist die Verdrängung der Gase CH₄, CO und CO₂ durch den Schaum gut zu erkennen. Die CH₄-, CO- und CO₂-Gehalte können letztendlich auf null zurückgeführt werden.

Bild 12 wurde direkt nach dem Öffnen der Dämme gemacht und vermittelt einen Eindruck über das Ergebnis der Verschäumarbeiten. Die Kopfstrecke Kalin Damar ist vollständig mit Schaum verfüllt. Diese Schaumfüllung gibt Sicherheit gegen Rückzündungen in dieser prekären Phase.

Die maßgebliche Erkenntnis ist die, dass das Öffnen des Brandfelds und das Eindringen der Grubenwehr in das Brandfeld erst unter dem Schutz des vorher eingebrachten und dem Vortragen von neuem Schaum möglich waren. Die Strebausrüstung wurde weitgehend unbeschädigt vorgefunden und die Gewinnung im Flöz Kalin Damar konnte wieder aufgenommen werden.

In einem 20 Tage dauernden Einsatz (16.7. bis 3.8.2014) konnte ein verdeckter Grubenbrand, dessen Entstehung fünfeinhalb Monate zurücklag, durch den Einsatz einer One Seven MINING 6000 und des Klasse-A Schaumkonzentrats One Seven AM gelöscht werden. Insgesamt wurden über 91.000 m³ Nass- und Trockenschaum in das abgedämmte Brandfeld eingebracht. Der Wasserverbrauch betrug 4.200 m³, der Verbrauch an Schaumkonzentrat 6.320 l. Abschließend kann festgestellt werden, dass durch den Einsatz der One Seven MINING 6000 und des Schaumkonzentrates One Seven AM ein Brandfeld zurückgewonnen werden konnte, das mit konventioneller Methode (Stickstoffinertisierung) hätte aufgegeben werden müssen.

Bei kritischer Betrachtung muss gesagt werden, dass die Löscharbeiten bei Verwendung eines Stickstoffschaums sehr wahrscheinlich effizienter gewesen wären und zu einem früheren Löscherfolg geführt hätten. Wegen seines Sauerstoff verdrängenden Effekts ist ein Stickstoffschaum bei aktiver Löscharbeit immer zu bevorzugen. Der Schaum ist ein ideales Transportmittel für das Stickstoffgas, während zugleich die Schaumblasen das un-



Fig. 12. Result of foam discharging: The Kalın Damar headgate is totally inundated with foam.

Bild 12. Ergebnis der Verschäumarbeiten: Die Kopfstrecke im Flöz Kalın Damar ist vollständig mit Schaum verfüllt.

consumption of foam concentrate was 6,320 l. It was found that by use of the One Seven MINING 6000 and the foam-concentrate One Seven AM a fire area, which previously had to be abandoned following the failed use of a conventional fire suppression method (nitrogen inerting) could be regained.

In a critical evaluation it must be said that the production of foam with nitrogen would probably have been more efficient and would have allowed the fire to be extinguished more quickly. Because of its blanketing effect on oxygen, the use of nitrogen foam is absolutely preferable in cases of active firefighting. The foam offers ideal transportation spaces for nitrogen gas while the bubbles avoid the undesirable loss of nitrogen in fractures and cleats as often occurs during regular inerting operations. The conclusion for active firefighting is that the application of One Seven can either be a substitute for plain nitrogen inerting or an improvement of this measure when the foam is mixed using nitrogen gas.

3 Conclusion

The innovative CAF system of One Seven makes an important contribution to improving mine safety in terms of firefighting and fire prevention. The foam consists of a special foaming agent, the One Seven foam-concentrate AM or AMF (frost resistant), compressed air or nitrogen and water. The foaming agent is a surfactant and is non-flammable. The system has been granted an ATEX certificate and can be installed and operated in any coal mine. For dealing pro-actively with spontaneous combustion it is an alternative to established measures such as ash-injection. In putting out hidden hot spots or fires in abandoned areas it should be considered as a substitute for nitrogen inerting.

After the operation described above, the Turkish Amasra coal mine started to work on a seam with a very high propensity for spontaneous combustion. This seam had previously been considered "unmineable". Using the One Seven MINING-system with a nitrogen foam the CO activity in the goaf can be controlled, avoiding run-off times and guaranteeing safe exploitation of the seam.

In addition to the operations in Turkey the system has references from applications in the Czech Republic, Germany and China.

gewollt frühe Diffundieren des Stickstoffs über Klüfte und Spalten verhindern, wie es bei reinen Inertierungsarbeiten immer wieder geschieht. Zusammenfassend kann für die Anwendung von One Seven in der aktiven Brandbekämpfung gesagt werden, dass es zum Einen ein Ersatz für Stickstoffinertierung sein kann und zum Anderen eine Verbesserung dieser Methode darstellt, wenn die Verschäumung mit Stickstoffgas erfolgt.

3 Zusammenfassung

Das innovative Druckgasschaumsystem von One Seven leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit bei Brandbekämpfung und Brandprävention im Bergbau. Der Schaum setzt sich aus einem speziellen Schaummittel, dem One Seven-Schaumkonzentrat AM oder AMF (frostgeschützt), Druckluft oder Druckstickstoff und Wasser zusammen. Das Schaummittel ist ein Tensid und nicht brennbar. Das System ist ATEX zertifiziert und kann in allen Kohlebergwerken aufgestellt und betrieben werden. Für die pro-aktive Bekämpfung von Selbstentzündungen ist es eine Alternative zu etablierten Methoden wie Asche-Injektionen. Bei der Bekämpfung von verdeckten Bränden oder Bränden in abgeworfenen Grubenbauen ist es ein denkbarer Ersatz für eine Stickstoffinertierung.

Nach dem geschilderten Einsatz hat das türkische Kohlebergwerk Amasra die Gewinnung in einem Flöz aufgenommen, das eine sehr starke Neigung zur Selbstentzündung hat. Dieses Flöz wurde bis dahin als „nicht abbaubar“ eingestuft. Durch den Einsatz des One Seven MINING-Systems und unter Nutzung von Stickstoffschaum wird die CO-Aktivität im Alten Mann beherrscht, Stillstandszeiten werden vermieden und der sichere Abbau des Flözes kann gewährleistet werden.

Außer in der Türkei wurde das System bisher in der Tschechischen Republik sowie in Deutschland und China erfolgreich angewendet.

Author / Autor

Dr.-Ing. Max Thomas Stöttner, Assistant Lecturer at the Osnabrück University, Osnabrück