

Categories of Gas Outbursts in Hard Coal Mining from a Practical Point of View

The term “gas outburst” is in use worldwide for a variety of types of sudden emission of big volumes of mine gas, at which a differentiation concerning the causes of their occurrence is not carried out in many cases. As a consequence, it is often not possible to analyse the causes of these events in the different mining regions in the world, and to compare the effectivity of measures for

controlling the dangers. Based on the findings and experiences in German hard coal mining the authors consider selected gas dynamic events exemplary, and propose a new classification of the gas outbursts in categories. Physical parameters and operational characteristics that can be observed in connection with the events are mainly used for the definition of the categories.

Kategorien der Gasausbrüche im Steinkohlenbergbau aus praktischer Sicht

Der Begriff „Gasausbruch“ wird weltweit für verschiedene Arten des plötzlichen Freiwerdens großer Grubengasmengen verwendet, wobei eine Differenzierung bezüglich der Ursachen für deren Auftreten sehr häufig nicht vorgenommen wird. Das hat zur Folge, dass zum einen eine Analyse der Ursachen dieser Ereignisse in den verschiedenen Bergbauregionen der Welt und zum anderen ein Vergleich der Wirksamkeit von ergriffenen Maßnahmen zur

Gefahrenbeherrschung oft nicht möglich sind. Basierend auf den Erkenntnissen und Erfahrungen im deutschen Steinkohlenbergbau betrachten die Autoren in ihrem Beitrag beispielhaft ausgewählte gasdynamische Ereignisse und schlagen eine neue Kategorisierung der Gasausbrüche vor. Bei der Definition der Kategorien stehen physikalische Parameter und betriebliche Merkmale, die bei den Ereignissen zu beobachten sind, im Vordergrund.

1 Preliminary

Gas outbursts are a worldwide phenomenon in underground mining, from which great risks for miners and utilities may come from (1). Due to its very high importance with respect to safety, the subject gas outbursts as well as the measures for their early detection and control also experience an extensive appreciation within the correspondent technical literature.

In international publications, however, different types of sudden emission of big gas volumes are frequently summarised and regarded under the term “gas outburst”, at which a differentiation concerning the causes of their appearance is taken rather rarely. Thus, the term “gas outburst” is used as an overall term for all types of sudden gas emission with and without discharge of coal and/or rock. The variety of the events is not considered thereby. This often implicates that a comparison of the events in different mining areas is not possible both with respect to their causes and to the effectiveness of the necessary measures for their control.

That means, an exact description and categorisation of the events is essential for the optimum adjustment of measures.

1 Einleitung

Gasausbrüche sind ein weltweites Phänomen im untertägigen Bergbau, von dem große Gefahren für beschäftigte Personen und Betriebsmittel ausgehen können (1). Wegen der sehr hohen sicherheitlichen Bedeutung finden das Thema Gasausbrüche sowie die Maßnahmen zur Früherkennung und Beherrschung der Gefahren auch eine umfangreiche Würdigung in der entsprechenden Fachliteratur.

In den internationalen Publikationen werden jedoch häufig unter dem Begriff „Gasausbruch“ verschiedene Arten des plötzlichen Freiwerdens großer Grubengasmengen zusammengefasst und betrachtet, wobei eher selten eine Differenzierung bezüglich der Entstehungsursachen vorgenommen wird. Der Begriff Gasausbruch wird somit als pauschaler Sammelbegriff für alle Formen der plötzlichen Gasfreisetzung verwendet mit und ohne Auswurf von Kohle und/oder Gestein, ohne dabei die Vielfalt der Ereignisse darzustellen. Das hat zur Folge, dass ein Vergleich dieser Ereignisse in verschiedenen Bergbauregionen sowohl bezüglich ihrer Ursachen als auch der Wirksamkeit der zu ergreifenden Maßnahmen zu ihrer Beherrschung häufig nicht möglich ist.

In German hard coal mining, all gasdynamic events, which occurred since the 1960s, were registered detailed statistically and investigated extensively with respect to the causes of their appearance. Based on the findings and experiences obtained thereby, a wide range of progress and characteristics of events could be stated.

In the following, a proposal for a categorisation of the gas outbursts is submitted, in order to enhance the international communication between the gas outburst experts. This categorisation is based on characteristics that can be observed very related to practice at face underground and by their operational relevance.

2 Categorisation of gas outbursts

Bischoff and Bramann (2) defined a gas outburst as follows: "In mining, the sudden and intensified release of gases from the rock sequence is called a gas outburst. In the course of a gas outburst underground, large gas volumes are released in a very short time, which cannot be dissipated sufficiently by the ventilation. This leads to a high concentration of the emitted gas within a limited area".

This definition is taken as a basis in the following, but, due to the practical observations, it is expanded as follows: In the course of a gas outburst in hard coal mines, coal and/or rock are discharged very often together and simultaneously with the sudden emission of gas into a mine opening. This leads to further risks for the miners.

Especially in hard coal mining, in most cases methane is released in the course of a gas outburst, in some deposits also carbon dioxide (alone or in a mixture with methane). Higher hydrocarbons are often admixed to the methane in low concentrations.

In the 1960's and 1970's, a significant increase of gas outbursts was documented in the hard coal mines of the state North Rhine-Westphalia. These events were the starting of intensive investigations and numerous research studies. In order to optimise the fighting and the preventive measures, classifying gas outbursts into categories proved reasonable thereby. Four categories were constituted in that time, depending on their causes and operational characteristics and according to the valid gas outburst guidelines for the German hard coal mining from 29th May 1996 (3):

- category 1: gas/coal outbursts;
- category 2: gas/rock outbursts;
- category 3: gas outbursts from the floor;
- category 4: other events.

From 1903 until the closing down of the last mines in 2018 a total of 449 gas outbursts were registered in North Rhine-Westphalia (4, 5).

Especially the investigations of the 419 events that happened since 1960 identified a diversity of causes and conditions that can lead to a gas outburst. Therefore, from a technical and scientific point of view, the completion of the previous system of gas outbursts in hard coal mining, and the coverage of the complete spectrum of the gas outbursts registered in underground hard coal mining until now appear reasonable.

Das bedeutet, dass eine exakte Beschreibung und Kategorisierung der Ereignisse für die optimale Anpassung der Maßnahmen wesentlich ist.

Im deutschen Steinkohlenbergbau wurden alle seit den 1960er Jahren aufgetretenen gasdynamischen Ereignisse statistisch detailliert erfasst und auf ihre Entstehungsursachen eingehend untersucht. Basierend auf den dadurch gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen konnte eine große Bandbreite in Ablauf und Charakteristiken der Ereignisse festgestellt werden.

Nachfolgend wird ein Vorschlag für eine Kategorisierung der Gasausbrüche unterbreitet, um die internationale Kommunikation zwischen den Gasausbruchsexperten zu verbessern. Diese Kategorisierung beruht auf charakteristischen Merkmalen, die in sehr engem Bezug zur betrieblichen Praxis vor Ort und zum Arbeitsablauf ermittelt werden können.

2 Kategorisierung von Gasausbrüchen

Bischoff und Bramann (2) haben einen Gasausbruch wie folgt definiert: „Als Gasausbruch bezeichnet man im Bergbau das plötzliche und verstärkte Austreten von Gasen aus dem Gebirge. Bei einem untertägigen Gasausbruch werden so in kürzester Zeit sehr große Gasmengen freigesetzt, die vom Wetterstrom nicht schnell genug abgeleitet werden können. Dies führt dazu, daß es in einem begrenzten Bereich zu einer hohen Konzentration des ausströmenden Gases kommt“.

Diese Definition wird im Folgenden zugrunde gelegt. Sie wird aufgrund der praktischen Erfahrungen jedoch wie folgt erweitert: Zusammen mit dem plötzlich ausströmenden Gas wird bei einem Gasausbruch in Steinkohlenbergwerken sehr häufig gleichzeitig Kohle oder Gestein in den offenen Grubenbau ausgeworfen. Dies führt zu weiteren Gefahren für die Belegschaft.

Speziell im Steinkohlenbergbau tritt bei einem Gasausbruch meist Methan aus, in einigen Lagerstätten auch Kohlendioxid – allein oder im Gemisch mit Methan. Höhere Kohlenwasserstoffe sind häufig in kleinen Konzentrationen dem Methan beige-mischt.

In den 1960er und 1970er Jahren war in den Steinkohlenbergwerken des Landes Nordrhein-Westfalen ein starker Anstieg der Gasausbrüche zu verzeichnen. Diese Ereignisse waren Anlass für intensive Untersuchungen und zahlreiche Forschungsarbeiten. Zur Optimierung der Bekämpfungs- und Verhütungsmaßnahmen erwies es sich dabei als sinnvoll, die Gasausbrüche in Kategorien einzuteilen. In Abhängigkeit von ihren Ursachen und betrieblichen Merkmalen wurden damals entsprechend den geltenden Gasausbruchsrichtlinien für den deutschen Steinkohlenbergbau vom 29. Mai 1996 vier Kategorien aufgestellt (3):

- Kategorie 1: Gas/Kohlen-Ausbrüche,
- Kategorie 2: Gas/Gesteins-Ausbrüche,
- Kategorie 3: Liegendgasausbrüche,
- Kategorie 4: sonstige Ereignisse.

In Nordrhein-Westfalen wurden von 1903 bis zur Schließung des Steinkohlenbergbaus im Jahr 2018 insgesamt 449 Gasausbrüche registriert (4, 5).

Insbesondere Untersuchungen der 419 Ereignisse seit 1960 haben eine Vielfalt an Ursachen und Bedingungen aufgezeigt, die zu einem Gasausbruch führen können. Aus technisch-wissen-

| Type and point of the released material | Category | Denomination | Discharge width | Specific gas inflow in comparison to gas content [m ³ /t] | Period of gas inflow [d] | Characteristics | |
|---|--|----------------------------------|--|--|------------------------------|-----------------|---|
| Category 1: Emission of gas with discharge of coal | Working points of event and of cause are identical | 1.1 | Gas/coal outburst | > gravitational | $\pm q_{des}$ to $> q_{des}$ | <1 | Outburst pipe in the seam, powered coal in the ejected material |
| | | 1.2 | Sloping of coal by the influence of gravity | = gravitational | $< q_{des}$ to $\pm q_{des}$ | <1 | Cavity in the upper part of the coal face, debris at its foot |
| | | 1.3 | Gas inflow due to rock mechanic redistribution | \leq gravitational | $< q_{des}$ to $> q_{des}$ | <1 | Coal face pushed forward, tipped over or sloped |
| Category 2: Emission of gas with discharge of rock | | 2.1 | Gas/rock outburst | > gravitational | $\pm q_{rock}$ | <1 | Outburst cavity; typical cleavage in the rock due to pressure relief |
| | | 2.2 | Sloping of rock by the influence of gravity | = gravitational | $> q_{debris}$ | <1 | Cavity in the roof; fault zone with broken rock (+ coal) |
| Category 3: Emission of gas without discharge of coal or rock | | 3.1 | Gas outburst from the floor | --- | --- | >1 | Gas from the floor |
| | | 3.2 | Gas outburst from the roof | --- | --- | <1, >1 | Gas from the roof |
| | | 3.3 | Gas from faults, joints or pore system | --- | --- | <1, >1 | No cavity, eventually open joints, eventually borehole |
| | | 3.4 | Unexpected opening of a sealed mine working | --- | --- | <1, >1 | Current operating point opens abandoned mine opening |
| Category 4: Emission of gas only; working points of event and cause are separated | | 4.1 | Gas inflow from the rock sequence | --- | --- | >1 | Gas inflow at an apparently non-involved operating point; but there is a rock mechanical connection |
| | 4.2 | Gas inflow from a sealed working | --- | --- | >1 | | |

Table 1. Categories of gas outbursts in hard coal mining (q = total gas content, q_{des} = desorbable gas content, q_{rock} = gas content of rock, q_{debris} = gas content of debris).

As before, the operational situation and the practical application of the new categories will be the relevant guideline for their definition. This rearrangement, on its part, forms the basis for the optimisation of the measures for early detection and prevention of gas outbursts.

The following four new categories were determined (Table 1):

- category 1: sudden emission of gas with discharge of coal;
- category 2: sudden emission of gas with discharge of rock;
- category 3: sudden emission of gas without discharge of coal or rock;
- category 4: sudden emission of gas only. Working points of event and cause are separated.

3 Sudden emission of gas with discharge of coal

3.1 Gas/coal outburst

Gas/coal outbursts are probably the most frequent type of sudden release of gas and coal worldwide. They represent 64% of all registered gas-dynamic events (gas outbursts) in the mining industry of North Rhine-Westphalia.

They show the following typical operational characteristics:

- An outburst pipe is formed in the seam.
- The discharge width of the coal is significantly bigger than the gravitational sloping.
- The ejected material consists more or less of powdered, respirable coal. The remaining coal often is tectonically broken and sheared.
- The specific gas inflow that is emitted by the outburst (in m³ gas/t coal) is roundabout equal to the gas content of the coal.

schaftlicher Sicht erscheint es daher sinnvoll, die bisherige Systematik der Gasausbrüche im Steinkohlenbergbau zu vervollständigen und das gesamte Spektrum der bisher im untertägigen Steinkohlenbergbau registrierten Gasausbrüche abzudecken.

Wie bisher sollen dabei weiterhin die betrieblichen Gegebenheiten und die praktische Anwendung der Kategorien die maßgebliche Richtlinie für ihre Definition sein. Diese Neuordnung bildet ihrerseits die Grundlage für die Optimierung der Maßnahmen zur Früherkennung und Verhütung von Gasausbrüchen.

Es wurden die folgenden vier neuen Kategorien gebildet (Tabelle 1):

- Kategorie 1: Gasausbruch mit Freisetzung von Gas und Auswurf von Kohle,
- Kategorie 2: Gasausbruch mit Freisetzung von Gas und Auswurf von Gestein,
- Kategorie 3: Gasausbruch ohne Freisetzung von Kohle oder Gestein,
- Kategorie 4: Gasausbruch allein mit Freisetzung von Gas; Betriebspunkte von Ereignis und Ursache sind getrennt.

3 Plötzliche Freisetzung von Gas mit Auswurf von Kohle

3.1 Gas/Kohlen-Ausbruch

Gas/Kohlen-Ausbrüche sind weltweit wohl die häufigste Form der plötzlichen Freisetzung von Gas und Kohle. Im Bergbau Nordrhein-Westfalens machen sie 64% der seit 1960 registrierten gasdynamischen Ereignisse (Gasausbrüche) aus.

Sie weisen folgende typischen betrieblichen Merkmale auf:

- Im Flöz ist ein Ausbruchsschlot ausgebildet.
- Die Auswurfweite der Kohle ist deutlich größer als die gravitative Abböschung.

| Art und Ort des freigesetzten Materials | Kategorie | Bezeichnung | Auswurfweite | Spez. Gaszustrom im Vergl. zum Gasinhalt [m^3/t] | Dauer des Gaszustroms [d] | Charakteristika | |
|---|--|-------------|---|--|---|-----------------|---|
| Kategorie 1: Freisetzung von Gas und Kohle | Betriebspunkte von Ereignis und Ursache sind identisch | 1.1 | Gas/Kohlen-Ausbruch | > graviativ | $\pm q_{\text{des}}$ bis $> q_{\text{des}}$ | <1 | Ausbruchsschlot im Flöz, Feinstkohle im ausgeworfenen Material |
| | | 1.2 | Abböschung unter Schwerkrafteinfluss | = graviativ | $< q_{\text{des}}$ bis $\pm q_{\text{des}}$ | <1 | Hohlraum im oberen Teil des Kohlenstosses, Haufwerk am Fuß |
| | | 1.3 | Gaszustrom in Verbindung mit gebirgsmechanischer Umlagerung | \leq graviativ | $< q_{\text{des}}$ bis $> q_{\text{des}}$ | <1 | Kohlenstoß vorgeschoben, umgekippt oder abgebösch |
| Kategorie 2: Freisetzung von Gas und Gestein | | 2.1 | Gas/Gesteins-Ausbruch | > graviativ | $\pm q_{\text{Gestein}}$ | <1 | Ausbruchshohlraum, Druckentlastungsstrukturen |
| | | 2.2 | Abböschung unter Schwerkrafteinfluss | = graviativ | $< q_{\text{Haufwerk}}$ | <1 | Hohlraum im Hgd., Störungszone mit zerbroch. Gestein (+ Kohle) |
| Kategorie 3: Freisetzung von Gas alleine | | 3.1 | Liegendgasausbruch | --- | --- | >1 | Gas aus dem Liegenden |
| | | 3.2 | Hangendgasausbruch | --- | --- | <1, >1 | Gas aus dem Hangenden |
| | | 3.3 | Kluftgas, Porengas | --- | --- | <1, >1 | kein Hohlraum, evtl. offene Klüfte, evtl. Bohrloch |
| | | 3.4 | Anfahren eines abgedämmten Grubenbaus | --- | --- | <1, >1 | Anfahren eines verlassenen Grubengebäudes |
| Kategorie 4: Freisetzung von Gas allein; Betriebspunkte von Ereignis und Ursache getrennt | | 4.1 | Gaszustrom aus dem Gebirge | --- | --- | >1 | Gaszustrom an einem scheinbar unbeteiligten Betriebspunkt; es besteht jedoch ein gebirgsmechanischer Zusammenhang |
| | | 4.2 | Gaszustrom aus dem abgedämmten Grubenbau | --- | --- | >1 | |

Tabelle 1. Kategorien der Gasausbrüche im Steinkohlenbergbau (q = gesamter Gasinhalt, q_{des} = desorbierbarer Gasinhalt, q_{Gestein} = Gasinhalt des Gesteins, q_{Haufwerk} = Gasinhalt des Haufwerks).

It can exceed the latter even clearly, however, if the coal involved in the outburst is not ejected completely.

- The period of the gas inflow is shorter than 1 d.
- The gas pressure of the adsorbed gas in the coal is the moving force.

Examples:

The figures 1 and 2 illustrate the typical fine-grained, for the most part powdered coal and the outburst pipe in the seam. The outburst pipe often is compressed in parts or sometimes also in total in a short term by settling of the rock layers due to the effect of



Fig. 1. Powdered coal after a gas/coal-outburst in a roadway. Bild 1. Pulverisierte Kohle nach einem Gas/Kohlen-Ausbruch in einer Strecke. Photo/Foto: DMT

- Das ausgeworfene Material besteht mehr oder weniger aus Feinstkohle. Die restliche Kohle ist häufig tektonisch zerbrochen und zerschert.
- Der beim Ausbruch freigesetzte spezifische Gaszustrom (in m^3 Gas/t Kohle) ist ungefähr gleich dem Gasinhalt der Kohle. Er kann ihn aber deutlich übersteigen, wenn die am Ausbruch beteiligte Kohle nicht vollständig ausgeworfen wird.
- Die Dauer des Gaszustroms ist kleiner als 1 d.
- Treibende Kraft ist der Gasdruck des adsorptiv gebundenen Gases in der Kohle.

Beispiele:

In den Bildern 1 und 2 wird die typische, bei einem Gas/Kohlen-Ausbruch ausgeworfene, feine, zum großen Teil pulverisierte Kohle

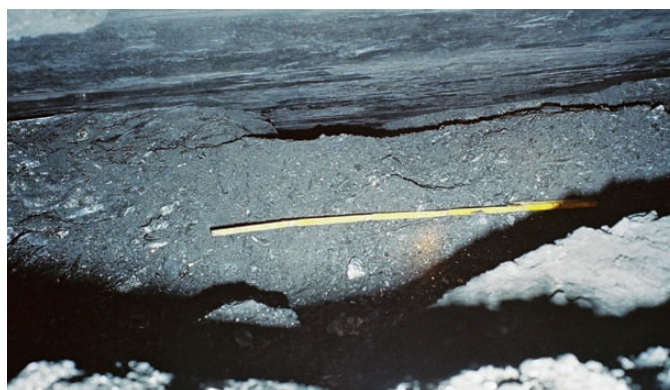


Fig. 2. Outburst pipe in a seam in-situ in a longwall; discharged material in the foreground. // Bild 2. Ausbruchsschlot im anstehenden Flöz in einem Streb; Ausbruchsmaterial im Vordergrund. Photo/Foto: DMT

high or at least increased rock pressure in the area of the outburst. Therefore, the outburst pipe often can be seen only conditionally.

3.2 Sloping of the coal face by the influence of gravity

By nature, gravity is present at all outburst events. In most cases, however, it plays only a secondary role as a reason of origin. Those cases with gravity as the essential cause for a sudden gas release are summarised in the category “sloping of coal”.

The typical operational characteristics are:

- An intensely tectonically faulted area in the rock sequence is present that is often limited by fault planes that forward the disposition of gravitational sloping of the rock material.
- A cavity is formed in the upper part of the coal surface exposed by the event, which often reaches further into the roof above the mine opening.
- No outburst pipe is present.
- The mass of the discharged debris corresponds to that one determinable from the generated cavity (no reduction of the cavity volume by the rock pressure).
- The discharge width of the coal is equal to the gravitational sloping.
- No powdered coal is contained in the discharged material.
- The specific gas inflow (in $\text{m}^3 \text{ gas/t coal}$) released by the outburst is roundabout equal to the gas content of the coal. It can be lower than the latter, if the gas volume adsorbed in the debris and the coal face is emitted only partially.
- The period of gas inflow is shorter than 1 d.
- Gravity is predominantly or exclusively the moving force of the event. The gas pressure is of inferior importance for its initiation.

Example:

The methane volume that was released in connection with the gas dynamic event illustrated in figure 3, corresponds to the gas content of the sloped coal. The discharge of the coal was initiated by gravity, secondarily supported by the gas pressure in the tectonical faulted seam.

le mit zugehörigem Ausbruchsschlot im Flöz dargestellt. Durch die Wirkung von in der Regel hohem oder zumindest erhöhtem Gebirgsdruck im Gasausbruchsbereich wird sehr häufig der Schlot durch Setzen der Gebirgsschichten teilweise oder manchmal auch gänzlich in kurzer Zeit zugeedrückt und somit nur bedingt sichtbar.

3.2 Abböschung des Kohlenstoßes unter Einfluß der Schwerkraft

Die Schwerkraft ist naturgemäß bei allen Ausbruchereignissen gegenwärtig. Meist spielt sie jedoch nur eine untergeordnete Rolle als Entstehungsursache. Diejenigen Fälle, in denen sie die wesentliche Ursache für die plötzlichen Gasfreisetzung darstellt, werden in der Kategorie „Abböschung des Kohlenstoßes“ zusammengefaßt.

Die typischen betrieblichen Merkmale sind:

- Es ist ein intensiv tectonisch gestörter Gebirgsbereich vorhanden, der häufig von Störungsflächen begrenzt ist, welche die Neigung zur gravitativen Ausböschung des Gebirgsmaterials begünstigen.
- Im höher gelegenen Teil der beim Ereignis freigelegten Kohleoberfläche, häufig auch weiter ins Hangende oberhalb des Grubenbaus reichend, bildet sich ein Hohlraum.
- Es ist kein Ausbruchsschlot vorhanden.
- Die Masse des ausgeworfenen Haufwerks entspricht der aus dem vorhandenen Hohlraum ermittelbaren Masse (keine Hohlraumverkleinerung durch den Gebirgsdruck).
- Die Auswurfweite der Kohle entspricht der gravitativen Abböschung.
- Im ausgeworfenen Material ist keine Feinstkohle enthalten.
- Der beim Ausbruch freigesetzte spezifische Gaszustrom (in $\text{m}^3 \text{ Gas/t Kohle}$) ist ungefähr gleich dem Gasinhalt der Kohle. Er kann kleiner sein, falls nicht das gesamte im Haufwerk und dem Kohlenstoß gebundene Gasvolumen frei wird.
- Die Dauer des Gaszustroms ist kleiner als 1 d.
- Treibende Kraft des Ereignisses ist überwiegend oder ausschließlich die Schwerkraft. Der Gasdruck ist von untergeordneter Bedeutung für dessen Auslösung.

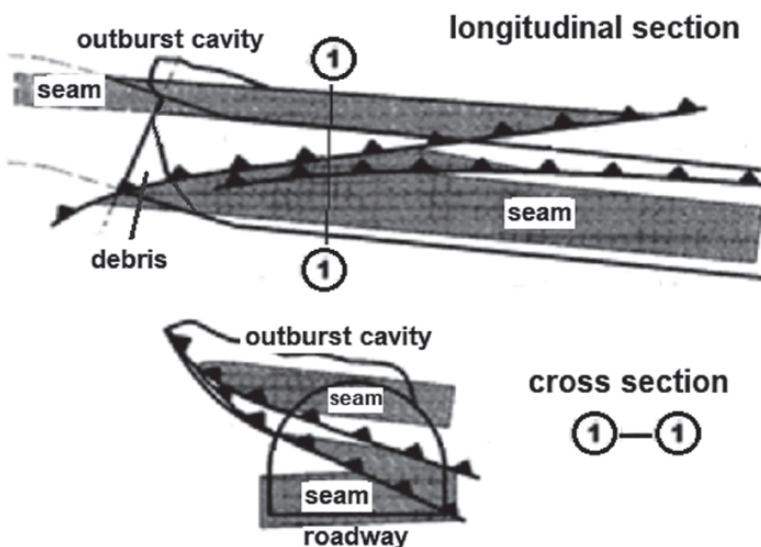


Fig. 3. Inseam exploration roadway driven with an incline: Discharge of coal from the roof; coal with reduced stability by tectonical stress; big coal volume present in direction of drivage due to reverse faults (duplication of the seam); additionally released methane volume: $1,241 \text{ m}^3$; discharged coal volume 199 m^3 (6).
 Bild 3. Ansteigend aufgefahrene Aufklärungsstrecke im Flöz: Ausbruch von Kohle aus der Firste; Kohle durch tectonische Beanspruchung geschwächt; durch Mehrfachlagerung großes Kohlevolumen in Auffahrriichtung anstehend; zusätzlich freigesetztes Methanvolumen: $1,241 \text{ m}^3$; ausgeworfenes Kohlevolumen 199 m^3 (6).

3.3 Gas emission due to redistributions in the coal caused by rock mechanics

Gas can be emitted additionally as an immediate consequence of sudden rock mechanic stress relief and material redistributions in the coal caused by this relief. These redistributions may occur abruptly accompanied by release of high energy (rock bursts) or also locally with less energy (breaking down of rock). Regularly, they are regarded as rock dynamic events, since, in these cases, the emitted gas is only a by-product of the rock mechanic redistributions in the coal.

In some cases of rock mechanical stress relief, however, there were indications both concerning the emitted gas volume and also regarding the duration of the gas inflow, that the gas was not only an immediate by-product of the redistribution. In fact, additional to that, there was a further emission of big gas volumes. Moving force for these events was not the raised rock pressure, since it was relieved already, but the gas pressure in the coal or in fissures or faults.

Typical operational characteristics are:

- The coal face is pushed forward, tipped over or sloped, only, and there is no discharged coal.
- The width of advance is shorter than or equal to the gravitational sloping.
- The specific gas inflow (in m³ coal) emitted in connection with the outburst is different, often bigger than the gas content of the coal.
- The period of gas inflow is shorter than 1 d.

Beispiel:

Das Methanvolumen, das bei dem in Bild 3 dargestellten gasdynamischen Ereignis freigesetzt wurde, entspricht dem Gasinhalt des ausgeböschten Kohlevolumens. Das Auslaufen der Kohle wurde durch Schwerkrafteinfluß ausgelöst, untergeordnet unterstützt durch den Gasdruck im tektonisch gestörten Flöz.

3.3 Gaszustrom nach gebirgsmechanischer Umlagerung

Als unmittelbare Folge von plötzlichen gebirgsmechanischen Spannungsentlastungen und dadurch bedingten Materialumlagerungen in der Kohle können zusätzlich große Gasmengen freigesetzt werden. Diese Umlagerungen können schlagartig mit Freisetzung großer Energie (Gebirgsschläge) oder auch örtlich mit geringerer Energie (Hereinbrechen von Gestein) erfolgen. Sie werden in der Regel als gebirgsdynamische Ereignisse betrachtet, denn das freigesetzte Gas ist in diesen Fällen meist lediglich ein Beiprodukt der gebirgsmechanischen Umlagerung in der Kohle.

Bei einigen gebirgsmechanischen Spannungsentlastungen gab es jedoch sowohl hinsichtlich der freigesetzten Gasmenge als auch bezüglich der Zeitdauer des Gaszustroms Hinweise darauf, dass das Gas nicht nur unmittelbares Beiprodukt der Umlagerung war. Vielmehr gab es nach der gebirgsmechanischen Spannungsentlastung eine weitere Freisetzung großer Gasmengen. Die treibende Kraft für diese Ereignisse war dann nicht der überhöhte Gebirgsdruck, denn der war bereits abgebaut, sondern der Gasdruck in der Kohle oder in Klüften oder Störungen.

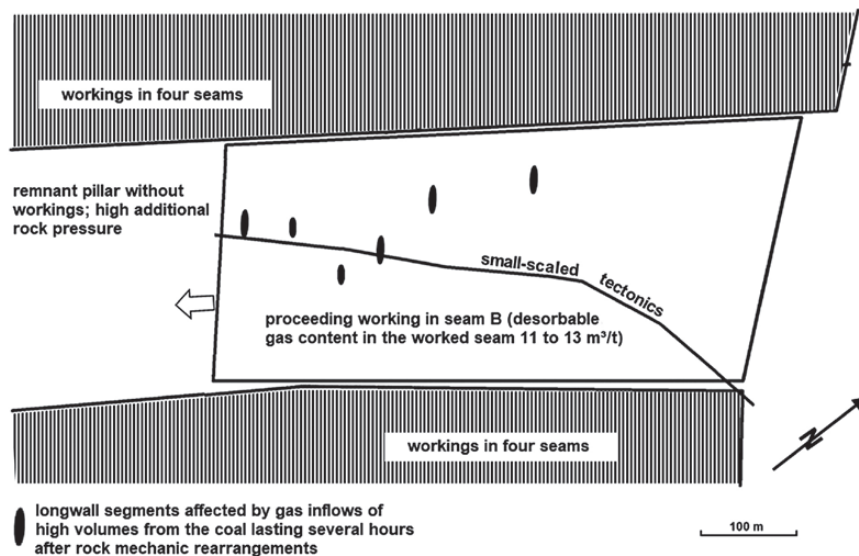


Fig. 4. First working in a remnant pillar (1982/83) between areas affected by former workings in four seams (ground view); high additional rock pressure in the pillar; position of the gas outbursts that clearly exceed the by-products of rock bursts by period of time (several hours) and released gas volume (several thousand m³).

Bild 4. Abbau in einem unverritzten Restpfeiler (1982/83) zwischen in vier Flözen durchbauten Flächen (Grundriss); hoher zusätzlicher Gebirgsdruck im Restpfeiler; Lage der Gasausbrüche, die Zeitdauer (mehrere Stunden) und freigesetztes Gasvolumen (mehrere Tausend m³) von Beiprodukten von Gebirgsschlägen klar übersteigen.

- Moving force is a high gas pressure in the coal.
- The gas dynamic event was initiated by a rock mechanic stress relief, e.g., a rock burst. But both the emitted gas volume and the period of time of the gas inflow are clearly higher respectively longer than what could be expected by the latter alone.

Example:

In figure 4, a schematic diagram shows the rock mechanic situation of a panel within a remnant pillar. The pillar, where no winning took place until this point of time, is accompanied on both sides by areas, which are affected by former workings in four seams. An unusual high rock pressure is given along these winning borders, which restrains the remnant pillar in direction of its middle. In addition, it is crossed by small-scaled tectonic faults that form naturally given lines of low stability. The gas content and thereby the gas pressure are high.

It could not be clarified definitely, whether the gas emitted after several rock mechanic rearrangements flowed in from the worked area or from the fault zone.

4 Sudden emission of gas with discharge of rock

4.1 Gas/rock outburst

A gas/rock outburst characterises the sudden release of gas together with discharged rock from the rock sequence.

In Germany, gas/rock outbursts are known from hard coal mining in the Ibbenbüren district. They occurred there in some sandstone horizons of the Westfalian C. "The outburst prone horizons may reach a thickness of several meters. They are found, in particular, in the upper part of thicker sandstone complexes that are covered respectively by argillaceous rocks." (7).

Typical operational characteristics are:

- An outburst cavity occurs in the rock (mostly sandstone) after an outburst.
- The rock shows pressure relief structures both in-situ and in the debris (Figure 5) (8).
- The discharge width of the rock is significantly bigger than gravitational sloping.

Typische betriebliche Merkmale sind:

- Der Kohlenstoß ist lediglich vorgeschoben, umgekippt oder abgebösch, die Kohle nicht ausgeworfen.
- Die Vorschubweite ist kleiner bis gleich als die der gravitativen Abböschung.
- Der beim Ausbruch freigesetzte spezifische Gasstrom (in m³ Gas/t Kohle) ist unterschiedlich, häufig größer als der Gasinhalt der Kohle.
- Die Dauer des Gasstroms ist kleiner als 1 d.
- Treibende Kraft ist ein hoher Gasdruck in der Kohle.
- Das gasdynamische Ereignis wurde durch eine gebirgsmechanische Entspannung, z.B. einen Gebirgsschlag, ausgelöst. Jedoch sind sowohl das freigesetzte Gasvolumen als auch die Dauer des Gasstroms klar größer als durch letztere allein zu erwarten.

Beispiel:

Bild 4 zeigt in einer Übersichtsskizze die gebirgsmechanische Situation eines Abbaus in einem Restpfeiler. Der Restpfeiler, in dem bisher kein Abbau stattfand, wird auf beiden Seiten von älteren Abbaufächern in vier Flözen begleitet. Entlang dieser Abbaukanten herrscht ein ungewöhnlich hoher Gebirgsdruck, der den Restpfeiler zur Mitte hin einspannt. Der Restpfeiler wird außerdem von kleintektonischen Störungen durchzogen, die natürlich vorgegebene Schwächelinien darstellen. Der Gasinhalt und damit der Gasdruck im Bauflöz sind hoch.

Es konnte nicht sicher geklärt werden, ob das nach mehreren gebirgsmechanischen Umlagerungen zusätzlich freigesetzte Gas aus der Abbaufäche oder allein aus der Störungszone zuströmte.

4 Plötzliche Freisetzung von Gas mit Auswurf von Gestein

4.1 Gas/Gesteins-Ausbruch

Unter einem Gas/Gesteins-Ausbruch versteht man die plötzliche Freisetzung von Gas zugleich mit ausgeworfenem Gestein aus dem Gebirge.

In Deutschland sind Gas/Gesteins-Ausbrüche im Kohlebergbau aus dem Ibbenbürener Revier bekannt. Sie traten dort in einigen Sandsteinhorizonten des Westfal C auf. „Die ausbruchs-



Fig. 5. Pressure relief structures in the wall of the cavity of a gas/sandstone outburst (9). // Bild 5. Druckentlastungsstrukturen in der Wandung des Hohlraums eines Gas/Sandstein-Ausbruchs (9).

- The specific gas inflow that is emitted by the outburst (in m^3 gas/t rock) is roundabout equal to the gas content of discharged rock.
- The period of the gas inflow is shorter than 1 d.
- The pressure of the gas included in the rock is the moving force.
- The events are characterised often by a very high dynamic.

Example:

In figure 6, the appearance of a gas/rock outburst that happened during driving a decline through the rock sequence, is shown in a schematic drawing.

4.2 Sloping of rock by the influence of gravity

Sloping of rock by the influence of gravity occurs, when the rock is unstable, e.g., in tectonic fault zones. In the case of such sloping, bigger gas volumes may be released, which flow out of fissures, fissure systems, tectonic faults or from the pore volume of the rock sequence (coal and/or rock).

disponierten Horizonte können eine Mächtigkeit von mehreren Metern erreichen und finden sich vornehmlich im höheren Abschnitt mächtiger Sandsteinkomplexe, die im Hangenden jeweils durch tonige Gesteine abgedeckt sind“ (7).

Typische betriebliche Merkmale sind:

- Im Gestein (meist Sandstein) ist nach einem Gasausbruch ein Ausbruchshohlraum ausgebildet.
- Das Gestein zeigt sowohl im Anstehenden als auch im Haufwerk Druckentlastungsstrukturen (Bild 5) (8).
- Die Auswurfweite des Gesteins ist signifikant größer als die gravitative Abböschung.
- Der beim Ausbruch freigesetzte spezifische Gaszustrom (in m^3 Gas/t Gestein) ist ungefähr gleich dem Gasinhalt des ausgeworfenen Gesteins.
- Die Dauer des Gaszustroms ist kleiner als 1 d.
- Treibende Kraft ist der Gasdruck des im Gestein eingeschlossenen Gases.
- Die Ereignisse sind häufig durch sehr hohe Dynamik gekennzeichnet.

Beispiel:

In Bild 6 wird in einer Übersichtskizze das Erscheinungsbild eines Gas/Gesteins-Ausbruchs dargestellt, der sich bei der Auffahrung eines Gesteinsbergs ereignete.

4.2 Abböschung des Gesteins unter Einfluss der Schwerkraft

Abböschungen des Gesteins unter dem Einfluss der Schwerkraft treten auf, wenn das Gestein nicht standfest ist, z.B. in tektonischen Störungszonen. Im Fall solcher Abböschungen können größere Gasmengen freigesetzt werden, die aus Klüften, Kluftsystemen, tektonischen Störungen oder aus dem Porenraum der Schichtenfolge (Kohle und/oder Gestein) kommen.

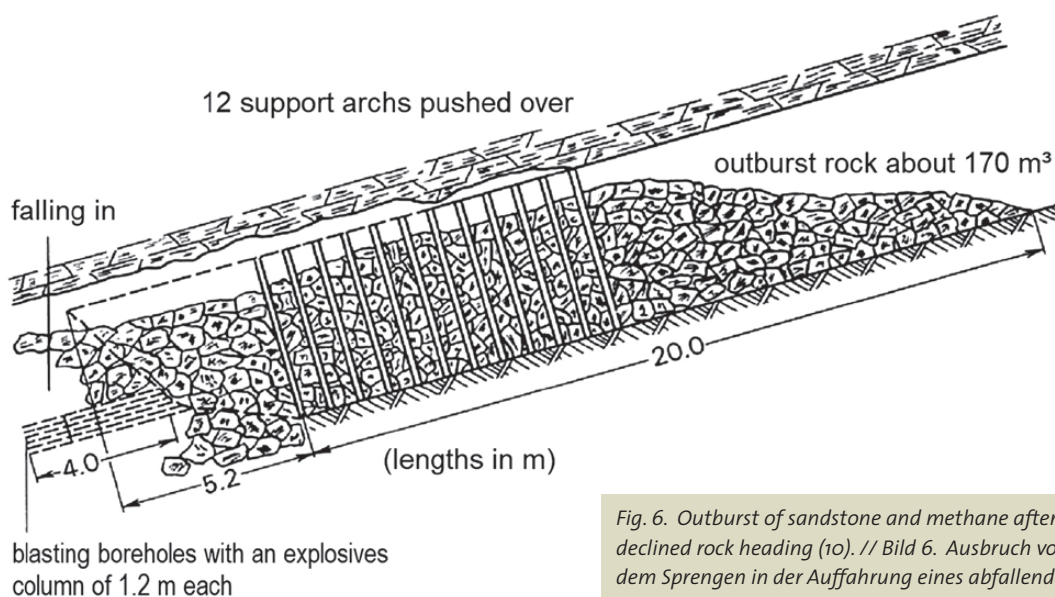


Fig. 6. Outburst of sandstone and methane after blasting during the driving of a declined rock heading (10). // Bild 6. Ausbruch von Sandstein und Methan nach dem Sprengen in der Auffahrung eines abfallenden Querschlags (10).

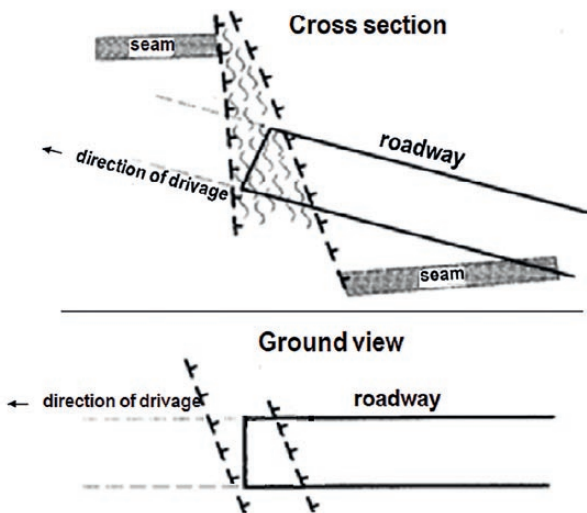


Fig. 7. Crossing of a tectonic fault zone in an inclined rock heading (position of advance on the day of the event) (6).

Bild 7. Durchfahrung einer tektonischen Störungszone in einer ansteigenden Strecke (Streckenstand am Tag des Ereignisses) (6).

Typical operational characteristics of a gas outburst due to sloping of the rock in-situ under the influence of gravity are:

- Opening-up of a broken, unstable rock eventually together with coal, e. g., at a tectonic fault.
- A cavity is formed in the upper part of the rock surface exposed by the event, which often reaches further into the roof above the mine opening.
- The mass of the discharged debris corresponds to that one determinable from the generated cavity (no reduction of the cavity volume by the rock pressure).
- The discharge width of the rock is equal to the gravitational sloping.
- The specific gas inflow (in m^3 gas/t rock) released by the outburst is bigger than the gas content of the debris.
- The period of gas inflow is shorter than 1 d.
- Gravity is predominantly or exclusively the moving force of the event. The gas pressure is of inferior importance for its initiation.

Example:

The example in figure 7 shows the opening-up of a tectonic fault in an inclined roadway in the progress of drivage. About 46 m^3 rock and coal ran out from the fault zone under the influence of gravity; and about $2,500 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ were emitted additionally. Thereby, the compressed gas supported the run out of the material.

5 Sudden emission of gas without discharge of coal or rock

5.1 Gas outburst from the floor

A sudden release of gas from the floor of a working or of a roadway without discharge of coal or rock is called a gas outburst from the floor. Of this category 26 events happened in North Rhine-Westphalia since 1962. Intensive investigations showed that their formation can be led back to special properties of the rock sequence

Typische betriebliche Merkmale eines Gasausbruchs infolge Abböschung des anstehenden Gesteins unter dem Einfluss der Schwerkraft sind:

- Anfahren eines zerbrochenen, nicht standfesten Gesteins, eventuell mit Kohle, z.B. an einer tektonischen Störung.
- Im höher gelegenen Teil der freigelegten Gesteinsoberfläche, eventuell auch im Hangenden oberhalb des Grubenbaus, bildet sich ein Hohlraum.
- Das Volumen des ausgeworfenen Haufwerks entspricht dem des Hohlraums.
- Die Auswurfweite des Gesteins entspricht der gravitativen Abböschung.
- Der beim Ausbruch freigesetzte spezifische Gasstrom (in m^3 Gas/t Kohle) ist größer als der Gasinhalt des Haufwerks.
- Die Dauer des Gasstroms ist kleiner als 1 d.
- Treibende Kraft ist vor allem oder ausschließlich die Schwerkraft. Der Gasdruck ist von untergeordneter Bedeutung.

Beispiel:

Das Beispiel in Bild 7 zeigt das Anfahren einer tektonischen Störung in einer ansteigenden Strecke bei der Auffahrung. Unter dem Einfluss der Schwerkraft liefen ca. 46 m^3 Gestein und Kohle aus der Störungszone aus. Zusätzlich wurden rd. $2.500 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ freigesetzt. Das gespannte Gas unterstützte dabei das Auslaufen des Materials.

5 Freisetzung allein von Gas ohne Auswurf von Kohle oder Gestein

5.1 Liegendgasausbruch

Unter Liegendgasausbruch versteht man einen plötzlichen Gasstrom aus dem Liegenden eines Abbaus oder einer Strecke ohne Auswurf von Kohle oder Gestein. Seit 1962 sind in Nordrhein-Westfalen 26 Ereignisse dieser Kategorie aufgetreten. Intensive Untersuchungen haben ergeben, daß ihre Entstehung auf spezielle Eigenschaften der Gesteinsabfolge im Liegenden der Ausbruchsstelle zurückzuführen ist (12, 13, 14). In Bild 8 werden schematisch die Bedingungen eines kontinuierlich ausgasenden Betriebs und eines Betriebs mit Neigung zur Blockierung der Ausgasung aus dem Liegenden und somit zu Liegendgasausbrüchen gegenübergestellt.

Typische betriebliche Merkmale eines Liegendgasausbruchs sind:

- Die Zutrittsstelle des Gases befindet sich im Liegenden.
- Das Gestein im Liegenden ist entlang eines Risses aufgebrochen.
- Die Dauer des Gasstroms ist länger als 1 d.
- Treibende Kräfte sind gebirgsmechanische Umlagerungen in der Schichtenfolge und der Gasdruck.

Beispiel:

Bild 9 zeigt beispielhaft einen Liegendgasausbruch.

5.2 Hangendgasausbruch

Bei einem Hangendgasausbruch tritt plötzlich Gas aus dem Hangenden eines Abbaus in den Wetterstrom aus. Voraussetzung ist meist ein verzögertes Einbrechen der hangenden Schichtenfolge.

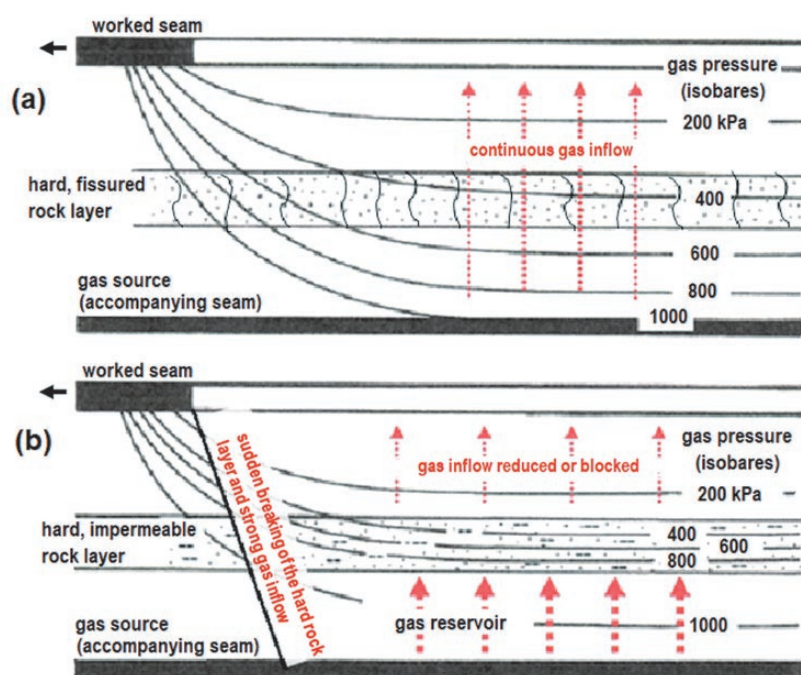


Fig. 8. Formation conditions of a gas outburst from the floor (7): (a) Safe conditions (normal case): Gas pressure regularly increasing to the floor; hard rock layer with sufficient permeability (or loosened), through which gas migrates in a controlled manner continuously into the goaf of the worked seam. (b) Potential outburst conditions: Reduced permeability of a hard rock layer that leads to an increased gas pressure gradient in this layer and to an accumulation of compressed gas below it; sudden gas inflow into the working in the case of breaking of the hard, impermeable layer (11).

Bild 8. Entstehungsbedingungen eines Liegendgasausbruchs (7): (a) Sichere Bedingungen (Normalfall): Gasdruck ins Liegende regulär ansteigend; feste, ausreichend permeable (oder aufgelockerte) Gesteinsschichten, durch die Gas in kontrollierter Weise kontinuierlich in abgebaute Bereiche migriert. (b) Potenzielle Ausbruchsbedingungen: reduzierte Permeabilität einer festen Gesteinsschicht, die zu einem erhöhten Anstieg des Gasdruckgradienten in dieser Schicht und zu einer Akkumulation von gespanntem Gas unterhalb davon führt; plötzlicher Gaszustrom in den Abbau im Fall des Durchbrechens der festen, undurchlässigen Schicht (11).

in the floor of the outburst location (12, 13, 14). The conditions in a working with continuous gas release and in another with the disposition to blockage of gas release and consequently to gas outbursts from the floor are schematically opposed in figure 8.

Typical operational characteristics of a gas outburst from the floor are:

- The point of gas inflow is located in the floor.
- The rock sequence in the floor is raised along a fracture.
- The time period of the gas inflow is longer than 1 d.
- Moving forces are rock mechanic rearrangements in the rock sequence and the gas pressure.

Example:

Figure 9 shows an example of a gas outburst from the floor.

5.2 Gas outburst from the roof

In the case of a gas outburst from the roof, a sudden inflow of gas from the roof into the air stream occurs. In most cases, precondition is a delayed breaking of the rock sequence in the roof. Gas is accumulated between and included in the already loosened rock layers, which is desorbed from the accompanying seams of the working because of destressing from the rock pressure. Due to the delayed breaking, a gas pressure is built up – like in the case of a floor outburst (Figure 10).

Typical operational characteristics of a gas outburst from the roof are:

- The point of gas inflow is located in the roof.
- The roof that was stable over an unusual long period of time, suddenly breaks.
- The time period of the gas inflow may be shorter or longer than 1 d.
- Moving forces are rock mechanic rearrangements in the rock sequence and the gas pressure.

Zwischen und in den bereits aufgelockerten Gesteinsschichten sammelt sich Gas, das durch die Entlastung vom Gebirgsdruck aus den Begleitflözen des Abbaus desorbiert ist. Durch die Verzögerung des Aufbrechens baut sich – ähnlich wie beim Liegendgasausbruch – ein Gasdruck auf (Bild 10).

Typische betriebliche Merkmale eines Hangendgasausbruchs sind:

- Die Zutrittsstelle des Gases befindet sich im Hangenden.
- Das ungewöhnlich lang stabile Hangende bricht plötzlich auf.
- Die Dauer des Gaszustroms kann kürzer oder länger als 1 d sein.
- Treibende Kräfte sind gebirgsmechanische Umlagerungen im Gebirge und der Gasdruck.



Fig. 9. Roadway in a seam: Raised floor, from which a big gas volume flowed in (June 2007: 2,200 m³). // Bild 9. Abbaubegleitstrecke in einem Flöz: Aufgebrochenes Liegendes, aus dem eine große Gasmenge zuströmte (Juni 2007: 2.200 m³). Photo/Foto DMT

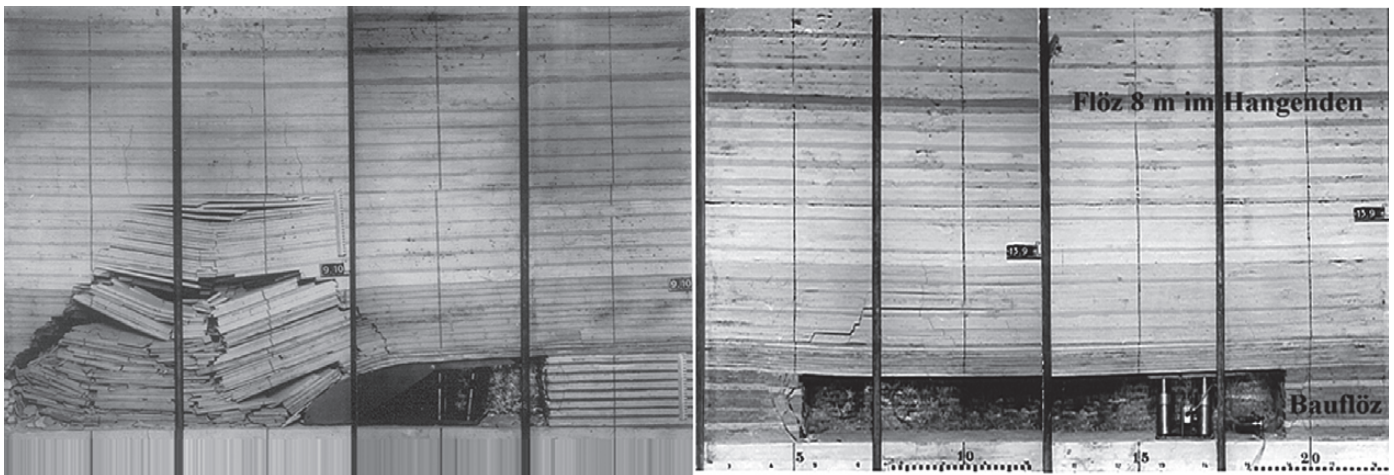


Fig. 10. Rock mechanics model that demonstrates the behaviour of the rock sequence in the roof of a working (working advance to the right). Left figure: "normal", undelayed breaking of the layers behind the longwall, right figure: delayed breaking (15). // Bild 10. Gebirgsmechanisches Modell, welches das Verhalten der Schichtenfolge im Hangenden eines Abbaus verdeutlicht (Abbaurichtung nach rechts). Linkes Bild: „normales“, unverzögertes Aufbrechen der Schichten hinter dem Streb, rechtes Bild: verzögertes Aufbrechen (15).

Example:

In a starting working in seam Mathilde, 15,000 m³ of methane were released in total. The area of gas release extended about 20 m from the starting edge of the longwall over one third of its length (Figure 11). In that case, the area of gas inflow lay unusually close to the starting edge of the panel. The raised rock pressure along the working border in seam Anna – 50 m in the roof and parallel to this starting edge – caused an early breakthrough of the rock layers above seam Mathilde, and the gas inflow from the goaf in seam Anna.

5.3 Gas from faults, joints and/or the pore system of the rock sequence (joint gas, pore gas)

Fault, joint and pore gas are referred to the sudden emission of not adsorbed, compressed gas from tectonic faults, joint systems or from the pore volume of the rock sequence (coal and/or rock). It is called a blower, if this emission is accompanied by an audible blow off of the gas. Occasionally, blowers occur during drilling operations.

Typical operational characteristics of a sudden gas inflow from faults, joints or pores of the rock are:

Beispiel:

Bild 11 zeigt ein Beispiel aus dem Flöz Mathilde. In einem anlaufenden Abbaubetrieb wurden hier insgesamt 15.000 m³ Methan freigesetzt. Der Bereich der Freisetzung erstreckte sich etwa 20 m von der Anlaufkante über ein Drittel der Streblänge. Der Bereich des Gaszustroms lag in diesem Fall ungewöhnlich nah an der Anlaufkante des Strebs. Hier führte der überhöhte Gebirgsdruck an der Abbaukante in Flöz Anna – 50 m im Hangenden parallel zu dieser Anlaufkante – zu einem frühzeitigen Durchbrechen der Gesteinsschichten über Flöz Mathilde und zum Gaszustrom aus dem Alten Mann in Flöz Anna.

5.3 Gas aus Störungen, Klüften und/oder dem Porensystem der Schichtenfolge (Kluftgas, Porengas)

Unter Kluft-, Störungs- und Porengas versteht man die plötzliche Freisetzung von nicht adsorptiv gebundenem, gespanntem Gas aus Klüften, Kluftsystemen, tektonischen Störungen oder aus dem Porenvolumen der Schichtenfolge (Kohle und/oder Gestein). Wenn diese Freisetzung mit einem vernehm-

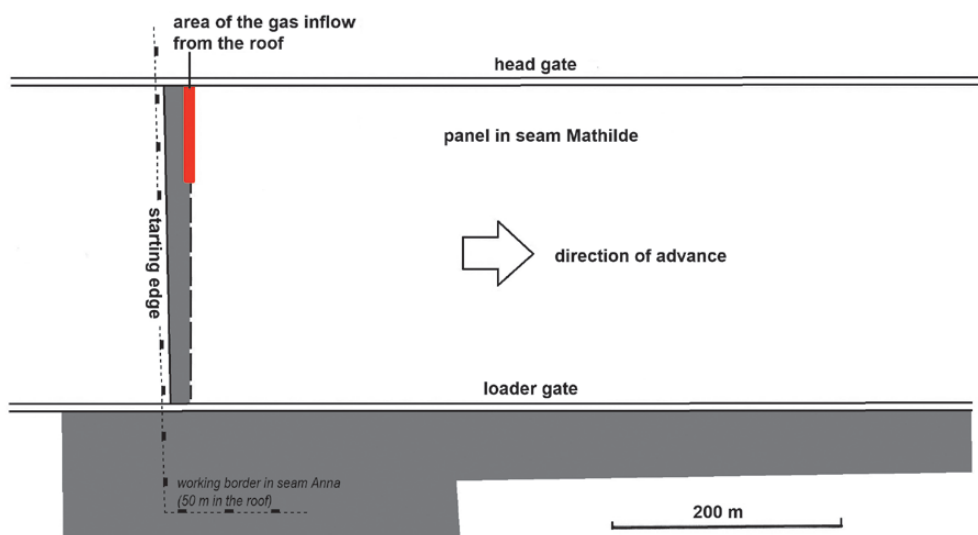


Fig. 11. Ground view of a working in seam Mathilde; starting edge of the panel nearly vertical below the working border in seam Anna; advance of the longwall at the time of the gas inflow. Bild 11. Grundriss eines Abbaus in Flöz Mathilde; Anlaufkante des Strebs nahezu senkrecht unter der Abbaukante in Flöz Anna; Strebstand zum Zeitpunkt des Gaszustroms aus dem Hangenden. Source/Quelle: DMT

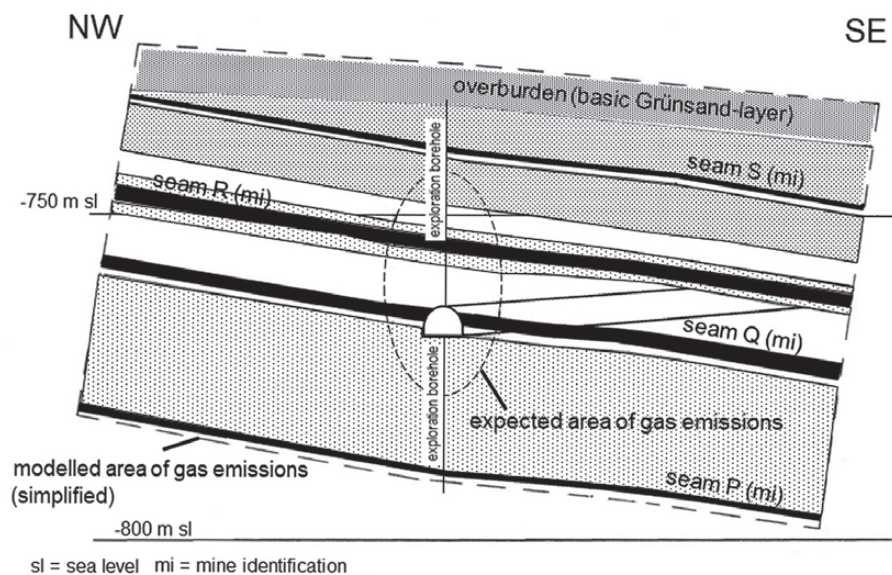


Fig. 12. Drivage of a roadway closely below the overburden and drilling of a vertical exploration borehole into the roof. Inflow of about 435,000 m³ CH₄ in 137 d from porous and jointed sandstones. Strongly simplified model of the area of gas emissions that is needed for it (long dashes), and of the normally expected area of gas emissions around a roadway (short dashes) (presentation in a vertical section).

Bild 12. Auffahrung einer Strecke nahe unter dem Deckgebirge und Erstellen einer vertikalen Erkundungsbohrung ins Hangende: Zustrom von rd. 435.000 m³ CH₄ in 137 d aus porösen und klüftigen Sandsteinen. Stark vereinfachtes Modell des dafür erforderlichen modellierten Ausgasungsraums (lang gestrichelt) und des normalerweise zu erwartenden Ausgasungsraums um eine Strecke (kurz gestrichelt) (Darstellung im Vertikalschnitt). Source/Quelle: DMT

- Opening up or drilling of jointed or porous rock.
- No cavity filled with gas, e.g., abandoned mine opening, but eventually open joints.
- The time period of the gas inflow varies in a wide range, partly shorter, partly longer, partly significantly longer than 1 d.
- Moving force of the gas inflow is compressed gas.

Example:

During the drivage of a roadway closely below the overburden, a borehole was drilled vertically into the roof in order to explore the distance from this (Figure 12). A porous and jointed sandstone was drilled, from which a strong gas inflow started. 435,000 m³ CH₄ were released within 137 days.

The released gas had been stored in the rock and the coal around the roadway, and it was drained off by the borehole as an artificially created flow way. However, the big emitted gas volume cannot be explained even roughly by the “normal” drainage radius of a roadway. Most of the gas was probably released from the pore system of the carboniferous sandstones and also from the lowermost layer of the overburden, the so-called Essener Grünsand. Determinations of the porosities by samples from drilling cores indicated relatively high values compared to the values in the further surroundings. The joint system can be understood as a flow way for the gas over longer distances.

The model of an area of gas emission of 435,000 m³ CH₄, which was contoured in figure 12, is not conform to reality, certainly. But it gives an idea about its extent compared to the normally expected drainage area of a roadway. The latter is supposed to achieve two to five times the roadway width, that means it is significantly smaller.

5.4 Unexpected opening of a sealed mine working

Big amounts of harmful gases (CH₄, CO₂) may flow into the airstream of an operating mine in the case of unexpected opening abandoned, sealed workings. Typical operational characteristics of such an event are:

lichen Ausblasen des Gases verbunden ist, spricht man auch von einem Bläser. Gelegentlich treten Gasbläser bei Bohrarbeiten auf.

Typische betriebliche Merkmale eines plötzlichen Gaszustroms aus Klüften und Poren des Gesteins sind:

- Anfahren oder Anbohren von klüftigem oder porösem Gestein.
- Kein Gas gefüllter Hohlraum, z.B. verlassener Grubenbau, eventuell aber offene Klüfte.
- Die Dauer des Gaszustroms ist sehr unterschiedlich, teils kürzer, teils länger, teils wesentlich länger als 1 d.
- Treibende Kraft des Gaszustroms ist gespanntes Gas.

Beispiel:

Bei der Auffahrung einer Strecke unter dem Deckgebirge wurde zur Erkundung des Abstands von diesem ein vertikales Bohrloch ins Hangende erstellt (Bild 12). Es wurde ein poröser und klüftiger Sandstein durchbohrt, aus dem ein starker Gaszustrom einsetzte. In 137 Tagen wurden 435.000 m³ CH₄ freigesetzt.

Das freigesetzte Gas war im Gestein und in der Kohle im Umfeld der Strecke gespeichert und wurde über das Bohrloch als künstlich hergestelltem Strömungsweg abgeführt. Mit dem „normalen“ Einzugsbereich einer Strecke kann jedoch das große freigesetzte Gasvolumen nicht annähernd erklärt werden. Der größte Teil des Gases kam wahrscheinlich aus dem Porensystem der Karbonsandsteine und teilweise aus dem untersten Abschnitt des Deckgebirges, dem sogenannten Essener Grünsand. Bestimmungen der Porositäten an Proben aus den Bohrkernen haben relativ hohe Werte im Vergleich zu denen aus der weiteren Umgebung ergeben. Das Kluftsystem kann als Strömungsweg für das Gas über größere Entfernungen betrachtet werden.

Das in Bild 12 umrissene Modell des Ausgasungsraums für 435.000 m³ CH₄ entspricht sicher nicht der Realität. Es soll lediglich eine Vorstellung von seiner Ausdehnung im Vergleich zum erwarteten Einzugsbereich der Strecke vermitteln. Letzterer wird mit dem zwei- bis fünffachen der Streckenbreite angenommen, ist also deutlich kleiner.

- An abandoned, sealed mine working is opened unexpectedly.
- The period of the gas inflow varies in a wide range depending on the present gas volume.
- Moving forces of the gas inflow are firstly strong distinctions of the gas concentrations between ventilation airstream and sealed working and secondly pressure differences between them. The gas inflow can additionally be supported by a strong barometric pressure drop.

Example:

In a working in seam H 1/2, a large-diameter borehole of an abandoned mine was opened unexpectedly. An unknown, but big CH₄ volume additionally flowed into the working in a time period of about 10 h.

The borehole was sealed both in the roof and in the floor of the working. The borehole segment above the sealing was connected to the gas drainage by a new borehole drilled inclined into the roof of the working. Thus, the gas inflow could be brought under control.

6 Sudden emission of gas without discharge of coal or rock; working points of event and cause are separated

The rock mechanic rearrangements of stress, from which mining activities are always accompanied, may initially induce in some cases gas release and storage in the rock sequence. Thereby, sudden gas inflows can occur at distant operating points that have no flow way to the initiating activities, but a rock mechanic interrelation. These gas inflows may appear both from the rock sequence or from sealed mine openings.

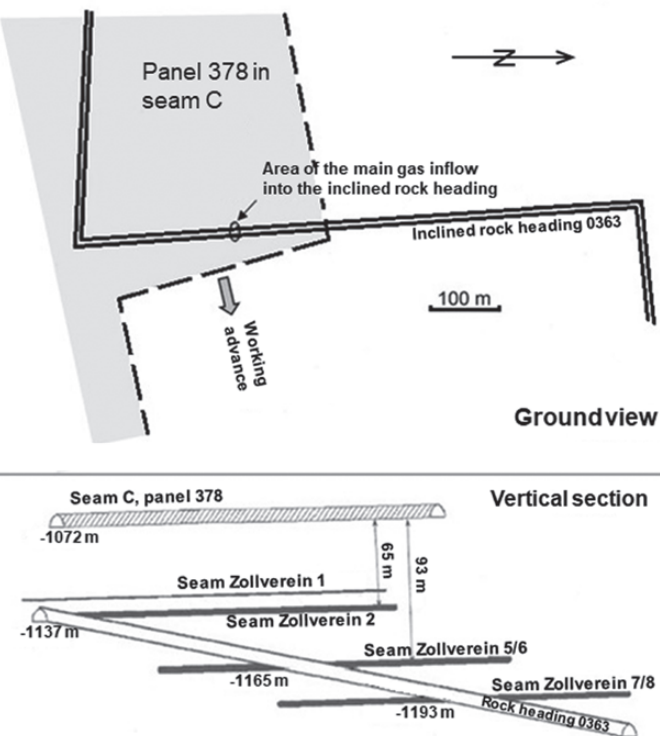


Fig. 13. Gas outburst in an inclined rock heading during the working in seam C in the roof of the rock heading: Situation in ground view and vertical section in a schematic view (16). // Bild 13. Gasausbruch in einem Gesteinsberg bei der Überbauung in Flöz C: Situation im Grundriss (oben) und Querschnitt (unten) in vereinfachter Darstellung (16).

5.4 Anfahren eines abgedämmten Grubenbaus

Durch das unerwartete Anfahren bereits verlassener, abgedämmter Grubenbaue können dem Wetterstrom eines betriebenen Bergwerks plötzlich große Mengen schädlicher Gase (CH₄, CO₂) zuströmen. Typische betriebliche Merkmale eines solchen Ereignisses sind:

- Ein verlassener, abgedämmter Grubenbau wird unerwartet angefahren.
- In Abhängigkeit vom anstehenden Gasvolumen ist die Dauer des Gaszustroms sehr unterschiedlich.
- Treibende Kräfte des Gaszustroms sind erstens große Unterschiede der Gaskonzentrationen zwischen Wetterstrom und abgedämmtem Grubenbau und zweitens Druckunterschiede zwischen beiden. Der Gaszustrom kann durch einen starken barometrischen Druckluftabfall begünstigt sein.

Beispiel:

In einem Abbau in Flöz H 1/2 wurde ein Großbohrloch eines stillgelegten Bergwerks angefahren. Über einen Zeitraum von ca. 10 h strömte ein nicht näher bekanntes Volumen CH₄ zusätzlich dem offenen Grubenbau zu.

Das Bohrloch wurde sowohl im Hangenden als auch im Liegenden des Abbaus abgedämmt. Der Bohrlochabschnitt oberhalb der Abdämmung wurde zur Beherrschung des Gaszustroms über ein neues, schräg ins Hangende gestoßenes Bohrloch an die Gasabsaugung angeschlossen.

6 Plötzliche Freisetzung von Gas ohne Auswurf von Kohle oder Gestein; die Betriebspunkte von Ereignis und Ursache sind getrennt

Die gebirgsmechanischen Spannungsumlagerungen, die bergbauliche Aktivitäten stets begleiten, können in manchen Fällen dazu führen, daß Gas im Gebirge freigesetzt und zunächst in der Schichtenfolge gespeichert wird. Dadurch können plötzliche Gaszustrome an entfernten Betriebspunkten erfolgen, die keine Strömungsverbindung, jedoch einen mechanischen Zusammenhang mit den auslösenden Aktivitäten haben. Diese Gaszustrome können entweder aus dem Gebirgskörper oder aus abgedämmten Grubenbauen erfolgen.

6.1 Gaszustrom aus dem Gebirge

Typische betriebliche Merkmale eines plötzlichen Gaszustroms in bewetterte Grubenbaue an einem vom Ort der Verursachung getrennten Betriebspunkt sind:

- An einem an den aktuellen betrieblichen Aktivitäten scheinbar unbeteiligten und entfernten Betriebspunkt tritt plötzlich ein starker Gaszustrom auf.
- Es besteht jedoch ein gebirgsmechanischer Zusammenhang zwischen dem Ort des Gaszustroms und dem Ort seiner Verursachung.
- Die Dauer des Gaszustroms ist länger als 1 d.
- Treibende Kraft ist der Gasdruck.

Beispiel:

Als sich die in Bild 13 abgebildete Bauhöhe in Flöz C der Trasse eines in ihrem Liegenden vorhandenen Gesteinsbergs näherte, begann am 15. Februar 2002 ein drastischer Anstieg des Gas-

6.1 Gas inflow from the rock sequence

Typical operational characteristics of a gas inflow from the rock sequence separated from the working point of its cause are:

- At a working point that is non-involved in and separate from the current operational activities, suddenly a big gas inflow occurs.
- However, a rock mechanic interrelation exists between the point of gas inflow and the point of its cause.
- The time period of the gas inflow is longer than 1 d.
- Moving force of the gas inflow is the gas pressure.

Example:

On 15th February 2002 began a dramatic increase of the gas inflow into an inclined rock heading, which reached about 27 m³/min in its maximum, when the panel 378 in seam C approached the trace of this heading in its floor (Figure 13). The auxiliary ventilation of the heading had to be switched off due to exceeding the permitted CH₄-limit value. The rock heading and the connected roadway were sealed and rendered inert. The final dam at the lower end of the inclined rock heading was connected to the gas drainage in order to control the gas inflow. Until the opening of this dam, which was necessary for the reconstitution of the normal operational process, 1.4 M m³ CH₄ flowed into the mine opening in total. Therefrom, 0.8 M m³ were allotted to the inflow into the rock heading. The penetration point of seam Zollverein 5/6 could be identified as the essential point of gas inflow into the rock heading.

6.2 Gas inflow from a sealed working

Typical operational characteristics of a sudden gas inflow from a sealed working that is separated from the point of its cause:

- A strong inflow of gas suddenly occurs from a sealed mine working, for which no immediate cause can be realised at the point of the event.
- The point of the cause is separate from the latter, but a rock mechanic connection exists between them, e. g., by the area of gas release of a working.

zustroms in den Gesteinsberg, der im Maximum ca. 27 m³/min erreichte (Bild 13). Die Sonderbewetterung des Gesteinsbergs musste wegen Überschreitung des zulässigen CH₄-Grenzwerts abgeschaltet werden. Der Gesteinsberg und die daran anschließende Strecke wurden abgedämmt und inertisiert. Der Abschlußdamm am unteren Ende des Bergs wurde zur Beherrschung des Gaszustroms an die Gasabsaugung angeschlossen. Bis zur Öffnung des Damms für die Wiederherstellung des funktionierenden Betriebsablaufs strömten insgesamt 1,4 Mio. m³ CH₄ dem Grubenbau zu. Davon entfielen 0,8 Mio. m³ auf den Gaszustrom in den Gesteinsberg. Als wesentliche Gaszutrittsstelle in den Gesteinsberg konnte die Durchfahrung des Flözes Zollverein 5/6 Oberbank lokalisiert werden.

6.2 Gaszustrom aus einem abgedämmten Grubenbau

Typische betriebliche Merkmale eines plötzlichen Gaszustroms aus einem abgedämmten Grubenbau, der vom Ort der Verursachung entfernt ist, sind:

- Aus einem abgedämmten Grubenbau kommt es plötzlich zu einem starken Gaszustrom, für den am Ort des Zutritts keine direkte Ursache erkennbar ist.
- Der Ort der Verursachung ist davon entfernt, es besteht jedoch ein gebirgsmechanischer Zusammenhang, z. B. über den Ausgasungsraum eines Abbaus.
- Die Dauer des Gaszustroms ist länger als 1 d.
- Treibende Kraft ist der Gasdruck.

Beispiel:

Ein Streb in Flöz Zollverein₁ (Bild 14) unterquerte eine abgeworfene und abgedämmte Strecke 80 m im Hangenden. Als sich die Abbaufont vertikal unter der Strecke befand, geriet letztere in den hangenden Ausgasungsraum des Abbaus. Das aus den Begleitflözen aufgrund der gebirgsmechanischen Entlastung frei werdende Gas strömte in die Strecke, wo sowohl Gasdruck als auch Gaskonzentration anstiegen. Die Folge waren starke Gasströme in den Wetterstrom an beiden Abdämmungen.

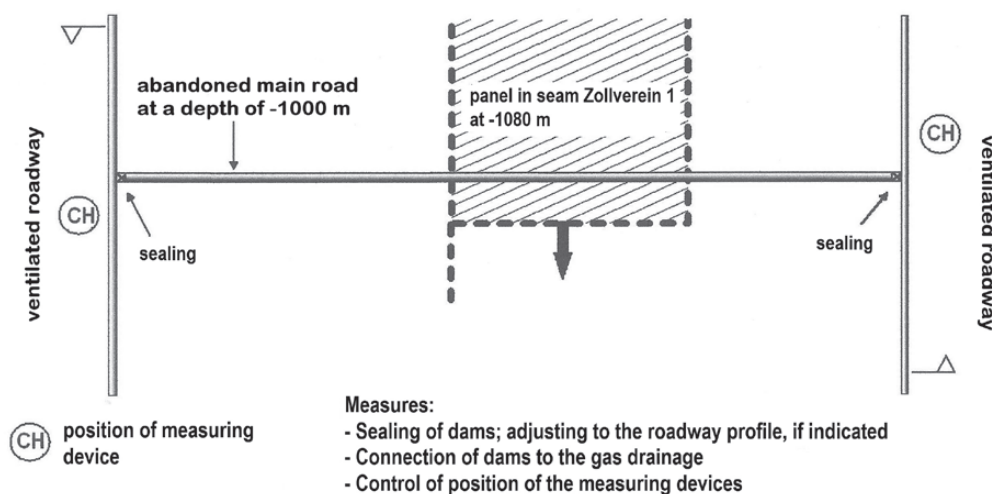


Fig. 14. Sudden gas inflow at the sealings of an abandoned roadway during the crossing by a working in seam Zollverein 1 (80 m in the floor).

Bild 14. Plötzlicher Gaszustrom an den Abdämmungen einer abgeworfenen Strecke bei der Unterquerung durch den Abbau in Flöz Zollverein 1 (80 m vertikaler Abstand). Source/Quelle: DMT

- The time period of the gas inflow is longer than 1 d.
- Moving force of the gas inflow is the gas pressure.

Example:

A panel in seam Zollverein₁ (Figure 14) crossed below an abandoned and sealed roadway 80 m in the roof. The latter came into the area of gas release as soon as the coal face of the panel stood perpendicular below the roadway. The gas that was released by the accompanying coal seams due to rock mechanic relief, flowed into the roadway, where both gas pressure and gas concentration increased. In consequence, strong gas inflows into the ventilation airstream occurred at both sealings.

7 Conclusion

The term “gas outburst” is in use worldwide for a variety of types of sudden emission of big volumes of mine gas, at which a differentiation concerning the causes of their occurrence is not carried out in many cases. As a consequence, it is not possible often wether to analyse the causes of these events in the different mining regions in the world nor to compare the effectivity of measures for controlling the dangers.

Based on the findings and experiences in German hard coal mining, selected gas dynamic events are considered exemplary, and a new classification of the gas outbursts in categories is proposed. Physical parameters and operational characteristics that can be observed in connection with the events are mainly used for the definition of the categories. These are as follows:

- emission of gas with discharge of coal;
- emission of gas with discharge of rock;
- emission of gas alone;
- point of the cause of the event is identical with the point of gas release or both points are separated;
- period of the gas release;
- discharge width of the material in comparison to gravitational sloping;
- specific gas inflow of the event compared to the original gas content of the discharged material; and
- further specific characteristics.

The following new categories of gas outbursts for the hard coal mining is proposed:

- category 1: sudden emission of gas with discharge of coal;
- category 2: sudden emission of gas with discharge of rock;
- category 3: sudden emission of gas without discharge of coal or rock;
- category 4: sudden emission of gas only; working points of event and cause are separated.

All gasdynamic events known until now in hard coal mining can be classified in the new categories. The reclassification and completion of the categories is reasonable and necessary from a scientific and technical point of view. Firstly, it enhances the professional communication between different coal-mining districts. Secondly, it leads to a clear idea about cause and process of the events, and enables, thereby, the optimisation of measures for their prevention and control.

7 Zusammenfassung

Der Begriff „Gasausbruch“ wird weltweit für verschiedene Arten des plötzlichen Freiwerdens großer Grubengasmengen verwendet, wobei eine Differenzierung bezüglich der Ursachen für deren Auftreten sehr häufig nicht vorgenommen wird. Das hat zur Folge, dass zum einen eine Analyse der Ursachen dieser Ereignisse in den verschiedenen Bergbauregionen der Welt und zum anderen ein Vergleich der Wirksamkeit von ergriffenen Maßnahmen zur Gefahrenbeherrschung oft nicht möglich sind.

Basierend auf den Erkenntnissen und Erfahrungen im deutschen Steinkohlenbergbau werden ausgewählte gasdynamische Ereignisse beispielhaft betrachtet, und es wird eine neue Kategorisierung der Gasausbrüche vorgeschlagen. Bei der Definition der Kategorien stehen physikalische Parameter und betriebliche Merkmale, die bei den Ereignissen zu beobachten sind, im Vordergrund. Es sind dies

- Freisetzung von Gas mit Auswurf von Kohle,
- Freisetzung von Gas mit Auswurf von Gestein,
- ausschließliche Freisetzung von Gas,
- Ort der Verursachung des Ereignisses ist identisch mit dem Ort der Gasfreisetzung oder beide Orte sind räumlich getrennt,
- Dauer der Gasfreisetzung,
- Auswurfweite des Materials im Vergleich zur gravitativen Abböschung,
- Gasanfall durch das Ereignis im Vergleich zum ursprünglichen Gasinhalt des ausgeworfenen Materials und
- weitere spezifische Charakteristika.

Folgende neue Kategorisierung der Gasausbrüche für den Steinkohlenbergbau wird vorgeschlagen:

- Kategorie 1: Gasausbruch mit Freisetzung von Gas und Auswurf von Kohle,
- Kategorie 2: Gasausbruch mit Freisetzung von Gas und Auswurf von Gestein,
- Kategorie 3: Gasausbruch allein mit Freisetzung von Gas,
- Kategorie 4: Gasausbruch allein mit Freisetzung von Gas entfernt vom Ort der Verursachung.

In die neuen Kategorien lassen sich alle bisher bekannten gasdynamischen Ereignisse im Steinkohlenbergbau einordnen. Die Neuordnung und Vervollständigung der Kategorien ist aus wissenschaftlich-technischer Sicht sinnvoll und erforderlich. Sie verbessert erstens die fachliche Kommunikation zwischen verschiedenen Kohlerevieren. Sie führt zweitens zu einer klaren Vorstellung über Ursache und Ablauf der Ereignisse und ermöglicht dadurch die Optimierung der Maßnahmen zu ihrer Verhütung und Bekämpfung.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Lama, R. D.; Bodziony, J.: Sudden outbursts of gas and coal in underground coal mines. ACARP Australian Coal Association Research Program, outburst scoping study, final report C4034, Brisbane, 1996.
- (2) Bischoff, W.; Bramann, H. et al. (Bearbeiter): Das kleine Bergbaulexikon. Stichwort „Gasausbruch“. Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum (Hrsg.), 7. Aufl., Essen, 1988.
- (3) Bezirksregierung Arnsberg: Gasausbruchs-Richtlinien der Bezirksregierung Arnsberg vom 29.05.1996.
- (4) DMT-Gasausbruchsdatenbank (unveröffentlicht).
- (5) Hinderfeld, G.; Kunz, E.; Opahle, M.: Gasausbrüche in den Steinkohlenlagerstätten Nordrhein-Westfalens und ihre Darstellung mit Hilfe der Gasausbruchs-Datenbank. In: Glückauf-Forschungshefte 51 (1990), Nr. 1, S. 39–46, Essen.
- (6) Steinkohlenbergbauverein STBV (Hrsg.): Vermeiden der Gefahren des Freiwerdens großer Grubengasmengen durch Schwerkrafteinwirkung (15.05.1996). Betriebsempfehlungen für den Steinkohlenbergbau Nr. 39, Essen.
- (7) Köwing, K.: Geologische Voraussetzungen für Gasausbrüche in Steinkohlenbergwerken. In: Glückauf 117 (1981), Heft 13, S. 340–342, Essen.
- (8) Eckart, D.; Gimm, W.; Thoma, K.: Plötzliche Ausbrüche von Gestein und Gas im Bergbau. In: Freiburger Forschungshefte 1966, Freiberg (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- (9) Palm, K.; Menneking, F.: Auftreten und Erscheinungsformen von Gasausbrüchen. In: Glückauf 113 (1977), Heft 10, S. 495–501, Essen.
- (10) Paul, K.: Früherkennung und Verhütung von Gasausbrüchen. In: Glückauf 113 (1977), Heft 13, S. 656–662, Essen.
- (11) McPherson, M. J.: Subsurface Ventilation Engineering. Chapt. 12: Methane. 50 pp., London (Chapman & Hall) resp. Mine Ventilation Services Inc., Clovis/California/USA.1993, 2015.
- (12) Brandt, J.; Imgrund, T.; Kunz, E.; Studeny, A.; Sdunowski, R.: Optimierung der Gasabsaugung durch bessere Erkennbarkeit sicherheitsrelevanter gasführender Lagerstättenbereiche mit dem Ziel der Reduzierung von Methanabschaltungen. DSK-Forschungsprojekt, Kennzeichen o681 0000, Herne 2006 (unveröffentlicht).
- (13) Hinderfeld, G.; Kunz, E.: Neue Untersuchungen zu den Entstehungsbedingungen von Liegendgasausbrüchen an Beispielen aus dem Ruhrrevier. In: Bergbau 45 (1994), Heft 5, S. 203–207, Essen.
- (14) Kunz, E.: Entstehungsbedingungen von Liegendgasausbrüchen auf der Grundlage gebirgsmechanischer Modellrechnungen. In: Optimierung der Grubengasabsaugung durch bessere Erkennbarkeit sicherheitsrelevanter gasführender Lagerstättenbereiche mit dem Ziel der Reduzierung von Methanabschaltungen (Abschlussbericht). Deutsche Steinkohle AG DSK, Herne 2006.
- (15) DMT: gebirgsmechanische Modellversuche (unveröffentlicht).
- (16) Kunz, E.; Brandt, J.: Verbesserung der Ausgasungsbeherrschung und der Bekämpfung gasdynamischer Ereignisse. In: Glückauf-Forschungshefte 66 (2005), Nr. 1, S. 4–9, Essen.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Joachim Brandt, anerkannter Sachverständiger für Gasausbruchsfragen im Verein für Technische Sicherheit und Umweltschutz (TSU) e. V., Mülheim/Ruhr,

Dr. rer. nat. Erwin Kunz, ehemaliger anerkannter Sachverständiger für Gasausbruchsfragen der DMT GmbH & Co. KG, Bad Oeynhausen